

TÜRKİYE 9. ULUSLARARASI MERMER VE DOĞALTAŞ KONGRESİ VE SERGİSİ BİLDİRİLER KİTABI

PROCEEDINGS OF THE 9TH INTERNATIONAL
MARBLE AND NATURAL STONES CONGRESS
AND EXHIBITION OF TURKEY



13-15 Aralık - December 2017
Antalya – TURKEY

Editörler / Editors

Nazmi ŞENGÜN

**Servet DEMİRDAĞ
İbrahim UĞUR**

**Raşit ALTINDAĞ
Saim SARAÇ**



**TMMOB
MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI**

**TÜRKİYE 9. ULUSLARARASI MERMER VE
DOĞALTAŞ KONGRESİ VE SERGİSİ
BİLDİRİLER KİTABI**

***PROCEEDINGS OF THE 9TH INTERNATIONAL
MARBLE AND NATURAL STONES CONGRESS
AND EXHIBITION OF TURKEY***

*13-15 Aralık - December 2017
Antalya – TURKEY*

Editörler / Editors

Nazmi ŞENGÜN
Servet DEMİRDAĞ
Raşit ALTINDAĞ
İbrahim UĞUR
Saim SARAÇ

Aralık 2017
ANKARA

©Tüm hakları saklıdır. TMMOB Maden Mühendisleri Odası'nın önceden yazılı izni olmaksızın, bu kitabın hiçbir kısmı çoğaltılamaz, bir depolama veya erişim sisteminde saklanamaz veya herhangi bir biçimde elektronik, mekanik, fotokopi, kayıt veya başka yollarla iletilemez. Makaleler, hakemlik sürecinden sonra kabul edildikleri şekilde basılmıştır. Makalelerin içeriği yalnızca yazarların sorumluluğundadır. Yayıncı, yazım veya diğer hatalardan dolayı sorumluluk kabul etmez.

©All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of the UCTEA Chamber of Mining Engineers of Turkey. Papers are reprinted as they were submitted after refereeing process. The content of the papers is the sole responsibility of the authors. The publisher takes no responsibility for typographical or other errors.

Aralık 2017

ISBN : 978-605-01-1110-1

Sayfa Tasarımı / Page Design : Ayhan Çınar

Baskı / Print : ÖNKA MATBAASI

Telefon : 0312 384 26 85

Fax : 0312 341 64 08

Yayıncı / Publisher : TMMOB Maden Mühendisleri Odası /
UCTEA Chamber of Mining Engineers of Turkey
Selanik Caddesi No: 19/4 • 06650 Kızılay / ANKARA

Tel : +90 312 425 10 80 – 418 36 57

Fax : +90 312 417 52 90

Oda Web : www.maden.org.tr

Oda E-mail : maden@maden.org.tr

Editorler / Editors : Nazmi ŞENGÜN, Servet DEMİRDAĞ,
Raşit ALTINDAĞ, İbrahim UĞUR, Saim SARAÇ

www.mersem.org.tr

mersem@maden.org.tr

Ankara / TURKEY



DÜZENLEME KURULU / ORGANIZING COMMITTEE

Ayhan Yüksel

Yönetim Kurulu Başkanı / *Chairman of The Board*

Maden Mühendisleri Odası / *Chamber of Mining Engineers*

YÜRÜTME KURULU / EXECUTIVE BOARD

Başkan / Chair

Dr. Raşit ALTINDAĞ Süleyman Demirel Üniversitesi / *Süleyman Demirel University*

Başkan Yardımcısı / Vice Chair

Dr. Servet DEMİRDAĞ Süleyman Demirel Üniversitesi / *Süleyman Demirel University*

Özçağ AYDIN Maden Mühendisleri Odası / *Chamber of Mining Engineers*

Genel Sekreter / General Secretary

Dr. Nazmi ŞENGÜN Süleyman Demirel Üniversitesi / *Süleyman Demirel University*

Sayman / Accountant

Bahadır YILMAZ Maden Mühendisleri Odası / *Chamber of Mining Engineers*

Üyeler / Members

Dr. Saim SARAÇ Süleyman Demirel Üniversitesi / *Süleyman Demirel University*

Dr. İbrahim UĞUR Süleyman Demirel Üniversitesi / *Süleyman Demirel University*

Dr. Avni GÜNEY Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi / *Muğla Sıtkı Koçman University*

Emre DEMİR Maden Mühendisleri Odası / *Chamber of Mining Engineers*

Öznur AKÇA Maden Mühendisleri Odası / *Chamber of Mining Engineers*

Osman ERSOYU Maden Mühendisleri Odası / *Chamber of Mining Engineers*

Sedat ZAHTEROĞLU Maden Mühendisleri Odası / *Chamber of Mining Engineers*

Deniz AKBAY Süleyman Demirel Üniversitesi / *Süleyman Demirel University*

Merve Karaabat VAROL Süleyman Demirel Üniversitesi / *Süleyman Demirel University*

Hilal Özer TOKLU Süleyman Demirel Üniversitesi / *Süleyman Demirel University*

Ergün ÇAL Maden Mühendisleri Odası / *Chamber of Mining Engineers*

Derya ÜNAL Maden Mühendisleri Odası / *Chamber of Mining Engineers*

Gülşah ERGEN Maden Mühendisleri Odası / *Chamber of Mining Engineers*

BİLİM KURULU / SCIENTIFIC COMMITTEE

Dr. A. Bahadır YAVUZ	Dokuz Eylül University	Turkey
Dr. Ahmet DELİORMANLI	Dokuz Eylül University	Turkey
Dr. Ahmet YILDIZ	Afyon Kocatepe University	Turkey
Dr. Ali KAHRİMAN	Okan University	Turkey
Dr. Ali SARIŞIK	Harran University	Turkey
Dr. Angel Lopez BUENDIA	INNCEINMAT SL	Spain
Dr. Atilla CEYLANOĞLU	Cumhuriyet University	Turkey
Dr. Atiye TUĞRUL	İstanbul University	Turkey
Dr. Ayhan KESİMAL	Karadeniz Technical University	Turkey
Dr. Bahtiyar ÜNVER	Hacettepe University	Turkey
Dr. C. Okay AKSOY	Dokuz Eylül University	Turkey
Dr. Celal KARPUZ	Middle East Technical University	Turkey
Dr. Cem ŞENSÖĞÜT	Dumlupınar University	Turkey
Dr. Cengiz ÖZEL	Süleyman Demirel University	Turkey
Dr. Erdoğan YÜZER	İstanbul Technical University (Emekli)	Turkey
Dr. Eren KÖMÜRLÜ	Karadeniz Technical University	Turkey
Dr. Erkan ÖZKAN	Afyon Kocatepe University	Turkey
Dr. Fabiano Cabañas NAVARRO	Universidade Federal de Alfnas	Brazil
Dr. Fuzuli YAĞMURLU	Süleyman Demirel University	Turkey
Dr. Graziella MARRAS	University of Cagliari	Italy
Dr. Hakan SARIKAYA	Uşak University	Turkey
Dr. Halil KUMSAR	Pamukkale University	Turkey
Dr. Hanifi ÇOPUR	İstanbul Technical University	Turkey
Dr. Hasan GERÇEK	Bülent Ecevit University	Turkey
Dr. Hürriyet AKDAŞ	Eskişehir Osmangazi University	Turkey
Dr. İ. Sedat BÜYÜKSAĞIŞ	Afyon Kocatepe University	Turkey
Dr. İhsan ÖZKAN	Selçuk University	Turkey
Dr. İlgin KURŞUN ÜNVER	İstanbul University	Turkey
Dr. Joaquim SIMÃO	Universidade NOVA de Lisboa	Portugal
Dr. Kazım GÖRGÜLÜ	Cumhuriyet University	Turkey
Dr. Kerim AYDINER	Karadeniz Technical University	Turkey
Dr. Kerim KÜÇÜK	Dokuz Eylül University	Turkey
Dr. Lola PEREIRA	Universidad de Salamanca	Spain
Dr. Luis Guerra ROSA	University of Lisbon	Portugal
Dr. M. Bahtiyar KARATOSUN	Dokuz Eylül University	Turkey
Dr. M. Erkan KARAMAN	Akdeniz University	Turkey
Dr. M. Kemal GÖKAY	Selçuk University	Turkey
Dr. Mahmut MUTLUTÜRK	Süleyman Demirel University	Turkey
Dr. Maria H. B. de Oliveira FRASCÁ	MHB Geological Services	Brazil

Dr. Mehmet KİTİŞ	Süleyman Demirel University	Turkey
Dr. Mehmet SALTAN	Süleyman Demirel University	Turkey
Dr. Mete KUN	Dokuz Eylül Üniversitesi	Turkey
Dr. Metin DAVRAZ	Süleyman Demirel University	Turkey
Dr. Metin ERSOY	Afyon Kocatepe University	Turkey
Dr. Mustafa KUŞÇU	Süleyman Demirel University	Turkey
Dr. N. Gül ASATEKİN	İstanbul Kemerburgaz University	Turkey
Dr. Nicola CAREDDU	University of Cagliari	Italy
Dr. Nuh BİLGİN	İstanbul Technical University	Turkey
Dr. Nurdan Güneş YILMAZ	Dokuz Eylül University	Turkey
Dr. Nuria Fernandez CASTRO	CETEM	Brazil
Dr. O. Zeki HEKİMOĞLU	Muğla Sıtkı Koçman University	Turkey
Dr. Olgay YARALI	Bülent Ecevit University	Turkey
Dr. Özgür AKKOYUN	Dicle University	Turkey
Dr. R. Mete GÖKTAN	Eskişehir Osmangazi University	Turkey
Dr. Remzi KARAGÜZEL	İstanbul Technical University	Turkey
Dr. Reşat ULUSAY	Hacettepe University	Turkey
Dr. Saffet YAĞIZ	Pamukkale University	Turkey
Dr. Sair KAHRAMAN	Hacettepe University	Turkey
Dr. Seppo LEINONEN	Geological Survey of Finland	Finland
Dr. Serdal TERZİ	Süleyman Demirel University	Turkey
Dr. Serkan ANGI	İstanbul Technical University	Turkey
Dr. Seyfi KULAKSIZ	Hacettepe University (Emekli)	Turkey
Dr. Taner KORKUT	Akdeniz University	Turkey
Dr. Tuğrul ÜNLÜ	Bülent Ecevit University	Turkey
Dr. Turgay ONARGAN	Dokuz Eylül University	Turkey
Dr. Yaşar KİBİCİ	Dumlupınar University	Turkey
Haşim ACAR	İnka Mühendislik A.Ş.	Turkey

SPONSORLAR LİSTESİ
SPONSORS LIST

- Adalya Mermer San. Tic. A.Ş.
- Akın Blok İnşaat ve Yapı Malzemeleri
- Alacakaya Mermer ve Maden İşletmesi Tic. San. A.Ş.
- Antalya Mermer San. Tic. Ltd. Şti.
- Barida Mermer İnş. Tur. San. Tic. Ltd. Şti.
- Barla Mermer Maden San. Tic. Ltd. Şti.
- Başarılar Mermer San. Tic. Ltd. Şti.
- BAİB - Batı Akdeniz İhracatçılar Birliği
- EİB - Ege Maden İhracatçıları Birliği
- ITSO - Isparta Ticaret ve Sanayi Odası
- İmsa Mermer İnş. Taah. Turz. San. ve Tic. Ltd. Şti.
- İMİB - İstanbul Maden İhracatçıları Birliği
- Modül Mermer San. ve Tic. A.Ş.
- Onurtaş Piroteknik Maddeler San. ve Tic. Ltd. Şti.
- Plato Mermer Madencilik İnş. San. ve Tic. Ltd. Şti.
- Port Akdeniz Ortadoğu Antalya Liman İşletmeleri A.Ş.
- Süper Selva Mermer San. ve Tic. Ltd. Şti.

BU BİLDİRİLER KİTABI
ANTALYA MERMER SAN. TİC. LTD. ŞTİ.
SPONSORLUĞUNDA BASILMIŞTIR

SUNUŞ

Odamızın temel görevlerinden biri de bilimsel çalışmaları ve deneysel yaklaşımları kamuoyuna sunmak ve üyeleri ile paylaşmak için bilimsel toplantılar düzenlemektir. Bu çalışmalardan biri olan **9. Uluslararası Mermer Sempozyumu (MERSEM)** TMMOB Maden Mühendisleri Odası Genel Merkezi ve Akdeniz Bölge Temsilciliği ile birlikte 13-15 Aralık 2017 tarihlerinde Antalya'da düzenlenmiştir.

Maden Mühendisleri Odası olarak 63 yıldır yaşamın ve madencilik her alanına müdahil olmaya çalıştık. Her alanda amatör ve gönüllü kadrolarımız ile sektörümüze ve ülkemize hizmet etmeye çalıştık. Yaklaşık 20 yıl önce 1995 yılında Afyon'da bir düğün salonunda başlayan Mermer Sempozyumu V. Dünya Doğaltaş ve Mermer Kongresi ile devam etmiş ve bugün Akdeniz'in incisi Antalya'da bir kongre merkezinde yapıma aşamasına ulaşmıştır. Bu süreçte emeği geçen herkese çok teşekkür ederiz.

Ülkemiz dünya doğal taş rezervinin önemli bir kısmına sahiptir. Bu rezervler içerisinde 650'ye varan renk ve dokuda mermer çeşidinin bulunduğu vurgulanmaktadır. 2013 yılı içerisinde, 6.270.566 ton blok, 2.441.968 ton işlenmiş doğal taş ihraç edilmiş olup, ihracattan toplam 2.225.035.604 \$ gelir elde edilmiştir. 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.

Sektörün gelişimi bakımından önemli bir sorun, üretim ölçeğine ilişkindir. Sektörün, ağırlıklı olarak küçük ölçekli üreticilerden oluşan yapısı, eşişsiz üretim miktarlarını eşişsiz bir rekabet içerisinde gerçekteşirmelerine neden olmaktadır. Ekonomik gerekçelerle bağdaşmayan bu durum; maliyetlerin artmasına, rezerv kaybına ve çevre tahribatına yol açarken, madencilik faaliyetlerinin de kamuoyu önünde olumsuz olarak tartışılmasına neden olmaktadır. Sektörde üretim ölçeğinin arttırılması, verimliliğin artmasını sağlayacağı gibi rezerv kaybı ve çevre tahribatı gibi olumsuz durumlarında ortadan kalkmasını sağlayacaktır.

Gelişmiş teknoloji kullanımı ve yeni teknolojilerin geliştirilmesi, sektöre önemli katkılar yapacak ve yeni fırsatlar yaratacaktır. Bu çerçevede söz konusu teknolojilere uyum sağlayacak ve bunları kullanabilecek iyi eğitilmiş işgücünün varlığı da önemlidir. Madencilik faaliyetleri bilimsel ve teknik bilginin kullanımı ile rezerv kaybına yol açmadan, çevreyle barışık, içi sağlığı ve güvenliği esasları çerçevesinde yürütülmelidir.

Mermer ve Doğaltaş sektörünün sorunlarının çözümleri ve ihtiyaç duyulan hedeflere ulaşabilmesi için madencilik bilim ve tekniğine uygun AR-GE çalışmaları ile bilimsel kongre, sempozyum ve çalıştayların periyodik olarak yapılması

gerekmektedir. TMMOB Maden Mühendisleri Odası; sektörümüzün, mesleğimizin ve meslektaşlarımızın gelişimi için geçmiş yıllarda düzenlediği 8 adet sempozyum ile yapmış olduğu eğitim ve çalıştaylar da olduğu gibi üzerine düşen görevi yapmış ve bundan sonra da yapmaya devam edecektir.

TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yönetim Kurulu olarak 1995 yılında mermer sektöründeki gelişmelerin her yönüyle değerlendirilmesi için sempozyum düzenleme kararı alan, sempozyumların sürekliliğini sağlayan tüm organlarımıza ve sempozyumumuzu dokuzuncu kez düzenleyerek bizlere bu gururu yaşatan yönetim kurulu üyelerimize, sempozyumumuzun düzenlenmesinde emeği geçen yürütme kurulu başkan ve üyelerine, etkinliğin bilimsel niteliğini arttırılmasına katkı sağlayan bilim kurulu üyelerimize, bildiri ve sunum hazırlayan bilim insanlarına, yönetimleriyle katkı koyan oturma başkanlarımıza, sempozyumumuza desteklerini esirgemeyen tüm sektör kurum ve kuruluşları ile değerli yöneticilerine teşekkür ederiz.

Saygılarımızla,

Ayhan YÜKSEL

TMMOB Maden Mühendisleri Odası
Yönetim Kurulu Başkanı,
14 Aralık 2017, Antalya

PRESENTATION

One of the key tasks of our chamber is to organize scientific meetings to present scientific works and experimental approaches to the public and share them with its members. **The 9th International Marble Symposium (IMARCO)**, one of these works, was organized in Antalya between 13-15 December 2017 with UCTEA Chamber of Mining Engineers Headquarters and Mediterranean Region Representation.

As the UCTEA Chamber of Mining Engineers, we have been trying to intervene in all aspects of life and mining for 63 years. We have tried to serve the sector with our amateur and voluntary staff in each area and serve our country. The Marble Symposium, which started in 1995 in a wedding hall in Afyon about 20 years ago, continued with the V. World Natural Stone and Marble Congress and today it reached the stage of being built in a congress center in Antalya, the pearl of the Mediterranean. We would like to thank everyone who has been involved in this process.

Our country has a significant portion of the world's natural stone reserves. It is emphasized that there are 650 kinds of marble in color and texture in these reserves. In 2013, 6,270,566 tons of blocks and 2,441,968 tons of processed natural stones were exported and a total of 2.225,035,604 \$ revenues were generated. There are approximately 1,500 natural stone quarries in the sector, about 2,000 factories at factory scale, 9,000 medium and small scale workshops. The number of people employed is around 300,000.

An important problem for the development of the industry is related to the production scale. The structure of the sector, which is predominantly made up of small scale producers, causes uneven production quantities to be realized in an unequal competition. This is incompatible with economic reasons; leading to increased costs, loss of reserves and environmental damage, while mining activities are also being negatively discussed in public. Increasing the production scale in the sector will increase the productivity and will help to get rid of the negative situations such as reserve loss and environmental destruction.

The use of sophisticated technology and the development of new technologies will make important contributions to the sector and create new opportunities. In this context, it is also important that there is a well-trained workforce that will adapt to the technologies and use them. Mining activities should be carried out within the framework of environmentally friendly, obeying with occupational health and safety principles without causing the loss of reserves through the use of scientific and technical information.

In order to solve the problems of Marble and Natural Stone sector and to reach the required targets, scientific and scientific congresses, symposiums and workshops must be carried out periodically in accordance with mining science and technology. UCTEA Chamber of Mining Engineers has accomplished his duty as well as training and workshops that has been done with 8 symposiums organized by our industry, our profession and our colleagues for the development of our colleagues in the past years and will continue to do so afterwards.

UCTEA Chamber of Mining Engineers, as the Board of Directors, was established in 1995 to organize symposiums in order to evaluate the developments in the marble sector in every direction and to organize all of our organs and symposiums that provide the continuity of the symposiums to the members of our board of directors who have given us such pride, we would like to thank all the institutions and organizations of the sector and the valuable managers who have contributed to our symposium.

Respectfully,

Ayhan YÜKSEL
UCTEA Chamber of Mining Engineers
President,
December 14, 2017, Antalya

ÖNSÖZ

Alp-Himalaya kuşağında yer alan ülkemizde mermer, 3213 sayılı Maden Kanunu ile maden kapsamına alınarak işletmecisinin önünü açmıştır. Önceleri sadece metamorfik kökenli kireçtaşlarını içeren “**Mermer**” kavramı, diğer jeolojik kökenli taşları da içerecek şekilde genişleyerek “**Doğal Taş**” kavramına dönüşmüştür. Mermer ve traverten ticareti olarak başlayan sektör günümüzde diğer kayaç türlerinin de katılmasıyla Dünya Doğal Taş Sektöründe ve ülke ekonomisinde önemli bir yer tutmaya başlamıştır. Türkiye’nin 1980’li yıllarda birkaç milyon dolar olan mermer (doğal taş) ihracatı 2013 yılı itibarıyla 2,2 milyar \$ seviyesine ulaşmış, 2016 yılında ise bir düşüş göstererek 1,8 milyar \$ düzeyinde gerçekleşmiştir. Bugün gerek üretim miktarı gerekse ihracat verileri açısından bakıldığında Türkiye, dünyanın ilk 5 ülkesi içinde yer almaktadır. Ülkenin doğal taş sektöründeki gelişmeler sadece doğal taş üretimi ve imalatı ile sınırlı kalmamış, sektörel ekipman üretiminde de önemli ilerlemeler yaşanmıştır. Özellikle son 25 yıllık süreçte ocak/fabrika ekipmanlarının yerli üretiminde oldukça iyi bir konuma gelinmiştir. Bugün ülkemizin tüm ocaklarında yerli üretim iş makineleri kullanılmasının yanı sıra birçok ülkeye mermer makineleri ve ekipmanları ihracatı da yapılmaktadır.

İhracat rakamlarının eğilimi, dünyadaki ve bölgemizdeki gelişmeler birlikte değerlendirildiğinde 2023 yılında doğal taş ihracatının 5-6 milyar \$ düzeyine ulaşacağı öngörülebilir. Doğal taş sektörünün ulaştığı seviyeyi korumak ve daha yukarılara taşımak için ülke içinde ve dünyada gelişen dinamikleri iyi analiz etmek gerekir. Sektör yatırımcılarının ve diğer paydaşların üretim politikalarını doğru analizlere dayandırmaları son derece önemlidir.

İç ve dış gelişmeleri yakından takip eden, bilimsel yaklaşımlarda bulunan, ocaklarda verimlilik artışı sağlayan, uç ürünlere yönelik projeler üreten, AR-GE/UR-GE’ye önem veren şirketler gelişmeye devam edebilecek, değişime ayak uyduramayanlar ise rekabet güçlerini kaybedeceklerdir. Ülkemiz doğal taş sektörünün dünya ekonomisinde elde etmiş olduğu mevcut pazar payını arttırması için İhracatı Geliştirme Merkezi (İGEME), Türkiye İhracatçılar Meclisi (TİM), ihracatçı birlikleri, dernekler vb. şemsiye kuruluşların koordineli bir şekilde çalışmasına ve bu sektörün beklediği başta enerji olmak üzere diğer maliyet girdilerinde devletin ilgili kurumlarının teşvik/desteğinin sağlanması gerekmektedir.

İlki 1995 yılında düzenlenen mermer sempozyumları zincirindeki son halka olan **Türkiye 9. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi ve Sergisi – Mersem2017**’nin amacı, Türk maden sektörünün ve madencilik ihracatı içinde lokomotif haline gelmiş olan doğal taş sektörünün yaşadığı sorunların tartışılması, çözüm yollarının

bulunması ve teknik/bilimsel gelişmelerin sektörle paylaşılmasıdır. Diğer bir amaç da doğal taş alanında çalışan araştırmacı, bilim insanı ve sektör bileşenlerini aynı platformda buluşturarak sektörün ihtiyaç duyduğu Üniversite-Sanayii işbirliği için zemin oluşturmaktır.

Kongre, dünyanın ve ülkemizin çeşitli üniversitelerinden, kamu kurumlarından ve özel sektörden çok sayıda araştırmacı, yönetici ve bilim insanının desteği ve katılımıyla gerçekleştirilmektedir. Bu kongrede, doğal taş ocakçılığı, fabrika işletmeciliği, teknolojik ve bilimsel AR-GE çalışmaları, mimari ve ekonomi alanlarında olmak üzere toplam 68 adet bildiri yer almaktadır.

Türkiye 9. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi ve Sergisi – Mersem2017, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Genel Merkezi ve Akdeniz Bölge Temsilciliği birlikteliğinde gerçekleştirilmiştir. Kongrenin başarı ile yürütülmesinde emeği geçen Kongre Yürütme Kurulu üyelerine, Odamız temsilcilerine, bildirilerin bilimsel olarak hakemliğini yapan bilim kurulu üyelerine, bildirileriyle katkıda bulunan değerli bilim insanlarına ve kongrenin gerçekleşmesi için destek olan tüm sponsorlarımıza ve emeği geçen diğer tüm kişi ve kuruluşlara çok teşekkür ederiz.

Prof. Dr. Raşit ALTINDAĞ

Kongre Yürütme Kurulu Başkanı

13-15 Aralık 2017, Antalya-TÜRKİYE

PREFACE

The marble in our country located in the Alp-Himalaya line has been taken under the scope of mine by the Mining Law No. 3213 which opened its front. The concept of “**Marble**”, which contains only limestones of metamorphic origin, has been covered as “**Natural Stone**” by expanding to include other geological rocks. Beginning as a marble and travertine trade, today the sector has begun to take an important place in the World Natural Stone Sector and the economy of the country with the participation of other rock types. Turkey’s marble (natural stone) exports, which amounted to several million dollars in the 1980s, reached to \$ 2.2 billion in 2013 and decreased to \$ 1.8 billion in 2016. Today, Turkey is in the top 5 countries of the world when it comes to the export in terms of production amount. The developments in the natural stone sector of the country have not only been limited to natural stone production, but also made significant progress in the production of sectoral equipment. Especially during the last 25 years, the domestic production of the quarry/factory equipment has reached a very good position. Today, not only domestic production machinery is used in all the quarries of our country, but also marble machines are exported to many other countries.

When the trend of export figures is evaluated together with developments in the world and our region, it can be predicted that natural stone exports will reach \$ 5-6 billion in 2023. To maintain the level achieved by the natural stone industry and to move it further, it is necessary to analyze well the dynamics that develop in and around the country. It is extremely important that industry investors and other stakeholders base their production policies on correct analysis.

Companies that closely follow internal and external developments, are in scientific approaches, produce projects for end products, companies that attach importance to R&D/P&D will continue to develop and those who can not change will lose their competitive power. In order to increase the current market share that our country’s natural stone sector has acquired in the world economy, the Export Development Center (IGEME), Turkish Exporters Assembly (TIM), exporters unions, associations etc. it is necessary for the umbrella organizations to function in a coordinated manner and to provide incentives/support of the relevant institutions of the state in the other cost inputs such as energy, which this sector expects.

The aim of the **9th International Marble and Natural Stone Congress and Exhibition, IMARCO 2017**, has been to discuss the problems of the Turkish mining sector and the natural stone sector and the scientific developments experienced and shared since the marble symposiums held in 1995. The sector has become the locomotive in

mining exports. Another goal has been to bring together the researchers, scientists and sectoral components working in the field of natural stone on the same platform to lay the groundwork for the university-industry cooperation that the industry needs.

The congress is held with the support and participation of a large number of researchers, administrators and scientists from various universities, public institutions and the private sector of the world and our country. In this congress, there will be a total of 68 papers in natural stone quarrying, factory operations, technological and scientific R&D works, architectural and economical areas.

In the **9th International Marble and Natural Stone Congress and Exhibition of Turkey, IMARCO2017**, UCTEA Chamber of Mining Engineers and Mediterranean Region Representation have worked together with great devotion and intensive studies. We would like to thank all the sponsors of the Congress Executive Committee, representatives of the chamber, scientific committee members who have made scientific notices of the report, the valuable scientists who contributed to the report, and all the sponsors who financially supported the Congress and all other persons and organizations who served for IMARCO2017.

Respectfully,

Prof. Dr. Raşit ALTINDAĞ
IMARCO2017
Chairman of The Executive Committee

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

I. DOĞAL TAŞ OCAK İŞLETMECİLİĞİ

I. NATURAL STONE QUARRYING

Mermer Madenciliğinde Saha Arama ve Rezerv Belirleme Çalışmaları

Field Exploration and Reserve Determination Studies in Marble Mining

T. Onargan3

Mermer Ocaklarının GPR Yöntemi ile 3 Boyutlu Olarak Görüntülenmesi

3D Visualization of Marble Quarries by GPR Method

Y. K. Kadioğlu, S. Kadioğlu 11

Combined Use of 3D Lidar Technology, Photogrammetry and Geotechnical Modelling for Stability Analysis of Marble Quarries in The Apuan Alps (Italy)

O. Pandolfi, M. Berlinghieri, P. Oreste 19

Strategic Matrix Model in Stone Quarries

O. Pandolfi, A. Potenza, M.F. Pop29

Mermer Ocağı İşletme Planlamasında Üretim Kapasitesinin Birim Maliyete Etkisinin Araştırılması

Investigation of Effect of Production Capacity at Unit Cost in Marble Quarry Planning

T. Mallı.....37

Örnek Bir Doğal Taş Ocağının NetCAD® Programı Yardımı ile Rezerv Hesaplaması ve Üretim Haritalarının Hazırlanması

The Reserve Calculation and Production Maps Preparation of A Natural Stone Quarry via the NetCAD® Software Program

İ.S. Büyüksağış, Ö. Bahtiyar, M. Gürsoy45

Piroteknik Kaya Kırıcı Malzemelerin Mermer Ocaklarında Pasa Söküm İşlemlerinde Kullanılması

The Usage of Pyrotechnic Rock Breaker Materials to Excavate of Waste Rock in Marble Quarries

A. Güneş, S. Demirdağ, C.O. Üner, E.O. Demirbaş53

II. DOĞAL TAŞ FABRİKA İŞLETMECİLİĞİ

II. NATURAL STONE FACTORY PROCESSING

Performance Comparison of White Fused Alumina and Garnet Abrasives in Abrasive Waterjet Cutting of Marble S. Kaya, G. Aydın, I. Karakurt.....	67
Mermer Blok Kesme Makinası Seçiminde, GİA (Gri İlişkisel Analiz) Yönteminin Uygulanması <i>Application of Grey Relation Analysis (GRA) Method for Selection of Marble Block Cutting Machine</i> M. Ersoy, M. Y. Çelik, L. Yeşilkaya.....	73
Dairesel Testereleli Kesme Makinelerinin Saatlik Üretim Miktarının Mermer Yüzey Sertliğine Bağlı Olarak Yapay Sinir Ağı (YSA) Ve Regresyon Analizleri (RA) İle Tahmin Edilmesi <i>Estimation of Hourly Slab Productions of Circular Saw Cutting Machines by Artificial Neural Network (YSA) and Regression Analysis (RA) based on Marble Surface Hardness</i> G. Ekincioglu, A. Güney, D. Akbay, R. Altındağ.....	87
Bilgisayar Destekli Eğitim Araçlarına Bir Örnek: Mermer Fabrika Simülasyonu <i>New Simulation Tool for Engineering Education: Marble Plant Simulation</i> Ö. Akkoyun.....	97
Stone Cutting and Polishing: A Review of Research Trends and Technical Achievements of A Long-History Industry L. G. Rosa.....	103
The Advantages of Epoxy Resin in Marble Surface Treatment <i>Mermer Yüzey İyileştirilmesinde Epoksi Reçinelerin Avantajları</i> H.T. Özkahraman.....	115
Doğal Taş Sektöründe Kullanılan Uluslararası Ambalajlama ve Nakliye Kuralları/Standartlarının İncelenmesi <i>Investigation of International Packing and Transportation Used Rules/Standards in Natural Stone Industry</i> İ.S. Büyüksağış, M. Uz, M. Gürsoy.....	121

Örnek Bir Mermer İşletmesinde E-MERMERCİ® Paket Programı Yardımıyla Üretim ve Stok Kontrollerinin Yapılması

The Production and Stock Controls by the E-MERMERCİ® Software Program in a Marble Company

İ.S. Büyüksağış, H. Alper, M. Gürsoy133

Effects of the Diameter of Diamond Beads on Cutting in Monowire Block Cutting System

E. Yilmazkaya, Y. Ozcelik145

Endüstriyel Granit Kesim İşlemlerinde Enerji Tüketimi-Kesim Maliyetleri İlişkisini Açıklamaya Yönelik Ampirik Bir Model Önerisi

An Empirical Model Proposal for Explaining the Relationship Between Power Consumption and Cutting Costs in Industrial Granite Cutting Processes

M. Yurdakul, H. Akdaş.....153

Karaman Bölgesi Travertenlerinin Plaka Üretim Maliyetlerinin Belirlenmesi

Determination of Slab Production Costs of Karaman Region Travertines

S. Dünder, N. Bilim161

III. DOĞAL TAŞLARIN MİMARİDE VE YAPILARDA KULLANIMI

III. USE OF NATURAL STONE IN ARCHITECTURE AND BUILDINGS

Yaşamlarını Doğaltaş Sevgisine Adayarak Saygı İle Anılmayı Hak Edenler

Those Deserving to Be Remembered Respectfully Because They Devoted Their Lives to the Love of Natural Stones

E. Yüzer169

Doğal Taşların Konut Islak Hacimlerinde Duvar ve Döşeme Kaplaması Olarak Kullanımı

Usage of Natural Stones as Wall and Floor Coverings in Residential Wet Spaces

E. Yazgan Serinkaya179

Doğal Taş Malzemenin Sorunları: Mardin Latifiye (Abdullatif) Camii

Problems of Natural Stone Material: Mardin Latifiye (Abdullatif) Mosque

L. Karataş, Z.S. Perker.....189

Doğal Taş: Bir Sürdürülebilir Mimari Malzeme Örneği

Natural Stone: An Example of Sustainable Material in Architecture

S. Ateş Can, B. Özipek.....197

Mimari Kimlik ve Doğal Taş Malzeme

Architectural Identity and Natural Stone Material

S. Ateş Can, H. Tuncer.....207

Mermer Yüzeylerindeki Duvar Yazılarının (Graffiti) Su Jeti İle Temizleme İşleminin Görüntü Analizi İle Değerlendirilmesi

An Evaluation of Graffiti Removal with Water-jet Method by Using Image Analysis

Ö. Akkoyun, N. Careddu.....221

İstanbul Süleymaniye Camii Taş Yüzeylerinde Tespit Edilen Bozunmalar

Deteriorations Detected in İstanbul Süleymaniye Mosque Stone Surfaces

S. Khooshroo, N. Javadi, S. Yardımlı, S. Hattap227

IV. DOĞAL TAŞ ANALİZLERİ VE STANDARTLAR

IV. ANALYSIS OF NATURAL STONE AND STANDARDS

Dekoratif Amaçlı Kullanılan Bazı Magmatik-Metamorfik Kökenli Doğal Taşların Mineralojik, Petrografik Özellikleri ve Doğal Radyasyon Seviyelerinin Belirlenmesi

Determination of Mineralogical, Petrographic Properties and Natural Radiation Levels of Some Magmatic-Metamorphic Naturel Stones Used for Decorative Purposes

T. Koralay, N. Maden, K. Deniz, Y.K. Kadioğlu239

Travertenlerde Kapiler Su Emmenin Tanımlanması ve Sınıflandırılması

Identification and Classification of Capillary Water Absorption for Travertines

İ. Çobanoğlu, S.B. Çelik251

Investigation of Resistance Performances of Sandy Soils Reinforced with Marble Dust

N. Yarbaşı, M. Alacalı.....259

Kireçtaşı ve Travertenin Tek Eksenli Basınç Dayanımı Üzerinde Karot Boyutu Etkisinin Araştırılması

Investigation of The Core Size Effect on Uniaxial Compressive Strength of Limestone and Travertine

S.B. Çelik, İ. Çobanoğlu265

Osmaniye/Kadirli Kireçtaşlarının Doğaltaş Özelliklerinin İncelenmesi

Evaluation of the Natural Stone Properties of Osmaniye/Kadirli Limestones

A. Teymen.....271

Çatlaklı Bej Mermer (Kireçtaşı) Blokların Sağlamlaştırılmasında Laboratuvar Ölçekli Alternatif Yöntemlerin Araştırılması

Investigation of Laboratory-Scale Alternative Methods for Consolidation of Fractured Beige Marble Blocks

L. Yeşilkaya, M. Ersoy, M.Y. Çelik, N. Akalın283

Andezitlerde Farklı Sulu Ortamların Kapiler Su Emme Özelliğine Etkisinin İncelenmesi

Investigation of the Effect of Different Aqueous Environments on Capillary Water Absorption in Andesite

M.Y. Çelik, M. Ersoy, L. Yeşilkaya, S. Yılmaz, İ. Köken.....295

Emet (Kütahya) Yöresindeki Travertenlerin Fiziko-Mekanik Özellikleri ve Petrografik Özellikleri ile Karşılaştırılması

Comparison of Travertines in Emet (Kütahya) Region with Their Physico-Mechanical Properties and Petrographic Properties

Y. Kibici, E. Zengin, G. Yanık, C. Özkul, H. Karakuş, M. Demirbilek, İ. Aksoy, R.U. Acar305

Mersin/Erdemli Bölgesindeki Mermer Ocaklarının Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Evaluation of Physical-Mechanical Properties of Marble Quarry in Mersin/ Erdemli Area

A.C. Özdemir317

Suya Doygunluğun Karbonatlı Kayaçların Dayanımı Üzerinde Etkisinin Araştırılması

Investigating the Effect of Water Saturation on the Strength of Carbonate Rocks

S. Kahraman, H. Aydın325

Indentation Hardness Test to Predict the Strength of Pyroclastic Rocks Used as Building Stones

S. Kahraman, M. Sarıbiyık331

Piroklastik Kayaçların Suda Dağılmaya Karşı Duraylılıklarının Dolaylı Deneylerden Tahmini

Estimating the Slake Durability of Pyroclastic Rocks from Indirect Tests

S. Kahraman, M. Fener, O. Günaydın337

Doğal Yapı Taşlarının Basınç Dayanımında Örnek Boyutu ve Suyun Etkisi <i>The Effect of Sample Size and Water on Compressive Strength of Natural Building Stones</i>	
S. Beyhan, A. Özgür	343
Donma-Çözünme İşleminin İgnimbiritlerin Mekanik Özelliklerine Etkisi <i>The Effects of Freeze-Thaw Process on Mechanical Properties of Ignimbrite</i>	
M. Bağcı, A. Yıldız, C. Başaran, S. Çetintaş, M. Yıldız.....	351
İgnimbiritlerin Nemli Ortamlarda SO₂ Etkisiyle Değişiminin İncelenmesi <i>The Investigation of the Change of Ignimbrites by SO₂ Effect in Moist Environments</i>	
S. Çetintaş, M. Bağcı, A. Yıldız, C. Başaran, M. Yıldız, S. Acar	363
Avrupa ve Amerikan Standartlarına Göre Belirlenen Doğal Taş Aşınma Direnci Değerlerinin Tasarım Amaçlı Karşılaştırılması <i>Design-Purpose Comparison of Natural Stone Abrasion Resistance Values Determined According to the European and American Standards</i>	
N. Güneş Yılmaz, R. M. Gökten.....	373
Farklı Tür Doğaltaşların Numune Boyutlarına Bağlı Olarak Tek Eksenli Basınç Dayanımlarının İncelenmesi <i>Investigation of Uniaxial Compressive Strengths of Different Kind of Natural Stones Depending on Sample Sizes</i>	
M. Sert, V. Karakuş, M. Gürsoy, Z. Arsoy.....	379
Granitik Kayaçların Termal Özelliklerinin Değerlendirilmesi <i>Evaluation of Thermal Properties of Granitic Rocks</i>	
M. Kun.....	389
Karbonat Kökenli Bazı Doğal Taşların Yüzey Özelliklerine Bağlı Olarak Güneş Işığını Yansıtma İndeks Değerlerindeki Değişimin İncelenmesi <i>Investigation of the Solar Reflection Index Values Changes of Some Carbonate Based Natural Stones Depend on the Surface Properties</i>	
R. Altındağ, İ. Uğur, N. Şengün, D. Akbay, S. Demirdağ, A. Coşkun, M. Sert....	395
Güneybatı Türkiye’de Serpantinleşmiş Ultrabazik Kayaçların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri <i>Physical and Mechanical Properties of Serpentinized Ultrabasic Rocks in Southwestern Turkey</i>	
Z. Kamacı, P. Özer	401

Doğal Taşların Tuz Kristallenmesine Karşı Direncinin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri ile İlişkisinin İncelenmesi

Investigation of the Relationship Between Physico-Mechanical Properties and Resistant to Salt Crystallization of Natural Stones

D. Akbay, N. Şengün, R. Altındağ, S. Demirdağ.....411

V. DOĞAL TAŞ MEVZUATI, ÇEVRE ETKİLERİ VE ARTIKLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

V. NATURAL STONE LEGISLATION, ENVIRONMENTAL EFFECTS AND EVALUATION OF WASTES

Mermer Sektöründe UMREK Değerlemesi ve Diğer Yasal Gelişmeler

The Valuation of UMREK and Other Legal Development Reletad to Marble Sector

M. Topaloğlu.....423

Use of Marble Waste in Coal Thermal Power Plants and Seeking Features

Kömür Termik Santrallerinde Mermer Atıklarının Kullanımı ve Aranılan Özellikler

G. Ertuğrul, Y. Kasap.....429

Mermer Atıkları ve Pasalarının Değerlendirilmesi

Evaluation of Marble Waste and Markets

R. Kocaman, B. Kocaman, S. Ateş, H. Toprak.....443

Ocaktan Fabrikaya Mermer İşlemede Oluşan Atıkların Geri Dönüşümü

Recycling of Marble Waste Generated During Processing from Quarry to Factory

A. Kızılay.....451

Muğla ve Civarında İzlenen Mermer Atıklarının Mikronize Kalsit Olarak Kullanılma İmkânları

The Possibilities of Using Marble Wastes in Mugla and Surrounding Areas as Micronized Calcite

S. Gürsu.....457

Mermer Üretiminde Ortaya Çıkan Atık Malzemenin Çimento İçerisinde Doğal Puzolan İle Birlikte Kullanılmasının Çimento Üzerindeki Etkileri

The Effects of Utilization of Waste Material Generated During Marble Production with Natural Puzzolana Within Cement

A.V. Korkmaz.....469

Doğaltaş Üretimi ve Su İlişkisi

Natural Stone Production and Water Interaction

M. Mutlutürk.....481

VI. DÜNYA VE TÜRKİYE DOĞAL TAŞ POTANSİYELİ VE EKONOMİSİ
VI. NATURAL STONE POTENTIAL AND ECONOMY OF TURKEY AND WORLD

Isparta Açısı İçinde Yer Alan Mermer Yataklarının Jeolojik Konumu, Dağılımı ve Oluşum Şekilleri

Geological Setting, Distribution and Formation Types of Marble Deposits in Isparta Angle SW-Turkey

F. Yağmurlu, M. Şentürk491

Bazaltların Yapıtaşı Olarak Kullanılabilirliğinin Konfokal Raman Spektroskopisi (KRS) ile İncelenmesi: Çiçekhane Tepe Bazaltı, Kırşehir, İç Anadolu

Investigation of Usage of Basalts as Building Stone Using Confocal Raman Spectroscopy (CRS): Çiçekhane Hill, Kırşehir, Central Anatolia

K. Deniz, Y. K. Kadioğlu, T. Koralay503

Volkanik Kökenli Kayaların Yapı Taşı Olarak Kullanılabilirliği: Ankara Civarı Volkanik Kaya Örnekleri, Türkiye

Usability of the Volcanic Nature Rocks as a Building Stone: Examples of Volcanic Rocks in the vicinity of Ankara Volcanics, Türkiye

B.G. Çeliksaş, Y.K. Kadioğlu, M. Fener, K. Deniz515

Kırklareli – Demirköy Çevresinde Yüzeyleyen İntrüzif Kayaların Doğaltaş Olarak Kullanılabilirliği, KB Türkiye

Utilization of the Intrusive Rocks Outcropped Around Kırklareli-Demirköy As Natural Stone, NW Turkey

E. Ulusoy, Y. K. Kadioğlu525

Yeniceköy, Sefaköy, Uyuzhamamı ve Hamamköy (Emet-Hisarcık/Kütahya-Türkiye) Yöresindeki Travertenlerin Mineralojik ve Petrografik Özellikleri

Mineralogical, and petrographical properties of the travertines at the Yeniceköy, Sefaköy, Uyuzhamamı, and Hamamköy (Emet - Hisarcık / Kütahya-Turkey)

Y. Kibici, M. Demirbilek, G. Yanık, C. Özkul, H. Karakuş, İ. Aksoy, E. Zengin, R.U. Acar531

Milas Akbük Ege Bordo Mermerlerinin Etüt ve Değerlendirilmesi

Measurement and Evaluation of Milas Akbük Aegean Claret-Red Marbles

B. Uz, T. D. Yıldız545

Bursa – Doğanalan – Körekeş Civarında Mermer Oluşturan Kireçtaşlarının Etüt ve Değerlendirilmesi <i>Measurement and Evaluation of Marble-forming Limestones around Bursa - Doğanalan – Körekeş</i>	
B. Uz, T. D. Yıldız	557
Skill Development Training in Stone Sector in India	
K. V. Rastogi	571
İgnimbritin (Ahlat Taşı) Yapı Taşı Olarak Kullanımının Değerlendirilmesi <i>Determination of the Usability of Ignimbrite (Ahlat Stone) as Building Stone</i>	
Ö. Kılıç, E. Kahraman, A.M. Kılıç	579
Silifke (Mersin) Yöresi Mermer Oluşumlarının Değerlendirilmesi <i>The Evaluation of Silifke (Mersin) Region Marble Formations</i>	
Ö. Kılıç, E. Kahraman, A.M. Kılıç	585
Farklı Jeolojik Yaşlı Afyonkarahisar Volkanitlerinin Doğaltaş Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması <i>Investigation of The Usability of Different Geologically Age Afyonkarahisar Volcanites As Natural Stone</i>	
M. Kuşcu, A. Yıldız, M. Bağcı	595
Türkiye Bazaltlarının Endüstriyel Kayaç Olarak Kullanımı ve Değerlendirilmesi <i>The Usage and Evaluation of Bazaltic Rocks of Turkey as an Industrial Natural Rock</i>	
S. Kulaksız	609
Blok ve İşlenmiş Mermer Fiyatının Önemi: Antalya, Burdur, Isparta Örneği <i>The Importance on Prices of Block Marble and Processed Marble: Antalya, Burdur, Isparta Sample</i>	
M.G. Yalçın, Ö. Aktürk	617
Yolcular, Mutki ve Maden Kireçtaşlarının (Bitlis) Mermer İşletmeciliği Açısından Değerlendirilmesi <i>The Evaluation of Marble Operation of Yolcular, Mutki and Maden Limestone (Bitlis)</i>	
Y. Leventeli, H.A. Nefeslioğlu, A.E. Göksu	623
Türkiye Doğal Taş Sektör Analizi <i>Analysis of Natural Stone Sector of Turkey</i>	
R. Altındağ, U. Çiçek, R. Karagüzel	631

I
DOĞAL TAŞ OCAK İŞLETMECİLİĞİ
NATURAL STONE QUARRYING

Mermer Madenciliğinde Saha Arama ve Rezerv Belirleme Çalışmaları

Field Exploration and Reserve Determination Studies in Marble Mining

T. Onargan

Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir-Türkiye

ÖZET Birçok ülkenin ekonomisinde önemli bir yeri olan mermer sektörü, eko-verimlilik çalışmalarının öncelikli olarak sürdürüldüğü bir sektör konumundadır. Üretimde ve enerji tüketimindeki düşük verimlilikler ve üretim öncesi /sonrası oluşan çevre sorunları gibi konular, eko-verimlilik çalışmalarının öncelikli olarak bu sektörde ele alınması gereğini doğurmuştur. Bu çalışmada mermer arama sistematigi ve işletilebilir ekonomik rezerv belirleme çalışmaları bilimsel ve teknik açıdan birlikte verilmektedir.

ABSTRACT Marble sector which holds an important place in the economy of many countries is one of the primary sectors for eco-efficiency studies. Issues such as low production efficiency and low energy consumption efficiency as well as environmental problems before and after production are the main reasons for this priority. In this study, marble exploration system and economical reserve estimation studies are given with scientific and technical perspectives.

1 GİRİŞ

Mermer sektörü madencilik sektörü içerisinde en önemli paya sahip ve dış ticarete de ihracat içerisindeki payı çok yüksek bir madencilik koludur. Ülkemizde çok sayıda mermer ocak işletmesi bulunmakta ve bunun yanı sıra Türkiye'nin hemen hemen tamamında arama çalışmaları bilimsel ve teknik açıdan çok yeterli olmayan yöntemlerle gerçekleştirilmekte bunun sonucunda bir çok sahada işletme açmaya yönelik kazı çalışmaları yapılarak olumsuz olarak değerlendirilen sahalar terk edilerek hem zaman ve kaynak kaybına hem de çevresel ve ekolojik açıdan uygun olmayan durumların ortaya çıkmasına neden olabilmektedir.

İncelenen sahalarda kaynak ve rezerv belirleme çalışmalarında ise diğer maden gruplarının aksine yeterli sistematik bir sistem kullanılmamaktadır.

Bu çalışmada, mermer arama çalışmaları ve buna bağlı kaynak-rezerv belirleme çalışmalarında izlenmesi gereken bilimsel ve teknik yöntemler ve raporlama da uygun içerik ve yöntemler verilmeye çalışılmıştır.

2 MERMER SAHA ARAMA ÇALIŞMALARI

Mermer saha arama çalışmalarında ekonomik olarak işletmeciliğe uygun mermer oluşumunu belirlemede olumlu veya olumsuz özelliklerin bir işletmeye girmeden önce aydınlatılmasının, yapılacak yatırımlar açısından büyük bir önemi vardır (Onargan ve diğ., 2006).

Mermer aramalarında saha hakkında karar verme sürecinde önem arz eden karar kriterleri Çizelge 1'de verilmiştir. Bu kriterler sahada yapılacak ilk arama çalışmalarında önemli olup, bu kriterlerden başka özelliklerinde göz ardı edilmemesi gerekir.

Çizelge 1. Mermer arama kriterleri

Boyutsal Özellikler	Homojenlik	Kırık/Çatlak Durumu
<ul style="list-style-type: none"> • Üretilecek jeolojik birim kalınlığı • Kaynak/Rezerv hacmi • Ruhsat izin sınırları 	<ul style="list-style-type: none"> • Renk • Doku • Süreksizlikler 	<ul style="list-style-type: none"> • Çatlak/kırık yönelimi • Sıklığı • Çatlak/kırık yoğunluğu • Tipi ve morfolojisi

Mermer aramasında ve üretilmesinde etkili olan diğer faktörler de Çizelge 2'de verilmektedir.

Çizelge 2. Mermer arama ve üretiminde etkili olan ana faktörler

<ul style="list-style-type: none"> • Renk değişikliği • Dokusal karakteristikler ve dokusal değişim durumu • Yapısal ve makro-süreksizlikler • Mikro-süreksizlikler • Empüriteler • Kapanımlar • Yabancı mineraller • Kontak zonlar • Alterasyon (Ayrışma)

Mermer aramada yapılması gereken çalışmalar 7 aşamada gerçekleştirilmelidir.

2.1 Büro Çalışması

Doğal taş arama çalışmalarında sahaya çıkmadan önce mutlaka masaüstü bir çalışma yapılması gerekmektedir. İnceleme sahası ile ilgili önceden yapılmış olan güncel jeolojik haritalar incelenmeli, ayrıca sahaya ait 1/25000 veya büyük ölçekli (1/10000 – 1/5000) topoğrafik haritalar temin edilmelidir.

Aranacak doğal taşın volkanik veya tortul olmasına göre sahada olası alanlar büroda detaylı olarak incelenmelidir. Bu konuda hava ve uydu görüntülerinde de yararlanılmalıdır.

Google Earth™ günümüzde aramalarda 3 boyutlu görüntü sağlaması ve yakınlaştırma özelliğinin bulunması nedeniyle araştırmacılar tarafından masaüstü çalışmalarda sıkça kullanılan bir araç haline gelmiştir.

Bu görüntüler üzerinde diğer jeolojik haritalarla karşılaştırılarak saha sınırlaması yapılma olanağı tanınması bakımından önemli veriler olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca büyük fay-kırık hatları da bu görüntülerde ayırt edilebilen özelliklerdir.

Araştırmada ayrıca doğal taş sektöründe talep edilen taşlar ve ekonomik açıdan diğer faktörlerde göz önünde bulundurulmalıdır. Araştırma yapılacak sahada hukuki durum, alt yapı ve temel ulaşım, su ve enerji temini gibi olanakların da büro çalışması sırasında incelenmesi gerekmektedir.

2.2 Saha Çalışması

Bu aşama sırasında, mostraların incelenmesi, genel sağlamlık ve taş görünümü tanımlanmalıdır. Sahada mostralarda inceleme yapılırken ilk olarak jeolog çekici yardımıyla taşın taze yüzeyi elde edilerek taşın rengine bakılmalıdır. Taşın rengi piyasada talep edilen taşların rengine uymuyorsa sahada daha fazla inceleme yapıp yapmamaya karar verilmelidir. Taşın renginin kabul edilebilir olması durumunda sahadan birkaç örnek alıp kesilebilirliğine ve kesme yönüne bağlı desen kontrolü için örnek alınmalıdır (Şekil 1).



Şekil 1. Mostra incelemesi

Sahada jeolojik bir durum değerlendirilmesi genel olarak yapılır. Bu değerlendirmede, gözle görülebilen basit bir rezerv hesabı ile yeterli rezerv olup olmadığı gözlenir. Yani işletilecek kayaçların belirli bir kütle halinde olup olmadığına bakılır.

Alterasyon tabakasına bağlı olarak dekapaj kalınlığı gözlenir. Sahada kayacın rengine (tane yüzeyler ıslatılarak) desenine makroskobik olarak kristal yapısına ve

sertliğine (çekiçle) bakılır. İşletilmesi düşünülen kayacın geniş alanlarda renk, desen ve kalite homojenliğine sahip olup olmadığı araştırılır. Eklem ve çatlaklar incelenir ve kabaca blok alınıp alınmayacağı gözlenir

Bu aşamadan sonra makroskobik olarak araştırılması gereken konu mermerde bulunabilecek yabancı malzemelerle özür ve kusurlardır. Görülebildiği kadar mermerdeki özür ve kusurlar da makroskobik olarak gözlenir. Bunlar boşluklar, çatlaklar, damarlar ve fosillerdir.

Tabakalanmanın eğimi fazla veya dikse çatlak ve boşluklar karstik erime zonları daha derinlere inerek dekapaj miktarını ve işletme kaybını artırır.

Tüm bu etütleri yapan kişinin Türkiye mermer sanayinin iç ve dış sorunları hakkında bilgi sahibi olması gerekir.

Mermer konusunda öncelikle iki ana özellik vardır. Bunlardan birisi sahanın istenilen ölçülerde blok verebilmesi, diğeri bu bloğun çeşitli şekillerde plaka halinde kesilebilme özelliğidir(Bazı az bulunan ve talep gören doğal taşlar hariç).

Sahadaki jeolojik oluşumun mermer olarak değerlendirilmesine yönelik sahadan alınacak blok örneklerin alınma yerlerinin seçimi doğru yapılmalıdır. Ana kütlede kopmuş veya ayrılmış parçalar ile alterasyon tabakasından örnek alınmamalıdır. Bu örnekler yaklaşık blok verebilecek lokasyonlardan ve sahayı tam temsil edebilecek yerlerden alınmalıdır.

Blok mermer örnekleri yapılacak analizlerin amaçlarına uygun olacak şekilde çeşitli boyutlarda alınabilir. İlk aşamada yapılması gerekli işlemleri; plaka kesme, kenar kesme ve cilalama analizleridir. Bu işlemlere uygun ve ayrıca renk ve desen bütünlüklerini gösterebilecek boyutlarda blok örnek alınmalıdır. Genellikle bu boyutlar 40 cm.x 50 cm.x 40 cm. den aşağı olmamalıdır

Sahadan alınan blok örnekleri üzerinde petrografik, kimyasal ve tekno-mekanik testlerin yapılmasına yönelik çalışmalar yaptırılmalıdır.

Genel etüdlere ve laboratuvar testleri olumlu sonuçlandıysa artık sahanın işletmeye açılabilmesi için ikinci aşama olan ayrıntılı

çalışmalara girilebilir. Şimdi elimizde genel ve makroskobik etütleri yapılmış, ticari anlamda mermer olabilecek yani kesilebilen ve cilalanabilen ayrıca kalite ve tipi de belirlenmiş olan bir mermer vardır.

2.3 Detay Haritalama Çalışması

Sahanın değerlendirilme aşamasında, potansiyel ve ekonomik açıdan kaynak değerlendirmesinin yapılabilmesi için inceleme alanının ayrıntılı jeolojik haritası yapılmalıdır. Sahanın değerlendirilme aşamasında, potansiyel ve ekonomik açıdan kaynak değerlendirmesinin yapılabilmesi için inceleme alanının ayrıntılı jeolojik haritası yapılmalıdır. Jeolojik haritalama çalışmasında koordinatları GPS veya digital teodolitlerle belirlenmiş olan poligon geçkisi şeklinde ölçü kontrol noktaları arazide tesisi edilmelidir.

Detay haritalama çalışmalarında sahanın büyüklüğüne bağlı olarak 1/250 – 1/500 ölçeği gibi büyük ölçekli çalışılması gerekmektedir. Elde edilen harita detaylandırılarak sahada taşın yapısı, rengi, diğer teknik özellik değişimleri ve özellikle çatlak kırık yapısı bilgilerini de içeren haritalar detay haritalama kapsamında oluşturulmalıdır. Önemli görülen ölçü kontrol noktaları ve diğer sahada gözlenen hususlar ayrıca fotoğraflanmalıdır.

Elde edilen detay harita verilerinden ayrıca sahadaki üretime uygun işletilebilir rezerv de kabaca hesaplanabilmektedir. Detay haritalama çalışmaları sırasında 30 cm lik kübik numuneler yine analiz ve testler için koordinatları belirlenmek suretiyle toplanmalıdır.

İşletmeye girmeden yapılacak ayrıntılı çalışmalar litolojik birimlerin ayırt edilmesiyle başlar. Bu ayırmada petrografik ve mineralojik özellikleri ile renk değişimleri işlenir. Litolojik birimler ayırt edildikten sonra ekonomik jeoloji aşamasında mermer sahasının ayrıntılı tektonik etüdü ve haritası yapılır.

Küçük ölçekli haritalara eklem ve çatlak sistemleri, bunların doğrultuları ve tabakalanmaları işlenir. Kırık analizleri yapılır. Çatlak sistemlerinin dağılımlarına

göre eş alanlar seçilerek ayrıntılı kırık haritaları sonucu gruplardaki blok veren ve vermeyen alanlar açığa kavuşturulur. Blok boyutlarının tespitine yönelik ölçümlerde kullanılacak süreksizlik özellikleri başta süreksizliğin iz uzunluğu, eğim ve eğim yönü gibi geometrik özellikleridir.

2.4 Jeofizik Arama

Yüzeiden iki boyutlu olarak detaylı incelenen sahadaki jeolojik oluşum ve çatlaklılık yapısının incelenmesi için çevresel izin gerektirmeyen arama çalışması jeofizik arama yöntemlerinin uygulanması ile mümkün olmaktadır. Sahadaki çatlaklılık yapısının araştırılmasında tamamlayıcı unsur olarak kullanılan jeofizik etütler sondajlı çalışmalara göre daha ucuz olup, karar vermede üçüncü boyut hakkında bilgi verebilmektedir.

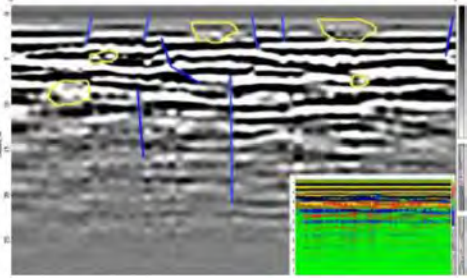
Özellikle, çok düşük frekanslı elektromanyetik / radyo frekanslı elektromanyetik (VLF-EM / RF-EM) ve yer-radarı (GPR) teknikleri doğal taş arama çalışmalarında kullanılan yöntemlerdir. Bazı traverten ve sert taş aramalarında elektriksel rezistivite yöntemleri de uygulanmaktadır.

Özellikle traverten ve granit sahalarında ayrışmanın fazla olduğu birimlere göre yüksek jeofiziksel dirence sahip damarlar kolayca ayırtlanabilmektedir.

VLF-EM / RF-EM yöntem düşük-çok düşük frekanslı radyo dalgalarının yayılma dayanmaktadır. Yöntemin uygulanmasında dalgalar litolojik farklılığa bağlı ikincil bir elektromanyetik alan oluşturmaktadır. Farklı yayılma verileri ile incelenen damar hakkında heterojenlikler (kil dolu kırıklar, karst, paleo-kanal, yanal fasiyes değişiklikleri, vb) kolayca belirlenebilmektedir. Bu yöntem düşük derinlikte uygulanabilen bir yöntem olmasına karşın hızlı bir şekilde çok düşük bir maliyetle gerçekleştirilebilir bir yöntemdir.

GPR (Ground Penetration Radar) yöntemi elektromanyetik dalganın kayacın içerisinde yayılma özelliğine bağlı olarak geliştirilmiş bir yöntem olup, karbonatlı kayalarda 20-30 metreye kadar, granit türü kayalarda antene bağlı olarak 30-40 metre aralığında görüntü alınabilen bir yöntem olup, doğal taş

madenciliğinde sık kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde elde edilen kesit görüntülerin filtrelenip yorumlanması ayrı bir uzmanlık gerektirmekte olup, bazen iyi yorumlanmaması durumunda yanıltıcı da olabilirler (Şekil 2).



Şekil 2. GPR görüntüsü

2.5 Sondajlı Çalışmalar

Yüzeiden iki ve üç boyutlu çalışmaların olumlu sonuç vermesi halinde bir sonraki aşama ise derinliğe bağlı renk ve desen değişimi ile kırık sistemlerinin kontrolüne yönelik açılacak sondaj sayısının belirlenmesi aşamasıdır. Sondajlar düşey açılması halinde derinliğe bağlı veriler vermekte olup bazen de eğimli sondajların açılmasında da karar verilebilir. Mermerde yapılmış sondaja ait bir karot sandığı Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Mermerde sondaj karot sandığı.

Her bir hektar alan için arama safhasında karbonatlı mermerlerde önerdiğimiz sondaj adedi 35-60 metre derinliklerde en az 3 sondajdır. Granit türü kayalarda ise saha şartlarına bağlı olarak 15-25 metre derinliğinde olmak koşulu ile 1 adet sondaj açılmasıdır. Genelde önerilen eğimlerde 45 ila 60 derece olmaktadır.

2.6 Örnek Blok Alınması

Sondajlı ve jeofizik araştırma sonuçlarının olumlu çıkması halinde sahadan piyasaya taşın tanıtımına yönelik birkaç tane blok örneği alınması gerekmektedir. Bunun ana amacı piyasaya taşın tanıtılmasının yanı sıra plaka olarak kesilebilme ve desen-doku durumu gibi bazı önemli parametrelerin test edilmesi için gerçekleştirilmesidir. Bu amaca yönelik iki blok alınması çoğu zaman yeterlidir.

2.7 Pilot Ocak Açma

Genel ve ayrıntılı etütlerin sonucunda işletme aşamasına geçebilmek için yapılacak son aşama duruma göre birkaç pilot ocak açılmasıdır.

Ekonomik bakımdan işletilebilir sahaların seçilmesinde yatağa giriş durumunun kolaylığı (yol ve eğim) litolojik ve yapısal özellikler göz önüne alınarak açılacak pilot ocaklarda teknik ve ekonomik yönden iki noktanın gerçekleştirilmesine çalışılır. Bunlar; 1.Teknik yönden; Pilot ocağın açılacağı yerin seçimi ile ilgilidir. Ocak, ortalama litolojik ve yapısal özelliklerin ve kırılma sistemlerin belirli standart koşullar altında görüldüğü yerlerde açılmasıdır. 2.Ekonomik nitelikteki gereklilik belirli sınırlar içinde yapılacak giderlerle ilgilidir.

Endüstriyel bir işletmeye girmeden önce pilot ocakların açılma nedeni ve bu ocaklardan elde edilecek veriler özet halinde şunlardır:

- Başkalaşıma uğramış tabakaların gerçek kalınlığı ile varsa aktüel çatlak ve erime zonlarının dikine uzantılarının aydınlatılması,
- İşletilebilecek rezervlerin daha sağlıklı hesaplanabilmesi,
- Yataklanmanın durumuna göre doğru seçilecek bir pilot ocak yeri ve yönü, birincil ve ikincil kırılma yönlerine göre kayacın uygun işletme yönünü göstermesi,
- Dikey renk değişimlerinin belirlenmesi ve buna bağlı olarak renk rezervlerinin hesaplanmasının kolaylaşması,
- Eklem ve çatlak sistemlerine göre daha önce nazari olarak hesaplanmış teorik blok boyut ve hacimlerden ticari blok boyut ve hacimleri hakkında bilgi edinilmesinin sağlanması,
- Endüstriyel bir işletmeye gerekli bilgi araç ve gereç seçimini sağlıklı yapabilmek olanağını vermesi,
- Pilot ocaklardan üretilen bloklardan tanıtım ve pazarlamada faydalanılması

Böylece işletmede önemli bir konu olan ocağın yatak veriminin belirlenmesi de mümkün olabilmektedir. Yatak verimi ocağın ekonomik durumunu direkt etkileyen bir faktördür. Bunun belirlenmesi çıkarılan bütün malzemeden elde edilen blokların % oranı değerinde anlaşılır (Verim=Ocağın muhtemel rezervi ile ticari boyutta blok üretimi arasındaki orandır) (Akıncı ve Onargan, 2015; Onargan ve diğ., 2015; Onargan ve Küçük, 2015).

3 KAYNAK-REZERV BELİRLEME

Mermer kaynağının veya mermer rezervinin raporlanmasından önce, muhtemel ürün özellikleri, piyasalara yakınlık ve genel ürün pazarlanabilirliği gibi belirli temel özellikleri veya nitelikleri göz önüne alarak, Yetkin Kişi rezervleri ve kaynakları, mevcut madencilik planı ya da belirlenmiş bir dizi ürün ve piyasa varsayımları ve hedefleri çerçevesinde raporlamalıdır. Birincil olarak kullanılacak ürünlerin planlanan satışına ek olarak atıkların değerlendirilmesine yönelik yan ürünlerin kullanımları için yerinde kullanılmak üzere yardımcı ürünler (satışı yapılamayacak ve işletme ve/veya ocak içerisinde kullanılacak ürünler), madencilik veya proses atıkları için imkan varsa, Yetkin Kişi, bunu raporunda yansıtmalı ve önemli etkileri (örneğin, bir restorasyon malzemesi olarak kullanılabilir satılmaz ürün miktarındaki azalma) hakkında yorum yapmalıdır.

Kaynak ve Rezerv raporların aşağıdaki üç aşamayı kapsamalıdır.

Birinci Aşama: Sahada belirlenen tüm jeolojik kaynakların belirlenmesi (Pazar olasılıkları dikkate alınarak jeo-startitigrafik

analizler ve üretimi amaçlanan jeolojik birimin tariflenmesi)

İkinci Aşama: Ölçülmüş kaynak hesabı (Jeolojik prospeksiyon ile sondaj ve/veya jeofizik, mostradan numune alımı, kesit çalışmalarından elde edilen verileri içeren)

Üçüncü Aşama: Görünür Ölçülmüş Rezervin belirlenmesinden önce saha ile ilgili aşağıdaki 6 faktörün tanımlanarak belirlenmiş ve raporlanmış olması gerekmektedir.

EAF (Eklem-Fissür açıklığı faktörü): % olarak eklem, fissür ve boşluklar yüzünden üretimi yapılamayacak hacim yüzdesi

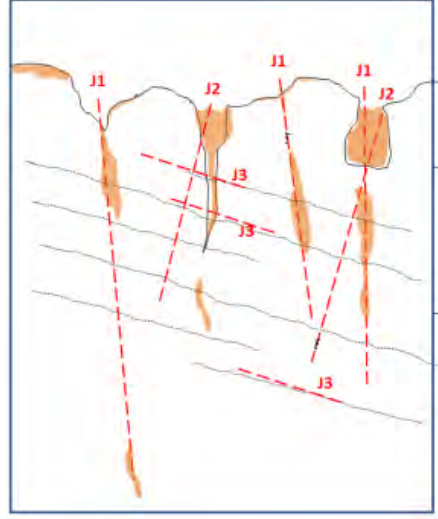
KF (Karstik faktörü): % olarak karstik boşlukların tahmini hacim yüzdesi (saha analizleri ve sondaj karot loglarından üretilecek)

AF (Ayrışma Faktörü): % olarak ayrılmış kaya hacim yüzdesi (saha analizleri ve sondaj karot loglarından üretilecek)

Bu olguları gösteren görseller Şekil 4-6'da verilmiştir.



Şekil 4. Eklem-kırık görüntüsü

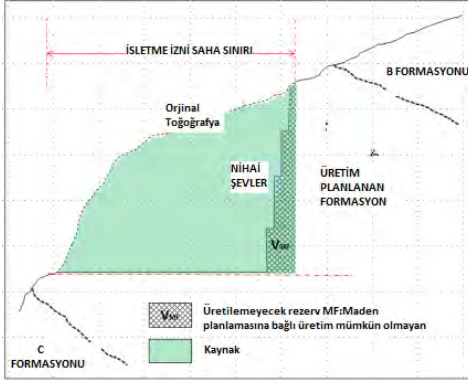


Şekil 5. Karstik boşluklar



Şekil 6. Alterasyon örneği

MF (Madencilik Faktörü): % olarak hedef damardaki maden tasarım ve planlamasına bağlı üretilemeyecek hacim yüzdesi (Ocak şekline bağlı nihai şev dizaynı sonucu üretilmeden bırakılacak ve ekonomik olarak üretilemeyecek rezerv miktarının hacimsel oranı, Şekil 7)



Şekil 7. Madencilik faktörü

KF (Kalite Faktörü) : % olarak üretimi hedeflenen doğal taşın pazardaki talep edilen kalite (renk, desen, kristal tane boyutu, doku, arıza ve kusurlar vb. ile renk-desen-kristal tane boyutunun sahadaki dağılımı gibi özellikler) dışı üretimi hedef dışı bırakılabilecek hacimsel yüzde (Belirlenebilmesi durumunda sahadaki kalite dağılımı da harita üzerinde verilmelidir).

EF (Eklem Faktörü) : % olarak üretimi planlanan doğal taş oluşuma ait hacimsel eklem takımı sayısı (J_v) ve buna bağlı hesaplanacak üretilebilir ticari blok boyutu (V_b). Buna bağlı olarak sahaya ait blok kazanım oranına bağlı üretilemeyecek rezervin hacimce % sel oranı

Raporlamada *kaynak* tan *rezerv* hesabına geçişte aşağıdaki hesaplama yolu izlenmelidir.

Toplam Ölçülmüş Görünür Rezerv (m^3) = Ölçülmüş Kaynak – ($KF + EF + AF + EAF + MF$)

4. SONUÇLAR

Mermer madencilğinde arama ve rezerv belirleme çalışmalarında verimlilik ve çevresel açıdan temel alınan evrensel değerlerin içselleştirildiği ve bilim ve tekniğin öneminin kavrandığı çalışmalar yapılması ülkemiz mermer sektörü açısından son derece önem taşımaktadır. Bu çalışmada uluslar arası ve ulusal uygulamaların ışığında mermer aramacılığında ve kaynak-rezerv belirleme çalışmalarında sistematik olarak

teknik ve bilimsel perspektifte yapılması gereken çalışmalar verilmiştir.

KAYNAKLAR

- Onargan, T., Köse, H. ve Deliormanlı, A. H., 2006, Mermer, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Yayın No: 95, ISBN 975-395-487-1, 324 sayfa, Ankara.
- Akıncı, G. ve Onargan, T., 2015, Maden Atıklarının Yönetimi-Avrupa Birliği ve Türkiye”, VI. Türk-Alman Katı Atık Günleri, Teknolojiye Dayalı Kaynak Verimliliği ve Katı Atık Yönetimi % Young Researchers Forum, Bildiriler Kitabı, sayfa 146-151, İzmir-Türkiye.
- Onargan, T., Küçük, K., Yılmaz, N. Ve Akıncı, G., 2015, Mermer Madencilğinde Katı Atık Yönetimi, VI. Türk-Alman Katı Atık Günleri, Teknolojiye Dayalı Kaynak Verimliliği ve Katı Atık Yönetimi % Young Researchers Forum, Bildiriler Kitabı, sayfa 154-164, İzmir-Türkiye.
- Onargan, T., Kucuk, K., 2015, Mermer Madencilğinde Verimlilik, Proceedings of the 9th International Minerals Symposium, pp. 09-18, ISBN:978-605-01-0718-0, May 14-15, Izmir-Turkey.

Mermer Ocaklarının GPR Yöntemi ile 3 Boyutlu olarak Görüntülenmesi *3D Visualization of Marble Quarries by GPR Method*

Yusuf Kağan KADIOĞLU

*Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara
Ankara Üniversitesi, Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM), Ankara
kadi@ankara.edu.tr*

Selma KADIOĞLU

*Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Ankara
kadioglu@ankara.edu.tr*

ÖZET Mermer işletmelerindeki kalınlık ve süreksizlikler; mermer işletmelerinde karşılaşılan en büyük sorunları ve cevaplanması gereken en önemli sorunları oluştururlar. Bu çalışmanın amacı mermer işletmelerine başlamadan ocakta yer alan mermerlerin kalınlıkları, masif blokları, kırıkları, çatlakları belirlemek ve blok seviyelerinin en üst kısmındaki bozuk satırların kalınlıklarını Yer Radarı (GPR) yöntemi ile ortaya koymaktır. Bu araştırmanın sonuçları, araştırma alanındaki mermer blokların işletme maliyetlerini optimize edecek şekilde belirlemek ve aynı zamanda bu işletmeye yön vermektir. Adıyaman bölgesinde Kretase kireçtaşı kayalarının mermer olabileme özelliklerini belirlemek için 250 ve 100 MHz kapalı anten sistemi kullanılmıştır. Çalışma alanında on GPR profili hattı boyunca ölçümler alınmıştır. Sahada yer alan kireçtaşları genel olarak büyük boşluklu ve bej renklidirler. Kireçtaşı içindeki boşlukların boyutu bir milimetreden bir kaç metreye kadar değişebilmekte ve kütle heterojen bir yapı kazandırmıştır. GPR ölçümlerinin 3B değerlendirme sonuçlarına göre inceleme sahasında genel olarak iki ayrı seviye tespit edilmiştir. İlk seviye, fazla kompakt olmayan farklı renk ve doku özelliğine sahip ve 4 m kalınlığa kadar varabilen ayrılmış kısmı oluşturmaktadır. İkinci seviye ise daha kompakt dokuya sahip olup ve nispeten az boşluk içeren, daha az süreksizlik düzlemlerine sahip ve kalınlıkları 50 m ye kadar varabilen tabakayı oluşturmaktadır.

Anahtar Kelimeler: GPR, Yer Radarı, Mermer, 3B Görüntüleme

ABSTRACT Thicknesses and discontinuities in the marble quarry are formed the most problems and required answers for the marble extraction. The aim of this study is to figure out the thicknesses, massive blocks, fractures, cracks and to identify the altered level of the marble by Ground Penetrating Radar (GPR) method. The results of this investigation can be orient the mining operation in a way to optimize the extraction costs of marble blocks in the research area. 250 and 100 MHz Shielded antenna were used in the determination of Cretaceous limestone marble in Adıyaman region. Ten GPR profiles were measured on the surface of the limestone. The limestone is beige in color with mega vesicular texture. The size of these vesicular within the limestone changes between a millimeter up to a few meters and has a heterogeneous separation in the unit. The results of 3D of the GPR measurements reveal that there are two different levels, which can be observed within the rock units. The first level reach up 4 m thicknesses with altered composition and different colour and textures. The second level mostly form the most compact and durability structure which can be reach up to 50m thickness in the region.

Key Words: GPR, Geo Radar, Marble, 3D visualization

1 GİRİŞ

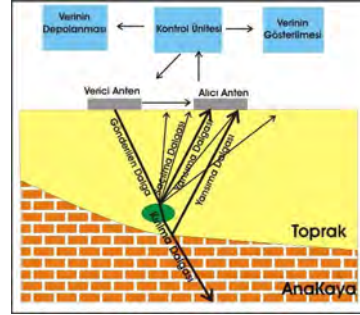
Yer radarı yöntemi yakın yüzey sığ araştırmalar için kullanılan yüksek frekanslı jeofizik elektromanyetik (EM) bir yöntemdir. Yöntemin kullanımının kolay olması ve çok hızlı veri toplanabilmesi, veri toplama sırasında çalışma alanında herhangi bir tahribat oluşturmaması (non-invasive), santimetre düzeyinde yüksek çözünürlüklü iki boyutlu (2B) ve üç boyutlu (3B) yeraltı görüntüleme yapılabilmesi en önemli avantajlardır. Böylece yapıların konum ve derinliklerinin çok daha net belirlenebilmesi, özellikle 3B görüntüleme ile karmaşık yapı bölgelerinde aranan özel yapının kararlaştırılması ve oldukça etkin görüntü ile sunulabilmesi özellikleri nedeniyle tüm sığ araştırmalarda son yıllarda en çok kullanılan jeofizik yöntem olmuştur. Ülkemizde de kullanımı oldukça yaygın hale gelmeye başlamıştır.

Mermer işletmelerine geçmeden ve geçtikten sonra da kalınlık, blok verimi, boşluk belirleme, kılcal kırık-çatlak oluşumların belirlenmesi işletmenin bilmesi gereken en önemli verilerdir. Bu veriler işletmenin yönlendirilmesinde ve ekonomik potansiyelin belirlenmesinde önemli olduğu için önceden bilinmesi gerekmektedir. Bu veriler daha çok yarma açma ve sondaj çalışmaları ile belirlenebilmektedir. Jeofizik dalının gelişimi ile birlikte mermer ocaklarında yarma açmadan ve sondaj yapmadan bu tür verileri kolay bir şekilde elde etmek mümkün görülmektedir. Yer radarı yöntemi mermer işletmelerinde yer içi görüntülemelerde uygulanan en önemli yöntemlerden biridir. Bu çalışmada Yer radarı yönteminin bir mermer sahasının işletime geçmeden önce yer içi görüntüleme tekniği ile boşluk, kalınlık, kırık-çatlak, devamlılık ve ayırışma yüzeylerinin de belirlenmesine yönelik uygulamayı hedefleyerek ortaya koymaktadır.

2 YÖNTEM

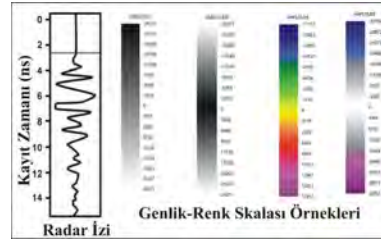
GPR yönteminin uygulama alanı oldukça geniştir. Genel olarak jeoloji, maden, arkeoloji, zemin etüdü, kara ve demiryolu araştırmaları, çeşitli inşaat yapım ve onarım çalışmaları olarak sınıflandırma yapılabilir. Jeolojide, maden arama ve işletmede başlıca yapısal araştırmalarda toprak stratigrafisinin ortaya çıkarılmasında (Davis and Annan 1989, Kadioğlu ve diğ. 2006b), yüzeye yakın jeolojik birimlerin tespitinde, fay, kırık ve çatlakların haritalanmasında (Grandjean and Gourry 1996, Green et al. 2003, Kadioğlu ve Kadioğlu 2006a, b, c; Kadioğlu ve diğ. 2005; 2006a, Koralay ve diğ. 2006, Aldaş ve diğ. 2006), yeraltı karstik boşluklarının aranmasında (Kadioğlu ve Uluggerli 2004, Kadioğlu ve diğ. 2006a), yeraltısuyu seviyesinin tespitinde (Bano et al. 2000, Dannowski and Yaramancı 1999), işletilebilir özellikteki mermer kalınlığının ortaya çıkarılması ve kırıkların haritalanmasında (Orlando 2002,

Grasmueck 1996, Grasmueck ve diğ. 2005, Kadioğlu ve Kadioğlu 2006a, b, c) yaygın olarak kullanılır.



Şekil 1. Yer radarı sistemi ve çalışma prensibi

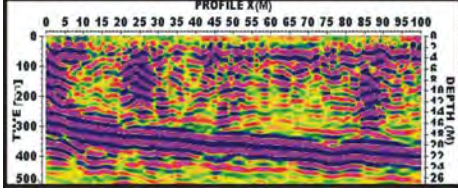
Bir yer radarı sistemi verici anten, alıcı anten, kontrol ünitesi ve kayıtcıdan oluşmaktadır (Şekil 1). Verici anten (transmitter) yatay doğrultuda elektrik alan vektörüne sahiptir ve birkaç nanosaniyelik bir elektromanyetik sinyal üretir.



Şekil 2. Bir radar izi ve genlik-renk skalası örnekleri (Kadioğlu 2004, Kadioğlu ve Kadioğlu 2012).

Yer içinde ilerleyen dalgalar herhangi bir boru, duvar veya kırık, boşluk, tabaka sınırı vb. yapılar ile karşılaştıklarında yansıma veya saçılmaya uğrayarak tekrar yukarı çıkarlar ve yüzeydeki alıcı anten, kontrol ünitesi ve kayıtcı yardımı ile zamanın bir fonksiyonu olarak kayıt edilirler (Şekil 2). Bir noktadaki ölçüm zamana göre (zamanın fonksiyonu olarak) alıcı antene ulaşan EM dalgasına ait genlik değerleridir. Buna "radar izi" veya "EM dalga alanı" adı verilir (Şekil 2). Radar izleri üzerindeki genlikler yorumu kolaylaştırmak amacıyla büyüklüklerine göre renklendirilirler. Genlik değerlerine göre renklendirme genlik-renk skalası ile tanımlanır (Şekil 3). Genlikleri yüksek olan yansıma ve saçılmış dalgalar genellikle yapıların belirteçleridirler

(Kadioğlu ve Daniels, 2008; Kadioğlu, 2008; Kadioğlu, 2010).



Şekil 3. Kaydedilen izlerin yan yana getirilmesi ile elde edilen 2B yer radarı kesiti (profil kesiti), diğer adıyla bir radargram örneği.

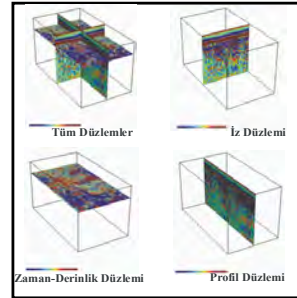
Yöntemin araştırma derinliği, çalışma amacına uygun seçilen farklı frekanslı antenlere göre değişmektedir. Antenin merkez frekansı arttıkça araştırma derinliği de azalır, buna karşılık derinlikteki değişimi belirlemedeki düşey ayrımlılık santimetre (cm) hassasiyetine yükselir. Anten frekansı azaldıkça araştırma derinliği artar, buna karşılık duyarlılık azalır. Yer radarı yönteminde veriler genellikle çalışma alanında belirlenen doğrultular üzerinde antenlerin düzeneği sabit tutularak yine önceden belirlenmiş ölçüm aralıkları ile toplanırlar. Her bir ölçüm noktasında bir radar izi elde edilir (Şekil 3). Ölçüm aralıkları 0.005-1.0m arasında değişebilmektedir. Bir hat (profil) boyunca tüm ölçüm noktalarındaki radar izleri profil üzerindeki konumları ile sıralandıklarında yatay eksen (x doğrultusu) profil başlangıç noktasına göre uzaklık, düşey eksen ns mertebesinden kayıt zamanı (z doğrultusu) olan 2B radar kesitini oluştururlar. Bu kesiti daha çok “radargram” adı ile tanımlanır. Şekil 3’te bir profile ait radargram örneği verilmiştir. Anten merkez frekansına göre araştırma derinliği ve araştırma duyarlılığı Çizelge 1 ile tanımlanmıştır.

Çizelge 1 Anten Merkez Frekansı ile Araştırma Derinlik Aralıkları ve Düşey Ayrımlılık İlişkisi (Kadioğlu, 2004)

Anten Merkez Frekansı (MHz)	Araştırma Derinliği (m)	Düşey Ayrımlılık (m)
25	50-60	0.5-1.0
50	40-50	0.3-0.5
100	20-25	0.25
250	12-15	0.12
500	5-6	0.05
800	2-3	0.03
1600	1-1.5	0.005

Çalışma bölgesinde toplanan yer radarı verileri görüntülenmeden önce 2B profil verilerinin konumlarına göre sıralanması, farklı aralıklarda düşük ve yüksek frekanslı görüntülerin süzgeçlenmesi, zamanla hızla düşen genliklerin dengelenmesi, zaman ekseninden derinlik eksenine geçmek için ortalama EM dalga hızının belirlenmesi, yeraltından yansıtılarak veya saçılarak gelen izlerin gerçek yerlerine taşınması gibi temel veri-işlem adımlarının aşağıdaki sıralamaya göre tamamlanması gerekmektedir.

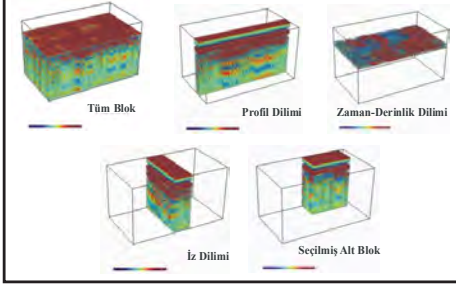
Bir alan çalışması yapıldığında arazide birbirine paralel profiller (hatlar) oluşturularak ölçümler alınır. Toplanan profil verilerindeki görüntüler süzgeçlendikten sonra sonuçlar iki boyutlu (2B) ve bu profillerin sıralanması ile profil artış yönü olarak tanımlanan y doğrultusu oluşturularak üç boyutlu (3B) olarak görüntülenirler (Şekil 4). 3B veri hacmi derinlik düzlemleri, iz düzlemleri ve profil düzlemleri olarak veya birden fazla düzlemlerin bir araya geldiği dilimler şeklinde interaktif olarak görüntülenebilir (Şekil 4) (Kadioğlu 2008; Kadioğlu ve Daniels, 2008; Kadioğlu ve Kadioğlu, 2010; Kadioğlu, 2010; Kadioğlu ve diğ., 2011; Kadioğlu ve Uluggerli, 2012; Kadioğlu ve diğ., 2013; Kadioğlu ve diğ., 2014).



Şekil 4. İşlenmiş yer radarı verilerinin 3B düzlem görüntüleme örnekleri

Yer radarı (GPR) yöntemi kullanarak 2006-2007 yıllarında Ulus-Ankara Valilik binası bahçesinde ve meydanında yapılan yer radarı çalışmaları ile "Roma Yolu" tarafımızdan bulunmuştur (Kadioğlu ve diğ., 2006; Kadioğlu, 2008). Yine bu çalışmayı gerçekleştirenler olarak Roma hamamında gönüllü hizmetler verilmiş ve sonuçlandırılmıştır. Dalaman-Akköprü barajı rezervuar alanının karstik boşluklarının görüntülenmesi (rapor 2004, Kadioğlu ve Uluggerli, 2012), Ordu-Giresun (OGU) Havaalanının dolgu kalınlığının araştırılması (Kadioğlu ve Kadioğlu, 2016), Afşin-Elbistan Kömür

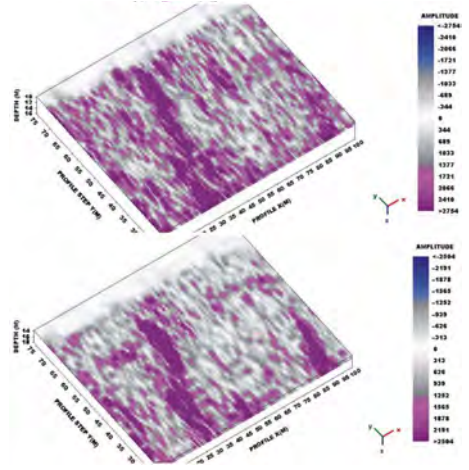
havasında obruk oluşumlarının araştırılması na yönelik çalışmalar yapılmıştır (Kadioğlu ve Kadioğlu 2016).



Şekil 5. İşlenmiş yer radarı verilerinin 3B alt blok (dilim) görüntüleme örnekleri (Kadioğlu 2004, Kadioğlu 2008; Kadioğlu ve Daniels, 2008; Kadioğlu ve Kadioğlu, 2010; Kadioğlu, 2010; Kadioğlu ve diğ., 2011; Kadioğlu ve Uluggerli, 2012; Kadioğlu ve diğ., 2013; Kadioğlu ve diğ., 2014).

Şekil 5 ile verilen 3B görüntüleme şekline 3B katı blok görüntüleme adı verilmektedir (Kadioğlu ve Daniels, 2008). Ancak katı blokların iç bölümleri tam olarak görüntülenemez. 3B dilimlerin iç bölümlerini de görüntülenmek için genlik-renk skalası yeniden düzenlendikten sonra ona uygun olarak opaklık fonksiyonu oluşturulur ve sadece aranan yapının görüntülediği saydam 3B blok görüntüleme veya saydam 3B veri hacmi olarak adlandırılan (Kadioğlu, 2008; Kadioğlu ve Kadioğlu, 2010; Kadioğlu 2010; Kadioğlu ve diğ., 2011; Kadioğlu ve Uluggerli, 2012; Kadioğlu 2013) veri görüntüleme elde edilir.

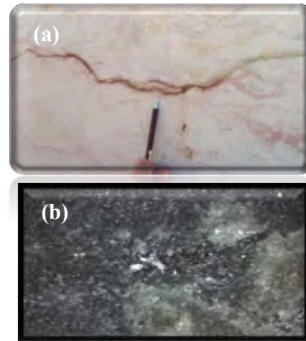
Şekil 6 Dalaman-Akköprü rezervuar alanına ait bir alanda belirli derinlik düzlemlerinde (saydam 3B derinlik düzlemleri) ve derinlik aralıklarında görüntülenen karstik boşlukları ve birbirleri ile olan bağlantılarının görüntülenmesine örnek saydam 3B görüntülemelerdir.



Şekil 6. Dalaman Akköprü Barajı rezervuar alanına ait 100x78m lik bir alanda a) 10m ve b)14m derinlikte boşlukların konumlarını gösteren saydam derinlik düzlemleri (Kadioğlu ve Uluggerli, 2012)

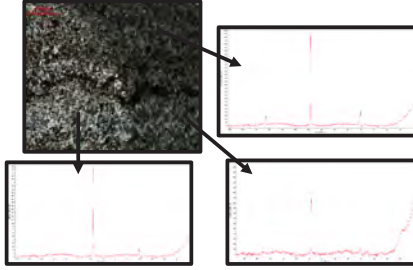
3 JEOLJİ VE PETROGRAFI

GPR ölçüm çalışmaları kapsamında, Adıyaman ili Sincik ilçesi Kaş civarındaki Jura- Kretase yaşlı karbonatlı kayaların üzerinde ölçümler alınmıştır. Karbonatlı kayalar açık ve koyu bej renkli olmak üzere renk ve desen açısından iki gruba ayrılmaktadır. Karbonat kayaları el örneğinde ince kristalin yer yer açık kahve renkli kılcal damarlar içermektedir. Örnekler mikroskop altında sparitik ve biyosparitik dokulu olup başlıca kalsitten oluşmakta ve bunun yanında az oranda aragonit ve ankerit mineralleri de yer almaktadır (Şekil 7).



Şekil 7. Adıyaman Sincik biyosparitik kireçtaşı kayalarının (a) el örneği ve (b) Mikrofotografı.

Örnekler Raman konfokal spektrometresi yöntemi ile incelenerek başlıca kalsit ve FeOOH içeren kalsitlerden oluştuğu belirlenmiştir (Şekil 8). FeOOH oluşumları kayanın karışmasına bağlı olarak gelişmiş olabileceği ve bu özelliği nedeni ile kayada azda olsa zayıf düzlemlerin oluşmasına ve yer alması anlamına gelmektedir.



Şekil 8. Raman Spektrometre yöntemiyle incelenen örneklerin Raman Shift spektrumları.

4 YER RADARI (GPR) UYGULAMASI

4.1. Verilerin Toplanması ve İşlenmesi

Çalışma alanında GPR verilerini toplamak amacıyla başlangıç ve bitiş düzenek sınırları spreya boyayla işaretlenmiştir. Böylece x- profil yönü, y- profil artım yönü olmak üzere 100x100 m' lik bir alanda 0.5 m aralıklarla paralel konuşlandırılmış 100 m boyundaki 99 profil üzerinde GPR verileri toplanmıştır. Ölçümler için RAMAC CU II GPR sistemi ve 250 MHz kapalı anten kullanılmıştır. Her bir profilde ölçüm aralıkları 10 cm olarak alınmıştır. 20 metrelik profillerin güzergahları Şekil 9 da verilen jeolojik kesit üzerinde gösterilmiştir.

Çalışma alanından çıkarılan bloklardan, mikro kırıkları belirlemek amacıyla, belirli aralıklarla gridlenmiş ve 250 MHz kapalı sistem anten kullanılarak veri toplanmıştır. Toplanan GPR verileri IDL 5.5 programlama dili ile yazılmış GPHYZ (Daniels, 2002) programı kullanılarak düzenlenip işlenmiştir.

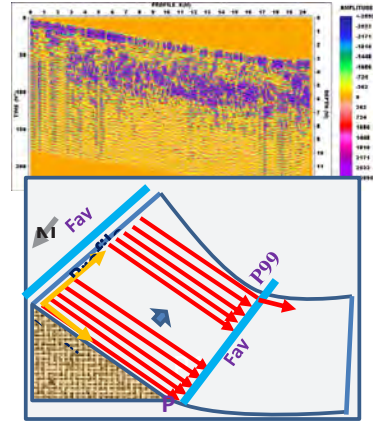
Tüm radar verilerine uygulanan başlıca veri işlem aşamaları sırasıyla aşağıdaki gibidir. Öncelikle profil başlangıç noktalarına göre ters yönde verisi toplanan profil verilerinin yönü düzeltilerek tüm profillerin yönünün aynı olması sağlanmıştır. Tüm profillere çok düşük ve çok yüksek frekanslı gürültüleri atmak için band geçişli süzgeç uygulanmıştır. Zamanla zayıflayan genlik değerlerini artırmak amacıyla lineer genlik kazanç fonksiyonu düzenlenerek süzgeçlenmiş veri üzerinde genlik kazanç işlemi yapılmıştır. Nanosaniye (ns) zaman birimi ile temsil edilen radar

kesitlerini (radagramlar) derinlik birimine dönüştürmek için gerekli olan, ortama ait elektromanyetik (EM) dalga hız analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucu mermer tabakasının ortalama EM dalga yayılım hızının 0.13 ve 0.135 m/ns arasında değiştiği gözlenmiş ve daha ağırlıklı olan 0.13 m/ns mermerin EM dalga hızı olarak alınmıştır. Bu hız değeri kullanılarak zaman eksenini derinlik eksenine dönüştürülmüştür. Şekil 9, veri-işlemi tamamlanmış 2B GPR profil kesitleri (radagramlar) sırasıyla 1, 3, 5 ve 7 nolu profilleri göstermektedir.

4.2. Verilerin 2b Ve 3b Boyutlu Görüntülenmesi

İki boyutlu (2B) birbirine paralel ve her birinin başlangıcı aynı eksen üzerinde olan GPR profil verileri sıralanarak üç boyutlu (3B) olarak görüntülenebilmektedir (Kadioğlu ve Daniels 2004, Kadioğlu 2005, Aldaş ve diğ. 2006, Kadioğlu ve diğ. 2006a, b, Kadioğlu ve Kadioğlu 2006a, b, c, Korayal ve diğ. 2006).

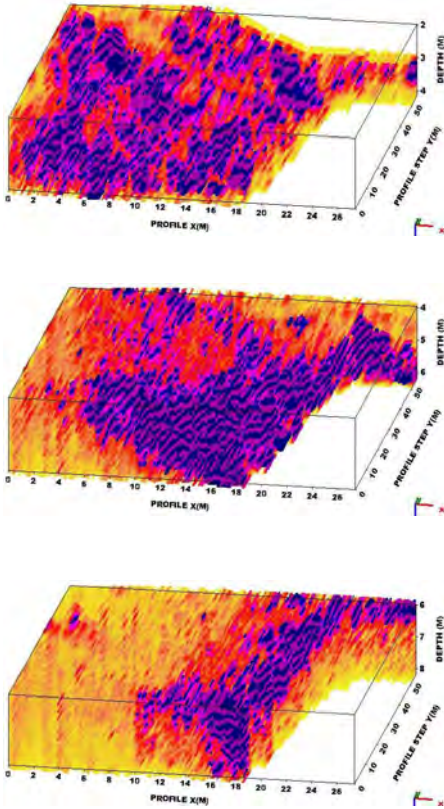
Bu görüntü ancak 3B bloğun dış yüzeylerindeki veriyi net olarak görüntüleyen, içini görüntüleyemeyen, katı blok olarak adlandırılan (Kadioğlu ve Kadioğlu 2006a, Kadioğlu ve diğ. 2006a) bir veridir.



Şekil 9. İşlenmiş 2B GPR profil kesitlerinin (radagramlar) sırasıyla önden arkaya doğru profil görüntüleri.

Ancak istenirse profil dilimleri, derinlik ve iz dilimleri ayrı ayrı görüntülenebilir. Bu görüntüleme stiliyle kısıtlı olsa 3B veri değerlendirmesi yapılabilir. Ancak 3B katı blok görüntü içinin tamamen görüntülenmesi; sade bir renk fonksiyonu ve bu renkleri aktif veya pasif hale dönüştüren uygun bir opaklık fonksiyonu işleme dahil edildiğinde mümkün olabilmektedir.

Kadioğlu ve Daniels (2002, 2004) tarafından geliştirilen ve birçok uygulamalarda kullanılan (Aldaş ve diğ. 2006, Kadioğlu 2006, Kadioğlu ve Kadioğlu 2006a, Kadioğlu ve diğ., 2006a), saydam 3B blok olarak adlandırılan bu uygulama ile aranan kırık, boşluk, metalik ve/veya metal olmayan nesnelere içeren saydam veri hacim görüntüsü elde edilebilir. Bu görüntüleme tekniği ile bölgede yapılan GPR ölçümlerinin değerlendirilmesi yapılmış ve mermer olabilecek kireçtaşı kalınlıkları 12 m den fazla olduğu ve yatay düzlemler arasındaki süreksizlikler ise 1.5 m den başlayıp 2.8 m kadar değiştiği belirlenmiştir (Şekil 10).



Şekil 10. Verilerden elde edilen ölçümlerin 3B görüntüleri, tüm profil kesitlerinin oluşturduğu farklı açıdan blok görüntüleri.

Eni 10.5 m, boyu 20.5m ve derinliği 8m olan blok üzerinde 250 MHz ile 10 cm aralıklarla 5 cm ölçüm aralığı ile enine ve boyuna toplanan GPR blok verisinin enine profilleri sıralanmış ve yine veri

özelliğine uygun opaklık fonksiyonu düzenlemesi ile 3B görüntülenmiştir (Şekil 10).

4.3. Verilerin Yorumlanması

Verilen 2B ve 3B veri bloğu görüntüleri yorumlandığında en önemli süreksizlerin çalışma bölgesinde jeolojik olarak da belirlenen kırık yapılarından kaynaklandığı gözlenmektedir. Bu süreksizliklerin yaklaşık birbirine paralel ve eğiminin yüksek olduğu gözlenmektedir. Yansıma yüzeyinin oldukça dik olması, EM dalgasının saçılma doğrultusunun yüzeydeki profil doğrultusuna göre dik doğrultuya yakın olması nedeniyle derinliğe göre kırıklardan gelen saçılma genliklerinin zayıfladığı gözlenmektedir. Bu saçılmaların kırıkların en üst yüzeyine ait olduğu düşünülmektedir (Şekil 10).

Profil 12' e göre yaklaşık 7m derinlikten, profil 19' e göre derinliği 5m' ye kadar azalan yatay ve yüksek yansıma genlikleri ile kendini gösteren geniş ve yataya yakın, 8 m den daha derinlerde genlikleri biraz daha zayıf ve yer yer eğimli süreksizlikler gözlenmiştir. Bu süreksizlikler önce çok az bir eğime sahip, geniş yatay kırıklar ve ince eğimli kırıklar olarak düşünülmüştür. Ancak bu süreksizliklerin kırıkların uzanımları arasında parçalı olması ve bu yataya yakın süreksizlik parçalarının uçlarında çok düşük saçılma genliklerinin görülmesi, bu anomaliye bir kırıktan daha çok daha yüksek hızlı başka bir birimin parçalarından oluştuğu kararlaştırılmıştır. Jeoloji ile yapılan karşılaştırmada bu süreksizliklerin jeolojik olarak kireçtaşı kayalarının karışmaya ve bozuma uğrayan bölgelerde meydana geldiği sonucuna varılmıştır.

Kırık yapılarının daha çok yüzeydeki bozunmadan meydana gelen ve derinlikleri yer yer 2-4 m' yi bulan ince kırıklar yüzeye yakın saçılma verisi olarak görülmektedir. Ayrıca bazı ölçüm profillerinde görülen yüksek genlikli düşey saçılma verisi, blok çıkarma amaçlı yapay olarak açılan delik şeklindeki boşluklardan kaynaklandığı arazi gözlemlerinden tespit edilmiştir. Tüm bu süreksizliklerin konumları ve devamlılığı Şekil 10' daki blok görüntülerde koyu renk tonları ile gösterilmiştir.

Bölgeden alınan blok verinin 3B görüntüleri (Şekil 10) yorumlandığında bloğun sağ ön ucundan sağ arka ucuna kadar sabit eğimli kırık yüzeyinden gelen saçılma verisi açıkça gözlenmektedir. Ancak profil 20 den itibaren bu kırığın derinliği artmaktadır. Bu nedenle sadece jeoloji ve petrografi gözlemlerine dayanarak açılan işletmelerde beklenmeyen olumsuz sonuçlarla karşılaşılabilir. Bu çalışmada da jeolojik ve petrografik incelemelerle gözlenmeyen çatlak ve kırık yapılarının x-y düzlemi ve derinliği

göre konumları yer radarı yöntemi ile başarılı bir şekilde belirlenmiş ve görüntülenmiştir.

5 SONUÇLAR

Mermer işletmelerinde verimlilik oranı kırık ve çatlakların yer içinde önceden belirlenemediği ve görüntülenemediği için verimlilik oranı en fazla %30 oranda görülmektedir. Bu nedenle mermer ocaklarındaki işletmelerde zaman kaybının yanı sıra önemli ölçüde maddi kayıplar da görülmektedir. Bu çalışmanın en önemli özelliği ocak açılmadan veya ocak açıldıktan sonra mermer ocağındaki yüzeyden görünmeyen kırık, boşluk, verimli mermer kalınlığı ve diğer süreksizlikler yer radarı ile 2B ve 3B görüntülenerek belirlenmesidir. Bu sayede mermer ocağının işletmesi sırasında belirlenen süreksizlikler dikkate alındığında blok kesilmeden nasıl bir blok kesileceği önceden görüntüleyerek bilmektir. Yine blok işlenmesi sırasında blok üzerinde yapılan çok yüksek frekanslı radar veri yorumlama sonucunda belirlenen kırık ve çatlaklar dikkate alınarak kesim yönünün ve aralıklarının belirlenmesi bu çalışmanın önemini artırmaktadır. Yer radarı ile belirlenen verimli mermer kalınlığı doğru anlamda rezerv hesaplamasına yardımcı olabilmektedir. Kayaların petrografik özellikleri ile birlikte GPR çalışmaları gerçekleştirildiği durumlarda mermer işletmelerinde verim önemli ölçüde artacaktır. Bu çalışmada Adıyaman Sincik civarında yapılan GPR ölçüm sonuçlarına göre mermer üretim amaçlı kullanılacak olan kireçtaşı birimleri en az 15 m kalınlık sergilediği belirlenmiştir. Bu birimim içerisinde düzensiz ve büyüklükleri en fazla 0.5m x 0.5m olan karstik boşluk içerdiği belirlenmiştir. Üç boyutlu (3B) görüntüleme teknikleri yardımı ile ilk 1.15 m derinliğe kadar 1.5-2 m sıklıkla paralele yakın çatlak sistemi içerdiği ve bu derinlikten sonra bu çatlak aralıklarının önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir. Buna göre bölgede mermer işletme ve blok verimi derinliğe bağlı olarak artabileceği görülmektedir. Elde edilen petrografik verilere göre Adıyaman Sincik bölgesindeki kireçtaşları biyosparitik bileşimindeki karbonat kayalarından oluştuğu ve içermiş olduğu rekristalize kalsitlerden dolayı bej renginin değişken renk tonlarında ve değişken dokuya sahip olacağı belirlenmiştir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma Kalkınma Bakanlığı (2012K120440) projesi kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Aldas, G.U., Kadioglu, S., and Ulugergerli, E.U., 2006. The Usage of Ground Penetrating Radar (GPR) in Designing Blast Pattern. *Rock Mechanics and Rock Engineering* Vol.39, No. 3, 281-290.
- Bano, M., Marquis, G., Niviere, B., Maurin, J.C., Cushing, M., 2000. Investigating alluvial and tectonic features with ground penetrating radar and analyzing differactions patterns, *Journal of Applied Geophysics*, 43, 3-41.
- Daniels, J. J., 2002. Updated 'GPHYZ' IDL 5.5 for GPR interpretation, <http://www.geology.ohiostate.edu/~jeff/>.
- Dannowski, G., Yaramancı, U., 1999. Estimation of water content and porosity using combined radar and geoelectric measurements, *European Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 4, 71-85.
- Davis, J.L. and Annan, A.P., 1989. Groundpenetrating radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy. *Geophysical Prospecting*, 37, 531-55.
- Grandjean, G. and Gourry, J.C., 1999. GPR data processing for 3D fracture mapping in a marble quarry (Thassos, Greece). *Journal of Applied Geophysics*, 36, 19-30.
- Grasmueck, M., 1996. 3-D ground penetrating radar applied to fracture imaging in gneiss, *Geophysics*, Vol. 61, No.4, 1050-1064.
- Grasmueck, M., Weger, R., and Horstmeyer, H., 2005. Full-resolution 3D GPR imaging. *Geophysics*, Vol. 70, No.1, K12-K19.
- Green, A., Gross, R., Holliger, K., Horstmeyer, H., Baldwin, J., 2003. Results of 3-D georadar surveying and trenching the San Andreas fault near its northern landward limit. *Tectonophysics*, 368, 7-23.
- Kadioglu, S. and Daniels, J. J., 2002. A Hybrid 2D/3D Ground Penetrating Radar (GPR) Survey of Brownfield Site Along Lake Street in Chicago, Illinois (USA), *International Conference on Earth Sciences and Electronics-2002(ICESE2002)*, Vol.2, 255-261.
- Kadioglu, S. and Daniels, J. J. 2004, Integrated 3D visualization of GPR data and EM-61 data, 13th Annual V.M. Goldschmidt Conference Copenhagen, Denmark, June 5-11. Supplement to *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Pergamon, V. 68, N. 11S, p. A468.
- Kadioglu, S. and Ulugergerli, E.U., 2004. Determination of Cavities Using Ground Penetrating Radar In Dalaman-Akköprü Dam Construction Area, The 16th International

- Geophysical Congress and Exhibition of Turkey, 7-10 December, MTA Cultural Center-Ankara, Abstract Book, 372-375.
- Kadioğlu, S., 2005. Mühendislik Jeofiziği ve Uygulamaları, Meslek İçi Eğitim ve Belgelendirme Kurs Notları-1., Bölüm 9, Yer Radarı Yöntemi, Yazarlığı sh. 275-309, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, ANKARA.
- Kadioğlu, S., Aldaş, G.U., Karpuz, C., Düzgün, Ş.B., Kadioğlu, Y.K., 2005. Taş Ocağı Seçiminde Mühendislik Disiplininin Önemi: Gölbaşı Andezitlerinde Bir Uygulama, Madencilik, Cilt 44, Sayı 3, Sh. 25-33, ISSN:0024-9416.
- Kadioğlu, S., 2006. Yer Radarı Yönteminde Genliklerin İşlenmesi: Uygulamalı Örnekler. 17th Uluslararası jeofizik Kongre ve Sergisi 14-17 Kasım, Ankara-Türkiye, CD.
- Kadioğlu, S., and Kadioğlu, Y.K., 2006a. Measuring the Thickness and Figuring out the Discontinuities of a Marble Quarry with GPR. 11th International Conference on Ground Penetrating Radar, June 19-22, 2006, Columbus-Ohio, USA.
- Kadioğlu, S., and Kadioğlu, Y.K., 2006b. Yer Radarı Yöntemi ile Bir Mermer Sahasındaki Kırıkların, Sağlam ve Bozuk Alanların Belirlenmesi. Selçuk Üniversitesi, MühendislikMimarlık Fak. Dergisi, Cilt 21, Sayı 1.
- Kadioğlu, S., and Kadioğlu, Y.K., 2006c. Yer Radarı (GPR) yöntemi ile Bir mermer Ocağındaki kalınlıkları ve Süreksizlikleri Görüntüleme. 59. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 2024 Mart 2006, MTA Kültür Sitesi, Ankara.
- Kadioğlu, S., Uluggerli, E.U., and Daniels, J. J., 2006a. 3D visualization to map cavities by GPR method: Dalaman Akkopru dam reservoir area, Mugla, southwest Turkey. 11th International Conference on Ground Penetrating Radar, June 19-22, 2006, Columbus- Ohio, USA,
- Kadioğlu, Y.K., Dilek, Y., Foland, K.A., 2006b. Slab Breakoff and Syncollisional Origin of the Late Cretaceous Magmatism in the Central Anatolian Crystalline Complex, Turkey. Geological Society of America Bulletin 409, 381-415.
- Kadioğlu, Y.K., Kadioğlu, S., Kibar, M., Bayramin İ., Erpul, G. Koralay, T., Zoroğlu, O., 2006. A new method in determination of soil horizons by Ground Penetrating Radar: Akpınar (Kırşehir) Central Anatolia. 18th International soil meeting (ISM) on "Soil Sustaining Life on Earth, Managing Soil and Technology", May 22-26, Şanlıurfa, TURKEY.
- Koralay, T., Kadioğlu, S., and Kadioğlu, Y.K., 2006. New approximation in determination of zonation boundaries of ignimbrite by ground penetrating radar: Kayseri, Central Anotalia, Turkey, Environmental Geology, DOI 10.1007/s00254-006-0581-x.
- Orlando, L., 2002. Ground penetrating radar in massive rock: A case history. European J. of Env. and Eng. Geophysics, 7, 265-279.

Combined Use of 3D Lidar Technology, Photogrammetry and Geotechnical Modelling for Stability Analysis of Marble Quarries in The Apuan Alps (Italy)

O. Pandolfi, M. Berlinghieri

Studio Pandolfi Engineering, Piazza Duomo 11, 54033 Carrara (MS), Italy

P. Oreste

DIATI, Politecnico di Torino, 10129 Torino (TO), Italy

ABSTRACT In rock engineering, three-dimensional laser scanning and photogrammetry can have multiple applications, for instance to investigate rock masses, stability or geotechnical surveys. The collected data can offer a better insight of the “virtual” rock mass and geological structures. Geotechnical surveys provide information about orientation, frequency, persistence, roughness, number of sets, and size of blocks. These can help detect kinematic instabilities and decide how to correct them to ensure workers’ safety, the long-term performance and reliability. These approaches have been applied to two marble quarries in the Apuan Alps for stability analysis.

In the first study case a rocky wall with a volume in limit equilibrium was analyzed to design the necessary rock support. In the second case, equivalent continuum and discontinuum approaches have been used to study a pillar stability in an underground quarry.

It emerged that both FDM and DEM models can be successfully used in the dimension stone quarries.

1 BACKGROUND

Carrara is at the heart of the ancient mining area where white marble has been carved by the greatest sculptors and architects since Roman times.

In this scenario, Carrara has successfully combined manual skills and state-of-the-art technology into the greatest technical advancements. [Pandolfi D. et al 1997]

This paper describes an innovative approach to stability analysis in the marble quarries of the Apuan Alps, for an optimal use of the quarried materials while increasing safety levels for people working there.

This method has been successfully used in both open-pit and underground quarries.

2 GEOGRAPHICAL AND GEOLOGICAL SETTING

The Apuan Alps (NW Tuscany) are the lowest outcrop of the Northern Apennine stack. They resulted from the originally sedimentary, then tectonic evolution of a part of the continental crust, belonging to the Adriatic Plate, involved in an accretional/collisional system during the Upper Oligocene-Lower Miocene.

Apuan marble originates from Liassic platform limestone (200-180 million years) settled over a Triassic dolomite layer; however, different layers of deposits can be found in the carbonatic platform, accounting for the wide range of varieties of Apuan marble. Then, the seabeds got deeper and deeper until a Ligurian oceanic area opened up to the west. The state of the field as a

passive edge remained virtually unchanged until approximately 30 million years ago, when, following the closing of the Ligurian ocean, it was impacted by the continental collision with the European plate, that is, the Sardinian-Corsican block, depositing flysch and sandstone which filled it up and put an end to this marine sedimentation cycle.

The structural evolution of the Apuan Unit includes two main tectono-metamorphic events (Carmignani et al. 1990). During the D1 main event, coeval to the stacking of the regional tectonic units, the major structuration takes place within the metamorphic units. During the late structuration (D2) starting from the Middle Miocene, the metamorphic complex gradually exhumed to more and more superficial structural levels. The most recent stages of the D2 deformation are connected to a poly-phase deformation that caused brittle structures to form (fault and fracture systems) (Otttria et al. 2000; Cortopassi et al. 2006). The Apuan Alps have a history of brittle deformation which makes them a homogeneous domain of “low strain”, surrounded by main faults (border faults) to the East and West, separating the Apuan Alps from the opposite tectonic depressions of Lower Lunigiana, Versilia and Garfagnana (Otttria et al. 2000). The organisation of the fault system in this structural frame is not fully evolved within the massif, with poorly interconnected and scarcely displaced structures (from metric to pluridecamic).

3 THE SURVEY

A three-dimensional survey can rely on different instruments and techniques. Every situation is different and raises different problems. The choice of the right method or technique depends on many factors, such as the type of development (open pit or underground quarry), the material, the requisite accuracy, and the budget.

3.1 Terrestrial laser scanning

A Terrestrial Laser Scanner is a topographic instrument that acquires a large amount of spatial coordinates in a short time. So, geometrical information about objects can be acquired and eventually processed at the office.

Such approach streamlines and speeds up field surveys, so complex geometries can be acquired while reducing the number of potential mistakes or oversights.

A *Topcon gls-2000* laser scanner was used for the 3D surveys of these quarries. By scanning a few dozens of metres from the walls, the point cloud turned out to be very dense and accurate. The number of scans was chosen so as to minimise any shady or hidden areas.

3.2 Photogrammetry

Modern photogrammetric techniques can process two or more photographs taken from different points, and no metric camera is required.

In this kind of photogrammetry, perspective distortions are removed by taking some measures from the surveyed objects.

More often than not, one single photograph cannot take in an entire quarry, so multiple photographs must be taken and put back together in a mosaic to see the final geometry.

The chosen method for the 3D surveys of these quarries was ground photogrammetry with a *Nikon* reflex with a fixed-focus lens on a stand, and a drone with a *Sony a*. camera.

If the survey is performed by a drone, it will show the orographic DTM of the area next to the quarry, so a life-size 3D model can eventually be put together.

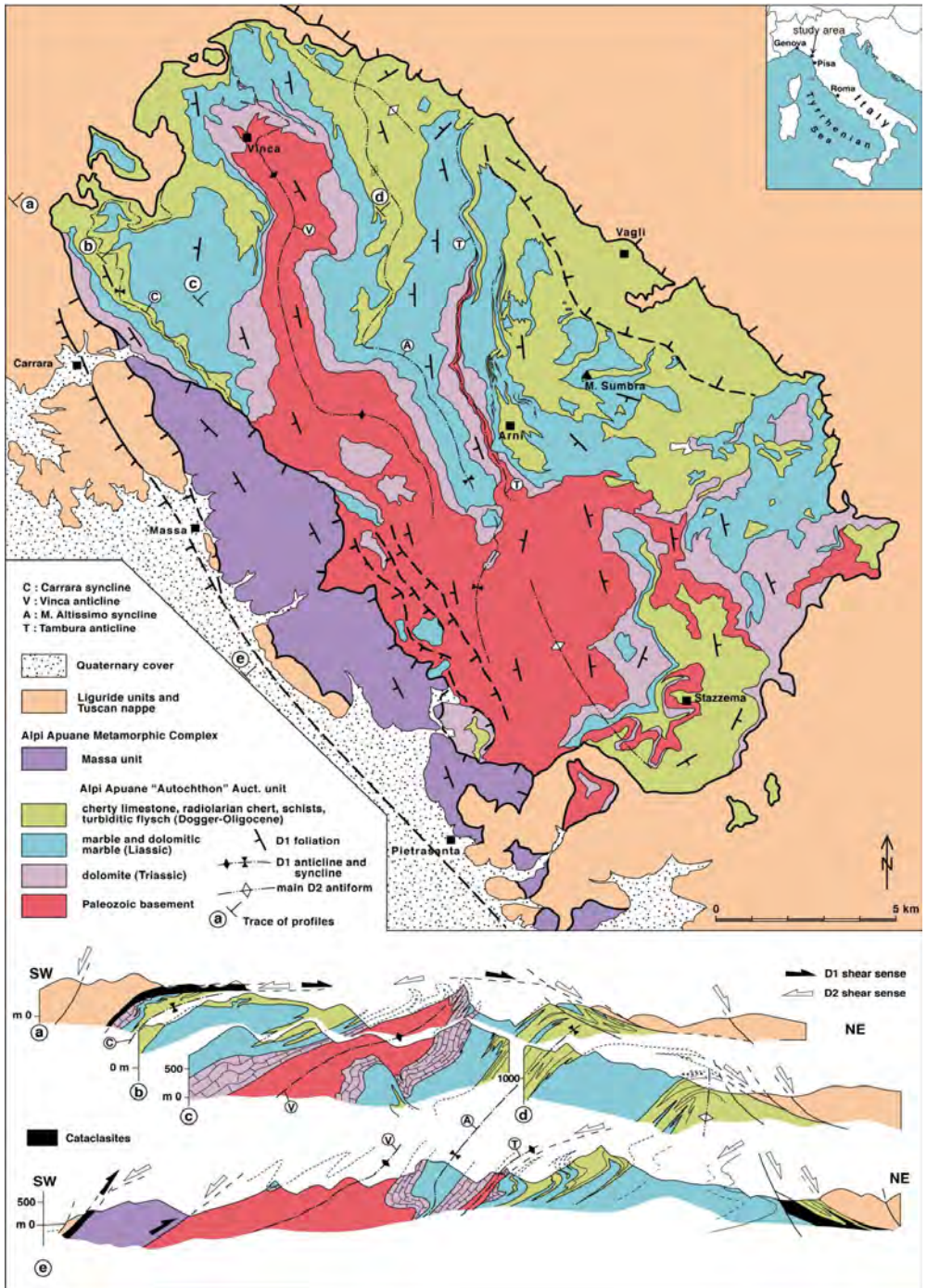


Figure 1. Geologic map of the Apuan Alps (Conti et al. 2004).

4 DATA PROCESSING

A long-range laser scanner can overcome the problem of accessing the slope that is the actual target of the geotechnical survey.

Compared with traditional surveys with electrode arrays, the advantage of remote surveys is that they can acquire and store data in a digital, visual form, so they can be used even when the shape changes as the development of the quarry goes on, e.g. a wall that is being cut.

Laser scanner and digital photogrammetry can quickly store a large number of 3D points from the surface of the rocky wall. Once processed, the point cloud delivers a three-dimensional model of the surface on which distances and angles can then be measured.

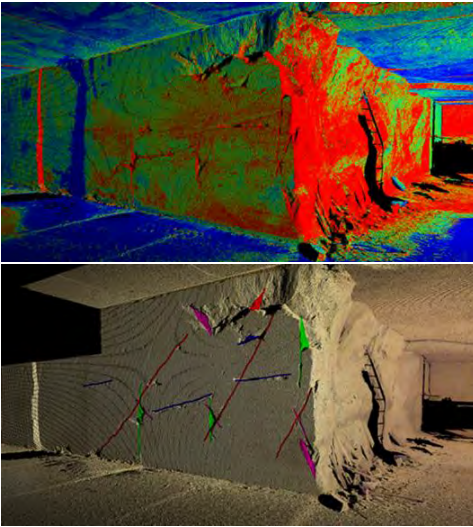


Figure 2. An example of a survey of the planes of a pillar in an underground quarry, using a laser scanner.

Once the planes have been retrieved (Gaich et al. 2004, Ferrero et al. 2007, Rotonda et al. 2007, Dewez T.J.B. et al.2016), the lay, spacing, consistency and roughness of the rocky wall can be established.

Figure 2 shows the result of such process in a pillar of an underground quarry.

Innovative laser scanners (e.g.: *Topcon GLS-2000*) can make up for the lack of photographic images, which definitely help understand what we are looking at.

4.1 Description of fractures with the DFN method

Fractures or discontinuities are often deterministically modelled, which means that they are represented in a model in which a point of transition, a plunge and an angle are then identified. Hundreds of fractures can be represented this way, but the procedure is quite gruelling.

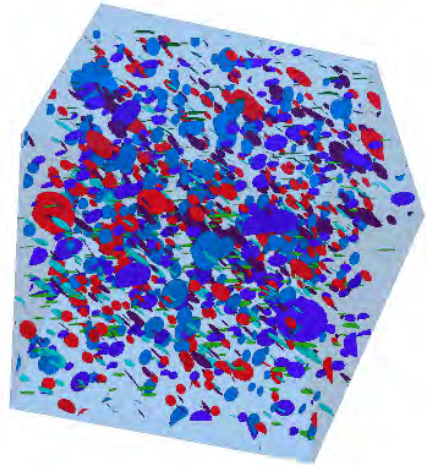


Figure 3. Statistic representation of fractures with the “Discrete Fracture Network” method (DFN).

Alternatively, fractures can be stochastically represented. In this approach, fractures are not expressly shown but generated by random inputs. *Flac3D* and *3DEC* software (Itasca Software) can be used for a statistical discretisation of fractures with the “Discrete Fracture Network” method (DFN).

Figure 3 shows an example of a representation of the fractures of a rocky mass using the “Discrete Fracture Network” method. [Elmo D. et al. 2016]

5 3D MODEL CREATION

When performing surveys with the *JRC 3D Reconstructor*® software (Gexcel Software), data are preliminarily “purged” of any unnecessary information, then the survey is processed by *Rinoceros*™ (McNeel Software) into a NURBS surface.

Properly angled and geo-referenced, the 3D model of the quarry is integrated with the orographic DTM of the area from the drone’s photogrammetry.

The *Griddle*™ software (Itasca Software) is then used to discretise the problem, by outlining a mesh of nodes and elements.

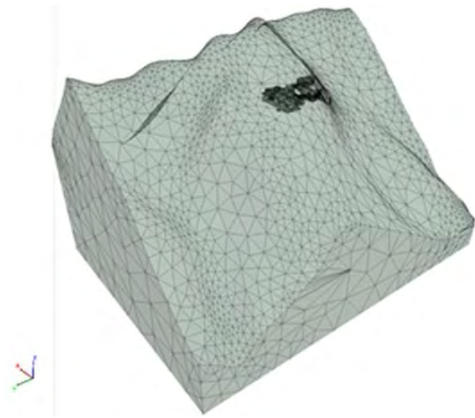


Figure 4. Example of a discretised 3D model of an underground quarry (Berlingieri M. 2017).

The purpose of discretisation is to produce a discrete model with a finite number of degrees of freedom. A thicker mesh is normally used in areas where deep tensile gradients are expected. [Vanneschi C. et al 2014]

6 3D NUMERICAL ANALYSIS

Numerical analysis focuses on tensile strength and consists in establishing stresses and strains in the rocky mass, due to specific changes in natural stress, and comparing them with the strength and deformability of the rocky mass, to find incompatible areas. Numerical methods, normally used in

geotechnical engineering, can be grouped in two categories:

- methods based on the discretisation of the boundary (Boundary Element Method);
- methods based on the discretisation of the volume (Finite Element Method; Finite Difference Method; Discrete Element Method).

Such methods may apply to two-dimensional as well as three-dimensional analyses. The advantage of three-dimensional modelling is that it shows the actual size of the area, while two-dimensional modelling provides a sketchy picture of such area.

6.1 Calculus Models

The choice of Calculus Model involves a simplification of the engineering problem, compared with the actual situation.

Usually, for rocky masses, a distinction is made between equivalent continuum and discontinuum models, based on the structure of the rocky mass and the features of its lithotypes. [Barla G. et al. 2000, Barla M. 2011]

Namely, there are three different approaches to the medium:

- Continuum model: the domain is assumed to behave like a continuous medium;
- Discontinuum model: the domain is assumed to consist of a bed of intact rock and local fractures;
- Equivalent continuum model: the discontinuous medium is replaced with a continuous one whose behaviour is the same as that of the real medium.

7 CASE STUDY 1

The wall is on the left of the entrance to an important underground quarry in Massa, where an unsteady part of a rock, approximately 75 cube metres in volume, has been found.

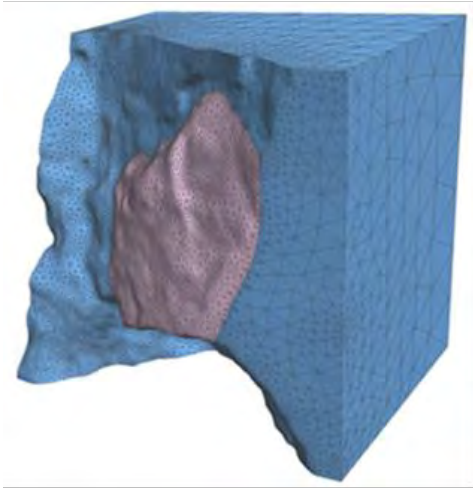


Figure 5. Geometrical representation of the unsteady portion of the rock.

Because of the kinematic features of the fractures and the structure of the mass, the chosen static survey was a three-dimensional one.

FDM analysis, using *Flac3D* (Itasca Software), was used.

Table 1. Deformability and strength of the rocky mass.

E (GPa)	γ (kN/m ³)	ν (-)	ϕ (°)	c (MPa)	σ_t (MPa)
50.0	27.0	0.3	52.5	2.4	1.6

The initial tensile state chosen for the model was the same as the lithostatic one, and the coefficient of earth pressure at rest or k was set at 0.5, in both horizontal directions.

The rock mass containing the unsteady portion of rock was simulated as a perfectly plastic, elastic linear consistent, isotropic medium with a Mohr-Coulomb equation, deformability and strength as listed in Table 1.

The model was adjusted by a number of parametric analyses in the attempt to understand and investigate the slip plane, simulated as an interface.

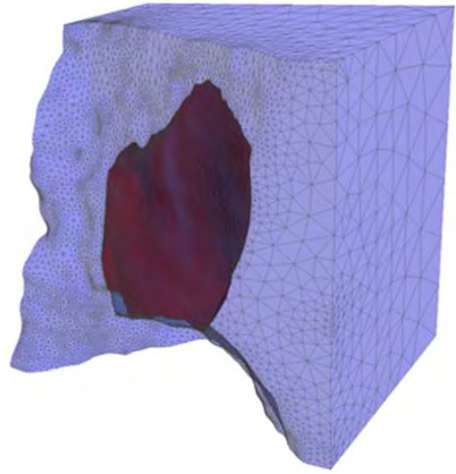


Figure 6. Geometrical representation of the slip plane of the rocky portion.

A back-analysis process helped adjust the shear strength and the normal strength of the slip plane until the result was as similar as possible to the real one. Such measures are listed in Table 2.

Table 2. Deformability and strength of the slip plane.

k_n (GPa/m)	k_s (GPa/m)	ϕ_r (°)	c_r (MPa)	σ_{tr} (MPa)
200	200	20.0	0	0

The so-called Strength Reduction Method (SRM), which is particularly relevant to engineering as an alternative to LEM for measuring the factor of safety of a slope, was used here (Zienkiewicz et al. 1975).

The numerical analysis in a static state found a factor of safety of 0.95, which rose up to 3.01 after fitting in 5 passive bolts.

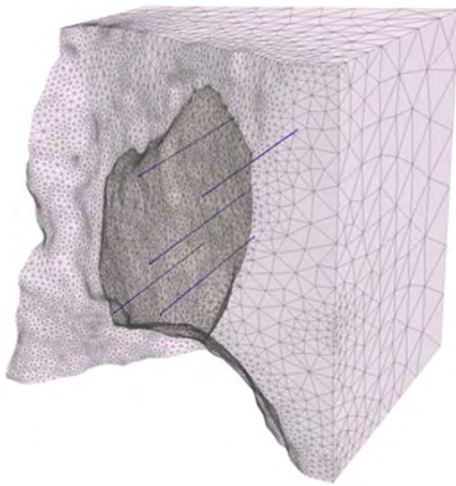


Figure 7. Cables installed in the unsteady portion of rock.

Passive rockbolts were simulated as cables, with an elastic linear behaviour in the steel section and max strength in the cement mortar, with deformability and strength as listed in Table 3.

Table 3. Geometry, deformability and strength of passive bolts and grout.

E (GPa)	Φ (mm)	F_{yk} (MN)	Per_{gr} (mm)	K_{gr} (GPa)	ϕ_{gr} (°)
233.3	40.0	0.628	251.3	30.9	38

To sum up, this case study focussed on some innovative dimensions of FDM modelling, such as the SRM method based on fracture-planes and structural elements. [Migliazza M.R. et al. 2017, Oreste P. et al. 1998, Pelizza S. et al. 2006]

8 CASE STUDY 2

The pillar is located in an important underground quarry in Massa, where the level of the underground excavation is due to be raised from 12 to 20 metres.

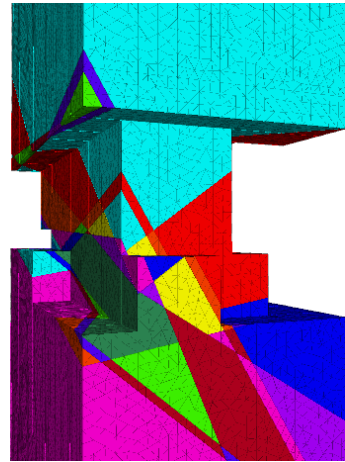


Figure 8. Geometrical representation of the pillar (Berlingieri M. 2017).

Because of the kinematic features of the fracturing and the structure of the mass, the chosen static survey was a three-dimensional one. [Alejano L.R. et al. 2017]

DEM analysis, using *3Dec* (Itasca Software), was used.

The initial tensile state of the model was calculated by adding tectonic stress to lithostatic stress, with a coefficient of earth pressure at rest or k of 0.3.

A distinctive feature in the modelling of the discontinuum is that mechanical features need to be identified for both the rocky mass and the fractures.

The rocky mass containing the unsteady portion of rock was simulated as a perfectly plastic, elastic linear consistent, isotropic medium with a Mohr-Coulomb equation, deformability and strength as listed in Table 4.

Table 4. Deformability and strength of the rocky mass.

E (GPa)	γ (kN/m ³)	ν (-)	ϕ (°)	c (MPa)	σ_t (MPa)
48.0	27.0	0.25	52.5	2.4	1.6

Fractures were added to the model by including the dip, slope and a known point.

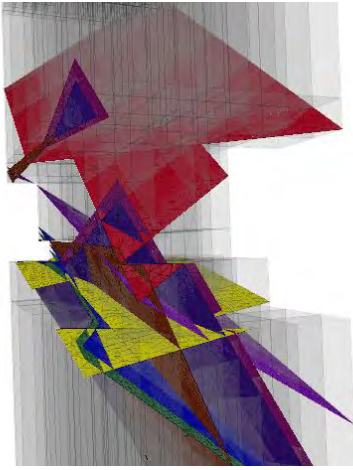


Figure 9. Geometrical representation of the fracturing planes inside the pillar (Berlinghieri M. 2017).

A back-analysis process helped adjust the shear strength and the normal strength of the slip plane until the result was as similar as possible to the real one. Such measures are listed in Table 5.

Table 5. Deformability and strength of the natural fractures in the rocky mass.

k_n (GPa/m)	k_s (GPa/m)	φ_r (°)	c_r (MPa)	σ_{tr} (MPa)
45	20	20.0	0	0

To find the local factor of safety, two *Fish* functions (Itasca scripting language) were developed in each element of the mesh.

Then, the shifts of each block from the fracture-planes and the shifted masses were analysed to choose the right size braces.

To sum up, this case study focussed on the DEM modelling of a pillar to thoroughly investigate its stability, potential kinematics and potential changes in the factor of safety as the development of the quarry goes on. [Calveti F. 2012, Ferrero A.M. et al 2004, Gulli D. et al. 2015]

9 CONCLUSIONS

This article describes a working method whereby the latest technology, such as terrestrial laser scanner and 3D numerical modelling, are used.

The option to use sophisticated behavioural models of a geo-mechanical medium makes the results more accurate; however, the rocky mass needs to be more accurately defined.

This paper focussed on some dimensions of FDM and DEM modelling, such as the lay and spacing of the fractures, as well as the scale at which the problem is investigated. Factors that must definitely be reflected in the choice of the most suitable modelling technique to address a problem.

10 LEGEND

Symbol (unit of measure)	Description
E (GPa)	Young's modulus
k_n (GPa/m)	joint normal stiffness
k_s (GPa/m)	joint shear stiffness
φ (°)	internal angle of friction
φ_r (°)	residual friction angle
c (MPa)	cohesion
c_r (MPa)	residual cohesion
σ_t (MPa)	tensile strength
σ_{tr} (MPa)	residual tensile strength
γ (kN/m ³)	density
ν (-)	Poisson coefficient
Φ (mm)	steel bar nominal diameter
F_{yk} (MN)	steel bar tensile yield strength
Per_{gr} (mm)	grout exposed perimeter
K_{gr} (GPa)	grout stiffness per unit length
φ_{gr} (°)	grout friction angle

11 REFERENCES

- Alejano LR, Quinones J., Castro-Filgueira U., 2017. Multi-approach back analysis in room and pillar mining: two case studies. *XVI Ciclo di conferenze di meccanica delle rocce*. pp. 117-136
- Barla G., Barla M., 2000. Continuum and discontinuum modelling in tunnel engineering. *Rudarsko-geolosko-naftni Zagreb*. Vol.12 pp. 45-57
- Barla M., 2011. *Elementi di Meccanica e Ingegneria delle rocce*. Celid, Torino 305 p.
- Berlinghieri M., 2017. Analisi della stabilità in sotterraneo di una cava di marmo, mediante

- modellazione numerica. *Tesi di Laurea Magistrale, Torino* 214 p.
- Calvetti F., 2012. Analisi agli elementi distinti per gli ammassi rocciosi. *XIV Ciclo di conferenze di meccanica delle rocce*. pp. 179-192
- Carmignani L., Kligfield R., 1990. Crustal extension in the Northern Apennines: the transition from compression to extension in the Alpi Apuane core complex. *Tectonics*, Vol. 9 pp. 1275-1303
- Conti P., Carmignani L., Giglia G., Meccheri M., Fantozzi P.L., 2004. Evolution of geological interpretations in the Alpi Apuane metamorphic complex, and their relevance for the geology of the northern apennines. "Regione Toscana" Project of *Geological Mapping, Geological Survey of Tuscan Region*, Florence. pp. 241-262
- Cortopassi P., D'Amato Avanzi G., Guidotti M. Marconi C., Milano P.F., Mussi M., Puccinelli A., 2006. Approccio multidisciplinare per la valutazione della pericolosità da frana: indagini geologico-tecniche, idrogeologiche, geochimiche e isotopiche per la determinazione degli aspetti idrici sotterranei nella frana di Cassana in Val di Magra (Massa Carrara, Italia). *Giornale di Geologia Applicata*, Vol 3 pp. 196
- Dewez T.J.B., Girardeau-Montaut D., Allanic C., Rohmer J., 2016. Facets: a cloudcompare plugin to extract geological planes from unstructured 3d point clouds. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol XL1-B5 pp. 799-804
- Elmo D., Rogers S., Sted D., 2014. Eberhardt E. Discrete Fracture Network approach to characterize rock mass fragmentation and implications for geomechanical upscaling. *Mining Technology*, Vol 123 pp. 149-161
- Ferrero AM., Migliazza MR., Giani GP., 2004. Analysis of the stability condition of tunnels: comparison between continuous and discontinuous approaches. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, Vol. 41 pp. 646-651
- Ferrero AM., Godio A., Sambuelli L., Voyat H., 2007. Geophysical and Geomechanical Investigations Applied to the Rock Mass Characterisation for Distinct Element Modelling. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, Vol. 40 pp. 603-622
- Gaich A., Potsch M., Fasching A., Schubert W., 2004. Contact-free measurement of rock mass structures using the JointMetrix3D System. *Proceedings of SINROCK 2004 Symposium, China*, Paper 1B 18
- Gulli D., Pellegrini M., Marchetti D., 2015. Mechanical behaviour of Carrara marble rock mass related to geo-structural conditions and in-situ stress. *Integrating Innovation of Rock Mechanics*. pp. 253-260
- Itasca Consulting Group Inc., 2013. *3DEC 3 Dimensional Distinct Element Code*.
- Itasca Consulting Group Inc., 2012. *FLAC3D Fast Lagrangian Analysis of Continua in 3 Dimensions*.
- Migliazza MR., Oreste P., 2017. Innovazione nella modellazione numerica di scavi sotterranei civili: il caso della galleria del Brennero. *XVI Ciclo di conferenze di meccanica delle rocce*. pp 97-116
- Oreste P., Peila D., 1998. Cava Madre di Candoglia: Back-Analysis della Caverna per l'estensione della Coltivazione Mineraria. *GEAM Geoingegneria Ambientale e Mineraria*. pp. 115-121
- Ottria G., Molli G., 2000. Superimposed brittle structures in the late orogenic extension of the northern Apennine: results from Carrara area (Alpi Apuane, NW Tuscany). *Terra Nova*, Vol 12 pp. 1-8
- Pandolfi D., Pandolfi O., 1997. *La Cava II*. Editrice Zappa, Sarzana. p. 765
- Pelizza S., Oggeri C., Oreste P., Peila D., 2006. The Candoglia quarry: the stability of the large room and the enlargement of the recoverable marble rock body. *Mine Planning and Equipment Selection*. pp. 723-730
- Rotonda T., Marsella M., Lizzadro L., Ricca A., 2007. Analysis of laser scanner data collected during a survey of faces in a rock quarry. *11th Int. Congr. on Rock Mechanics, Lisbon*. pp. 4
- Vanneschi C., Salvini R., Massa G., Riccucci S., Borsani A., 2014. Geological 3D modeling for excavation activity in an underground marble quarry in the Apuan Alps (Italy). *Computers & Geosciences*. Vol. 69 pp. 41-54
- Zienkiewicz O.C., Humpheson C., Lewis, R.W., 1975. Associated and non-associated viscoplasticity and plasticity in soil mechanics. *Géotechnique*. Vol. 25 pp. 671-689

Strategic Matrix Model In Stone Quarries

O. Pandolfi, A. Potenza, M.F. Pop
Studio di Ingegneria Pandolfi, Carrara (MS), Italia

ABSTRACT The main issue in the development of a Safety Management System (SMS) in compliance with the *BS OHSAS 18001:2007* in the dimensional stone industry lies in the very nature of quarry development, a form of mining art in which experience and implicit expertise add value to the practical application of explicit expertise. The local evolutionary patterns and a network of expertise have an impact on the application of the development techniques, machinery, and on the safe management thereof. The focus is on analyzing the working cycle, which is key to designing a System and locating the resources, responsibilities, risks and goals of each single process. The distinctiveness of the application of a SMS to quarrying and the importance of the training provided to the quarrying operators are thoroughly described as to a specific process, the cutting of the blocks off the mountain, which is reviewed in multiple scenarios.

1 BACKGROUND

A stone quarry is a complex, dynamic environment, where the workspace is equipped with facilities and infrastructure, where production interacts with the natural surroundings.

It is a self-referenced productive ecosystem that grows in steps, that is bound to technical, environmental, landscape, hydrogeological as well as economic, social and cultural constraints.

A stone quarry is developed in a wide range of fields: if the development is properly set up since the start, the quarry site will have a long-term strategic horizon.

A constant improvement of the quarry and its processes adheres to specific development plans that try to maximize the output of blocks, half-blocks and shapeless materials, while minimizing the production of detritus, a cheap by-product that is worth

far less than the stone used to make slabs, shims, floors and panels.

The development methods depend on demand. To make the most of the quarried material, the blocks must be prepared so that they have the right features, that is, even colors and consistent batches, with as few flaws as possible. Then, such features need to stay unchanged in the long term, at least in the consistent supplies that will be used in major projects (Fornaro et al., 2001).

To achieve such result, the people in charge of each process must constantly interact with each other, endlessly sharing ideas and information within the company as a 'system'.

It is very important that the variability of the field be perfectly understood by the technical staff as well as by the financial, economic and sales staff, as it may affect the development of the quarry, and the value and quantity of the quarried material.

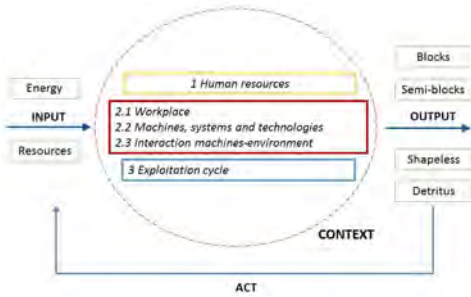


Figure 1: Production factors in a quarry

It is therefore a complex, chaotic system that, because of such variability, cannot be addressed by linear or deterministic models that merely correlate the timing and volumes of the quarried materials (Hidalgo, 2015).

The polynomial model used to analyze production and its factors, though more correct, does not completely solve all the problems and is not too accurate, especially in the long term.

It is essential, therefore, to gain a better insight of the variables that affect the volumes of product, process quality and safety, by implementing risk-analysis models, both quantitatively and qualitatively.

If properly implemented, the process-driven and risk-analysis approach described by the *UNI EN ISO 9001:2015* standard can more accurately dispel such uncertainties.

After the strategic analysis of the quarry, there are areas that fall within the remit of the management and can be adapted to such approach.

Of course, based on such assumptions, it is essential to implement a risk-assessment management system, and therefore a matrix system, not least to address problems in the development of the quarry, which are currently investigated with traditional mining methods (Gigante, 2016).

2 CASE HISTORY

2.1 The context

The author has developed a number of *BS OHSAS 18001:2007*-compliant Safety

Management Systems in several Italian and international quarries.

In particular, by looking at the results of the scheduled reviews and their indicators, and focusing on the results of the personnel's lifelong training, the need was felt to deeply adapt the system to each geographical area, even in cultural and social terms.

A mere technology and knowledge transfer that does not adapt to the local conditions will certainly fail to create a local network, as the catalyst of virtuous, self-sustainable development.

As a completion of the technology transfer methods launched in the stone industry since the Eighties, the concept of management in partnership with the working communities proved to be a winner (Pandolfi, 1997).

In our sample, the Standard Systemic Model and the risk-management factors were blended into the so-called Strategic Matrix Model.

The purpose of the Strategic Matrix Model is to upgrade planning in the development of a stone field, and monitor it (PDCA), to attract the historical trajectory of the chaotic quarry-market 'system', while minimizing workplace, economic, environmental and other risks.

The Strategic Matrix Model is being implemented in the budding stone culture of Kosovo, where lots of quarries and mills have been opened in the last few years (a few dozens from a medium/long-term perspective), thus creating a local culture in which Italian and British expertise integrate with and support each other.

Basically, this involved:

1. Locating the field;
2. Organizing the factors of production;
3. Drawing up a strategic development plan based on the Strategic Matrix Model;
4. Using the methods of empowerment and communities of practice in the management and development of explicit and tacit knowledge, with a focus on safety, managed by systemic models.

2.2 The Strategic Matrix Model

The Strategic Matrix Model involves the assessment of potential changes in a field in connection with the market, the factors of production, the social and cultural context and its relations with the international stone industry.

Such model is extremely versatile in its application: each part of the quarry-market 'system' can be investigated through a matrix-style approach in vector space, using coordinated, proactive risk analysis in the attempt to improve the situation.

To sidestep the inherent limits of linear Breakeven Point models or dynamic polynomial forecasts, using the Strategic Matrix Model involves a parallel assessment of multiple parameters, so that the risk analysis can cover all of the processes and merge all quantitative and qualitative dimensions.

The risks assessed by such Model concern several areas that affect the management of a quarry: the field itself, the development method, the environment, safety, and the market.

Risks associated with the field include, for instance, the quantity, the evenness of color and texture, and the massiveness of the material. Specific ranges can be laid down for each element.

The most important risk assessments cover the development methods, which include all factors of production, i.e. human resources, machinery and operating procedures.

Market risks are instead identified and managed by the company's marketing and sales departments in consultation with the production departments, and can be extremely changeable depending on seasonal demand.

Lastly, environmental and safety issues are kept under control by *UNI EN ISO 14001:2015* and *BS OHSAS 18001:2007*-compliant management systems, through an integrated approach that tends to improve the operational and business processes as a whole.

Once such risk factors have been identified and assessed, the next step to keep the system under control is establishing specific indicators (KPI) for the process goals, which must be measurable, achievable and realistic.

From an ISO-inspired systemic perspective, the people in charge, the timeline and some constant monitoring methods must be established.

2.3 A process-driven approach

Such a complex system as the Strategic Matrix Model can only be properly applied if the management system is based on steps, as in the Deming cycle (Plan-Do-Check-Act), with a view to continuous improvement and the pursuit of such corporate goals.

Such Model includes management systems that can be mutually integrated and are described in *UNI EN ISO 9001:2015* as to Quality Management, in *UNI EN ISO 14001:2015* as to Environmental Management, and in *BS OHSAS 18001:2007* as to workplace health and safety, their records aligned in the High Level Structure (Gigante, 2016).

The application of the 'community of practice' principles to the quarry 'system' resulted in a continuous mutual communication flow, with skilled technicians and operators cooperating with each other.

The operating processes we surveyed are listed in the chart and are split into:

- *Primary processes*, which consist in creating a product from something else;
- *Secondary processes*, taking place at the quarry, which are not directly involved in the processing of a product but are essential to make the processes more effective and efficient;
- *Organizational processes*, taking place at the office, which consist in the running of the business and dealing with third-party stakeholders.

2.4 Tacit and Explicit Knowledge

Of course, in the Strategic Matrix Model, KPIs and variables can be managed according to the *BS OHSAS 18001:2007* standard in terms of safety.

In the enforcement of the standard, emphasis has been placed on those areas in which the tacit and explicit knowledge of the human resources could be traced down to a local context and local qualities.

Somehow, the System must adapt to the local culture by blending the two forms of knowledge, the tacit one, based on experience, and the explicit one, resulting from technical-scientific knowledge, harmoniously into one and make the most of them (Polanyi, 1966).

It is essential, therefore, that tacit and explicit knowledge be combined together to evolve the mining art into a cooperative scenario.

If properly applied, such paradigm can successfully transfer the quarry-development technology and culture while reducing the risks of transferring skills and nuggets of knowledge in a noncritical globalization.

Such approach must be driven by motivation and awareness, provided by an authoritative leadership, in which the businessman plays a key role, spreading the so-called culture of safety and of proper quarrying, at all corporate levels.

At the same time, great efforts need to be made in communication and training, to make the staff aware of how useful such system is and how important prevention and planning are, and to make them feel responsible for their roles.

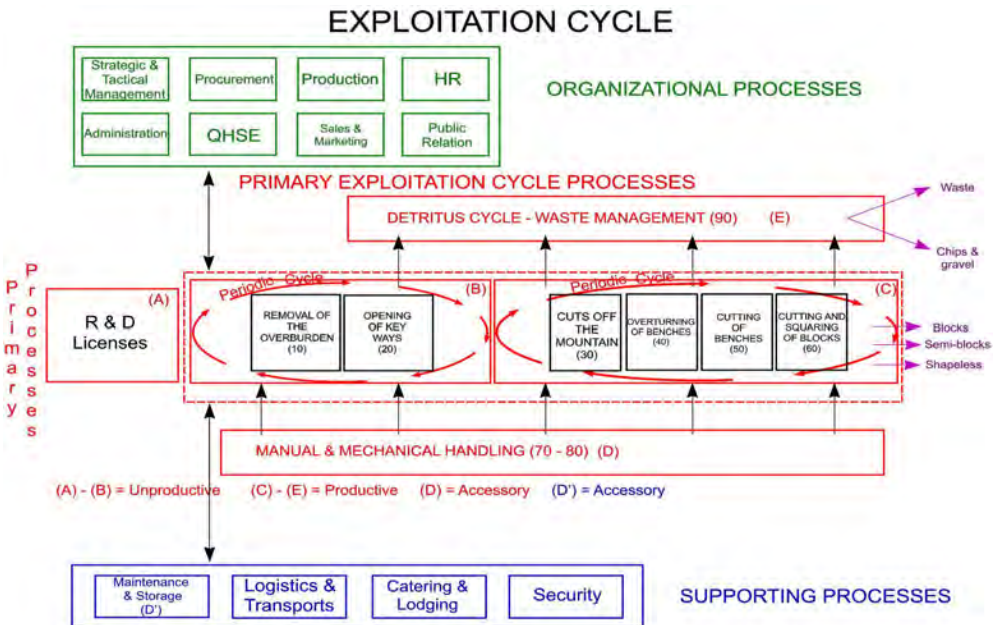


Figure 2: Exploitation Cycle

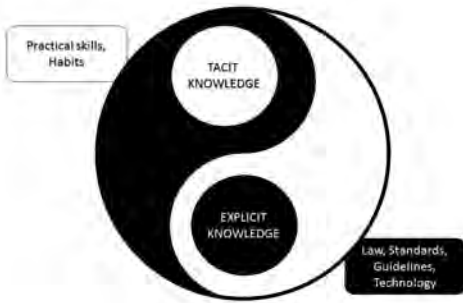


Figure 3: Tacit and Explicit Knowledge

As to the staff, the greatest criticality lay in the adoption of time-honored wrong practices: such issue can be addressed through constant mutual dialogue and the implementation of new, shared procedures.

As well as being most careful about one's human resources, one should understand that a quarry is a very special workplace, as it naturally changes every day: that's why, a quarry's production and safety need to be constantly monitored and regularly reviewed.

Depending on the evolution of the site, nonstandard development techniques may have to be used.

As described in this section, the right balance between explicit and tacit knowledge will associate the good management of the field with extremely valuable nuggets of knowledge.

Communities of practice and empowerment

The so-called communities of practice have been introduced while developing shared, cooperative processes.

The community of practice set up within the quarry 'system', in which the person in charge of the management system acts as the group facilitator, made the exchange of information easier and helped adapt to the new working methods.

The so-called communities of practice are groups of people in a local community who constantly interact to improve their

knowledge as well as their professional and creative skills.

They are volunteer groups who share a passion and the benefit that comes from it, bonded by equal relations and mutual support (Wenger, 1991).

The stone and its development become the strong motivational connection that bonds and motivates people.

Knowledge is jointly created by the operators and the technicians, as they constantly interact and share ideas, challenges and solutions.

So, this makes them more capable of reorganizing themselves in a flexible, proactive manner, based on continuous improvement and constructivism, through coordinated, cooperative processes.

2.5 Knowledge management in a community of practice

In a quarry as a system rooted in its geographical and cultural context, empowerment theories can be enacted, whereby a constant mutual exchange of information and sharing of knowledge is essential to create a conscious, evolved, and deeply-rooted local community of stone.

Empowerment, as defined by Francesco di Castri, a philosopher of development, is a lifelong process whereby an individual, a community, a region or a country gain knowledge and deliberately learn how to shape it to make it consistent with their aspirations, their identity, their natural and cultural heritage, their historical course and their development, and know how to freely convey it, even from a distance, to individuals and populations who share their aspirations (Di Castri, 2005).

Access to information and knowledge means the triptych of receiving it, elaborating on it, and conveying it. It is a highly dynamic, interactive process and the culture of stone has developed and refined through the centuries, being the core of a network of skills, which are strengthened and enhanced through the members' cooperation in local communities of practice

involving a mixture of tacit and explicit knowledge (Sedita, Paiola, 2009).

3 CASE STUDY

In the fields on the Apuan Alps, cutting marble off the mountain is particularly complicated because of the alpine nature of the quarries, because there are substantial sets of fractures, and because of productive requirements being dependent on a vary changeable market, where the levels of output can change quite dramatically.

A joint committee chaired by the Regional Authorities of Tuscany and the Local Health Unit USL Nord Ovest worked out a far-ranging, accurate guideline, “Schema di procedura unificata Taglio al monte - Linee di indirizzo” (M. Pellegrini et al., 2017).

This is the first time a document officially and clearly states how the Site Manager and the Quarry Master must relate to each other.

Under Italian Act no. 624/96, the Site Manager is a person with specific qualifications (an engineer, a geologist or a mining engineer) who is appointed by the Employer and has the greatest technical responsibility for the quarry’s safety.

The Quarry Master is, instead, a skilled worker who is responsible for production and for the planning of the quarry’s operations, who can work unsupervised insofar as he complies with the strategies

and directions provided by the owner, the engineer and the Site Manager.

Of course, in this process, the two professionals, who have different skills, theoretical the former, practical the latter, need to interact.

They interact first in the strategic planning, when the general direction of the cut and the progress of the quarry-development plan in terms of safety are established.

In the planning of the quarry’s operations, the Quarry Master consults the Site Manager, especially when something unusual or unplanned occurs.

The implementation of such procedure has been further improved by the introduction of the communities of practice, through specific tools, such as the toolbox talks, in the attempt to crystallize and share knowledge locally for everyone’s benefit.

The staff, the Quarry Master, the Supervisor and the Site Manager meet once a month: such meetings are an opportunity for a constructive exchange of opinions so as to increase the safety standards by sharing experiences.

4 CONCLUSIONS

In this project, we tested knowledge transfer within a community of practice, based on the planning system of the Standard Matrix Model.

The first few surveys we purposefully conducted on one of the most critical processes, i.e. cutting the blocks off the mountain, showed that the staff responded well, in terms of risk awareness and in their motivation to have a constructive exchange of ideas.

When assigning roles, the roles and responsibilities of the Quarry Master must be clearly established, as this is a key profession in any quarry but is not quite legally regulated yet.

That’s why ANIM, the Italian Association of Mining Engineering, is engaged in a joint committee in the attempt to achieve an accurate professional definition of such job.

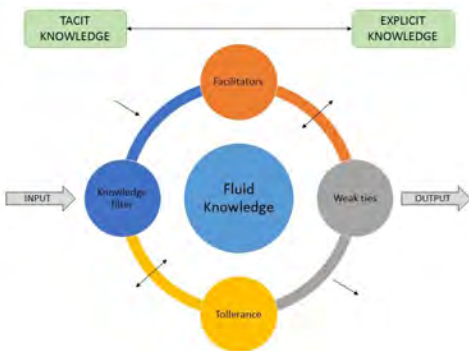


Figure 4: Knowledge model in a community of practice

An approach based on Systemic Risk Analysis to the design, planning and scheduling of the quarry operations might be beneficial to the development process.

REFERENCES

- British Standard Institute, 2007, *BS OHSAS 18001:2007 Occupational Health and Safety Management*, BSI, UK.
- Di Castri, F., Nereo Rotelli, M., Pandolfi, O., 2005, *Empowerment. Da Rapa Nui, l'ombelico della terra, a ovunque nel mondo*, Fondazione Mare Nostrum, Italy.
- Fornaro, M., Lovera, E., Sacerdote, I., 2001, *La coltivazione delle cave ed il recupero ambientale, vol.II, Estrazione di materiale per usi industriali e pietre ornamentali*, Politeko Edizioni, Italy.
- Gigante, N., 2016, *UNI EN ISO 9001:2015 Struttura di Alto Livello e ISO 9001:2015, Quaderno 1 of "I quaderni della qualità"*, UNI, Milano (Italy).
- Gigante, N., 2016, *UNI EN ISO 9001:2015 Risk based Thinking, Quaderno 3 of "I quaderni della qualità"*, UNI, Milano (Italy).
- Gigante, N., 2016, *UNI EN ISO 9001:2015 L'approccio per processi, Quaderno 4 of "I quaderni della qualità"*, UNI, Milano (Italy).
- Hidalgo, C. A., 2015, *Why information grows: The Evolution of Order, from Atoms to Economies*, Allen Lane, UK.
- Pandolfi, D., Pandolfi, O., 1997, *La Cava II*, Editrice Zappa, Sarzana (Italy).
- Pellegrini M. et al., 2017, *Schema di procedura unificata Taglio al Monte – Linee di indirizzo*, Azienda USL Toscana Nord-Ovest, Giunta Regionale Regione Toscana, Italy.
- Polanyi, M., 1966, *The Tacit Dimension*, Routledge and Kegan Paul, London (UK).
- Sedita, S. R., Paiola, M., 2009, *Il Management della Creatività – Reti, comunità e territori*, Carocci Editore, Italy.
- UNI – Ente italiano di normazione, 2015, *UNI EN ISO 9001:2015 Quality Management Systems – Requirements*, UNI, Italy.
- UNI – Ente italiano di normazione, 2015, *UNI EN ISO 14001:2015 Environmental Management Systems – Requirements with guidance for use*, UNI, Italy.
- Wenger, E., 1998, *Communities of practice. Language, Meaning, Identity*, Cambridge University Press, Cambridge (UK).

Mermer Ocağı İşletme Planlamasında Üretim Kapasitesinin Birim Maliyete Etkisinin Araştırılması

Investigation of Effect of Production Capacity at Unit Cost in Marble Quarry Planning

T. Mallı

Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir

ÖZET Dünya doğaltaş ve mermer ticaretinin yaklaşık % 10'unu gerçekleştiren Türkiye mermer sektörü, toplam ihracat değerinin %1.27'lik bölümünü oluşturmaktadır. Küresel düşük performanslı büyüme ortamında mermer piyasasında rekabetçi düzeyde faaliyetlerini sürdüren mermer işletmeleri, diğer yandan ekonomik ve teknik kısıtların da yoğun etkisindedir. Bu zorlukların aşılabilmesi, mermer sektörde sağlanan güçlü büyümenin sürdürülebilirliği, işletmelerinin rekabete uygun maliyetli üretimler gerçekleştirebilmesine dayalıdır. Bu nedenle, işletmelerde birim üretim maliyetlerin düşürülmesine yönelik realiteye uygun ekonomik faktörlerin işletme parametreleri ile optimizasyonu gerekmektedir. Böylelikle, ülke ekonomisine önemli katkı sağlayan mermer sektörü ve rezervlerin rasyonel değerlendirilip maksimum ekonomik faydanın artırılması gerçekleştirilebilir.

Bu çalışmada, mermer ocaklarına ilişkin değişen işletme kapasitelerinin birim blok mermer üretim maliyetlerine etkisi araştırılmakta ve ideal işletme kapasitesi belirlenmeye çalışılmaktadır.

ABSTRACT Turkey marble sector, accounting for approximately 10% in World natural stone and marble trade, constitutes 1.27% of total export value. Active marble enterprises in Turkey, which has a production share that have realized most of the global marble and natural stone production, are heavily influenced by economic and technical constraints. These challenges can be overcome, the sustainability of strong growth in the sector requires marble enterprises to be able to produce cost-effective productions at competitive levels and basically to reduce unit production costs. For this reason, it is inevitable to optimize the planning by real economic factors and the operating parameters of marble quarries. Thus, the development and the reserves of the marble sector, which make a significant contribution to the economy, can be rationally evaluated and maximized economic benefits can be achieved.

In this study, the effect of varying operating capacities of marble quarries on unit block marble production costs is investigated and an attempt is made to determine optimum operating capacity.

1 GİRİŞ

Türkiye mermer sektörü, 1.8 milyar dolar ihracatı ile toplam ihracat değerinin %1.27'lik bölümünü oluşturmaktadır. 2016 yılında mermer ihracat değeri, bir önceki yıla

göre miktar bazında % 4.92 artarak 6.325 milyon tona ulaşırken değer olarak ise % 5.29 oranında düşüş göstermiştir.

Dünya mermer ticaretinin yaklaşık % 10'unu gerçekleştiren Türkiye mermer ve

doğaltaş sektöründe mermer ve traverten üretiminin gerçekleştiren işletmeler, tektonik yapının neden olduğu blok verimliliği, homojenite ve yapısal sorunlar gibi teknik kısıtlarla birlikte işletmelerin temel girdisi enerji ve işçilik maliyetleri gibi ekonomik kısıtların yoğun etkisindedir. Ayrıca küresel piyasa koşullarındaki zorluklar ve düşen satış fiyatları işletmelerin rekabet gücünü azaltmaktadır. Bu zorlukların aşılabilmesi ve sektördeki sürdürülebilirliğin devamlılığı, mermer işletmelerinin uygun maliyetli rekabetçi üretimlerine bağlı olacaktır. Bu yönüyle, birim üretim maliyetlerinin akılcı stratejilerle düşürülmesi gerekmektedir.

2 SEKTÖRDE DURUM ANALİZİ

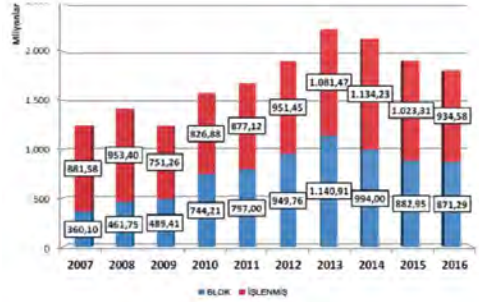
Dünya mermer sektöründe ülkemiz yaklaşık 5 milyar metreküp rezerv ve mermer çeşitliliği ile önemli konumda bulunurken mermer üretimi bakımından da Çin, Hindistan ve İran'dan sonra 4. sırada yer almaktadır (İMİB, 2016). Dünya mermer ticareti, 17-18 milyar dolar düzeyinde olup mermer ihracat değeri 1.75 milyar dolar ile küresel ölçekte yaklaşık % 10 pay almaktadır. Mermer ve traverten sektörü, toplam maden ihracat değerinin % 46.32'sini oluşturmaktadır (Çizelge 1).

Çizelge 1. 2016 yılı Türkiye mermer ve traverten sektörü ihracat rakamları

Ürün	Satış (\$)	Miktar(t)
İşlenmiş mermer	694 818 697	1 529 400
İşlenmiş traverten	199 691 986	436 100
İşlenmiş ürünler	894 510 683	1 965 500
Blok ham ürün	859 933 181	4 360 100
Toplam	1 754 443 864	6 325 600
Değişim (2016/15)	% -5,29	% 4,92
Sektör payı	% 46,32	-

2016 yılı verileri, miktar bazında yaklaşık % 5 oranında daha fazla miktarda mermer ve traverten satışına rağmen % 5 daha düşük ihracat satış değeri elde edilmiştir. Blok satışları bazında 859.9 milyon dolar satış değerine karşılık miktar olarak 4.36 milyon tondur. Ortalama ton başı satış fiyatı, %1.8 oranında düşüş göstererek 197 dolar düzeyinde gerçekleşmiştir.

Son yıllarda mermer ve doğaltaş sektöründe gerçekleştirilen ihracatın büyüme hızı, Dünya ortalamasının oldukça üzerindedir (TÜMMER, 2010). Mermer ve doğaltaş sektörünün son 10 yılına ait blok ham ve işlenmiş mermer ihracat değerleri incelendiğinde, düşme eğiliminde olduğu görülmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Türkiye mermer ve doğaltaş ihracat değerleri (İMİB, 2016.)

Mermer ve traverten ihracatı, son on yılında % 78 oranında artış göstermiştir. Blok ihracatı, 2016 yılında yaklaşık 3.5 katı değerine ve 859.9 milyon dolara ulaşmıştır. İşlenmiş mermer ve traverten ürünlerinde ise artış yaklaşık % 20 ile 2016 yılında 894.5 milyon dolar düzeyine gelmiştir. Ancak, daha önceki yıllara göre; işlenmiş ürün bazında ve ham blok ihracatı önemli oranda bir düşüş göstermiştir. 2016 yılında toplam ihracat 1754.4 milyon dolara gerileme göstermiştir (İMİB, 2017).

Küresel mermer ve doğaltaş üretiminin önemli bölümünü gerçekleştiren Çin, Hindistan ve İran'la rekabette bulunan Türkiye, 2005 yılında toplam mermer ve traverten üretimi 2,27 milyon m³ düzeyinden 2015 yılında 6.85 milyon m³ değerine ulaşmıştır.

Mermer üretimi, 2005 yılında 1,58 milyon m³ değerinden, 2015 yılında 5.61 milyon m³ değerine, yaklaşık 3,5 katına ulaşmıştır. Traverten üretimi ise 2005 yılında 696545 m³ değerinden % 78 artış sağlayarak 2015 yılında 1.23 milyon m³ üretim değerine ulaşmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 2. Türkiye mermer ve traverten üretim değerleri (MİGEM, 2017.)

Yıllar	Mermer (m ³)	Traverten (m ³)	Toplam (m ³)
2005	1 578 730	696 545	2 275 275
2006	1 855 740	1 017 672	2 903 412
2007	2 801 757	995 065	3 796 822
2008	2 262 537	759 118	3 021 665
2009	2 715 601	1 002 866	3 719 467
2010	3 352 070	879 319	4 231 389
2011	4 086 222	1 685 049	5 771 271
2012	4 488 947	797 915	5 286 862
2013	4 255 545	713 697	4 969 242
2014	4 220 564	812 840	5 033 404
2015	5 613 435	1 239 369	6 852 804

Son birkaç yıldır düşme eğilimi göstermesine rağmen küresel ortalamanın üstünde gerçekleşen sektörel büyümenin sürdürülebilirliği, işletmelerdeki rasyonel planlama ve süreçlerin optimize edilmesiyle sağlanacak iyileştirme ve gelişmelerle ancak mümkün kılınabilir.

3 MERMER İŞLETME PLANLAMASI

Küresel ticari koşullarındaki zayıf büyüme performansı, ticari risk ve faiz oranlarındaki artış diğer sektörlerde olduğu gibi mermer sektöründe de artan rekabet koşulları ve baskılanan işletme ekonomisi, birim üretim maliyetlerinin düşürülmesine yönelik optimal çözümlerin bulunmasını gerektirmektedir. Bu nedenle, mermer ocaklarında üretilecek blok mermer üretim maliyeti, blok verimliliği ve mermer kalitesinin etkisinde olarak işletme ekonomisini de direkt belirlemektedir. Mermer ocaklarında kapasite artırmak suretiyle, toplam giderlerin üretim miktarı başına şarjı olarak tanımlanan birim metreküp yada ton başı mermer üretim maliyetlerinin düşürülmesi temel hedeftir. Burada işletmelerin yıllık üretim kapasiteleri ve ekonomik işletme ömürleri baz alınarak yapılacak makina-ekipman seçimi ve buna bağlı yatırımları da oldukça önemlidir (Mallı vd, 2015). Planlama; tahminleme, ekonomik veriler ve karar verme gibi detaylara bağlı olup bunların değişiminden etkilenmektedir (Runge,1998). Tüm planlama prosesinin

temel unsuru maliyet tahminidir ve gerçekte esas amaç belirlenmiş maliyet değerini en aza indiren makina-ekipman seçimini yapmaktır (Lizotte 1988).

Maden işletmelerinin spesifik özelliklerinden kaynaklanan farklı yapılar ve dinamik etkiler göstermesi planlamayı daha karmaşık hale getirdiğinden işletmelerin optimum koşullarında planlaması, buna uygun yatırımların teknik ve ekonomik olarak değerlendirilmesi gerekmektedir (Mallı, 2013). Bu durum, blok mermer üretimi yapan, işletmelerin ideal kapasitelerinde planlanmasını zorunlu kılmaktadır. Mermer ocakları, işletilebilirliği belirleyen spesifik özellik ve dinamik değişkenlerin etkisindedir. Yataklanma, tektonik yapı, jeolojik olumsuzluklar işletmenin blok verimliliğini etkilemektedir. Mermer ocaklarının ekonomikliğini belirleyen blok verimin yüksek çıkması hedef alınmaktadır (Onur, 1995). mermer ocaklarında elde edilecek blokların uygun standartlarda olması gerekmektedir ve ocaklardan ürün olarak ortalama 1,5 m x 1,4 m x 2,8 m boyutlarında ticari bloklar üretilmektedir (Onargan,2012). Bu ticari bloklar, işleme sonrasında elde edilen levha ve/veya fayans kalitesini ve boyutlarını etkilemektedir. Bu nedenle, mermer ocaklarından olabildiğince homojen ve çatlaksız blok üretiminin sağlanması toplam kalite ve işletme verimliliği için temel hedeftir.

Mermer ocak işletmeciliğinde yatağın işletilebilirliği ve ekonomik blok boyutu belirlenirken jeolojik yapı, doğal koşullar, alt yapı, yasal durum ve sermaye gibi parametreler dikkate alınmaktadır (Onargan vd, 2005). Bu yüzden fizibilite etüdüleriyle mermer işletmesinin hukuki-yasal kriterleri, jeolojik kriterleri ve ekonomik kriterleri incelenerek en uygun ocak yeri belirlenmektedir (Altınççek, 2001). Ayrıca optimal ocak kapasitesi ve verimi, blok üretim maliyeti ve işletmenin rantabilitesi, makine ekipman ve diğer yatırımlarının planlanması yapılmaktadır.

Mermer işletme maliyetine etki eden faktörler; çalışılan bölge koşulları ile ilgili, üretilecek ürünle ilgili, üretim yöntemiyle ve

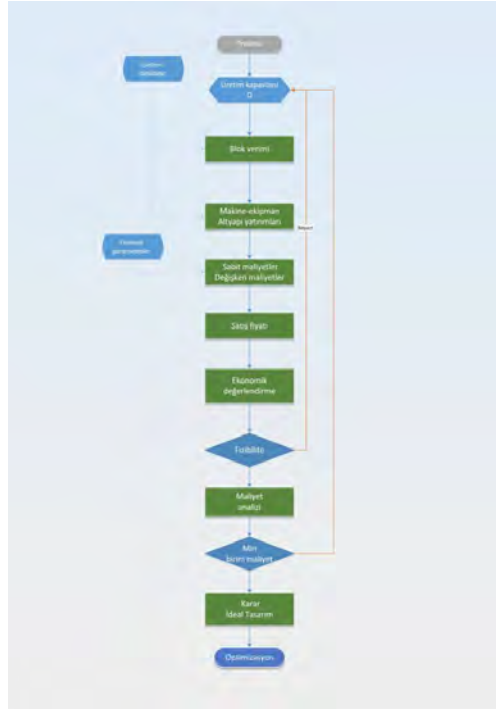
işçilikle ilgili ve piyasa ile ilgili faktörlerdir (Ersoy, M., Aşıkoglu R., 2006).

Yapının tabakalı veya masif oluşu işletme yer seçimi ve planlamasında önemli rol oynamaktadır. Tabakalı mermerlerin işletilmesinde tabaka doğrultu ve eğimi, kalınlık, yapı, renk ve doku farklılığı sorunları arttırmakta olduğundan tabaka doğrultuları esas alınarak ocak işletilmesi planlanmalıdır. Ayrıca, blok üretimlerinde blokların diyagonal üretilmesi durumunda verimlerin düştüğü belirtilmektedir (Önenç, Demirocak, 2003). Mermer ocağında fay ve çatlakların yoğun bulunduğu bölgelerde; üretimden kaçınmanın genel bir eğilim olduğu böyle bölgelerde, ayrışma yüzeyleri arasında kalmış ekonomik blokların üretilebilmesi ve süreksizliklerin yoğun olduğu bölgelerde ilerleme yönünü değiştirmek suretiyle blok verimlerinin artırılabilirliği belirtilmektedir (Onur, 1995). Mermer işletmeciliğinde ocak yönünün doğru belirlenmesinin blok boyutunun artmasında büyük bir etkiye sahip olduğu, ocak yönünün doğru belirlenmesi durumunda ortalama %18 oranında blok boyutlarının arttığı belirlenmiştir (Noroozi A, Sargheini J., 2012).

Mermer ocaklarında karşılaşılan maliyetlerin önemli bölümü, işletme altyapı yatırımları, diğer harcama ve makine-ekipman yatırımlarından kaynaklanan faiz ve amortismanlar ile operasyonel giderlerden özellikle, blokların yüklenip taşınması, stoklama alanına ve döküm sahasına taşınması ve altere olmuş bölümlerin hafriyatı çalışmaları esnasında üretime endeksli olarak tüketilen akaryakıt gideri olmaktadır.

4 OPTİMİZASYON MODELİ

Model çalışma, mermer işletmelerinde üretim kapasitelerin artırılması durumunda oluşması öngörülen birim üretim maliyetlerin belirlenmesini hedeflemektedir. Mermer ocaklarındaki ana işletme süreçleri ve parametrelerinin optimizasyonu ile birim maliyet minimizasyonu amaç fonksiyonu olarak temel hedefdir. Şekil 2'de modele ait akım şeması verilmektedir.



Şekil 2. İşletme süreçleri ve optimizasyonu

Birim üretim maliyeti, maliyetin düşürülmesi ile kapasitenin yükseltilmesi ve bunların optimize edilmesi ile kabul edilebilir limitlerde tutulabilir (Eşitlik 1). Toplam maliyet, sabit giderleri ile üretime dayalı giderlerin toplamıdır (Eşitlik 2). Sabit giderler; makina-ekipman ilkyatırımları, maden sahasına yapılan altyapı yatırımları ile diğer harcama giderlerinin faizi, amortismanı ve personel giderlerini kapsamaktadır (Eşitlik 3). Üretime dayalı giderler, akaryakıt ve elektrik enerji giderleri, işçilik giderleri ve diğer üretime ilişkin giderlerden oluşmaktadır (Eşitlik 4). Birim maliyeti minimize eden bir kapasite değeri işletme ekonomisi açısından rekabetçiliği artıracaktır (Eşitlik 5). Modeldeki hesaplamalar, matematiksel ifadelerle dayalı olarak yapılmış ve genel eşitlikler aşağıda verilmektedir.

Amaç fonksiyonu : $Z = \text{Birim ton üretim maliyet Minimizasyonu}$

$$b_{\text{maliyet}} = M_{\text{toplam}} / Q_{\text{üretim}} \quad (1)$$

$$\Sigma M_{\text{toplam}} = \Sigma M_{\text{sabit}} + \Sigma M_{\text{üretim}} \quad (2)$$

$$\Sigma M_{\text{sabit}} = M_{\text{yatırım}} + M_{\text{makina yatırım}} + M_{\text{personel}} \quad (3)$$

$$\Sigma M_{\text{üretim}} = M_{\text{enerji}} + M_{\text{işçilik}} + M_{\text{diğer}} \quad (4)$$

$$Q_{\text{üretim}} = \Sigma M_{\text{toplam}} / b_{\text{maliyet}} \quad (5)$$

İşletme ekonomisi sürdürülebilir rekabet ve karlılığı belirleyen birim maliyetin olabildiğince düşürülmesine odaklıdır. Optimizasyon değeri; sabit ve değişken giderler ile kapasitenin bir fonksiyonudur.

5 MODEL ÇALIŞMA

5.1 İşletme ve Üretim Parametreleri

Mermer işletmelerinin ekonomikliğı, yıllık üretim kapasitesi ve blok verimliliğinin etkisindedir. Model çalışmada, mermer işletmelerinde gerçekleşen değerlerden oluşturulan veri setinden yararlanılarak alternatif model kapasiteleri için işletme maliyetleri türetilmektedir. İşletme teknik parametreleri, ekonomik parametreler ve kabul değerleri Çizelge 3'de verilmektedir.

Çizelge 3. İşletme ve üretim parametreleri

İşletme parametreleri	Değer
Blok üretim kapasitesi (m ³ /yıl)	5000-20000
Kesim kapasitesi (m ³ /h)	23,00
Satış fiyatı (\$/ton)	197,00
İşletme ömrü (yıl)	15
Özsermaye oranı (%)	15
Faiz oranı (%)	12,0
Geri ödeme süresi (yıl)	5
Delik delme hızı (m/h)	3,0
Kesim hızı (m ² /h)	12,0
Ana kesim hacmi(50x8.5x9) m ³	1530
Ticari blok hacmi(1,5x1,4x 2,8) m ³	5,88
Toplam delik uzunluğu (m)	94,5
Toplam yüzey alanı (m ²)	420
Yıllık çalışma gün sayısı	240
Vardiya çalışma saati	8
Devlet hakkı (%)	4
Mermer söküm hacmi (m ³ /yıl)	132520
Blok verimi (%)	10



Şekil 2. Mermer işletmesi

5.2 İşletme Makine-Ekipmanları

Mermer ocak işletmelerinde kullanılan temel makine-equipmanlar; delik delme, tel kesme - sayalama makinaları, titano, su yastığı, ekskavatör, lastik tekerlekli yükleyici, kaya kamyonu ve diğer yardımcı makina-equipmanlardan oluşmaktadır. Mermer ocak kapasiteleriyle uyumlu ve makina-equipman parkı Çizelge 4. 'de verilmektedir.

Çizelge4. Farklı kapasiteler için makine ekipman listesi

Makina-equipman parkı	Sayı
Paletli ekskavatör	3
Lastik tekerlekli yükleyici	4
Kaya kamyonu	2
Delik delme makinası	3
Tel kesme makinası	5
Sayalama makinası	15
Titano	2
Kompresör	2
Jeneratör	1
Arazi aracı pick-up	1
Su tankı	1

Model çalışmada üretim hızı, saatlik kesim hızı, kesilen hacim ve diğer işletme parametreleri sabit alınmıştır. Makinelerin çalışma kapasite ve performans değerleri sabit olup yeterli sayıda ve yedeklidir. Kapasite vardiya sayısına bağlı olarak artırılmıştır. Düşük kapasiteli üretim modelleri için tek vardiya üretim yapılırken blok üretim kapasitesi arttıkça iki ve üç vardiya çalışıldığı kabul edilmektedir.

5.3 İşletme Üretim Maliyetleri

Mermer ocaklarının blok mermer üretim kapasiteleri için yıllık sabit ve operasyonel üretim giderleri, işletmelerde gerçekleşen değerlere uygun olarak hesaplanmakta, ekonomik analizler yapılarak birim ton başı blok üretim maliyetleri bu saha verilerinden yararlanılarak belirlenmektedir. Model işletmede, makina-ekipman yatırımları finansmanı, 5 yıl geri ödeme süresince % 85'inin % 12 faiz oranında kredilendirildiği kabul edilmektedir. 5000 m³ yıllık ticari blok üretim kapasitelerinde oluşması öngörülen yıllık bazda sabit giderler, Çizelge 5'te verilmektedir.

Çizelge 5. İşletme kapasitesi 5000 m³/yıl için öngörülen yıllık sabit giderler

Yatırım ve Sabit maliyetler	Giderler (TL/yıl)
Faiz	2 178 177
Yatırım amortismanı	533 867
Sigorta	48 000
Devlet Hakkı	197 100
Personel	210 000
Ruhsat bedeli	27 405
Orman ağaçlandırma bedeli	17 420
Yıllık ağaç bakım bedeli	1 200
İSG	36 000
Diğer	50 000
Toplam	3 299 168,667

Model işletme yıllık sabit giderlerin yatırıma bağlı, faiz ve amortismanların etkisinde olduğu görülmekte ve büyük bölümünü sırasıyla % 66 ve % 16'sını oluşturmaktadır. Blok mermer üretim kapasitesine bağlı değişen operasyonel giderler Çizelge 6 'de verilmektedir.

Çizelge 6. Üretime bağlı öngörülen yıllık operasyonel giderler

Değişken maliyetler	Giderler (TL/yıl)
Akaryakıt	992 568
İşçilik	741 814
Elektrik	104 480
Elmas tel	101 868
Lastik	43 882
Yedek parça	20 374
Su yastığı	9 403
Tamir-bakım	5 537
Su, vb. malzeme	5 485
Toplam	2 075 424

İşletmede öngörülen üretime bağlı değişken maliyetler incelendiğinde; enerji giderlerinden özellikle akaryakıt giderinin % 49 ile üretim maliyetlerini etkileyen en önemli girdidir. İşçilik gideri, toplam operasyonel giderlerin yaklaşık % 36 'sını oluşturduğu görülmektedir. Elektrik ve elmas tel tüketimi de temel malzeme girdisi olarak yaklaşık % 5 oranında üretim maliyetlerini etkilediği görülmektedir.

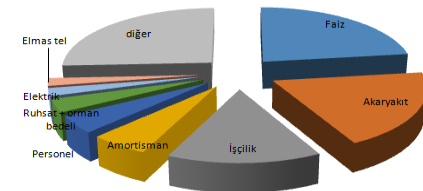
6 DEĞERLENDİRME VE TARTIŞMA

Mermer işletme giderleri incelendiğinde; üretim kapasitesine bağlı olarak sabit maliyetlerin operasyonel giderlere göre daha yüksek olduğu ve genel toplam gider incelendiğinde; sabit maliyetlerin toplam maliyetler içindeki payı % 61 düzeyinde olduğu görülmektedir (Çizelge 7).

Çizelge 7. Genel gider dağılımı

Maliyet türü	%
Faiz	22,91
Akaryakıt	19,40
İşçilik	14,50
Amortisman	5,62
Personel	4,42
Ruhsat + orman bedeli	3,37
Elektrik	2,04
Elmas tel	1,99
Diğer	25,75
Toplam	100,00

Faiz, makina-ekipman yatırımlarının 5 yıl kısa vadeli geri ödeme süresince yıllık giderlere şarj olarak yansıtılmaktadır. Amortismanlar ise işletme sermayesinin geri dönüşü ile mermer sahasına yapılan her türlü izin, proje, alt yapı yatırımlarını ve diğer harcamaları kapsamakta ve 15 yıllık işletme dönemi süresince yıllık giderlere şarj edilerek yansıtılmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Mermer işletmesi gider dağılımı

Mermer işletmelerinde sağlanacak üretim kapasitesindeki artışlarla sabit maliyetlerin, toplam üretim maliyetleri üzerindeki etkisi azaltılarak birim blok üretim maliyetleri düşürülebilir. Maliyetler kapasite ile doğru orantılı olarak artarken, birim maliyet değeri ise yıllık toplam maliyetin kapasite ile değişimine bağlı olarak genellikle düşme eğilimi göstermektedir. Ancak belli bir optimum değerden sonra bu düşme eğilimi artma trendine dönüşebilmektedir. Bu değer işletmeler için ideal kapasite olarak belirlenebileceği önerilmektedir.

Mermer işletmelerinde üretim maliyetlerini etkileyen temel parametrelerden olan blok verimliliğinin işletme ekonomisini de belirlemektedir. Farklı üretim kapasiteleri ve değişen blok verimlilikleri için oluşması öngörülen birim ton başı üretim maliyetleri belirlemektedir (Çizelge 8).

Çizelge 8. Farklı kapasiteler için birim mermer üretim maliyetleri (\$/ton)

Blok verimi	İşletme üretim kapasitesi (m ³)			
	5000	10000	15000	20000
% 10	113,10	80,46	70,49	64,82
% 5	156,77	124,14	114,16	108,49
% 2,5	244,13	211,49	201,51	195,85

Örnek olarak düşük blok verimliliğinde ve 15000 m³ yıllık ticari blok üretim kapasitesinin altında oluşması öngörülen birim üretim maliyetleri ortalama satış fiyatını aşmaktadır. Bu çalışmadan çıkan sonuçlar değerlendirildiğinde,

- ✓ % 2,5 blok verimliliğinde, yıllık 20000 m³ üretim kapasitesinde çalışan işletmelerin ekonomik olarak üretimler sağlayabileceği öngörülmektedir.
- ✓ % 2,5 blok verimliliği ve 5000 m³ üretim kapasitelerinde mermer işletmeciliğinin rasyonel olmadığı öngörülmektedir.
- ✓ Blok verimliliği oldukça düşük işletmelerde, kapasitelerini arttırmak koşuluyla birim üretim maliyetleri düşürülerek ekonomik üretimler gerçekleştirilebilir.
- ✓ Mermer işletmeciliğinde genel giderler içinde sabit maliyetlerin etkisi oldukça

yüksektir. Bu nedenle, % 2,5 blok verimliliğinde optimum kapasitenin 20000 m³ düzeyinde olduğu öngörülmektedir.

- ✓ Daha yüksek kapasite değerleri için ilave makine-ekipman yatırımlarının ve diğer giderlerin yaratacağı şarjların birim maliyetlere etkisi araştırılmalıdır. Bu nedenle, optimum çözümlerin geliştirilmesi için daha kapsamlı teknik ve ekonomik analizler gerekmektedir.

7 SONUÇ VE ÖNERİLER

Mermer ocaklarının işletilmesinde, üretim kapasitesinin artırılmasının birim blok üretim maliyetinin düşmesini sağlayarak işletme ekonomisine pozitif yönde etkilediği görülmektedir.

Dünya mermer sektöründe rekabet gücü, elde edilen büyüme hızının sürdürülebilir olması, üretim ve istihdamı artırmanın küresel piyasalarda rekabet edebilmenin yolu ekonomik ölçekli işletmelerden geçmektedir. Bu yönüyle, optimum üretim kapasitelerinde planlanan işletmelerde sağlanacak ekonomik çözümler ve uygulama süreçleriyle önemli ölçüde iyileştirme ve gelişmeler sağlanabilir. Böylelikle, mermer işletmelerinin daha rantabl çalışması sağlanarak, ülke mermer rezervlerinden daha yüksek rasyonel ve ekonomik fayda sağlanabilecektir.

KAYNAKLAR

- Altunççek, A., 2001. Mermer ocağı açımında temel alınacak bölgesel ve yersel kriterler, *MERSEM 2001, Türkiye 3. Mermer Sempozyumu*, 3-5 Mayıs, Afyonkarahisar, s.235-247.
- Ersoy, M., Aşıkoğlu R., 2006. Mermer ocaklarında blok üretim maliyetine etki eden faktörler ve blok birim maliyetinin hesaplanması, *MERSEM 2006, Türkiye 5. Mermer ve Doğal Taş Sempozyumu*, 2-3 Mart, Afyonkarahisar, s.95-101.
- İMİB, 2016. İstanbul Maden İhracatçılar Birliği, *Çalışma Raporu*, <http://www.imib.org.tr>
- İMMİB, 2017. <http://www.immib.org.tr>
- Lizotte, Y., 1988. Economic and technical relations between open-pit design and equipment selection. *Mine Planning and Equipment Selection, Singhaj (Ed)*, Balkema, Rotterdam.
- Mallı, T., Tufan, B., 2015. Mermer ocak planlamasında blok verimliliğinin maliyete

- etkisinin araştırılması, *9.Uluslararası Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, s.507-514.
- MİGEM, 2016. www.migem.gov.tr
- Noroozi, A., Sargheini, J. 2012. Mining direction optimization for a quarry mine, *8. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi Bildiriler Kitabı*, Afyonkarahisar, s.525-529.
- Onargan, T., Köse, H., Deliormanlı, A.H, 2005, *Mermer*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayınları No: 95, İzmir. ISBN 975-395- 847-1.
- Onargan, T., 2012. Doğaltaş madenciliğinde ekolojik üretim koşullarının Avrupa Birliği direktifleri kapsamında değerlendirilmesi, *MERSEM 2012, Türkiye 8. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi*, 13-15 Aralık, Afyonkarahisar, s.3-12.
- Onur A.H, 1995. Mermer madenciliğinde blok verimini arttırmak için kullanılacak bir bilgisayar programı. *MERSEM 1995, Türkiye 1. Mermer Sempozyumu*, 6-7 Nisan, Afyon, s.15-22.
- Önenç, D.İ, Demirocak Y., 2003. Tabaka duruşlarına göre blok kesim yöntemlerinin ocak mermer işletmeciliğinde planlanması ve ayna pozisyonlarının dizaynları, *MERSEM 2003, Türkiye 4. Mermer Sempozyumu*, 18-19 Aralık, Afyonkarahisar, s.277-289.
- Runge, I.C., 1998. *Mining Economic and Strategy*. Society for Mining, Metallurgy and Exploration, SME, Littleton, USA, 24-171.
- TÜMMER,2010. Türkiye Mermer Doğaltaş ve Makinaları Üreticileri Birliği. www.tummer.org.tr/

Örnek Bir Doğal Taş Ocağının NetCAD® Programı Yardımı ile Rezerv Hesaplaması ve Üretim Haritalarının Hazırlanması

The Reserve Calculation and Production Maps Preparation of A Natural Stone Quarry via the NetCAD® Software Program

İ.S. Büyüksağış, Ö. Bahtiyar, M. Gürsoy
Afyonkocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar

ÖZET Bu çalışmada, Isparta ilinde yer alan örnek bir mermer sahasında arama döneminde yapılan çalışmalar neticesinde üretilmeye uygun rezerv saptanmış olan, üretim ve satış çalışmalarına başlanabilmesi amacıyla işletme projesi verilerek, işletme ruhsatı talebinde bulunulmuş bir saha NetCAD® programı ile çalışmak üzere tercih edilmiştir. Sahadan alınan koordinatlara göre, NetCAD® programı ile üretim termin planı ve restorasyon planı hazırlanmış ve rezerv hesabı yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda faaliyet alanında yıllık 4.500 m³ mermer üretimi planlanmıştır.

ABSTRACT In this study a proper marble quarry area in Isparta province was determined to be suitable for production in the search period. In order to start the production and sales activities a project was given, and this field where the operating license was requested was chosen to evaluation. According to the coordinates taken on the field, via NetCAD® program, production schedule and restoration plan were prepared, and reserve account was made. As a result of this work, annual production of 4.500 m³ of marble was planned in working area.

1 GİRİŞ

Madencilik alanında ülke genelinde gerekli ilk veriler maden varlıklarının bir envanterinin yapılması ve bunların rezerv ve işletme imkânlarıyla ilgili olanlarıdır. Bir ülkenin maden toplam rezervlerinin bilinmesi için, her bir mostranın veya madenli sahanın sunduğu imkânların ayrı ayrı saptanması ve etüt edilmesi gerekir.

Bunun için şu sorular cevaplandırılmalıdır: Hangi cins madenden nerede, ne miktarda, hangi kalitede mevcuttur ve bu yerden ne kadar zaman içerisinde, hangi miktarda çıkartılabilir? Bu iş uzun vadeli olduğu gibi maden jeolojisi, işletmecilik, maden teknolojisi, maden ekonomisi ve istatistik verilerle bunların anlaşılması yeterli bilgi sahibi olunmasını gerektirmektedir.

Maden işletme projesinin önemli unsurlarından birisi onun teknik yönüdür. Aslında bir projenin mali ve ekonomik yapılabilirliğinden önce teknik yapılabilirliği

saptanmış olmalıdır. Eğer bir ruhsat alanındaki madenin tenörü/kalitesi, işletme için gerekli olan görünür rezervi, yatağın geometrisi, işletme yöntemleri, ömrü, işletmede kullanılacak makine ve ekipmanlar gibi teknik özellikler belirlenmemişse buna ait işletme projesinin düzenlenmesi, gerçekleşmesi ve denetimi olanaksızdır.

Üretim takibi ya klasik olarak elle hesaplanmakta, ya da çeşitli paket programlar kullanılmaktadır. Bunlardan bir tanesi de NetCAD® programıdır. Bu şekilde belirli aralıklarla yapılan üretimin takip edilebilmesi için çalışma sahasının tüm dolgu ve yarma yapılan bölgelerinden yükseklik ve koordinat noktaları alınarak, üretim haritası çıkartılmalı ve bir önceki hazırlanan harita ile hacim hesabı yapılmalıdır (Çelikkol, 2011).

Bu çalışma için Isparta ili, Aksu ilçesi, Yanıkköy civarında bulunan bir mermer sahasında arama döneminde yapılan

çalışmalar sonucunda üretilmeye uygun rezerv saptanmış olup, üretim ve satış çalışmalarına başlanabilmesi amacıyla işletme projesi verilerek, işletme ruhsatı talebinde bulunulmuş bir saha tercih edilmiştir. Sahadan alınan koordinatlara göre, NetCAD® programı ile üretim termin planı ve restorasyon planı hazırlanmış ve rezerv hesabı yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda faaliyet alanında görünür rezervin $10.640.000 \text{ m}^3$ olduğu anlaşılmış ve “yıllık 4.500 m^3 ” mermer üretimi planlanmıştır.

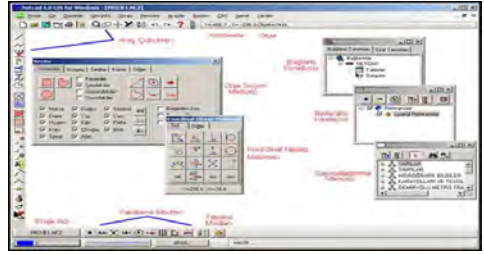
2 NETCAD® PROGRAMININ TANIMI

NetCAD® paket programı harita ve bağlantılı uygulamalar için özel olarak tasarlanmış bir CAD yazılımıdır. NetCAD® GIS desteği sayesinde madencilik firmaları işletme ruhsatı sınırlarına ait NetCAD® ortamındaki grafik verilerini, sınırlara ait özellikli sözel veriler ile ilişkilendirerek, ilgili analizler ile karar verme prosedürlerini hızlandırabilmektedirler.

Bu kapsamda; Totalstation ve GPS desteği sayesinde istenilen veriler (datum) ve projeksiyon da arazi alımlarını sayısal ortamda oluşturup, bu alımlar üzerinden istenilen bölgenin arazi modeli çıkarılıp, bu arazi modeli üzerinden de kesit-kübaj işlemleri ile istenilen bölgenin rezerv hesaplarına ulaşım kesin hesaba yönelik altlıklar oluşturabilmektedir (Erko, 2009).

2.1 NetCAD® 7.0 GIS arayüzü

NetCAD® 7.0 Türkçe arayüzü olan Harita çizim programıdır. NetCAD® 7.0 genel amaçlı bir CAD ve GIS yazılımıdır. Güçlü, denenmiş ve uluslararası standartlarda ulusal bir CAD ve GIS yazılımıdır. NetCAD® üzerinde 30'a yakın temel uygulama geliştirilmiş olup, buna ait arayüz ekranı Şekil 1'de görülmektedir (Toptaş, 2008).



Şekil 1. NetCAD® 7.0 arayüzü.

2.2 Koordinatlar

Projede gezinirken hangi koordinatlarda dolaştığınızı gösteren X ve Y koordinat değerlerinin yanı sıra Ekran ölçeği de belirtilebilir. Daha çıktı almadan istenen çıktı ölçeğinde projenin nasıl görüldüğü istenen ekran ölçeğinin girilmesi ile ayarlanabilir.

Ölçek yazısının üzerinde fare sol tuşu ile çift tıklanmasıyla açılan Ölçek penceresine, ekranın getirilmek istenen ölçek değeri yazılır (Şekil 2).



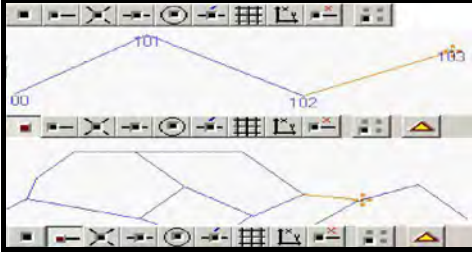
Şekil 2. NetCAD yazılımına koordinat noktalarının girilmesi.

2.3 Nokta yakalama

Yakalama Modları, NETCAD' in CAD tabanına ilişkin özelliklerdir. Nokta tabanlı yazılımlara göre önemli farklardan bir tanesidir. NetCAD'te çizim yapmak için mutlaka nokta gerekmez.

Yakalama olarak tanımladığımız kavram, bir doğrunun başlama ve bitiş noktalarının, bir sembolün veya bir yazının yerleştirileceği noktaların isteğe göre belirlenmesidir. Yakalama modları kullanılarak koordinatları bilmeksizin obje üzerinde belirli nokta

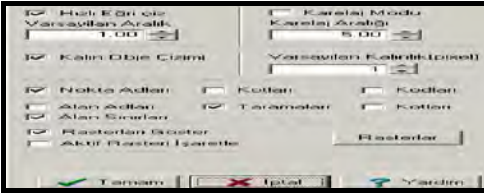
yakalanabilir. Örneğin; Şekil 3'teki gibi bir doğrunun orta noktası, sembolün uygulama noktası ya da iki objenin kesişim noktaları bu modlarla yakalanabilir (Anonim-1).



Şekil 3. Nokta yakalama menüleri

2.4 Tabaka Modları

Bu mod genel amaçlar için kullanılır. Genelde obje ya da imajlar üzerindeki görünürlük özellikleri ayarlanır. Ekranın altında yer alır (Şekil 4).



Şekil 4. Tabaka modlarının ayarlanması.

2.5 Çizgi tipleri

NetCAD içinde Yönetmeliklerde belirtilen tüm çizgi tipleri tanımlanmıştır (Şekil 5). Gerek Harita Yapım Yönetmeliğinde gerekse İmar Planı uygulamasında kullanılan bütün çizgi tipleri ekranın altındaki Çizgi Tipi menüsü içinde yer almaktadır. Çizgi tipleri *.LIN uzantılı dosyalarda tutulurlar. Bu dosyalar ise NetCAD dizini içindedirler. Program ilk kurulduğunda Harita Yapım Yönetmeliği'ne göre hazırlanan çizgi tiplerine göre açılır ve bu çizgi tipleri

Netplot.LIN adlı dosyanın içinde bulunurlar. Bunun dışında Planet modülünün yüklenmesi ile Plan1000.LIN, Plan5000.LIN ve Plan25.LIN adlı çizgi tipi dosyaları NetCAD dizini içine atılırlar.

Açılan çizgi tipi menüsünde o anda mevcut tüm çizgi tipleri görüntülenir. Programa veya menüye ilk girildiğinde "DÜZ" çizgi tipi aktiftir. Seçilmek istenen çizgi tipi kliklenerek aktifleştirilmelidir.

Çizgi Tipi Menüsü içine kullanıcı tarafından NetSHAPE (Şekil/Tarama/Hat Tasarım programı) ile oluşturulan yeni çizgi tipleri de eklenebilir (Çelikkol, 2011).



Şekil 5. Çizgi tipleri.

3 İŞLETME PROJESİ

Bir mermer şirketine ait örnek işletme projesi için; gerekli arama ruhsat harcı yatırılmış, genel arama faaliyet raporu ve işletme projesine göre yapılacak işletme ruhsatı ve mermer işletme izni için gerekli başvurular Maden İşleri Genel Müdürlüğüne yapılmıştır. Bu işletmeye ait bazı teknik bilgiler ile birlikte işletme projesi kapsamında yürütülen çalışmalar özetle aşağıda sunulmuştur.

3.1 Ruhsat sınır koordinatları

Pafta Adı: (1/25.000 ölçekli): M 26 D1-D2
Ruhsatın sınır koordinatları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Ruhsat sınır koordinatları.

	1.1. Nokta	1.2. Nokta	1.3. Nokta	1.4. Nokta
Sağa (Y)	03 34 600	03 35 600	03 35 600	03 34 600
Yukarı (X)	41 71 580	41 71 580	41 70 585	41 70 585

3.2 Rezerv bilgileri

3.2.1 Görünür rezerv ve koordinatları

Uzunluk (800 m) , Genişlik (665 m) , Kalınlık (20 m) ise; Görünür rezerv miktarı : 10.640.000 m³'tür (Çizelge 2).

Çizelge 2. Görünür rezerv tablosu.

	1.1. Nokta	1.2. Nokta	1.3. Nokta	1.4. Nokta	1.5. Nokta
SAĞA(Y)	03 34 600	03 34 780	03 35 070	03 35 300	03 35 600
YUKARI(X)	41 71 325	41 71 390	41 71 340	41 71 530	41 71 580
	1.6. Nokta	1.7. Nokta			
SAĞA(Y)	03 35 600	03 34 600			
YUKARI(X)	41 70 585	41 70 585			

3.2.2 Muhtemel rezerv ve koordinatları

Uzunluk (700 m), Genişlik (190 m), Kalınlık (20 m) ise Muhtemel Rezerv Miktarı=2.660.000 m³ tür (Çizelge 3).

Çizelge 3. Muhtemel rezerv bilgileri tablosu.

	1.1. Nokta	1.2. Nokta	1.3. Nokta	1.4. Nokta	1.5. Nokta
SAĞA(Y)	03 34 600	03 35 600	03 35 300	03 35 070	03 34 780
YUKARI(X)	41 71 580	41 71 580	41 71 530	41 71 340	41 71 390
	1.6. Nokta				
SAĞA(Y)	03 35 600				
YUKARI(X)	41 71 325				

Sahada Mümkün rezerv bulunmamaktadır.

4 ÇALIŞMA SAHASININ KONUMU

Isparta ili, Aksu ilçesi, Yanıkköy köyü civarında bulunan bu çalışma konusu olan mermer sahası Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Çalışma sahası yer buldurusu (Anonim-2).

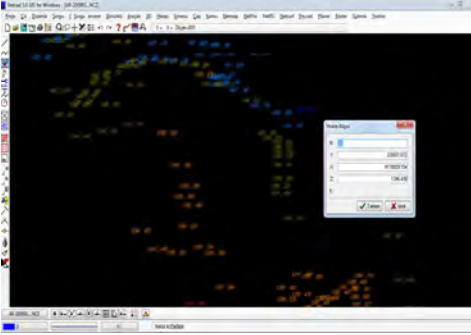
5 BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Sahaya ait bulgular ve bunların değerlendirilmesi aşağıda verilmiştir (Bahtiyar, 2012).

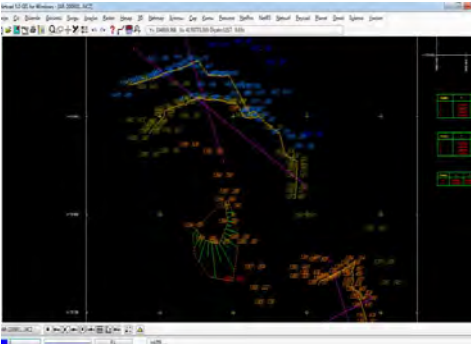
5.1 Çalışma sahasının NetCAD® ile modellenmesi

Söz konusu mermer sahasında NetCAD® programıyla üretim haritaları hazırlaya bilmek ve kübaj hesabı yapabilmek için; öncelikle GPS yardımı ile ayna koordinat noktalarının alt ve üst kotlarının, pasa döküm sahalarının koordinat noktalarını, yol koordinat noktalarını ve enerji nakil hatlarının koordinat noktalarını hatasız almak gerekir (Şekil 7).

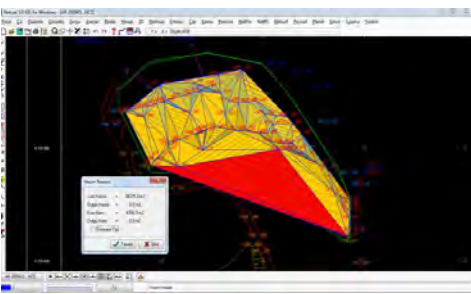
Elde edilen noktalar girildikten sonra bu noktaların ardışıkları ile birleştirilme işlemi yapılır (Şekil 8). Kademeler oluşturulduktan sonra kademelerin alt kotları girilir. Tüm kademeler ve pasa döküm sahaları çizildikten sonra üçgen modelleme işlemi yapılır (Şekil 9-10).



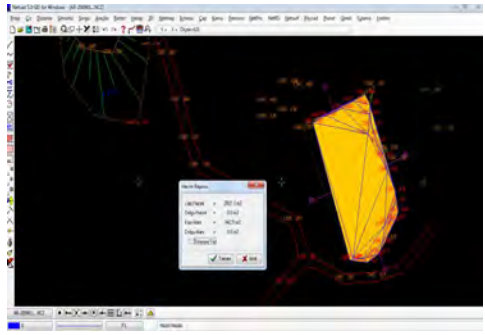
Şekil 7. Koordinat noktalarının girilmesi.



Şekil 8. Koordinat noktalarının birleştirilmesi ile kademelerin görüntüsü.



Şekil 9. Çalışma sahası üretim haritasının AA' ve B-B' doğruları birleşimi üçgen modellenmesi.



Şekil 10. Çalışma sahası üretim haritasının C-C' ve D-D' doğruları birleşimi üçgen modellenmesi.

5.2 Kaynak / Rezerv Raporu Tahmini / Hesaplanması

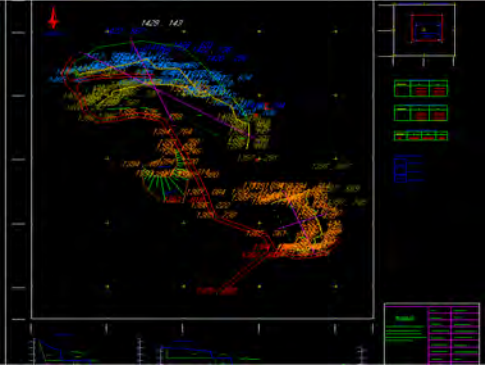
Sahada alınan izinler doğrultusunda üretim ve satış yapılmaktadır. Sahadaki cevher mostra vermiş durumda olup, rezerv alanı görünür durumdadır. Mevcut mostralardan ve yol yarmalarından cevherleşmenin boyutları aşağıdaki gibi gözlenmiştir. Detay rezerv geliştirme çalışmalarına işletmenin ilerlemesine bağlı olarak devam edilecektir. Saha geneli göz önünde bulundurularak ve yapılan ölçümler sonucunda ortalama kalınlık 20 metre olarak saptanmıştır (Çizelge 4).

Çizelge 4. Sahada Yapılan Ölçümler ve Sonuçları

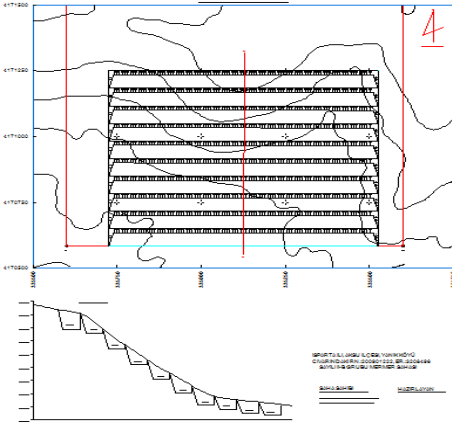
REZERV CİNSİ	ORT. UZUNLUK (m)	ORT. GENİŞLİK (m)	ORT. KALINLIK (m)	REZERV	VERİM	ÜRETİM Miktar
Görünür	800	665	20	10.610.000	70	7.445.000
Mühtemel	700	190	20	2.660.000	70	1.862.000
Mümkün				0	70	
TOPLAM				13.300.000		9.310.000

Söz konusu mermer sahasına ait ve NetCAD yardımıyla yapılan üretim harita ve planları Şekil 11'de verilmiştir.

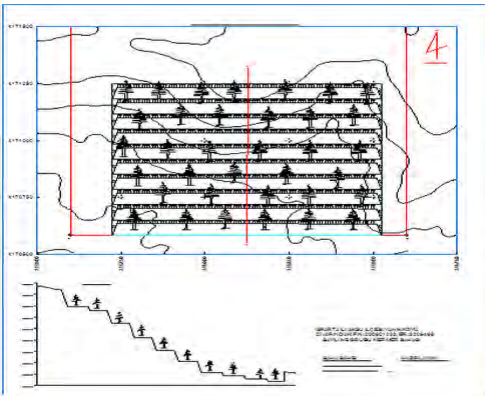
Çalışma zamanlaması (Termin) plan haritası, restorasyon plan haritası ve kesitleri Şekil 12 ve 13 'te verilmiştir.



Şekil 11. İmalat haritası.



Şekil 12. Termin plan haritası ve kesitleri.



Şekil 13. Restorasyon plan haritası ve kesitleri.

6 SONUÇLAR

Bu çalışmada Isparta ili, Aksu ilçesinde bulunan çalışma sahasından alınan koordinatlarla NetCAD® yazılımı kullanılarak üretim haritaları hazırlanmış ve rezerv tespiti yapılmıştır.

NetCAD® programı yardımıyla mermer sahasının ruhsat koordinatları girilmiştir. Talep edilen işletme izin koordinatları ruhsat sınırı içerisinde gösterilerek çalışma sahası sınırı içerisinde gösterilerek çalışma sahası belirlenmiştir. Tüm koordinatlar girildikten sonra, ruhsat sınırı içinde kesitler alınmıştır. Rezerv ve kapasite göz önüne alınarak proje süresi ve ruhsat süresi on yıl olarak belirlenmiş ve üretim termin planı hazırlanmıştır. Üretim termin planından ve saha çalışmalarından sonra, iyileştirme işlemleri için ağaçlandırma yapılacak yerleri göstermek için restorasyon planı hazırlanmıştır. NetCAD® de hazırlanan üretim termin ve restorasyon planlarına göre rezerv ve kapasite detaylı olarak irdelenmiştir.

Söz konusu saha görünür ve muhtemel rezervden oluşmakta ve mümkün rezerv bulunmamaktadır. Görünür ve muhtemel rezerv bilgileri jeolojik etüd çalışmaları sonucu kübaj hesabı yapılmıştır. Hesaplara göre görünür rezerv miktarı 10.640.000 m³, Muhtemel rezerv miktarı 2.660.000 m³ dür.

Programa veriler girilerek ve haritalar analiz edilerek elde edilen çıktılara göre hala çalışmakta olan sahadan yıllık 4.500 m³ mermer üretimi olacak şekilde yatırım yapılması planlanmıştır. Yatırım gelir ve gider tabloları oluşturulmuştur.

Sahadan yıllık 467.700,00 \$/yıl gelir sağlanması planlanmaktadır. Buna karşılık 288.400,00 \$/yıl gider öngörülmektedir. NetCAD programı ile yapılan çalışmalar sonucunda bu planlanan yatırımın uygun olduğu anlaşılmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yapılmasında gerekli verilerin sağlanması ve değerlendirilmesindeki

katkılarından dolayı Jeoloji Mühendisi Tuncer Yıldırım'a, Maden mühendisleri Fatih Açık ve Nurdan Açık'a, AKÜ Harita Mühendisliği Bölümü Arş. Gör. Mehmet Ali Dereli'ye ve METAMAR Şirketine teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Bahtiyar, Ö., Büyüksağış, İ., S., 2012, Örnek Bir Doğaltaş Ocağının NetCAD Programı Yardımı İle Rezerv Hesaplaması ve Üretim Haritalarının Hazırlanması, AKÜ Maden Müh. Böl. *Lisans Tezi*, Afyonkarahisar.
- Çelikkol, S., Engin, İ.C., 2011 Mermer Ocaklarında Üretim Planlaması ve Ocak Verimliliğinin Kullanımı Burdur Karamanlı Bej Ocak İşletmesinde Örnek Uygulama, *Yüksek Lisans Tezi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, 64 sf.
- Erko, N., 2009, Bilgisayar Destekli Harita tasarımı ve NetCAD Programının GÜTEF Coğrafi Bilgi Sistemine (CBS) Uyarlanması, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 54 sf.
- Toptaş, E.T., 2008, GIS ve CAD Uygulamaları, NetCAD Kampüs, 434 sf.

Anonim-1, <http://www.netcadportal.com>

Anonim-2, http://www.mta.gov.tr/mta_web/harita100_250.asp

Piroteknik Kaya Kırıcı Malzemelerin Mermer Ocaklarında Pasa Söküm İşlemlerinde Kullanılması

The Usage of Pyrotechnic Rock Breaker Materials to Excavate of Waste Rock in Marble Quarries

A. Güneş

Barla Mermer Maden San. Tic. Ltd. Şti., Isparta

S. Demirdağ

Süleyman Demirel Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta

C.O. Üner, E.O. Demirbaş

Onurtaş Piroteknik Maddeler, Isparta

ÖZET Mermer ocaklarında ekonomik değeri olan kayaçların blok şeklinde alınabilmesi için koordineli bir şekilde pasa ilerletme çalışmaları yapılmaktadır. Ocağın yapısına ve şekline göre değişik yöntemler geliştirilmeye çalışılsa da şimdiye kadar uygulanmakta olan en yaygın yöntem ekskavatörün ucuna ataşman olarak takılan hidrolik kırıcı ile ocağı genişletme veya pasa sökme çalışmalarıdır. Bu çalışmada bej mermer ocağında iki farklı yöntem; Hidrolik Kırıcı ve Piroteknik kaya kırıcı+Hidrolik kırıcı ile pasa ilerletme yöntemlerinin ekonomik değeri olmayan bölgelerde, en uygun söküm ve/veya pasa ilerletme yönteminin bulunabilmesi için farklı bölgelerde kayaç yapısına bağlı olarak uygulaması yapılmıştır.

Bu çalışmalar sırasında; birim zaman, birim maliyet ve çevre dostu açısından değerlendirmeler yapılmıştır. Piroteknik kaya kırıcıların kullanımı için farklı paternler denenerek en uygun delikler arası mesafe 2,5 m olarak belirlenmiştir. Piroteknik kaya kırıcı+Hidrolik kırıcı yönteminin ilk kez mermer ocaklarında pasa ilerletiminde kullanımı araştırılmış ve hem teknik hem de esneklik bakımından hidrolik kırıcı yönteminden daha uygun olduğunun sonucuna varılmıştır.

ABSTRACT To expose block marble which have economic value, it is generally necessary to excavate and relocate large quantities of waste rock in marble quarries. Although various methods have been tried to be developed according to the shape and structure of the quarry, the most common method has been applied such as hydraulic hammer which is attached to the excavator for quarry expansion or waste rock removal up to now. In this study, two different methods such as hydraulic hammer and pyrotechnic rock breaker+hydraulic hammer were applied to the beige marble quarry for waste rock excavate depending on the rock structure in different regions of marble quarry which have non-economically valuable in order to find the most suitable waste rock excavate method.

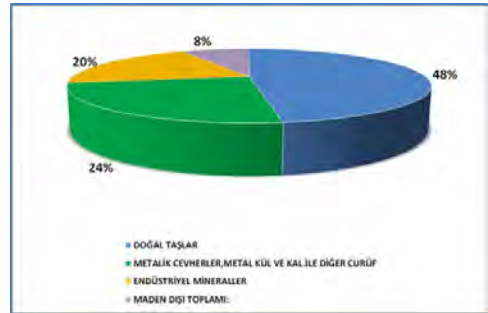
In-situ measurements and observations such as unit time, unit cost, and in terms of environment friendly were carried out to determine the advantages and disadvantages of these two methods. The most suitable patterns for pyrotechnic rock breakers were tried and the best drilled spacing were determined as 2.5 m. The use of pyrotechnic rock breaker+hydraulic hammer method for excavate waste rock in marble quarries for the first time was investigated and it was concluded that it is more suitable than hydraulic hammer method both in terms of technical and flexibility.

1 GİRİŞ

Madencilik, tarih boyunca uygarlıkları şekillendiren, çağlara adını veren (yontma taş devri, cıvalı taş devri gibi) günlük hayatta insanların bütün yaşam alanlarında vazgeçilmez olan temel sektörlerden biridir. Günlük hayatta insanların kullanması kaçınılmaz olan araçlar, telefonlar, bilgisayarlar, temizlik ürünleri, binalar, yollar vb., hemen hemen temel ihtiyaç olan her şey, madencilik faaliyetleri sonucu elde edilen ürünler sayesinde sağlanmaktadır. Milyonlarca yılda oluşan yeraltı zenginliklerimiz, mühendislik bilimini ve gelişen teknolojiyi kullanarak, belli bir plan dahilinde, çevreye duyarlı bir şekilde insanoğlunun, ülkenin ve dünyanın ihtiyaçları göz önüne alınarak efektif bir şekilde üretilmelidir. Madencilik, hem ekonomiye doğrudan yaptığı katkı, hem de imalat sektörüne sağladığı girdileri yüksek olmakla birlikte sektörler arasında en yüksek katma değer ve istihdam oluşturma kapasitesine sahiptir. Türkiye, karmaşık jeolojisi ve tektoniğinin sonucu olarak çok çeşitli maden kaynaklarına sahiptir. Ancak, bu karmaşık jeoloji ve tektonik, aynı zamanda maden yataklarının küçük boyutlu ve çok parçalı olmasının da bir nedenidir. Çeşitlilik açısından dünyanın zengin ülkelerinden biri olmasına karşın, gerek toplam rezerv yönüyle ve gerekse tek tek yatak boyutları kıyaslandığında, Türkiye'nin maden potansiyelinin bazı madenler dışında çok yüksek olmadığı görülmektedir. Türkiye'de hemen hemen her türden maden yatağına rastlanmaktadır. MTA tarafından yapılan bir araştırmaya göre günümüzde dünyada ticareti yapılan 90 çeşit madenden bugüne kadar sadece 13'ünün ülkemizde varlığı saptanamamıştır. Ülkemiz, geri kalan 50 çeşit maden açısından zengin ya da çok zengin, 27 çeşit maden bakımından ise yetersiz kaynaklara sahiptir (Anonim, 2007, Yetim, 2012). Bu yeraltı zenginlikleri farklı ülkelere ihracatı yapılarak ekonomiye katkı sağlamaktadır. Türkiye ihracatı ile maden ihracatını karşılayacak olunursa 2016 yılında 142,1 milyar USD olarak gerçekleşen ülkemiz toplam ihracatından %2,7 pay alan

madencilik sektörü ihracatı, bir önceki yıla göre %3,1'lik azalışla 3,79 milyar USD olarak gerçekleşmiştir (TİM, 2016).

2016 yılında en fazla ihraç edilen maden ürün grupları arasında Doğal taşlar 6,5 milyon ton ve 1,8 milyar dolarla ilk sırada yer alırken bu ürün grubunu 3,63 milyon ton ve 930 milyon dolar ile Metalik Cevherler, 10 milyon ton ve 760 milyon dolarla Endüstriyel Mineraller, 219 bin ton ve 291 milyon dolarla Ferro Alyajlar, Mineral Yakıtlar ile diğer ürünlerin ihracatı takip etmektedir (Şekil 1). Bu dönemde blok mermer-traverten, 4,36 milyon ton ve 860 milyon dolarla 2016 yılında toplam maden ihracatımız içinde en fazla ihraç edilen ürün olurken, işlenmiş mermer 1,53 milyon ton ve 695 milyon dolarla ikinci, Krom cevherleri 1,21 milyon ton ve 245,1 milyon dolarla üçüncü, Tabii Boratlar ve konsantreleri 693 bin ton ve 227,2 milyon dolarla dördüncü, işlenmiş Traverten 436 bin ton ve 199,7 milyon dolarla beşinci sırada yer almıştır (İMMİB, 2016).



Şekil 1. 2016 Yılı maden ihracatının mal gruplarına göre dağılımı (%) (İMMİB, 2016)

2016 yılında Doğal taş ihracatı 6,5 milyon ton karşılığı 1,8 milyar dolar olarak gerçekleşmiştir.

Mermer ocakları ve diğer maden ocakları sanayii ve endüstrinin gelişimini etkileyen en önemli sektördür. Ülkemizdeki gelişmelere bağlı olarak sanayii ve endüstrinin sağlanabilmesi için mermer ocaklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle benzer şekilde mermer işletmesi yapan tesislerinin sayısı da gün geçtikçe artmaktadır. Mermer ocakları ve benzeri gibi

doğal kaynakların, doğal çevreye etkisi minimum düzeyde tutulacak şekilde ve ülke ekonomisine maksimum düzeyde katkı sağlayacak şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Mermer ocak işletmeciliğinde amaç, mermer fabrikaları ve piyasanın istediği boyutlarda kırksız ve çatlaksız blok çıkartmaktır.

Mermer ocaklarında açık işletme yöntemi kullanılarak yapılan üretimde, örtü tabakası olarak bilinen atmosfer şartlarından en çok etkilenen ayrışmış, çatlaklı olan üst seviyelerde bulunan birimler elmas tel kesme yöntemi ile temizlenerek ana kütleyle ulaşmaya çalışılmaktadır. Mermer ocak işletmeciliğinde üretim öncesi hazırlık aşaması olarak bilinen bu süreçte istenilen kaliteye sahip blok ve moloz üretmek oldukça zordur. Düzenli boyutlara sahip blokların veya ekonomik değeri olan molozların üretiminin ancak bu süreçten sonra ve daha alt kademelerde gerçekleştirilebileceği öngörülmektedir. Üretim yöntemi olarak mermer ocaklarında günümüz teknolojisinde Elmas Tel Kesme ve Zincirli Kollu Kesici yöntemleri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Elmas tel kesme yöntemi, kesim yapılacak bölge belirlendikten sonra sondaj olarak tabir edilen delicilerle aynaya bir dik ve iki yatay olmak üzere bu deliklerin birbirleriyle irtibatlandırılması sonucunda kesici elmas telin bu deliklerden geçirilerek elmas tel kesme makinesinin volanının tahriki ile kesme işlemi gerçekleştirilmektedir. Zincirli Kollu Kesici yönteminde ise, delik delmeye gerek kalmadan kol boyuna bağlı olarak hem yatay hem de düşey kesimler ayna boyunca yapılabilmektedir. Her iki yöntemin kendine göre avantaj ve dezavantajları olmakla birlikte kombine olarak ta kullanılabilirler.

Mermer ocaklarında ekonomik değere sahip düzgün blok ve moloz elde etmek, alterasyona uğramış kısımların yanı sıra, makro ve mikro çatlakların ve mermercilikte kesinlikle arzu edilmeyen diagonal ve paralel yarıkların fazlaca geliştiği bir yapının olduğu durumlarda ocak verimleri düşük olabilmektedir. Bu ekonomik değeri olmayan veya pasa olarak tanımlanan

bölgelerde mermer ocaklarında kesim yapılmakta (ilerlenecek bölgenin alt ve yan kısımları elmas tel ve/veya zincirli kollu kesici yardımı ile kesilip ana kayaktan ayırıp serbest hale getirilmesi) ve hidrolik kırıcı paletli iş makineleri ile bu alanlar boşaltılmaktadır (Şekil 2). Bu işlemin sonucunda kamyonu yüklenecek boyuta gelen kayaç parçaları kırılan bölgeden alınarak hafriyat sahasına götürülmektedir.



Şekil 2. Hidrolik kırıcı ve pasanın yüklenme durumu

Bu işlemler sırasında hidrolik kırıcı iş makineleri sürekli olarak tam gazda çalışmakta, aşırı sarsıntı oluşmakta ve bu işlem için gereğinden fazla zaman harcanmaktadır. Bunun sonucunda iş makinelerinde beklenmedik arızalar oluşmakta ve iş makinelerinin ömürlerini de azaltmaktadır. Özellikle sert formasyonlardan oluşan bu bölgelerde alanın boşaltılması oldukça zaman almakta ve iş makinelerinin yıpranma hızını da arttırmaktadır. Bu alanların geç boşaltılması sonucunda üretimin devamlılığını da engellemektedir. Mermer ocaklarında her ne kadar hidrolik kırıcının söküm işlemlerinde kullanılması istenirse de, ekonomik değeri olan doğal taşın alınabilmesi için hidrolik kırıcı yardımı ile ocağın pasa kısmını ilerletmek üretimin devamlılığı açısından önem arz etmektedir.

Mermer ocaklarında üretim veya hazırlık aşamalarında (ekonomik değeri olmayan bu bölgelerin) mermerin ana yapısına zarar vermesinden dolayı diğer madencilik

işlemlerinde kullanılan patlayıcı maddeler kullanılmamaktadır. Çünkü, mermer ocaklarında elde edilecek ürünün blok olması ve kesildiğinde 1cm ile 5cm (veya daha fazla) kalınlığında plakalar elde edilmesi gerektiğinden kırık ve çatlak içermemeleri gerekmektedir. Eğer bu ocaklarda geleneksel patlayıcılar kullanılırsa var olan çatlaklar açılarak parçalama etkisi oluşturmakta ve ekonomik değere sahip blok ve moloz alınmasını engellemektedir. Ayrıca mermer ocaklarında özel durumlar ve ocaklar (granit vb.) hariç patlayıcı ile hazırlık ve/veya üretim yapmak ilgili kanun ve yönetmeliklerle yasaklanmıştır. Bu nedenle mermer ocaklarında genellikle pasa ilerletme çalışmaları hidrolik kırıcı (paletli ekskavator) iş makinelerinin saatlerce çalışması ile yapılmaktadır. Özellikle sert formasyonların olduğu bölgelerde bu kırıcılar oldukça yavaş ilerlemekte, sağlam kayaca zarar vererek makineye gelen titreşim ve darbelerden dolayı iş makinelerinin ömrü kısalmakta, yakıt masrafı artmakta, gereğinden fazla zaman harcanmakta ve operatör memnuniyetleri azalmaktadır.

Bu nedenle bu çalışma kapsamında, mermer ocaklarında pasa söküm işlemlerinde kullanılan iş makinelerinin yukarıda bahsedilen problemlerden dolayı işlerini kolaylaştırmak için bu formasyonların gevşetilmesi işlemlerinde piroteknik kaya kırıcılar kullanarak pasa ilerletme çalışmalarının nasıl yapılacağı araştırılmıştır. Bu gevşetme işlemlerinde ana kayaya zarar vermeden, sadece var olan çatlakların açılması prensibine dayanarak farklı gevşetme paternleri uygulanmıştır. Böylece iş makinelerinin gereksiz kullanımlarının önüne geçilerek, yakıt tasarrufu, iş makinelerinin ömürleri ve zaman tasarrufu konularında incelemeler ve hesaplar yapılmıştır. Piroteknik kaya kırıcılar sayesinde titreşim minimum, kaya fırlaması minimum ve güvenli bir çalışma ortamı oluşturulmaya çalışılmıştır.

1.1 Piroteknik Kaya Kırıcılar

Piroteknikler, kimyasal bir reaksiyona girdiğinde ısı, ışık, gaz, sis veya ses verme

özelliği olan madde bilimidir. Kökeni tam olarak bilinmese de birçok kaynakta ilk olarak Çin'de ortaya çıktığı belirtilmektedir. Piroteknikler insanlığın bildiği en eski maddeler arasında yer almakta olup önemli günlerde kutlamalar için havai fişek olarak çok erken çağlardan beri kullanılmaktadır. Piroteknik, iki Yunanca kelime olan 'pyr' (ateş) ve 'techne' (sanat) kelimelerinin birleşiminden türetilmiştir, ateş yaratma sanatı olarak tanımlanabilmektedir (Çelik, 2017).

Piroteknik kaya kırıcılar, özellikle azot, karbondioksit ve buhardan oluşan zararsız bir gaz hacminin açığa çıkarak yüksek basınç üretmek için kartuş içinde infilaklı olmayan kimyasal bileşiğin ateşlendiğinde çok hızlı bir şekilde reaksiyona girmesi esasına dayanan malzemelerdir. Bu piroteknik kaya kırıcılar, sıkılama yapılmış delikte bulunan kartuşun ateşleme sonucu oluşturduğu gaz, mikro kırıkların, doğal kırık ve çatlakların içine girerek ardalı parçalanma oluşturmaktadır. Bu işlemlerde, ilgili kurumlardan izin alınması gerekmektedir. Aynı zamanda kullanılan piroteknik kartuşlar tehlikesizdir. Çünkü doldurulmuş deliklerin üzeri kauçuk paspaslar ile örtülerek taş sıçraması önlenmekte, gürültü ve aşırı basınç en aza indirilebilmekte ve zemin titreşim değerleri düşük düzeylere çekilebilmektedir. Genelde inşaat kazılarında (kentsel alanlarda kaya kazıları, betonarme yıkım, kanal açma, temel kazıları, geçit ve tüp geçit kazılar, tünel hassas alanlarında genişletme) yerüstü madencilik ve taş ocakçılığı (patarlama, ana nakliye yollarında patarlama, kırıcı tikanıklıkları, taşocağında boyutlu taş üretimi), güçlendirilmiş beton yıkımı, dalgakıran taşı üretimi, mikser tamburunda donmuş beton kırma, yüzme havuzu kazıları, yüksek gerilim hatlarının temel kazıları ve doğal gaz boru hatlarının yakınında vb. kapalı ve hassas alanlarda özel bir yöntem olarak kullanılmaktadır (Şekil 3), (Anonim, 2017).



Şekil 3. Piroteknik kaya kırıcılar

Özsarıkamış (2015), Piroteknik kaya kırıcı kartuşlarının klasik patlayıcılardan ayıran özelliklerini aşağıdaki gibi tanımlamıştır;

- ✓ Patlayıcılar paketleri içinde patlayabilir durumdayken, kaya kırıcı kartuşlar paketleri içinde patlamazlar.
- ✓ Patlayıcılar infilak için tasarlanmışken, kaya kırıcı kartuşlar infilak etmezler.
- ✓ Patlayıcılar yüksek sarsıntı seviyeleri ve yan kayaçlara hasar veren yüksek şok dalgası oluştururken, kaya kırıcı kartuşları kontrol edilebilir düşük sarsıntı seviyelerinde basınç dalgası oluşturur.
- ✓ Patlayıcılar ile yapılan kaya kırma aktivitelerinde kontrol oldukça zordur, yüksek miktarlarda taş fırlaması görülebilirken, zehirli gazlar ve duman oluştururlar. Ancak kaya kırıcı kartuşlar ile yapılan kırma aktiviteleri, düşük taş fırlaması ile göz ardı edilebilir tozlanma ve zararlı gaz salınımı oluşturur.
- ✓ Kaya kırıcı kartuşları ile yapılan kaya kırmalarda araziye tekrar dönüş süresi dakikalar ile tanımlanabilir. Ancak konvansiyonel patlatmalarda arazi tahliyesinden sonraki dönüş süresi şantiyelere göre bir kaç saate kadar çıkabilir.
- ✓ Kaya kırıcı kartuş, 50 metrelik çap içinde maksimum 80 ile 85 desibel arasında ses çıkarır.

Ayrıca, patlayıcı maddeler için İç İşleri Bakanlığından taşıma ve kullanma ruhsatının alınması gerekmekte olup, Kaya kırıcı kartuşlar için ise, yerel mülki amirlikten olur alınması gerekmektedir.

2 LİTERATÜR ÖZETİ

Literatür incelendiğinde mermer ocaklarında, piroteknik kaya kırıcıların pasa bölgelerini ilerletmek amaçlı kullanımı ile

ilgili yapılmış bir çalışmaya rastlanılmamaktadır. Kapalı ve hassas alanlarda piroteknik kaya kırıcıların farklı sektörlerle yaygın bir şekilde kullanıldığı görülmektedir. Mermer ocaklarında da pasa olarak tanımlanan ekonomik değeri olmayan bölgelerde söküm işlemini kolaylaştırmak için bu piroteknik kaya kırıcıların kullanılması ile hidrolik kırıcı ile iş makinelerin daha kolay çalışabileceği beklenmektedir. Çünkü piroteknik kaya kırıcılar ile formasyonda var olan çatlaklar açılarak yapının gevşek bir malzeme haline gelmesi sağlanacaktır. Böylece iş makineleri ile bu alanlar daha kısa sürede boşaltılacak, daha az yakıt tüketilecek ve iş makinelerinin ömürleri artacaktır.

Konu ile ilgili araştırmalar yapıldığında, mermer ocaklarında piroteknik kaya kırıcılar ve patlayıcılar ile pasa malzemesinin ilerletilmesi ile ilgili bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Genel olarak mermer ocaklarında elmas tel kesme ve kollu kesicilerin çalışma kapasiteleri ve kesim performansları konularında yapılmış çalışmalara rastlanılmaktadır. Ayrıca patlatma çalışmaları madencilikte, açık ve yeraltı ocaklarında yaygın bir şekilde görülmekle beraber, mermer ocaklarında kullanıldığına dair bilimsel çalışmalara rastlanılmamaktadır.

Sahari (2012), Piroteknik ve propellant gibi malzemelerin, hassaslık sorununun ortaya çıkabileceği yıkım işleri, beton kırma, taş ocağı ve diğer inşaat işlerinde de kullanılabildiğini belirtmiştir. Gürültü, hava şokunun ve kaya fırlamasının minimum olduğunu, bununla birlikte yumuşak kayalarda kullanımının uygun olamayabileceğini vurgulamıştır. Writer (2012), Piroteknik kaya kırıcıların yıllardır kullanıldığını ve bu malzemeler sayesinde çevre ve güvenlik problemlerinin azaldığını (titreşim, kaya fırlaması, ses, toz ve gaz salınımı vb.) belirtmiştir. Özsarıkamış (2015), 3.Boğaz Köprüsü ve Kuzey Marmara Otoyolu projesinde, piroteknik kaya kırıcı kartuşların kullanımı ile birlikte çevresel etkileri değerlendirmek ve ilgili formasyona ait maksimum parçacık hızını tespit etmek için çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmalarda,

kırma enerjisi seviyesinden dolayı piroteknik kaya kırıcıların kullanımları esnasında çevreye düşük seviyelerde zararlı enerji salımı yaptıklarını belirtmiştir. Böylece, riskli yapıların olabildiğince yakınında, kaya kırma işleminin, yapıya herhangi bir fiziksel zarar vermeden piroteknik kaya kırıcılar ile yapılabileceğini vurgulamıştır.

Piroteknik kaya kırıcıların doğaltaş sektörü dışında; genelde kanal açma çalışmalarında, yerleşim alanındaki kaya-taş hafriyatlarında, tünel-tüp geçit çalışmalarında, doğal gaz boru hatlarının yakınında vb. alanlarda kullanımı ile ilgili yapılan çalışmalar mevcuttur. Yapılan bu çalışmalarda, piroteknik kaya kırıcıların yerleştirileceği delik çapının önemi ve uygun delik çaplarına göre farklı gramajlarda piroteknik kaya kırıcıların üretiminin yapılması gerektiği belirtilmiştir. Piroteknik kaya kırıcıların kullanımında delik çapının yanlış seçimi, malzemenin yüksek basınç üretmeden yanmasına ve de sadece maliyeti arttırmasına neden olmaktadır. Bunun yanı sıra ekskavatörlere atışman olarak takılan hidrolik kırıcıların şantiyelerde ocak genişletme çalışması ile ilgili yapılan çalışmalara rastlanmaktadır. Yapılan incelemelerde hidrolik kırıcının aynı zamanda inşaat sektöründe de aktif olarak kullanıldığı görülmektedir.

Bu çalışmada; bej mermer ocağında çeşitli bölgelerde, farklı delikler arası mesafelere sahip paternler hazırlanarak en uygun mesafe ve optimum özgül şarj miktarı belirlenmiştir. Hidrolik kırıcı ve piroteknik kaya kırıcıların avantajları ve dezavantajları belirlenerek, her iki yöntemin karşılaştırılması yapılmış (piroteknik kaya kırıcılar+hidrolik kırıcı ve hidrolik kırıcı ile doğaltaş ocaklarında pasa ilerletme çalışmaları) birim zaman, birim maliyet, optimum ilerleme yöntemi vb. konuları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar ile mermer ocaklarında en uygun pasa ilerletme yönteminin belirlenmesi amaçlanarak, piroteknik kaya kırıcıların mermer ocaklarında ilk defa kullanımının teknik ve bilimsel olarak uygunluğu belirlenmiştir.

3 MERMER İŞLETMECİLİĞİNDE PASA İLERLETİM YÖNTEMLERİ

Mermer ocağında pasa ilerletim yönteminin uygulamasının yapılabilmesi için işletmede uygun pasa bölgeleri seçilmiştir. Bu seçilen bölgelerde hem hidrolik kırıcı ile hem de piroteknik kaya kırıcı+hidrolik kırıcı ile ilerletim yöntemleri denenerek veriler toplanmıştır. Bu denemelerde jeolojik yapı bazı yerlerde sert, bazı yerlerde de yumuşak olabilmektedir. Bu nedenle teknik verilerde çok fazla değişkenliğe sebep olmaması için mümkün olduğunca homojen yapılar tercih edilmeye çalışılmıştır.

Daha önceki bölümlerde belirtildiği gibi, piroteknik kaya kırıcılarda delikler arası mesafe, dilim kalınlıkları, özgül şarj, gevşetmeden sonra hidrolik kırıcının çalışma süresi vb. unsurlar maliyet açısından ve istenilen tane boyutunda malzeme elde edilmesi açısından da önemlidir. Bu nedenle piroteknik kaya kırıcılar için delikler arası mesafeler 1 m, 1,5 m, 2 m, 2,5 m ve 3 m olarak belirlenerek en uygun mesafenin bulunması için deneme çalışmaları yapılmıştır. Her iki yöntemden önce pasa alanının alt ve yan kesimleri elmas tel kesme makineleri ile kesilerek ana kayadan ayrılma işlemleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Söküm yapılacak bölgelerin alt ve yan kesimlerinin yapılması

Bu iki pasa ilerletim yönteminde de alt ve yan kesim için delinen delikler ve elmas tel ile kesim işlemleri ortak olduğu için birim süre verileri birim maliyet verilerine dahil edilmemiştir. Ayrıca yapılan hesaplamalarda piroteknik kaya kırıcılar için delinecek olan dikey deliklerin süreleri ayrıca

Çizelge 1. Delici (Rok) ve Atlas Copco delicilerin birim giderleri

Sondaj tipi	Delik delme hızı (m/h)	Birim yakıt gideri (lt/m)	Birim işçilik maliyeti (TL/h)	Birim tamir bakım maliyeti (TL/m)	Birim kiralama maliyeti (TL/m)
Rok	12	1.17	17.77	1	-
Atlas Copco D7	55	0.7	-	-	5

Çizelge 2. Delici (Rok) ve Atlas Copco delicilerin toplam giderleri

Sondaj tipi	Delinecek delik metraji (m)	Yakıt maliyeti (TL)	İşçilik maliyeti (TL)	Tamir-bakım maliyeti (TL)	Kiralama maliyeti (TL)
Rok	2881	13445	4266	2881	-
Atlas Copco D7	2881	8067	-	-	14405

Çizelge 3. Delici (Rok) ve Atlas Copco delicilerin karşılaştırılması

Sondaj tipi	Delik çapı (mm)	Delinecek delik metraji (m)	Toplam süre (h)	Toplam maliyet (TL)	Birim maliyet (TL/m)	Birim süre (m/h)
Rok	76	2881	240	20592	7.15	12
Atlas Copco D7	76	2881	52.4	22472	7.80	55

Çizelge 4. Belirlenen bölgelerde uygulanan hidrolik kırıcı ve piroteknik kaya kırıcı + hidrolik kırıcı ölçüm değerleri

Uygulanan Yöntem	Delikler arası mesafe (m)	Boşaltılan hacim (m ³)	Toplam süre (h)	Özgül Şarj (kg/m ³)	Piroteknik kaya kırıcı maliyeti (TL)	Toplam maliyet (TL)	Birim süre (m ³ /h)	Birim maliyet (TL/m ³)
Hidrolik kırıcı	-	175,50	5,0		-	1044	35,10	5,95
Piroteknik kaya kırıcı+Hidrolik kırıcı	1	175,50	2,5	0,094	2052	2734	70,20	15,58
Hidrolik kırıcı	-	231,00	7,0		-	1494	33,00	6,47
Piroteknik kaya kırıcı+Hidrolik kırıcı	1,5	231,00	4,0	0,048	1368	2073	57,75	8,97
Hidrolik kırıcı	-	729,00	33,0		-	5312	22,09	7,29
Piroteknik kaya kırıcı+Hidrolik kırıcı	2	729,00	17,0	0,035	3192	5418	42,88	7,43
Hidrolik kırıcı	-	750,00	30,0		-	5910	25,00	7,88
Piroteknik kaya kırıcı+Hidrolik kırıcı	2,5	750,00	19,0	0,035	3224	6000	39,47	8,00
Hidrolik kırıcı	-	732,60	24,5		-	5350	30,00	7,30
Piroteknik kaya kırıcı+Hidrolik kırıcı	3	732,60	20,0	0,033	2976	6222,10	36,63	8,49

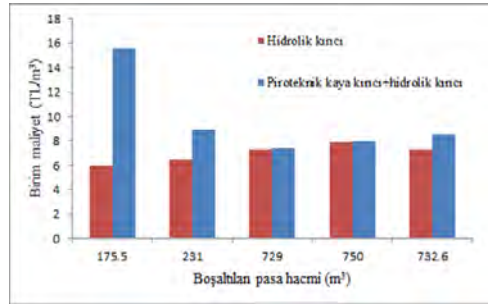
değerlendirilmiştir. Bunun sebebi ise, farklı tip deliciler kullanılarak yapılan işlemlerin birbirleri arasındaki avantaj ve dezavantajlarının değerlendirilmesidir. Dikey delikler delinirken aynı zamanda alt kesim ve/veya yan kesim işlemleri gerçekleşeceği için piroteknik kaya kırıcı uygulanacak bölgede dikey deliklerin delinmesi ayrıca bir zaman kaybına neden olmamaktadır.

Piroteknik kaya kırıcıların kullanılabilmesi için dikey delik delme işleminin koordineli bir şekilde yapılması gerekmektedir. Belirlenen bölgelerde deneme çalışmaları yapılırken şirketin bünyesinde yer alan delicinin (Rok); bit, tabanca ve tij takımı değiştirilerek delme işlemi gerçekleştirilmiştir. Kullanılan bu delici, mermer ocaklarında elmas tel kesme yöntemi için dikey ve yatay deliklerin delinip birbirlerine birleştirilmesi işlemlerinde kullanılacak şekilde dizayn edilmiş bir delicidir. Fakat delme gevşetme yöntemi ile ilerleyen maden ocaklarında dikey delik delmek için çalışan delicilerin çalışma prensibi mermer ocaklarındaki delicilerden daha farklıdır. Bu nedenle kış sezonu boyunca pasa ilerletme çalışması yapılacağından Atlas Copco D7 marka delici hizmet alımı yapılarak mermer ocağında dikey deliklerin delinmesi işlemlerinde kullanmak için kiralanmıştır. Rok ve Atlas Copco D7 markalı delicilerin birbirleri arasındaki farklar Çizelge 1-3'te verilmiştir.

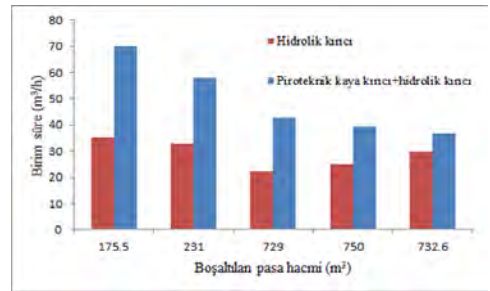
Yapılan bu incelemelerin sonucunda şirket bünyesinde yer alan delicinin (Rok) sürekli pasa ilerletimi için delinecek dikey deliklerde kullanımının uygun olmadığı görülmektedir. Delicinin (Rok) patlatma delikleri delinmesi için kullanıldığı zamanlarda şantiye içerisindeki asıl iş tanımından uzaklaşarak iş kaybına neden olmaktadır. Dışarıdan kiralanılan Atlas Copco D7 markalı delici ise zaman açısından daha karlı olduğu görülmektedir. Fakat bu tarz hızlı delik delebilen delicileri kiralamak için toplam delinecek delik miktarı önemlidir. Küçük metrajlı işler için dışarıdan kiralama işlemi yapılamamaktadır. Küçük çaplı önemli bölgelerin acil olarak delinip

gevşetilmesi işlemlerinde Rok delicinin tercih edilmesi gerekmektedir. Önceden belirlenen bölgelerde en uygun gevşetme paterninin belirlenebilmesi için deneme çalışmaları yapılmıştır (Çizelge 4).

Pasa ilerletim çalışmaları sonucunda Çizelge 4'de görüldüğü gibi delikler arası mesafe ve pasa olarak ilerletilecek bölgenin boyutları değiştiğince birim maliyet ve birim süreler de değişmektedir. Küçük hacim ve gevşetme delikleri arasındaki mesafenin az olduğu durumlarda hidrolik kırıcı ile söküm daha avantajlı olabilmektedir. Söküm yapılacak alan büyüdükçe ve gevşetme delikleri arasındaki mesafe arttığında ise piroteknik kaya kırıcı+hidrolik kırıcı yönteminin daha verimli olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 5 ve Şekil 6).



Şekil 5. İki yöntemin birim maliyetler bakımından karşılaştırması



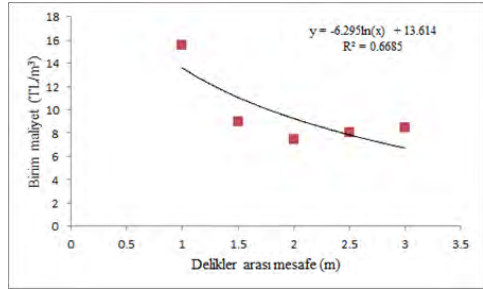
Şekil 6. İki yöntemin birim süreler bakımından karşılaştırması

Gevşetme paternleri hazırlanırken dikkat edilmesi gereken noktalardan biri de serbest yüzeye olan delik mesafesidir. Delikler hazırlanırken de tel kesiminin olduğu alanlara ve serbest yüzeylere (dilim kalınlığı) her zaman 1 m'lik (Şekil 7) mesafe bırakıldıktan sonra delikler arası mesafeler kendi aralarında 1 m, 1,5 m, 2 m, 2,5 m ve 3 m olacak şekilde değiştirilmiştir. Dilim kalınlığının 1 m bırakılmasının sebebi, piroteknik kaya kırıcıların kayaç içerisinde şok etkisini yarattıktan sonra serbest yüzeylerden kayacın boşalmasını sağlamaktır. Mesafenin daha kısa bırakılması halinde ise, piroteknik kaya kırıcı malzemenin gücü fazla gelip aynadan püskürme işlemi gerçekleştirerek enerji kaybına neden olmaktadır. Delinen deliğin serbest yüzeye olan mesafenin 1 metreden daha çok bırakılması halinde ise, piroteknik kaya kırıcı malzemenin gücü yetersiz kaldığından aynadan boşalma sağlayamayacak ve kayacın kendi içerisinde kitlenmesine neden olmaktadır.



Şekil 7. Dilim kalınlığı ve delikler arası mesafe

Formasyonun sertlik ve yumuşaklık dereceleri bölge bölge değiştiğinden dolayı bütün delikler arası mesafelerin kendilerine göre avantaj ve dezavantajları olabilmektedir. Bu bej mermer ocağı için en uygun delikler arası mesafe 2 m ile 2,5 m olarak belirlenmiştir (Şekil 8). Bu nedenle deneme çalışmalarından sonra, saha içerisinde genellikle serbest yüzey ve tel kesimine olan mesafenin 1 m ve delikler arası mesafenin 2,5 m olduğu gevşetme paterni uygulanmıştır. Genellikle delinecek bölgeler dörtgen şeklinde hazırlanmaktadır.



Şekil 8. Delikler arası mesafenin birim maliyete etkisi

Yapılan bu tasarımlardan sonra piroteknik kaya kırıcı ile gevşetilen formasyonlar, hidrolik kırıcı yardımı ile kırma işlemi belirlenen bölgelerde uygulanmıştır. Serbest yüzeye ve tel kesimine olan mesafenin 1 m, delikler arası mesafenin 2,5 m olduğu gevşetme paternli delikler delindikten sonra deliklere piroteknik kaya kırıcılar yerleştirilerek gevşetme yapılmıştır (Şekil 9 ve Şekil 10).



Şekil 9. Gevşetme öncesi ve sonrası aynanın genel görünümü



Şekil 10. Gevşetme sonrası yüzeyde oluşan çatlaklar

Gevşetme yapılan bölgedeki kayanın yapısında gevşeme ve çatlaklar meydana gelip birincil kırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Gevşeyen kayanın formasyonunun kamyonlara daha rahat yüklenmesi için ekskavatörün ucuna ataşman olarak takılan hidrolik kırıcı yardımı ile ikincil kırma işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 11).



Şekil 11. Gevşetme sonrası hidrolik kırıcı ile kırma işlemleri

İşletmenin bünyesinde yapılan fizibilite çalışmaları sonucunda sürekli olarak ekskavatöre bağlı olarak çalışan hidrolik kırıcı iş makinelerinin randımanlı kullanım ömürleri 8000 ile 10000 saat (motor saati) olarak belirlenmiştir. Ekskavatörler bu çalışma saatlerine yaklaşık günlük aktif çalışma süreleri azalmakta, arızalar, tamir bakım giderleri, işçilik gibi faktörler

artmaktadır. Randımanlı çalışmaya devam edilebilmesi için idame yatırımlarının yapılması gerekmektedir. İdame yatırımında, bir adet 40 tonluk ekskavatör ve bir adet 3 tonluk hidrolik kırıcının toplam maliyeti 800.000 TL ile 850.000 TL civarlarındadır. 9000 saatlik randımanlı kullanım ömürlerini dolduran ekskavatör ve hidrolik kırıcıların hurda bedeli olmaktadır (Çizelge 5 ve Çizelge 6). Hurda bedeli hesabında baz alınan değer düşüşleri; ilk yıl %25, ikinci yıl kalan paranın %15'i, üçüncü ve diğer yıllarda kalan paranın %10'u olarak hesaplanmaktadır.

Çizelge 5. İdame yatırımı için kullanılacak birim kalem tablosu

Birim Kalemler	Birim	Değer
Ekskavatör (40 ton'luk)	TL	700000
Hidrolik kırıcı (3 ton'luk)	TL	100000
Hurda bedeli	TL	220000
Mazot maliyeti	TL/h	96
Randımanlı kullanım ömrü	h	9000
Aylık kullanım süresi	h	270

Çizelge 6. İdame yatırım değerleri ve ekskavatörlerin kullanım ömürleri

	Hidrolik kırıcı	Pirroteknik kaya kırıcı+ Hidrolik kırıcı
Hidrolik kırıcının boşalttığı hacim (m ³ /ay)	8535	8535
Hidrolik kırıcının saatlik söküm kapasitesi (m ³ /h)	31,61	52,21
Ekskavatörün aylık çalışma süresi (h/ay)	270	164
Ekskavatör ve hidrolik kırıcının randımanlı kullanım ömrü (h)	9000	9000
Ekskavatör kullanım ömrü (Yıl)	2,78	4,57
Ekskavatörün kullanım ömründeki toplam harcanan yakıt maliyeti (TL)	864000	864000
İdame yatırım maliyeti (TL)	800000	800000
Hurda bedeli (TL)	220000	220000
Toplam maliyet (TL)	1444000	1444000
Bir adet yeni ekskavatör alınması için yıllık yatırım miktarı (TL)	520000	316000

4 SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında bej mermer ocak işletmesinde uygulanan iki farklı pasa ilerletim yöntemi; hidrolik kırıcı ve piroteknik kaya kırıcı+hidrolik kırıcı pasa ilerletim yönteminde kullanılan hidrolik kırıcı ve piroteknik kaya kırıcı kullanımı ile ilgili birim süre, birim maliyet gibi konularda ölçüm ve gözlemler yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda, elde edilen saha verileri irdelenerek bu ocağa ait en uygun pasa ilerletim yöntemi tanımlanmaya çalışılmıştır. Pasa ilerleme hızının ve verimliliğinin artırılması, üretim maliyetlerini düşürerek doğrudan işletme kazançlarını etkilemektedir. Yapılan incelemeler sonucunda, piroteknik kaya kırıcı malzemelerin uygun delik paterninde kullanılması durumunda mermer ocaklarında güvenli bir şekilde kullanılacağı görülmüştür. Bej mermer ocağında iki farklı pasa ilerletim yöntemi çalışmalarına göre aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

✓Pasa ilerletim çalışmaları sonucunda delikler arası mesafe ve pasa olarak ilerletilecek bölgenin boyutları değiştikçe birim maliyet ve birim süreler de değişmektedir. Küçük hacim ve gevşetme delikleri arasındaki mesafenin az olduğu durumlarda hidrolik kırıcı ile söküm daha avantajlı olmaktadır.

✓Söküm yapılacak hacimlerin artması durumunda ve gevşetme delikleri arasındaki mesafe arttığında ise piroteknik kaya kırıcı+hidrolik kırıcı yöntemi daha verimli olmaktadır. Diğer bir ifadeyle, büyük hacimlerin boşaltılması istenildiğinde piroteknik kaya kırıcıların kullanılması durumunda hidrolik kırıcıların çalışma süreleri önemli derecede azalmaktadır.

✓Çalışma alanındaki mermer ocağı için en uygun delikler arası mesafe 2 m ile 2,5 m ve dilim kalınlığı ise 1 m olarak belirlenmiştir.

✓Piroteknik kaya kırıcı ile pasa alanları gevşetildikten sonra, hidrolik kırıcının birim zamandaki iş hacmi 52,21 m³/h, gevşetme yapılmayan alanlarda ise, 31,61 m³/h. Piroteknik kaya kırıcıların kullanılması ile

hidrolik kırıcının söküm kapasitesi yaklaşık % 40 artmıştır.

✓Hidrolik kırıcıların az çalışması sonucunda, arızalar azalmakta, yakıt tüketimi azalmakta, operatör memnuniyeti artmakta ve en önemlisi de aynı pasa alanlarının boşaltılması işlemlerinde paletli ekskavatörlerin ömürleri de artmaktadır.

✓Piroteknik kaya kırıcı kullanıldığında hidrolik kırıcı ile pasa ilerletiminin yapılması ile yakıt tüketimi azalmakta ve atmosfere salınan egzoz emisyon gazları da azalmaktadır. Bu nedenle Piroteknik kaya kırıcı+hidrolik kırıcı uygulamaları çevre dostu bir çalışma yöntemidir.

✓Piroteknik kaya kırıcılar kullanıldığında 20-25 m'lik mesafede dahi herhangi bir zemin titreşim hareketi insanlar tarafından algılanmamıştır.

✓Yapılan analizler sonucunda sadece hidrolik kırıcı ile çalışılması durumunda idame yatırımının 2,78 yıl sonra yapılması gerektiği, Piroteknik kaya kırıcı+hidrolik kırıcı ile çalışması durumunda ise, 4,69 yıl sonra yapılması gerektiği belirlenmiştir. Diğer bir ifadeyle, piroteknik kaya kırıcıların kullanılması durumunda ekskavatörlerin ömürleri yaklaşık % 40 daha fazla olabilmektedir.

Bu çalışmada verilen rakamsal değerler, yalnızca çalışmanın yapıldığı mermer ocak işletmesine ait olup aynı tür doğal taş işleyen farklı ocaklarda daha farklı rakamsal veriler ve bunlara bağlı olarak yaklaşım değerleri elde edilebilir. Bu açıdan farklı kayaç türlerine uygun gevşetme paternlerinin seçilmesi için teknik elemanlar tarafından bu ölçüm değerleri alınarak, kayaç türlerine uygun gevşetme paterni tasarımları yapılmalıdır. Ayrıca, farklı bir kayaç yapısı üzerinde, farklı gevşetme paternleri, farklı ekskavatörler ve hidrolik kırıcılar ve değişik marka piroteknik malzeme uygulamaları yapılarak pasa bölgelerindeki gevşetme verimlerinin de incelenmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Anonim, 2007. Dokuzuncu Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, 2007-2013, T.C. Başbakanlık DPT, Ankara.
- Anonim, 2017. EYT™ Patlatma Kartuşları. (<http://piroteknik.weebly.com/index.html>).
- Çelik, D., 2017. Kimyasal Maddeler ve Tehlikeleri, Ünite 3. Atatürk Üniversitesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü. (<http://www.isgteknikerleri.com/vize-final-butunleme-f18/2-donem-ata-aof-kimyasal-maddeler-ve-tehlikeleri-ders-notlari-t242.html>).
- İMMİB, 2016. Maden Sektörü İhracatının Genel Değerlendirilmesi, 2016 yılı Maden Sektör Görünümü, İstanbul Maden İhracatçılar Birliği, İstanbul.
- Özsarıkamış E., 2015. Piroteknik Kaya Kırıcı Kartuşların Kullanım Alanları ve İlgili Kaya Biriminde Maksimum Parçacık Hızı Tahmini. 8. Delme-Patlatma Sempozyumu. 19-20 Kasım/İstanbul, pp. 139-150.
- Sahari, L.K., 2012. Construction Blasting and Alternative Non-Explosive Rock Breaking Techniques. JURUTERA, June 2012.
- TİM, 2017. İhracat Rakamları, Türkiye İhracatçılar Meclisi, İstanbul.
- Writer, S., 2012. Revolutionary Low Impact Rock Breaking Technology. Mining Global, Apr 19.
- Yetim, A., 2012. Ar&Ge Bülten 2012 Eylül – Sektörel, İzmir.

II

DOĞAL TAŞ FABRİKA İŞLETMECİLİĞİ
NATURAL STONE FACTORY PROCESSING

Performance Comparison of White Fused Alumina and Garnet Abrasives in Abrasive Waterjet Cutting of Marble

S. Kaya, G. Aydın, I. Karakurt

Karadeniz Technical University, Mining Engineering Department, Trabzon, Turkey

ABSTRACT As an alternative abrasive, use of White Fused Alumina (WFA) in abrasive waterjet (AWJ) cutting of marble is investigated in this study. The performance of the WFA is compared with the garnet which is widely used as an abrasive in the AWJ cutting applications. Marble samples are cut with the constant operating variables of the AWJ (traverse speed, abrasive mass flow rate, waterjet pressure and standoff distance). The cutting performances of these two abrasives are evaluated based on some performance outputs including the cut depth, kerf width, kerf angle and surface roughness. The results show that the WFA can be effectively used as an alternative to the garnet in the AWJ cutting of rock such as marble.

Keywords: Abrasive waterjet, waterjet rock cutting, abrasives, white fused alumina, garnet

1 INTRODUCTION

Abrasive waterjet (AWJ) technology (Fig.1) is one of the non-traditional machining processes. The main advantages of this technology can be listed as below:

i. Precise shape cutting

ii. Extended tool life

iii. Process automation

iv. Complex free-form cutting

v. Better working conditions and environment.

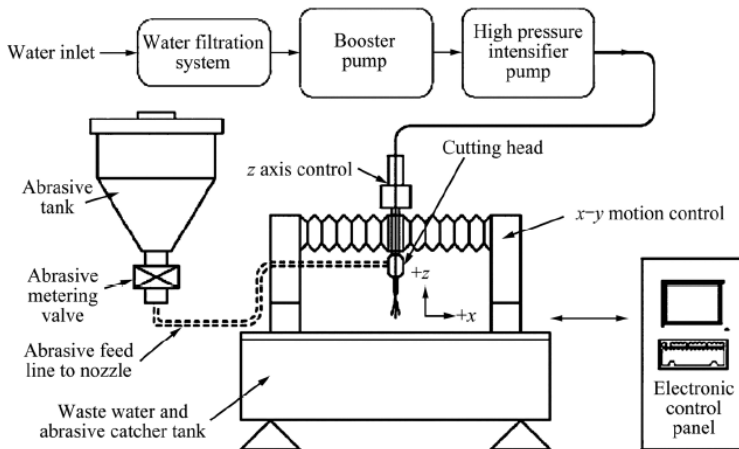


Figure1. A schematic illustration of the experimental setup (adopted from Dufloy et al. 2001).

These features make the technology an environmentally friendly technique over other traditional cutting processes such as circular sawing in natural stone machining and processing applications (Miranda and Quintino 2005; Vundavilli et al. 2012).

In the AWJ cutting (Fig. 1), a high speed stream of abrasive particles and water mixture passing through a narrow neck (nozzle) remove the particles from the material surface. Abrasive particles are employed in order to cut harder materials such as glass, metals and rocks (Karakurt, 2011). Selecting the appropriate abrasive for the AWJ cutting applications can significantly affect the cutting performance and profitability of equipment. Garnet is generally used an abrasive material in the AWJ cuttings (Mort, 1995). Nevertheless, there are some materials in the market that can be evaluated as an abrasive in the AWJ. In this study, as an alternative abrasive, White Fused Alumina (WFA) was considered on this basis.

2 EXPERIMENTAL STUDY

2.1 Material

Marble with the traditional name of Crema Eda (Sivrihisar Beige) exhibiting was used as the cutting material for the experiments. This type was preferred due to its homogenous structure. This structure enables to constant rock properties in all cuttings and determines the abrasives performance effectively. Some properties of the marble are shown in Table 1. Mohs hardness of the marble was approximately 3. Samples were prepared in a thickness of 3 cm, length of 20 cm and width of 10 cm. The marble chemically consist of 55.5% Cao, 41.75% loss of ignition, 2.20% MgO, 0.24% SiO₂ and 0.21% Fe₂O₃.

Table 1. Some properties of the marble.

Standard	Property	Value
ASTM-C170	Compr. Strength (MPa)	88.80
ASTM-C880	Flexural Strength (MPa)	8.85
ASTM-C97	Density (g/cm ³)	2.68
ASTM-C97	Water absorption (%)	0.19

Chemical compositions of the abrasives are presented in Table 2.

Table 2. Chemical compositions of abrasives

Content (%)	Garnet	WFA
Al ₂ O ₃	23	99.73
SiO ₂	35	0.01
Fe ₂ O ₃	33	0.03
MgO	7	0.01
TiO ₂	-	0.02
CaO	1	0.02
MnO	1	-
Na ₂ O	-	0.14

The WFA and garnet were fed to mixing chamber of the AWJ in a narrow range of size (150-300 μm) in order to minimize the effect of size distribution on the cutting performance. Figure 2 shows the WFA and garnet particles examined under microscope (20X). As can be seen, the WFA particles have similar grain shapes (the edges of sharp and slightly round) with the garnet. It is also seen that garnet contains different liberated fractions while the WFA seems homogenous

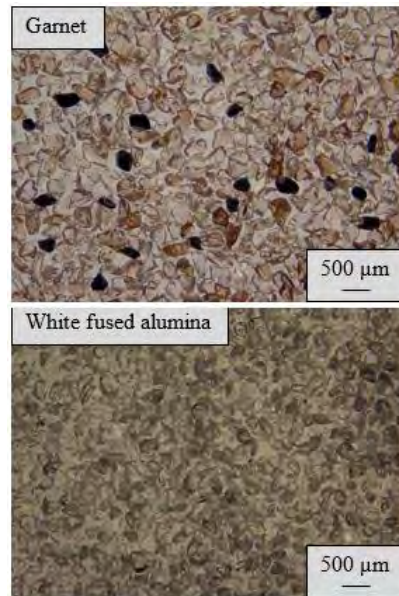


Figure 2. Microscope images of the WFA and garnet.

2.2 Experimental Method

The experiments are conducted on an AWJ cutter (Fig. 3). The nozzle diameter of the AWJ is 1.1 mm and its length is 75 mm. The diameter of orifice is 0.33 mm.



Figure 3. The AWJ used in the study.

The marble samples are cut through their lengths and each sample is cut three times in the same condition using each abrasive. Owing to the variability and accuracy of the experimental data, each sample was cut three times in the same conditions.

Table 3. Levels of the cutting parameters.

Cutting parameters	Value
Traverse speed (mm/min)	100
Abrasive flow rate (g/min)	350
Standoff distance (mm)	4
Water pressure (MPa)	200
Abrasive size (μm)	150-300

Totally 27 [9 (on the each cutting line) x 3 (repetition)] measurements were taken for the cutting depth and cutting width and the average was recorded as the final readings for these two performance outputs. The vertical length between the top and bottom of the kerf is defined as cutting depth. The cutting width represents the width of the cutting line on the surface of the cutting material (at the top of the kerf).

Kerf angle is also considered for the performance assessment of two abrasives. Kerf angle is a quantity that is often used to reflect the inclination of the kerf wall from the top surface to the bottom of the kerf (Wang and Guo, 2003). It is an undesirable

geometrical feature inherent to AWJ machining. A schematic diagram of the kerf profile is shown in Figure 4. In the figure, A, B and C represent the upper smooth surface zone, surface striation zone and jet upward deflection zone, respectively.

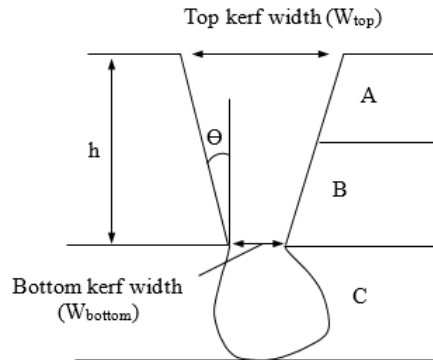


Figure 4. Schematic illustration of kerf profile produced by AWJ (Liu, 2004).

The kerf angle for each cut was determined using Eq. 1. Three measurements were made for the variable included in the Eq. 1 and the kerf angle was calculated. Averages of the measurements were recorded as the final kerf angle.

$$\Theta = \tan^{-1} [(W_{\text{top}} - W_{\text{bottom}}) / 2h] \quad (1)$$

Where; Θ is the kerf angle (degree), h is the kerf depth (mm), W_{top} and W_{bottom} are the top and bottom kerf widths, respectively.

Surface roughness, which is a component of surface texture, is another performance outputs considered in this study. It is quantified by the deviations in the direction of the normal vector of a real surface from its ideal form. There are some parameters to express the surface roughness. The most used of these are; R_a (roughness average), R_q (root mean square roughness) and R_z (average maximum height of the profile). R_a is the arithmetic average of the absolute values of the profile heights over the evaluation length; R_q is the root mean square

average of the profile heights over the evaluation length and R_z is the average distance between the highest peak and lowest valley in each sampling length. Surface roughness measurements were made using a stylus-type profilometer, Mitutoyo Surftest SJ-301 (DIN EN ISO 4287) for the cut surfaces of marble samples. This device graphs the surface profile by scanning a few millimeters horizontal line of surface and calculates the R values. Due to the variability of surface finish data, totally 27 measurements for three cutting were taken at the upper zone (smooth zone) of the cut surface and the average was taken as the final surface roughness.

3 RESULTS AND DISCUSSION

A summary of the experimental results are presented in Table 4.

Table 4. A summary of the experimental results.

Content	Garnet	WFA
Cutting width (mm)	2.21	2.07
Cutting depth (mm)	15.62	15.95
Surface Roughness, Ra (μm)	4.59	4.73
Surface Roughness, Rq (μm)	5.63	5.85
Surface Roughness, Rz (μm)	22.52	23.87
Kerf angle (Degree)	4.98	2.43

The lower cutting width indicates the better cutting performance due to less material losses. On the other hand, higher cutting depth is also indicator for a better cutting. As can be seen from Figure 5, similar cutting widths and cutting depths were obtained with the abrasives. With the comparison of the garnet, performance improvement were calculated as 6% and 2% based on the cutting width and cutting depth, respectively for the WFA.

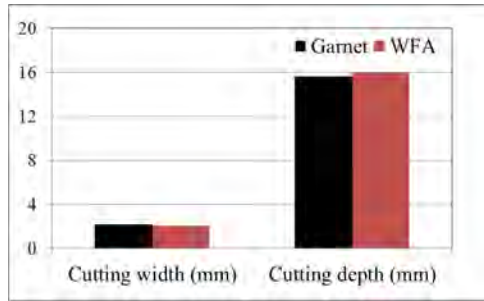


Figure 5. The abrasive performances based on the cutting width and cutting depth.

Higher kerf angle indicates the poor cutting performances since the inclined surfaces are required additional treatments for smoothing. As can be seen from Figure 6, the WFA shows better performance over the garnet in terms of kerf angle due to its higher hardness (Mohs Hardness: 9.03) when compared to the garnet (Mohs Hardness: 7-7.5). It can be said that the abrasives with higher hardness show less disintegration observed during mixing, focusing and cutting operations. Thus, the WFA carried out effective cutting as it approaches the lower part of the kerf. As a result of this effect, the bottom kerf was effectively machined by this abrasive. The WFA produced smaller kerf angle by 51% as compared to the garnet.

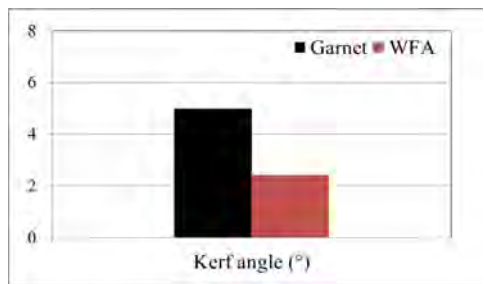


Figure 6. Performance comparison of the abrasives based on the kerf angles.

The performances of two abrasives in terms of the surface roughness are presented in Figure 7. Similar values of surface roughness were recorded in the cuttings with the abrasives.

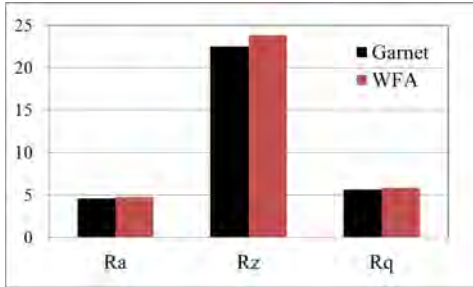


Figure 7. Performance comparison of the abrasives based on the surface roughness.

4 CONCLUSIONS

In this study, as an alternative abrasive to the garnet, performance of White Fused Alumina (WFA) in the AWJ cutting of marble was investigated. Results indicated that the WFA showed similar performance with the garnet based on the cutting width, cutting depth and surface roughness. Results also revealed that the WFA showed better cutting performance over the garnet based on kerf angle. Therefore, it can be recommended as an alternative abrasive in the AWJ cuttings. For further studies, the cutting performance of the WFA could be also investigated for different levels of the cutting parameters.

REFERENCES

- ASTM, 2015. Standard Test Method for Flexural Strength of Dimension Stone, C880, West Conshohocken, PA.
- ASTM, 2015. Standard Test Methods for Absorption and Bulk Specific Gravity of Dimension Stone, C97, West Conshohocken, PA.
- ASTM, 2016. Standard Test Method for Compressive Strength of Dimension Stone, C170 West Conshohocken, PA.
- DIN EN ISO 4287. Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface texture: Profile

- method – Terms, definitions and surface texture parameters, Germany.
- Dufloy, J.R., Kruth, J.P., Bohez, E.L., 2001. Contour Cutting of Pre-formed Parts with Abrasive Waterjet Using 3-axis Nozzle Control. *Journal of Material Processing Technology*, 115, pp. 38–43
- Karakurt, I., 2011. Aşındırıcı Su Jeti (ASJ) ile Kayaç Kesmede Parametrik Değişimlerin ve Malzeme Dokusal Özelliklerinin Kesme Performansı Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kartal, F., 2015. AISI 105 Çeliğinin Aşındırıcı Su Jeti ile Tornalanmasında Farklı Parametrelerin Talaş Kaldırma Oranı ve Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Karabük Üni., Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Liu, H., 2004. A Study of the Cutting Performance in Abrasive Waterjet Contouring of Alumina Ceramics and Associated Jet Dynamic Characteristics, PhD Thesis, School of Mechanical, Manufacturing and Medical Engineering, Queensland University of Technology.
- Miranda, M.R., Quintino, L., 2005. Microstructural Study of Material Removal Mechanisms Observed in Abrasive Waterjet Cutting of Calcareous Stones, *Mater Charact*, 54, 4-5, pp. 370–377.
- Mort, A., 1995. Results of abrasive water jet market survey, *Proceedings of 8th American Water Jet Conference*, Vol. 1, pp. 259-289, Houston, Texas, USA.
- Vundavilli, R.P., Parappagoudar, M.B., Kodali, S. P., Bengaluri, S., 2012. Fuzzy logic-based expert system for prediction of depth of cut in abrasive water jet machining process, *Knowl Based Syst*, 27, pp. 456 - 464.
- Wang, J. and Guo, D.M., 2003. The Cutting Performance in Multipass Abrasive Waterjet Machining of Industrial Ceramics, *Journal of Material Processing Technology*, 133, pp. 371-377.

Mermer Blok Kesme Makinası Seçiminde, GİA (Gri İlişkisel Analiz) Yönteminin Uygulanması *Application of Grey Relation Analysis (GRA) Method for Selection of Marble Block Cutting Machine*

Metin Ersoy, Mustafa Yavuz Çelik, Liyaddin Yeşilkaya
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksekokulu, Doğal Yapıtaşları Programı,
metinersoy@aku.edu.tr, metinersoy@yandex.com

ÖZET Mermer ve doğaltaş fabrikalarında blok kesim süreci, tesisin verimliliğini, kapasitesini ve yatırım tutarını etkileyen önemli faktörlerdendir. Mermer blok kesme makinaları, mermerin kesilme şekline göre dairesel testereli (ST), lamalı (Katrak) ve telli (Multitel, Telli katrak) blok kesme makinaları olarak sınıflandırılırlar. Makinalar arasındaki seçim ise ekonomik ve teknik birçok kritere bağlıdır. Dolayısıyla hangi makinanın seçileceği konusunda bilimsel yöntemlerin kullanılması zorunludur.

Çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinden Gri İlişkisel Analiz (GİA) yöntemi, karar vericilere, karar verme sürecindeki nitel ve nicel faktörleri birleştirme olanağı veren, güçlü ve kolay anlaşılır bir yöntem olup süreci matematiksel bir tabanda ifade edebilir.

Bu çalışmada, mermer ve doğaltaş fabrikalarında kullanılan blok kesme makinalarının seçiminde GİA yöntemi kullanılmıştır. Bu amaçla önce mermer blok kesme makinaları tanıtılmış, sonra GİA yönteminin uygulaması anlatılmıştır. En son, endüstride en çok tercih edilen 3 farklı tip blok kesme makinası 11 kritere göre değerlendirilmiş ve tesisler için öncelik sıralamasının 0.24 ile lamalı blok kesici, 0.21 ile telli blok kesici ve 0.18 ile dairesel testereli blok kesici olduğu görülmüştür. Ayrıca yöntemin basit ve kolay olması nedeniyle mermer tesislerinin diğer problemlerinin çözümünde de denenmesi önerilmiştir.

Anahtar kelimeler: Çok kriterli karar verme (ÇKKV), Gri ilişkisel analiz (GİA), Mermer blok kesme makinası.

ABSTRACT The block cutting process in marble and natural stone factories is the most important factor that affects productivity and capacity of the plant, and amount of the investment. The marble block cutting machines are classified as circular saw (Stripper, Trimmer), blade (Gangsaw), and wire (Multiwire) block cutting machine according to the cutting principle of the marble. Selection among the machines is based on a great number of economic and technical criteria. Therefore, scientific methods should be used when selecting the machines.

Grey relation analysis (GRA), one of the multi-criteria decision-making (MCDM) methods, is a powerful and lucid method that allows the decision makers to combine qualitative and quantitative factors during the decision-making process; and it can express the process on a mathematical basis.

In this study, the GRA method is employed in selection of the block cutting machines used in the marble and natural stone factories. For this purpose, the marble block cutting machines are introduced at first, and then, the application of GRA method is explained. Finally, 3 types of block cutting machines which are the most preferred machines in the industry are examined by applying the GRA method according to 11 different criteria; and it is concluded that the suitable options for the plants are Gangsaw with a grey relational degree of 0.24, Multiwire

with 0.21, and Stripper with 0.18, respectively. Also it is recommended that the method should be tried in solution for other problems of marble plants due to its simple and easy.

Keywords: Multi criteria decision-making (MCDM), Grey relation analysis (GRA), Marble block cutting machine.

1. GİRİŞ

Türkiye'nin, mermer ve doğaltaş sektörü açısından uluslararası piyasalarda önemli bir üretici ülke olduğunu ispatlanmıştır. Mermer ve doğaltaş piyasasında üretim ve satış miktarı kadar, satış fiyatı daha yüksek olan kaliteli mamuller üretmekte önemlidir. Kuşkusuz hem üretim miktarının hem de kalitenin artırılması için atılacak her adımın bir maliyeti olacaktır. Dolayısıyla üreticinin yüksek kar elde edebilmesi için, verimliliği artırması şarttır.

Mermer ve doğaltaş sektöründe üretim süreci;

- Ocakta blokların üretilmesi ve fabrikaya taşınması
 - Blokların plaka ve levhalara ayrılması
 - Plaka ve levhaların yüzeylerinin ve kenarlarının işlenmesi (Cila, honlama, eskitme vs.)
 - Plaka, levha, fayans vs. şeklinde ebatlanması ve
 - Ambalajlanarak satışa sunulması
- şeklinde özetlenebilir.

Özürü blok ve yarı mamuller için, prosesin uygun noktalarında sağlama işlemleri de yapılır.

Üretim süreci içinde hammadde ile birlikte işçilik, elektrik, su, kesici soke, aşındırıcı abrasiv ve cila taşları vb. gibi birçok faktör yer almaktadır. Bir mermer ve doğaltaş fabrikasının planlanması aşamasında, üretim sürecine katılan makina ve donanımın seçimi, tesisin kapasitesini, üretilecek mamulün kalitesini, maliyetini dolayısıyla tesis verimliliğini doğrudan etkileyecektir.

Mermer ve doğaltaş üretim süreci içerisinde gerek ilk yatırım gerekse elektrik ve kesici soke tüketimi bakımından en büyük kalemi oluşturan aşama, blokların plaka ve/veya levhalara ayrılmasıdır. Blok kesme işlemi olarak tanımlanan bu adımda

dairesele testereli blok kesiciler (Stripper, ST), lamalı blok kesiciler (Gangsa, Katrak, LK) veya telli blok kesiciler (Multitel, Telli katrak, TK) kullanılır.

Makine seçiminde, kesimi yapılacak malzeme özelliklerinin yanı sıra, fiyat, su ihtiyacı, aşındırıcı tüketimi, enerji tüketimi, işçilik gereksinimi gibi makinanın çalıştırılması için gerekli olan birçok kriteri göz önüne almak gerekir. Bu da, alternatif makineler içerisinde seçim yapılabilmesi için bilimsel yöntemlere başvurulması gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır.

Çok kriterli karar verme yöntemleri (Multi criteria decision making, MCDM), en az üç kriter gere, değişken alternatifler arasında, karar verici için en uygun olanın belirlenmesinde başarı ile uygulanan, sayısal ve dilsel ifadelerin de kullanılabildiği matematiksel yöntemlerdir. 1960 lı yıllardan günümüze kadar 30 dan fazla yöntem bilim adamları tarafından önerilmiş olup bunlardan; AHP (Analitik Hiyerarşi Proses), TOPSİS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution), ANP (Analitik Network Proses), Electre (Elimination Et Choix Traduisant La Realite), Dematel (The Decision Making Trial and Evaluation Laboratory Method), Vikor (Visekriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) ve GIA (Grey relation analysis) en yaygın olanlarıdır. Ayrıca, bunlar ve diğer yöntemlerden, orijinal şeklinin yanında bulanık mantık (Fuzzy sets) kuralları çerçevesinde de yararlanılmaktadır.

Literatür incelendiğinde çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinden çok farklı disiplinlerde yararlanıldığı görülmektedir. Sadece son yıllar için, Akın'ın (2016) personel seçiminde, Çakır ve Özdemir'in (2016) proje seçiminde, Sabuncuoğlu ve

Görener'in (2016) inşaat projeleri yüklenici seçiminde, Karaatlı ve ark.'nın (2016) performans değerlendirmesinde, Göksu ve Güngör'ün (2008) üniversite seçiminde ÇKKV yöntemlerinin uygulanması birkaç örnektir.

ÇKKV yöntemlerinin madencilik disiplini uygulamalarına, Yavuz ve Alpay (2008), Alpay ve Yavuz (2009) ve Yavuz'un (2015) yeraltı maden işletme yöntemlerinin belirlenmesi, Yavuz'un (2008) doğaltaş endüstrisinde tesis yeri seçimi, İphar ve ark.'nın (2008) açık işletmelerde patlatma operasyonu sonucu ortaya çıkan yer sarsıntılarının tahmin edilmesi, Ersoy'un (2013) mermer ocaklarında güvenlik tedbirlerinin rolü, Yavuz ve Altay'ın (2015) yenileme projelerinin seçimi, Kuytu ve Polat'ın (2016) madencilik sektöründe otomasyon teknolojileri ve güvenlik riskinin değerlendirilmesi, Qiaoxiu ve ark.'nın (2016) kömür ocaklarında güvenlik değerlendirmesi, Yari ve ark.'nın (2016) taş ocaklarında güvenlik parametrelerinin değerlendirilmesi ve sınıflandırılması konulu çalışmaları örnek olarak sıralanabilir.

Gri ilişkisel Analiz (GİA) analiz yöntemi ise, Üstünışık (2007) tarafından bölgeler arası sosyo-ekonomik gelişmişliğin sıralanması, Türkmen ve Baş (2009) tarafından müzik eğitimcilerinin tutumlarının değerlendirilmesi, Özdemir ve Deste (2009) tarafından otomotiv sektöründe tedarikçi seçimi, Feng ve Wang (2000), Bektaş (2013) ve Peker ve Baki (2011) tarafından performans ölçümü problemlerinin çözümünde kullanılmıştır.

Görüldüğü üzere madencilik ve onun alt kolu mermer ve doğaltaş işletmeciliği konusunda GİA yönteminin kullanımı oldukça sınırlıdır. Bu amaçla, mermer işleme tesislerinin planlanması veya yenilenmesi aşamasında önemli bir adım olan blok kesici makina seçiminde GİA yönteminin uygulanabilirliği denenmiştir. Çalışmada, Ersoy ve Yeşilkaya (2013) tarafından yayınlanan esaslar baz alınmış olup kesme

prensiplerine göre üç farklı makina tipinin en yaygın olan modelleri ve makina seçimine etken 11 kriter ile sınırlandırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Çalışma, piyasada yaygın olarak kullanılan blok kesme makinalarının ve bu makinaların teknik özelliklerinin, çalışma parametrelerinin ve performanslarının belirlenmesi, sonra en uygun blok kesme makinasının seçimi aşamalarından oluşmaktadır.

Bu amaçla, mermer işleme tesislerinde blok kesme sürecinde en çok tercih edilen 1600 mm çaplı dairesel testereli blok kesici, 80 sıra lamalı katrik ve Türkiye'de henüz yeni tanınan 68 sıra telli blok kesme makinaları baz alınmış olup makinaların teknik özellikleri üretici firmasından temin edilmiştir. Ayrıca makinayı kullanan işletmelerden, çalışma parametreleri ve performanslarıyla ilgili bilgi alınmıştır. Makinaların karşılaştırılma işleminde ise GİA (Gri ilişkisel analiz) yöntemi uygulanmış olup hesaplamalarda Microsoft Office Excel programından yararlanılmıştır.

2.1. Mermer Blok Kesme Makinaları ve Özellikleri

Mermer ve doğaltaş blok kesme makinaları, kesme prensiplerine göre dairesel testereli, lamalı ve telli blok kesme makinaları olarak üç ana grupta incelenebilir. Dairesel testereli blok kesme makinaları, kolonlar üzerine oturtulmuş aşağı-yukarı hareketli bir köprü ve onun üzerinde ileri-geri hareketli dikey ve yatay testereden oluşan bir kesme ünitesinden ibarettir (Şekil 1). Üniteyi taşıyan kolonun sayısına göre iki ya da dört ayaklı ST olarak adlandırılırlar. Çalışma, düşey testere tarafından mermer bloğun yüzeyinin kesilmesi, yatay testere tarafından da kesilen plakanın bloktan ayrılması şeklinde gerçekleşir. Bloğun ya da kesme ünitesinin, kesme kalınlığı kadar yer değiştirmesi sonucu yeni plakaların kesimi

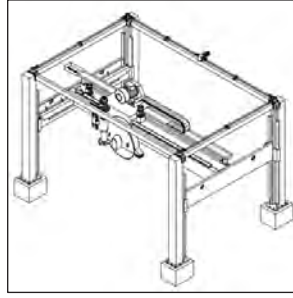
gerçekleşir. Bazı modellerinde birden fazla düşey testere takılarak bir turda daha fazla plaka kesimi ve/veya sert taşların kademeli kesimi yapılabilmektedir. Düşey testerenin çapı üretilecek plakanın enini sınırlayıcı bir faktör olup genellikle 1600 mm çaplı testerele 60 cm eninde plaka üretimi yapılmaktadır.

Katrak olarak adlandırılan lamalı blok kesme makineleri da dört adet kolon üzerine oturtulmuş bir kasa, kasa üzerinde gerdirilmiş lama olarak adlandırılan elmas soketli bıçaklar ve bir volandan ibarettir (Şekil 2). Lamaların oturtulduğu kasa, bir kolla volana eksantrik olarak bağlı olup volanın dönmesiyle ileri-geri hareket eder. Bu esnada, bazı modellerde blok yukarı yönü kaldırılarak bazı modellerde de lamalar aşağı indirilerek kesme işlemi gerçekleştirilir. Lama sayısı makinenin büyüklüğüne göre 40-80 adet olabilir. Lamaların dikey konumlandırıldığı ve yukarı-aşağı hareket ettirilirken bloğun yatay doğrultuda beslendiği katrak modelleri de bulunmakla beraber yaygın kullanımı yoktur. Ayrıca, sert taşların kesiminde kullanılan ve kesme işleminin metal granüllerle yapıldığı kumlu katraklar da mevcuttur.

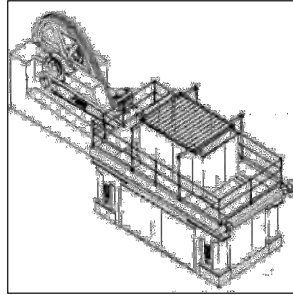
Multiwire, telli katrak gibi adlarla anılan çok telli blok kesme makineleri (TK), Türkiye’de popüler olmasa da Avrupa da özellikle sert taş kesimi yapılan mermer ve doğaltaş fabrikalarında son 10 yıldır kullanılmakta ve her geçen yıl yaygınlaşmaktadır. Makina kolonlar üzerine karşılıklı ve belirli bir açıyla yerleştirilmiş volanlar ve bu volanlardan geçirilmiş, mermer ocaklarında da kullanılan elmas boncuklu tellerden ibarettir (Şekil 3). Kesme işlemi, volanların döndürülmesi ve kesme ünitesinin aşağı yönlü hareket ettirilmesi şeklindedir. Dönme sonucunda elmas tel yatay yönlü sonsuz hareket eder, elmas boncuklar ise volanlar arasındaki açıdan kaynaklı kasıttan dolayı kendi etrafında döner. Böylece boncukların çevresinin tamamı kesime katılmış ve üzerindeki

aşınma miktarı dengelenmiş olur. Makinenin büyüklüğüne göre volan ve tel sayısı farklı olabilir.

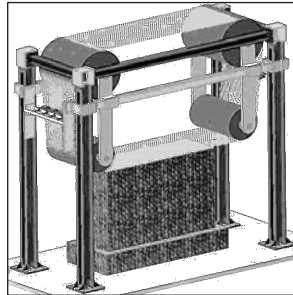
Çalışmada referans alınan dairesel testere, lamalı ve telli blok kesici makinalara ait teknik özellikler Çizelge 1 de verilmiştir.



Şekil 1. Dairesel testere, lamalı blok kesici, ST (Anon a)



Şekil 2. Lamalı blok kesici, LK (Anon a)



Şekil 3. Telli blok kesici, TK (Anon b)

Çizelge 1. Dairesel, lamalı ve telli blok kesicilerin özellikleri (Ersoy ve Yeşilkaya 2013)

ÖZELLİKLER	Dairesel Testereli Blok Kesici (ST, 1600 mm)	Lamalı Blok Kesici (Katrak, 80 lama)	Telli Blok Kesici (Multiwire, 68 sıra)
Maksimum Yükseklik*	5160 mm	5230 mm	6800 mm
Maksimum Genişlik*	5610 mm	4500 mm	4400 mm
Maksimum Uzunluk*	8160 mm	13150 mm	1150 mm
Kesici Ünite*	Φ1600 mm düşey testere ve Φ40 mm yatay testere	80 adet lama (4550 mm)	68 sıra elmas tel
Kesme Yüksekliği*	610 mm	2050 mm	2200 mm
Kesme Genişliği*	2300 mm	2000 mm	1975 mm
Kesme Uzunluğu*	3500 mm	3300 mm	3500 mm
Ana Motor Gücü*	132 kw	132 kw	315 kw
Toplam Motor Gücü*	162 kw	143 kw	335 kw
Soket hızı*	470-520 dv/dk	75 cm.1/dk	20-35 m/sn
Kesici Batma Hızı*	0.4 m/dk	300 mm/sa	800 mm/sa
Kesici Kalınlığı*	12 mm	8 mm	11 mm
Su Tüketimi*	200 lt/dk	800 lt/dk	1000 lt/dk
Aşındırıcı Tüketimi**	5000-8000 m ² /testere	16000-20000 m ² /80 lama	35-45 m ² /m tel
Aşındırıcı Tutarı**	1 500 \$/takım testere	13 000 \$/80 lama	75 \$/m
Makina Fiyatı*	70 000-100 000 \$	200 000-350 000 \$	650 000-800 000 \$
Montaj gideri**	10 000-15 000 \$	40 000-50 000 \$	20 000-30 000 \$
Titreşim**	Düşük	Çok yüksek	Düşük
Gürültü**	83.9-88.6 dBA	77.2-82.5 dBA	73.1-76.8 dBA

* Üretici firma verileri, ** Gözlenen veriler

2.2. Gri Teori ve Gri İlişkisel Analiz (GİA) Yöntemi

Gri İlişkisel Analiz; çok kriterli karar problemlerindeki belirsizlikleri analiz etmek amacıyla kullanılan yöntemlerden biri olup, belirsizliğin söz konusu olduğu durumlarda matematiksel analiz yöntemlerine göre daha kolay çözüm sunar (Peker ve Baki 2011). Yani az ya da kesikli bilgi, çok veri ve belirsizlik olan durumlarda başvurulabilecek alternatif ve etkili bir yaklaşım olup çok değişkenli istatistiklerle hiçbir dağılıma uymayan, yeterli veri içermeyen ve belirsizlik nedeniyle modellenemeyen problemlere çözüm önerir (Üstünişik 2007).

Teori, ilk defa 1982 yılında Julong Deng tarafından ortaya atılmış (Deng 1989) olup gri teori, gri ilişkisel analiz, gri modelleme, gri tahmin ve gri karar verme gibi alt başlıklar altında, istatistiksel analizler, performans analizleri, iş sağlığı ve güvenliği analizleri, proje yönetimi gibi önemli konularda karar vermede kullanılmaktadır.

Gri ilişkisel analizde, gri sistemdeki bir seri ile referans serisi arasındaki ilişki derecesi gri ilişkisel derece olarak belirlenir. Serideki her bir faktör bir dizi (sıra veya sütun) olarak tanımlanır. Gri ilişkisel derece, sistemdeki seri ile referans serisi arasındaki benzerliği tanımlayan fonksiyon olup normallik, dual simetri, bütünlük ve yakınlık aksiyomlarını sağlaması gerekir (Wen 2004). x_i ve x_j serileri arasındaki gri ilişkisel derece $y(x_i, x_j)$ olarak tanımlandığında ve $x_i(k)$, i nci serinin k nci değerini gösterdiğinde;

- Normallik: $0 < y(x_i, x_j) \leq 1, \forall i, \forall j$
- Dual simetri: $y(x_i, x_j) = y(x_j, x_i) \Leftrightarrow X = \{x_i, x_j\}$
- Bütünlük: $y(x_i, x_j) \neq y(x_i, x_j), \forall x_i, x_j \in X = \{x_s, s=1, 2, \dots, m; m \geq 2\}$ ve
- Yakınlık: $y(x_i, x_j)$ nin değerini, $|x_i(k) - x_j(k)|$ değeri belirler. $|x_i(k) - x_j(k)|$ ne kadar küçük ise gri ilişkisel derece o kadar büyüktür.

Gri ilişkisel analiz yönteminde (Wen 2004, Zhai vd. 2009) ilk aşama karar matrisinin ve referans serinin

oluşturulmasıdır. Aşağıda verilen karar matrisinde, satırlar seçimi yapılacak alternatifleri, sütunlar ise kriterleri (her bir alternatifin özelliklerini) tanımlamaktadır. Matrisin üzerindeki ilk satır referans satırı, bir başka ifade ile ideal kriterleri içeren sanal ve/veya gerçek bir seridir.

Çizelge 2. Karar matrisi

Referans seri →		$x_0(1)$	$x_0(2)$...	$x_0(n)$
		Kriterler			
Alternatifler	Alternatif 1	Kriter 1	Kriter 2	...	Kriter n
	Alternatif 2	$x_1(1)$	$x_1(2)$...	$x_1(n)$
	...	$x_2(1)$	$x_2(2)$...	$x_2(n)$

	Alternatif m	$x_m(1)$	$x_m(2)$...	$x_m(n)$

İkinci aşama, verilerin normalize edilmesidir. Kriterleri tanımlayan veriler farklı kaynaklardan alınabilir, farklı birimlerde ölçülebilir ya da dilsel ifadeler içerebilir ve bu ifadeler sayısallaştırılmış olabilir. Bu durumda verilerin aynı birime dönüştürülmesi gerekir. Gri sistem teorisinde bu normalleştirme sürecine “gri ilişkisel oluşum (grey relational generating)” denir. Verilerin normalizasyonunda en sık kullanılan yöntemlerden birisi lineer veri ön işleme yöntemidir. Normalizasyon işleminde dikkat edilmesi gereken “daha yüksek daha iyi”, daha düşük daha iyi” ve “ideal daha iyi” kriterlerinin hangisinin serinin özelliğini yansıttığıdır.

Kriterin büyük olmasının olumlu (faydalı) olduğu durumda, bir başka ifade ile “Daha yüksek daha iyi” durumunda normalizasyon Eşitlik 1 de verilen denklem aracılığıyla hesaplanır.

$$x_i(k) = \frac{x_i^0(k) - \min x_i^0(k)}{\max x_i^0(k) - \min x_i^0(k)} \quad (1)$$

En küçük değerın olumlu olması (“Daha düşük daha iyi” durumu) durumunda ise 2 no lu eşitlik kullanılır.

$$x_i(k) = \frac{\max x_i^0(k) - x_i^0(k)}{\max x_i^0(k) - \min x_i^0(k)} \quad (2)$$

Kriterin en büyük ve en küçük değerleri arasında bir başka değerın olumlu olması

yani “İdeal değer daha iyi” durumunda da Eşitlik 3 kullanılır.

$$x_i(k) = 1 - \frac{|x_i^0(k) - x^0|}{\max x_i^0(k) - x^0} \quad (3)$$

Burada;

$x_i^0(k)$: i serisi k ncı sıradaki orjinal değeri,
 $x_i(k)$: normalizasyon sonrası i nci seri k ncı sıradaki değeri,

$\min x_i^0(k)$: i nci serideki minimum değeri,
 $\max x_i^0(k)$: i nci serideki maksimum değeri ifade eder ve

x^0 : ideal değeri göstermektedir.

Üçüncü aşamada x^0 serisi ile karşılaştırılacak m tane seri tanımların (Eşitlik 4), mutlak değer tablosu oluşturulur ve gri ilişkisel katsayılar hesaplanır. $\varepsilon(x_0(k), x_i(k))$, k ncı noktadaki gri ilişkisel katsayıdır ve Eşitlik 5, 6, 7 ve 8 kullanılarak hesaplanır.

$$x_i = x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n) \rightarrow \{i = 1, 2, \dots, m\} \quad (4)$$

$$\Delta_{0i}(k) = |x_0(k) - x_i(k)| \quad (5)$$

$$\Delta_{\max} = \max_j \max_k |x_0(k) - x_j(k)| \quad (6)$$

$$\Delta_{\min} = \min_j \min_k |x_0(k) - x_j(k)| \quad (7)$$

$$\varepsilon(x_0(k), x_i(k)) = \frac{\Delta_{\min} + \xi \Delta_{\max}}{\Delta_{0i}(k) + \xi \Delta_{\max}} \quad (8)$$

ξ , Δ_{0i} ile Δ_{\max} arasındaki farkı ayarlamak için kullanılan 0-1 arasında ($\xi \in (0,1)$) bir katsayıdır. Başka bir ifade ile ilgili değerin en uç değer olma ihtimalini ortadan kaldırmak için kullanılır ve genellikle 0,5 alınır. Çalışmalar ξ değerinin gri ilişkisel derece sonrası oluşacak sıralamayı etkilemediğini göstermiştir (Wen 2004).

Son adım gri ilişkisel derecenin hesaplanmasıdır ve satır boyunca hesaplanan gri ilişkisel katsayıların ortalaması hesaplanarak bulunur (Eşitlik 9).

$$Y(x_0, x_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \varepsilon(x_0(k), x_i(k)) \quad (9)$$

$Y(x_0, x_i)$, gri sistemdeki x_i serisi ile x_0 referans serisi arasındaki geometrik benzerliğin bir ölçüsü olup büyüklüğü x_i ile x_0 arasındaki ilişki düzeyinin göstergesidir. Eğer karşılaştırılan iki seri birbirinin aynı ise gri ilişkisel derece değeri 1 olarak hesaplanır. Kriterlerin önem dereceleri farklı olabilir. Her bir kriterin ağırlıklarının verilmesi

durumunda gri ilişki derecesi, kriterin gri ilişki katsayısı ile önem derecesine ilişkin ağırlık değeri çarpılarak hesaplanır (Eşitlik 10).

$$\gamma^*(x_0, x_i) = \frac{\sum_{k=1}^n w_i(k) \cdot \varepsilon(x_0(k), x_i(k))}{\{\sum w_i = 1\}} \quad (10)$$

Hsia ve Wu (1998) ve Wen (2004) in formülasyonlarında ξ nin etkisi hesaplamadan çıkartılmış ve gri ilişkisel katsayılar hesaplamadan doğrudan gri ilişkisel derece hesaplanmıştır (Hsia ve Wu 1998, Wen 2004). Ayrıca Hsia ve Wu (1998) gri ilişkisel derecenin hesaplanmasında Eşitlik 11 de verilen bağıntıyı önermişlerdir.

$$\gamma(x_0, x_i) = \frac{\Delta_{\min} + \Delta_{\max}}{\Delta_{\max} + \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n \Delta_{oi}^2(k)}{n}}} \quad (11)$$

Wen (2004) ise gri ilişkisel derecenin hesaplanmasında daha genel bir formül önermiştir (Eşitlik 12).

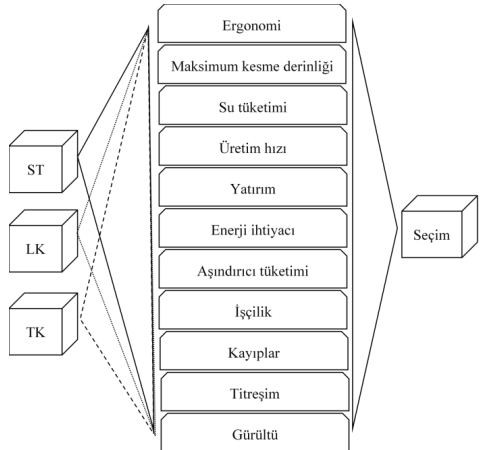
$$\gamma(x_0, x_i) = \frac{\Delta_{\min} + \Delta_{\max}}{\Delta_{\max} + \left[\frac{\sum_{k=1}^n \Delta_{oi}(k)}{n} \right]} \quad (12)$$

Karar verme problemlerinde referans seri, kriterlerin alması istenen en büyük, en küçük ve en ideal değerler olarak seçilirse, karşılaştırması yapılacak faktör serilerinin referans seriye göre hesaplanacak gri ilişkisel derecesi, kriteri yakalama seviyesinin bir göstergesi olacaktır. Diğer bir deyişle gri ilişkisel derecesi en yüksek olan faktör serisi (alternatif) karar verme probleminde en iyi karar alternatifini gösterecektir (Wu 2002).

3. GİA YÖNTEMİNİN MERMER BLOK KESME MAKİNASI SEÇİMİNDE UYGULANMASI

Mermer ve doğaltaş işletmelerinde kullanılan blok kesici makina tiplerinin karşılaştırılması için, öncelikle dairesel testereli (ST), lamalı (LK) ve telli (TK) blok kesme makinalarının piyasada en çok tercih edilen modelleri alternatif olarak seçilmiştir. En iyi seçeneğin, hem yatırım, işletme maliyetleri ve fire (kayıp) oranı en düşük hem de kapasitesi (üretim hızı) en yüksek olan makina olduğu

öngörülmüştür. Buna göre seçimde etken; ergonomi, maksimum kesme derinliği, su tüketimi, üretim hızı, yatırım, enerji ihtiyacı, aşındırıcı (soket ve boncuk) tüketimi, işçilik (insan gücü gereksinimi), kayıplar, makinanın çalışması sırasında ürettiği gürültü ve titreşim oranları olmak üzere toplam 11 kriter belirlenmiştir (Şekil 4). Sonra her bir kriter, kendi içinde değerlendirilerek alternatif makina tipleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada, bu tip makinaları kullanan çeşitli firmalardan alınan bilgilerin yanı sıra üretici firma Gaspari Menotti'nin verilerinden de yararlanılmıştır (Çizelge 1). Kesimi yapılan bloklar, genellikle İtalya'nın Carrara bölgesindeki ocaklardan üretilen metamorfik kökenli mermerler olup sertliği 3 Mohs, özgül ağırlığı 2.72 kg/m³, basınç dayanımı 126 MPa, eğilme dayanımı 19.8 MPa ve su emme oranı %0.1 dir. Seçilen kriterlerden sözel veriler içeren bazıları değerlendirilirken, beş dereceli bir skala (Çizelge 3) kullanılmış olup makinalar, Borda sayım yöntemindeki (Borda, 1784; Lamboray, 2007; Çakır & Perçin, 2013) gibi, en iyi seçenek ile en kötü seçenek arasında sıralama yapılarak sayısallaştırılmıştır.



Şekil 4. Kriterler ve hiyerarşik yapı

Çizelge 3. Dilsel ifadelerin sayısallaştırılması

Dilsel İfade	Sayısal İfade
En iyi seçenek	5
Ortalama seçenek	3
En kötü seçenek	1
Ara değer, kararsızlık durumu	2 - 4

Alternatiflerin kriterler bazında değerlendirilmesi aşağıda özetlenmiştir.

Ergonomi (C1): Dairesel testere blok kesme makinasında (ST), kesici testere sayısı artırılabilmesine rağmen bu işlem sınırlı sayıda yapılabilmektedir. Buna karşın lamalı blok kesicide (LK) kesme ünitesi 80 adet lamadan, telli blok kesicide (TK) de 68 sıralı elmas telden oluşmaktadır. LK ve TK da, kesme operasyonu sırasında, blok ve makina boyutlarından başka parametre bulunmamaktadır. ST de ise sınırlama, takılabilecek birkaç testere ile testerenin çapı olmasının yanı sıra küçük boyutlu molozların kesilmesi için daha uygun olduğudur. Bu yüzden Çizelge 2'de verilen skala ışığında; LK'nın diğerlerine göre en iyi seçenek (5 puan), TK'nın iyi bir seçenek (4) ve ST'nin ise 2 puan ile kötü seçenek olduğu düşünülmüştür.

Maksimum kesme derinliği (C2): Mermer üretiminde levha ve plakaların boyutları, doğrudan plaka ve levhaların birim satış fiyatını etkilemektedir. ST için maksimum kesme derinliği testere yarıçapı ile sınırlı olmakla birlikte diğer alternatiflerde bloğun yüksekliği boyunca kesim yapılabilmektedir. Ancak LK'larda gerilmeden ve titreşimden kaynaklı blok altında 15-20 cm'lik bir bölümün kesilmeden bırakılması zorunluluğu bulunmaktadır. TK'larda ise blok, çoğunlukla tamamıyla kesilebilmektedir. Bu yüzden, bu kriterle göre ST'nin kötü seçenek (1), LK'nın iyi bir seçenek (4) ve TK'nın ise en iyi seçenek (5) olduğuna karar verilmiştir.

Su tüketimi (C3): Çizelge 1'den ST'nin ortalama su tüketiminin 200 l/h, LK'nın 800 l/h ve TK'nın 1000 l/s olduğu görülmektedir. Burada en avantajlı makinanın ST olduğu diğerlerinin su tüketimlerinin çok fazla

olduğu görülmektedir. GIA yönteminde veriler olduğu şekliyle kullanılabilirdiği için başlangıç matrisinde tüketim verileri kullanılmış ve ideal değer olarak en düşük tüketim değeri kullanılmıştır.

Üretim hızı (C4): ST, LK ve TK için batma-iniş hızları esas alınarak bir saat için kesebileceği alanlar hesaplanmış ve GIA tablolarında hesaplanan bu değerler kullanılmıştır. Burada üretim hızı en yüksek olan değer ideal değer olarak kullanılmıştır. ST alternatifinin kesici batma hızı 0,4 m/dk ve kesme derinliğinin 610 mm olmasından dolayı teorik üretim hızı;

$$Q_{ST} = 0.4 \times \frac{610}{1000} \times 60 \rightarrow Q_{A1} = 14.6 \text{ m}^2/h \text{ dir.}$$

LK alternatifinde de lamaların iniş hızı 300 mm/h, kesme uzunluğu 3300 mm ve lama sayısının 80 olmasından dolayı teorik üretim hızı;

$$Q_{LK} = \frac{3300}{1000} \times \frac{300}{1000} \times (80 - 1) \rightarrow Q_{A2} = 78.1 \text{ m}^2/h \text{ hesaplanır.}$$

TK alternatifinde ise tellerin iniş hızı 800 mm/h, kesme uzunluğu 3500 mm ve tel sıra sayısı 68 dir. Buna göre teorik üretim hızı;

$$Q_{TK} = \frac{3500}{1000} \times \frac{800}{1000} \times (68 - 1) \rightarrow Q_{A3} = 187.6 \text{ m}^2/h \text{ olarak hesaplanır.}$$

Bu durumda üretim hızı (kapasite) kriterine göre en iyi seçeneğin TK, en kötü seçeneğin ise ST olduğu görülmektedir.

Yatırım (C5): Makina ve montaj giderleri birlikte değerlendirildiğinde ST için 80-110 bin TL, LK için 240-400 bin TL ve TK için 670-830 bin TL arasında yatırım yapılması gerektiği görülmektedir. Bu durumda en avantajlı makinanın ST en pahalı makinanın da TK olduğu görülmektedir. Yatırım tutarı, GIA tablosuna en düşük ve en yüksek değerlerin ortalaması alınarak eklenmiştir.

Enerji ihtiyacı (C6): Alternatifler incelendiğinde ST'nin 162, LK'nın 143 ve TK'nın 335 kw gücünde motorlara sahip olduğu görülmektedir. Makinaların enerji ihtiyaçlarının motor gücüyle orantılı olması sebebiyle GIA tablosuna doğrudan toplam motor güçleri kullanılmıştır.

Aşındırıcı tüketimi (C7): Makinaların kesme prensipleri ve üniteleri farklı olduğundan aşındırıcı tüketimi verileri de farklı birimlerdedir. Karşılaştırma yapılabilmesi için ST, LK ve TK alternatiflerinde kullanılan kesici maliyetleri esas alınmıştır. Buna göre m^2 başına ortalama aşındırıcı maliyetleri (t);

$$t_{ST} = \frac{1500}{(5000+8000)/2} \rightarrow t_{ST} = 0.23 \text{ \$/m}^2$$

$$t_{LK} = \frac{13000}{(16000+20000)/2} \rightarrow t_{LK} = 0.72 \text{ \$/m}^2$$

$$t_{TK} = \frac{75}{(35+45)/2} \rightarrow t_{TK} = 1.87 \text{ \$/m}^2$$

olarak hesaplanır.

Buna göre en iyiden itibaren alternatiflerin ST, LK ve TK olarak sıralandığı söylenebilir. GIA tablosu tüketim bölümünde hesaplanan metrekare bazındaki aşındırıcı maliyeti esas alınmıştır.

İşçilik (C8): Bloğun vagona yerleştirilmesi ve kesime başlanması aşamasından sonra ST alternatifi için kesme işlemi boyunca, kesilen plakaların alınması ve istiflenmesi amacıyla en az bir işçi istihdam edilmesi gerekir. Bu yüzden ST alternatifinde günlük iş gücü gereksinimi en az 8 adam-saat olarak tanımlanmıştır. LK ve TK alternatiflerinde ise bloğun makineye beslenmesi ve makinenin çalıştırılmasından sonra kesim sonuna kadar işçilik gereksinimi sadece rutin kontrollerden ibaret olup görevli kişi başka işler için değerlendirilebilir. Ayrıca TK alternatifinde tellerin gerginlikleri de otomatik yapılır ve LK daki gibi gerdirme işlemi yapılmaz. Buna göre TK için 1 adam-saat, LK için ise 2 adam-saat lik iş gücü gerektiği söylenebilir.

Kayıplar (C9): Mermer ve doğaltaş kesiminde blok kusurları dışında karşılaşılan en büyük kayıp kesici elemanın kalınlığından kaynaklanır. Testere, lama ya da tel kullanıma başlandığından itibaren elmas soket ve boncuklar aşınmadan dolayı inceler ve kayıplar azalır. Prosesin başlangıç aşamasında ST seçeneğinde 12 mm, LK de 8 mm TK da da 11 mm kalınlıklı kesiciler

kullanılmaktadır. Burada en fazla kaybın ST, sonra TK ve LK seçeneklerinde gerçekleşeceği söylenebilir. Aradaki fark 1-3 mm arasında değişse de, 1 mm lik farkın bile her 20 yüzey kesimi sonunda 1 adet plaka veya levha kazandıracığı ve ürünün fiyatı göz önüne alındığında, çok önemli olduğu daha iyi anlaşılacaktır. GIA tablosunda, doğrudan kesici kalınlıkları kullanılmıştır.

Titreşim (C10): LK alternatifinde kesme işlemi, lamaların ileri-geri hareketiyle gerçekleştiğinden, çalışma ortamında belli bir frekansta titreşim oluşur. Fabrika binaları inşa edilirken LK ların montajı ana binadan bağımsız ayrı temel atılarak yapılır. Böylece oluşan titreşimin binanın statikini bozması engellenmiş olur. ST ve TK larda strok hareketi (ileri-geri) olmadığından bu problemle karşılaşılmaz. Bu alternatif kapsamında en kötü seçeneğin 1 ile LK olduğu düşünülmüştür.

Gürültü (C11): Makinaların blok kesimi sırasında 1 m. mesafeden yapılan gürültü ölçümlerinde okunan en düşük ve en büyük değerler; ST de 83.9-88.6 dBA, LK da 77.2-82.5 dBA ve TK da 73.1-76.8 dBA dir. Buna göre ST nin en gürültülü, TK ın da en gürültülü makinalar olduğu söylenebilir. GIA tablosunda değerlerin (logaritmik) ortalamaları baz alınmıştır.

Yukarıdaki açıklamalar ışığında GIA veri seti Çizelge 4 teki gibi oluşturulmuştur.

İkinci aşamada veri seti normalize edilmiştir. Normalizasyon işleminde kriterlerin özelliğine göre; C1, C2, C4 ve C10 no lu kriterler “daha yüksek daha iyi (Eşitlik 1)”, diğer kriterler “daha düşük daha iyi (Eşitlik 2)” olacak şekilde hesaplama yapılmıştır. Normalize edilmiş veri seti Çizelge 5 de verilmiştir.

Üçüncü aşamada, her bir faktörün referans seriyeye uzaklıkları Eşitlik 5 kullanılarak hesaplanmış ve uzaklık (mutlak değer) matrisi elde edilmiştir (Çizelge 6).

Dördüncü aşamada da 6, 7 ve 8 no lu eşitliklerden yararlanılarak gri ilişkisel

katsayılar ve Eşitlik 9 yardımıyla gri ilişkisel dereceler (Y) hesaplanmıştır.

Hesaplamalarda diğer çalışmalarda olduğu gibi $\xi=0,5$ alınmıştır. Gri ilişkisel matris Çizelge 7 de verilmiştir.

Çizelge 4. Gri ilişkisel analiz veri seti ve referans serisi

Alternatifler	Kriterler	Ergonomi	Maksimum kesme derinliği	Su tüketimi	Üretim hızı-Kapasite	Yatırım	Enerji ihtiyacı	Aşındırıcı tüketimi	İşçilik	Kayıplar	Titreşim	Gürültü
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
Referans seri		5	5	200	187.6	95000	143	0.23	1	8	5	75.33
ST	X=	2	1	200	14.6	95000	162	0.23	8	12	5	86.86
LK		5	4	800	78.1	320000	143	0.72	2	8	1	80.61
TK		4	5	1000	187.6	750000	335	1.87	1	11	5	75.33

Çizelge 5. Normalize edilmiş veri seti

Referans seri	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	
ST	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
LK	X=	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.90	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00
TK		1.00	0.75	0.25	0.37	0.66	1.00	0.70	0.86	1.00	0.00	0.54
		0.67	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.25	1.00	1.00

Çizelge 6. Uzaklık (Mutlak değer) matrisi

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	
ST	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.10	0.00	1.00	1.00	0.00	1.00	
LK	$\Delta=$	0.00	0.25	0.75	0.63	0.34	0.00	0.30	0.14	0.00	1.00	0.46
TK		0.33	0.00	1.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.75	0.00	0.00	0.00

Çizelge 7. Gri ilişkisel matris

$\xi=0.5$	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	Y
ST	0.33	0.33	1.00	0.33	1.00	0.83	1.00	0.33	0.33	1.00	0.33	0.18
LK	$\epsilon=$	1.00	0.67	0.40	0.44	1.00	0.63	0.78	1.00	0.33	0.52	0.24
TK		0.60	1.00	0.33	1.00	0.33	0.33	1.00	0.40	1.00	1.00	0.21

Çizelge 7 ye göre gri ilişkisel dereceler; ST alternatifi için 0.18, LK için 0.24 ve TK için 0.21 olarak hesaplanmıştır. Buna göre, mermer blok kesme makinaları içinde lamalı katrağın en iyi ve dairesel testereli blok kesicinin en kötü alternatif olduğu söylenebilir. Ancak, ST için dört kriterin (C3, C5, C7, C10), LK için üç kriterin (C1, C6, C9) ve TK için beş kriterin (C2, C4, C8, C10, C11) referans serisine en yakın değerleri aldıkları görülmektedir. En çok kriteri sağlayan alternatifi tercih edilmesi durumunda birinci sırada TK in, arkasından ST nin ve en son LK in sıralanması gerekirdi. LK in ortaya en iyi seçenek olarak

çıkması, diğer kriterlerde referans serisine diğer alternatiflere göre daha yakın hesaplanmasındadır. Bu durumda, işletmenin olanakları göz önüne alınarak kriterlerin önem derecelerinin belirlenmesi ve kriterlere göre ağırlıklandırılmış gri ilişkisel dereceler (Y*) hesaplanması gerekir.

Bu amaçla belirlenen 11 kriter önem derecelerine göre sıralanmıştır. Sıralamada, Saaty tarafından önerilen karşılaştırma skalası (Çizelge 8) kullanılmış olup kriterlerin ağırlıkları ve yapılan hesaplamaların tutarlılığı, Analitik Hiyerarşi Proses yöntemi uygulanarak gerçekleştirilmiştir. İkili karşılaştırmada

kullanılan dilsel ve sayısal ifadeler Çizelge 9 da verilmiştir.

Çizelge 8. Karşılaştırma skalası (Saaty 1990, 1994, 2008)

Önem derecesi	Açıklama
1	1. seçenek 2. seçenekle eşit derecede önemli
3	1. seçenek 2. seçeneğe göre daha önemli
5	1. seçenek 2. seçeneğe göre çok önemli
7	1. seçenek 2. seçeneğe göre çok kuvvetli (güçlü) derecede önemli
9	1. seçenek 2. seçeneğe göre kesinlikle-mutlak önemli
2,4,6,8	Ara değerler, kararsızlık durumu

Çizelge 9. Kriterlerin birbirlerine göre üstünlük dereceleri

Tanımlama	Üstünlük	Tanımlama	Üstünlük
C1, C3'e göre biraz önemlidir	2	C6, C10'a göre çok önemlidir	5
C2, C1'e göre oldukça önemlidir	6	C6, C11'e göre çok önemlidir	5
C2, C3'e göre çok güçlü öneme sahiptir	7	C7, C1'e göre çok güçlü öneme sahiptir	7
C2, C8'e göre daha önemlidir	3	C7, C2'ye göre daha fazla öneme sahiptir	4
C2, C10'a göre biraz önemlidir	2	C7, C3'e göre mutlak üstündür	9
C2, C11'e göre biraz önemlidir	2	C7, C5'e göre biraz önemlidir	2
C4, C1'e göre mutlak üstündür	9	C7, C10'a göre çok önemlidir	5
C4, C2'ye göre daha fazla öneme sahiptir	4	C7, C11'e göre çok önemlidir	5
C4, C3'e göre oldukça güçlü öneme sahiptir	8	C8, C1'e göre oldukça güçlü öneme sahiptir	8
C4, C5'e göre daha önemlidir	3	C8, C3'e göre mutlak üstündür	9
C4, C6'ya göre biraz önemlidir	2	C8, C5'e göre daha önemlidir	3
C4, C7'ye göre biraz önemlidir	2	C8, C10'a göre daha önemlidir	3
C4, C8'e göre daha önemlidir	3	C8, C11'e göre daha önemlidir	3
C4, C9'a göre biraz önemlidir	2	C9, C1'e göre mutlak üstündür	9
C4, C10'a göre daha fazla öneme sahiptir	4	C9, C2'ye göre oldukça önemlidir	6
C4, C11'e göre çok önemlidir	5	C9, C3'e göre mutlak üstündür	9
C5, C1'e göre oldukça önemlidir	6	C9, C5'e göre oldukça önemlidir	6
C5, C2'ye göre çok önemlidir	5	C9, C6'ya göre çok önemlidir	5
C5, C3'e göre oldukça güçlü öneme sahiptir	8	C9, C7'ye göre oldukça önemlidir	6
C5, C10'a göre oldukça önemlidir	6	C9, C8'e göre biraz önemlidir	2
C5, C11'e göre oldukça önemlidir	6	C9, C10'a göre çok güçlü öneme sahiptir	7
C6, C1'e göre çok güçlü öneme sahiptir	7	C9, C11'e göre çok güçlü öneme sahiptir	7
C6, C2'ye göre daha önemlidir	3	C10, C3'e göre biraz önemlidir	2
C6, C3'e göre mutlak üstündür	9	C11, C3'e göre daha önemlidir	3

Buna göre, kriterlerin önem derecelerine göre hazırlanan A_C ikili karşılaştırma matrisi ve kriter ağırlıkları (W_C), Saaty'ye (1990,

1994, 2008) göre oluşturulan Çizelge 10 da verilmiştir.

Çizelge 10. İkili karşılaştırma matrisi ve kriter ağırlıkları

$A_C =$	1.0000	0.1667	2.0000	0.1111	0.1667	0.1429	0.1429	0.1250	0.1111	1.0000	1.0000	$\rightarrow W_C =$	0.0186
	6.0000	1.0000	7.0000	0.2500	0.2000	0.3333	0.2500	3.0000	0.1667	2.0000	2.0000		0.0696
	0.5000	0.1429	1.0000	0.1250	0.1250	0.1111	0.1111	0.1111	0.1111	0.5000	0.3333		0.0129
	9.0000	4.0000	8.0000	1.0000	3.0000	2.0000	2.0000	3.0000	2.0000	4.0000	5.0000		0.1922
	6.0000	5.0000	8.0000	0.3333	1.0000	1.0000	0.5000	0.3333	0.1667	6.0000	6.0000		0.0992
	7.0000	3.0000	9.0000	0.5000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.2000	5.0000	5.0000		0.1027
	7.0000	4.0000	9.0000	0.5000	2.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.1667	5.0000	5.0000		0.1112
	8.0000	0.3333	9.0000	0.3333	3.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.5000	3.0000	3.0000		0.0973
	9.0000	6.0000	9.0000	0.5000	6.0000	5.0000	6.0000	2.0000	1.0000	7.0000	7.0000		0.2441
	1.0000	0.5000	2.0000	0.2500	0.1667	0.2000	0.2000	0.3333	0.1429	1.0000	1.0000		0.0259
1.0000	0.5000	3.0000	0.2000	0.1667	0.2000	0.2000	0.3333	0.1429	1.0000	1.0000	0.0262		

AHP yöntemine göre yapılan tutarlılık analizinde, $\lambda_C = 12.4162$, $CI_C = 0.1416$ ve $CR_C = 0.0938$ olarak hesaplanmış olup $CR < \%10$ olduğundan, değerlendirilmenin tutarlı

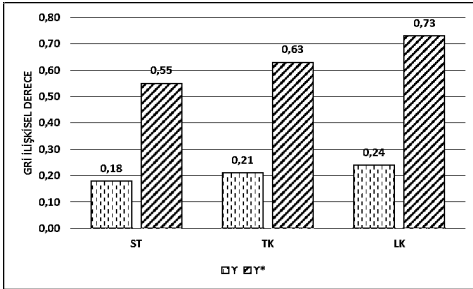
olduğu söylenebilir (Ersoy ve Yeşilkaya 2013).

Kriter ağırlıklarına göre yeniden hesaplanan gri ilişkisel katsayılar ve gri

ilişkisel dereceler Çizelge 11 de, gri ilişkisel dereceler her iki durumu da Şekil 5 te verilmiştir.

Çizelge 11. Ağırlıklandırılmış gri ilişkisel matris

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	
W_C	0.0186	0.0696	0.0129	0.1922	0.0992	0.1027	0.1112	0.0973	0.2441	0.0259	0.0262	γ^*
ST	0.33	0.33	1.00	0.33	1.00	0.83	1.00	0.33	0.33	1.00	0.33	0.55
LK	1.00	0.67	0.40	0.44	0.59	1.00	0.63	0.78	1.00	0.33	0.52	0.73
TK	0.60	1.00	0.33	1.00	0.33	0.33	0.33	1.00	0.40	1.00	1.00	0.63



Şekil 5. Nominal ve ağırlıklandırılmış kriterlere göre gri ilişkisel dereceler

Çizelge 10 da, kriter ağırlıklarının da dikkate alınması sonucunda elde edilen gri ilişkisel dereceler, yine lamalı katrağın 0.73 ile en iyi seçenek ve dairesel testereli blok kesicinin ise 0.55 ile en kötü seçenek olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla hesaplanan iki gri ilişkisel dereceler birbirine göre paralel değiştiği görülmektedir.

4. SONUÇ

Çok kriterli karar verme yöntemlerinden Gri İlişkisel Analiz yöntemi, kolay anlaşılabilirliği ve uygulanışı ile öne çıkmaktadır. Yöntem, herhangi bir alternatifin seçiminde, öngörülen sayıda kriterin birlikte değerlendirilebilmesini mümkün kıldığından, karar verme sürecinde daha basit düşünme ve rahat hareket etme olanağı sağlamaktadır.

Mermer ve doğaltaş kesme tesislerinin fizibilite çalışmalarında önemli faaliyetlerden birisi, makina parkının oluşturulmasıdır. Burada da gerek yatırım tutarı gerekse tesisin kapasitesi bakımından

en önemli kalemi blok kesici makinalar oluşturmaktadır.

Bu çalışmada, bloğun kesilmesi prensibine göre gruplandırılan blok kesme makinalarından en yaygın olan versiyonları ele alınmış ve lamalı katrağın (80 lamalı) en uygun seçenek olduğu, bunu telli katrağın (68 sıra) izlediği ve en son sırada dairesel testereli (Ø1600cm) blok kesicilerin yer aldığı belirlenmiştir.

Konu kriterler bazında incelendiğinde, özetle;

- Yatırım, su ve aşındırıcı tüketimi bakımından dairesel testereli blok kesicilerin öne çıktığı,
- Ergonomi, enerji tüketimi ve kayıplar bakımından lamalı blok kesicilerin öne çıktığı ve
- Kesme derinliği, üretim hızı, işçilik, titreşim ve gürültülü çalışma bakımından telli blok kesicilerin öne çıktığı görülmektedir.

Kuşkusuz firmaların işletme politikaları ve öncelikleri birbirinden farklı olacaktır. Kriter ağırlıklarının (w_i) değiştirilmesi suretiyle her bir firmaya özel özgün çözümler de üretilebilir.

Bu çalışma ile Gri İlişkisel Analiz yönteminin, yönteminin mermer ve doğaltaş tesisleri için blok kesme makinası seçiminde kullanılabilir olduğu anlaşılmıştır. Yöntemin burada çalışma kapsamı dışında tutulan diğer makinaların değerlendirilmesinin yanı sıra tesis yerinin seçimi, personel seçimi, tedarikçi seçimi, performans ölçümü vb. gibi birçok kriterin etken olduğu diğer

problemlerinin çözümünde de denenmesinin yararlı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Akın N.G., 2016, "Personel seçiminde çok kriterli karar verme: Bulanık topsis uygulaması", *Journal of Business Research-Türk*, 8(2), 224-254.
- Alpay S., Yavuz M., 2009, Underground mining method selection by decision making tools, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 24, 173-184.
- Bektaş H., 2013, "Borsa İstanbul Gelişen İşletmeler Piyasası'nda İşlem Gören Firmaların Gri İlişkisel Analiz ile Performans Ölçümü", *İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Çankırı Karatekin Üniversitesi*, 3(2), 185-199.
- Borda J. C., (1784), *Memoire Sur Les Elections Au Scrutin*. Paris, *Histoire de l'Academie Royaledes Sciences*.
- Çakır E., Özdemir M., 2016, "Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Altı Sigma Projeleri Seçiminde Uygulanması", *Business and Economics Research Journal*, 7(2), 167-201.
- Çakır S., Perçin S., 2013, "Çok kriterli karar verme teknikleriyle lojistik firmalarında performans ölçümü", *Ege Akademik Bakış*, 13(4), 449-459.
- Deng, J.L., 1989, "Introduction to Grey System", *The Journal of Grey System*, 1(1): 1-24.
- Ersoy M., 2013, "The role of occupational safety measures on reducing accidents in marble quarries of Iscehisar region", *Safety Science*, 57, 293-302.
- Ersoy M., Yeşilkaya L., 2013, "Choice of marble block cutting machine by using analytic hierarchy process (AHP) method", *Int. Journal of Information Tech. and Business Man.*, 19(1), 67-80.
- Feng, C.M., Wang, R.T., 2000, "Performance Evaluation for Airlines Including the Consideration of Financial Ratios", *Journal of Air Transport Management* 6, 133-142.
- Göksu A., Güngör İ., 2008, "Fuzzy analytic hierarchy process and its application of university preference ranking", *Suleyman Demirel University, The Journal of Faculty of Economics and Administrative Sciences (Tr)*, 13(3), 1-26
- Hsia, K.H., Wu, J.H., 1998, "A study on the data preprocessing in grey relational analysis", *Journal of Chinese Grey System Association*, 1: 47-53.
- Iphar M., Yavuz M. Ak H., 2008, "Prediction of ground vibrations resulting from the blasting operations in an open-pit mine by adaptive neuro-fuzzy inference system", *Environ Geol*, 56, 97-107.
- Lamboray C., 2007, "A Comparison Between the Prudent Order and the Ranking Obtained with Borda's, Copeland's, Slater's and Kemeny's Rules" *Mathematical Social Sciences*, 54(1):1-16. DOI: doi.org/10.1016/j.mathsocsci.2007.04.004.
- Karaatlı M., Ömrübek N., Işık E., Yılmaz E., 2016, "Performans Değerlemesinde DEMATEL ve Bulanık TOPSIS Uygulaması", *Ege Akademik Bakış*, 16(1), 49-64.
- Kuytu F.Y., Bolat H.B., 2016, "A Conceptual Framework For Sustainable Mining Sector Evaluating Automation Technologies and Safety Risk", *Nineteenth International Working Seminar on Production Economics, Austria*, 291-302.
- Özdemir A.İ. ve Deste M., 2009, "Gri ilişkisel analiz ile çok kriterli tedarikçi seçimi: Otomotiv sektöründe bir uygulama", *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 38(2), 147-156.
- Peker İ., Baki B., 2011, "Gri ilişkisel analiz yöntemiyle Türk sigortacılık sektöründe performans ölçümü", *International Journal of Economic and Administrative Studies*, 4(7), 1-18.
- Qiaoxiu W., Hong W., Zuoqiu Q., 2016, "An application of nonlinear fuzzy analytic hierarchy process in safety evaluation of coal mine", *Safety Science*, 86, 78-87.
- Saaty T.L., 1990, "How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process", *European Journal of Operational Research*, 48, 9-26.
- Saaty T.L., 1994, "How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process", *Interfaces*, 24(6), 19-43.
- Saaty T.L., 2008, "Decision making with the analytic hierarchy process", *Int. J. Services Sciences*, 1(1), 83-98
- Sabuncuoğlu A.O., Görener A., 2016, "Bulanık TOPSIS Metodu ile Karar Verme: İnşaat Projelerinde Yüklenici Seçimi", *Journal of Research in Business & Social Science* 5(2) Special Issue, 71-82.
- Türkmen, U., Baş, M., 2009, "Müzik Eğitimcilerinin Müzik Yetenek Sınavlarında Portföyoların Uygulanabilirliğine Yönelik Tutumlarının Gri İlişkisel Analiz Tekniği Kullanarak Değerlendirilmesi", *The First International Congress of Educational Research* Çanakkale, Turkey, 1-3 May 2009
- Üstümsık N. Z., 2007, "Türkiye'deki iller ve bölgeler bazında sosyo-ekonomik gelişmişlik sıralaması araştırması: Gri ilişkisel analiz yöntemi ve uygulaması [Yük. Lis Tezi, Dn: Güngör Z.]", *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 132 s.
- Wen, K.L., 2004, "The grey system analysis and its application in gas breakdown and var

- compensator finding”, *International Journal of Computational Computing*, 2(1), 21-44.
- Wu, H.H., 2002, “A comparative study of using grey relational analysis in multiple attribute decision making problems”, *Quality Engineering*, 15(2): 209-217.
- Yari M., Bagherpour R., Almasi N., 2016, “An Approach to the Evaluation and Classification of Dimensional Stone Quarries with an Emphasis on Safety Parameters”, *The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin*, 31(3), 15-26.
- Yavuz M., 2008, “Selection of plant location in the natural stone industry using the fuzzy multiple attribute decision making method”, *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 108, 641-649.
- Yavuz M., 2015, “The application of the analytic hierarchy process (AHP) and Yager’s method in underground mining method selection problem, *International Journal of Mining”, Reclamation and Environment*, 29:6, 453-475.
- Yavuz M., Alpay S., 2008, “Underground mining technique selection by multicriterion optimization methods”, *Journal of Mining Science*, 44(4), 391-401.
- Yavuz M., Altay B.L., 2015, “Reclamation project selection using fuzzy decision-making methods”, *Environ Earth Sci*, 73, 6167–6179.
- Anon a, <http://www.gasparimenotti.it/uk/plants-.../...>, Connection: June 2012
- Anon b, <http://cdtgr.com/viewproduct.php?id=4e67814d-b13c-42f3-a043-2f3e4293f0a5>, Connection: June 2012

Dairesel Testereli Kesme Makinelerinin Saatlik Üretim Miktarının Mermer Yüzey Sertliğine Bağlı Olarak Yapay Sinir Ağı (YSA) Ve Regresyon Analizleri (RA) İle Tahmin Edilmesi
Estimation of Hourly Slab Productions of Circular Saw Cutting Machines by Artificial Neural Network (YSA) and Regression Analysis (RA) based on Marble Surface Hardness

G. Ekincioglu,

Ahi Evran Üniversitesi, Kaman MYO Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü, Kaman/Kırşehir

A. Güney,

Muğla Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Muğla

D. Akbay, R. Altındağ

Süleyman Demirel Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta,

ÖZET Doğal taş işleme tesislerinde kayaçların kesilebilirliği ve blok kesme makinelerin saatlik üretim miktarlarının tahmini, fabrika kurulumu öncesinde yapılacak fizibilite çalışmalarında işletmenin ekonomisi ve devamlılığı açısından önemli olmaktadır. Kesimi gerçekleştirilecek kayacın mühendislik özelliklerinin belirlenmesi ve bu özellikler dikkate alınarak üretim planlamasının yapılması işletme üzerinde önemli rol oynamaktadır.

Bu çalışma kapsamında Muğla bölgesinde üretimi gerçekleştirilen mermerlerin Shore ve Schmidt yüzey sertlik değerleri belirlenmiş olup yapay zekâ tekniği olan yapay sinir ağları (YSA) ve regresyon analizleri ile modeller oluşturularak dairesel testereli blok kesme makinelerinin saatlik üretim miktarları tahmin edilmeye çalışılmıştır. Yapay sinir ağı modelleri için MATLAB programının “nntool” araç çubuğu, basit ve çoklu regresyon analizlerinde ise SPSS 17 programı kullanılmıştır. Fabrika ortamında belirlenen üretim miktarı değerleri ile yapay sinir ağı ve regresyon modellerinden elde edilen tahmini üretim miktarı değerleri arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak incelenmiştir. İncelemeler sonucunda yapay sinir ağı modellerinden elde edilen tahmini üretim miktarı değerlerinin regresyon modellerinden elde edilenlere göre gerçek değerlere daha yakın sonuç verdiği belirlenmiş olup yapay sinir ağı ile saatlik üretim miktarının tahmin edilebileceği belirlenmiştir.

ABSTRACT Estimation of the cuttability of the rocks and the hourly production quantities of the block cutting machines in natural stone processing plants is important for the economy and continuity of the facility in the feasibility studies to be carried out before the factory installation. Determination of the engineering properties of the rock and making production planning considering these properties play an important role on the enterprise.

In this study, Shore and Schmidt surface hardness values of marbles produced in Muğla region were determined and hourly production quantities of circular saw blade block cutting machines were tried to be estimated by forming models with artificial neural networks (YSA) and regression analysis. MATLAB "nntool" tool bar for artificial neural network models and

SPSS 17 program for simple and multiple regression analyzes were used. Also, HSP were gathered through in-plant measurements in order to justify the HSP estimated by ANN and RM. The analyses of the models generated using ANN proved to yield very strong consistency with HSP measured in the plants. It can be suggested that HSP can be estimated reliably by the models of ANN and it can be considered as a powerful tool in designing marble processing plants in terms of HSP.

1 GİRİŞ

Dünya doğal taş sektörü içerisinde Türkiye'nin payı ilk 5 arasında değişmektedir. Gerek karbonat kökenli doğal taşların rezerv açısından varlığı gerekse üretim-ihracat açısından ekonomik büyüklüğü dünyada doğal taş sektörü içindeki ekonomik yerini bir kez daha perçinlemektedir. Türkiye'nin 2016 yılı içindeki maden ihracatının payı %2,5 olarak gerçekleşmiştir. Tüm maden ihracatının sadece %47'lik kısmını tek başına doğal taş sektörü gerçekleştirmiştir. Geri kalan %53'lük payı ise diğer bilinen tüm madenlerin ihracatından sağlanmıştır. Bu rakamlar doğal taş sektörünün diğer maden sektörü içindeki yerini ve ekonomik büyüklüğünü göstermektedir.

Ocaklardan üretilen doğal taş blokları mermer işleme tesislerine getirilmekte ve burada yarı mamul veya işlenmiş mamul olarak piyasaya sunulmaktadır. Doğal taşların fabrikalarda ebatlanmasında dairesel testere kullanılmaktadır. Maliyet kalemleri arasında kesim maliyeti önemli bir payı oluşturmaktadır. Kesim maliyeti içinde en önemli oranı enerji ve testere maliyeti oluşturmaktadır. Bu maliyetler göz önünde bulundurularak literatürde mermer kesme işleminin optimizasyonu, enerji ve üretim miktarlarının tahmini için birçok çalışma yapılmıştır.

Ünver (1992), kayaçların kesilebilirliğinin belirlenebilmesi amacıyla Cassapi'nin 1987 yılında gerçekleştirdiği kesme deneylerinden elde edilen sonuçları kullanarak istatistiksel yaklaşımlarda bulunmuştur. Kesme kuvvetinin ve testerede oluşan aşınmanın belirlenebilmesi amacıyla çoklu regresyon yöntemi ile modeller ortaya koymuştur. İstatistiksel analizler sonucunda kayaç sertliğinin ve sert minerallerin tane boyutları

arttıkça kesme işleminin zorlaştığını ortaya koymuştur.

Büyüksağış (1998), 7 adet mermer üzerinde kesme deneyleri yapmıştır. Yapılan bu kesme deneylerinden elde edilen verilere göre kesme kuvvetlerini ve özgül enerji değerlerini hesaplamıştır. Kesme deneylerinde kullandığı mermerlerin fiziksel ve mineralojik özelliklerini belirledikten sonra çoklu regresyon tekniğini kullanarak mermerler için gerekli olan kesme kuvveti ve özgül enerji değerlerinin kayaç özellikleri ile belirlenebilmesi için ampirik yaklaşımlar ortaya koymuştur.

Büyüksağış ve Gökten (2005), kesme verimliliği için özgül enerjiyi bir kriter olarak ele almışlar ve 7 farklı hakiki mermer için optimum kesme koşullarını belirlemek amacıyla dairesel testere ile kesimler yapmışlardır. Çoklu regresyon analizi ile özgül kesme enerjisini; Cerchar aşındırma indeksi, Mohs sertliği ve tek eksenli basma dayanımı ile ilişkilendirmişlerdir.

Kahraman vd. (2006) kayaçların porozite, içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerlerini kullanarak yapay sinir ağları ve regresyon analizlerinden oluşturdukları modeller ile dairesel testere blok kesme makinelerinde ki üretim miktarlarını tahmin etmişler ve yapay sinir ağlarının daha iyi sonuç verdiğini belirlemişlerdir.

Büyüksağış (2007), 6 adet granit numunesi üzerinde dairesel testere ile aşağı ve yukarı yönlü olmak üzere kesme deneyleri yapmıştır. Yapılan bu kesme deneylerinde özgül enerji ve soketlerdeki özgül aşınma değerlerini hesaplamıştır. Kesme deneylerinde kullandığı granit numunelerinin fiziksel, mekanik ve mineralojik özelliklerini belirledikten sonra çoklu regresyon analizleri ile özgül enerji ve özgül aşınma değerleri arasında ampirik yaklaşımlar ortaya koymuştur.

Şengün (2009), kayaçların dairesel testerele ile kesilme işlemlerinde oluşan özgül enerji değerlerine, kayaçların kırılma tokluğunun ve gevrekliklerinin etkisini 15 farklı kayaç üzerinde incelemiştir. Özgül enerjinin kayaç özelliklerinden tahmin edilmesine yönelik basit ve çoklu regresyon analizlerinin yanı sıra bulanık mantık tabanlı analiz tekniği kullanılarak modeller oluşturmuştur.

Şengün vd. (2009), 4 farklı magmatik kökenli kayaç türünü kullanarak kesme deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Sabit kesme parametrelerinde ölçülen verilerden her kayaç türü için özgül kesme enerjisini hesaplamışlardır. Kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin kesme enerjisine etkisini belirlemek amacıyla regresyon analizleri yapmışlar ve kesme işleminde kayaçların fiziksel özelliklerinden gözeneklilik ve mekanik özelliklerinden basınç dayanımının etki rol oynadığını belirlemişlerdir.

Caner ve Akarslan (2009), mermer kesme parametrelerinin enerji tüketimine etkisini Yapay Sinir Ağları ve ANFIS kullanılarak tahmin etmeye çalışmışlardır. Tahmin metodlarında giriş parametreleri olarak kayaç sertliği, testere dönüş hızı ve kesme hızını çıkış parametresi olarak spesifik enerji faktörünü kullanmışlardır. Tahmin edilen sonuçlar ile deneysel verileri kıyaslamışlar ve verilerin birbirlerine oldukça yakın olduğunu belirlemişlerdir.

Yurdakul (2009) S/T'lerde, karbonat kökenli doğal taşlar üzerinde kesme performansı ölçümleri yapmış ve özgül kesme enerjisi ile ilerleme hızını yapay sinir ağları yardımıyla önceden tahminine yönelik modeller geliştirmiştir.

Güney (2011), Muğla bölgesinde 5 farklı mermer ocağından alınan numunelerin Shore sertliği, Schmidt sertliği ile mineral tane boyutu belirlemiş ve saatlik levha üretim değerleri ile arasındaki ilişkileri araştırmıştır.

Güvenç vd. (2011), laboratuvar ortamında mermer kesme makinesi ile Uşak yeşil mermer ile yapılan kesme deneylerinden elde ettikleri vagon ilerleme hızı, testere devir sayısı, kesme derinliği verilerini giriş verisi, kesim bitiş süresini ise çıkış verisi

olarak kullanarak yapay sinir ağına kesim süresini modellemişlerdir. Oluşturulan modele test verilerini girdiklerinde tahmin edilen kesim süresi ile ölçülen kesim sürelerinin birbirlerine oldukça yakın olduklarını belirlemişlerdir.

Yurdakul ve Akdaş (2012), 3 ayrı taş işleme tesisinde 7 farklı blok kesme makinesinde 6 farklı karbonat kökenli kayacın kesilebilirliklerinin belirlenebilmesi amacıyla "özgül kesme enerjisi" değerlerini hesaplamışlar ve kayaçların fiziko-mekanik özellikleri ile özgül kesme enerjisi değerleri arasındaki ilişkileri istatistiksel analizler ile incelemişlerdir.

2 YAPAY SİNİR AĞLARI

Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin çalışma mekanizmasını taklit ederek beynin öğrenme, hatırlama, genelleme yapma yolu ile yeni bilgiler türetebilme gibi temel işlevlerini gerçekleştirmek üzere geliştirilen mantıksal yazılımlardır. Günümüzde yapay sinir ağları (YSA); fizik, matematik, elektrik, elektronik ve bilgisayar mühendisliği gibi farklı bilim dallarında farklı uygulamalarda kullanılmaktadır. YSA'nın pratikte kullanımı genelde değişik formlarda ve yapılarda bulunan sistemleri hızlı bir biçimde sınıflandırma, verileri tahmin etme ve kontrol üzerinedir. Aslında mühendislik uygulamalarında YSA'nın geniş çaplı kullanımının en önemli nedeni, klasik yöntemlerle çözümü zor olan problemlere daha kolay çözüm getirmesidir. YSA, geniş bir alana yayılmış bilim ve mühendislik problemlerinin çözümü için matematiksel modeller kullanmak yerine gözleme dayalı veya deneyler sonucu elde edilen verilere dayanan benzetimler kullanır (İnan, 1999).

Yapay sinir ağları genellikle bir girdi, bir ya da daha fazla gizli ve bir çıktı katmanı içerir. Tipik bir nöron girdisi başka bir nöronun çıktısıdır. Bu çıktılar bağlantılar aracılığıyla iletilir. Bu bağlantılara biyolojide sinaps adı verilir. Her bir sinaptik bağlantı kuvveti, ağırlık adı verilen nümerik değerlerle belirtilir. İ. nöron j. nörona sinyal gönderdiğinde, bu sinyal i. sinapsın ağırlığıyla çarpılır. İ. nöronun çıktısı x_i olarak gösterilir. J.nörondaki

ağırlıklandırılmış girdiler (w_jx_i) nörondaki işlemci eleman tarafından toplanır. Elde edilen toplam nöron aktivasyon olarak adlandırılır. Aktivasyon tamamen nöronun iç durumudur. Ağırlıklar ve girdiler pozitif veya negatif olabilirken aktivasyondan dolayı pozitif, sıfır veya negatif olabilir. Pozitif durum aktive olmuş nöronu, negatif durum pasif olan kapalı nöronu gösterir. Aktivasyon belirlendikten sonra nöron çıktısını belirlemek için sinyal transfer fonksiyonlarını uygular (Kaya vd., 2005).

Aktivasyon fonksiyonu çıktıyı istenilen aralıklara dönüştürmek için kullanılmaktadır. YSA hücrelerinin kullandığı pek çok aktivasyon fonksiyonu bulunmaktadır. Tanjant-hiperbolik, Sigmoid ve Doğrusal fonksiyonları iyi sonuçlar verdiği için sıklıkla tercih edilen aktivasyon fonksiyonlarıdır. Aktivasyon fonksiyonu doğrusal olabileceği gibi doğrusal olmayabilir (Ceylan, Avan, 2012).

3 REGRESYON ANALİZİ

Regresyon analizi bağımlı değişken ile bir veya daha çok bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla kullanılan bir analiz yöntemidir. Bir tek bağımsız değişkenin kullanıldığı regresyon tek değişkenli regresyon analizi, birden fazla bağımsız değişkenin kullanıldığı regresyon analizi de çok değişkenli regresyon analizi olarak adlandırılır.

Regresyon analizi sonucunda, ilişki olup olmadığı ve varsa bu ilişkinin derecesi korelasyon katsayısı ile hesaplanır. Korelasyon katsayısı " r " ile gösterilir ve -1 ile +1 arasında değerler alır. Korelasyon katsayısı 0,00-0,25 aralığında "Çok Zayıf"; 0,26-0,49 aralığında "Zayıf"; 0,50-0,69 aralığında "Orta"; 0,70-0,89 aralığında "Yüksek"; 0,90-1,00 aralığında ise "Çok Yüksek" olarak yorumlanır (Doymuş, 2016).

4 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışma kapsamına Muğla bölgesinde 6 ayrı fabrikada üretimi gerçekleştirilen ticari isimleri Muğla Beyaz, Milas Limon, Milas Leylak ve Muğla Mor mermerleri kullanılmıştır. Mermerlerin blok üretimi

gerçekleştirildiği ocak ve fabrika lokasyonları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Çalışma kapsamında kullanılan mermerler ve üretim lokasyonları (Güney, 2011)

Kayaç Adı	Jeolojik Sınıfı	Fabrika Adı	Fabrika Lokasyonu	Ocak Lokasyonu
Milas Limon	Mermer	Ayhan Mermer	Yatağan	Kestaneci Köyü
Milas Beyaz	Mermer	Dur-taş Mermer dumanlar	Yatağan	Milas
Milas Leylak	Mermer	Mermer Dumanlar	Bayır	Kestaneci Köyü
Muğla Mor	Mermer	Mermer	Bayır	Kestaneci Köyü
Muğla Beyaz	Mermer	Ermaş Mermer	Yatağan	Yatağan
Muğla Beyaz	Mermer	Demircioğlu Mermer	Yatağan	Bayır
Muğla Beyaz	Mermer	Kırcı Mermer	Yatağan	Kozağaç Köyü

Shore ve Schimidt yüzey sertlikleri kayaların iç dokusunu temsil etmelerine bağlı olarak kayaların dayanımları, delinebilirlikleri ve kesilebilirliklerinin tahmininde ucuz, kolay ve pratik olmalarından dolayı bir çok çalışmada önemli parametreler olarak kullanılmıştır.

Bu çalışma kapsamında araziden alınan örneklerin laboratuvar ortamında ISRM (2007)'ye göre Schmidt sertliği, Altındağ ve Güney (2006)'ya göre Shore sertlikleri belirlenmiştir. Sertlik değerleri belirlenmesi sonrasında blokların fabrika ortamında ST makineleri ile kesimi gerçekleştirilerek saatlik üretim miktarları belirlenmiştir. Elde edilen verilerin 28 tanesi yapay sinir ağı ve regresyon analizlerinde model oluşturmak için kullanılmış olup Çizelge 2'de verilmiştir. Test kümesi verileri ise her fabrikadan rastgele birer tane seçilmiş olup Çizelge 3'te verilmiştir.

Sertlik değerleri kullanılarak yapay sinir ağı ve regresyon analizlerinden 3'er adet model oluşturulmuş olup tahmin edilen saatlik üretim miktarı ile fabrika ortamında ölçülen saatlik üretim miktarı arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak incelenmiştir.

Çizelge 2. YSA ve regresyon modellerinin oluşturulmasında giriş verisi olarak kullanılan deney verileri (Güney, 2011)

Kayaç Adı	Fabrika Adı	Saatlik Üretim (m ² /h)	Shore Sertliği	Schmidt Sertliği
Milas Limon	Ayhan Mermer	27	47,2	58
		27	47	56
		27	47,3	56
		30	47,2	56
Milas Beyaz	Dur-Taş Mermer	33	45,5	58
		33	45,2	55
		38	45,3	56
		37	45	56
Milas leylak	Dumanlar Mermer	26	49,2	62
		26	48,5	63
		26	49,9	63
		26	47,1	61
Muğla Mor	Dumanlar Mermer	24	51,6	66
		24	49,4	66
		24	51,7	65
		24	50,2	63
Muğla Beyaz	Ermaş Mermer	27	47,6	55
		27	45,8	52
		28	46,1	55
		29	45,2	50
Muğla Beyaz	Bayır Mermer	26	45,6	54
		27	45,1	50
		28	45	52
		28	44,2	49
Muğla Beyaz	Kırcı Mermer	31	42,8	53
		34	43,1	54
		34	44	54
		34	43	52

Çizelge 3. YSA ve regresyon modellerinin test edilmesinde kullanılan test verileri (Güney, 2011)

Kayaç Adı	Fabrika Adı	Ölçülen Saatlik Üretim (m ² /h)	Shore Sertliği	Schmidt Sertliği
Milas Limon	Ayhan Mermer	30	47,1	55
Milas Beyaz	Dur-Taş Mermer	33	45,2	56
Milas Leylak	Dumanlar Mermer	26	48,3	62
Muğla Mor	Dumanlar Mermer	24	51,6	64
Muğla Beyaz	Ermaş Mermer	29	46	52
Muğla Beyaz	Bayır Mermer	27	44,8	51
Muğla Beyaz	Kırcı Mermer	34	43,8	53

4.1 Saatlik Üretim Miktarı Tahmini İçin YSA Modellerinin Oluşturulması

YSA'lar biyolojik sinir ağı modelinin yapısını ve işlevini taklit ederek oluşturulan zeki bir sistemdir. YSA'nın eğitilebilmesi ve hedef çıktılara ulaşılması için çok sayıda girdi ve girdilere ilişkin çıktı dizisine

gereksinim duyulur. YSA'nın yapısını temelde giriş, gizli ve çıkış katmanları oluşturmaktadır. Bu katmanlarda neuron, bağlantılar ve ağırlıklar olmak üzere bileşenler bulunmaktadır. Bu üç bileşen ağı yapısı oluşturulduktan sonra eğitim ve test aşaması olarak bilinen matematiksel süreçte kullanılmaktadır (Taşdemir, 2011)

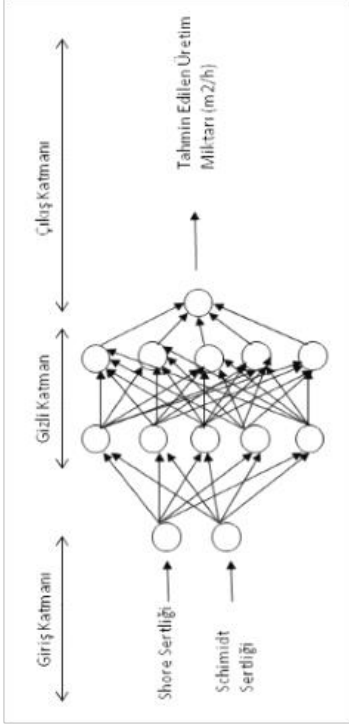
Bu çalışma kapsamında YSA modelleri MATLAB R2009a yazılım programında bulunan Neural Network (nntool) kullanılarak oluşturulmuştur. YSA modellemesinde 3 farklı modelleme yapılmıştır. Birinci modelde Shore sertliği, ikinci modelde Schmidt sertliği üçüncü modelde de ise her iki sertlik değerleri giriş parametresi olarak girilmiştir. Oluşturulan üç modelde de üretim miktarı çıkış parametresidir.

YSA ile üretim miktarı tahmin edilirken birçok farklı ağ mimarisi denenmiştir. Genellikle mühendislikte yaygın olarak kullanılan ileri beslemeli geri yayılım algoritması kullanılmıştır. En iyi sonuçların elde edildiği ağ mimarileri YSA-I, YSA-II, YSA-III olarak tanımlanmış olup model yapıları Çizelge 4' te verilmiştir.

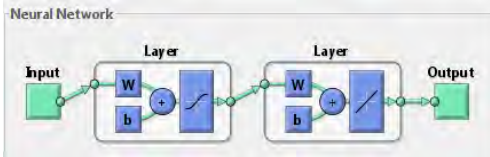
Çizelge 4. YSA model yapıları

Model Adı	Giriş nöron sayısı	Gizli nöron sayısı	Çıkış nöron sayısı	Ağ Tipi	Aktivasyon Fonksiyonu		Öğrenme Fonksiyonu	Performans Fonksiyonu
					1.katman	2.katman		
YSA-I	1	5	1	İleri Beslemeli Geri Yayılım	Purelin	Tanjant Sigmoid	Karesel Hata (MSE)	Trainin
YSA-II	1	5	1	İleri Beslemeli Geri Yayılım	Tanjant Sigmoid	Tanjant Sigmoid	Karesel Hata (MSE)	Trainin
YSA-III	2	5	1	İleri Beslemeli Geri Yayılım	Tanjant Sigmoid	Purelin	Karesel Hata (MSE)	Trainin

Tasarlanan modellerden üçüncüsü olan YSA-III modelinin yapısı ve bileşenleri Şekil 1’de, MATLAB 2009a programındaki gösterimi ise Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 1. YSA-III’e ait ağ mimarisinin yapısı



Şekil 2. YSA -III ağ mimarisinin MATLAB 2009 programında gösterimi

Bu modellerle kayaçların sertlik değerlerini kullanarak fabrika ortamında dairesel testere ile kesim gerçekleştiren blok kesme makinelerinin saatlik üretim miktarları tahmin edilmeye çalışılmıştır. YSA modellerinden elde edilen sonuçlar ile fabrika ortamında belirlenen saatlik üretim değerleri Çizelge 5’de verilmiştir.

Çizelge 5. Fabrika ortamında ölçülen ve YSA modelleri ile tahmin edilen saatlik üretim miktarları

Kayaç Adı	Ölçülen Saatlik Üretim Miktarı (m ² /h)	YSA-I Tahmini (m ² /h)	YSA -II Tahmini (m ² /h)	YSA -III Tahmini (m ² /h)
Milas Limon	30	29	31	29
Milas Beyaz	33	31	32	34
Milas Leylak	26	27	26	24
Muğla Mor	24	25	25	25
Muğla Beyaz	29	30	29	28
Muğla Beyaz	27	32	28	28
Muğla Beyaz	34	33	30	35

4.2 Saatlik Üretim Miktarı Tahmini İçin Regresyon Modellerinin Oluşturulması

YSA da oluşturulan modellerinin yanı sıra SPSS 17 programı kullanılarak regresyon analizleri de yapılmıştır. YSA eğitiminde olduğu gibi Çizelge 2’de verilen giriş verileride regresyon analizlerinde model oluşturmak için kullanılmış olup aynı şekilde Çizelge 3’te verilen değerler de test verisi olarak kullanılmıştır. Regresyon analizlerinde saatlik üretim miktarı değerleri bağımlı değişken olup Shore sertliği ve Schmidt sertlik değerleri bağımsız değişkenlerdir. Saatlik üretim miktarı değerleri ile Shore ve Schmidt sertlik değerleri arasında ayrı ayrı regresyon analizleri yapılmış olup her iki sertlik değeri kullanılarak da çoklu regresyon analizi yapılmış ve saatlik üretim miktarı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Regresyon analizleri sonucunda elde edilen modeller Çizelge 6’da, analizlerden elde edilen tahmin değerleri ile fabrika ortamında belirlenen saatlik üretim değerleri ise Çizelge 7’de verilmiştir.

Çizelge 6. Regresyon analizlerinden oluşturulan modeller

Model Adı	Model	r	t	F
R-I	SÜM=83,665-1,186 SH	0,71	7,756	25,984
R-II	SÜM=50,317-0,380 SCH	0,48	6,425	7,641
R-III	SÜM=94,525+0,402SCH-1,914 SH	75	8,109	16,308

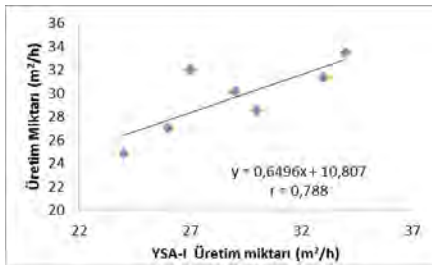
SÜM: Saatlik Üretim Miktarı, SH: Shore Sertliği, SCH: Schmidt Sertliği

Çizelge 7. Fabrika ortamında ölçülen ve regresyon modelleri ile tahmin edilen üretim miktarları

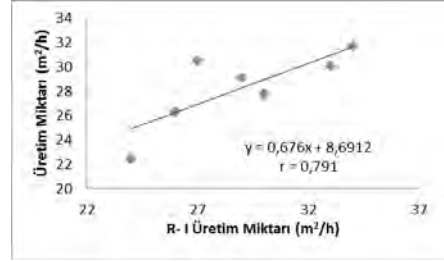
Kayaç	Ölçülen Saatlik Üretim Miktarı (m ² /h)	R-I Tahmini (m ² /h)	R-II Tahmini (m ² /h)	R-III Tahmini (m ² /h)
Milas Limon	30	28	29	29
Milas Beyaz	33	30	29	34
Milas Leylak	26	26	27	24
Muğla Mor	24	22	26	25
Muğla Beyaz	29	29	31	28
Muğla Beyaz	27	31	31	28
Muğla Beyaz	34	32	30	35

4.3 Saatlik Üretim Miktarı Değerleri İle YSA-I ve R-I Model Tahminleri Arasındaki İlişkiler

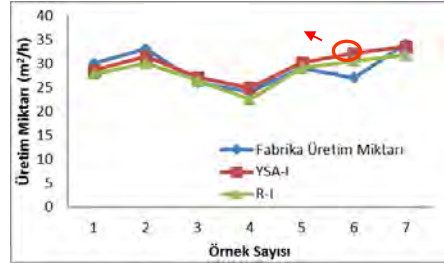
Shore sertlik değerinin giriş, üretim miktarının ise çıkış parametresi olarak belirlendiği YSA-I ve R-I modelinden tahmin edilen saatlik üretim miktarı değerleri ile ölçülen üretim miktarı arasındaki ilişkiler Şekil 4 ve Şekil 5'te incelenmiştir. Fabrika ortamında ölçülen saatlik üretim miktarı ile YSA-I arasında 0,788 R-I arasında ise 0,791 korelesyon katsayıları elde edilmiştir. Her iki modelden elde edilen tahmin değerleri ile fabrika üretim değerlerinin karşılaştırmalı sonuç grafiği Şekil 6'da verilmiş olup tahmin edilen değerlerin ölçülen değerler ile anlamlı ilişki içinde olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4. Saatlik üretim miktarı değerleri ile YSA-I tahmin değerleri arasındaki ilişki



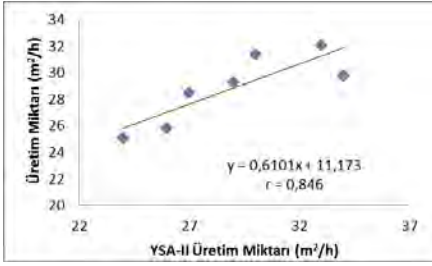
Şekil 5. Saatlik üretim miktarı değerleri ile R-I tahmin değerleri arasındaki ilişki



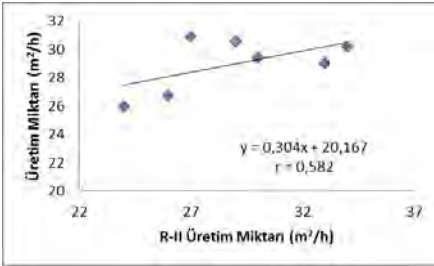
Şekil 6. Saatlik üretim miktarı değerleri ile YSA-I ve R-I tahmin verilerinin karşılaştırmalı sonuç grafiği

4.4 Saatlik Üretim Miktarı Değerleri İle YSA-II ve R-II Model Tahminleri Arasındaki İlişkiler

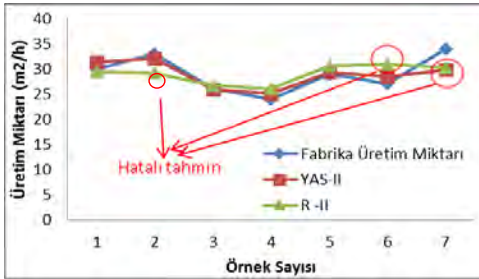
Schmidt sertlik değerinin giriş, üretim miktarının ise çıkış parametresi olarak belirlendiği YSA-II ve R-II modelinden tahmin edilen saatlik üretim miktarı değerleri ile ölçülen üretim miktarı arasındaki ilişkiler Şekil 7 ve Şekil 8'te incelenmiştir. Fabrika üretim miktarı ile YSA-II tahmini arasında 0,846 R-II tahmini arasında ise 0,582 korelesyon katsayıları elde edilmiş olup YSA'nın regresyon tahminlerine göre fabrika üretim değerleri ile yüksek ilişki içinde olduğu belirlenmiştir. Her iki modelden elde edilen tahmin değerleri ile fabrika üretim değerlerinin karşılaştırmalı sonuç grafiği Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 7. Saatlik üretim miktarı değerleri ile YSA-II tahmin değerleri arasındaki ilişki



Şekil 8. Saatlik üretim miktarı değerleri ile R-II tahmin değerleri arasındaki ilişki



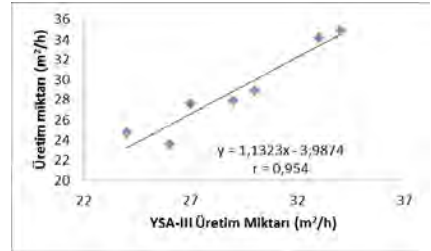
Şekil 9. Saatlik üretim miktarı değerleri ile YSA-II ve R-II tahminlerinin karşılaştırmalı sonuç grafiği

4.5 Saatlik Üretim Miktarı Değerleri ile YSA-III ve R-III Model Tahminleri Arasındaki İlişkiler

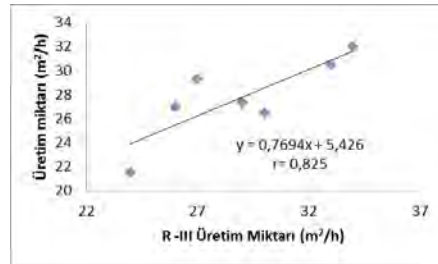
Shore ve Schmidt sertlik değerlerinin giriş, saatlik üretim miktarının ise çıkış parametresi olarak belirlendiği YSA-III modelinden elde edilen veriler ile her iki sertlik değeri ile yapılan çoklu regresyon analizi sonucunda R-III modelinden tahmin edilen saatlik üretim miktarı değerleri Şekil 10 ve Şekil 11'de incelenmiştir. Fabrika

saatlik üretim miktarı ile YSA-III arasında 0,954 R-III arasında ise 0,825 korelasyon katsayıları elde edilmiştir. YSA III'ün diğer YSA ve regresyon modellerine göre gerçek veriler ile yüksek ilişki içinde olduğu belirlenmiştir.

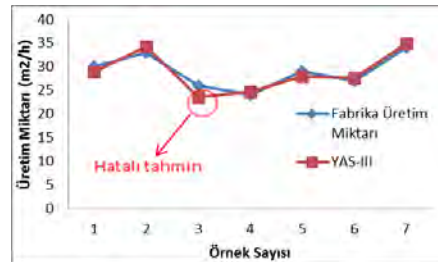
Her iki modelden elde edilen tahmin değerleri ile fabrikadaki saatlik üretim değerlerinin karşılaştırmalı sonuç grafiği Şekil 12 ve Şekil 13'te ayrı ayrı verilmiş olup Şekil 12'de YSA verilerinin gerçek veriler ile örtüştüğü görülmüştür.



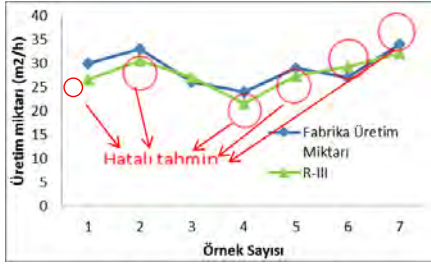
Şekil 10. Saatlik üretim miktarı değerleri ile YSA-III tahmin değerleri arasındaki ilişki



Şekil 11. Saatlik üretim miktarı değerleri ile R-III tahmin değerleri arasındaki ilişki



Şekil 12. Saatlik üretim miktarı değerleri ile YSA-III verilerinin karşılaştırmalı sonuç grafiği



Şekil 13. Saatlik üretim miktarı değerleri ile R-III analizi verilerinin karşılaştırmalı sonuç grafiği

5 SONUÇLAR

Doğal taş işleme tesislerinde kayaçların kesilebilirliği ve blok kesme makinelerin saatlik üretim miktarlarının tahmini, fabrika kurulumu öncesinde yapılacak fizibilite çalışmalarında işletmenin ekonomisi ve devamlılığı açısından önemli olmaktadır. Kesimi gerçekleştirilecek kayacın mühendislik özelliklerinin belirlenmesi ve bu özellikler dikkate alınarak üretim planlamasının yapılması işletme üzerinde önemli rol oynamaktadır.

Bu çalışma kapsamında araziden alınan örneklerin laboratuvar ortamında Schmidt ve Shore sertlikleri belirlenmiştir. Sertlik değerleri belirlenmesi sonrasında blokların fabrika ortamında ST makineleri ile kesimi gerçekleştirilerek saatlik üretim miktarları belirlenmiştir. Sertlik değerlerinin belirlenmesi sonrasında fabrika ortamında ST makineleri ile blokların kesimi gerçekleştirilerek saatlik üretim miktarları belirlenmiştir. Daha sonrasında da bu veriler kullanılarak Yapay sinir ağları (YSA) ve regresyon analizleri ile modeller oluşturulmuş olup saatlik üretim miktarları tahmin edilmiştir.

Fabrika ortamında belirlenen saatlik üretim miktarı değerleri ile oluşturulan yapay sinir ağı ve regresyon modellerinden elde edilen tahmini saatlik üretim miktarı değerleri arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak incelenmiştir. İncelemeler sonucunda yapay sinir ağı modellerinin regresyon modellerine göre gerçek değerlere daha yakın sonuç verdiği belirlenmiş olup oluşturulan veri seti için yapay sinir ağı ile

saatlik üretim miktarının tahmin edilebileceği belirlenmiştir.

Gerek YSA da giriş parametreleri gerekse regresyon analizlerinde bağımsız değişkenler ve veri sayıları artırıldığında oluşturulacak modeller ile gerçeğe daha yakın tahminler elde edilebileceği düşünülmektedir. Ancak Kayaçların fiziko-mekanik özelliklerinin belirlenmesinde numune temin zorluğu ve standartlarda belirtilen ebatlara göre numune hazırlama güçlüğü, deneylerin zaman alıcı olması gibi nedenlerle çalışmada en az parametre ile en iyi tahmin değerleri elde edilmeye çalışılmıştır.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma Ahi Evran Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü KMY.E2.17.007 numaralı projesi tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Altındag, R., Guney, A., 2006. ISRM Suggested Method for Determining Shore Hardness Value for rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 43, 996-997
- Büyüksağış, İ.S., 1998. Dairesel Blok Kesme Makinalarında Mermerlerin Kesilebilirlik Analizleri, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, 172 s, Eskişehir.
- Büyüksağış, İ.S., 2007. Effect of Cutting Mode on the Sawability Of Granites Using Segmented Circular Diamond Sawblade, *Journal of Materials Processing Tech.*, Vol. 183, pp. 399-406.
- Büyüksağış, İ.S., Gökten, R.,M., 2005. Investigation of Marble Machining Performance Using an Instrumented Block-Cutter", *Journal of Materials Processing Tech.*, Vol. 169, pp. 258-262.
- Caner, M., ve Akarslan, E. 2009. Mermer Kesme İşleminde Spesifik Enerji Faktörünün ANFIS ve YSA Yöntemleri ile Tahmini, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15 (2) 233-239.
- Ceylan, H., Avan, M., 2012. Türkiye'deki İş Kazalarının Yapay Sinir Ağları ile 2025 Yılına Kadar Tahmini, *International Journal of Engineering Research and Development*, vol. 4, pp. 46-54
- Doymuş, K., 2016. Korelasyon Analizi. Erişim Tarihi: 05.01.2016. <https://kemaldoymus.files.wordpress.com/2009/12/korelasyon.ppt>
- Güney, A., 2011. Performance Prediction of Large-Diameter Circular Saws Based on Surface Hardness Tests for Mugla (Turkey) Marbles,

- Rock Mechanics Rock Engineering*, Vol. 44, pp 357-366
- Güvenç, U., Dursun, M., Çimen, H., 2011. Mermer Kesme İşleminde Kesim Süresinin Yapay Sinir Ağı Tabanlı Modellenmesi, *SDU International Technologic Science*, vol.3 pp 9-16
- İnan, A., 1999. Yapay Sinir Ağlarının Güç Sistemlerinde Kullanım Alanları, *Kaynak Elektrik*, Sayı119, 104-114
- ISRM,2007. The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974-2006, (Ulusay, R., Hudson, J.A., Editors), Kozan Ofset, s.628, Ankara.
- Kahraman, S., Altun, H., Tezekici, B.,S., Fener, M., 2006. Sawability Prediction of Carbonate Rocks from Strength Parameters Using Artificial Neural Networks, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, Vol.43, pp.157-164
- Kaya, İ., Oktay, S.,Engin, O., 2005. Kalite Kontrol Problemlerinin Çözümünde Yapay Sinir Ağlarının Kullanımı, *Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(1-2),92-107
- Şengün, N., 2009. Kayaçların Kırılma Tokluğu Ve Gevrekliğinin Dairesel Testereler İle Kesme Verimi Üzerine Etkileri, (Doktora Tezi), *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 165s, Isparta
- Şengün, N., Altındağ, R., Koçcaz, C., E., 2009. Isparta Yöresinde Bulunan Bazı Mağmatik Kökenli Kayaçların Kesilebilirlik Analizi, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen Mühendislik Dergisi*, cilt 11, sayı 31
- Taşdemir, Ş., 2011. Yüzey Pürüzlülüğünün Yapay Sinir Ağı ve regresyon modelleri ile Belirlenmesi ve Karşılaştırılması
- Ünver, B., 1992. Kayaların Testerelerle Kesilebilirliğinin Pratik Olarak Belirlenebilmesi İçin İstatistiksel Yaklaşım, *Madencilik*, 31,3.
- Yurdakul, M., Akdaş, H., 2012, Prediction of Specific Cutting Energy for Large Diameter Circular Saws During Natural Stone Cutting. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*,53,38-44

Bilgisayar Destekli Eğitim Araçlarına Bir Örnek: Mermer Fabrika Simülasyonu

New Simulation Tool for Engineering Education: Marble Plant Simulation

O. Akkoyun

Dicle Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır

ÖZET Bu çalışmada, mermer üretim ve işleme süreçleri ile ilgili derslerde kullanılmak üzere geliştirilmiş ve halen kullanılan bir mermer fabrika simülasyon programı tanıtılmıştır. Program, ortalama bir mermer fabrikası akım şemasına sahip olup bu akım şemasındaki hemen bütün makinaları üzerinde barındırmaktadır. Kullanıcı, akım şeması üzerindeki bütün makinaları görüp çalışma parametrelerini değiştirebilmekte ve değişen çalışma parametrelerinin üretime etkisini doğrudan gözlemleyebilmektedir. Program derslerde kullanılmış olup olumlu geri dönüşler alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Simülasyon, Mermer fabrikası, Eğitim amaçlı yazılım, Monte Carlo

ABSTRACT In this study, new simulation-based software developed for educational purposes is introduced. The software simulates the processing system of natural stone plants which are very important and have been taught in natural stone production related lectures both at mining engineering departments and vocational high schools. The software has been used during these classes and the positive feedbacks from the students show that the software achieved its learning objectives.

Keywords: Simulation, Marble processing plant, Educational tool, Monte Carlo

1 GİRİŞ

Teknolojinin son yıllarda büyük bir hızla gelişmesi ile birlikte, eğitim ve öğretimde, teknolojik araç gereç ve yazılımların kullanımında da büyük bir artış gerçekleşmiştir. Bu gelişmeler ile birlikte, teknoloji destekli eğitim-öğretim araçlarının geleneksel eğitim öğretim araç ve yöntemlerine kıyasla daha esnek, çekici ve kolay olduğunu ortaya koyan birçok çalışma yapılmıştır. Hatta bu araçların geleneksel eğitimden farklı olarak klasik sınıf ortamı ile sınırlı olmadığı, dünyanın her yerinden erişimin mümkün olduğu, bu nedenle bu

çalışmaların klasik sınıf içi eğitimin sonunu getireceği fikri tartışılmaktadır. Teknoloji destekli bu araçların temel amacı, öğrencilerin ve öğretmenlerin cesaret ve isteklerini artırmak ve süreci daha kolay ve eğlenceli hale getirmektir.

Bu süreç içerisinde, amacı sadece öğrencilerin ilgisini çekmek olan, temel sorular sorup cevaplarını değerlendiren basit programlardan (Kayssi ve diğ., 1999), öğrenme-öğretme amaçlı internet tabanlı ve öğrencilerin iletişim becerilerini artırma amaçlı teknoloji tabanlı projelere (Siller ve diğ., 1999; Ong ve Mannan 2004), sanal gerçeklik ortamlarından oyun ve animasyon programlarına birçok proje geliştirilmiş ve

çevrimiçi/çevrimdışı olarak kullanılmaktadır (Philpot ve Hall, 2006).

Bu, güçlü ve ilgi çekici bilgisayar destekli eğitim araçlarından birisi de benzetim (simülasyon) programlarıdır. Benzetimler basit olarak, bilinen bir işlemin ya da gerçek dünyanın bir bölümünün yeniden canlandırılmasıdır. Özellikle mühendislik düzeyindeki öğretim ortamlarında ve laboratuvar çalışmalarında benzetim tabanlı programların kullanılması son yıllarda büyük bir artış göstermiştir (Balamuralithara ve Woods, 2012).

Benzetim tabanlı eğitim araçları üzerine yapılan çalışmalar göstermiştir ki bu araçlar hem sınıf içi çalışmalarda hem de kendi kendine öğrenme etkinliklerinde oldukça etkilidirler. Özellikle mühendislik öğretiminde kullanılan bu araçların, öğrencilerin akademik bilgiyi endüstriye aktarma becerilerini artırdıkları bilinmektedir (Deshpande ve Huang, 2011).

Son yıllarda geliştirilen benzetim tabanlı eğitim-öğretim araçlarına birçok örnek verilebilir; Basit harmonik hareket (Martinez ve diğ., 2010), Eylemsizlik momenti (Chimenti ve Ochs, 1999), Dinamik (Aziz, 2011), Mekanik dersleri (Deliktaş, 2011), Akışkanlar mekaniği (Zueco, 2013), Fizik dersleri (Vidauerre ve diğ., 2002), Elektrik mühendisliği ve devreler (Tuncer ve diğ., 2009), Elektro manyetizma konuları (Squire, ve diğ., 2004), Gerçek zamanlı radar benzetimi (Damato ve diğ. 2013), Jeoloji dersleri (Mc Clean ve diğ., 2001), Cevher hazırlama ve tesis optimizasyonu (Hodouin, 2011), Madenlerde iş sağlığı için sanal gerçeklik eğitimleri (Mallet ve Unger, 2007) ve Eğitim amaçlı madencilik simülasyonları (Akkoyun, 2011; Akkoyun ve Careddu, 2015) bu çalışmalardan bazılarıdır.

Geliştirilen örneklerin birçoğunda karşılaştırmalı çalışmalar yapılmış ve klasik öğrenme ortamlarına göre daha iyi sonuçlar alındığı ifade edilmiştir.

Tüm bu olumlu özelliklerine rağmen benzetim tabanlı eğitim-öğretim araçlarının yaygınlaşmasının öngörülenden ve istenenden yavaş olmasının nedeni, benzetim programı geliştirmenin güç ve pahalı olmasıdır.

Bu çalışmada ise, eğitim amaçlı geliştirilen bir benzetim programı tanıtılmıştır. Program yer bilimleri ve ilişkili alanlar için çok büyük öneme sahip olan doğaltaş işleme sistemini konu alan bir benzetim çalışmasıdır. Takip eden bölümlerde çalışma ve sonuçları hakkında bilgiler verilmiştir.

2 YAPILAN ÇALIŞMALAR

Simülasyon ya da benzetim, herhangi bir sistemin bütününe ya da bir bölümünün yapay bir ortamda çalıştırılmasına ve üretilen bilgiler ile gerçek sistemin özelliklerine dair bilgiler toplamamıza yardımcı olan özel bir araçtır.

Benzetim, gerçek sistemin davranışını tanımlamak ve analiz etmek ve “...olursa ne olur? ” sorularına cevap vermek için kullanılır. Farklı benzetim tipleri şunlardır (Akkoyun ve Ergene, 2015);

- a) Statik (Zamanın model içinde önemi yoktur)
- b) Dinamik (Zamanın model içinde önemi vardır)
- c) Sürekli (Olayın (event) değişimi zaman içinde süreklidir)
- d) Ayrık (Olayın değişimi zaman içinde ayrıktır)
- e) Deterministik (Her parametre kesindir ya da kullanıcı belirler)
- f) Stokastik-Rastgele (Parametreler kullanıcıdan bağımsız olarak rastgele değişebilir)

En kullanışlı benzetim modelleri dinamik, ayrık ve stokastik olan modellerdir.

Bu çalışmada mermer işleme tesisinde meydana gelen işlemler modelleneceği için zaman (süre) önemlidir, işlem adımları her bir makinanın çalışması ya da beklemesi zaman içinde ayrık ve parametrelerin bir bölümü kesin, büyük bölümü belirli kısıtlar içinde rastgeledir. Bu durumda benzetim modelimiz dinamik, ayrık ve stokastik bir modeldir.

Çalışma için gerekli veriler Diyarbakır'da bulunan bir mermer fabrikasından toplanmıştır. Seçilen mermer fabrikasında önce akım şeması belirlenmiştir. Ocaktan gelen blokların, boyutlarına göre ST ya da katrağ hatlarına ayrılmasının gözlemlenmesinin üzerine, ST ve katrağ hatlarının ayrı ayrı modellenmesine karar verilmiştir.

Önce katrağ hattı ardından ST hattı bağımsız olarak değerlendirilmiştir. Buna göre; önce hattın akım şeması çıkarılmış, daha sonra akım şeması üzerindeki makinalar belirlenmiş, her bir makine için işlem hızı, sarlar, sarfların birim zamandaki büyüklükleri ve fire oranları gibi değerler ile ilgili bilgiler toplanmıştır. Bu verilerin mümkün olduğunca fazla sayıda olması hedeflenerek, verilerin dağılımları hakkında da bilgi sahibi olunması amaçlanmıştır.

Benzetim yöntemi olarak Monte Carlo benzetim yöntemi seçilmiş ve uygulanmıştır. Buna göre ST ve katrağ hatları akım şemaları ortaya konulduktan sonra her bir akım şeması üzerindeki makinaların çalışma parametreleri belirlenmiştir. Sabit ve değişken parametrelerin belirlenmesinin ardından değişken parametrelerin değişkenlik limitleri geçmiş veriler incelenerek elde edilmeye çalışılmıştır. Değişkenlik limitleri, standart sapma, ortalama, en küçük ve en büyük değerleri ile geçmiş verilerinin dağılım özelliklerinden elde edilmektedir. Bunun için benzetim ve istatistik çalışmalarında sık kullanılan

eşitliklerden yararlanılmıştır. Dağılım karakteristiği ise verilerin normal dağılıma yakınlık derecesi, çarpıklık ve basıklık değerleri ile ölçülmüştür. Monte Carlo benzetim yöntemine uygun olarak, hesaplamalar için gerekli olan ve önceden belirlenen değişkenler, her bir benzetim adımında rasgele olarak yeniden üretilmektedirler.

Monte Carlo benzetim yönteminin temel yaklaşımı şu şekilde özetlenebilir; Bir veri kümesinin dağılım özelliği biliniyor ise, o veri kümesine ait, ortama ve sapma değerleri kullanılarak aynı veri kümesi ile çok benzer özellikler taşıyan yeni veriler üretilebilir. Bu amaçla verilerin dağılım özellikleri, ortalama ve sapma değerleri ile yeni veriler, gerçek verilerin ait oldukları frekans aralığında üretilmiştir. Kullanılan temel eşitlik aşağıda eşitlik (1) de verilmiştir.

$$Z = \frac{X_i - X_{ort}}{s} \quad (1)$$

Burada; Z dağılıma ait gerçekleşme olasılığı, X_{ort} : veri seti ortalama değeri, s: veri seti standart sapma değeri ve X_i : benzetilen yeni veriyi ifade etmektedir.

Bu rasgele üretim sürecinde ilgili değişken ile ilgili fabrikada elde edilen gerçek verilerinin istatistiksel özellikleri kullanılmaktadır. Bu sayede, değişkene ait veri ile ilgili olarak; model çalıştırılarak yeni üretilen veriler ile gerçekte var olan ve fabrikada ölçülen veriler aynı istatistiksel özellikleri taşımaktadır.

Bunun anlamı şudur; her benzetim adımında yeniden üretilen bir değişken için, aynı değişkenin gerçekte ölçülen en küçük, en büyük, dağılım türü ve ölçüsü gibi değerler kullanılarak yeniden üretim yapıldığı için, üretilen veri, gerçekte elde edilen veri setine uygun istatistiksel özellikler taşımaktadır.

Çalışma kapsamında geliştirilen bilgisayar programı başlangıçta bir rasgele sayı üreticinin üç adet sayı üretmesi ile işleme başlar. Gerçek hayatta da var olan bu belirli

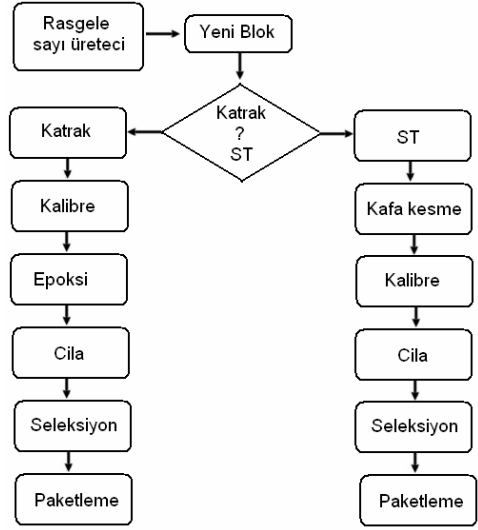
kısıtlar içinde rasgele üretilen bu üç adet sayı, sisteme yeni beslenecek olan mermer bloğunun boyutlarını temsil etmektedir. Eni, boyu ve yüksekliği ile üretilen bu blok, boyutları ve hacmi ile ilgili bir karar sürecinden sonra, ST ya da katrak hattına ait algoritmaların çalışmasına neden olur.

Gerçekte de fabrikalarda bu hatların seçimi blokların boyutlarına ve hacmine bakılarak yapılmaktadır. Hat kararı verildikten sonra, hat üzerindeki her makineye ait değişken parametreler ilişkide oldukları rasgele sayı üreticileri yardımı ile yeniden üretilerek hesaplamaya dahil edilirler.

Bu hesaplamalarda süre, üretim hızı, üretim miktarı, fire, verim ve maliyetler hesaplanır. Ardından akım şemasındaki diğer makinaya geçilerek son işlem adımına kadar işlemler bu şekilde devam eder ve sonuçlar sonuç ekranında gösterilir. Akım şemasındaki bir makinanın çıktısı takip eden makinanın girdisi olacak şekilde işlem yapılır. Programın basitleştirilmiş algoritması Şekil 1 de verilmiştir.

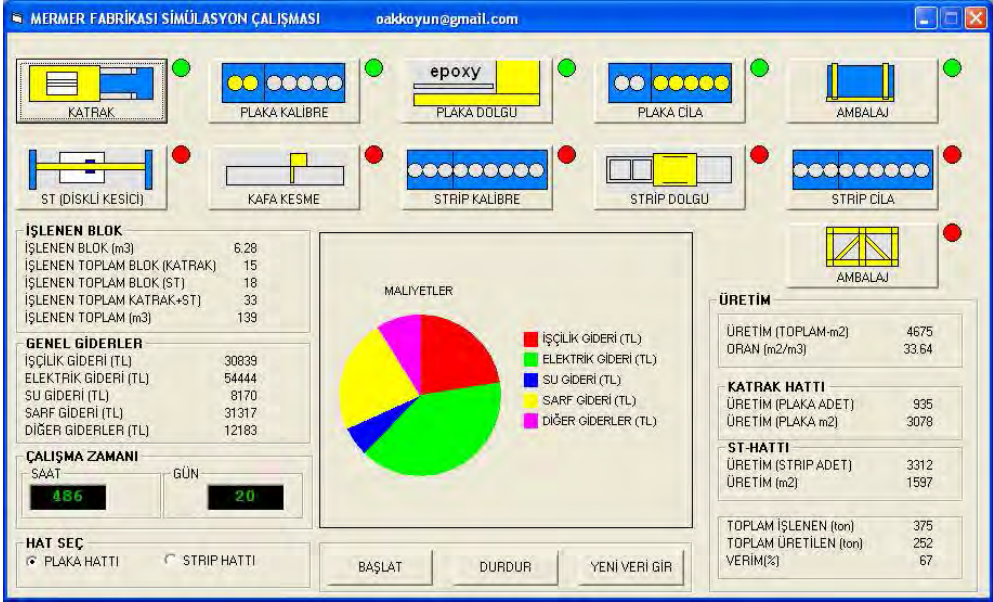
Başlat düğmesi ile çalışan program; önce rasgele üç veri üretir. Bu üç veri, ocaktan fabrikaya gelen bir mermer bloğunun boyutlarıdır. Ardından, boyutları bu şekilde belli olan blok için bir değerlendirme yapan program boyutlarına bağlı olarak ST ya da katrak hatlarından birisini seçerek işlemi devam ettirir. Bu durum fabrikada da aynı bu şekilde olmaktadır. Daha sonra seçilen hattın üzerindeki makineler ve onların çalışma parametrelerine bağlı olarak değişkenler rasgele yeniden üretilir.

Gerçek verilerin istatistiksel özellikleri ile aynı özellikteki bu yeni veriler ile akım şeması ilerleyerek tüm hesaplamalar yapılır ve sonuçlar anlık olarak gösterilir.



Şekil 1. Program Genel Algoritması

Kullanıcı o an işlenmekte olan blok ile ilgili bilgilerin yanı sıra, toplam işlenen blok sayısı, tonaj, hacim, ST hattında işlenen blok sayısı, katrak hattında işlenen blok sayısı, levha ve plaka ürün miktarları, fire, verim ve seçilmiş temel giderler gibi bilgiler ana pencerede kullanıcıya anlık olarak gösterilmektedir (Şekil 2). Kullanıcı istediği anda programı durdurabilir ve yeniden başlatabilir.



Şekil2. Program Ana Penceresi

Başlangıçta kullanılan benzetim verileri gerçek bir fabrikadan elde edilen veriler üzerine kurgulanmış olsa da yazılım, kullanıcının kendisinin gireceği yeni veriler ile de çalışmaya uygun bir biçimde tasarlanmış ve geliştirilmiştir.

Bunun anlamı şudur; fabrika iş akışı üzerindeki her hangi bir makine ile ilgili olarak kullanıcı ana pencereden üzerini fare ile tıklayarak açacağı ilgili pencereden neredeyse bütün parametreleri değiştirebilir ve değiştirdiği bu yeni değerlerin hesaplamalar üzerindeki etkisini gözlemleyebilir. Bu duruma örnek olması açısından katrak ile ilgili veri değiştirme penceresi Şekil3'de verilmiştir. Program içinde bu pencereye benzer 11 adet pencere bulunmaktadır ve bu pencereler yardımı ile yaklaşık 100 değişken ile ilgili yeni veri girişi yapılabilmektedir.

HAZIRLIK SÜRESİ (dakika)	75
İŞLEM HIZI (cm/dak)	0.19
OPERATÖR SAYISI	1
OPERATÖR GİDERİ (TL/AY)	3800
MOTOR GÜCÜ (KW)	120
SU TÜKETİMİ (Litre/dakika)	80
SARF GİDERİ (TL/AY)	6500
DİĞER GİDERLER (TL/AY)	3500
FİRE (%)	0.03
SOKET KALINLIĞI	0.55
ÜRÜN KALINLIĞI	2.1

Şekil3. Katrak Veri Girişi Penceresi

3 SONUÇLAR

Geliştirilen program, maden mühendisliği bölümünde ve meslek yüksek okulunda mermer üretimi ve fabrika işlemleri ile ilişkili olan derslerde öğrenciler ile paylaşılmış ve kullanılmıştır.

İlgili derslerde kullanıldıktan sonra yapılan değerlendirme anketlerinde yazılımın anlaşılır olduğu, mermer işleme tesislerindeki makine ve donanımın anlaşılması konusunda yardımcı olduğu, mermer işleme ile ilgili giderler ve diğer önemli parametrelerin neler olduğu ve ne şekilde etkili oldukları konularında öğrenmeye yardımcı olduğu ve mermer üretimi ile ilgili konuya öğrencinin ilgisini artırdığı sonuçlarına ulaşılmıştır (Akkoyun, 2017).

KAYNAKLAR

- Akkoyun, O., 2017, New Simulation Tool for Teaching-Learning Processes in Engineering Education, *Comp Appl Eng Educ* 25, III, s.404-410.
- Akkoyun, Ö. Ergene, S. N., 2015, Kazıcı-Yükleyici Karşılaştırması Yapan Bir Simülasyon Programının Geliştirilmesi, *Türkiye 5. Uluslararası Maden Mak Semp, Eskişehir*.
- Akkoyun O., Careddu, N., 2015, Mine simulation for educational purposes: A case study, *Comput Appl Eng Educ* 23-II, s.286-293.
- Akkoyun, O., 2011, Development of a visual courseware for surface mining education, *Comput Appl Eng Educ* 19, s.56-65.
- Aziz, E., 2011, Teaching and learning enhancement in undergraduate machine dynamics, *Comput Appl Eng Educ* 19, s.244-255.
- Balamuralithara, B. ve Woods, P. C., 2012, An investigation on adoption of the engineering simulation lab exercise: A case study in Multimedia University, Malaysia, *Comput Appl Eng Educ* 20, s.339-345.
- Chimenti, D.E. ve Ochs, S.S., 1999, 3D simulator for moments of inertia, *Comput Appl Eng Educ* 7, s.221-226.
- Damato, J.P., García Bauza, C., Boroni, G., ve Vé Nere, M., 2013, Realtime aircraft radar simulator for a navy training system, *Comput Appl Eng Educ* 21, s. 606-613.
- Deliktas, B., 2011, Computer technology for enhancing teaching and learning modules of engineering mechanics, *Comput Appl Eng Educ* 19, s.421-432.
- Deshpande, A.A., ve Huang, S.H., 2011, Simulation games in engineering education: A state-of-the-art review, *Comput Appl Eng Educ* 19, s.399-410.
- Hodouin, D., 2011, Methods for automatic control, observation, and optimization in mineral processing plants, *J Process Contr* 21, 211-225.
- Kayssi, A., El-Hajj, A., El Assir, M. ve Sayyid, R., 1999, Web-based tutoring and testing in a computer networks course, *Comput Appl Eng Educ* 7, s.1-7.
- Mallett, L., ve Unger, R., 2007, Virtual reality in mine training, in *SME Annual Meeting February 25-28, Salt Lake City, Utah*.
- Martinez, E., Carbonell, V., Florez, M. ve Amaya, J., 2010, Simulations as a new physics teaching tool, *Comput Appl Eng Educ* 18, s.757-761.
- Mc Clean, P., Saini-Eidukat, B., Schwert, D., Slator, B., ve White, A., 2001, In: J. A. Chamber (Ed.), *Virtual worlds in large enrollment science classes significantly improve authentic learning, Selected Papers from the 12th International Conference on College Teaching and Learning, Center for the Advancement of Teaching and Learning, Jacksonville, FL, s.111-118*.
- Ong S.C., ve Mannan, M.A., 2004, Virtual reality simulations and animations in a web-based interactive manufacturing engineering module, *Comput Educ* 43, s.361-382.
- Philpot, T.A., ve Hall, R. H., 2006, Animated instructional software for mechanics of materials: Implementation and assessment, *Comput Appl Eng Educ* 14, s.31-43.
- Siller, J.T., Palmquist, M., ve Zimmerman, E.D., 1999, Technology as a vehicle for integrating communication and team working skills in engineering curricula, *Comput Appl Eng Educ* 6, s.245-254.
- Squire, K., Barnett, M., Grant, J.M., ve Higginbotham, T., 2004, Electromagnetism supercharged! Learning physics with digital simulation games, in *Proceedings of the 2004 International Conference of the Learning Sciences, UCLA Press, LA*.
- Tuncer, S., Tatar, Y., ve Güldemir, H., 2009, Design and implementation of an integrated environment for real-time control of power electronic systems, *Comput Appl Eng Educ* 17, s.119-130.
- Vidaurre, A., Riera, J., Gimenez, M.H., ve Monsoriu, J.A., 2002, Contribution of digital simulation in visualizing physics processes, *Comput Appl Eng Educ* 10, s.45-49.
- Zuoco, J., 2013, An electric simulator to solve education engineering problems in fluid mechanics, *Comput Appl Eng Educ* 21, s.748-757.

Stone Cutting and Polishing: a review of research trends and technical achievements of a long-history industry

L. G. Rosa

IDMEC & Dept. of Mechanical Engineering, Instituto Superior Técnico, University of Lisbon, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, Portugal

ABSTRACT Considering the published works available at Web of Science™ Core Collection for the period from January 2013 till June 2017, this paper provides a summary of recent research trends and technical achievements all around the world, but focusing on stone processing techniques and methods, including topics like characterization, machining, surface finishing, and protection against degradation.

Two examples of research activities carried out at the University of Lisbon are presented and discussed in some more detail: 1) development and validation of diamond tool characterization methodologies for evaluation of long-term performance of stone-cutting tools; and 2) development and validation of a simulator software (virtual lab) named PAM (Polishing Analysis Modelling): a 2D geometric simulator aiming to reproduce the macroscopic action of polishing tools, rotating and moving over a stone surface.

1 INTRODUCTION

Stone crushing, stone carving, and stone machining (this last one using more sophisticated tools for cutting, grinding, and polishing) is a human activity since the early stages of mankind. However, since the spreading of diamond tools and the use of synthetic diamond at very reasonable prices, stone processing industry has become more and more competitive. In fact, diamond tools have many advantages as compared with tools made with common abrasives such as corundum (Al_2O_3) and silicon carbide (SiC).

Particularly in the dimension or ornamental stone sector, technical knowledge is considered an indispensable source and most of the times is kept under secrecy for sake of competitiveness. Product and process patents give rights to an individual or firm to make, use, and sell its invention, and to exclude others from doing so, but in fact they facilitate

and push forward the economy by disclosing new technology, providing solutions and new products. On the other hand, academic and scientific knowledge is currently assessed through publications, e.g. research articles, in periodicals and in conference proceedings.

The present paper aims to provide a view on recent research trends and technical achievements all around the world, but focusing on stone processing tools and methods. The review is restricted to studies in which “natural stone” or “artificial stone” is considered as a structural and/or decorative “material” to be used at the industrial scale; and those studies are of interdisciplinary nature. Publications dealing only with geological and geotechnical engineering, or those restricted to petrographic studies, are not considered in this paper.

Firstly, an analysis of the bibliography indexed by the Web of Science™ Core

Collection for the period from January 2013 till June 2017 is performed. This analysis will allow some interesting conclusions or highlights.

Then, two examples of research activities carried out at the University of Lisbon are presented and discussed in some more detail: i) development and validation of diamond tool characterization methodologies for evaluation of long-term performance of stone-cutting tools; and ii) development and validation of a simulator software (virtual lab) named PAM (Polishing Analysis Modelling): a 2D geometric simulator aiming to reproduce the macroscopic action of polishing tools, rotating and moving over a stone surface.

2 BIBLIOGRAPHIC ANALYSIS

Using field tags, Boolean operators, parentheses, and query sets, to create each query, “advanced search” was carried out on the database named Web of Science™ Core Collection. The searches were done year per year, starting in 2013 i.e. with PY = Year Published = 2013, and ending with PY = 2017 (electronically accessed on June 12, 2017).

Figure 1 depicts the query in the computer screen when the WEB OF SCIENCE™ Advanced Search for PY=2013 was conducted. This type of query intends to detect all type of documents dealing with research studies in which “natural stone” or “artificial stone” is considered as a structural and/or decorative “material”, including those studies that are focused on stone characterization, processing, machining,

surface finishing, protection against degradation, etc. Beside the field tag PY= Year Published, the other field tags used in the query are: TS= Topic; TI= Title; and SU= Research Area.

Table 1 summarizes the number of papers obtained from the queries for each of the full years (2013, 2014, 2015, and 2016), as well as for the current year (PY=2017) till June 12, 2017. Then, each paper was analyzed individually in order to select only the ones that in fact are dedicated to the research studies under consideration. This analysis is essential because the computer search is only a tool for primary selection.

Table 1. Results of bibliographic analysis.

Year Published	Number of papers	
	Computer selection (Primary)	Secondary (final) selection
2013	133	73
2014	117	63
2015	115	56
2016	113	46
2017*	195*	24*

*included in the database till June 12, 2017

Note that Table 1 considers the publications included in the Web of Science™ Core Collection up to June 12, 2017. Then, if we only take into account the completed years of 2013, 2014, 2015 and 2016, it is clear that the number of publications dealing with the topics under consideration is decreasing nearly at a steady rate (see Figure 2).

TS=stone AND TI=(polish* OR cutting OR grinding OR sawing OR manufacturing OR machining OR finishing OR characterization OR engineered stone OR dimension stone OR ornamental stone OR granite OR marble OR limestone) AND SU=(Engineering OR Materials Science) AND PY=2013

Search

Restrict results by languages and document types:

All languages	All document types
English	Article
Afrikaans	Abstract of Published Item
Arabic	Art Exhibit Review

Figure 1. Query in the computer screen when the WEB OF SCIENCE™ Advanced Search for PY=2013 was conducted.

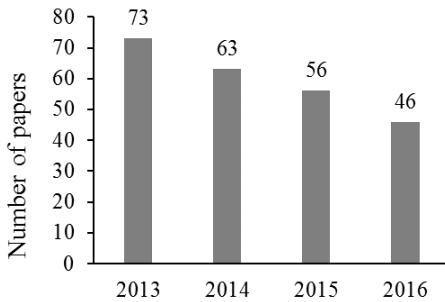


Figure 2. Results of final selection.

2.1 Articles in periodicals versus conference proceedings

For the period of almost four and a half years, from 2013 till June 12, 2017, there were a total of 262 publications included in Web of Science™ Core Collection (73+63+56+46+24=262) dealing with the topics under consideration. Those publications can be divided into two document types: – publications in periodicals (i.e. full articles or reviews published in periodicals); and – full articles published in proceedings of conferences or meetings.

As shown in Figure 3, the number of papers in periodicals (210) is significantly higher than the number of papers published in conference proceedings (52).

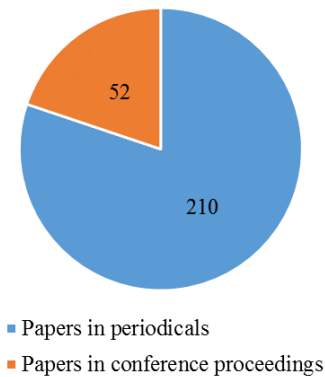


Figure 3. Articles in periodicals versus conference proceedings, for the period from 2013 till June 12, 2017.

2.2 Periodicals, conferences and countries involved

Table 2 shows the names of the key periodicals where the papers were published, considering a minimum record count or threshold of 3 papers for the period of time under consideration.

Table 2. List of key periodicals.

Periodical (Publisher)	no. of papers	% of 210
• Construction and Building Materials (Elsevier)	22	10.5%
• Engineering Geology (Elsevier)	13	6.2%
• Int. J. of Rock Mechanics and Mining Sciences (Pergamon-Elsevier)	12	5.7%
• Bulletin of Engineering Geology and the Environment (Springer)	10	4.8%
• Applied Physics A: Materials Science & Processing (Springer)	10	4.8%
• Journal of Cleaner Production (Elsevier)	7	3.3%
• Applied Surface Science (Elsevier)	7	3.3%
• Rock Mechanics and Rock Engineering (Springer)	6	2.9%
• Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology (Geological Soc. England)	5	2.4%
• Journal of Cultural Heritage (Elsevier)	5	2.4%
• Progress in Organic Coatings (Elsevier)	4	1.9%
• Wear (Elsevier)	3	1.4%
• Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part C J. of Mech. Engineering Science (Sage Publications)	3	1.4%
• Materials and Structures (Springer)	3	1.4%
• Int. J. of Advanced Manufacturing Technology (Springer)	3	1.4%
• Diamond and Related Materials (Elsevier)	3	1.4%
• Building and Environment (Pergamon-Elsevier)	3	1.4%

Table 3. List of key conferences.

Conference	Location & Date	Year published	No. of papers
• Global Stone Congress 2012	Alentejo, PORTUGAL Jul 16-20, 2012	2013	24
• 12th International IAEG Congress	Torino, ITALY Sep 15-19, 2014	2015	10
• 20th Brazilian Conference on Materials Science and Engineering (CBECIMAT)	Joinville, BRAZIL Nov 04-08, 2012	2014	6
• 57th Brazilian Ceramic Conference (CBC)	Natal, BRAZIL May 19-22, 2013	2014	3
• 24th International Mining Congress and Exhibition of Turkey (IMCET 2015)	Antalya, TURKEY Apr 14-17, 2015	2015	3
• ISRM European Symposium	Vigo, SPAIN May 26-29, 2014	2014	2
• 3rd International-Society-for-Rock-Mechanics (ISRM) SINOROCK Symposium	Tongji Univ, Shanghai PEOPLES R CHINA Jun 18-20, 2013	2013	2

Table 4. List of countries/territories.

Countries/Territories	Record Count	% of 262
Italy	42	16.0%
Turkey	40	15.3%
Spain	34	13.0%
Portugal	31	11.8%
Peoples R. China	21	8.0%
Brazil	20	7.6%
France	16	6.1%
Germany	13	5.0%
USA	11	4.2%
Iran	8	3.1%
India	8	3.1%
Belgium	6	2.3%
Greece	5	1.9%
Netherlands	4	1.5%
Hungary	4	1.5%
Finland	4	1.5%
England	4	1.5%
Australia	4	1.5%
Scotland	3	1.1%
Egypt	3	1.1%
Austria	3	1.1%
Switzerland	2	0.8%
Slovenia	2	0.8%
Serbia	2	0.8%
Russia	2	0.8%

The list of key conferences whose proceedings contain a minimum record count of 2 papers for the period of time under consideration, is presented in Table 3.

Taking into account the addresses of the authors, Table 4 shows the list of main countries involved in the 262 papers considered in the analysis.

2.3 Examples of topics under research

For each of the four completed years (2013, 2014, 2015 and 2016) we have selected two or three different topics which we consider particularly relevant. The criterion for relevance is certainly questionable, but beside impact our choices were also based on novelty and degree of interdisciplinary approach to the problem.

2.3.1 Highlights in 2013

Concerning the publications of year 2013, a highly cited paper is titled “TiO₂-SiO₂-PDMS nano-composite hydrophobic coating with self-cleaning properties for marble protection”, by Kapridaki & Maravelaki-Kalaitzaki (2013). Without modifying the color of the marble surface and the water

vapor permeability, this research work presents the design of a transparent-hydrophobic hybrid semi-crystalline SiO₂-TiO₂ coating and its application in the field of monument conservation. The SiO₂-TiO₂ coating is derived from a mixture of tetraethoxysilane (TEOS) and titanium-tetra-isopropoxide (TTIP) incorporating an organosilane, the hydroxyl-terminated polydimethylsiloxane (PDMS).

Also in the group of publications of 2013, there is a research authored by Fort et al (2013), in which several types of granite found in two architectural heritage monuments were assessed with two non-destructive, portable techniques: - Schmidt hammer rebound, and - ultrasound velocity measurements. For comparison, similar assessments were conducted on the rock from which the granite was originally quarried. The results obtained, which revealed the existence of a direct correlation, constitute a useful indication of decay, particularly if the approximate dates of construction are known. And conversely, if they are not, such stone assessments may provide a rough estimate of when the structure was built. Both of these convenient, portable and non-destructive techniques may be used as reliable indicators of the degree of stone decay.

Additionally, due to the fact that gloss value is one of the most essential physical features of natural stones that is used as a reference for cladding or flooring materials, it is also worthy to mention the work of Careddu & Marras (2013) on the effect of UV irradiation cycles on the surface brightness of polished natural stones.

2.3.2 Highlights in 2014

Diamond wire is widely used for stone cutting, and it is typically employed to extract a block in quarry and to square the block in a machining company. However, the diamond wire machines used to square stone blocks in stone processing companies present many technological limits, such as poor surface finishing, low efficiency (in comparison with diamond wire machines used in quarries), process dangerousness and high cost of the

cutting operation, due to the numerous breaking of the wire, that is expensive. In 2014, a paper by Turchetta et al (2014) presented an innovative prototype machine to cut by a diamond wire which overcomes the aforementioned technological limits. The developed machine has a bridge frame along which two pulleys move the diamond wire as regards the stone block according with the feed speed. The diamond wire moves on the two pulleys with a certain cutting speed. A tensile force is applied to the wire that twists it during the contact with the stone, instead of keeping it along a straight direction parallel to the foundation of the machine. According to the authors, the twisting of the diamond wire makes the use of the wire itself more productive and safer, since the wear of each single bead during cutting is more uniform. Moreover, the resulting specific pressure acts on each bead along the arc of contact with the cut block and increases along the cutting direction from the entrance to the exit of the contact with the stone. The increasing of the specific pressure causes a bending of the diamond wire during the contact with the stone. The developed prototype was provided with a sensory system to measure both the cutting power and the tensile force of the diamond wire during experimental tests. In this way it was possible to verify the functionality of the prototype plant and, in the same time, to evaluate the productivity of the implemented cutting process. Nowadays these type of studies are still progressing as it is demonstrated by more recent publication (Turchetta et al, 2017). In particular, the attention is focused on the analysis of cutting forces and on the optimization of diamond bead wear, that is influenced by pre-twisting and tensioning of the wire.

Prediction of the performance of chain saw machines was the scope a work by Tumac (2014). The measured Shore hardness values are correlated with the physical and mechanical properties of natural stone samples, cutting parameters (normal force, cutting force, and specific energy) obtained from linear cutting tests.

On a different topic, but also in 2014, a paper by Wang et al (2014) showed that

micro-texture and skid resistance changes of granite slabs are related to the applied polishing agent, initial roughness and mineralogical compositions of the slabs. The prepared slabs were polished under various polishing conditions. Changes of the micro-texture were studied on the basis of both texture level measured by spectral analysis and skid resistance measurements measured by the British pendulum tester.

2.3.3 Highlights in 2015

Freire-Lista et al (2015) studied freeze-thaw fracturing in granites. In this work, four types of granite widely exported and used in construction were subjected to 280 accelerated freeze-thaw test cycles, conducted as stipulated in European standard EN 12371 (2011) to ascertain their petrophysical response. The techniques used to characterize the granite before and after freeze-thaw-induced microcracking included vacuum water absorption, ultrasonic P-wave pulse velocity and ultrasonic S-wave pulse velocity, mercury intrusion porosimetry and polarized optical and fluorescence microscopy to quantify the type of microcracks developing (inter-, intra- or transcrystalline) and identify the associated mineral phases: quartz, feldspar and biotite. The linear crack density (number of cracks per millimeter) was calculated based on the microscopic data collected. Young's modulus was also determined before and after the freeze-thaw cycles. Ice crystallization mechanism was involved in microcracking. In all four granites, ultrasonic propagation velocities and strength parameters declined with the development of freeze-thaw-induced microcracking.

On the other hand, influence of mineralogy on granite decay induced by temperature increase was studied by Vazquez et al (2015). Eight granitic rocks were heated to less than 400 degrees C and their decay patterns were observed and quantified by means of scanning electron microscopy. Heating of polymineralic microstructures was also modeled by finite-element simulations using Object Oriented Finite Elements (OOF)

software. Quartz, feldspar and biotite contents were used as a variable in the model in order to elucidate the influence of mineralogy on the thermal-elastic response of granites. Thermal expansion coefficients of real granites fitted within the limits of the simulated ones.

2.3.4 Highlights in 2016

Studies on the influence of the freeze-thaw cycles on the physical and mechanical properties of granites continue to be pursued by several researchers, because it is important to preserve the stone from harmful environment conditions. As an example, we may refer a research conducted by Martins et al (2016) aimed at evaluating the performance of different types of granite, characteristic of the northeastern region of Portugal to the action of freeze-thaw cycles, for which this environmental action is relevant, given the wide temperature range and the possibility of occurrence of negative temperatures.

Concerning researches on stone cutting, we may mention an experimental study carried out by Sun et al (2016) to determine the influence of rock properties on segment wear during the cutting of granite using an innovative diamond frame saw prototype. The frame saw cuts only in a half-cycle within a reciprocating stroke. Ten different granite types were used in this study. The diamond segment topography at microscopic level was observed and a statistical analytical method were used to study the wear characteristics.

Presently, mono-wire block cutting machines that cut with a diamond wire are being used for squaring natural stone blocks and also for the slab-cutting process. Then, an interesting study carried out by Yilmazkaya & Ozelik (2016) aimed to investigate the cutting performance parameters of mono-wire cutting machines in terms of rock properties and operating parameters for marble processing. The effects of the wire rotational speed (peripheral speed) and wire descending speed (cutting speed), which are the operating parameters of a mono-wire cutting machine, on unit wear and unit energy, which are the

performance parameters in mono-wire cutting, were assessed.

3 RECENT RESEARCH ACTIVITIES AT THE UNIVERSITY OF LISBON

In the following sub-sections, two examples of research activities carried out recently at the University of Lisbon are presented and discussed.

3.1 Evaluation of long-term performance of stone-cutting tools

The long-term performance – up to 5 m² of area of cut – of diamond-impregnated segmented discs used for hard stone cutting was studied under real conditions. For comparison, the tools were “geometrically equal” tools (see Fig. 4) and the assessment of their cutting behavior was done using the same type of stone (Porriño granite).



Figure 4. Segmented discs that were tested.

The testing equipment (see Fig. 5) allows full control of the working parameters whilst all the necessary cutting outputs are monitored and stored using data acquisition software. At a data acquisition rate (or sampling rate) of 10 Hz, the following outputs were obtained during the tests: i) the resultant force (F_r) generated by the contact between the tool and the stone tile; ii) the electric energy consumed by the disc-rotating motor (for executing a certain area of cut); and also: iii) the vibrations at the rotor shaft caused by the disc when performing the cuts were

measured by an accelerometer. More details about the experiments are given in the work of Rosa et al (2015).



Figure 5. The testing equipment.

The performance of each disc was observed along the cutting operation involving a considerably high area of cut, e.g. 625 linear meters of cut using an average cutting depth of 8 mm (thus being equivalent to 5 m² of area of cut).

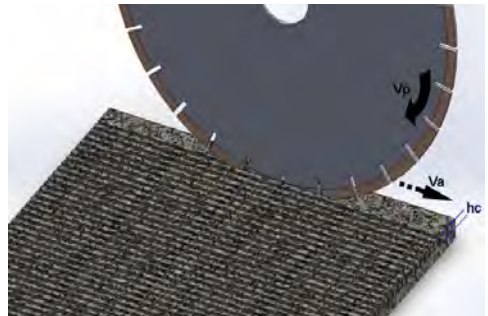


Figure 6. Schematic representation of the downcut operation, showing the slots produced in a granite tile.

Beside the force in the tool and the electric energy consumption, also the tool weight loss was monitored along the cutting operation. The tool weight loss was determined by careful and accurate weighting of the disc after completion of all slots and substitution of each granite tile (see Fig. 6). The tool wear

rate could then be calculated by dividing the tool weight loss (in grams) by the corresponding area of cut (in m^2).

Several types of plots were used to monitor the performance of the tool, e.g. graphs of resultant force (generated by the contact between the tool and the stone slab) versus area of cut; and graphs of tool wear (weight loss) versus area of cut.

When analyzing the evolution of resultant force and tool wear rate as a function of the area of cut (see example in Fig. 7), interesting alterations in cutting regimes were observed during the long-term tests. In fact, an increase in the resultant force is associated to a decrease in the wear rate of the tool, and vice versa.

The results of tool weight loss (in grams) versus accumulated area of cut for the segmented discs, clearly reveal the linear relationship between tool weight loss and area of cut (see Fig. 8).

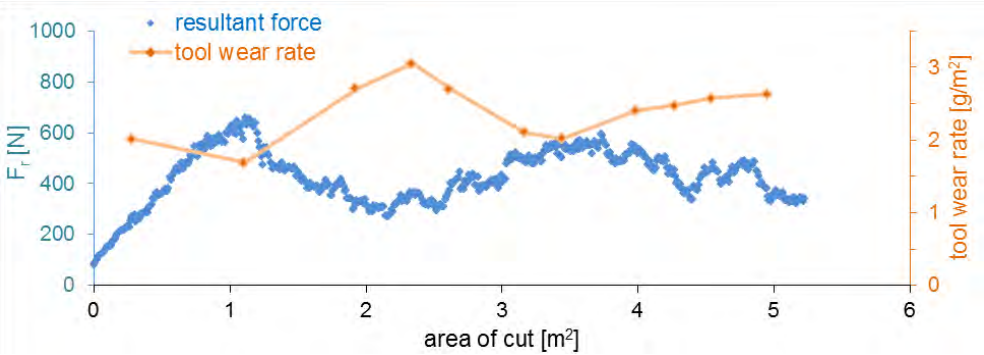


Figure 7. Evolution of resultant force (F_r in newton) and tool wear rate (in g/m^2) versus accumulated area of cut, obtained from cutting tests with one of the segmented discs. (Source: Rosa et al, 2015).

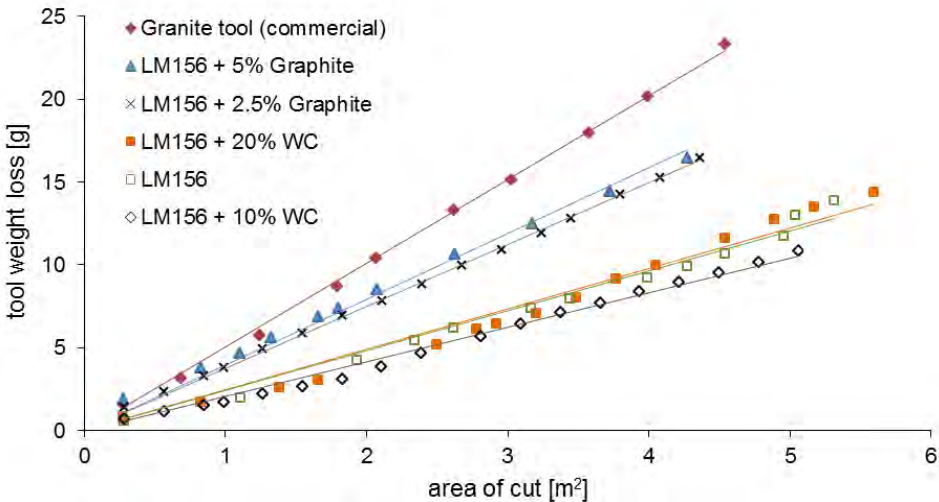


Figure 8. Plots of tool weight loss (in grams) versus accumulated area of cut, for the 6 segmented discs that were studied. (Source: Rosa et al, 2015).

This kind of studies are very important to compare the behavior of new matrices to be used in the diamond impregnated segments. In the case of Figure 8, five of the six discs are made with segments containing a powder mixture named LM156 (which consists of 50 wt.% of Co powder and 50 wt.% of 90Cu–10Sn bronze alloy powder). Further details about the composition of the segments are given in the work of Rosa et al (2012).

3.2 Development of a simulator software for polishing

Stone polishing is a process formed by several successive operations aiming to decrease the roughness of the surface and to increase its gloss intensity. In a polishing line (see example in Fig. 9), the abrasive elements installed at each polishing head, in contact with the stone slab, perform the polishing under well-established operating parameters (like, conveyor belt speed, cross-head or transverse velocity, head rotation speed, water flow, and pressure of polishing head). The abrasives have, progressively, a lower grit (between polishing heads), providing a gradual treatment through the belt.



Figure 9. Typical multiple head polishing machine used by the ornamental stone industry. (Source: Carosio & Paspaliaris, 2003).

Recent research regarding the influence of the water flow and the pressure in order to attain the best polishing conditions for limestones, also lead to the development and the experimental validation of a polishing

simulator (Barbosa et al, 2015). The research work was carried out using slabs of calcareous stone Moleanos, from Portugal, and the polishing sequence employed commercial Frankfurt-type abrasive tools applied for the last 3 stages of the process in order to attain maximum surface gloss. The study was conducted with a single-head laboratory-type polishing machine, where all test conditions are adequately monitored and controlled. The polishing head contains 6 Frankfurt abrasives of the same grit size (320#, 400# and 5Extra). The surface quality was assessed, after each polishing stage, by means of a glossmeter. In the end, it was possible to identify the optimum working parameters for each polishing stage. The results obtained also show that indeed a correlation exists between experimental values of gloss and the abrasion data given by the simulator software for polishing (named PAM).

PAM stands for “Polishing Analysis Modelling”, and it is a 2D geometric simulator aiming to reproduce the macroscopic action of a polishing tool, rotating and moving over a stone surface, both considered flat. PAM divides the stone and tool surfaces in tiny 2D cells, called “pixels”, and assumes that the accumulated contact between the pixels of both surfaces, called “abrasion”, can be used to determine the main aspects of a polishing process. As in many other modelling techniques, the processing time is divided in tiny time steps, small enough to properly simulate the fast changing pattern of the tool over the stone. Different polishing tools can be simulated simply defining the abrasion intensity for each tool pixel, from 0 (no contact) to any positive number. For example, a tool surface might be designed to have a given distribution of diamond and binder pixels. Tools with relatively simple geometric shapes can be created using PAM own functions. More complex tools can be designed using CAD or image software and then imported into PAM as images. Different simulation sections can be created, with different tools, different rotation and translation tool speeds, even different time steps.

PAM was presented for the first time at the 3rd International Conference on Stone and Concrete Machining (ICSCM 2015), held at the Ruhr-Universität Bochum, Germany, in November 2015. The PAM software provides a very simple (only 5 instructions!) but powerful language to define the path followed by the tool over the stone, including multilevel loops and arbitrary sequences of linear segments and circumference arcs, powered by a wide range of parameter options. This functionality allows users to study a virtually unlimited number of trajectories, certainly covering the small subset of interest for the industry. As an example, Figure 10 shows the polishing results produced by a simple circular disk, for two different tool trajectories.

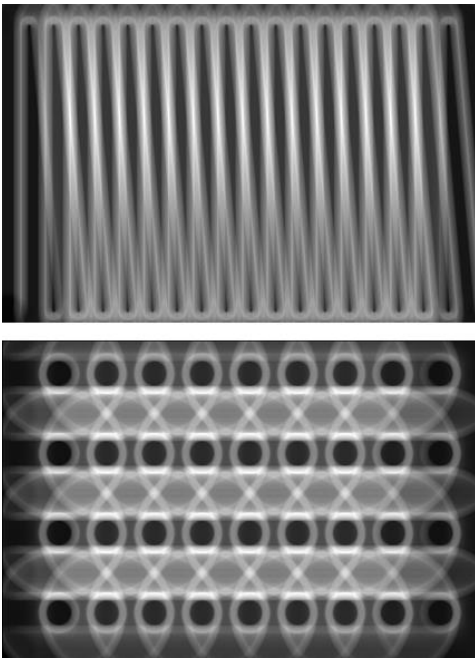


Figure 10. Simulated polishing by a simple circular disk, for two different tool trajectories. (Source: Barbosa et al, 2015).

The image at the top of Figure 10 is the result given by PAM for a mostly linear, up-and-down trajectory, circular on the borders. The image at the bottom of Figure 10 is the PAM result for a more complex, four-row trajectory, mostly formed by circular movements, simulating multi-level circular hand polishing.

4 FINAL REMARKS & CONCLUSIONS

Like in other fields of science, research works on stone processing techniques and methods (including topics like characterization, machining, surface finishing, and protection against degradation) should be published in reputed journals or conference proceedings that provide paper publication after peer-reviewing.

Considering the publications available at Web of Science™ Core Collection (a prestigious database) for the period from January 2013 till June 2017, we tried to summarize the main research trends and technical achievements during that period of time. It is worth noting that the number of publications dealing with the topics under consideration has been decreasing nearly at a steady rate since 2013. Therefore, in our opinion, academic and government research strategy decision makers should pay more attention to the stone processing industry. Projects commissioned and funded by external agencies (national and/or international) are considered as strategic for contributing towards a more and more environmental friendly stone sector.

Finally, two examples of research activities carried out recently at the University of Lisbon were presented.

The research work that addresses, in a very pragmatic way, the long-term behavior (i.e. the long-time sawing performance) of diamond segmented cutting discs, shows that the tool behavior can be analyzed under real working conditions by monitoring the performance of the disc along the cutting operation involving a considerably high area of cut.

In other topic, the main goal we want to achieve with PAM software is to create a modelling laboratory that help us to get a better understanding of the influence of the polishing process parameters, namely the polishing time and contact area between tool and polishing surface. The results of systematic comparison tests between experimental and simulation results, with Frankfurt-like tools and linear polishing machines, show that indeed a correlation exists between experimental values of gloss and the abrasion data given by the PAM simulator. Thus, the simulator may contribute to optimize the polishing trajectories automatically generated by algorithm-controlled machines (robot-based and CNC-based) in industrial contexts. Also, the shape and texture of new polishing tools, can be simulated first to eliminate bad designs, before real tool prototypes are made and experimental tests begin.

REFERENCES

- Barbosa, AR; Coelho, A; Fernandes, JC; Amaral, PM; Rosa, LG; Pereira, JC; 2015. A contribution for an optimization of the polishing quality of stone slabs: simulation and experimental study using a single-head polishing machine, *3rd International Conference on Stone and Concrete Machining (ICSCM 2015)*, at Congress Center of the Ruhr-Universität Bochum, Germany, ISBN 987-3-943063-20-2, pp.178-187.
- Careddu, N; Marras, G; 2013. The effects of solar UV radiation on the gloss values of polished stone surfaces, *Construction and Building Materials*, 49, pp.828-834.
- Carosio, S; Paspaliaris, I, (editors), 2003, *Machines and Tools for Stone Quarrying and Processing*, Volume 1 of OSNET Editions, Laboratory of Metallurgy, National Technical University of Athens, Greece.
- EN 12371, 2011. Natural Stone Test Methods - Determination of Frost Resistance.
- Fort, R; de Buergo, MA; Perez-Monserrat, EM; 2013. Non-destructive testing for the assessment of granite decay in heritage structures compared to quarry stone, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 61, pp.296-305.
- Freire-Lista, DM; Fort, R; Varas-Muriel, MJ; 2015. Freeze-thaw fracturing in building granites, *Cold Regions Science and Technology*, 113, pp. 40-51.
- Kapridaki, C; Maravelaki-Kalaitzaki, P; 2013. TiO₂-SiO₂-PDMS nano-composite hydrophobic coating with self-cleaning properties for marble protection, *Progress in Organic Coatings*, 76, pp.400-410.
- Martins, L; Vasconcelos, G; Lourenço, PB; Palha, C; 2016. Influence of the freeze-thaw cycles on the physical and mechanical properties of granites, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 28 (5), Article Number: 04015201.
- Rosa, LG; Coelho, A; Amaral, PM; Fernandes, JC; 2012. Test methodology to evaluate the wear performance of PM matrices used in diamond impregnated tools for cutting hard materials. In: Ramakrishnan P (editor), *Powder metallurgy for automotive and high performance materials in engineering industries*, New Age International (P) Ltd, ISBN 978-81-224-3031-8; 2012. pp.186-93.
- Rosa, LG; Fernandes, JC; Anjinho, CA; Coelho, A; Amaral, PM; 2015. Long-term performance of stone-cutting tools, *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, 49, pp.276-282.
- Sun, Q; Zhang, JS; Wang, Z; Zhang, H; Fang, JY; 2016. Segment wear characteristics of diamond frame saw when cutting different granite types, *Diamond and Related Materials*, 68, pp.143-151.
- Tumac, D, 2014. Predicting the performance of chain saw machines based on Shore scleroscope hardness, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 47, pp.703-715.
- Turchetta, S; Polini, W; Gelfusa, G; Venafro, E; 2014. A new sawing machine by diamond wire, *Int. J. of Advanced Manufacturing Technology*, 70, pp.73-78.
- Turchetta, S; Sorrentino, L; Bellini, C; 2017. A method to optimize the diamond wire cutting process, *Diamond and Related Materials*, 71, pp.90-97.
- Vazquez, P; Shushakova, V; Gomez-Heras, M; 2015. Influence of mineralogy on granite decay induced by temperature increase: Experimental observations and stress simulation, *Engineering Geology*, 189, pp.58-67.
- Wang, DW; Chen, XH; Oeser, M; Stanjek, H; Steinauer, B; 2014. Study of micro-texture and skid resistance change of granite slabs during the polishing with the Aachen Polishing Machine, *Wear*, 318, pp.1-11.
- Yilmazkaya, E; Ozcelik, Y; 2016. The effects of operational parameters on a mono-wire cutting system: efficiency in marble processing, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 49, pp.523-539

The Advantages of Epoxy Resin in Marble Surface Treatment

H.T. Özkahraman

Süleyman Demirel University, Department of Mining Engineering, Isparta, Retired Instructor

ABSTRACT A brief note on advantages of epoxy resins are given. Epoxy resins have performance advantages in five major areas. These are better adhesive properties, superior mechanical properties, improved resistance to fatigue and micro cracking, reduced degradation from water ingress, increased resistance to osmosis. In Turkey light beige marbles are expensive due to their elegant and beautiful white color. But they have disadvantage due to highly fractured and friable nature. So epoxy resin coating is necessary to improve structural integrity. Tests are carried out in the laboratory to determine the validity of resin coating at Soylu marble factory at Süleyman Demirel organized industrial site in Isparta in order to find how effective the epoxy treatment process. The tests were on measuring porosity and water absorption, measuring the temperature of the heated slabs and timing resin coating process duration. Measurement of strength of epoxy coated marble plates by flexural test. For this purpose a more practical test apparatus is designed. The results showed that micro cracking and fatigue are reduced, marble's durability and strength are improved by epoxy treatment.

1 INTRODUCTION

One liter of epoxy resin will cover 1 square meter of area at 1 mm of thickness. A safe rule of thumb is to allow around 1.2 kg of epoxy resin per square meter at coverage of 1mm depth. So, the cost of epoxy resin is relatively insignificant when considered against the cost of the whole marble tile. The long term gain of better durability can be tremendous due to the value of higher quality. There are five advantages of epoxy which contributes to this better value. These are; Better adhesive properties (the ability to bond to the marble surface, superior mechanical properties (particularly strength and stiffness), improved resistance to fatigue and micro cracking, reduced degradation from water ingress (diminution of properties due to water penetration), increased resistance to osmosis (surface degradation due to water permeability), (Andrea, 2009; ASTM C674, 2006; ASTM 2006).

1.1 Adhesive Properties

Epoxy resins have far better adhesive properties than polyester and vinyl ester resins, (Haşim, 2006). The superior adhesion

of epoxy is due to two main reasons. The first is at the molecular level, where the presence of polar hydroxyl and ether groups improves adhesion. The second is at the physical level - as epoxies cure with low shrinkage, the various surface contacts set up between the liquid resin and the reinforcement are not disturbed during cure. The result is a more homogenous bond between fibers and resin. High adhesion is especially important in resistance to micro-cracking.

1.2 Mechanical Properties

Epoxy resins have far better adhesive properties than polyester and vinyl ester resins, (Haşim, 2006). The superior adhesion of epoxy is due to two main reasons. The first is at the molecular level, where the presence of polar hydroxyl and ether groups improves adhesion. The second is at the physical level - as epoxies cure with low shrinkage, the various surface contacts set up between the liquid resin and the reinforcement are not disturbed during cure. The result is a more homogenous bond between fibers and resin. High adhesion is especially important in resistance to micro-cracking.

Fractures in natural rocks have an important effect on the strength and failure behavior of rock mass, (S.Q. Yang et al, 2008). Two important mechanical properties of any resin application are its tensile strength and stiffness. The Fig. 1 below shows results of tests carried out on commercially available polyester, vinyl ester and epoxy resin systems, either cured at room temperature or postcured at 175°F.

The advantages of epoxy resin versus polyester in marble treatment were increased strength, stiffness and durability, (Haşim, 2006). Fig.1 shows epoxy have generates more tensile strength at the end of 7 days at 68°F (20°C) and 5 hours at 176°F (80°C), (SP Headquarters, 2014). As a general rule epoxy resins are twice as expensive as vinyl ester resins and vinyl ester resins are twice as expensive as polyesters.

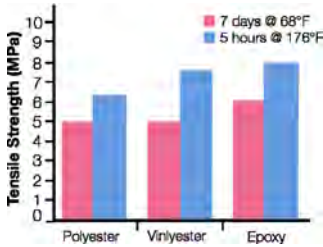


Figure 1. Epoxy have more tensile strength at the end of 7 days at 68F (20C) and 5 hours at 176F (80C).

After a cure period of seven days it can be seen that the tensile strength of the epoxy resin is 20 to 30% higher than those of polyester and vinyl ester. More importantly, after post cure the difference becomes ever greater. Fig 1 shows at high temperatures like 80°C more tensile strength is generated.

2 RESEARCH AND DEVELOPMENT AT SOYLU MARBLE COMPANY

Soylu marble company has founded the first marble treatment institute in Turkey to execute research and development on marble treatment. Marble institute has its own fully equipped laboratory within the main factory of Soyly marble factory in Isparta. In the

laboratory research on the following research areas is been carried out;

- Full technologic analysis of exported marbles of Turkey. Including the physico-mechanical properties.
- Epoxy treatment on marbles, and properties of epoxies,
- The effect of environmental conditions on epoxy process, like temperature and humidity. Full technologic analysis of exported marbles of Turkey. Including the physico-mechanical properties.

Soylu has its own marble quarry in Senirkent, where Machieto, Parletto and Latte are mined. The strips obtained from quarry stone block cutting machine are brought to the factory for processing, The test samples are tested in the fully equipped laboratory established at the plant.

Physico-mechanical properties, chemical analysis, petrographical and mineralogical analysis are carried out on marble samples exported. As a result of full technologic analysis its determined that how good our marbles are and the need for epoxy treatment on these good quality marbles. Findings were important to determine the choice of epoxy type and epoxy process quality. For instance light beige marbles have very low porosity values and strong texture which are very suitable for epoxy process. It is also determined that flexural strength is a important parameter., and a new test apparatus is designed to measure tensile strength which is very important in floor tiles which must pass standard value of 6 MPa. Fig. 2 shows test apparatus.



Figure 2. Test apparatus for flexural strength

2.1 Epoxy Treatment on Marbles, and Properties of Epoxies

Furthermore new treatment application methods and resin type are tested in the processing of marbles. This research enable Soylu to find out the most suitable type of epoxy and the treatment process suitable for each marble type. In the marble treatment centre continuing research is being carried out at present The research must determine the best epoxy type. There are different epoxy manufacturers like QMC from Spain, Tenax and Dr. Resin from Italy. Comparison of curing time for epoxies manufactured by QMC and DDCCHEM companies is given below:

2.1.1 Curing time for epoxy manufactured by QMC company

Curing time for epoxy manufactured by QMC company is given in Table 1. The curing period was 23 minutes. Curing time against temperature is given in Fig. 3.

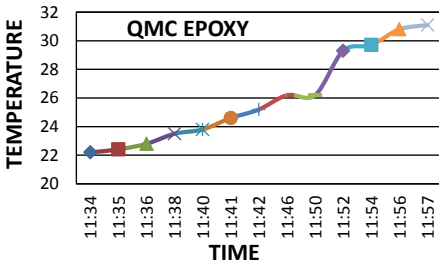


Figure 3. Curing time for QMC epoxy

Table 1. Curing time for epoxy manufactured by QMC company

Time	Time in sec. After starting	Temperature Degrees
11:34	0 minutes	22,2
11:35	1	22,4
11:36	2	22,8
11:38	4	23,5
11:40	6	23,8
11:41	7	24,6
11:42	8	25,2
11:46	12	26,2
11:50	16	26,2
11:52	18	29,3
11:54	20	29,7
11:56	22	30,8
11:57	23	31,1

2.1.2 Curing time for epoxy manufactured by DDCCHEM company

Curing time for epoxy manufactured by DDCCHEM company is given in Table 2. The curing period was 20 minutes. Curing time against temperature is given in Fig. 4.

Table 2. Curing time for epoxy manufactured by DDCCHEM company

Time	Time in sec. After starting	Temperature Degrees
09:30	0 minutes	32,0
09:32	2	34,5
09:34	4	36,7
09:35	5	37,6
09:37	7	40,6
09:39	9	43,1
09:41	11	46,8
09:42	12	48,6
09:43	13	50,6
09:44	14	54,6
09:45	15	58,6
09:46	16	62,5
09:47	17	69,1
09:48	18	77,7
09:49	19	100
09:50	20	120

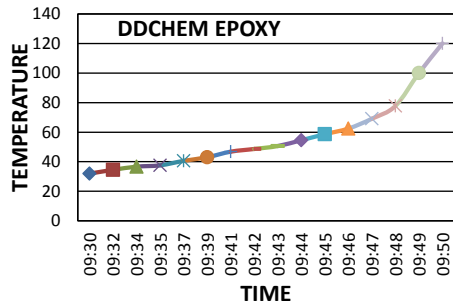


Figure 4. Curing time for Ddchem epoxy

2.2 The Effect of Environmental Conditions on Epoxy Process, Like Temperature and Humidity.

Its determined that one of the first requirements of resin process is the marble strips should be dry and clean for the better adherence and bondage between rock and the resin. The strips should be cleaned and dried before entering the resin treatment system. Also temperature is an important parameter together with time duration of the curing

process. The heating should be efficient and produce the ideal temperature during the curing process.

The main goal is to develop solutions which can dry materials at optimal temperatures in a uniform, homogenous and efficient way, allowing for the evaporation of humidity from the slabs and cracks-holes as quickly as possible also the system must give the ideal and optimal temperature to get the best result during the chemical reaction of resin (epoxy) to provide the best treatment result. The method should provide uniform temperatures. High temperatures should be avoided (the ideal temperature should be found). Also heating system should minimize energy loss.

After the curing time the slabs should have developed enough strength to pass standard value of 6 MPa (61 kgf/cm²) for flexural strength.

For flexural strength test a new testing apparatus is modified from a hydraulic press with a new design and made available at the marble treatment center as shown in Fig.1. This apparatus is modified to measure flexural strength of marbles. The apparatus can measure flexural strength as high as 370 kgf/cm².

One of the recent findings was to increase the temperature of the ovens up to 80°C gave better result due to the condition of strips which were wet and cold in winter.

Soylu has one of the longest treatment lines and 6 ovens on it which enables to try different application styles. Long treatment line also ensures more efficient quality control of the process. Epoxy treatment line at Soylu marble plant is shown at Fig.5.



Figure 5. Epoxy treatment line at Soylu marble plant

3 MACCHIATO MARBLE STRENGTHENING BY EPOXY

Tests are carried out in the laboratory to determine the validity of resin coating at Soylu marble factory at Süleyman Demirel organized industrial site in Isparta in order to find how effective the epoxy treatment process. These tests were uniaxial and flexural strength, abrasive resistance and water absorption at atmospheric pressure. Table 3 shows the comparison between epoxy treated and untreated marble tiles. The results show that;

- Uniaxial strength and flexural strength of Macchiato marble is increased by 25 and 35 % accordingly by the application of epoxy.
- Abrasive resistance of Macchiato marble is decreased by 260% (2.6 times) showing that the macchiato marble is became more durable.
- Water absorption of Macchiato marble is reduced by 3.9 approximately 4 times. The macchiato life is increased due to no water penetration.

Table 3. Strengthening Macchiato marble by epoxy.

	Without Epoxy	With Epoxy
Uniaxial Strength	118 MPa	147 MPa
Flexural Strength	8.9 MPa	12 MPa
Abrasive Resistance	7.8 cm ³ /50cm ²	3 cm ³ /50cm ²
Water Absorption at atmospheric pressure:		
A. By Weight	0.078 %	0.02 %
B. By Volume	0.21 %	0.054 %

4 CONCLUSION

One liter of epoxy resin will cover 1 square meter of area at 1mm of thickness. A safe rule of thumb is to allow around 1.2 kg of epoxy resin per square meter at coverage of 1mm depth. Its cost is approximately 6-8 TL. So, the cost of epoxy resin is relatively insignificant when considered against the cost of the whole marble tile. Its emphasized that the epoxy process is beneficial for the expensive but friable light beige Turkish marbles.

The results show that treated tiles with epoxy are more strong and durable. Also

epoxy resin applied tiles have superior mechanical properties being more strong and durable. And Treated tiles exhibit improved resistance to fatigue and micro cracking, reduced degradation from water ingress.

Its determined that one of the first requirements of resin process is the marble strips should be dry and clean for the better adherence and bondage between rock and the resin. The strips should be cleaned and dried before entering the resin treatment system. Also temperature is an important parameter together with time duration of the curing process. The heating should be efficient and produce the ideal temperature during the curing process especially in winter. One of the findings was to increase the temperature of the ovens up to 80°C gave better result due to the condition of strips which were wet and cold in winter.

KAYNAKLAR

- Andrea, B., 2009. Adhesives for Marble and Their Creep Behavior, MS thesis, Columbia University, New York.
- ASTM, 2006. *Standard Test Methods for Flexural Properties of Ceramic Whiteware Materials*, ASTM C674-88, West Conshohocken, Pa.: ASTM International. ASTM C674-88.
- ASTM 2009. *An Evaluation of Potential Adhesives for Marble Repair*, Archetype in association with the British Museum, pp. 143 – 49. London.
- Haşim, A., 2006. *Doğal Taş Güçlendirme, İyileştirme ve Koruma Yöntemleri*, Inka Trade Co. , İstanbul 143p.
- SP (Headquarters), 2014. The Advantages of Epoxy Resin versus Polyester in Marine Composite Structures, *SP (Headquarters)*, St Cross Business Park Newport, Isle of Wight United Kingdom, www.spsystems.com
- SQ Yang, Y.Z. Jiang, WY Xu, X.D,Chen, 2008. Experimental investigation on strength and failure behavior of pre-cracked marble under conventional triaxial compression, *International Journal of Structures* , Elsevier, Volume 45, Issue 17, P.4796-4819.

Doğal Taş Sektöründe Kullanılan Uluslararası Ambalajlama ve Nakliye Kuralları/Standartlarının İncelenmesi

Investigation of International Packing and Transportation Used Rules/Standards in Natural Stone Industry

İ.S. Büyüksağış, M. Uz, M. Gürsoy

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar

ÖZET Bu çalışmada, doğal taş sektöründe kullanılan nihai ürünlerin popüler ölçü ve ambalaj standartları ile bunların müşteriye teslimi için nakliyesinde kullanılan taşımacılık standartları incelenmiştir. Yapılan incelemelerde sektörde ürün ölçü tolerans ve ambalajlama standartları bulunmasına rağmen, nihai ürünlerin resmi yazılı ölçü standartları bulunmamaktadır. Bu çalışmada blok, levha, plaka, fayans ve değişik ölçülerdeki ürünlerin ambalaj ve kasalarının hangi standartlar içinde yapıldığı araştırılmış ve bunların uygulamaları detaylı şekilde verilmiştir. Diğer taraftan ambalajlanmış ürünlerin karayolu, demiryolu ve denizyolu ile taşımacılığında uluslararası bazı standartlar mevcut olup bunlar da detaylıca verilmiştir.

ABSTRACT In this study, the size and packaging standards of final products used in the natural stone sector and the transportation standards used for transportation for customer delivery have been examined. Despite the fact that there are popular product sizes and packaging standards in the sector, there are no official size standards for stones. In this scope of work; blocks, plates, slabs, tiles and products of different sizes have been researched in which standard sizes of packages and casings are made, and their applications are given in detail. On the other hand, international standards exist for the transportation of packaged goods by road, rail and sea, and these are detailed in this study.

1 GİRİŞ

Doğal taş sektöründe, ithalat ve ihracat aşamasında ürünlerin zarar görmeden tüketiciye ulaşması/teslimi için bir takım ambalajlama sürecinden geçmesi gerekmektedir. Ambalaj malzemelerinin imalatı ve ambalajlama işlemleri de belli bir standartlara göre yapılmaktadır.

Aynı şekilde doğal taşların nakliyesi sırasında zarar görmemesi için ve en verimli taşıma kapasitesinin belirlenmesi açısından doğaltaşlar belirli nakliye kuralları kapsamında taşınmaktadır.

Çamlı (2013) doğaltaşlar için ahşap kasa malzemelerinin ISPM 15 uygulamasından

sonra fiziksel testlerini yaparak, malzemede oluşan değişikliklerini gözlemlemiştir.

Bu çalışmada, doğaltaş malzemeler için ambalajlama malzemeleri - çeşitleri, ambalajlama standartları ve uluslararası nakliyelerde kullanılan konteyner, treyler ve vagonların standartları incelenmiştir. Bu çalışmanın amacı, sektörde çalışacak kişilerin ambalajlama ve nakliye standartlarını tanıması uygulamasını kolaylaştırmada katkıda bulunmaktır.

2 AMBALAJLAMA VE PAKETLEME SİSTEMLERİ

Günümüzde sanayi ürünlerinin pazarlanması sırasında, problem olarak ortaya çıkan

konulardan biri ambalajlamanın yetersizliğidir. Genellikle ambalaj ve paketlemeye önemsiz bir ayrıntı gibi bakılmaktadır.

Alıcı ülkenin uzaklığı, nakliye şekli ve gideceği yerdeki yükleme-boşaltma koşulları da göz önüne alınarak, ambalaj modeli ve ambalajda kullanılacak malzeme iyi seçilmelidir. En önemli husus sadece malın fabrikadan sağlam olarak çıkması değil, varış yerine sağlam olarak ulaşmasıdır. İşlenmiş mermerlerin basit hatalar ve dikkatsizlikler sonucu geri dönmeleri ya da zaman zaman cezai uygulamalara maruz kalmaları ihracatta karşılaşılan en önemli sorunlardandır. Bazen daha nakliye sırasında bu ürünler tamamen ya da kısmen kullanılamaz duruma gelebilmektedir.

Ambalajlama mermer fabrikalarında genellikle iki türlü yapılmaktadır. Bunlar paketleme ve sandıklamadır (Uz, 2012).

2.1 Paketleme

Daha çok mermer karo ve fayansların ambalajlamasında kullanılır, strafor veya oluklu mukavva karton malzemeden yapılır. Mermer karo fayansların paketlenmesi için mermer fabrikalarının bu iş için hazırlanmış, tozdan arındırılmış bir kalite kontrol ve paketleme biriminin olması gereklidir.

İşletmelerde seleksiyon hattı adı verilen bu birimde imalatı bitmiş mermer fayanslar renk, desen, çatlaklık ve parlaklık kalite kontrolünden geçirildikten sonra önceden hazırlanmış paketlere aralarına naylon film tabakası konularak yerleştirilir. Şekil 1'de bu işlem için kullanılan strafor ve kartondan bazı paketleme malzemeleri görülmektedir.



Şekil 1. Paketleme malzemeleri.

2.2 Sandıklama

2-3 cm kalınlığındaki levha-plakaların ve karo fayansların ambalajlamasında ahşap sandıklar kullanılır. Levha ve plaka sandıkları gevrek olmayan sağlam yapılı ağaçlardan standart ölçülerde çakılarak elde edilir (Şekil 2).



Şekil 2. Levha ve plaka kasaları

3 AMBALAJLAMA STANDARTLARI

3.1 Fayanslarda Kasa Ambalajlama

Kalınlık ölçülerine göre uygun strafor/karton kutuları konulur. Bu strafor/karton kutular dolduktan sonra kasalara yerleştirilir, çünkü cilalı yüzeylerin çizilmemesi istenir. İç piyasada kullanılacak fayanslar ise karton kutulara yerleştirilir (Şekil 3).



Şekil 3. Fayans sandıkları.

Strafor/karton kutular kasaya konulmadan önce kasanın alt kısmından 1 cm yanlardan 0,5 cm pay kalmalıdır. Tam ortasından ise 3 cm destek payı ayrılmalıdır. Buralarda kullanılan malzemeler ise plastik, ahşap çita veya strafor köpükler olabilir. Daha sonra strafor kutular kasaya yerleştirilerek üst ahşap parçaları çakılır.

Köşeler ve belli başlı yerler metal bağ ile çakılır. Çakıldıktan sonra ise şerit bantlar ile çelik tokalar kullanılarak şerit bant makinesi ile bağlar takılır (Şekil 4). Genelde ihraç olacak kasalarda 3 adet şerit bant kullanılır. İç piyasada ise tek şerit bağ kullanılır. Bu şerit bağlar geçirilmeden önce ise kasanın üzerinden naylon geçirilir.



Şekil 4. Kasalama yardımcı malzemeleri.

3.2 Levhaların Ambalajlanması

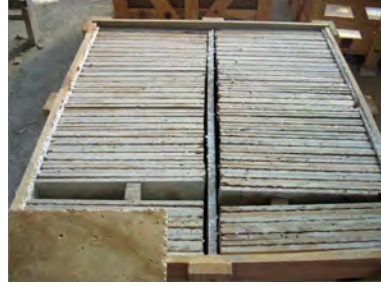
Büyük boyutlu mermer levhalar 2'lik veya 3'lük olarak gelen siparişlere ve seleksiyona göre vinçler yardımıyla levha kasalarına (bundle) yerleştirilir. İki cm'lik ise 12 ila 14 adet üçlük ise 7 ila 9 adet konulabilir. Bu malzemelerin cilalı yüzeyleri aynı yöne gelecek şekilde aralarına polyepilen naylon konularak yüzeyleri birbirlerine yaslanırlar. Levhalar yerleştirilirken alt kenarlarının zarar görmesini engellemek için alt kısmına 1 cm'lik ahşap lata konulur. Bu malzemeler yerleştirildikten sonra levha kasalarının üstteki yatay kalasları çakılarak sağlamlaştırılır. Sağlamaştırma işlemi çivi ve metal vidalarla sağlanır. Daha sonra stok sahalarına alınır (Şekil 5).



Şekil 5. Levha kasalama.

3.3 Plakaların Ambalajlanması

Bu ürünler genelde iç piyasaya gider. İhracata gidenlerde ise fayans ambalajlarına benzer yöntem uygulanır ancak strafor kutulara konulmaz, doğrudan kasalanır ya da karton kutulara yerleştirilirler. Bundan sonraki işlem ise fayans ambalajlamasındaki işlemle aynıdır (Şekil 6).



Şekil 6. Plaka kasalama.

3.4 Palet Üzeri Malzeme Ambalajlama

Genelde yurtiçi piyasada taşıma için paletler kullanılır (Şekil 7). Palet üzerinde gidecek olan plakalar, döşemeler vb. ürünler genelde iki sıra, üst üste forkliftlerin maksimum kapasitesine göre ayarlanır.



Şekil 7. Palet üzerine ambalajlama.

Ürünler yerleştirilirken cilalı yüzeyler aynı yöne gelecek şekilde aralarına polyepilen naylon kullanılarak dizilirler. Bu işlem bittikten sonra paletin üzerine 2 adet şerit plastik bağ kullanılarak çelik tokalarla çelik sıkma pensesi ile bağlanır. Dizilen malzemeler paletlerin kenarlarında 25-30 cm dışa çıkabilir. Tüm bu işlemler yapıldıktan sonra stok sahalarına alınır.

3.5 Poşetleme (Shrink)

Ambalajlanmış olan kasaların en son işlem olarak üstünden naylon geçirilerek pürmüz ile ısı işlem uygulanarak naylonun eriyerek kasaya yapışması / büzülmesi (shrink) sağlanır. Bu şekilde dış etkilere maruz kalsa dahi içindeki mamuller zarar görmez (Şekil 8).



Şekil 8. Poşetli ambalajlama.

3.6 Etiketleme/Barkodlama

İhracatı yapılacak olan mermerlerin ambalajlandıktan sonra görülecek herhangi bir yüzeyine firmanın veya ihracatı olacak firmanın kendisine ait etiket/barkod bulunması gerekmektedir (Şekil 9). Bu etikette;

Taşın cinsi ; Ölçüleri ; Adeti ; Miktarı (m^3, m^2, m^{toll}) ; Bütüt ağırlığı ; Net ağırlığı ; Kontrol eden kişinin adı soyadı ; Tarihi v.b bilgiler Türkçe/İngilizce yer almalıdır.

Bunların asıl amacı; stoklanmış malzemelerin stok sahasında daha çabuk bulunması, hangi cins taşın veya hangi siparişin nerede olduğunun kolaylıkla bulunmasına yardımcı olmaktadır.



Şekil 9. Etiketleme/barkodlama örnekleri.

4 AHŞAP KORUMA STANDARTLARI

Kullanılan ambalaj malzemeleri, ISPM 15 (ahşap ve bitki koruma) standartlarına uygun olmalıdır. Amaç ahşap malzemeler içinde zararlı haşere türü canlıların olmasını önlemektir. Bunun için yapılan işlemler aşağıda açıklanmıştır (ISPM 15, 2009).

4.1 Isıl İşlem

Ahşap ambalaj malzemesinin ısıl işleminden geçirilmiş sayılması için, ahşabın iç (öz) ısısının min. $56^{\circ}C$ de en az 30 dakika boyunca bekletilmesi gerekmektedir (Şekil 10). Yukarıda belirtilen ısı değeri ahşap malzemelerde görülen ve larvası ısıya karşı en dayanıklı böcek olan Sirex böceği larvasının öldürülebildiği değerdir. Ahşabın bu koşullarda bekletilmesi, zararlı mantar ve böceklerden temizlendiğini göstermektedir. ISPM 15 standartlarında da ulaşılabilecek gereken sonuç budur. Böylece zararlı böcek ve mantarlar ahşap ambalaj maddeleri ile bir ülkeden diğer ülkelere yayılmayacak ve böyle ormanlarda meydana gelebilecek zararlı böcek ve mantarların meydana getirebileceği zararlar azaltılmış olacaktır.



Şekil 10. Fırınlama işlemi.

4.2 Fumigasyon

Kimyasal olarak “metil bromür” kullanılarak 16 saat süreyle malzemelerin özel odalarda fumige edilmesidir (Şekil 11).



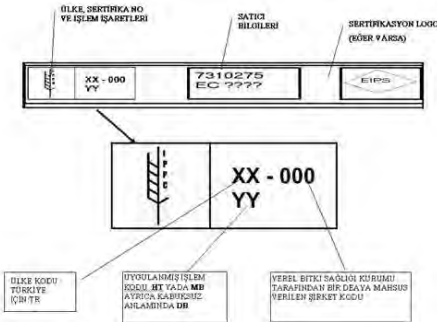
Şekil 11. Fumigasyon işlemi.

Her iki metot da ayrı ayrı ya da birlikte kullanılabilir. Hangisinin uygulanacağı seçiminde asıl kriter maliyettir. Her ahşap ambalaj tedarikçisi ve bunu kullananlar ahşabın tamamen garantili ve ISPM 15 e uygun olduğunu kanıtlamak zorundadır. Uygun olmayan ahşap ambalaj kullanılmış ürünler gönderilen üye ülkeler tarafından geri çevrilecektir.

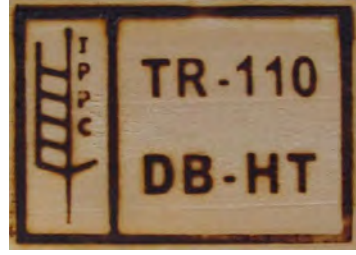
4.3 Ahşaplar Üzerinde Bulundurulması Gereken Logo ve İşaretler

İhracatı yapılacak olan fayans, plaka, levha vb. ürünlerin ambalajlanmadan önce bu ahşapların üzerinde;

- Ülke, sertifika no ve işlem işaretleri
- Satıcı bilgileri -Sertifika logosu
- Ülke kodu -Uygulanmış işlem kodu
- Yerel bitki sağlığı kurumunun vermiş olduğu şirket kodu bulunmalıdır (Şekil 12 ve13).



Şekil 12. ISPM 15'e göre işaretleme.



Şekil 13. ISPM 15 işaretleme örneği.

5. DOĞALTAŞ ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN STANDART KASA ÖLÇÜLERİ

Doğal taş sektöründe kullanılan kasa çeşitleri herhangi bir resmi standarda bağlı değildir. Bloklar kasalamadan da ihraç edilebilirler. Ölçü standartlarının resmi olarak yer aldığı bir standart bulunmamakla birlikte ambalajlamanın hangi hassasiyete göre yapılacağı TSE-EN 1468:2011 de verilmektedir. Bu standarda göre; levhalar ambalajlanmadan önce temiz olmak zorundadır. Buna göre tedarikçi ıslak ve kuru koşullarda ambalaj malzemelerinin kirlenmesine karşı güvenlik tedbiri almak zorundadır. Lekeli ambalaj ve bantlar kullanılmayacaktır. Hassas cilalı yüzeyler uygun yöntemlerle (plastik folyo vb) korunacaktır. Aşındırıcı özellikteki ambalajlar kullanılmazlar.

Standart konteyner iç ölçüleri üzerinden kasaların dıştan dışa, dış ölçüleri belirlenir. Çizelge 1'deki fayans ve plaka kasa ölçülerinde görüldüğü gibi, dış ölçülere göre kasanın hacmi ve kapasitesi hesaplanır. Bu kasalar üretilen ürünlerin ölçülerine, ihracatı yapılan firmanın isteğine veya üretici isteğine göre de bazı değişiklikler gösterebilmektedir.

Çizelge 1. Çeşitli kasaların ölçü tablosu

Kasa Tipi	Kasa ölçüleri				Kasa içeriği		
	En (cm)	Boy (cm)	Yükseklik (cm)	Adet (Tane)	Net Ağırlık (kg)	Brüt Ağırlık (kg)	Miktar (m ³)
1	65	102	35	85	531,21	569,16	15,81
2	85	102	43	166	916,94	982,44	27,29
3	95	102	50	166	1164,9	1248,12	34,67
4	65	102	65	400	1041,8	1116,3	37,21
5	95	102	50	200	1403,2	1503,36	41,76
6	65	102	65	270	1250,3	1340	37,21
7	85	102	43	170	913,92	979,2	27,2
8	64	126	66	55	1108,8	1188	19,8
9	65	102	65	100	1008	1080	18
10	95	102	50	190	1333,2	1428,5	39,68
11	85	102	63	Muhtelif	Muhtelif	Muhtelif	Muhtelif
12	85	102	43	Muhtelif	Muhtelif	Muhtelif	Muhtelif

Burada;

- 30,5x61x1,2 cm'lik fayans kasaları
- 40,6x40,6x1,2 cm'lik fayans kasaları
- 45,7x45,7x1,2 cm'lik dökme fayans kasaları
- 30,5x30,5x1 cm'lik fayans kasaları
- 45,7x45,7x1,2 cm'lik fayans kasaları
- 30,5x61x1,2 cm'lik fayans kasaları
- 40x40x1,2 cm'lik fayans kasaları
- 60x60x2 cm'lik plaka kasaları
- 30x60x2 cm'lik plaka kasaları
- 45,7x45,7x1,2 cm'lik karton kasası kasa ölçüleri ve kapasite verileri
- Set Kasası kasa ölçüleri ve kapasite verileri
- BS Kasası kasa ölçüleri ve kapasite verileri

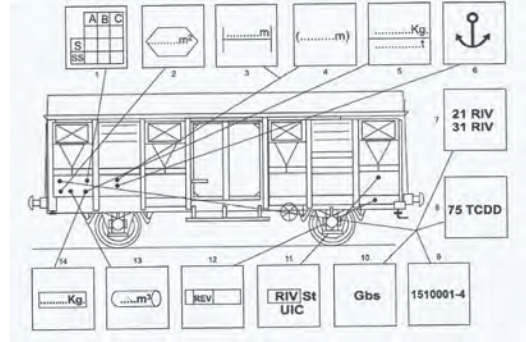
6. İHRACATTA KULLANILAN VAGON ÇEŞİTLERİ

Demiryolu ile yapılacak taşımalarda, eşyanın yükleme yerine getirilmesi ve vagona yüklenmesi mal sahibine (göndericiye) aittir. Varış yerinde yükün boşaltılması alıcı tarafından yapılır.

Ülkemizden Avrupa ülkelerine ve bu ülkelerden Türkiye'ye, ayrıca Suriye, Irak, İran, Türk Cumhuriyetleri ve Bağımsız Devletler Topluluğu ile bu ülkeleri transit

geçerek, diğer üçüncü ülkelere karşılıklı yük taşımaları TCDD ile yapılabilmektedir.

İhracatta kullanılan vagonlara ait bazı detay bilgiler aşağıda verilmiştir (Şekil 14).



Şekil 14. Vagon üzerindeki yazı ve işaretler.

- Bu tabloda belirtilen yükleme limitleri hat sınıflarına (dingil basıncı) göre vagona yapılabilecek yükleme miktarlarını gösterir, TCDD Hatları Genel sınıfı C2 yani 20 ton olup, bazı kesimlerimiz D2 yani 22,5 tondur. Vagonlar taşımanın yapılacağı güzergah üzerindeki en düşük dingil basıncı dikkate alınarak yüklenirler. Vagonlara 22,5 ton yükleme yapılabilmesi için (vagon 22,5 ton dingil basıncına uygun imal edildiğini gösteren) yükleme tablosunda D sınıfı hatlar için yükleme limitinin yazılmış olması gereklidir. Eğer vagon üzerinde D sınıfı hatlar için yükleme limiti yazılmamış ise o vagona 22,5 ton dingil basıncına göre yükleme yapılamaz.
- Bu altıgen biçimli işaretin içerisindeki rakam, vagonun taban alan ölçüsünü verir.
- Vagonun yükleme uzunluğunu gösterir.
- Vagonun tamponlar arası uzunluğunu gösterir.
- Bu dikdörtgen şeklindeki işaretin üst tarafında belirtilen ağırlık (kg) cinsinden vagonun darasını, alt taraftaki rakam (t) ton cinsinden el fren kuvvetini gösterir.
- Vagonun feribotla taşınabileceğini gösterir.

7. Vagonun, demiryolu veya şahıs vagonu olup olmadığını, uluslararası standartlara uygunluğunu ve dingil sayısını gösterir.

8. Vagonun sahip idaresini ya da üçüncü şahıs vagonu ise o vagonu tescil eden UIC(Uluslararası Demiryolları Birliği) üyesi demiryolu idaresini gösterir.

9. Vagonun inşa tarzı dikkate alınarak tipine uygun Uluslararası standartlara göre verilen numarasını, o vagonun imalat sıra numarasını gösterir.

10. Vagonun inşa tarzı dikkate alınarak tipine uygun uluslararası standartlara göre tipini gösteren işaretlerdir.

6.2 Yük Vagonlarının Tipleri ve Kullanım Sahaları

Yük vagonlarının tipleri ve kullanım sahalarını gösteren Çizelge 2'de belirtilmiştir.

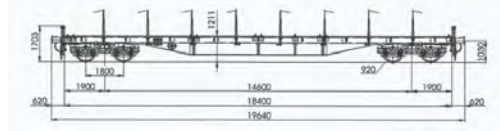
Çizelge 2. Yük vagonlarının tipleri ve kullanım sahaları.

Tipi	Vagon İnşa tarzı	Kullanım Özellikleri
G	Kapalı	Her türlü ev eşyası, gıda maddesi, torbalı çimento, gübre, canlı hayvan vb. taşımalar yapılır.
H	Kayar yan duvarlı kapalı	Paletli eşya vb. taşımalar yapılır.
E	Yüksek Kenarlı	Konteyner, kömür, her türlü maden cevheri, tuğla, kiremit, demir, boru, kum vb. taşımalar yapılır.
K,R	Platform	Taşıt, iş ve tarım makineleri, beton, demir, ağaç, direk vb. taşımalar yapılır.
Rilns	Çok amaçlı	Üzeri köruküklü tente ile kapatılan, platform tipi vagon ile paletli taşımalar yapılır.
S	Platform	Konteyner, tank, ağır iş makineleri, tır vb. taşımalar yapılır.
F	Yüksek kenarlı	Kömür, her türlü maden cevheri taşımaları yapılır. Vagon üstten doldurulur ve yandan otomatik boşaltma sistemiyle boşaltılır.
Ug	Özel tip	Dökme hububat taşınması yapılır. Vagon üstten doldurulup alttan boşaltılır.
Z	Samiçli	Akaryakıt taşımaları yapılır.
Uaa	Ağır yük	Trafo, jeneratör reaktör gibi ağır ve havaleli yükler taşınır. 120, 180 ve 250 ton.

Doğal taşların konteynerlerle ihracatında kullanılan vagon çeşitlerinde aranan standart TS-EN-12663-2:2010'dir. Bu standarda göre doğaltaşların nakliyesinde kullanılan S tipi vagonların özellikleri aşağıda verilmiştir.

6.3 S Tipi Platform Vagon

Konteyner nakliyesinde genelde S tipi platform vagonlar kullanılır ve bunların özellikleri şunlardır (Şekil 15 - Çizelge 3).



Şekil 15. S tipi Vagon detayları.

Çizelge 3. S tipi platform vagonunun kapasite verileri.

Tip	Sgs	Sgss	Ss	Saps
Yükleme Kapasitesi (t)	55	67	58	80
Darısı (t)	25	23	22	27
Yükleme Hacmi (m³)	-	-	-	-
Yükleme Alanı (m²)	48,64	52,4	35,6	39,38
Yükleme Boyu (m)	18,5	18,4	11,3	12,5
Yükleme Eni (m)	2,64	2,85	2,70	3,15
Yan Duvar Yüksekliği (m)	-	-	-	-
Kapı Ölçüleri (mm)	-	-	-	-
Taban Malzemesi	Tahta+Sac	Tahta+Sac	Tahta+Sac	Tahta+Sac

7. İHRACATTA KULLANILAN KONTEYNER ÇEŞİTLERİ

Aslında birçok standart konteyner çeşidi olmasına rağmen, bu bölümde sadece

doğaltaş ihracatında sıklıkla kullanılan konteynerlerden bahsedilecektir.

7.1 Standart Konteynerler

İhracatta kullanılan konteynerler TS-ISO 668 standardına uygun olmak zorundadır. Bu standartlara göre konteynerler boyutlarına göre 20'FT, 40'FT ve 40'HC olmak üzere üç çeşide ayrılmaktadır.

7.1.1 20'FT standart konteyner

20'DV standart konteyner her türlü kuru yükün taşınmasında kullanılabilir (Şekil 16). Bunun yanı sıra, genel olarak hacmi küçük ancak ağır tonaj malların sevkiyatında yoğun olarak talep edilmektedir.



Boyutlar	En (m)	Boy (m)	Yükseklik (m)
Dıştan Ölçüler	2,438	6,060	2,590
İçten Ölçüler	2,352	5,900	2,390
Kapı Ölçüleri	2,340	-	2,283

Hacim (m ³)	Yük (ton)	Dara (ton)
33,00	28,150	2,330

Şekil 16. 20'FT standart konteyner ölçüleri.

Blok mermer, kesilmiş paletli mermer ve benzeri madenler limanlardan yoğun olarak ihraç edilen ürünlerdir ve lojistik açısından bu ürünler için 20'DV konteyner uygun olmaktadır. Bunun nedeni, konteynerin fiziksel olarak küçük olması ve küçük hacimli ancak ağır tonajlı yüklerin konteynerde deformasyona yol açmamasıdır. Genel olarak 20'DV konteynerin yükleme limiti 28 ton civarında olup iç hacmi 33 m³'tür. Uygulamada kolaylık sağlaması nedeniyle sadece 20'DV konteynerlerin taban kısmında forklift bıçaklarının girebileceği açıklıklar bulunmaktadır.

7.1.2 40'FT standart konteyner

40'DV standart konteynerler de genel olarak tüm kuru yükleri taşımak için kullanılabilir (Şekil 17). Bunun yanı sıra düşük tonajlı ancak hacmi büyük olan mal cinsleri için tercih edilmektedir.



Boyutlar	En (m)	Boy (m)	Yükseklik (m)
Dıştan Ölçüler	2,438	12,192	2,590
İçten Ölçüler	2,352	12,030	2,390
Kapı Ölçüleri	2,340	-	2,275

Hacim (m ³)	Yük (ton)	Dara (ton)
67,70	28,700	3,800

Şekil 17. 40'FT standart konteyner ölçüleri.

7.1.3 40'FT high cube konteyner

40'FT HC konteyner boyut olarak 40'FT standart konteynerden 27 cm daha yüksektir. HC konteynerdeki 27 cm'lik yükseklik farkı hacim olarak ise 8,3 m³ daha fazla yer sağlamaktadır. HC konteyner hacim olarak 40'DV konteynerden daha geniş konteynerden yüklenmesi uygun olan kargolar için kullanılmaktadır. Yükleme operasyonları esnasında diğerlerinden ayırt edilmesi açısından tavan bölümünün köşelerinde sarı-siyah şeritler ile uyarı ibaresi yapılmıştır. Bunu yanı sıra konteyner üzerinde İngilizce ifadeler ile "Dikkat! Yüksek Treyler" uyarısı bulunmaktadır.

7.2 Open Top (Üstü Açılır) Konteynerler

Open top (açık üstlü) konteynerlerin standart konteynerlerden farkı, tavan bölümünün kapalı olmamasıdır (Şekil 18). Konteyner tavanı yükleme yapıldıktan sonra yan duvarlarda bulunan kulplara geçirilen iplerle sabitlenen bir branda ile kapatılarak iç kısmının dış etkilere maruz kalması engellenmiştir. Genel olarak open top konteynerler yükleme esnasında kolaylık sağlayarak, standart konteynerler için uygun olmayacak yüklerin sevkiyatında kullanılmaktadır. Bu yükler örnek olarak; blok mermer, makine, çeşitli özel proje yükleri ve ağır sanayi ürünleri verilebilir. Open top konteynerlerin sağladığı önemli avantajlardan biri de standart konteynerden yüksekliği nedeniyle uygun olmayan yüklerin sevk edilebilmesidir. Uygulamada bu tür yükler "tasmalı yükleme"

denilmektedir. Şüphesiz tasmalı yüklemeler gemi üzerinde yer kaybına neden olacağından armatör tarafından farklı şekilde fiyatlandırılıp tasma nispetinde ilave masraflar talep edilecektir.



Boyutlar	En (m)	Boy (m)	Yükselilik (m)
Dışın Ölçüler	2,438	6,060	2,590
İçten Ölçüler	2,340	5,890	2,560
Kapı Ölçüleri	2,320	-	2,250

Hacim (m ³)	Yük (ton)	Dara (ton)
32,600	21,700	3,300

Şekil 18. 20'FT open top konteyner ölçüleri.

7.2.1 20'FT open top konteyner

20'FT open top konteyner, 20'FT standart konteyner ile aynı ölçülere sahiptir. Genel olarak ağır tonajlı ve küçük hacimli yüklerin sevkiyatında talep edilmektedir. Fiziksel özellikleri nedeniyle standart konteyner için uygun olmayan bir takım malların elleçlenmesi konteynerin açık olan üst bölümü sayesinde oldukça kolaylaştırmıştır.

7.2.2 40'FT open top konteyner

40'FT open top konteyner de uzunluk olarak 20'OT konteynerden ayrılmaktadır.

8. KONTEYNER VEYA TREYLERE YÜKLEME

Kasalanmış levha, plaka ve fayans ihracat ürünleri araçlara forklift veya vinçlere takılan özel aparatlarla yükleme yapılır (Şekil 19). Mermer sektöründe genellikle konteynerlerin 20'lik, 30'luk ve 40'lık olanları kullanılmaktadır (TS ISO 668, 2007).



Şekil 19. Konteynerlere yükleme.

30'luk ve 40'lık konteynerlerde genel hacmi büyük olan, ağırlığı az olan malzemeler konulur. Ayrıca şerit bantlarla sağlamlaştırılır. Bu işlemlerden sonra mühürleme yapılarak konteynerler treylere yüklenir. Bazen de mamuller sadece treylere yüklenilerek üstü brandalı olarak ihraç edilir (Şekil 20).



Şekil 20. Treylerlere yükleme.

9. KARAYOLLARINDA TAŞIMACILIK STANDARTLARI

Karayolları trafik yönetmeliği 128. Maddesine göre araçların ölçü ve ağırlıkları şu şekilde sıralanmıştır;

Madde 128- Karayolunda trafiğe çıkarılacak araçlarda yüklü ve yüksüz olarak uyulacak boyutlar ve karayolu yapısına zarar vermeden güvenle seyredebilecek ağırlıklar şunlardır;

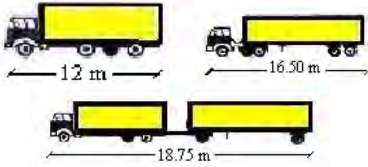
Araçların boyutları ve ağırlıkları

a-Azami genişlik: 2,55 metredir. Frigorifik araçlarda yalnız frigorifik yapı genişliği 2,60 metredir.

b-Azami yükseklik: 4,00 metredir.

c-Azami uzunluklar (Şekil 21):

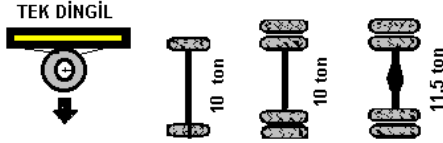
- Otobüs dışındaki diğer motorlu araçlarda 12,00 m,
- Römorklarda 12 m,
- Yarı römorklu araçlarda 16,5 m,
- Römorklu otobüslerde 18,75 m,
- Römorklu araçlarda 18,75 m'yi geçmez.



Şekil 21. Karayollarında araç tipine göre max. uzunluklar.

d-Azami ağırlıklar:

- Tek dingilde en çok (Şekil 22),
 - Tahriksiz tek dingilde: 10 ton,
 - Tahrikli tek dingilde: 11,5 ton,



Şekil 22. Tek dingilli araçlarda taşıma kapasiteleri.

- İki dingilli aks grubu ağırlığı en çok (Şekil 23),

- Motorlu araçlarda aks grubu ağırlığı
 - ✓ Dingiller arası mesafe 1 m'den az ise ($1m < d$): 11,5 ton,
 - ✓ Dingiller arası mesafe 1m-1.3m arası ise ($1m \leq d < 1,3m$): 16 ton,
 - ✓ Dingiller arası mesafe 1.3m-1.8m arası ise ($1,3m \leq d < 1,8m$): 18 ton,
 - ✓ Dingiller arası mesafe 1,3m-1.8m arası ise: 19 ton,

➢ Römork ve yarı römorklarda aks grubu ağırlığı en çok:

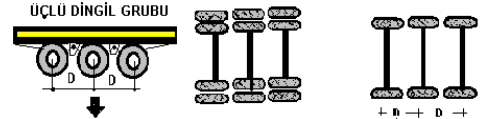
- ✓ Dingiller arası mesafe 1 m'den az ise ($1m < d$): 11 ton,
- ✓ Dingiller arası mesafe 1m-1.3m arası ise ($1m \leq d < 1,3m$): 16 ton,
- ✓ Dingiller arası mesafe 1.3m-1.8m arası ise ($1,3m \leq d < 1,8m$): 18 ton,
- ✓ Dingiller arası mesafe 1,8m'den büyük ise ($1,8m \leq d$): 20 ton,



Şekil 23. Çift dingilli araçlarda mesafeler.

➢ Üç dingilli aks grubu ağırlığı en çok (Şekil 24):

- ✓ Dingiller arası mesafe 1 m'den az ise ($d < 1,3m$): 21 ton,
- ✓ Dingiller arası mesafe 1.3m-1.4m arası ise ($1,3m \leq d < 1,8m$): 18 ton,

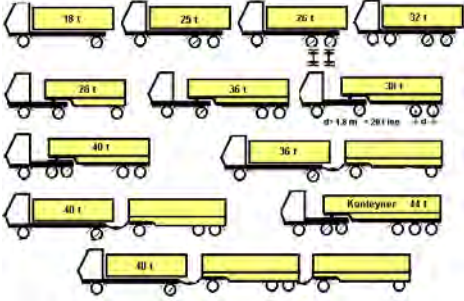


Şekil 24. Üç dingilli araçlarda mesafeler.

➢ Toplam ağırlıkları en çok (Şekil 25):

- ✓ İki dingilli motorlu araçlarda ve römorklarda : 18 ton,
- ✓ Üç dingilli motorlu araçlarda: 25 ton,
- ✓ Üç dingilli motorlu araçlarda: 26 ton,
- ✓ Üç dingilli yarı römorklu araçlarla, mafsalı otobüs: 28 ton,
- ✓ Dört dingilli motorlu araçlarda: 32 ton,
- ✓ Dört dingilli yarı römorklu araçlarda: 36 ton,
- ✓ Dört dingilli yarı römorklu araçlarda, yarı römork dingil grubu ağırlığı 20 ton olan araçlar: 38 ton,

- ✓ Beş veya daha çok dingilli yarı römorklu veya römorklu katarlarda: 40 ton,
- ✓ Konteyner taşıyan yarı römorklu araçlarda (ISO konteynerli 3 S 2/3): 44 ton olmalıdır.



Şekil 25. Karayollarında araç tipine göre taşıma kapasiteleri.

10. SONUÇLAR

Son yıllarda doğal taş sektörü Türkiye'nin, uluslararası pazarda en önemli sektörlerinden birisi haline gelmiştir. İhracat verileri değerlendirildiğinde doğal taş sektörünün ülkemiz ekonomisine katkısı çok büyüktür. Bu çalışmada doğal taşların fabrikada hazırlanması, ambalajlanması standartları ve ihracatında göz önünde bulundurulması gerek standartlar incelenmiştir.

Ülke içi lojistikte genel olarak karayolu taşımacılığı tercih edilmektedir. Karayolu taşımacılığında, düzenli ve mümkün olduğu kadar fazla ürün taşımak için kasalama işleminin çok önemli bir süreç olduğu anlaşılmıştır.

Ebatlarına göre, üretilen doğal taş ürünlerinin en verimli olarak hangi ölçülerde kasalar ile taşınacağı belirlenmiş, bu kasaların ne kadar miktarda bir malzemeyi güvenle taşıyabileceği incelenmiştir.

Doğal taş ürününün ambalajlanması, kasalanması ve konteynerlere yüklenmesi için gerekli kapasite bilgileri verilmiştir. Pek çok firma ambalajlama işleminde standartları uygulamaya özen

göstermektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda ambalajlama ve kasalama işleminde genel olarak belli bir yazılı standart tespit edilmemiştir. Bu husus müşteri talebine göre değerlendirilmektedir. Ambalajlama ve kasalama işleminde belli başlı standartlar uygulandığı takdirde tüketici için daha kaliteli ve güvenli bir hizmet oluşacağı mutlaklıdır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yapılmasındaki katkılarından dolayı Akçinli Kerestecilik firmasına, Yrd. Doç. Dr. Sevgi Çetintaş'a, Sercan Kaya'ya ve Basri Manış'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Büyüksağış, İ.S., 1998, Doğaltaşlarda Kalite Kontrol ve Standardizasyon, (Yayımlanmamış Ders Notları), Afyon Kocatepe Üniversitesi.
- Çamlı, S.B., 2013, Doğal Yapı Taşları Endüstrisinde Kullanılan Paketleme Sistemleri ve Standartları, DEÜ *Yüksek Lisans Tezi*, İzmir.
- Gönel, G., 2007, Deniz taşımacılığında Lojistik Sisteminin Performans Ölçümü ve Bir Uygulama, *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Ana bilim Dalı, Bursa, 221 sf.
- ISPM 15, 2009, "Uluslararası Ticarete Ahşap Ambalaj Malzemelerinin Düzenlenmesi" FAO, Roma, İtalya.
- MEGEP, 2008, Mermer Plaka Kesimi 1, Makine Teknolojisi, 40 sf.
- Sarı, Ö., Yeşilkaya, L., 2010, Mermer ve Doğaltaş Sektöründe Ambalajlama, AKÜ Maden Müh. Böl. *Lisans tezi*, Afyonkarahisar.
- Uz, M., Büyüksağış, İ.S., 2012, Doğaltaş Sektöründe Kullanılan Uluslararası Ambalajlama Nakliye Kuralları ve Standartlarının İncelenmesi, AKÜ Maden Müh. Böl. *Lisans tezi*, Afyonkarahisar.
- TCDD, 2012, Vagon Rehberi.
- TS EN 1468, 2011, Doğaltaşlar-İşlenmiş Plakalar-Özellikler, TSE, Ankara.
- TS ISO 668, 2007, Seri 1 Yük Konteynerleri-sınıflandırma, Boyutlar ve Brüt Küteller, TSE, Ankara.

Örnek Bir Mermer İşletmesinde E-MERMERCİ® Paket Programı Yardımıyla Üretim ve Stok Kontrollerinin Yapılması

The Production and Stock Controls by the E-MERMERCİ® Software Program in a Marble Company

İ.S. Büyüksağış, H. Alper, M. Gürsoy

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar

ÖZET Doğaltaş Üretim ve işleme tesislerinde teknik, idari ve mali işlerin takibini birçok işletme genellikle klasik yollarla (el ile) yapmakla birlikte, bazı işletmeler ise bilgisayarda birbirinden bağımsız bir kaç ayrı paket program kullanmaktadırlar. İşletmelerde üretim, stok ve muhasebe kayıtlarının tutulması ve kontrol edilmesinde son yıllarda MRP, MRP2, ERP yöntemiyle hazırlanmış yazılımlar kullanılmaktadır. Bu çalışmada, öncelikle MRP, MRP2, ERP'nin tanımı, gelişimi hakkında bilgi verilmiş, ve yerli bir firma tarafından doğaltaş sektörüne yönelik hazırlanmış E-MERMERCİ® paket programının modülleri tanıtarak, örnek bir mermer işletmesinde kullanımı gösterilmiştir. E-MERMERCİ® paket programıyla yapılan bu çalışmada; ocaktan depo üretimine, depo üretiminden fabrika işlemlerine ve buradan da ihracat kısımları detaylı bir şekilde incelenmiş olup, üretim ve stok kontrolleri yapılmıştır. Bu program sayesinde raporların hazırlanış şekilleri gösterilmiş ve işlerin daha düzenli bir şekilde ilerlediği ortaya konulmuştur.

ABSTRACT Many quarry companies perform technical administrative and financial works in natural stone production and processing facilities, usually by classical methods (manual), while some companies use several independent (non-communicate) software program on a computer. In the recent years, MRP, MRP2, ERP software programs have been used in the management of production, stock and accounting records. In this study, firstly the definition and progress of MRP, MRP2, ERP are given, then the use of the E-MERMERCİ® program compiled by a Turkish company for the natural stone sector is presented of moduls and its use in a sample marble operation is presented. As a result of this study; By E-MERMERCİ® package program, the warehouse production from quarry, the factory operations from warehouse production and the export moduls have been examined in detail, and production-stock controls have been made for a marble company. By the help of this software program, the way of preparing reports were shown, and it was revealed that the works progress more regularly.

1 GİRİŞ

Doğaltaş şirketleri mühendislik, yönetim ve muhasebe proseslerinin kontrol ve yönlendirilmesinde ya basit yöntemler (el ile) kullanmakta, ya da bazı işletmeler bilgisayarda her bir iş için ayrı bir yazılım programı kullanmaktadırlar. Doğaltaş işletmelerinde üretim, stok ve mali kayıtlarının tutulması ve kontrol edilmesinde son yıllarda MRP, MRP2, ERP yöntemiyle yazılmış paket programlar kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, mermercilik sektörünün hemen her aşamasını içeren, ocak üretiminden fabrika üretimine kadar, ürünlerin işlenip depolanmasına kadar, personel maaşlarından yağ tüketimine kadar, kapsamlı bir ihtiyaç planlama, veri düzenleme ve depolama amaçlı olarak bir Türk firması tarafından geliştirilen “E-MERMERCİ®” yazılım programı incelenmiştir. Bu programın uygulamaları, getirdiği yenilikler, sağladığı kolaylıklar detaylıca incelenmiş olup, modüllerin

adaptasyonları ve uygulanabilirliği gözlenmiştir.

İşletme koşulu ve durumu ne olursa olsun tutulan kayıtlar, raporlamalar, arşivler, muhasebe, finans raporları, üretim bilgileri, ithalat ihracat kayıtları, puantaj, makine kayıtları gibi tüm genel işlemleri tek bir programda toplanmasının yanı sıra, internet ve uydu aracılığıyla interaktif olarak verilerin güncel ve anlık paylaşımını, ağ kurulumu ile organize edilmesini sağlayan bu programın gelecekte daha da yaygınlaşacağı öngörülmektedir.

2 MRP, MRP II, ERP' NİN TANITIMI

İşletmelerde üretim ve stok kontrolleri ile finansal verilerin derlenip raporlanmasında son zamanlarda yaygınca MRP, MRPII ve ERP yöntemleri kullanılmakta ve bu yöntemle hazırlanmış her sektöre uyarlanan paket programlar yaygınca kullanım alanları bulmuştur. Bu yöntemler aşağıda detaylıca tanımlanmıştır.

MRP (Material Request Planing-Malzeme İhtiyaç Planlaması) temelleri,1960'lı yıllarda Dr. J.A. Orlicky tarafından ele alınmış ve ilk olarak 1970'li yıllarda A.B.D.'nde seri üretime geçen (stoklu üretim modeli) işletmelerin sorunları, ürün ağaçları ve süreçlerine göre hammadde ve malzeme stok seviyelerinin üretime yeterliliğini kontrol etmek, satış tahminlerine göre üretim yapmalarını sağlamak üzere verilerini bilgisayarlı ortamda takip etmeleriyle aşmıştır (Acar, 1997). Anlaşıldığı gibi MRP, son ürünler için hazırlanmış olan ana üretim programını, bunlarda kullanılan hammadde ve malzeme tedarigi için ayrıntılı bir plana dönüştürmeye yönelik bilgisayara dayalı işlemsel teknikleri içeren bir envanter planlama ve kontrol sistemidir. Malzeme ihtiyaç planlaması, aslında oldukça eski bir kavrama verilen yeni bir isimdir. Ancak bu eski kavramın günümüzde önem kazanması, bilgi-işlem konusundaki önemli gelişmeler sayesinde gerçekleşmiştir (Acar, 1997).

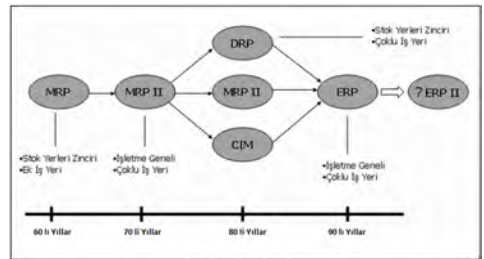
MRP sisteminin hammadde ve malzeme ihtiyaçlarını, iş ve satın alma emirlerini üretirken, işletme kapasitesinin ya da kritik kaynakların varlığını incelememesi en büyük

eksikliğidir. Ekonomide ve tüketim eğilimlerindeki gelişmeler pazarın daha ağırlıklı bir biçimde müşteri tarafından belirlenmesi sonucunu doğurmuştur. Bundan sonrasında da üretim firmalarında stoğa yönelik üretimden siparişe yönelik üretime doğru bir kayma olmuştur. Bu ise daha çok ürün çeşidi demektir. O yıllara kadar ana sorun olan malzeme ve hammadde tedarikinin yanı sıra etkin kapasite kullanım gereği, küçük miktarlarda da ekonomik üretim yapabilme, etkin finansman yönetimi gibi konular büyük önem kazanmıştır. Bu şekilde karmaşıklaşan üretim yönetimi disiplininde MRP yetersiz kalmıştır (Yeter, 2000).

Zamanla sistemin kullanımı yaygınlaşmış ve sistem CRP (Kapasite İhtiyaç Planı), MPS (Ana Üretim Zamanlaması), PAC (Üretim Hareket Kontrolü), RCCP (Rough Cut Capacity Planning-Kaba Kapasite Planlama) ve satın alma işlemlerini de kapsayacak şekilde genişletilerek 1980'li yıllardan itibaren MRP II (Manufacturing Resource Planning-Üretim Kaynakları Planı) sistemine geçiş yapılmıştır (Ünsal, 2008).

ERP'nin (Enterprise Resources Planning-Kurumsal Kaynak Planlanması ya da Yüksek Seviyeli Kaynak Planlaması) üretim yapan bir firmada uygulanması halinde stok-sipariş-imalat-satın alma gibi planlanması gereken eylemler genellikle MRP II yöntemi ile düzenlenir. ERP'nin MRP II'den en ayırıcı özelliği, firmanın tüm bölümleri ve fonksiyonlarını tek bir sistem içinde birleştirmeye çalışmasıdır (Ünsal, 2008).

Şekil 1'de Sistemin gelişimi gösterilmiştir.



Şekil 1. Sistemin gelişimi (Ünsal, 2008).

3 E-MERMECI® ÜRETİM YÖNETİM BİLGİ SİSTEMİNİN TANITIMI

E-MERMECI®, doğaltaş sektörü için hazırlanmış, stokları, siparişleri, personeli, iş emirlerini, operasyonları, üretimi, maliyetleri, verimliliği, kasaları, ürün alış ve satış işlemlerini yaparken istenilen para birimi ile sabit veya değişken kur kullanarak işletmeyi yönetebilmek ve sorgulayabilmek için depo, ocak, fabrika ve ihracat modüllerinden meydana gelmiş entegre çalışan bir üretim ve yönetim programıdır. Yazılım bir ana server üzerinde saklanmakta ve buna online hat-wireless-gsm üzerinden erişim sağlanarak veri aktarımı yapılabilmektedir.

Mermer ve doğaltaş işletmelerinin ihtiyaçları doğrultusunda yazılan ve halen geliştirilmekte olan bir otomasyon programıdır. Detaylı müşteri ve stok kartlarının oluşturulmasında alınan ve verilen siparişlerin girişine, işlemlerin kontrolü ve üretim aşamalarının takibinden mevcut stokların değerlendirilmesine, üretim ve makine bakım işlemlerinin raporlanması ve planlanması, irsaliye, alış ve satış faturaları, maden sevk fişi listelerinin tanzimi ve yazdırılması gibi evrak işlemleri, çek ve senet takibi, kredi limitine bağlı olarak müşteri cari hesaplarının alacak ve borç bakiyeleri gibi ticari işlemleri kolay, hızlı ve doğru şekilde takip ve kontrol edilmesini sağlamaktadır.

Kullanıcılar yetkiler oranında tanınan erişim izinlerine göre, ortak kullanılan kütüphane ortamında bilgi görüntüleme, kayıt yapma, düzeltme veya silme işlemlerini gerçekleştirirler. Tüm verilerin ortak kütüphaneye kaydedilmesi bilgilerin paylaşılmasına ve eksik bilgilendirmeden dolayı hata olasılığını en az seviyeye indirir. Ayrıca, tüm şirkete ait ortak arşiv oluşturulmuş olur, arşiv yardımıyla da tekrarlanan işlemler için kullanıma hazır bilgiler sunar. Hedeflerin belirlenmesi ve siparişlerin değerlendirilmesinde doğru verilerin kullanılmasını sağlar.

Çalışanlar arasında bürokrasi ve kırtasiye olmadan iş akışını hızlandıran, herkesi aynı verilerle çalışmasını sağlayan yapısıyla tam koordinasyon sağlar. Faaliyet kayıtları

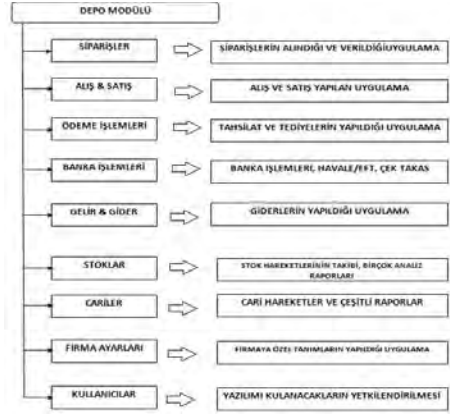
(History) dökümü alınarak kullanıcılar tarafından yapılan işlemlerin tarih ve saatleri takip edilir. Program işlemlerine göre alınan raporların Excel hesaplama programına aktarma olanağı da sağlar (Alper, 2014).

3.1 Ürünler

Programın içerdiği modüller sırası ile aşağıda detaylı bir şekilde verilmiştir.

3.1.1 Depo modülü

Mermer işletmesi için ticari faaliyetlerini işleyip takip ettiği modüldür. Alış satış sipariş işlemlerini, satış sözleşmelerini, stok giriş çıkış işlemlerini ve bunlara ait analiz raporlarını, cari hesap takiplerini, banka işlemlerini (gelen/giden havale, çek takas/taahsil), irsaliye, fatura ve maden sevk fişi işlemlerini, istediğiniz para birimleriyle çalışma imkanı sunan modüldür. Şekil 2'de depo modülü akım şeması verilmiştir.



Şekil 2. Depo modülü akım şeması.

3.1.2 Ocak modülü

Ocaktaki kademeler, yapılan kesimler, kesimlerden elde edilen pasa-moloz-blok miktarları, üretim maliyetlerini (aylık ve yıllık ortalama değerleri) inceler. Ocakların ve üretimlerin verimliliğini, fire oranlarını, iş makinelerinin takibi (hem üretim hem de bakım), kullanılan sarf malzemelerin

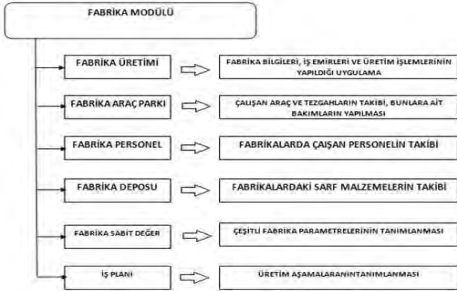
araç/sarfıyat takibi, personel takibini inceleyen modüldür (Şekil 3).



Şekil 3. Ocak Modülü.

3.1.3 Fabrika modülü

Üretimleri yapılan, bu üretimler sırasında verimlilik ve maliyet raporları alınabilen, fabrikalarda çalışan araç ve makineleri takip edebilen bunlara ait bakım periyotlarını ve bakımda neler yapıldığını işleyebilen, personelin çalışma performansını takip edebilen, fabrikalarda kullanılan malzeme deposunu yönlendirebilen modüldür (Şekil 4).



Şekil 4. Fabrika modülü.

3.2 E-Mermerci Programı Kullanımı

Programın kullanım işlem sırası aşağıda detaylı bir şekilde verilmiştir.

3.2.1 Kullanıcı girişi

Kullanıcılar E-Mermerci programına, yetkileri kapsamında giriş yapabilirler.

Kullanıcıya ne yetkisi verildiyse, program içinde o modülleri kullanır (Şekil 5).



Şekil 5. E-mermerci fabrika modül girişi.

3.2.2 Alış/Satış siparişleri

Müşterilerden alınan veya verilen siparişleri takip edebilen modüldür. Siparişi satışa veya alışa çevirmede süre içinde, sipariş içerisinde istenilen değişiklikler yapılır. Ayrıca, sesli ve yazılı hatırlatma notları girilir (Şekil 6).



Şekil 6. Alış/satış siparişleri.

3.2.3 Cari kartlar

Müşterilerin cari kaydının yapıldığı ve izlendiği modüldür. Cari bilgileri, müşteriye ait özel bilgileri, alınan teminat bilgilerini, belirlenmiş olan risk limitini, ayrıca o müşteriyle ana hesap olarak hangi para birimiyle çalışacak olduğunu belirleyen ekrandır. Müşterilerin ortalama çalışma vadesini de gösteren ekrandır (Şekil 7 ve 8).

Tarih	Tan	Yat	Çık	Bakiye	Yat	Çık	Bakiye	Notlar	Özellikler	Özellikler
2013/01/01				42,00	0,00	1,30	40,70			
2013/01/01				40,70	0,00	0,00	40,70			

Şekil 7. Cari kartlar.

Tarih	Banka Kodu	Banka Adı	Banka No	Bakiye	Yat	Çık	Bakiye	Tutar	F. Bakiye	F. Bakiye	F. Bakiye	F. Bakiye
2013/01/01				42,00	0,00	1,30	40,70					
2013/01/01				40,70	0,00	0,00	40,70					

Şekil 8. Cari kartlar.

3.2.4 Cari raporlar

Müşterinin, cari hareket detaylarını ve hesaplanmış bakiyesini gösteren rapordur. Sisteme girilen tüm para cinslerine veya istediğiniz para birimine göre alabileceğiniz hesap extrsidir (Şekil 9).

Yatır	Çık	Yatır Bakiye	Çık Bakiye	Bakiye	Yatır Bakiye
42,00	1,30	40,70	0,00	40,70	40,70

Şekil 9. Cari raporlar.

3.2.5 Banka işlemleri

Gelen havale, giden havale, EFT işlemleri, çek/senet banka takas işlemlerini, karşılıksız evrak takiplerini uygulayıp, raporları alınan uygulamadır (Şekil 10).

Tarih	Banka Kodu	Banka Adı	Banka No	Bakiye	Yat	Çık	Bakiye	Tutar
2013/01/01				42,00	0,00	1,30	40,70	
2013/01/01				40,70	0,00	0,00	40,70	

Şekil 10. Banka işlemleri.

3.2.6 Stok kartları

Stok kartlarının girildiği modüldür. Ürüne ait hareketleri ister miktar, isterse hem miktar hem de tutar olarak rapor alınan modüldür. Ayrıca, ürüne ait resim ve video kaydı yapılır (Şekil 11 ve 12).



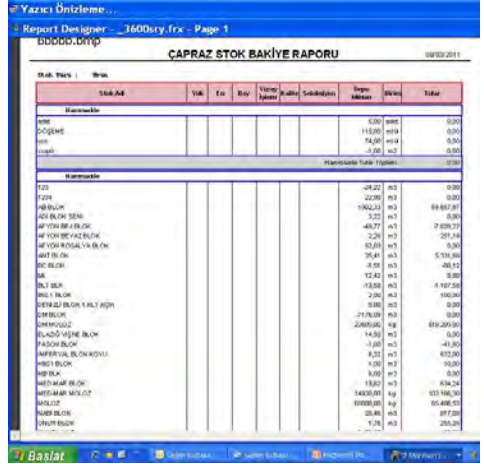
Şekil 11. Stok kartları.

3.2.7 Stok raporları

Ürünlerin hareketlerini detaylı olarak inceleyebilen modüldür. Stok kodu, blok numarası ile istenilen şekilde rapor alınır (Şekil 13).



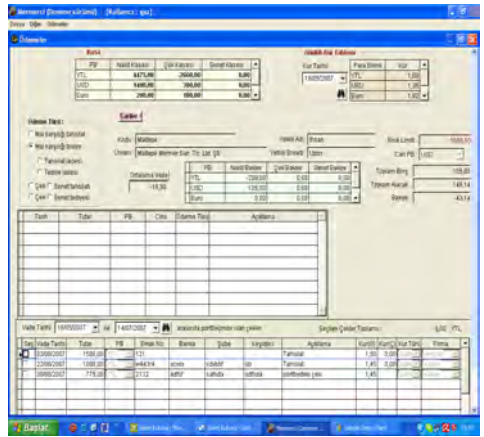
Şekil 12. Stok kartları.



Şekil 13. Stok raporları.

3.2.8 Ödemeler/Tahsilatlar

Müşterilerin para hareketlerini yaptığı modüldür. Müşterinin cari bakiyesini görüntüleyip istenilen para cinsiyile nakit veya çek/senet tahsilatı yapılır. Müşteriden sipariş karşılığında alınan avansı (nakit, çek, senet) iade edebilen modüldür (Şekil 14).



Şekil 14. Ödemeler / Tahsilatlar.

3.2.9 Giderler/Gelirler

Firmanın, cari hesaplar dışında kasayı etkileyen hareketlerin yapıldığı modüldür. Günlük ve aylık firma giderlerini (elektrik, su, temizlik, kırtasiye, mutfak, vs) ve cari faaliyet harici gelirlerini (kira, aidat, vs) girip takip edebilen uygulamadır (Şekil 15).

Kategori	Tutar	Durum	Bakiye
Elektrik	10.000,00		10.000,00
Su	5.000,00		5.000,00
Temizlik	2.000,00		2.000,00
Kırtasiye	1.000,00		1.000,00
Mutfak	1.000,00		1.000,00
Kira	10.000,00		10.000,00
Aidat	5.000,00		5.000,00
Diğer	100.000,00		100.000,00
Toplam	137.000,00		137.000,00

Şekil 15. Giderler/ Gelirler.

3.2.10 Raporlar

Çok çeşitli raporlama imkanı sunulmaktadır. Cari hareketlerde "Borç Raporları", "Alacak Raporları", "Bakiye Raporları", "Müşteri Çek Raporları", "Müşteri Senet Raporları", "Firma Çek Raporları" ve "Firma Senet Raporları" vb. Cari raporlarda, tüm belirlenen para cinslerine göre veya seçilen para cinslerine göre rapor alınır. Portföyde bulunan müşteri evrakları listelenir. Müşterilere verilen firma çekleri listelenir (Şekil 16).

Rapor Türü	Rapor Tarihi	Tutar	Durum	Bakiye
Elektrik	10.000,00		10.000,00	10.000,00
Su	5.000,00		5.000,00	5.000,00
Temizlik	2.000,00		2.000,00	2.000,00
Kırtasiye	1.000,00		1.000,00	1.000,00
Mutfak	1.000,00		1.000,00	1.000,00
Kira	10.000,00		10.000,00	10.000,00
Aidat	5.000,00		5.000,00	5.000,00
Diğer	100.000,00		100.000,00	100.000,00
Toplam	137.000,00		137.000,00	137.000,00

Şekil 16. Raporlar.

3.2.11 Çek/Senet raporları

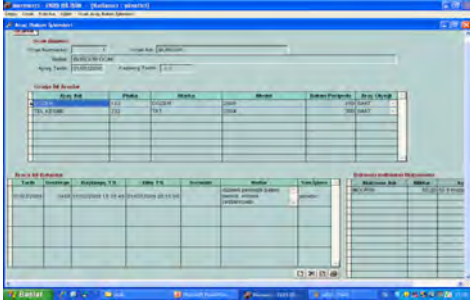
Raporlar listesinde, müşterilerden alınan çek ve senetleri ayrıca müşterilere verilen firma çeklerinin raporunu alan ekrandır (Şekil 17).

Rapor Türü	Rapor Tarihi	Tutar	Durum	Bakiye
Elektrik	10.000,00		10.000,00	10.000,00
Su	5.000,00		5.000,00	5.000,00
Temizlik	2.000,00		2.000,00	2.000,00
Kırtasiye	1.000,00		1.000,00	1.000,00
Mutfak	1.000,00		1.000,00	1.000,00
Kira	10.000,00		10.000,00	10.000,00
Aidat	5.000,00		5.000,00	5.000,00
Diğer	100.000,00		100.000,00	100.000,00
Toplam	137.000,00		137.000,00	137.000,00

Şekil 17. Çek/ Senet raporları

3.2.12 Genel değerlendirme raporları

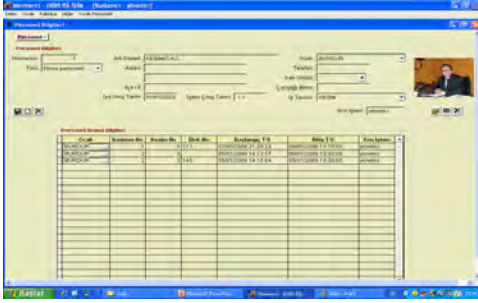
Raporlar listesinde, şirketin karlılık ve aktiflerini değerlendirip rapor alan ekrandır (Şekil 18).



Şekil 22. Ocak makine bakım.

4.2.5 Ocak personel

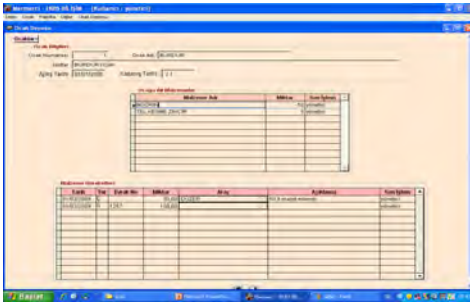
Ocak personel bilgileri Şekil 23' deki gibi girilmektedir.



Şekil 23. Ocak personel.

4.2.6 Ocak deposu

Ocak deposu bilgileri kısmına Şekil 24' deki gibi bilgi girişi sağlanır.



Şekil 24. Ocak deposu.

4.2.7 Ocak maliyet

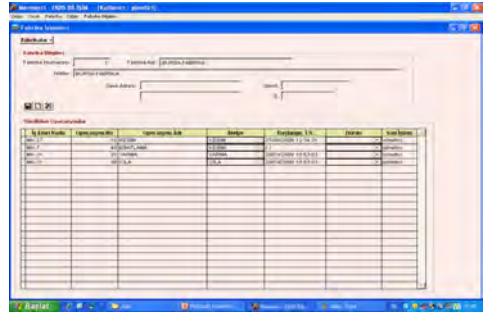
Ocak maliyet bilgileri Şekil 25' teki gibi görüntülenebilir.



Şekil 25. Ocak maliyet.

4.2.8 Fabrika bilgileri

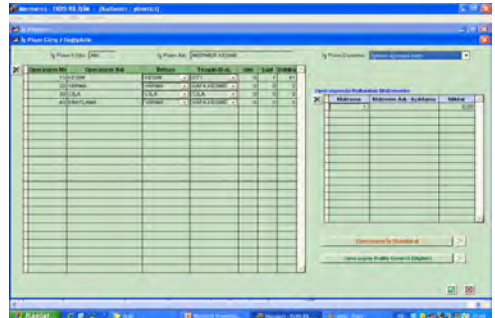
Fabrika bilgileri kısmına Şekil 26' daki gibi girilmektedir.



Şekil 26. Fabrika bilgileri.

4.2.9 İş planları

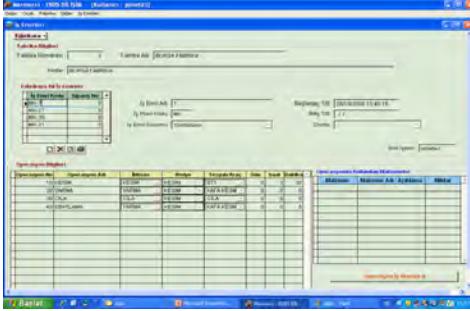
İş planları bilgileri üretimin akış planına göre Şekil 27' deki gibi girilmiştir.



Şekil 27. İş planları.

4.2.10 İş emirleri

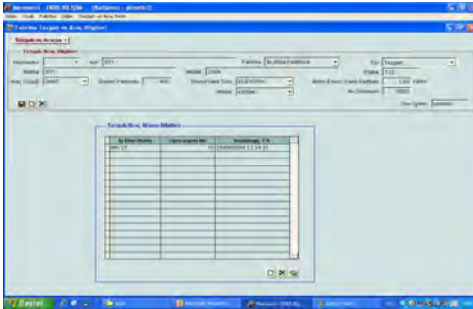
Üretim planına göre iş emirleri bilgileri a Şekil 28' deki gibi girilmektedir.



Şekil 28. İş emirleri.

4.2.11 Makineler

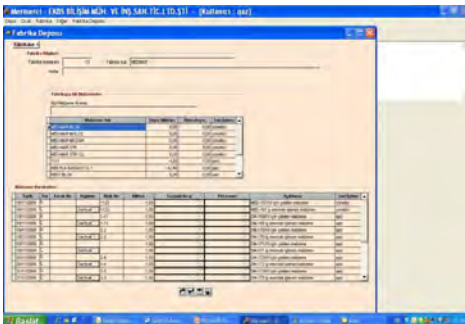
Fabrika makinelerine ait bilgiler Şekil 29' daki gibi girilmektedir.



Şekil 29. Makineler.

4.2.12 Fabrika deposu

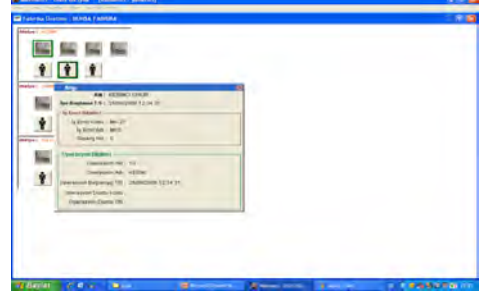
Fabrika depo bilgileri kısmına Şekil 30' daki gibi üretilen malzeme girişi yapılır.



Şekil 30. Fabrika deposu.

4.2.13 Üretim izleme

İş ermine göre üretimin izlenmesi Şekil 31' deki gibi görülebilmektedir.



Şekil 31. Üretim izleme.

4.2.14 Üretim raporu

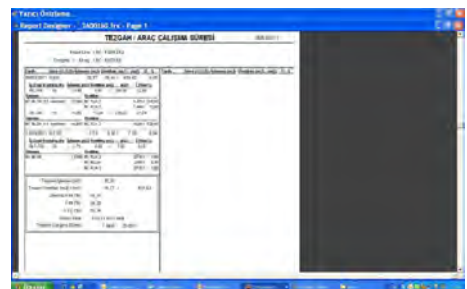
Üretim sonucu üretim raporları Şekil 32' deki gibi görülebilmektedir.



Şekil 32. Üretim raporu.

4.2.15 S/T çalışma raporu

S/T makinesinin çalışma raporu Şekil 33' deki gibi görülebilmektedir.



Şekil 33. S/T çalışma raporu.

4.2.16 Tezgaah üretim raporu

Kesme-işleme makinelerinde yapılan işler Şekil 34' teki gibi Tezgaah üretim raporu ekranından görülebilmektedir.

Şekil 34. Tezgaah üretim raporu.

4.2.17 Fabrika maliyet raporu

Üretim sonucu oluşan malzemelerin maliyetleri Şekil 35' teki gibi görülebilir.

Şekil 35. Fabrika maliyet raporu

4.2.18 Satış fişi örneği

Tüm gerekli veriler girildikten sonra programdan elde edilen işletmeye ait satış fişi örneği Şekil 36'daki gibi görülebilir.

Bu kısımda örnek bir mermer işletmesinde E-MERMERCİ® programı ile yapılabilecek başlıca işlem adımları gösterilmiştir. Program ile yapılabilecek farklı işlemler de bulunmakla birlikte, kullanıcılar için temel nitelikte uygulamalar örnek olarak gösterilmiştir. Programın kullanımıyla ilgili, şirket tarafından müşterilerine veya meslek yüksek okulu ve fakültelerin öğrencilerine belirli tarihlerde iki günlük sertifikalı eğitim programları düzenlenmektedir.

Şekil 36. Satış fişi örneği.

5 SONUÇLAR

E-MERMERCİ® programı MRP II sistemiyle çalışan bir yazılım programıdır. Bu yazılım programı sayesinde kullanıcılar yapılan işlemleri takip edebilme, internet olan her yerden ulaşabilme imkanı ve el terminali sistemi ile uzaktan ulaşabilme imkanı sağlar.

Bu çalışmada, örnek bir mermer işletmesinden alınan gerçek veriler E-MERMERCİ® paket programı yardımıyla girilmiş ve programın nasıl kullanıldığı, raporların nasıl alındığı anlatılmıştır.

Uygulama kısmında E-MERMERCİ® paket programının depo, ocak ve fabrika modülleri incelenmiştir. Çalışanların iş akışını hızlandıran ve aynı/ortak verileri kullanarak koordinasyonu sağlamaktadır. Yapılan çalışmalarda ocaktan fabrika blok stok sahasına (depo modülüne), buradan da fabrika işlemlerine ve oradan da ihracat kısımlarına kadar olan tüm kademeler detaylı olarak incelenmiştir. Üretim ve stok kontrolleri yapılmış olup, programın nasıl işlediği görsel ekranlar üzerinde verilmiştir.

Bu program sayesinde işlerin düzenli bir şekilde ilerlemesi sağlanarak, herhangi bir aksaklık olduğunda programa hemen müdahale edilip düzeltilebilme imkanı vermektedir. Örnek işletme uygulamasında üretim ve stok kontrolleri yapılmış ve raporların nasıl hazırlandığı üzerinde durulmuştur.

Bu çalışmanın temelini oluşturan lisans tezi ile; “Malzeme İhtiyaç Planlaması” (MRP)’na ilişkin doğaltaş şirketlerine yönelik olarak ticari amaçla hazırlanmış olan E-MERMERCİ® programının tanıtılması ve pratik kullanılmasına yönelik bir “Kullanım Klavuzu’nun” taslağı hazırlanmıştır. Bu klavuz’un gelecekte geliştirilerek, firma tarafından potansiyel ve mevcut kullanıcılarına yönelik eğitim amaçlı bir rehber kaynak haline getirilmesi mümkündür.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yapılmasında başta E-MERMERCİ® firma yetkilileri olmak üzere, örnek uygulama çalışmasının yapılmasında katkılarından dolayı da DEMMER A.Ş. firmasına teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Acar, N., 1997, Malzeme İhtiyaç Planlaması, MPM Yayınları No: 323, Ankara. Yeter, B., 2000, MRP-MRPII Manufacturing Systems, *Yıldız Teknik Üniv., Fen Bil. Enst., Yüksek Lisans Tezi.*, İstanbul., 190 sf.
- Alper, H., Büyüksağış, İ.S., 2014 Örnek Bir Mermer İşletmesinde E-MERMERCİ® Paket Programı Yardımıyla Üretim ve Stok Kontrollerinin Yapılması, *Lisans Tezi*, Afyonkarahisar.
- Örnek M. Arslan, 1989, MRP II Sistemlerinin Kurulmasında Karşılaşılan Sorunlar ve Uygulamaya Koyma, Endüstri Mühendisliği Dergisi Yıl: 1 Sayı: 2, İstanbul.
- TOSYÖV, 2006, "Toplumsal refah için İnovasyon", *Girişim Dergisi*, Sayı: 84, 18 sf.
- Ünsal, A., 2008, *Kurumsallaşma Sürecinde Mermer ve Doğaltaş Üretim Takip ve Analiz Yöntemleri ve ERP / MRP II Uygulamaları*, MERSEM VI, Denizli, 187-200.
- Yeter T., 2000, “MRP – MRP II, Manufacturing Systems”, 184 s.

Effects of the Diameter of Diamond Beads on Cutting in Monowire Block Cutting System

E. Yilmazkaya, Y. Ozcelik

Department of Mining Engineering, Hacettepe University, 06800, Beytepe Ankara, Turkey

ABSTRACT Monowire block cutting machines can be used for natural stone block squaring operations and slab cutting operations from natural stone blocks. The plants where the cutting operations are performed demand high product quality with minimum operational costs. Therefore, machine parameters effect the wear rate on diamond beads should be clearly understood. The purpose of this study is to investigate the effects of variation of diamond bead diameter on cutting efficiency in a monowire cutting machine. In the study, cutting experiments were done with the diamond wires having 3 different bead diameter values on different peripheral speed and downfeed rate values by using monowire cutting machine developed in Hacettepe University Mining Engineering Department. At the end of the study, effects of diamond wires having different bead diameters on bead wear and energy consumption during cutting operation were investigated in monowire cutting system. The study clearly put forward the influences of bead diameter that is one of the effective parameters on monowire cutting operations in natural stone industry.

1 INTRODUCTION

Diamond wire cutting machines are indispensable machines used in several stages ranging from marble block production in natural stone quarries to the final product in processing plants. Today these machines are widely used in natural stone quarries and have evolved continuously in line with the consumers' demands so far and have opened a new era in natural stone mining (Yilmazkaya & Ozcelik 2016). Generally, the diamond wire cutting method is used in natural stone quarries and decorative cutting tests, cutting and lifting basic construction structures, railway bridges, old concrete chimneys and dams.

The process of reducing large or irregularly shaped blocks produced in natural stone quarries to commercial size or arranging randomly sized blocks into cube or rectangular parallelepiped shapes is called 'block si-

zing' or 'squaring'. Various machines are used in the squaring process on blocks taken from quarries where marble and limestone production is performed. One such machine is the mono-wire block cutting machine, which is important for sizing natural stone blocks and of slab-sawing from the blocks.

In plants where cutting processes are performed, the aim is to manufacture products of the desired quality at the lowest possible cost. The most important performance parameters affecting the economy of mono-wire block cutting are the energy consumed and the wear of diamond beads during cutting. Wear is important as it decreases cutting efficiency and reduces wire life (Yilmazkaya 2007; 2013).

Until today, many researchers have studied the machine parameters used in cutting and the properties of the material to be cut. Some researchers investigated wire structure and the number of beads on the wire (Ozce-

lik 1999, Yilmazkaya 2007), the dimensions of the marble block to be cut (Berry 1989, Ozcelik & Bayram 2004), cutting geometry (Ozcelik 1999, Ozcelik et al. 2002), bead structure (Ozcelik et al. 2002, Ozcelik & Bayram 2004, Capuzzi 1989, Biasco 1993, Cook & Smith 1993) and diamond wire cutting (Agus et al. 2003; Bortolussi et al. 1990; Bortolussi et al. 1994, Cai et al. 2007; Careddu et al. 2017; Ciccu et al. 1999; Ozcelik 2005).

Although there are several studies about diamond wires in the literature, the number of studies about mono-wire cutting machines is limited. Researchers investigated effective parameters on cutting (Butler-Smith et al. 1999, Huang et al. 2009; Huang & Xu 2013, Yilmazkaya 2013); cutting hard materials Butler-Smith et al. 1999, Denkena & Seiffert 2010, Denkena et al. 2011), bead shape, structure and type (Risso et al. 2007, Huang et al. 2009, Huang & Xu 2013), and bead wear (Zhang & Wang 2004, Risso et al. 2007, Yilmazkaya 2013).

When the studies on mono-wire cutting systems are assessed, it is understood that there are no computer-controlled precision machines. Also, there aren't any studies about the effects of diamond bead diameter on cutting efficiency. Therefore, the cutting performance in mono-wire cutting machines should be analyzed in detail depending on operating parameters. This type of work is only possible with a computer-controlled precision machine. This study aims to investigate the effects of variation of diamond bead diameter on cutting performance parameters (i.e. unit wear and unit energy) in marble cutting with monowire cutting machine. Furthermore, it is also intended to investigate the effect of wire rotational speed (peripheral speed) and wire descending speed (downfeed rate) on cutting performance for different diamond bead diameter values. To achieve these goals, a computer-controlled, fully automatic cutting machine was initially developed in the Mining Engineering Department of Hacettepe University. Some experiments were then performed with a fully automatic, computer-controlled mono-wire block cutting machine on Mugla

Pearl marble sample selected from natural stone quarry located in Turkey.

2 EXPERIMENTAL STUDY

2.1.1 Mono-wire Block Cutting Machine

Mono-wire block cutting machines can be used for squaring natural stone blocks and slab-cutting processes on the blocks. In facilities where these cutting processes are performed, the aim is to manufacture products of the desired quality for the lowest possible cost. With these machines, cutting is performed using diamond wire. The use of diamond wire in the mono-wire cutting process ensures a low degree of diamond wire wear and a longer wire life while helping to perform cuts at high downfeed rate, thus reducing the cutting costs. Therefore, when this machine was designed, it was equipped with various sensors and measuring devices.

The designed and manufactured mono-wire block cutting machine (Fig. 1) was composed of four main units:

- Mechanical unit
- Hydraulic unit
- Electrical and electronic unit
- Automation unit



Figure 1. General view of the mono-wire block cutting machine.

The mechanical unit comprised eight motors and a gearbox that provided movement to the wire. A wagon and bridge system and screw shafts provided the up-down motion system for the pulleys. The hydraulic unit consisted of a hydraulic motor providing


power and a cutting deck to move around the wire axis. A tensioning system applied tension on the wire. The electrical and electronic units included load cells, vibration gauges, a flow metre, bridge termination switches (to terminate the movements of the wagon and bridge) and a control panel. The automation unit comprised a computer that provided automatic control of the mono-wire cutting machine (Yilmazkaya 2013).

2.2 Methodology

In the study, the cutting of marble sample brought from Mugla was performed with the mono-wire cutting machine operated at different peripheral speed, downfeed rates and diamond wire diameter values. Cutting angle values of the wire-driving pulleys were constant. Some physical and mechanical properties of the sample used in the study determined according to ISRM (1981) are given in Table 1.

Table 1. Some physical, mechanical properties, petrographic descriptions and microphotograph of the Mugla Pearl sample

Unit Volume Weight (g/cm^3)	2.72
Apparent Porosity (%)	0.06
Uniaxial Compressive Strength (MPa)	100.4
Tensile Strength (MPa)	7.0
Impact Strength (MPa)	3.6
Bohme Abrasion Resistance ($\text{cm}^3/50\text{cm}^2$)	11.01
Mohs Hardness	3

Sample Name	Petrographic descriptions	Microphotograph of the sample
Mugla Pearl	Marble. Granoblastic texture. Calcite, with accessory muscovite, quartz, titanite and opaque minerals. Average calcite grain size is 535 μm .	

At the beginning of the study, the parameters to be set during the cutting operations were determined. In this context, the peripheral speed and downfeed rate values used in previous studies (from the literature), the speed values of machines used in industry and the limits of the machine developed for this

study were considered. As a result of these investigations, a 28–35 m/s interval was chosen as the wire rotation speed and a 12–20 mm/min interval was chosen as the downfeed rate. In the tests performed in this study, the operating parameters used were applied according to the layout shown in Figure 2.

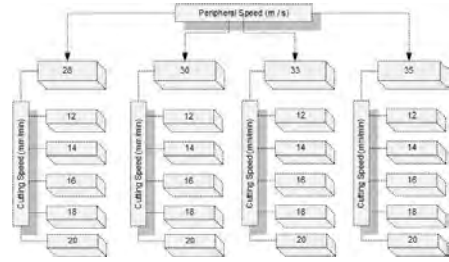


Figure 2. Peripheral speed and downfeed rate values at which the cuts were performed.

The cutting parameters given in Figure 2 were used in mono-wire cutting experiments. In the cuts, a CC250/4 coded spring manufactured by the HRK firm and a 12 m long, plastic-coated diamond wire were used (Fig. 3). Cutting experiments were done with the diamond wires having 3 different bead diameter values (7.3 mm, 8.5 mm, 11 mm).

Figure 3. Image of the diamond wire used in the experiments.



Machine parameters measured during all cutting processes:

- Reaction cutting force in the x-direction in both pulley guides (N)

- Reaction cutting force in the y-direction in both pulley guides (N)
- Tension in wire (MPa)
- Electrical Power (W)
- Vibration of wire (Hz) (in x- and y-directions)
- Water consumption (l/min)

Reactional cutting forces during cutting were measured using load cells. An energy analyser was used for instantaneous energy measurement during cutting, vibration metres were used to measure vibrations on the diamond wire and a flow metre was used to measure the amount of water used. The average amount of water used in cuttings was kept constant between 6 and 8 l/min during the cutting tests. The tensioning piston of the tensioning pulley was stressed up to 1 MPa, and this value was kept constant for all cuts. The width of the rocks cut was 1 metre. Cuts were made for 45 min.

3 ANALYSIS OF EXPERIMENTAL STUDIES

3.1.1 Relationships between peripheral speed and performance parameters

The relationships between peripheral speed and performance parameters (unit energy and unit wear) for different diamond wires are presented in Figures 4 and Figure 5.

According to Figure 4, unit energy values show tendency to decrease with increasing peripheral speed values. The highest unit energy values are obtained at peripheral speed of 28 m/s for each diamond wire type.

Figure 5 indicates that unit wear values show tendency to increase with increasing peripheral speed values. The highest unit wear values are obtained at peripheral speed of 35 m/s.

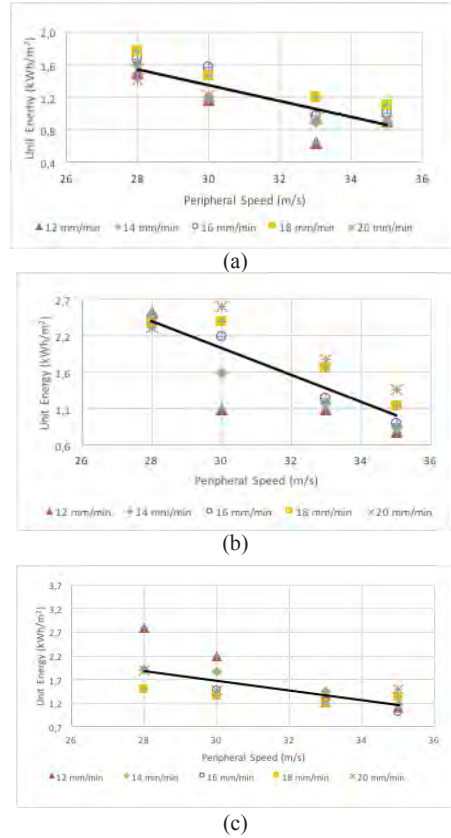
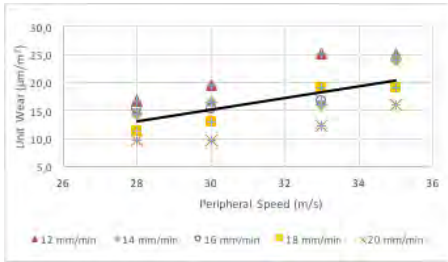
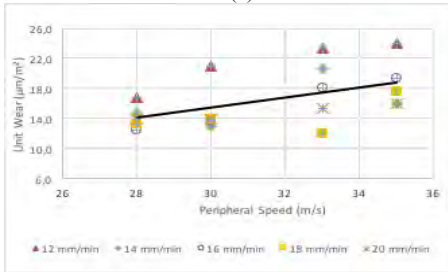


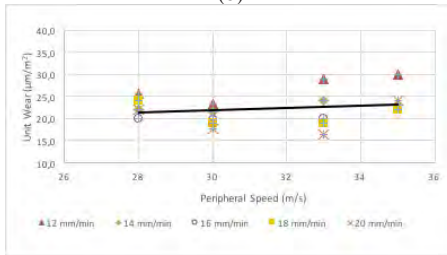
Figure 4. The relationship between peripheral speed and unit energy for diamond wires having different diameter values (7.3 mm (a), 8.5 mm (b), 11 mm (c))



(a)



(b)

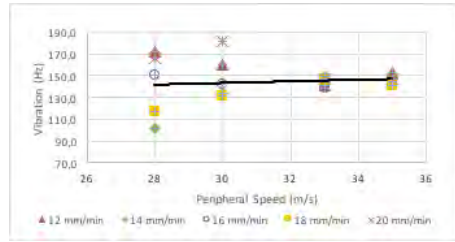


(c)

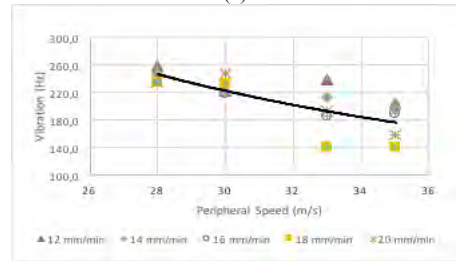
Figure 5. The relationship between peripheral speed and unit wear for diamond wires having different diameter values (7.3 mm (a), 8.5 mm (b), 11 mm (c))

3.2 Relationships between peripheral speed and vibration of wire

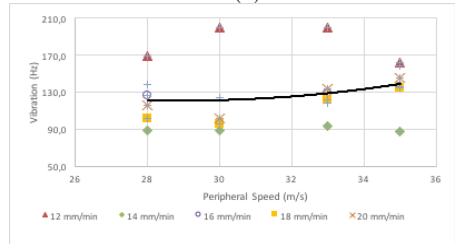
The relationship between peripheral speed and vibration of wire in X and Y direction for diamond wires having different diameters are given in Figure 6 and Figure 7.



(a)



(b)



(c)

Figure 6. The relationship between peripheral speed and vibration of wire in X-direction for diamond wires having different diameter values (7.3 mm (a), 8.5 mm (b), 11 mm (c))

Figure 6 indicates there are not any specific relationships between peripheral speed and vibration of wire in X-direction for diamond wires having different diameter values. According to Figure 7, vibration of wire in Y-direction show tendency to decrease with increasing peripheral speed values. When the peripheral speed increases, oscillation of diamond wire decreases in Y-direction and wire moves with lower vibration.

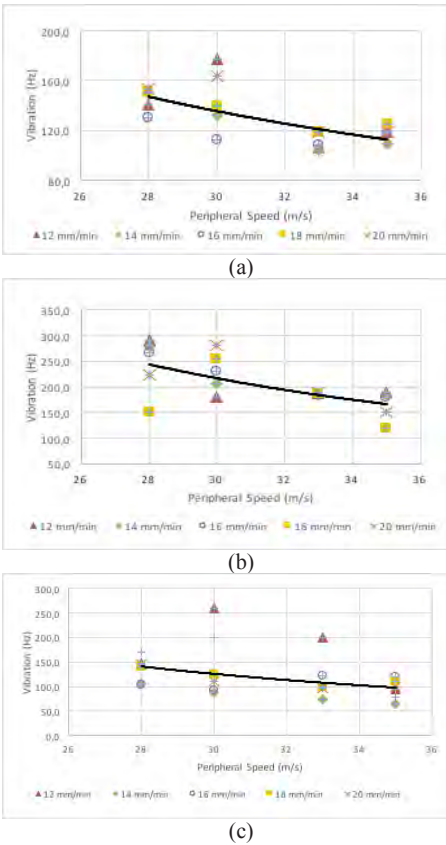


Figure 7. The relationship between peripheral speed and vibration of wire in Y-direction for diamond wires having different diameter values (7.3 mm (a), 8.5 mm (b), 11 mm (c))

4 CONCLUSION

In this study, it is aimed to investigate the effects of variation of diamond bead diameter on cutting efficiency in a monowire cutting machine. For this reason, some laboratory studies have been performed by using the monowire cutting machine on natural stone sample commercially named as Mugla Pearl. The main conclusions drawn from this study are given below;

- It is obtained that unit energy values show tendency to decrease with increasing peripheral speed values. The highest unit

energy values are obtained at peripheral speed of 28 m/s for each diamond wire type.

- It is found out that unit wear values show tendency to increase with increasing peripheral speed values. The highest unit wear values are obtained at peripheral speed of 35 m/s.
- There are not any relationships between peripheral speed and vibration of wire in X-direction.
- Vibration of wire in Y-direction show tendency to decrease with increasing peripheral speed values. When the peripheral speed increases, oscillation of diamond wire decreases in Y-direction and wire moves with lower vibration.

Similar studies can be performed for other natural stones (limestones, granites etc.). Additional rock samples and cutting experiments are needed to see the variations of cutting performance of diamond wires on different natural stones.

ACKNOWLEDGEMENT

The results of this paper are based on a research project entitled as “Effect of the Diameter of Diamond Beads on Cutting in Monowire Block Cutting System” funded by Scientific Research and Development Office of Hacettepe University (FHD-2015-6136). Therefore, we would like to thank to Scientific Research and Development Office for its contributions.

REFERENCES

Agus, M., Bortolussi, A., Careddu, N., Ciccu, R., Grosso, B., Massacci, G., 2003. Influence of stone properties on diamond wire performance, Proc. Fourth International Conference on Computer Applications in the Minerals Industries (CAMI 2003), September 8 – 10, 2003, Calgary, Alberta, Canada. Ed. Singhal/Fytas/Chiwetelu.

Berry, P. 1989. Optimum use of diamond wire equipment in stone quarrying, In: *Proceedings of the 21st APCOM symposium, Colorado Society of Mining Engineers, Littleton, Las Vegas, Nevada*, pp 351-365.

Biasco, G. 1993. Diamond wire for quarrying hard rocks. *Industrial Diamond Review* 5:252-255.

- Bortolussi, A., Ciccu, R., Manca, PP. & Massacci, G. 1990. Simulation and optimization of rock cutting with diamond wire, In: *Proceedings of the XXII. International Symposium APCOM (17-21 September 1990)*, Berlin, pp 163-176.
- Bortolussi, A., Ciccu, R., Manca, PP. & Massacci, G. 1994. Computer simulation of diamond-wire cutting of hard rock and abrasive rock. *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy* 103:55-128.
- Butler-Smith, P.W., Gryzagoridis, J. & Davis, P.R. 1999. A single bead test for assessing diamond wire performance. *Industrial Diamond Review* 2(99):93-101.
- Capuzzi, Q. 1989. Diamond wire cutting technology in granite quarry. *ACIMM for Marble*, November-December.
- Cai, O., Careddu, N., Mereu, M., Mulas, I., 2007. The influence of operating parameters on the total productivity of diamond wire in cutting granite, *IDR-Industrial Diamond Review* 3/07 pagg. 25-32.
- Careddu, N., Perra, E.S. & Masala, O., 2017. Diamond wire sawing in ornamental basalt quarries: technical, economic and environmental considerations. *Bull Eng Geol Environ*. doi:10.1007/s10064-017-1112-6
- Ciccu, R., Agus, M., Bortolussi, A., Massacci, G., Careddu, N., 1999. Diamond wire sawing of hard rocks, in: *Finer Points*, Vol 11, No. 4 1999, pp. 22-30. Skyland, NC : Industrial Diamond Association of America (Pub.). ISSN: 1090-0896. Also printed in: *Ultrahard Materials Technical Conference Proceedings of "Superabrasive & CVD Diamond – Theory & Application"* May 28-30, 1998 – Windsor, Ontario, Canada, and in: *Rivista tecnica "Il Diamante – Applicazioni e Tecnologia"*, Dicembre 1998. Ed. G & M Associated snc.
- Cook, M. & Smith, B.A. 1993. A study of diamond wire bead rotation. *Industrial Diamond Review* 2:79-81.
- Denkena, B. & Seiffert, L.L.F. 2010. Process influences in the wire cutting of concrete. *Advanced Material Research* 126-128:70-76.
- Denkena, B., Köhler, J. & Ermisch, A. 2011. Wire cutting tool concepts for steel machining. *Advanced Material Research* 325:238-243.
- Huang, G., Huang, H. & Xu, X. 2009. Analysis on the fracture failure of brazed diamonds in wire sawing. *Key Engineering Materials* 389-390:436-441.
- Huang, G. & Xu, X. 2013. Sawing performance comparison of brazed and sintered diamond wires. *Chinese Journal of Mechanical Engineering* 26: 1.
- ISRM. 1981. *Rock characterization testing and monitoring; suggested methods*, Oxford.
- Ozcelik, Y. 1999. *Investigation of the working conditions of diamond wire cutting machines in marble industry*, PhD Thesis, Hacettepe University, Ankara (in Turkish).
- Ozcelik, Y., Kulaksız, S. & Çetin, M.C. 2002. Assessment of the wearing on diamond beads in the cutting of different rock types by the ridge regression. *J Mater Process Tech* 127(3):392-400.
- Ozcelik, Y. & Bayram, F. 2004. Investigation of the effects of block size to cutting performance of diamond wire cutting. *Marble* 40:46-54 (in Turkish)
- Ozcelik, Y. 2005. Optimum working conditions of diamond wire cutting machines in marble industry. *Industrial Diamond Review* 65:58-64.
- Risso, L., Vicenzi, B. & Bernieri, S. 2007. Improved cutting performance of diamond beads by means of innovative shape, In: *Proceedings of the 2nd International Industrial Diamond Conference 2007*, Rome, Italy (18-19 April 2007), B.1.1.
- Yilmazkaya, E. 2007. *Investigation of some factors affecting block production with diamond wire cutting method*, MSc Thesis, Hacettepe University, Turkey (in Turkish).
- Yilmazkaya, E. 2013. *Investigation of effective parameters on computer controlled monowire block cutting system*, PhD Thesis, Hacettepe University, Turkey (in Turkish).
- Yilmazkaya, E. & Ozcelik, Y. 2016. The Effects of Operational Parameters on a Mono-wire Cutting System: Efficiency in Marble Processing. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, DOI 10.1007/s00603-015-0743-9 (in press).
- Zhang, J.S. & Wang, Z. 2004. Technical parameters and wear resistibility of diamond wire-saw in granite cutting. *Key Engineering Materials* 259-260:122-126.

Endüstriyel Granit Kesim İşlemlerinde Enerji Tüketimi-Kesim Maliyetleri İlişkisini Açıklamaya Yönelik Ampirik Bir Model Önerisi

An Empirical Model Proposal for Explaining the Relationship Between Power Consumption and Cutting Costs in Industrial Granite Cutting Processes

M. Yurdakul

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi, Kuyumculuk ve Mücevher Tasarımı Bölümü

H. Akdaş

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü

ÖZET Endüstriyel granit kesim işlemlerinde, çok diskli blok kesiciler yaygın olarak kullanılmaktadır. Genel olarak blok kesicilerin kullanıldığı doğal taş kesim proseslerinde en temel problem; testere aşınması ve enerji tüketimi arasında bir denge oluşturup, testere aşınmasının ve enerji tüketim değerlerinin minimum olduğu, bunun yanında üretim-kesim miktarının maksimum olduğu üretim koşullarını yakalamaktır. Hem üretim mühendisleri hem de makine operatörleri bu dengenin oluşturulması için uygun kesim koşullarını oluşturmak zorundadır. Bu çalışmada, endüstriyel granit kesim prosesinde çalışmakta olan, 1200 mm çapında 23 testere monte edilmiş bir blok kesiciden elde edilen veriler kullanılmıştır. Kesme parametrelerinden ilerleme hızı sırasıyla 10, 13, 15 m/dak ve kesme derinliği de sırasıyla 3, 9 mm ve sabit çevresel hız (≈ 35 m/s) seçilmiştir. Her bir kesim koşulunda seyyar bir güç analizörü yardımıyla enerji tüketim değerleri ölçülmüştür. Enerji tüketim değerlerinin kesme derinliği ve ilerleme hızına bağlı artış ve azalış oranları değerlendirilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar kullanılarak, sığ ve derin kesim koşullarında kesim maliyetini optimize etmek için bir yaklaşım getirilmiş ve enerji tüketimi, üretim hızı ve testere maliyetleri arasındaki ilişkiyi açıklayan ampirik bir model önerilmiştir.

ABSTRACT In industrial granite cutting processes, large-diameter multi-disc block cutters are widely used. In general, the essential problem of the natural stone cutting processes using block cutters is to achieve a balance between saw blade wear and power consumption so as to provide the production conditions that not only minimize the saw blade wear and power consumption values, but also maximize the output. Both the production engineers and the operators must provide the cutting conditions suitable for achieving this balance. In this study, data obtained from a block cutter equipped with 23 saws each having a diameter of 1200 mm, operating in an industrial granite cutting process, were used. Among the cutting parameters, the feed rates were selected as 10, 13, 15 m/min respectively; the cutting depths were selected as 3, 9 mm respectively, and the constant peripheral speed was selected as ≈ 35 m/s. Power consumption values were measured by means of a portable power analyser under each of the cutting conditions. Rates of increase and decrease of power consumption values depending upon the cutting depth and the feed rate were evaluated. By using the results obtained from this study, an approach was introduced to optimize the cutting costs under shallow and deep cutting conditions, and an empirical model describing the relationship between power consumption, production rate and saw blade costs was proposed.

1 GİRİŞ

Mermerler ve sert taşlar olarak sınıflandırılabilir doğal taş endüstrisinde; sert taşlar kategorisinde granitler önemli bir yere sahiptir. Hem renk çeşitliliği hem de görece yüksek dayanım özellikleri ile yapı taşı ve kaplama malzemesi olarak sıklıkla kullanılırlar. Hem kesim hem de işleme anlamında, hem ocakta hem de doğal taş işleme tesislerinde granitler farklı teknolojik özellikler gerektirirler. Özellikle bu çalışmanın konusu olan granitlerin, blok kesicilerle yapılan kesme işlemleri mermerlerin kesim koşullarına göre büyük farklılıklar gösterir. Granitler daha farklı soket yapısı, gövde tasarımı ile çoklu testereli blok kesicilerle (multi blade block cutters) kademeli olarak sığ derinliklerde kesilirler. Literatürde, genellikle laboratuvar ölçekli çalışmalarda, tek testereli ve tek soketli kesicilerle granit kesimi ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Genellikle soket aşınması ve testereye gelen yüklerle ilgili bu çalışmaların başlıcaları şöyle özetlenebilir; Konstany (2002) çalışmasında granit kesimlerinde birlikte kullanılan aşağı ve yukarı yönlü kesim koşullarını ve bunların sokette meydana getirdiği aşınma mekanizmasını incelemiştir. Testere ömrünü etkileyen ya da iyileştiren en iyi kesim moduna ait önerilerde bulunmuştur. Ünver (1996) granitlerle gerçekleştirdiği çalışmasında özgül aşınma ve kesme kuvvetlerinin önceden tahminine yönelik yaklaşımlarda bulunmuştur. Söz konusu çalışmada, testere aşınması ile kayacın kuvars içeriği ortalama tane boyu ile NCB koni delici değeri, ortalama plajiyoklas tane boyu arasında istatistiksel bir ilişki kurulmuştur. Webb ve Jackson (1998) granit kesim işlemlerinde kesme kuvvetlerinin testere aşınması üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda aşınma ile normal kesme kuvvetinin, teğetsel kesme kuvvetine oranı arasında anlamlı bir ilişki olduğu ortaya konulmuştur. Ertingshausen (1985) 600 mm çapında testereye sahip bir köprü kesme makinası kullanarak yaptığı çalışmasında 10-60 mm kesme derinliğinde testler gerçekleştirmiştir. Çalışmasında Colombo kırmızı granit kullanmıştır. Bu çalışmada,

kesme derinliği 20-25 mm'nin altında olduğu zaman yukarı yönlü kesim koşulunun (up cutting mode), daha derin kesimlerde ise aşağı yönlü kesim koşulunun (down cutting mode) daha avantajlı olduğunu savunmuştur. Xu (1997) dairesel testere kullanılan granit kesimi işlemlerinde, segment içerisinde yer alan elmas tanelerinin kesilecek granit parçası ile olan ilişkilerini incelemiş ve bu ilişkilerden yola çıkarak kesim için harcanan enerjinin bu etkileşimden nasıl etkilendiğini ortaya koymuştur. Bu çalışmanın sonunda kesim enerjisinin en çok elmas tanelerinin kesim yüzeyine sürtünmesi sonucu harcandığı sonucuna varmıştır. Luo (1997) soket aşınmasını incelediği çalışmasında, dairesel testereyle 20-30 mm derinlikli granit kesim işlemlerinde elmas tanelerinin durumunun kesme verimliliği üzerine etkisini incelemiştir. Li vd. (2002) maliyetin önemli bir faktör olduğu granit kesim işlemlerinde kesilen malzeme ile elmas soketli testere arasındaki etkileşimin önemine vurgu yapmışlardır. Özellikle Titanyum-Krom alaşımlarla kaplanmış elmas tanelerinin, kayaktan kopan parçaların atılması için daha büyük boşluklar sağladığına ve kayaç ile soket arasındaki sürtünmenin bu kaplama yöntemi ile azalacağı sonucuna varmışlardır. Sun vd. (2002) elmas soketli dairesel testerele elmas tanelerinin tutunduğu matriks yapısını değiştirerek, matrikse yaptıkları SiC ilavesi ile daha yüksek kesme verimi elde edileceği sonucuna varmışlardır. Ersoy vd. (2005) sert ve aşındırıcı kayaçların kesiminde testere aşınma karakteristikleri üzerine gerçekleştirdikleri çalışmalarında; özgül kesme enerjisinin açıklanmasında kayacın silis içeriğinin, eğilme dayanımının ve Schmidt çekici sertlik değerinin istatistiksel bir modelle kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır. Yine Ersoy ve Atıcı (2005) 400 mm çapında elmas soketli dairesel testere ile gerçekleştirdikleri çalışmada 3 farklı grupta 16 farklı kayaçla çalışmışlardır. Çalışmanın sonucunda özgül kesme enerjisi ile kayaç fiziksel ve mekanik özellikleri arasında anlamlı bir ilişki olduğu ve kesme derinliği arttıkça özgül kesme enerjisinin azaldığı sonucuna varmışlardır. Aynı şekilde 400 mm çapında elmas soketli dairesel testere

kullanarak gerçekleştirdiği çalışmasında Büyüksağış (2007) kesme koşulunun granit kesme performansı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Testlerde çevresel hız 65 m/s, ilerleme hızı 0.45 m/dak ve kesme derinliği de 20 mm olarak seçilmiştir. Çalışmadan elde edilen verilere göre özgül kesme enerjisi ve özgül aşınma değerlerine göre yukarı yönlü kesim (up cutting) metodunun aşağı yönlü kesime göre daha avantajlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Zhang vd. (2013), Wulian kırmızı granit ile gerçekleştirdikleri çalışmalarında kesme kuvvetleri ile ilerleme hızı ve kesme derinliği arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır.

Literatürdeki benzer çalışmaları çoğaltmak mümkündür. Literatürdeki çalışmaların tamamı laboratuvar koşullarında gerçekleştirilen çalışmalar olup, kesme testlerinde genellikle 200-400 mm çaplı elmas soketli dairesel testere kullanılmıştır.

Bu çalışma endüstriyel ölçekte gerçekleştirilmiş olup verilerin tamamı bir granit kesim tesisinde aktif olarak kullanılan ve ticari amaçlı kesimler gerçekleştiren çoklu testereli blok kesiciden elde edilmiştir. Bu amaçla kullanılan 23 testereli blok kesiciden sığ ve derin kesim koşullarında hem aşağı hem yukarı yönlü kesim koşulları karşılaştırılmış ve kesim maliyetini optimize etmek için enerji tüketimi, üretim hızı ve testere maliyetleri arasındaki ilişkiyi açıklamaya çalışan ampirik bir model geliştirilmiştir.

2 KESİLEN MALZEME VE VERİLERİN ELDE EDİLMESİ

Bu çalışmada Bilecik ilinde faaliyet gösteren bir doğal taş işletmesinde çoklu testereli blok kesici yardımıyla plaka haline getirilen Balmoral kırmızı granitin kesiminden elde edilen endüstriyel veriler kullanılmıştır.

2.1 Kesilen Malzeme

Granit kesim işlemlerinde, kesilecek granitin fiziksel ve mekanik özellikleri kesim işlemini etkiler. Bunun nedeni ticari isimle satılan her bir granit örneğinde fiziksel ve mekanik özelliklerin oldukça geniş bir ölçekte değişkenlik göstermesidir. Bu çalışmada kesme testleri boyutları 160x170x250 cm ile

180x180x300 cm arasında değişen Balmoral kırmızı granit (Rapakivi graniti) blokları ve bunların kırılmış görece ufak ebatlı parçalarından oluşan blokları üzerinde gerçekleştirilmiştir. Finlandiya Jeoloji Araştırmaları Enstitüsü verilerine göre kesilen kayaca ait bazı fiziksel ve mekanik özellikler Çizelge 1'de verilmektedir. Balmoral kırmızı graniti mineralojik bileşimi tüm Rapakivi granitlerinde olduğu gibi ağırlıklı olarak plajiyoklas tarafından çevrilen iri ortoklas kristallerinden oluşmuştur. Bu çalışmada kullanılan Balmoral kırmızı granitin mineralojik bileşimi; K-feldspat (%39.6), kuvars (%30.1), plajiyoklas (%22.1), biotit (%5.2), muskovit (%1.3) ve %1.8 diğer minerallerden ibarettir.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan Balmoral kırmızı granite ait genel fiziksel ve mekanik özellikler.

Standart	Kayaç	Balmoral Kırmızı
EN 13755	Su emme (%)	0.12
EN 1936	Görünür yoğunluk (kg/m ³)	2640
EN 1936	Açık gözeneklilik (%)	0.39
EN 1926	Basınç dayanımı (MPa)	171
EN 12371	Don sonrası basınç dayanımı (MPa)	179
EN 12372	Eğilme dayanımı (MPa)	13.4

2.2 Kesme Verilerinin Elde Edilmesi

Bu çalışmada kullanılan veriler Bilecik'te aktif olarak çalışan bir doğal taş işleme tesisinden gerçek zamanlı elde edilmiştir. Balmoral kırmızı granite ait bloklar; üzerine 23 testere monte edilmiş, 2 kolonlu çoklu testereli blok kesici tarafından kesilmiştir (Şek. 1).

Blok kesicideki her bir elmas soketli dairesel testerenin çapı 1200 mm'dir. Testere soket genişliği 8 mm olup, soket uzunluğu 24 mm ve yüksekliği de yaklaşık 12 mm'dir. Soketlerin Rockwell sertliği B90 olup, konik-sandviç tiptir. Testere gövdesi Rockwell sertliği 42-45 olan 75 Cr1 çeliğinden imal edilmiştir. Laboratuvar ölçeğinde kullanılan testere, gövde dayanımları daha düşük ve soket yapıları farklı ve genellikle kesilmiş plakaların ebatlanmasında kullanılan görece küçük çaplı testerelelerdir. Dolayısıyla büyük

ebatlı testere kesim esnasında farklılıklar gösterirler. Bu nedenle bu tür çalışmalarda testere ve soket yapısına ait bilgilerin belirlenmesi önemlidir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan blok kesici ve kesilen bloklardan genel görünüm.

Bu çalışmada kullanılan veriler gerçek zamanlı kesim verileri olup blok kesicinin elektrik panosunda akım ölçerler ve gerilim krokodilleri kullanılarak ölçüm yapan bir güç analizöründen elde edilmiştir. Güç analizörleri akım, gerilim ve motor çarpanını aynı anda ölçerek, tüketilen güç miktarını anlık olarak kaydederler.

Blok kesicilerle granit bloklarından plaka elde edilmesinde testere, diğer doğal taş ve mermer kesim işlemlerinden farklı olarak çalıştırılır. Testere hem ileri hareketinde hem de dönüş hareketinde kesim yapar ve istenilen kesme derinliğine testerenin birden fazla kesim turunda ulaşılır. Bu işleme kademeli kesim işlemi de denilir. Testerenin ileri ve geri hareketinde, hem kesme derinlikleri, hem de ilerleme hızları birbirinden farklı seçilir.

Bu çalışmada testerenin ileri ve geri hareketinde, hem kesme derinliği hem de ilerleme hızı aynı seçilmiştir. Bunun nedeni ileri ve geri yönlü kesimde testere soket davranışının aynı parametrelerle belirlenebilmesini sağlamaktır.

Testere ilerleme hızları sırasıyla 10, 13, 15 m/dak ve kesme derinlikleri de sıg ve derin

kesimlerdeki farklılıkları görmek amacıyla 3 mm ve 9 mm seçilmiştir. Bunun yanında tüm kesme testlerinde çevresel hız yaklaşık 35 m/s seçilmiştir. Kesme testlerine ait çalışma parametreleri Çizelge 2’de verilmektedir.

Çizelge 2. Kesme testlerine ait çalışma parametreleri.

Kesme Derinliği (mm)		İlerleme Hızı (m/dak)	
İleri	Geri	İleri	Geri
3	3	10	10
		13	13
		15	15
9	9	10	10
		13	13
		15	15

Her bir kesimde en az 20 turda kesim anında tüketilen enerji değerleri güç analizörü aracılığıyla kaydedilmiş ve bir bilgisayar yazılımıyla da sonuçların ortalaması değerlendirilmiştir.

3 SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Endüstriyel granit kesim işlemlerinde, testere ileri doğru giderken aşağı yönlü kesim koşulunda (down cutting mode), testere geri hareketinde ise yukarı yönlü kesim koşulunda (up cutting mode) kesim yapar. Bu çalışmada hem ileri hem de geri yönlü kesimden elde edilen enerji tüketim değerleri Çizelge 3’te verilmektedir.

Çizelge 3. Kesme testlerinden elde edilen veriler.

Kesim	Kesme Derinliği (mm)		İlerleme Hızı (m/dak)		Ortalama Güç Tüketimi (kW)	
	İleri	Geri	İleri	Geri	İleri	Geri
1	3	3	10	10	21.98	24.20
2	3	3	13	13	24.76	27.51
3	3	3	15	15	27.28	30.23
4	9	9	10	10	43.23	45.31
5	9	9	13	13	51.54	55.31
6	9	9	15	15	59.21	61.38

Çizelge 3’te aşağı yönlü kesim koşulunda, 3 mm kesme derinliğinde, kesim hızı 10 m/dak’da kesim yapıldığında ortalama güç tüketimi 21.98 kW iken, kesim hızı 15

m/dak'ya çıkartıldığında ortalama güç tüketimi 27.28 kW olarak belirlenmiştir.

Tüm koşulların aynı kaldığı düşünülüğünde 1.5 kat daha hızlı kesim yapıldığında güç tüketimindeki artış miktarı 1.24 kat olmaktadır.

Aynı sonuç geri kesim yönünde de belirlenmiştir.

Bu durumda enerji artış miktarı ile ilerlemedeki değişim aynı olmadığı için, aynı kesme derinliğinde hızlı kesimin enerji tüketimi anlamında daha avantajlı olduğu sonucuna varılabilir. Bu durum, aynı zamanda işçilik maliyetleri için de geçerlidir. Tüm koşullar aynı olmak kaydıyla kesme hızı dakikada 5 metre daha hızlı kesmek işçilik maliyetlerini de düşürecektir.

Yine Çizelge 3'te yer alan aşağı yönlü kesim koşulunda gerçekleşen 9 mm derinliğindeki kesim koşullarında 10 m/dak kesim hızında ortalama güç tüketimi 43.23 kW iken, kesim hızı 15 m/dak'ya çıkartıldığında güç tüketiminin 59.21 kW olduğu görülmektedir. Bu durumda kesim hızının 1.5 kat artırılmasıyla tüketilen güç miktarının yaklaşık 1.36 kat arttığı görülmektedir. Bu durumda da ilerleme hızını 1.5 kat artırmanın, enerji tüketimini 1.5 kattan daha az artırdığı görülmektedir. Dolayısıyla kesme derinliğinin 9 mm olduğu kesim koşullarında da hızlı kesimin görece daha avantajlı olduğu görülmektedir.

Burada dikkat edilmesi gereken husus hızın artırılması durumunda testerenin bundan nasıl etkileneceğidir. Bu çalışmada ileriki paragraflarda, kesme maliyeti-kesme derinliği ilişkisini açıklamaya çalışan bir model geliştirilmiştir.

Bilinmektedir ki hızlı kesim koşullarında testereye gelen kesme kuvvetleri artacağından testeredeki aşınma miktarı da artacaktır. Bu durumda şu konunun iyi değerlendirilmesi gerekir; hızlı kesim ile sağlanan enerji ve işçilik tasarrufu, testere maliyetini karşılıyorsa hızlı kesim her zaman avantajlı olacaktır.

Yine Çizelge 3'ten elde edilebilecek bir diğer sonuç da dairesel testerenin ileri ve geri kesim hareketinde (up cutting-down cutting) enerji tüketim değerlerinin değişimidir. Çizelge 3'ten de görüldüğü gibi tüm kesim

koşullarında aşağı yönlü kesim ile yukarı yönlü kesim enerji tüketim değerleri arasındaki fark aşağı yönlü kesim lehinedir. Yani aşağı yönlü kesim enerji tüketim değerleri görece daha düşüktür. Her bir kesim koşulunda aşağı yönlü kesim ile yukarı yönlü kesim enerji tüketim değerleri arasındaki fark yaklaşık 3 kW olarak belirlenmiştir. Aşağı yönlü kesimin enerji tüketimi anlamında avantajlı olduğuna dair literatürde bir çok çalışma bulunmaktadır (Luo vd. 1995, Büyüksağış 2007, Nageswara vd. 2011).

Bu çalışmadan elde edilen bir diğer sonuç da kesme derinliği-enerji tüketim değerleri arasındaki ilişkidir. Bu anlamda Çizelge 3'te yer alan Kesim 1 ve Kesim 4 incelendiğinde; tüm koşulların aynı kaldığı kesme durumunda kesme derinliği 3 mm ilerleme hızı 10 m/dak iken tüketilen enerji miktarı 21.98 kW'dır (Kesim 1). Aynı şekilde Kesim 4 incelendiğinde; kesme derinliği 9 mm ve ilerleme hızı 10 m/dak iken tüketilen ortalama güç değeri 43.23 kW'dır. Buradan elde edilen en şaşırtıcı sonuç kesme derinliği 3 kat arttırıldığında (Kesim No 1: 3 mm, Kesim No 4: 9 mm) enerji tüketim değerinin 3 kat artmamasıdır.

Derinlik 3 kat arttırıldığında güç tüketimindeki artış miktarı yaklaşık 1.97 kattır.

Bu durumda derinliğin 3 kat artırılması ile enerji tüketim değerlerinden tasarruf edildiği sonucuna varılmaktadır.

Bunun yanında derinliğin 3 kat artırılması ile kesim süresinin 3 kat azalacağı, işçilik maliyetinin 3 kat azalacağı, iş kazası olasılığının 3 kat azalacağı ve bir başka araştırma konusu olan birçok parametreden de 3 kat tasarruf edilebileceği sonucuna varılabilir.

Tüm bunların sonucunda en önemli husus kesme derinliğinin 3 kat artırılması durumunda testere aşınmasının ne kadar artacağı konusudur. Bir başka deyişle kesme derinliğini 3 kat artırmak mı yoksa sığ derinliklerde çalışmak mı testere maliyetleri anlamında avantajlıdır. Bu anlamda bu çalışmada bu durumu açıklayan yeni bir ampirik model geliştirilmiştir.

Tüm mühendislik çalışmalarında fayda-maliyet kavramı sıklıkla dile getirilir. Bu

çalışmada endüstriyel granit kesim işlemlerinde kesim maliyetine bir yaklaşım getirilmiştir.

Ortalama kesim maliyeti, AVC (average valuable cost) olarak tanımlanmıştır. AVC birçok faktörden etkilenir. Genel olarak formülize etmek gerekirse standart kesim koşullarında “ AVC ”, Eşitlik 1’de gösterildiği gibi açıklanabilir.

$$AVC_{i,j} = \alpha_{i,j} E + \beta_{i,j} L + \gamma_{i,j} B \quad (1)$$

Eşitlik 1’de; α, β, γ maliyet katsayıları olmak üzere; αE ; birim enerji maliyeti, βL ; birim işçilik maliyeti ve γB ; birim testere maliyeti olarak tanımlanmıştır.

“ i ve j ” indisleri ise sırasıyla sıg ve derin kesimleri tanımlamaktadır.

Sıg ve derin kesime bir yaklaşım getirmek üzere;

Eğer;

$$AVC_i > AVC_j \quad (2)$$

derin kesim tercih edilmelidir.

Eşitlik 1 ve Eşitlik 2 birleştirilerek, derin kesimin avantajlı olacağı Eşitlik 3 elde edilebilir.

$$\alpha_i E + \beta_i L + \gamma_i B > \alpha_j E + \beta_j L + \gamma_j B \quad (3)$$

Çalışmadan elde edilen veriler göre, ilerleme hızı ve diğer tüm şartlar sabit olmak koşulu ile derin kesimde (9 mm) tüketilen enerji, sıg kesimde (3 mm) tüketilen enerjinin 1.8 katıdır (≈ 2). Bunun yanında, 9 mm derinliğinde kesim yapmak için 3 mm’deki işçiliğin 3 katı işçilik gereklidir ($03 \times 3 = 9$ mm).

Bu veriler ışığında Eşitlik 4 yeniden düzenlenirse;

$$(\alpha_i - \alpha_j)E + (\beta_i - \beta_j)L + (\gamma_i - \gamma_j)B > 0 \quad (4)$$

(Derin kesim avantajlı)

$$(1 - 2)E + (3 - 1)L + (\gamma_i - \gamma_j)B > 0 \quad (5)$$

$$-E + 2L + (\gamma_i - \gamma_j)B > 0 \quad (6)$$

(7)

$$2L - E > \gamma_i B - \gamma_j B \quad (8)$$

Eşitlik 8’in geçerli olduğu durumda derin kesim avantajlıdır.

Uygulamada derin kesimde sıg kesime göre testerenin daha çabuk tüketildiği bilinen bir gerçektir. Yani derin kesim için testere maliyeti, sıg kesime göre her zaman yüksektir. Bu durum göz önünde bulundurularak Eşitlik 8 yeniden düzenlenirse;

$$\gamma_j B - \gamma_i B > E - 2L \quad (9)$$

Eşitlik 9 elde edilir. Eşitlik 9’daki koşulda, kesim maliyeti anlamında derin kesim avantajlıdır.

Eşitlik 9’daki maliyet hesaplamaları, üretim miktarı olan m^2 cinsinden yapılabilir. Endüstriyel anlamda üretici için en önemli konu, siparişin zamanında yetiştirilmesidir. Mühendislik anlamında en temel problem ise hızlı ve derin kesimin avantajlı olduğu optimum kesim koşullarının belirlenmesidir. Kesme derinliğinin 3 kat artmasıyla birlikte testeredeki aşınmalardan dolayı testere ömrünün de azalacağı, dolayısıyla da kesme maliyetlerinin artacağı da bilinen bir gerçektir.

Derinliğin artırılması ile işçilikten ve enerji tüketiminden tasarruf edildiği gerçeğinden yola çıkarak, yapılan tasarrufun testere maliyetini karşılayıp karşılayamayacağı bu çalışmada sunulan Eşitlik 9 ile açıklanabilir.

Operatör ya da işletmeci için her bir kesim özel bir sipariştir ve o kesimden elde edilecek kar ile kesim maliyeti arasında bir denklem kurulur. Bu denklemde, kesimin planlanan zamanda bitmesi, maliyet-zaman ilişkisi, işçilik gibi faktörler oldukça önemlidir.

Bu çalışmadan elde edilen denklem kesimin nasıl daha ekonomik yapılacağına dair bir karar vermek konusunda bir yaklaşım getirmek için kullanılabilir. Tüm doğal taş kesme işlemlerinde, kesim parametrelerini optimize etmenin temel şartı, öncelikle prosesin doğru ve iyi anlaşılmasıdır. Bu çalışmada çoklu testere blok kesici kullanılan endüstriyel granit kesim prosesi ele alınmış ve kesme koşullarının optimize edilebilmesi için bir model önerilmiştir.

KAYNAKLAR

Büyüksağış, I, S, 2007. Effect of cutting mode on the sawability of granites using segmented circular

- diamond sawblade. *Journal of Materials Processing Technology*, 183, s. 399–406.
- Ersoy, A, Büyüksağış S, Atıcı U. 2005. Wear characteristics of circular diamond saws in the cutting of different hard abrasive rocks. *Wear*, 258 s. 1422–1436.
- Ersoy, A, Atıcı U, 2005. Specific Energy Prediction for Circular Diamond Saw in Cutting Different Types of Rocks Using Multivariable Linear Regression Analysis. *Journal of Mining Science*, 41, 3, s. 240–260.
- Ertingshausen, W, 1985. Wear processes in sawing hard stone. *Industrial Diamond Review*. 5, s. 254–258.
- Konstanty, J, 2002. Theoretical analysis of stone sawing with diamonds. *Journal of Materials Processing Technology*. 123, s. 146–54.
- Li, Y, Huang, H, Shen J, Y, Xu, X, P, Gao, Y, S, 2002. Cost-effective machining of granite by reducing tribological interactions. *Journal of Materials Processing Technology*, 129, s. 389–394.
- Luo, S, Y, 1997. Investigation of the worn surfaces of diamond sawblades in sawing granite. *Journal of Materials Processing Technology*. 70, s. 1–8.
- Luo, S, Y, Liao Y, S, 1995. Study of the behaviour of diamond saw blades in stone processing. *Journal of Materials Processing Technology*. 51, S. 296–308.
- Nageswara, R, B, Neslon, J, E, B, Balunaik B, 2011. Study and analysis of cutting forces in Granite Machining. *International Journal of Technology and Engineering System*. 2, 2, s. 119-122.
- Sun, L, Pan, J, S, Lin C, J, 2002. A new approach to improve the performance of diamond sawblades. *Materials Letters*, 57, s. 1010–1014.
- Ünver, B, 1996. A statistical method for practical assessment of sawability of rocks. In: Barla, editor. Proc. ISRM Int. Symp. Eurock 96. s. 59–65, Rotterdam.
- Webb, S, W, Jackson W, E, 1998. Analysis of Blade Forces and Wear in Diamond Stone Cutting. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 120, s. 84-92.
- Xu, X, 1997. Friction studies on the process in circular sawing of granites. *Tribology Letters*, 7, s. 221–227.
- Zhang, Z, Xiao, H, Wang, G, Zhang, S, Zhang, S, 2013. Modeling and Experimental Study on Cutting Force of Diamond Circular Saw in Cutting Granite Using Response Surface Methodology. *Advanced Materials Research*, 652-654, s. 2191–2195.

Karaman Bölgesi Travertenlerinin Plaka Üretim Maliyetlerinin Belirlenmesi

Determination of Slab Production Costs of Karaman Region Travertines

S. Dündar

Selçuk Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Konya

N. Bilim

Selçuk Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Konya

ÖZET Doğal taş bloklarının, son ürün elde edilmesi için işlendiği yerler olan doğal taş işleme tesislerinde amaç, mümkün olan en düşük maliyetle piyasa tarafından ihtiyaç duyulan miktarda ve istenen kalitede ürünün üretilmesinin sağlanmasıdır. Dünya’da ve Türkiye’de doğal taş kullanımı giderek artmaktadır. Türkiye doğal taş ihracatı yapan ülkeler arasında önemli bir konuma sahiptir. Doğal taş ihracatı yapan ülkeler arasında bir adım öne geçebilmek için doğal taş işleme tesislerinde plaka üretim maliyetlerinin düşürülmesi ihracat gelirlerinin artmasına da katkı sağlayacaktır.

Bu çalışma kapsamında Konya’daki bir doğal taş işleme tesisinde, Karaman bölgesinden çıkarılan traverten cinsi doğal taş bloklarında kesilebilirlik deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elmas soketli dairesel testereli blok kesme makineleri ile farklı kesme derinliklerin yapılan kesme işlemleri sonucunda, elektriksel tüketim değerleri ölçülmüştür. Sonuçta bir plaka kesimi ve blok kesimi için tüketilen elektrik enerjisinin miktarı hesaplanarak, plaka ve blok üretim maliyetleri belirlenmiştir.

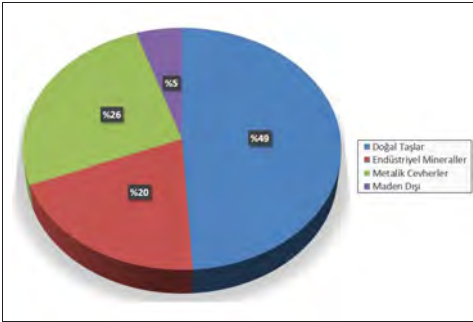
ABSTRACT In natural stone processing plants, where natural stone blocks are processed to obtain final products, the aim is to produce the product at the required amount and in the desired quantity at the lowest possible cost. The use of natural stone is increasing in the world and in Turkey. Turkey has an important position among the countries that export natural stone. In order to be one step ahead of natural stone exporting countries, reducing the slab production costs in natural stone processing facilities will contribute to increase export revenues.

Within the scope of this study, cutting analyses were carried out with travertines from Karaman Region in a natural stone processing plant in Konya. Electricity consumption of diamond segmented circular saw machines were determined for different cutting depth. As a result electricity consumption were determined for one slab production and cutting a natural stone block. Production cost for one slab and one natural stone block were calculated by electricity consumption.

1 GİRİŞ

Dünyada doğal taşlara olan talep sürekli artmakta ve doğal taş sektörü büyümektedir. Ülkemiz Alp-Himalaya kuşağında yer aldığından dolayı doğal taş rezervi olarak dünyanın önde gelen ülkelerindedir. Türkiye Cumhuriyeti Ekonomi Bakanlığı (2016) verilerine göre dünyanın en zengin mermer yataklarının bulunduğu bu Alp - Himalaya kuşağında yer alan ülkemiz 5,1 milyar m³ (13,9 milyar ton) mermer rezervi ile dünyada ki 15 milyar m³ 'lük rezervin %33' üne sahiptir.

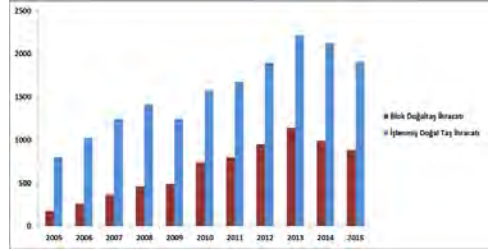
Türkiye, doğal taş ihracatçı ülkeler arasında da önemli bir yere sahiptir. İstanbul Maden ve Metaller İhracatçıları Birliği İMMİB (2015) verilerine göre, Türkiye'de toplam maden ihracatı içinde doğal taş ihracatı 6,5 milyon ton ve 1,9 milyar \$ ile 2015 yılında ilk sırada yer almaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. 2015 yılı maden sektörü ihracat oranları

2015 yılı içerisinde yapılan doğal taş ihracatımızın %45,8'lik kısmını blok mermer ve traverten oluşturmaktadır, %39,5'lük kısım ise işlenmiş mermer ve %11,9'lük kısım işlenmiş travertendir. Geriye kalan %2,8'lik dilimi ise diğer doğal taşların ihracatı oluşturmaktadır.

Dünya doğal taş ticareti potansiyelinin büyük bir kısmını oluşturan işlenmiş ürünler 2015 yılında, doğal taş ihracatımızdan yaklaşık %53,7 pay alırken, ham, kabaca yontulmuş veya blok ürünler ise %46,3 pay almıştır (Şekil 2).



Şekil 2. 2005-2015 yılları arasında işlenmiş ve ham doğal taş ihracat gelirleri (Milyon ABD doları) (İMMİB, 2015)

Doğal taşların ham halde ihracatının yapılması ile işlenmiş olarak ihracatının yapılması arasında miktar olarak çok fark olmamasına rağmen ihracat gelirleri olarak incelendiğinde çok büyük fark olduğu görülmektedir. Bu durum göz önüne alındığında işlenmiş doğal taş ihracatının yapılması ülkemize daha büyük katkılar sağlayacaktır.

Doğal taşların birim satış fiyatlarının belirlenmesinde en önemli parametre doğal taş işleme tesislerinde bir plakanın maliyetinin belirlenmesidir. Bir plakanın maliyeti belirlendikten sonra bloğun maliyeti belirlenebilecek ve dolayısıyla satış fiyatı belirlenebilecektir. Bu nedenle kayaçların kesilmesi esnasında harcanan enerjinin bilinmesi büyük önem arz etmektedir. Spesifik veya özgül enerji olarak adlandırılan ve kayaçtan birim hacimde malzeme koparılması için gereken enerji miktarının belirlenmesi doğal taşların maliyeti analizleri için önemlidir. Doğal taş işleme tesislerinde spesifik enerji, oluşturulan birim yüzey alanı için harcanan enerji miktarı olarak hesaplanmaktadır. Spesifik enerjinin hesaplanması çalışan makinelerinin performans analizlerinin yapılması için önemli bir parametredir. Ayrıca hesaplanan spesifik enerji kayaçlar için bazı işlemler sonucunda maliyet hesabı yapabilmek için de kullanılabilir. (Ersöy ve Atıcı (2004), Kahraman vd.

Doğal taşlarda spesifik enerji kavramı üzerine birçok araştırmalar yapılmıştır. (Ersöy ve Atıcı (2004), Kahraman vd.

(2004), Ersoy ve ark. (2005), Büyüksağış ve Göktan (2005), Engin ve Özkan (2008), Kılıç ve ark. (2008), Güney (2011), Bilim (2012), Yurdakul ve Akdaş (2012), Şengün ve Altındağ (2013)). Fakat maliyet analizi üzerine yapılan çalışmalar çok azdır.

Bu çalışma, özellikle doğal taş üretimi yapan işletmelere faydası olması düşüncesiyle yapılmaya karar verilmiştir. Doğal taş plakalarının üretiminde çok büyük bir yer tutan elektrik enerjisi maliyetinin hassas olarak bilinmesi işletmelere maliyet analizlerinde büyük faydalar sağlayacaktır. Bu amaçla, bu çalışmada bir traverten plakasının kesimi için harcanan elektrik enerjisi maliyeti belirlenmiştir.

2 MATERYAL VE METOD

Doğal taş işleme tesislerinde doğal taş bloklarından plaka elde etmek için katraç ve elmas soketli dairesel testereli blok kesme makineleri kullanılmaktadır. Katraç makinelerinde, elmas soketli dairesel testereli blok kesme makinelerine kıyasla daha büyük boyutlarda ve düzgün şekilli doğal taş bloklarının kesme işlemleri yapılmaktadır. Elmas soketli dairesel testereli blok kesme makinelerinde ise daha küçük boyutlarda bloklar ve düzgün şekilli olmayan molozların kesim işlemleri yapılmaktadır. Elmas soketli dairesel testereli blok kesme makineleri düşey düzlem ve yatay düzlemde iki testerenin aynı anda çalışması prensibine göre çalışmaktadırlar. Düşey düzlemde kesme işlemini gerçekleştiren dikey testerenin sayısı birden fazla olabilmektedir. Dikey testerenin çapı yatay düzlemde kesme işlemini gerçekleştiren yatay testereden büyüktür. Kesme derinliği elmas soketli dairesel testereli blok kesme makinesinde kullanılan dikey testerenin çapına bağlıdır. Teorik olarak maksimum kesme derinliği dikey testerenin yarıçapı kadar olmaktadır. Çalışma kapsamında elmas soketli dairesel testereli blok kesme makinelerinin enerji tüketim değerleri analiz edilmiştir. Enerji tüketim analizi yapılan elmas soketli dairesel testereli blok kesme makinesinde 1100 mm. çapında dikey testere kullanılmıştır. Şekil 3'

te elmas soketli dairesel testereli blok kesme makinesi ile farklı kesme derinliklerinde yapılan doğal taş kesim işlemi görülmektedir.



Şekil 3. 28 cm ve 13 cm kesme derinliğinde kesim işlemi

Konya ili merkez Karatay ilçesi sınırları içerisinde bulunan doğal taş işleme tesisinde doğal taş bloklarının kesimleri esnasında tükettikleri enerjiler ölçülmüştür. Enerji ölçümleri Fluke 1730-EU marka güç analizörü ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.).Güç analizörleri bir sistemden geçen akımın, harcanan gücün ve enerjinin saptanabilmesi ve sistemde oluşan arızaların saptanabilmesi için kullanılan cihazlardır. Deneyler esnasında kullanılan güç analizörü saniye saniye sistemde kullanılan akım, güç ve enerji değerlerini ölçerek dâhili hafızasına kaydetmiştir. Elde edilen ölçüm değerleri daha sonra bilgisayar ortamına aktarılarak farklı kesme derinliğinde doğal taş bloğunun kesimi esnasında tüketilen elektriksel değerler analiz edilmiştir.



Şekil 4. Fluke 1730-EU güç analizörü

Doğal taş işleme tesislerinde elmas soketli dairesel testereli blok kesme makinelerinin çalışma parametreleri operatör tarafından belirlenmektedir. Kesici takımın ilerleme hızı operatör tecrübesine göre ayarlanmaktadır ve kesme derinliği ise ticari anlamda istenen ebatlarda olacak şekilde belirlenmektedir. Kesme deneylerinin yapıldığı doğal taş işleme tesisinde doğal taş bloklarının kesimi boyunca kesici takımın ilerleme hızı 15,8 cm/dk olarak sabit tutulmuştur. Kesici takımın ilerleme hızı elmas soketli dairesel testereli blok kesme makinesinin kumanda panosundan ayarlanmaktadır. Kesme işlemlerinde kesme derinliği parametresi beş farklı derinlikte uygulanmıştır. (5 cm, 10 cm, 13 cm, 23 cm, 28 cm)

Doğal taş işleme tesislerinde kullanılan elektrik enerjisi, tesisin kurulu olduğu bölgenin elektrik tedarikçisi olan firma tarafından sağlanmaktadır. Ölçümlerin yapıldığı doğal taş işleme tesisi Konya bölgesinde bulunmaktadır ve bu bölgeye elektrik dağıtımını MEPAŞ (Meram Elektrik Perakende Satış A.Ş.) firması sağlamaktadır. MEPAŞ firmasının belirlediği elektrik birim fiyatları Çizelge 1. ve Çizelge 2.' de gösterilmiştir.

Kesilen doğal taş blokları her zaman düzgün şekilli olmamaktadır. Düzgün şekilli olmayan doğal taş bloklarının kesimlerine tarama adı verilen düzeltme işlemi ile başlanmakta ve düzgün şekilli olmayan doğal taş bloğu kesilerek düzgün şekilli hale getirilmektedir. Doğal taş işleme tesislerinde kesim işlemi gerçekleştirilen doğal taş bloklarından elde edilen plaka kalınlıkları, ölçümler boyunca 22 mm olarak sabit tutulmuştur. Kesimi yapılan doğal taş bloklarının boyutları farklılık göstermektedir. Çizelge 3.' te tarama işlemi sonrasında düzgün şekilli bir blok boyutu ve bu doğal taş bloğundan elde edilecek teorik plaka sayısı gösterilmiştir. Plakaların dilim kalınlıkları 22 mm ve testere kalınlığı 8 mm olarak ölçülmüştür.

Çizelge 1. Tek zamanlı ticarethaneler için MEPAŞ firmasının ücretlendirme örneği (MEPAŞ)

Tarife Grubu: Tek Zamanlı Ticarethane	Birim Fiyat (TL/kWh)	Tutar
Tüketim		400 kWh
Birim Fiyat	0,2134	
Aktif Enerji Tutarı		85,37 TL
Dağıtım Bedeli	0,1213	22,23 TL
Enerji Fonu (%1)	0,0021	0,85 TL
TRT Payı (%2)	0,0042	1,71 TL
Elektrik Tüketim Vergisi (%5)	0,0106	4,27 TL
KDV (%18)		25,33 TL
Fatura Tutarı		166,07 TL

Çizelge 2. Üç zamanlı ticarethaneler için

Tarife Grubu: Üç Zamanlı Ticarethane	Gündüz (06:00-17:00)	Puant (17:00 - 22:00)	Gece (22:00 - 06:00)
Birim Fiyat (TL/kWh)	0,2120	0,3775	0,0926

MEPAŞ firmasının ücretlendirmesi (MEPAŞ)

Çizelge 3. Örnek bir bloktan farklı kesme derinliklerinde elde edilen plaka sayıları

Blok Boyutu (cm)	Kesme Derinliği (cm)	Teorik Plaka Sayısı
180 x 290 x 200	5	386
	10	193
	13	148
	20	96
	28	69

Spesifik enerji; birim hacim kayacın koparılması için gereken enerji miktarı olarak tanımlanmaktadır. Doğal taş işleme tesislerinde kesim işlemi sonucunda plakalar oluşturulmaktadır. Çalışma kapsamında hesaplanan spesifik enerji değerleri ise kesilen plakaların yüzey alanına göre hesaplanmıştır.

Yapılan çalışma kapsamında Karaman Traverten numunesine ait farklı kesme derinliklerinde elde edilen spesifik enerji değerleri belirlenmiştir. Farklı kesme derinliğinde tüketilen enerji miktarı ve spesifik enerji değerleri hesaplanarak Karaman Traverten adlı doğal taş bloğunun kesim maliyeti hesaplanmıştır.

Doğal taş işleme tesislerinde üretimi ve ihracatı yapılan Karaman Traverten isimli doğal taş bloğuna ait bir plaka ve blok kesimi esnasında elde edilen enerji tüketimi bulunmuştur. Doğal taş işleme tesislerinin kurulu olduğu bölgelere ve elektrik enerjisini sağlayan firmalara göre birim elektrik ücreti değişiklik göstermektedir. Çalışma kapsamında incelenen Karaman Traverten isimli doğal taş bloğunun farklı kesme derinliğinde kesme maliyeti aşağıdaki Çizelge 4.' te sunulmuştur. Elektrik enerjisinin birim fiyatı üç zamanlı ticarethane üzerinden her bir zaman için belirlenen birim fiyatın ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Kesme derinliklerine bağlı olarak oluşturulan plaka sayısına göre bir doğal taş bloğunun maliyeti hesaplanmıştır.

Çizelge 4. Farklı kesme derinliklerinde plaka ve blok kesim maliyetleri

Kesme Derinliği (cm)	Kesilen Yüzey Alanı (cm ²)	Bir Plaka Kesim Maliyeti Aktif Enerji Tutarı (TL)	Bir Blok Kesim Maliyeti Aktif Enerji Tutarı (TL)
5	900	1,12	433,71
10	1800	1,58	304,81
13	2340	2,07	307,25
23	4140	3,05	256,54
28	5040	3,28	226,35

3 SONUÇLAR

Yapılan çalışma sayesinde Karaman bölgesinden üretimi gerçekleştirilen traverten türü kayaların, Konya ili çevresinde bulunan doğal taş işleme tesislerinde elmas soketli dairesel testereli blok kesme makineleri ile kesme işleminin farklı kesme derinliklerindeki maliyetleri hesaplanmıştır. Fiziko-mekanik özellikleri Karaman travertenine benzer özellikte olan travertenlerde, de bu çalışmada belirtilen maliyetlere yakın sonuçlar elde edilecektir. Bu nedenle benzer özelliklere sahip traverten üretim fabrikaları da sonuçları kullanabilirler.

Kesme hızı elektrik tüketimini etkileyen önemli bir parametredir. Bu çalışmada kesme hızı sabit (15,8 cm/dk) tutulmuştur.

Bu değerlerde sabit tutulmasının nedeni; işletmeler genellikle bu hızlarda traverten kesimi yapmalarındandır. Dolayısıyla enerji maliyeti tahmini yapılırken kesme hızı değerinin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Yapılan çalışma ile iç piyasaya ve dış piyasaya satışı yapılan traverten plaka ve bloklarının maliyetleri hesaplanarak satış fiyatlarının düzenlenmesi sağlanabilir. Ayrıca diğer bölgelerde çalışan doğal taş işleme tesisleri de bir doğal taş bloğunun kesimi boyunca tüketilen enerji değerlerini belirleyerek doğal taş bloğunun kesme maliyetini hesaplayabilirler.

KAYNAKLAR

- Bilim, N., 2012. Optimum cutting speed of block-cutting machines in natural stones for energy saving, *Journal of Central South University*, 19-5, s.1234-1239.
- Buyuksagis, I. S., Goktan, R., 2005. Investigation of marble machining performance using an instrumented block-cutter, *Journal of materials processing technology*, 169-2, s.258-262.
- Engin, İ. C., Özkan, E., 2008. Blok Kesme Makinalarının Enerji Tüketimlerinin İncelenmesi. Türkiye VI. Mermer ve Doğaltaş Sempozyumu. Afyonkarahisar. s.141-148.
- Ersoy, A., Atıcı, U., 2004. Performance characteristics of circular diamond saws in cutting different types of rocks, *Diamond and Related Materials*, 13-1, s.22-37.
- Ersoy, A., Buyuksagis, S., Atici, U., 2005. Wear characteristics of circular diamond saws in the cutting of different hard abrasive rocks, *Wear*, 258-9, s.1422-1436.
- Güney, A., 2011. Performance prediction of large-diameter circular saws based on surface hardness tests for Mugla (Turkey) marbles, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 44-3, s.357-366.
- İMMİB, 2015, www.immib.org.tr: [23.12.2016].
- Kahraman, S., Fener, M., Gunaydin, O., 2004. Predicting the sawability of carbonate rocks using multiple curvilinear regression analysis, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 41-7, s.1123-1131.
- Kılıç, A. M., Keskin, M. Ö., Kılıç, Ö., Coşkun, İ., 2008. Pınarbaşı (Kayseri) ve Yıldızeli (Sivas) Yöresi Travertenleri Teknomekanik Özellikleri Özgül Enerji İlişkisinin Araştırılması. Türkiye VI. Mermer ve Doğaltaş Sempozyumu. Afyonkarahisar. s. 293-302.
- Mepaş-Meram Elektrik Birim Fiyat Tarifeleri, www.gazelektrik.com: [05.09.2017].

- Şengun, N., Altındağ, R, 2013. Prediction of specific energy of carbonate rock in industrial stones cutting process, *Arabian Journal of Geosciences*, 6-4, s.1183-1190.
- Türkiye Ekonomi Bakanlığı, 2016. Doğal Taş Sektörü, Ankara.
- Yurdakul, M., Akdas, H, 2012. Prediction of specific cutting energy for large diameter circular saws during natural stone cutting, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 53, s.38-44.

III

DOĞAL TAŞLARIN MİMARİDE VE YAPILARDA KULLANIMI
NATURAL STONE IN ARCHITECTURE AND BUILDINGS

Yaşamlarını Doğaltaş Sevgisine Adayarak Saygı İle Anılmayı Hak Edenler

Those Deserving to Be Remembered Respectfully Because They Devoted Their Lives to the Love of Natural Stones

E. Yüzer

İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Doğal taşlar, dünyanın ve üzerinde yeşeren uygarlıkların gelişimine ve evrimine suskun ve vakur davranışları ile tanıklık eden, taşıdıkları mesajları geleceğe ileten en güvenilir, soylu belgelerdir. Ülkemiz, içerisinde yer aldığı Alp-Himalaya jeolojik kuşağının sahip olduğu doğal niteliklerin bir sonucu olarak çok çeşitli yeraltı kaynaklarını, bu arada çeşitli renk ve kalitede doğaltaş zenginliklerini sergilemektedir. Milyarlarca m³ olarak ifade edilebilecek miktarda, yüzlerce renk ve desende bu zenginliklerden Anadolu’da yaklaşık 12000 yıl öncesinde başlayan yerleşmelerde ve sonrasında çeşitli uygarlıklar sırasında, günümüzün bilinen antik kentlerindeki yapılarda yararlanılmıştır.

Birbirini izleyen Anadolu uygarlıkları döneminde görsel ve işlevsel açılarından sanatsal değerleri benzersiz eserler yükselmiştir. Bu açıdan bakıldığında Anadolu, Antik dönemlerden başlayarak Helenistik, Roma, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı uygarlıkları sırasında yapılan anıtsal mimari eserler ile donatılmış bir “Tarih Müzesi” niteliğindedir. Günümüzde devam edegelen arkeolojik çalışmalarla bu zenginliklere hayranlık uyandıran yenileri eklenmektedir.

Bu sunumun ana amacı, doğaltaşlara dayalı “Anadolu Tarih Müzesi” ni bizlere hediye edenlerden seçilmişlerini örnekleyek, onlara duyulması gerekli şükran borcunun ve saygı ile anılmalarının gündeme getirilmesidir. Kuşkusuz bu saygının yaşamlarının önemli bir bölümünü doğal taşlara adanmış araştırmacı ve sanat tarihçilerinden başlayarak, arkeologlara, jeologlara, mimarlara, mühendislere, heykeltıraşlara, doğaltaş üreticilerine, doğaltaş biliminin ve kültürünün yaygınlaştırılmasına emek veren “Bilgeler Zinciri”ndeki tüm temsilcilerinin anılmasına kadar uzatılması düşünülmelidir. Böylelikle Anadolu’nun doğaltaşlarla bezenmiş maddi ve manevi silüetini ve kültürel donanımlarını yansıtan özelliklerini sergileyip, onların belge niteliğindeki sırlarını içeren derinliğini günümüze aktaranlara olan vefamızı yerine getirmenin bir ölçüde olsun huzuru duyulmuş olacaktır.

ABSTRACT Natural stones are noble, most reliable documents, which have witnessed the development and evolution of civilisations that blossomed on our earth, relaying the messages they carry to the coming generations.

Our land exhibits a wealth of natural resources and natural stone riches in varying colours and qualities because of the characteristics of the Alpine-Himalayan mountain system in which it is located. These riches amount to billions of metre cube of varicoloured and varipatterned stones that have been used in structures in antique settlements in Anatolia beginning with 12000 years ago. Unique works of art characterizing structures with multifarious visual and functional aspects have been produced by successive civilisations. Viewed from this perspective, Anatolia is a veritable museum adorned by architectural monuments belonging to deep antiquity, Hellenistic, Roman, Byzantine, Seljuk and Ottoman

civilisations. Ongoing archaeological digs in our own days add constantly new ones to these riches.

The main purpose of this presentation is to remember some selected individuals who gave us the ‘Anatolian Museum’ of natural stones and to remind us that they deserve to be commemorated in respect and gratitude. Without doubt, this respect should be extended to those researchers, beginning with art historians and extending across archaeologists, geologists, architects, engineers, sculptors, producers of natural stones and to all representatives of that ‘chain of wise men’ who helped to spread the culture of natural stones. We thus would feel the satisfaction of expressing our gratitude to those who carried to our own day the material and spiritual silhouette of Anatolia woven by natural stones and their profundity as documents harbouring their secrets.

1 GİRİŞ

Anadolu binlerce yıldır üzerinde barındırdığı insanlara uygarlıklarını yaratmak için, havası, suyu, taşı, toprağı, kısacası, doğası ile çok cömert davranmış, bunun sonucunda da, her köşesi zenginliklerle bezenerek “Uygarlıkların Beşiğı” diye bilinen, haklı ününe kavuşmuştur. Anadolu’da yaşayanlar, ona sahip çıkarak, hep daha güzelleştirmenin yollarını aramış, insan hünerinin sergilendiğı sayısız eserler vermişlerdir. Bu eserlerin çoğunda geçmişin geleceğe taşınacağı en güvenilir malzeme olarak doğal taş seçilmiş, işlevselliğinin yanı sıra, estetik duyguların da yeşertildiğı araç olarak taş kullanılmıştır. Yerine ve zamanına göre yontulup, onunla korunulup avlanılmış, içine girip barınılmış, inançları doğrultusunda tanrılaştırılıp tapınılmış, kısacası insanın iç ve dış dünyasındaki gereksinmelerinin yansıtıldığı şekillere bürünmüştür. Günümüzde ayakta kalan birçok yapıda yaşayan, bizleri hayran bırakan estetikle sanatın efsanelerle bütünleştiğı tarihi mirasın en önemli tanıkları yine görkemli ve soylu taşlardır.

Bu bildiri de Anadolu’ya yerleşik uygarlıkların ve dünyadaki bazı yaşlılarının taşlara kazınmış izlerinden ve bunların yaratıcılarından bazı örnekler vermeye çalışılacaktır.

Amacımız, bu örneklerle sergilenecek eserlerin güzelliklerini paylaşmak ve taşlar aracılığı ile kurulacak evrensel dostlukların vazgeçilmezliğini ve bunlara duyulacak saygı borcunu anımsatmaktır.

2 ANADOLUDAKİ DOĞAL TAŞLAR İLE BÜTÜNLEŞEN YAŞAM DÖNEMLERİ

İnsan ırkı yeryuvarı üzerinde var olmaya başladıktan sonra en güvenilir dostu olarak taşı görmüş, yerleştiğı bölgelerdeki taşların cinsine göre yaşamını kurgulamıştır. Örneğın volkanik adalara yerleşen insanlar buralardaki bereketli toprakları ekmeyi öğrenerek tarımda oldukça ileri gitmeyi başarmışken, kireçtaşından oluşmuş adalara yerleşen insanlar ise sadece balık yakalama becerilerini geliştirmişlerdir. Zaman içinde taşı kullanmayı öğrenen insanların ilk yaptıkları avadanlıkların tümü taştır. Buğdayı öğütmek için değirmeni, avlanmak için kesici aletleri, baltaları sadece taşı kullanarak oluşturmuşlardır.

İlk insanlar genellikle doğada oluşmuş karstik mağaralarda yaşamışlardır. Ancak zaman içinde özellikle volkanik tüflerin kolay oyulduğunu anlamaya başladıktan sonra Kapadokya gibi volkanik alanlarda da tüfleri oyarak büyük barınaklar, okullar ve tapınaklar yapmışlardır. Aynı mağara yerleşimleri Eskişehir- Afyon- Kütahya arasında bulunan Frig vadisinde de görülebilmektedir.

2.1 Paleolitik ve Neolitik Dönemler

Günümüzden 600.000 yıl öncesine kadar indirilen Paleolitik çağ 600.000 ile 10.000 yılları arasında geçen oldukça uzun bir sureyi kapsamaktadır. Bu dönemdeki buzullarla kaplı zorlu iklim koşulları insanların mağaralarda yaşamasına neden

olmuş ve doğal taşı barınak olarak kullanılmaya başlamışlardır. Başka bir deyişle bu dönem insanın taşın koruma gücünü keşfettiği ilk dönemdir.

Taşın insan yaşamına girmesi ile birlikte Taş Çağları başlamıştır. Taşın gücünü gören insanlar taşı her anlamda kullanmayı becerdiler. Taşı cilaladılar, yonttular ve yaşamlarının her anında onlarla yaşamlarını bütünleştirdiler. Kullandıkları ilk taşlar köşeli ve rastgele seçilmiş taşlardı. Ancak kısa süre içinde hangi taşların daha kullanışlı olduğunu anladılar ve yuvarlak ve el büyüklüğünde taşları kullanmaya başladılar. Kısa süre içinde de silis ağırlıklı taşların daha güvenli ve yararlı olduğunu gördüler.

Başlangıç dönemlerinde yerden alınan taşın hayvanlara fırlatılması ile ilk korunma başlamış, daha sonra taş, ateş yakmak için kullanılmıştır. Çakmaktaşını keşfeden insan hem ateş yakarak yiyecekleri pişmiş olarak yemeyi öğrenmiş hem de ateş sayesinde yabani hayvanlara av olmaktan kurtulmuştur.

Bu dönemi izleyen Neolitik Dönem'in ilk çağı olan **Yontma Taş Çağı** 10.000 ile 6.000 yılları arasında kapsar. İnsanlar bu çağda taşı yontmayı ve yonttukları taşlardan silahlar yapmayı öğrenmeye başlamış, mağara duvarlarına resimler yaparak ilk sanatsal ürünleri üretmişlerdir.

Cilalı Taş Çağı olarak isimlendirilen 6.000 yıl öncesinde tarım insanların hayatında oldukça önemli bir yer almaya başlamış yerleşik düzene geçiş hızlanmıştır. Bu dönemde insanlar artık taşla iyice dost olmuşlar, taştan sert ve kesici aletler yapmışlar, hayvanları evcilleştirmeye başlamışlardır.

İnsanın diğer canlılar arasında üstün olmasını sağlayan ilk önemli malzeme doğal taş türü olan Obsidiyendir. Obsidiyen özünde bir volkanik taştır. Lavlar yüzeye çok hızlı çıktığı için ani soğur ve doğal bir cam haline dönüşür. Obsidiyeni keşfeden insanlar bu doğal camdan, bıçak, ok ucu, mızrak ucu, balta yaparak av olmaktan çıkıp güçlü bir avcı konumuna yükselmişlerdir. Bir bakıma 'taş-insan ilişkisi'nin en güzel örneği 'obsidiyen- insan ilişkisi'dir denebilir.

Kalkolitik (bakır) ve Tunç Çağı'ndan sonra gelen Demir Çağı ile birlikte taşın yanında başka malzemeler de kullanılmaya başlanmış, ancak doğal taş işlevsel ve görsel unsur olarak daima on plandaki yerini korumuştur.

2.2 Uygarlıkların Beşiği Anadolu

Anadolu ilk yerleşim yerlerinin yoğun olarak gözlendiği yerlerin başında gelmektedir. Yaklaşık 12000 – 5000 yılları arasında birçok önemli yerleşim yerinin varlığı saptanmıştır. Anadolu'da işlenmesi kolay tüflerin egemen olduğu Kapadokya ve İsehisar'da taşlar oyularak dünyanın en önemli barınakları, yeraltı şehirleri yapılmış ve bunlar binlerce yıl kullanılmıştır.

Yine bu dönemde doğal taşlar kullanılarak yapılan Urfa-Göbeklitepe (12.000 yıl), Konya-Çatalhöyük (9.000 yıl), Diyarbakır-Çayönü (8.200 yıl) yerleşmeleri Dünya çapında ünlüdür.



Urfa-Göbeklitepe

Doğal taş dayanıklı, güvenilir bir malzemedir. Barınma ve korunma içgüdüsünün azaldığı, insanın dünyada tek egemen canlı olmayı başardığı aşamalardan sonra ise taş artık estetik kaygılar taşıyan toplumların gözdesi olmuştur. İnsan geliştikçe, taştan yapılan heykeller, tapınaklar ve görkemli yapılar da o ölçüde gelişmeye başlamıştır.

Yeryüvarı tarihi boyunca meydana gelen jeolojik olaylar Kapadokya, Pamukkale, Kuşca, Narman, Grand Kanyon, Saklıkent Kanyonu, Kızılcahamam ve Giant Causaway bazalt sütunlarında olduğu gibi en yetenekli

sanatçıları bile kışkırtacak muhteşem doğal anıtların varlığını sergilemekte.

Özellikle Anadolu, tarih öncesi çağlardan başlayarak günümüze kadar uzanan taşın benzersiz ifade gücünün sergilendiği bir müze niteliğindedir.

Günümüzden yaklaşık 12.000 yıl önce Neolitik Dönem’de göçebe-avcı toplulukların yerleşik tarım yaşamına geçmeleri ile barınacak ‘yapı’ ihtiyacı da belirlenmiştir. Şanlıurfa Gobeklitepe’de yapılan arkeolojik çalışmalarla ortaya çıkarılan oymalı rölyeflere sahip büyük boyutlu monolitlerle oluşturulan dini yapı ‘kentten önce tapınak geldi’ yargısına vardırta olağanüstü bir örnektir (Karakuş, G.2015).

Hitit krallığı M.O 1500 yıllarından başlayarak Anadolu’ya egemen olmaya başlamış ve bu egemenliğini tam 500 yıl sürdürmüştür. Hititler antik dönemde Dünya’nın Mısır’la birlikte en büyük iki gücünden biri olmuştur.

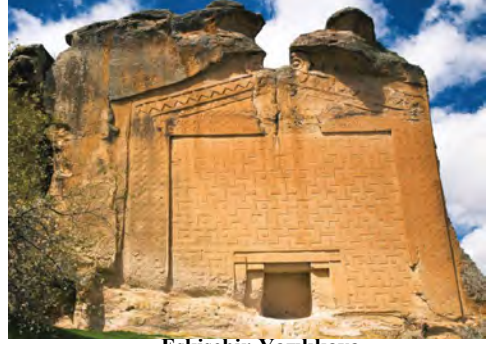
1960’lı yıllarda İngiliz arkeologların Çatalhöyük’te yaptığı kazılardan, Hint-Avrupa kökenli Hititlerin M.O 1700-1500 arasında krallık, M.O 1400–1200 yılları arasında da imparatorluk dönemlerini sürdürdükleri, başkentinin Hattuşaş (Boğazkoy) olduğu, yazılı kayadaki bazaltlardan oluşan acık hava tapınağının kaya kabartmalarından ve çivi yazılı tabletlerden anlaşılmaktadır.

Urartular, Doğu Anadolu’da Tuspa (Van) merkezli, Gürcistan, Ermenistan, Nahçıvan, İran ve Irak topraklarının bir bölümünü içine alan geniş bir alanda M.O 9-6. yy’lar arasında egemenliklerini sürdürmüşlerdir.

M.O 1273 tarihli Asur kaynaklarında da Urartuların varlığından söz edilmektedir.

M.O ikinci binin son yüz yıllarında Doğu Avrupa’dan gelerek İç Anadolu’nun büyük bir bölümünü ele geçiren Frigler’in Polatlı’nın kuzey batısında yer alan ve Frig başkenti “Gordion” dolayında çok sayıda tümülüs (kral mezarı) bulunmaktadır. Bunlardan birinde Kral Midas’ın olduğu sanılan yapıya rastlanmıştır. Frig anıtlarının yoğun olduğu yerlerden biri de, Eskişehir’ in güney doğusundaki dağlık bölgede üzerinde heykellerin ve anıtın bulunduğu, “Midasın

Mezarı” olarak adlandırılan “Yazılı Kaya”dır.



Eskişehir-Yazılıkaya

M.O 2.yy dolayında Antakya Körfez’inden, kuzeyde Fırat Nehri kıyılarına kadar uzanan bölgede hüküm süren Kommagene Krallığı’nın unlu kralı I. Antikhos (M.O 69-36)’un 2100 m yüksekliğindeki Nemrut Dağı’nın (Adıyaman) tepesinde yaptırdığı tümülüs mezarın her iki yanındaki heykel ve kabartmalar hayret uyandırıcıdır. Yüksekliği 9 metreyi bulan kireçtaşlarından yapılmış bu heykellerin, binlerce yıldır çetin topoğrafik ve atmosferik koşullara rağmen sağlam kalabilmiş olmaları şaşırtıcıdır.

2.3 Antik Yunan Uygarlığı-Helenistik Dönem

Yunanistan merkezli birçok topluluğun M.O 756–146 yılları arasında hüküm sürdüğü bir dönemdir. Bu dönemde Aristo, Eflatun, Sokrates, Herodot ve Ksenefon gibi büyük filozoflar yetişmiştir. Bu uygarlık Büyük İskender döneminde en görkemli çağını yakalamış, onun ölmesiyle birlikte Helenistik Dönem’e geçilmiştir. Helenistik Dönem çok uzun bir dönem olmamasına rağmen Dünya üzerinde oldukça büyük bir etki bırakmıştır. Klasik Yunan uygarlığının son aşaması olan Helenistik Dönem Roma istilalarıyla sona ermiştir. Bu dönemde Atina başta olmak üzere doğal taştan görkemli tapınaklar, tiyatrolar ve saraylar inşa edilmiştir. Atina Akropolü, Efes’teki Afrodit Tapınağı, Atina Akropolü içinde Athena için

yapılan Partenon Tapınağı en çok bilinen Antik Yunan eserleridir.



Aydın-Karacasu (Afrodisiyas)

Geç Bronz Çağı olarak adlandırılan dönemin sonunda, M.Ö 1200 yıllarında güneydoğu Avrupa'dan gelen kavimlerle Anadolu'daki Hitit, Miken ve Truva VI. Krallıkları yıkılmış, Ege kıyılarında Ion ve Dor kentleri gelişmeye başlamış, daha sonra bunlar İonya, Kayra ve Likya uygarlıklarını oluşturmuşlardır. M.O 7-2'inci yüzyıllara yayılan ve "Helenistik Çağ" olarak bilinen bu dönemde Anadolu'da önceleri kullanılan koyu renkli sert, andezit ve bazalt turu taşların yerine, genellikle beyaz, kolay işlenebilen kalker ve mermerler yaygın olarak kullanılmıştır.

Efes (Ephesus)'deki Celsus Kütüphanesi, Milet, Prien (Soke) ve Bergama (Pergamon)'daki görkemli saray, tiyatro, agora ve benzeri mermer yapılar bu dönemin ürünleridir. Yine bu dönem, heykel sanatının doruğa ulaştığı bir zaman aralığıdır.

Pergamon ve Afrodisiyas antik kentlerinde mermercilik okullarının açılması sonucunda buralardan yetişen sanatçılar ile heykelticilik sanatı doruğuna ulaşmıştır. Bunların en güzel örnekleri Afrodisiyas antik kentinde ve müzesinde görülebilir. 1960'lı yıllardan sonra arkeolog Kenan ERİM tarafından yapılan kazılarda ortaya çıkarılan bu antik kent, 10.000 kişilik tiyatrosu ve 30.000 kişilik stadyumu ile hayranlık uyandırmaktadır.

Afrodisiyas antik kentini taşlarının çıkarıldığı ocaklar günümüzde oldukça iyi korunmuştur.

2.4 Roma Dönemi

Antik Yunan ve Helenistik dönemlerin sona ermesiyle Roma Dönemi yükselmeye başlamıştır. Bu uygarlığın ilk adımları M.O 9. Yüzyılda atılmıştır. Roma uygarlığı 1200 yıl boyunca o dönemde ulaşılabılır tüm coğrafyalar üzerinde egemenlik kurmuştur.

İmparatorluk beşinci yüzyılda çeşitli krallıklara ayrılması ile gücünü kaybetse de doğudaki topraklarda Bizans yükselmiş ve 1453 yılına kadar devam etmiştir. Roma dönemi doğal taş kullanımının yoğun sergilendiği bir dönemdir. Roma Dönemi'nde yapılan büyük kentler, tapınaklar, hamamlar, tiyatrolar, stadyumlar ve birçok tarihi eser günümüze kadar ayakta kalmıştır.

Efes, Hierapolis, Afrodisias, Bergama ve Aizonai başta olmak üzere birçok antik kent, doğal taş kullanımı açısından en Görkemli günlerini Roma uygarlığı döneminde yaşamıştır.

2.5 Bizans Dönemi

Bizans Dönemi'nde, Roma döneminin beyaz mermerleri yerine, tuğla ve renkli doğal taşların kullanılması yaygınlaşmıştır.

Bu dönemin eserlerinin doruğa ulaştığı en güzel örnek Ayasofya'dır. Ayasofya, Hıristiyan ve İslam dini inançlarına sahip insanların aynı tanrısal duyguları paylaştığı eşsiz bir örnektir. Mimarisi, ihtişamı, büyüklüğü ve işlevselliği yönünden ilk ve son özgün uygulama olarak görülen Ayasofya; Osmanlı camilerine fikir bazında da olsa esin kaynağı olmuş, doğu-batı sentezinin bir ürünüdür. Bu nedenle, Ayasofya, tarihi geçmişinin yanı sıra, mimarisi, doğal taşları, mozaikleri ve Osmanlı dönemi yapıları ile yüzyıllar boyunca tüm insanlığın ilgisini çekmiştir. Ayasofya'da, imparatorluk sınırları içinde kalan çeşitli ocaklardan çıkarılan değişik renk ve desendeki doğal taşlar iç ve dış mekanda kaplama ve taşıyıcı şutun olarak kullanılmıştır.

İmparator Justinianus tarafından M.S 537 yılında inşa ettirilen Ayasofya'da kullanılmak üzere Anadolu'nun antik şehir kalıntılarında, yurtiçi ve yurtdışından

şutunlar, başlıklar, mermerler ve renkli doğal taşlar İstanbul'a getirilmiştir.



**Farklı Dinlerin Ortak Tapınağı İstanbul-
Ayasofya**

Ayasofya'da taşıyıcı sütun ile duvar ve yer kaplaması olarak yoğun şekilde Yunan adalarından getirilen Serpantin Breşi ve Marmara Adası'ndan getirilen Marmara Mermeri kullanılmıştır. Mısır'dan getirilen Eski Kırmızı Porfir taşıyıcı sütun ve kaplama taşı olarak, Afyon Menekşe Mermeri ve oniksler duvar kaplaması olarak kullanılmıştır. Ayasofya'daki ilginç bir taş kullanım örneği, simetrik mermer panolardır. Bu panolarda görülen taşların Frigya, Yunanistan-Taygetus, Tunus-Simuttu Colonia ve Pirenelerden getirildiği kaydedilmektedir.

Bizans döneminde İstanbul'un su ihtiyacını karşılamak üzere, acık hava su depolarının yanı sıra, yeraltı sarnıçları da yapılmıştır. Bu yapılarda suya dayanıklı Ezine-Kestanbol granitleri ve Marmara Adası mermerleri kullanılmıştır. Bunların en unlu su 336 mermer ve granit sütun üzerine oturan ve Yerebatan Sarnıcı olarak bilinen Bizans Bazilikası'dır.

İstanbul'un batısında, Cebecikoy-Atışalanı dolaylarında bulunan kaynak sularını şehre getirmek üzere Valens (364-378) tarafından yaptırılan "Bozdoğan Su Kemerî"nde Bakırköy küfeki taşının yanı sıra az miktarda Şirincavuş volkanik tüfleri, Karamursel od taşları, İstanbul siyah kalkerleri ile Marmara mermeri kullanılmıştır.

2.6 Selçuklu Dönemi

Türk Dünyasından günümüze Selçuklu öncesinden çok az eser kalmıştır. Türkler doğal taş üzerine yaptıkları resimlerle yaşamları hakkında bilgiler vermişlerdir. Bu resimlere Sibirya, Kırgızistan, Kazakistan, Moğolistan, Azerbaycan ve Türkiye'de rastlanmaktadır.

Selçuklularda ve diğer Anadolu Beylikleri'nde yapı malzemesi olarak daha çok yöresel olanaklardan yararlanılmıştır. Selçuklu Türkleri, Bizans'tan boşalan Anadolu'da, kendilerine özgü mimari teknikle eserler oluşturmuşlardır. Bu dönemde yapılan kervansaray, köprü, medrese, cami ve türbelerde daha çok, kolay yontulup şekil verilebilen ve Anadolu'da bol bulunan volkanik kökenli tüfler ve yumuşak kalkerler kullanılmıştır.

'...Divriği Külliyesi, cami ve şifahane olarak Selçuklu Çağı'nın en güzel yapısıdır. Bu yapının asıl büyük katkısı Dünyada eşî olmayan büyük taç kapısı tasarımlarıdır. Bunlara heykel kompozisyonları olarak bakılabilir (Prof. Dr. D. Kuban).



Sivas-Divriği Ulu Cami Taç Kapısı

2.7 Osmanlı Dönemi

Roma ve Bizans dönemlerine karşılık, Osmanlı Dönemi'nde, İstanbul'da yoğun olarak camii ve saray mimarisinin eserlerine yer verilmiştir. Dönemin en önemli eserlerinden biri de İstanbul'daki Tarihi Yarımada'nın en ihtişamlı yerinde bulunan Topkapı Sarayı'dır. Yaygın olarak çeşitli renk ve desende doğal taşın kullanıldığı

saray, Fatih Sultan Mehmet tarafından 1478 yılında yaptırılmış ve Sultan Abdülmecit'in 1858 yılında Dolmabahçe Sarayı'nı yaptırmasına kadar yaklaşık 380 yıl devletin idare merkezi ve Osmanlı sultanlarının resmi ikametgahı olmuştur.

İstanbul'daki tarihi yapıların mimarları, malzeme kullanımı açısından çoğunlukla kentin yakın çevresinde bulunan malzeme kaynaklarından yararlanmışlardır. Ancak, ayrıcalıklı yapıların oluşumunu isteyen imparator ve sultanların istekleri doğrultusunda yurt dışından getirilen değişik tur ve desendeki renkli doğal taşlar da kullanılmıştır. Bazı taşlar da diğer yapılar ve onların kalıntılarından "Devşirme" olarak getirilerek kullanılmıştır.

Osmanlı Devleti'nin Klasik Çağ Türk Mimarlığı'nın sembolü olarak bilinen eserleri, Mimar Koca Sinan'ın imzasını taşımaktadır. Onun döneminde yapılan cami, medrese, türbe, saray, köprü, su kemerleri v.b. eserlerin oluşturulmasında kullanılan mimari üslup ve yöntem, izleyenler için daha sonra bir "ekol" olarak benimsenmiştir.

Tasarımını 80 yaşında iken yaptığı ve 1574 yılında tamamlanan Edirne Selimiye Camii'nin Mimar Sinan'ın eserleri arasında ayrı bir yeri ve önemi vardır.

Süleymaniye Camii ve Külliyesi'nde 19 ayrı yerden getirilen taş turu kullanılmıştır. Deyim yerinde ise, Süleymaniye Camii ve Ayasofya, Anadolu'da kullanılan doğal taşların bir "Arşiv Müzesi" niteliğindedir.



Edirne-Selimiye Külliyesi

İstanbul'un Tarihi Alanlar içerisinde yer alan Süleymaniye Camii 1985 Yılında UNESCO Dünya Mirası Listesi'ne alınmıştır.

SINAN, eserlerinde İslamiyet'te "Tanrı'nın Evi" olarak tanımlanan cami merkezli medrese, imaret, hamam, kervansaray vb. içeren külliyelere, türbelere, mescitlere ağırlık vermiştir.

Osmanlı İmparatorluğu'nun 18. ve 19.yy'lardaki son döneminde, Klasik Osmanlı Mimari üslubunun terk edildiği, bunun yerine batı etkisinde kalınarak oluşturulan görkemli sarayların yapıldığı görülmektedir. Çırağan Sarayı, Dolmabahçe Sarayı, çok sayıda yazlık köşk ve kasırlar batı üslubunun baskın olduğu örneklerdir. Bu son Osmanlı döneminin mimarları Balyan ailesindedir.

2.8 Cumhuriyet Dönemi

Osmanlı Dönemi'nin son yıllarında gelişen uluslararası ilişkilerden etkilenen büyük şehirlerimizdeki önemli binaların yapımında da batılı akımlarının izleri görülmektedir. Özellikle İstanbul'daki elcilik binaları, bankalar, sigorta binaları gibi yapılarda kullanılan malzemede, çimento çoğu kez doğal taşın önüne geçmiştir. Mermerlere genellikle bir süsleme ögesi olarak girişlerde, sütun başlıklarında ve sövelerde yer verilmiştir. Cumhuriyet Dönemi'nin ekonomik acıdan zorlu geçen ilk yıllarında yapılan kamu binalarında, yöresel taşlar, örneğin Ankara Andezitleri yoğun olarak kullanılmıştır. Bu dönemin doğal taş kullanımındaki dönüm noktasını Anıtkabir'in yapımı oluşturmuştur.

Osmanlı Dönemi'nin görkemli yapılarında kullanılan yabancı kökenli taşların yerine bu eserde tümüyle Anadolu taşlarına yer verilmiştir. Projesi 1942 yılında Prof. Dr. Emin ONAT ve Doç. Dr. Orhan ARDA tarafından hazırlanmıştır. Uzun yıllar dayanabilecek yapılar için, tüm tarihsel dönemlerde olduğu gibi bu projede de doğal taşların kullanılması uygun görülmüştür.

1944 yılında yapımına başlanan ve 1953 yılında tamamlanan bu eserde, Türkiye'nin çeşitli illerinden getirilen traverten, renkli taş

(kireçtaşı, serpantin) ve mermerler kullanılmıştır.

Cumhuriyetin ilk yıllarında yapılan İstanbul-Taksim'deki anıtın tüm taşlarının yurt dışından (serpantin ve İtalya Verona mermeri) getirilmesine karşın, Anıtkabir'in taşlarının Türkiye'nin değişik illerindeki ocaklardan sağlanarak, ülkemizin bu doğal zenginliğine önem verilmesi, yerli taşlarımızın kullanımının özendirilmesi açısından dikkat çekicidir. Anıtkabir'in yapımı sırasındaki araştırmalarda Türkiye'de 90 kadar olduğu saptanan taş turunun, "Taşçılıktan Doğal taş Endüstrisi"ne geçtiğimiz günümüzde 1000'ü aştığı bilinmektedir. Buna rağmen yurt dışından doğal taş ithalatının sürdürülmesi, dahası, bunlarla bazı kamu binalarının da bezenmesi düşündürücü ve üzücüdür.



Ankara-Anıtkabir

3 SONUÇ VE ÖNERİLER

Yukarıdaki bölümlerde Anadolu'da yerleşik toplulukların doğal taşlar aracılığı ile günümüze ulaştırılan belgelere dayalı bazı bilgilere yer verilmiştir. Bu arada çeşitli dönemlerde yapılan kazılarla kazandırılan antik kentler, bunlar üzerinde yer alan hayranlık uyandıran sanatsal eserlerin oluşturulmasında emek harcayan yaratıcıları, örneğin Herodotus'dan Strabon'dan başlayarak Akurgal'a kadar gelen tarihçilerin, A.Korfmann'dan Kerim Erim ve Nuşin Asgari'ye kadar uzanan arkeologların, Hermogenes'den Mimar Sinan'a kadar ulaşan mimarların saygı ile anılmaları gerekmez mi idi?. İşte bu bildiri, toplumumuzda gittikçe artan değerlendirme erozyonunun ve umursamazlığın bir ölçüde olsun giderilmesi ve emeğe saygının bu vesile ile gündeme getirilmesi amacı ile hazırlanmıştır.

KAYNAKLAR

- Ahunbay, Z (2014): Tarihi Çevre Koruma ve Restorasyon. YEM Yayın, İstanbul.
- Akurgal, E.(2014): Anadolu Uygarlıkları. Phoenix Yayınları.Ankara
- Angı, S (2012): Türk Doğal Taşlarıyla Bezenmiş Kutsal Mekan, Anıtkabir. Mermer Dergisi. S70, İstanbul.
- Asgari, N (1981-1994): Prokonnesos (Saraylar) Araştırması Kazı Sonuçlar Toplantıları, Türk Tarih Kurumu Vol IV, V, VI, IX, X, XI, XII, Ankara.
- Asgari, N-Drew-Bear, T(2002): The Quarry Incipitions of Prokonnesos. Asmosia 5 p1-19, London.
- Azra, E (1993): Mitoloji Sözlüğü, Remzi Kitabevi. İstanbul.
- Bingöl, O (2004): Arkeolojik Mimari'de Taş. Homer Yayınevi. Ankara.
- Calapkulu, F (2015): 2015'te Dünyayı Türk Doğal Taşları Süsledi. Turkish Marble Magazine. Gözlem November 2015, İzmir.
- Çeçen, K (2000): Osmanlı İmparatorluğunun Doruğu. 16.Yüzyıl Teknolojisi. İBB İSKİ Yayınları, İstanbul.
- Doğan, U.M (2017): Afrodisias Öyküleri. Uranus Fotoğraf Ajansı Ve Yayınevi.İstanbul.
- Erguvanlı, K-Ahunbay, Z-Ahunbay, M-Eriş, İ (1989): Mimar Sinan'ın Eserlerinde Kullandığı Taşların Mühendislik Jeolojisi ve Mimari Özellikleri. Mühendislik Jeolojisi Bülteni. 11, 109-114.

- Erim, K.(1976): *Approdisias, Anatolian Studies. Bulletin in New York University.* New York.
- Erkaya,M.Ö-Yüzbaşıoğlu, N-Ünlü,B. (2005): *Michelangelo Buonarroti. Boyut Yayın Grubu.* İstanbul.
- Eyice, S (2008): *Ser Mimarın-ı Cihan. Mimar Sinan. Marble Life. İstanbul Mermerciler Derneği.* Ağustos 2008, İstanbul
- Hadid, Z (2015): *Zaha Hadid Mermer Koleksiyonu. Natura Dergisi. Eylül-Ekim 2015.* İmb, İstanbul.
- Hasol, D.(2017): *20.Yüzyıl Türkiye Mimarlığı. YEM Yayını. No:255.* İstanbul
- Heredotus (1983): *Heredot Tarihi. Çeviri Müntekin Ökman. Remzi Kitabevi, İstanbul*
- İleri, S (1988): *Tarih Öncesi Anadolu Mermercileri. Mermer Dergisi. Sayı 20, S 19-24.* İzmir.
- Karakuş, G (2014): *Çağdaş Türk Mimarlığında Doğal Taş. IMIB Yayınları, İstanbul.*
- Kuban, D. (2010): *Kent ve Mimarlık Üzerine. İstanbul Yazıları, YEM Yayınları. İstanbul.*
- Kutadgu, S-Demirburak,B.(2017): *Anadolu. Doğan Egmont Yayıncılık A.Ş. İstanbul.*
- Sayar, M-Erguvanlı, K (1955-1962): *Türkiye Mermerleri ve İnşaat Taşları. İTÜ Maden Fakültesi. Kutulmuş Matbaası, İstanbul.*
- Sazcı, G.(2007): *Troia Hazinesi.Mas Matbaacılık A.Ş. İstanbul.*
- Sraban (2015): *Geographika. Antik Anadolu Coğrafyası, Kitap:XII-XIII-XIV. Editör N. Başgelen Arkeoloji ve Sanat Yayınları. İstanbul.*
- Şenbark, S (1992): *Livius, Titus, Roma Tarihi. Arkeoloji Ve Sanat Yayınları. İstanbul.*
- Texier, C. (2002): *Küçük Asya. Çeviri Ali Suat. Enformasyon Ve Dokümantasyon Hizmetleri Vakfı. Ankara.*
- Topal, H. (2012): *Kentler Ve Taşlar. Mimarlık Vakfı İktisadi İşletmesi. İstanbul.*
- Türkmen, F (2003): *Doğal Taş Düünden Bugüne. Yapılarda İnşaat Dünyası Dergisi. Sayı 248. Bileşim Yayıncılık, İstanbul.*
- Vardar, M (1990): *Nerede Niçin Nasıl Hangi Mermer, Mermer Dergisi, 13, 13-19, İstanbul.*
- Yavi, E (1996): *Mimarlık Ve Sanatta Anadolu Mermerleri. Yazıcı Yayınevi, İzmir.*
- Yavuz, B.-Attanasio,D-Bruno,M.(2016): *White and Colored Marbles from Turkey in the Ancient Roman World. Global Stone Proceeding Books. Antalya.*
- Yavuz, B.-Attanasio,D-Bruno,M.(2017): *Antik Roma'da Kullanılmış Olan Türkiye Mermerleri, 5.İstanbulun Jeolojisi Sempozyumu, JMO. İstanbul.*
- Yılmaz, Y (2010): *Anadolu Tiyatroları. YEM Yayını. No:152. İstanbul*
- Yılmaz, Y (2014): *Ancient Cities of Turkey. YEM Yayını. 228. İstanbul*
- Yılmaz, Y (2015): *Anadolunun Göz Yaşları. YEM Yayını. No:243. İstanbul*
- Yuzer, E (2003): *Dünden Bugüne Doğal Taş Kullanımı. Doğal Taş ve Endüstrisi Katalogu, Stone 2003, YEM Yayını, İstanbul.*
- Yuzer, E-Angı, S (2006): *Anadolu Uygarlıklarında Taşa Bırakılmış Belgeler-2. Natural Stone-Doğal Taş Dergisi. Sayı 14. İstanbul Anadolu Yakası Mermerciler Derneği Yayını, İstanbul.*
- Yuzer, E-Angı, S (2007): *Blok Taş Ocak yeri ve İşletmelerinde Bilimsel Yaklaşımların Önemi, Erdoğan Yüzer Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu, 6-7Eylül 2007, İstanbul.*
- Yuzer, E-Angı, S (2007): *Hitit'ten Günümüze Taş Kültürü, I.Uluslararası Hanlar Kervansaraylar Geleneksel ve Modern Mimaride Taş Sempozyumu, 29-30 Kasım 2007, Antalya.*
- Yuzer, E-Angı, S (2007): *İstanbul Tarihi Yarımada'daki Tarihsel Yapılarda Kullanılan Doğal Taşlar. Natural Stone-Doğal Taş Dergisi. Sayı 19. İstanbul Doğal Taşçılar Birliği Derneği Yayını, İstanbul.*
- Yuzer, E-Erdoğan, M (1996): *Türkiye Mermer Sektörünün Genel Değerlendirilmesi. Türkiye Mermer Envanteri ve Mermerlerin Mühendislik Özellikleri Araştırma Projesi. DPT Projesi, 90K120720 Cilt,I,II,III,IV, İstanbul.*
- Yuzer, E-Gungor, Y-Angı, S (2008): *Doğal Taş Deyince. Granitaş Kültür Yayınları. Detay Matbaacılık, İstanbul.*
- Yuzer, E-Gungor, Y-Aydoğan, S (2016): *Doğal Taşın Öyküsü. Doğal Taş Kültür Yayınları. Frs Matbaacılık. IMIB, İstanbul.*

Doğal Taşların Konut Islak Hacimlerinde Duvar Ve Döşeme Kaplaması Olarak Kullanımı

Usage of Natural Stones as Wall and Floor Coverings in Residential Wet Spaces

E. Yazgan Serinkaya

Gaziantep Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, İç Mimarlık Bölümü, Gaziantep

ÖZET: İnsanlar tarih boyunca, yapılarında doğadan blok halinde çıkarılıp, plaka haline gelen birçok malzemeyi kullanmışlardır. Bu malzemelerden doğal taş, özellikle iç mekânlarda, doğal görüntüsü, kendine ait dokusu, her şeyden önemlisi mukavemetinin yüksek olması nedeniyle tercih edilen bir malzemedir. Doğal taşlar günümüzde, mekânda taşıyıcı olarak, duvar olarak ve kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada; doğal taşların iç mekânda kullanımı, konut ıslak hacimleri çerçevesinde ele alınmaktadır. Çalışma kapsamında öncelikle doğal taşların çeşitleri ve özellikleri incelenmiş, ardından konut ıslak hacimlerinde duvar ve döşeme kaplaması olarak kullanımına yönelik irdelemeler yapılmıştır. Doğal taşların işlevsel ve görsel özellikleri bakımından iç mekâna etkisi, örnek incelemeler ile somut bir çerçevede sunulmuştur. Bu çalışma, tasarımcıların gelecekte üretilecek olan mekanların tasarımına, malzemenin özelliklerini göz önünde tutarak yaklaşımları gerektiğini vurgulamaktadır.

ABSTRACT: Throughout history, people have used many materials that have been removed from the nature in blocks and become plate. Natural stone from these materials is a preferred material because of its natural appearance, its own texture, its importance in everything, especially its strength in interior spaces. Natural stones are now used as a structure, as a wall, and as a covering material in space. In this study; the use of natural stones in interior within the framework of in residential wet spaces. In the scope of the study, firstly the types and properties of natural stones were investigated and then discussions were made on the usage of them as wall and floor coverings in residential wet spaces. The effect of the interior space in terms of functional and visual characteristics of natural stones is presented in a concrete framework with sample examinations. This study emphasizes that designers should approach the design of spaces that will be produced in the future, taking into account the properties of the material.

1.GİRİŞ

İnsanlar tarih boyunca, yapılarında doğadan blok halinde çıkarılıp, plaka haline gelen birçok malzemeyi kullanmışlardır. Bunlardan doğal taş malzeme en çok tercih edilen malzemelerden biri olmuştur.

Bugün ayakta kalan en büyük tarihi yapılar taştan yapılmıştır (Mısır Piramitleri,

Stonehenge, Yunan Akropolleri, Roma Amfi tiyatroları, Osmanlı çeşme ve camileri gibi). Aynı zamanda iki tanesi ülkemizde bulunan dünyanın yedi harikasından Artemis Tapınağı (Bütünüyle mermerden yapılmıştır) ve Halikarnas Mozolesi/Mausoleion da tarihteki taş kullanımına en popüler örneklerdendir (Taşlıgil, Şahin, 2016).

Taşlar genellikle bir veya birden fazla mineralin bir araya gelmesi ile meydana gelmiştir. Örneğin; granit, gobra, siyeni gibi magmatik taşlar mineralerden, mermer, kuvarsit, tek bir mineralden, farklı tip ve çeşitlerdeki kum taşları konglomeraları meydana getirmişlerdir.

Taş malzeme, iç mekânda doğal görüntüsü, kendine ait dokusu, her şeyden önemlisi mukavemetinin yüksek olması nedeniyle tercih edilen bir malzemedir. İç mekânda taş malzeme kullanımı, genelde, yapay taşlara göre doğal taşların daha fazla kullanılmasıyla gerçekleşir.

Doğal taşlar günümüzde, mekânda taşıyıcı olarak, duvar olarak ve kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Doğal, kristal iç yapılı ve inorganik esaslı bir malzeme olan doğal taş, yer kabuğunu meydana getiren kayaların çeşitli etkileriyle oluşmuştur. Çok eskiden beri yapı malzemesi olarak kullanılan doğal taşlar, yapıya belli bir ağırlık getirmeleri, işleme ve kullanma olanaklarının zorluğu yanında yer kaybına neden olmaları ve malzeme teknolojisinde meydana gelen aşamalar nedeniyle günümüzde çoğu zaman kaplama olarak kullanılmaktadır. Ancak ülkemizin belli kesimlerinde yöresel malzeme olarak önemini korumaktadır.

2 DOĞAL TAŞ MALZEMENİN ÇEŞİTLERİ VE ÖZELLİKLERİ

Kayaçlar (doğal taşlar) metamorfik, magmatik ve sedimanter (tortul) kökenli olmak üzere 3 temel grupta toplanmakta olup çalışmamızda ele aldığımız doğal taşlarda bu üç gruptan kayaçlar bulunmaktadır. Örneğin; mermerler ve arduvazlar metamorfik, granit, trakit ve bazaltlar da magmatik, traverten ve oniksler sedimanter kökenli taşlardır. Bu çalışmada yapıların iç mekanlarında en çok kullanıma sahip olan mermer, granit ve traverten ele alınacaktır.

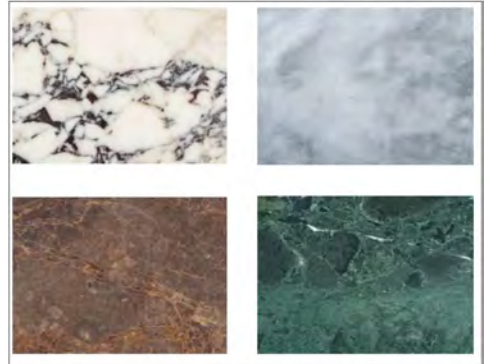
2.1 Doğal Taş Malzemenin Çeşitleri

Doğal taşlar doğada taş kültelerinin yoğun olduğu damarlarda açılan taş ocaklarından elde edilirler. Üretim yöntemi, ocaklardan

taşın türüne göre seçilen tekniklerle tomruk(kütle) halinde çıkarılması ile başlar. Kullanıcıya ulaşıncaya kadar fabrikalarda kesim, plaklaşma ve ebatlaşma işlemlerinden geçirilmek suretiyle kullanıma hazır yarı mamul hale getirilir. (Doğanca,2002)

Doğal taşlar, oluşumlarına göre metamorfik, magmatik ve sedimanter (tortul) olmak üzere sınıflandırılırlar.

Metamorfik taşlara en bilinen örnek iç mekânda çok sık kullanılan malzeme olan mermerdir. Mermer, kalsiyum karbonat oluşumundan zengin canlı mikroorganizmaların, basınç ve sıcaklığın etkisiyle zamanla oluşturdukları bir malzemedir. Süngersi bir yapıya sahip olup, sertlik derecesi 3-3,5 arasındadır. Granit kadar sert olmadığından rahatlıkla işlenebilir. Dolayısıyla cilalanma gibi yüzey işlemlerine kolaylıkla imkan verir (Şekil 1).

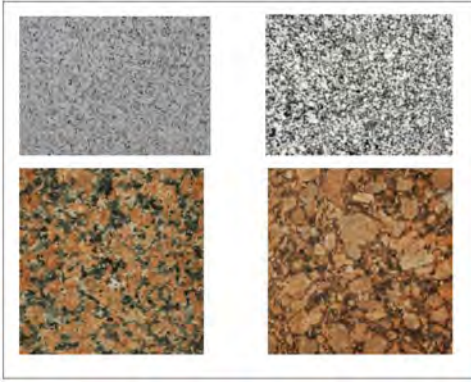


Şekil 1. Doğal taşlardan mermerin farklı renk - doku örnekleri

(www.alimoglumarble.com)

Mermerin görüntüsünün güzel oluşu, sağlamı, yekpare büyük yüzeyler halinde kullanılabilmesi önemli özellikleri arasındadır. Mermerin basınç dayanımı 80-180 N/mm² ve eğilmede çekme dayanımı 6-15 N/mm²'dir. Ayrıca mermerler ısı iletkenlikleri bir hayli yüksek malzemelerdir ve sıcaklığı, soğukluğu çabuk ilettebilmektedirler. Ancak, yüksek ısılara dayanıklı değildirler ve böyle bir durumda ayrışma başlamaktadır. (Eriç,1994)

Magmatik taşlara örnek olarak, dış ve iç mekanda sıkça kullanılan graniti verebiliriz. Granit; dünyada bilinen en sert doğal malzeme olup (sertlik derecesi 8'dir), bu özelliğinden dolayı da işlenmesi en zor malzemedir. Ayrıca blok çıkartılması, plaka haline getirilmesi ve cilalanması oldukça güç olduğundan pahalı bir malzemedir. Sert olduğundan aşınmaya ve darbelere karşı dayanıklıdır. Asitten etkilenmez. Granit, her türlü iklim koşullarına, hava kirliliğine karşı koyabilir ve parlaklığını uzun yıllar koruyabilir. (Şekil 2.)

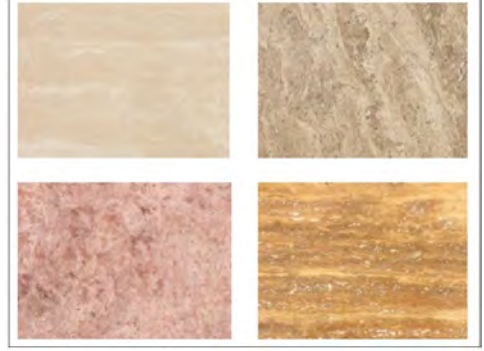


Şekil 2. Doğal taşlardan granitin farklı renk - doku örnekleri (www.nihakmadencilik.com)

Granitin bakım istememesi, ısı değişikliğinden etkilenmemesi ve yüksek mukavemeti tercih edilmesindeki en önemli faktörlerdir. Değişik minerallerin kompozisyonunun meydana getirdiği doku yapısı ve zengin renk skalasının oluşturduğu estetik görünümü ve mukavemeti, granitin tarih boyunca aranan bir malzeme olmasına neden olmuştur.

Sedimanter (tortul) külteler grubunda ise yapıda kullanılan, özellikle de iç meknlarda tercih edilen bir malzeme olan travertenı görmekteyiz. Traverten tıpkı mermer gibi kalsiyum karbonat oluşumundan meydana gelen bir malzemedir. Basınca ve çekmeye karşı dayanımı diğer doğal taşlara oranla daha düşüktür. Doğada gri, beyaz ve sarı renklerde bulunur. Yumuşak dokusu ve kolay işlenebilme özelliği sayesinde

özellikle iç meknlarda tercih edilen bir malzeme olmuştur. (Şekil 3.)



Şekil 3. Doğal taşlardan travertenin farklı renk ve doku örnekleri (www.alimoglumarble.com)

Doğal taşlar birbirlerinden farklı iç yapıları ile farklı özelliklere sahip olmaları nedeniyle kullanım yeri ve amacına uygun olarak seçilmelidirler. Birim hacim ağırlıkları, su emme kabiliyetleri, aşınmaya, ısıya, darbeye dayanımları, neme, aside dirençleri, basınç ve çekme özellikleri, atmosferik etkilere ve dona dayanımı, eğilme mukavemeti gibi özellikleri her malzeme için farklı olacaktır. Bu nedenle, dış etkenlerle renk değişikliğine uğrayıp uğramadıkları ve malzemenin estetik değerleri meknlın özelliğine bağlı olarak seçilmesi gereken niteliklerdendir.

2.2 Doğal Taş Malzemenin Özellikleri:

Başta mermer olmak üzere doğal taşların kullanım alanlarına gelince günümüzde % 40'ı zemin döşemede, % 27'si iç ve dış kaplamada, % 13'ü anıt ve mezarlıkta, % 8'i süs eşyası imalinde ve % 12'si de diğer alanlarda kullanılmaktadır. (Ekincioglu vd., 2014; 3).

Doğal taş yapılarda tasarımcılar tarafından tercih edilen ve çok kullanılan bir malzemedir. Özellikle suya, basınca ve çekmeye dayanımı sayesinde meknlın gerektirdiği işlevsel özelliklere sahiptir. Ayrıca görsel özellikleri de tasarımcıyı bu malzemeye yönelten bir etkidir. Bunun

nedeni doğal taşın sahip olduğu özellikler doğrultusunda sağladığı görsel etkidir.

Çizelge 1. Doğal Taş Malzemenin Teknik Özellikleri (Eriç, 1994)

Birim hacim ağırlığı	2.55 gr/cm ³
Su emme yüzdesi	Sa % 1.8
Dona karşı dayanım	% 5
Aşınma	10 - 15 cm ³ / 50 cm ²
Basınç dayanımı	120 - 140 N/mm ² (püskürük taşlar) 35 - 50 N/mm ² (tortul ve başkalaşmış taşlar)
Eğilme – Çekme dayanımı	7.5 - 8 N/mm ² (püskürük taşlar) 3 - 4 N/mm ² (tortul ve başkalaşmış taşlar)

Düz plaka veya kütleli kullanımlarda doğal taş, eğer bünyesinde farklı renkler ve desenler taşıyorsa, taşın doğasında var olmaları nedeniyle tasarımcılar tarafından taşın bu özelliği, kontrol altına alınamaz ve müdahale edilemez. Ayrıca, doğal taş eğer kendi bünyesinde genellikle bulunan damarlara bağlı olarak, renk ve desen çeşitliliğine sahip değilse, yüzeyinde yapılacak dokulandırma, parlak veya mat cilalama gibi yüzey işlemleri sonucu, farklı görsel etkiler elde edilmesini de sağlar. (Doğanca,2002)

Doğal taşlar kullanım yerlerine göre cilalı veya alternatif yüzey işlemleri kullanılabilmektedir. Cilalı yüzeyler ışığın yansıtılması istenen en direkt aydınlatmalı mekanlarda daha iyi sonuç vermektedir. Cilalı ortamların temizliği ve bakımları daha kolaydır. Özellikle ıslak hacimlerde kaymayı önlemek için eskitilmiş taşlar kullanılır.

Sıfır ve ince kristalli mermerler; iç mekanlarda yatay ve düşey kaplama olarak kullanılabilir. Mermerlerde kristal boyutu arttıkça çatlamlar-kınımlar yanı sıra çözünme ve asitlere karşı daha duyarlılık artarken, sertlik ve basınç direnci değerleri düşer. Bu nedenle, orta ve iri kristalli mermerler daha çok düşey kaplamalarda kullanılmalıdır. Ancak özellikle iri kristalli mermerlerin su emme değerleri yüksek olacağından ıslak mekanlarda kaplama malzemesi olarak kullanılmamalıdır, istek

halinde mutlaka yalıtım yapılmalıdır (Öztank, Türkmen, 2001).

Kireçtaşları ve granitler çekiçleme işlemi ile yüzeyleri kırılarak girintili çıkıntılı değişik bir görünüm kazanırken, mermerler değişik bir görünüm kazanırken, mermerler güzel dekoratif malzeme halini alırlar. Bu işlemlerin cilası hatalı olan malzemelere de uygulanması daha da fazla yaygınlaşmasını sağlamıştır.

Doğal taş, doğallığının müsaade ettiği her ölçüde sunduğu imkanlarla tasarımcılar tarafından tercih edilen değerli bir malzemedir. Doğal taşın değerli olma durumu, mimar ve iç mimarları iç mekan tasarımında doğal taşı kullanırken büyük bir dikkate, hata yapmamaya ve özenli olmaya zorlamaktadır.

3. DOĞAL TAŞ MALZEMENİN BANYO DÖŞEME KAPLAMASI OLARAK İRDELENMESİ

Taş malzeme kullanım yerine göre konstrüksiyon malzemesi, dolgu- izolasyon malzemesi, heykel ve anıt malzemesi olarak sınıflandırılabilir. Yapıda, duvar, döşeme ve çatı kaplaması olarak kullanılan taş malzeme gerek yapının dış cephesinde gerekse de iç mekanlarda farklı cins, desen, doku ve renkleriyle tercih edilen bir malzemedir.

Islak hacimlerde de sıkça kullanılan bir malzeme olan doğal taş; özellikle granit, mermer ve traverten türleriyle karşımıza çıkmaktadır. Günümüzde doğal taşı, farklı biçimlerde uygulamak mümkün olmaktadır. Plak, kare - dikdörtgen parçalar ve mozaik biçiminde uygulanan doğal taşlar mekana görsel açıdan zenginlik sağlarlar.

“Doğal renkli taşların mozaik tekniğinde uygulanmasına değişik uygarlıklarda (Bizans, Roma gibi) sıkça rastlanmaktadır. O çağların tek tek doğal taşlarla harç yardımıyla desen oluşturma tekniği, günümüzde bu tür malzemelerin bir kağıt veya bir file dokumaya yapıştırılması tekniğine dönüşmüştür. (Toydemir, Gürdal, Tanaçan, 2000)

Taş kırma ve kesme yöntemleriyle istenilen biçimin yakalandığı bugünün teknolojisinde, yüzey işlemleriyle de farklı

desen ve dokular oluşturulabilmektedir. (Şekil 4.)



Şekil 4. Doğal taş malzemenin taş kesme yöntemleri kullanılarak mozaik biçimi verilmiş bir uygulaması (www.dogaltasankara.com)

Doğal taş malzeme banyo döşeme kaplaması olarak, işlevsel ve görsel özellikleri göz önünde tutularak irdelenecektir.

3.1 İşlevsel Özellikleri Açısından İrdelenmesi

Taş malzeme, piyasaya arz şekline göre, blok ve plaka şeklinde üretilmektedir. Blok, minimum kalınlığı 10 cm olarak hazırlanan doğal taşlardır. Plak ise, maksimum kalınlığı 10 cm olarak hazırlanan doğal taşlardır. Plaklar, dikdörtgen plaklar, kare plaklar, kenar plakları, köşe plakları, yarım plaklar, çeyrek plaklar şeklinde üretilmektedir.

Taş kaplamalar, homojen yapılı güzel görünümlü ve dış etkilere dayanıklı olmalıdır. Kaplama olarak kullanılan taşlar kalınlıklarına göre ince ve kaba taşlar olmak üzere ikiye ayrılırlar.

İnce taş kaplamalar, kesilerek ve yontularak kalınlıkları 10-12 cm olarak hazırlanırlar. Bu kaplamalar, duvarla birlikte örülürler. Kaplama arasında veya arkasında kalan boşluklara çimento şerbeti dökülerek doldurulur. Kaplanacak taş, yandaki kaplamaya ve duvara uygun metal kenetlerle bağlanır.

Kaba taş kaplamaların kalınlıkları 15-20 cm'dir. Bu kaplamalar duvarla birlikte örülürler. Kaplama arasında veya arkasında kalan boşluklara çimento harcı ile doldurulur. Kaplama taşı, yandaki kaplamaya ve duvara, kenet taşı veya uygun biçimindeki kenet demirleriyle kenetlenir.

Blok ve plaka olarak üretilen tüm taş malzemelerden beklenen birtakım özellikler vardır. Özellikle banyolarda döşeme kaplaması olarak sıkça kullanılan taş malzemelerden beklenen genel özellikler işlevine bağlı özellikler olup ıslak hacimlere yönelik uygun kullanım olanaklarına cevap vermelidir. Buna bağlı olarak taş malzemeler ateşe, sıcak-soğuk şoklara dayanıklı olmalı ayrıca alkali, deterjan, aside karşı dayanıklı olmalı ve çatlamamalıdır.

Banyo mekanlarında döşeme malzemesi olarak kullanılan doğal taş malzemedeki özellikle beklenen unsurlar; su geçirmemesi, kir tutmaması, bakteri barındırmaması, koku yapmaması ve çizilmemesidir.

Konut banyolarda döşeme malzemesi olarak sıkça kullanılan doğal taş malzemeler, granit ve mermerdir. Granit mermer oranla daha sert olduğundan dolayı aşınmaya ve darbelere karşı dayanıklıdır. Modern yapım tekniklerine göre granit, daha ince kesilebilmekte bu da taşın daha hafif olmasını ve bir çok alanda kullanılabilmesini sağlamaktadır. Eskiden granitin ağırlığı problem yaratırken, şimdi pek çok kalınlıkta, en az bir cm'den iki cm'ye kadar veya daha kalın olarak kullanılabilir. Mermer ise granite oranla daha yumuşaktır. Bu malzemenin olumlu yönleri ise iyi cila kabul etmesi ve istenilen biçimlerin kolaylıkla verilebilmesidir. Mermer asitlere karşı dayanımı yoktur ve boyar maddeleri emer. Mermerlerin diğer bir özelliği de yekpare büyük yüzeyler halinde kullanılabilmesidir.

Sonuç olarak konutların ıslak hacimlerinde döşeme kaplaması olarak kullanılan doğal taş malzemeler; mukavemet, sertlik, aşınmalara karşı dayanım, kolay temizlenebilme, kir tutmama, su ve neme karşı dayanım gibi fiziksel, kimyasal ve işlevsel özellikleri açısından aranılan banyo döşeme kaplamasıdır.

3.2 Görsel Özellikleri Açısından İrdenemesi

Doğal taş malzeme; sahip olduğu görsel özellikleri bakımından tasarımcılar tarafından çok kullanılan bir malzemedir. Doğal taşın bünyesinde bulunan farklı renk ve desenler sayesinde pek çok tasarımda taşın bu özelliği ön plana çıkarılmak istenmiştir. Doğal taşın prestijli görüntüsünün yanı sıra her tür müdahaleye rağmen doğallığını koruması tasarımcıları çok etkileyen bir özelliktir. (Şekil 5-6)



Şekil 5. Doğal taş malzemenin ıslak hacimlerde döşeme malzemesi olarak kullanımı (www.delta somine.com, 2017)



Şekil 6. Islak hacimlerde döşeme ve duvar kaplama malzemesi olarak mermer (www.artasmermer.com.tr,2017)

4. DOĞAL TAŞ MALZEMENİN DUVAR KAPLAMASI OLARAK İRDELENMESİ

Uygarlığın başlangıcından bu yana her toplumun farklı amaçlarla ve işlevlerle

kullandığı doğal taş, günümüzde ise oldukça büyük bir taleple karşılaşmaktadır. Doğal taş bakımından, jeolojik yapısı itibarıyla zengin bir potansiyele sahip olan ülkemizde, bugünkü verilere göre 4 milyar m³ işletilebilir mermer, 2,8 milyar m³ işletilebilir traverten, 1 milyar m³ granit rezervi bulunmaktadır. T.C.Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın güncel verilerine göre; dünya doğal taş rezervinin % 40'ına sahip olan Türkiye (URL-1), işlenmiş granit ve mermere olan bu uluslar arası talebi karşılama yolunda büyük gayret göstermektedir.

Antik Yunan ve Roma'da gücü, zenginliği, iktidarı, tanrılara layık oluşu simgeleyen büyük, anıtsal yapılar ve heykeller beyaz mermerden yapılmıştır. O tarihlerden itibaren her uygarlığın çeşitli amaçlarla kullandığı mermer, bugüne kadarki gelişim sürecinde popülaritesini korumayı başarmıştır.

Binaların iç ve dış cephe kaplamalarında, yer döşemesinde, merdiven basamaklarında, mutfaklarda ve banyolarda giderek daha fazla mermer kullanıldığı gözlenmektedir. Bunların yanı sıra mermer; masa, sehpa ve çeşitli mobilyalar şeklinde iç dekorasyon malzemesi olarak da oldukça cazip bir malzemedir.

Doğal taşlardan en çok bilinen ve kullanılan diğer malzeme ise granittir. Granit özellikle desen, renk ve dayanıklılık açısından tercih edilen bir malzeme olmaktadır. Granit, binaların içinde yer döşemesi, duvar kaplaması, basamak, sütun, şömine, mutfak ve banyo kaplaması olarak da yaygın bir biçimde kullanımını sürdürmektedir.

Konut iç mekanlarında doğal taşlardan en çok kullanılanı mermer ve granittir. Yıllardan beri banyo mekanlarında döşeme kaplaması olarak görmeye alıştığımız granit ve mermer, artık birçok banyo mekanında duvar kaplaması olarak tercih edildiği gözlemlenmektedir. Bunun nedeni granit ve mermerin işlevsel ve görsel özelliklerinin banyo duvar kaplamalarında aranan özelliklere uygun olmasıdır.

İç mekanda görsel etkinin vurgulanmak istendiği yerlerde doğal taş tercih edilmektedir. Doğal taş gösterişli, prestijli ve hatta görkemli bir etki yaratan görsel özellikleri ile diğer malzemelerden kendini farklı kılar.

Bu bölümde doğal taş malzeme işlevsel ve görsel özellikleri açısından iki bölümde irdelenecektir.

4.1 İşlevsel Özellikleri Açısından İrdelenmesi

İç duvar kaplaması olarak kullanılacak olan doğal taş malzeme; rijit plaklar, karo, dikdörtgen parçalar ve mozaik biçiminde olmak üzere uygulanabilir. Doğal rijit plaklar ortam koşulları, uygulama yöntemleri ve kullanılan taş türleri bakımından dış kaplamalardan önemli ölçüde ayrılırlar.

İç duvar kaplaması olarak kullanılan doğal taş plaklar, özellikle banyo mekanlarında; kolay temizlenebilme, nem geçirmeme, sudan etkilenmeme ve görsel konfor gibi özelliklerinden dolayı tercih edilirler.

İç kaplamalarda aşırı bir sıcaklık değişimi olmadığı için plağın duvara uygulanmasında genleşmeye bağlı sorunlar azalmaktadır. Kaplamanın arkasına çok büyük olmayan bazı yivler açarak harçlı olarak uygulanmasına olanak vermektedir. Büyük boyutlu rijit plak uygulamalarında ise güvenlik nedeniyle kenetli montaj sistemi veya bir ızgara sistemine vida ile montaj yöntemi kullanılabilir.

Doğal taşlardan granit ve mermer, banyo duvar kaplaması olarak, ıslak hacimlerin duvar kaplamalarından beklenen özellikleri verebilen malzemelerdir. Doğal taşlar; kolay temizlenebilme, kir tutmama, bakteri barındırmama gibi hijyenik koşulları yerine getirmesi ayrıca farklı renk seçeneklerine olanak vermesi gibi özelliklerinden dolayı banyo mekanlarında duvar kaplaması olarak tercih edilmektedir.

Taşlara uygulanan bir yöntem olan cila finisajı, taşın bünyesinde bulunan natürel damarları, hata kabul edilebilecek işaretleri ve taşın tüm doğal unsurlarını daha fazla belirgin hale getirmektedir. Bu belirgin hale getirme işlemi, çeşitli yüzey çalışmalarını sırasında oluşan değişik ton farklılıkları

oluşturarak ilginç estetik görüntüler verebilmektedir.

Renkte homojenlik istendiğinde, çekiçleme, kumlama ve yakma işlemleri herhangi bir lekeyi, koyu damarları ve diğer işaretleri saklamakta yardımcı olmaktadır. Ancak bu işlemler yüzeyi pürüzlü hale getirirler ve buna bağlı olarak da temizlenmesi zorlaşır.

Banyo duvarlarına kaplanacak doğal taş malzemeler mekanın formuna göre istenilen boyut ve şekillerde kesilebilirler. İstenirse büyük plakalar halinde de uygulanabilen taş malzeme estetik görünümünün yanı sıra işlevsel özellikleri bakımından da oldukça pratik bir malzeme çeşididir.

Doğal taşlar; iyi cila tutması, çizilmemesi, kırılmaması, temizliğinin kolay yapılması, parlaklığını uzun süre muhafaza etmesi gibi işlevsel özelliklere sahiptirler.

Banyo duvar kaplaması olarak pek çok mekanda gördüğümüz doğal taş malzeme, kullanım özelliklerinin yanı sıra çeşitli biçimleri ve geniş renk skalası ile her türlü tasarıma olanak verebilmektedir.

4.2 Görsel Özellikleri Açısından İrdelenmesi

Doğal taş malzeme, duvar kaplaması olarak banyo mekanlarında, görsel etkiyi artıran özelliği sayesinde tasarımcılar tarafından tercih edilmektedir.



Şekil 7. Duvar kaplama malzemesi olarak traverten (www.dogaldekor.com, 2017)

Taşın kendine özgü dokusu iç meknlarda doğru uygulandığında görsel açıdan mekan başlı başına bir tasarım ögesi haline

gelmektedir. Karo haline getirilen doğal taşlar dikey,yatay veya farklı açılarda kaplanabilmektedir. (Şekil 8)



Şekil 8. Granit duvar kaplamasının farklı biçimlerde kullanımı (www.artasmermer.com.tr, 2017)

Aynı ıslak hacimde hem duvar hem de döşeme kaplaması olarak kullanılan doğal taşlar mekanda görsel bütünlük sağlamaktadır. (Şekil 9)



Şekil 9. Traverten duvar ve döşeme kaplaması örneği (www.modernevdekor.com, 2017)

5 SONUÇLAR

Doğal taşlar, eskiden beri yapılarda genellikle yüzeyleri düzeltilerek ve parlatılarak kullanılmaktadır. Ancak son zamanlarda döşeme ve kaplama amacıyla özel işlemler ile yüzeyi pürüzlendirilmiş doğal taş uygulamaları yaygınlaşmıştır.

Özellikle ıslak hacimlerde tercih bulan doğal taşlar; suya, basınca ve çekmeye dayanımı sayesinde mekanın gerektirdiği işlevsel özelliklere sahiptir. Ayrıca görsel

özellikleri de tasarımcıyı bu malzemeye yönelten bir etkidir. Bunun nedeni doğal taşın sahip olduğu özellikler doğrultusunda sağladığı görsel etkidir. Taşların dokuları farklıdır. Pürüzlü yüzeyli olanlar ya da mermer gibi son derece pürüzsüz yüzeyliler arasından ıslak hacimlerde yaratmak istenilen atmosfere uygun dokuda bir taş seçilebilir. Pürüzsüz dokular daha parlak görünse de banyoda, özellikle yer döşemesinde bu tip kaplamalar ıslandığında çok kaygan olacağından kullanımı zor olabilir. Ayrıca pürüzlü taşlara göre daha çabuk çizilirler.

Taş malzemenin doğadan gelen bir malzeme olması, önceleri doğada var olduğu şekliyle alınıp üst üste konularak bir örgü sistemi oluşturulması kullanım kolaylığını beraberinde getirmiştir. İnsanoğlunun yakınındaki malzemeyi kullanması onun alışlagelmiş bir davranışıdır. Teknolojideki ilerlemeler taşın var olan sert yapısına bağlı kalmadan mekan içerisinde farklı biçimde kullanım olanağını artırmıştır. İç mekanların ıslak hacimlerinde duvar ve döşeme kaplaması olarak kullanımı tasarımcıya ve mekanın kullanıcılarına sunduğu sınırsız olanaklar sayesinde mekanın dinamizmini artırmaktadır.

Doğal taş, ister yapı konstrüksiyonunda yer alsın, ister kaplama malzemesi olarak kullanılsın yapıda bulunma sebebi sadece bir zorunluluk değil aynı zamanda doğadan gelen, sağlıklı, ekolojik, ısı konforu sağlayan ve estetik niteliğe sahip bir malzemedir. Taş malzeme bu özelliklerinden dolayı geçmişten günümüze yapıların dış ve iç mekanlarında en çok tercih edilen malzeme olmuştur. Genel çerçevede bakılacak olursa, malzeme tasarımın en önemli parçasıdır. Tasarımcı mekan tasarımında malzemenin özelliklerini bilerek kullanım alanlarını belirler ve tasarımına dahil eder. Gelecekte üretilen mekanlarda bu hususun daha fazla göz önünde bulundurularak ele alınması mekan-malzeme ilişkisinin doğru kurulmasını imkan verecektir.

KAYNAKLAR

- Arcan, F. E., 1992 , *Mimari Tasarım Yaklaşım*, Mimarlık Kitapları Dizisi/1.cilt, İki K, 2. baskı, İstanbul
- Artel, T., 1969, *Yapı Malzemesi*, Osman Yalçın Matb. , İstanbul
- Baytin, N., 1984, *Konut Islak Mekanları*, Tübitak Yayınları
- Doğanca, M., 2002, *İç Mekan Tasarımında Görsel Etkileşimler*, Y.Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, M.S.Ü, İstanbul.
- Ekincioglu, G., Başbüyük, Z., Ekdur, E., Ballı, F. ve Kanbir, E.S., 2014, “Kırşehir Doğal Taş Sektör Analizi ve Yatırım İmkanları Raporu”, Ahiler Kalkınma Ajansı, s. 102, Kırşehir
- Eriç, M., 1994, *Yapı Fiziği ve Malzemesi*, s.175,İstanbul
- Öztank,N., Türkmen F., 2001, Mermer-Kireçtaşı ve Konglomeraların Yapılarda Kullanımını Denetleyen Parametreler, *Türkiye III. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Afyon
- Taşlıgil,N., Şahin,G., 2016, Yapı Malzemesi Olarak Kullanılan Türkiye Doğal Taşlarının İktisadi Coğrafya Odağında Analizi, *Marmara Coğrafya Dergisi*, Sayı: 33, S.607-640, İstanbul
- Toydemir,N.,Gürdal,E.,Tanaçan, L., 2000, *Yapı Elemanı Tasarımında Malzeme*, Literatür Yayınları, İstanbul.
- URL-1: www.alimoglumarble.com,2017
- URL-2: www.artasmermer.com.tr,2017
- URL-3: www.delta somine.com,2017
- URL-4: www.dogaldecor.com, 2017
- URL-5: www.dogaltasankara.com ,2017
- URL-6: www.enerji.gov.tr ,2017
- URL-7: www.modernevdecor.com,2017
- URL-8: www.nihakmadencilik.com,2017
- URL-9: www.pinterest.com,2017
- URL-10: www.yapidekorasyon360.com,2017

Doğal Taş Malzemenin Sorunları: Mardin Latifiye (Abdüllatif) Camii

Problems of Natural Stone Material: Mardin Latifiye (Abdullatif) Mosque

Öğr. Gör. L. Karataş

Mardin Artuklu Üniversitesi, Mardin Meslek Yüksekokulu, Mardin

Doç. Dr. Z. S. Perker

Uludağ Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Bursa

ÖZET Tarih boyunca çok sayıda medeniyete ev sahipliği yapmış olan Mardin kenti kültür mirası bakımından da oldukça zengin bir coğrafya sergilemektedir. Kentin sosyo - kültürel süreçleri esas alındığında söz konusu kültür mirası içinde ibadet yapıları ayrı bir yer tutmaktadır. Mardin kentinin tarihsel önemi bulunan ibadet yapılarından bir tanesi de Latifiye (Abdüllatif) Camii'dir. Anadolu mimarisinin doğal taş yapı malzemesi kullanılarak inşa edilmiş önemli örneklerinden olan yapının sürdürülebilirliğinin sağlanması önemli bir sorumluluktur. Doğru koruma müdahaleleri için ise yapının esas yapı malzemesi olan doğal taşın sorunlarının tespit edilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda çalışma kapsamında Latifiye (Abdüllatif) Camii'nin doğal taş malzeme sorunları gözlemsel olarak tespit edilmiştir. Malzeme sorunlarının tespitinde yapının elemanlarına ayrılarak incelenmesi esas alınmış, çalışmanın sonunda ise söz konusu yapı için çözüm önerileri geliştirilmiştir.

ABSTRACT Mardin which has historically received many civilisations has got very rich geography in terms of the cultural heritage. When the city's socio-cultural processes are considered, the worship buildings in the aforementioned culture heritage have got a distinct place. One of worship buildings which has got historical importance in Mardin is Latifiye (Abdullatif) Mosque. It is an important responsibility to provide the sustainability of this building which is one of important models built by the use of natural stone building material in Anatolian architecture. The determination of natural stone problems which the stone is the basic building material in the building is important for the correct protection interference. Latifiye (Abdullatif) Mosque were determined as observational within the scope of this study. It was predicated that the building's components are separated and reviewed for the determination of material problems, suggestions for solutions was provided for the aforementioned building at the end of study.

1 GİRİŞ

Mardin, 7000 yıllık geçmişi ile çok sayıda uygarlığa ev sahipliği yapmış bir kenttir. Kent, özgün yapım tekniği ve yöreye özgü malzeme ile inşa edilmiş yapılarıyla dünya mimarlık tarihinde önemli bir yere sahiptir.

Mardin'deki özgün mimari dokuyu oluşturan yapılar ağırlıklı olarak taş malzeme ile inşa edilmiştir. Yöreye özgü bir kalker türü olan ana yapı malzemesi, yapıların taşıyıcı elemanlarından süsleme unsurlarına kadar pek çok detayda kullanım alanı bulmuştur. Bununla birlikte, kentteki yapılar sözü edilen taş malzemenin, zaman içinde çeşitli etkilere maruz kalması sonucunda, yok olma tehlikesiyle karşı karşıya kalmıştır. Kültür mirasının fiziksel durumunun tespit edilmesi, sahip olunan değerlerin korunabilmesi bakımından büyük önem taşımaktadır.

Tarihi kenti gezmek amacıyla Mardin'e gelen ziyaretçileri ilk karşılayan alan, Cumhuriyet Meydanı'dır. Mardin kentinin önemli ibadet yapılarından olan Latifiye Camii de Cumhuriyet Meydanı'nın güneyinde, kentin orta kesiminde, çarşı merkezinde bulunmaktadır. Latifiye Camii gerek konumu gerekse sahip olduğu mimari özellikleri ile kentin önemli mimari kimlik unsurlarından biridir.

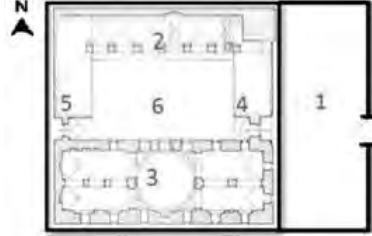
Bu bağlamda çalışmanın amacı, Latifiye Camii'nde kullanılan doğal taş malzemenin sorunlarının gözlensel olarak tespit edilmesidir. Çalışma kapsamında yapılan gözlensel tespit, sonraki adımda alınacak koruma amaçlı müdahale kararlarına veri oluşturması hedeflenmiştir.

Araştırma; literatür taraması, alan çalışması ve değerlendirme olmak üzere üç aşamadan oluşmuştur. Alan çalışmasında gözlem ve fotoğrafla belgeleme tekniği kullanılmıştır. Yapılan gözlemler sonucunda yapıda kullanılan doğal taşa tespit edilen bozulmalar sınıflandırılmıştır. Çalışmanın sonunda ise yapıların koruma ve yaşatma sürecine katkıda bulunmak amacıyla bir durum değerlendirmesi yapılmıştır.

2 MİMARİ ÖZELLİKLER

Latifiye Camii'nin özgün plan şeması, kuzey, doğu ve batı yönlerde yer alan U planlı bir medrese, güneyde ise dikdörtgen planlı bir ibadet alanı olmak üzere iki ana birimden oluşmaktadır. Yapılar grubu ortak kullanılan bir avlu (6 numaralı mekân) etrafında konumlanmıştır. Günümüzde medrese

bölümlerinin, kuzeyde kütüphane (2 numaralı mekân), doğuda depo (4 numaralı mekân) batıda çay ocağı (5 numaralı mekân) olarak kullanıldığı görülmektedir. (Şekil 1).



Mekân No	Özgün İşlev	Günümüzdeki İşlev
1	On Avlu	On Avlu
2	Medrese	Kütüphane
3	Cami	Cami
4	Medrese	Depo- İdare
5	Medrese	Çay Ocağı
6	Arka Avlu	Arka Avlu

Şekil 1. Latifiye Cami Plan Şeması (Altun, 1971'den İşlenerek)

Caminin ana ibadet mekânına giriş sağlanan avlusuna (6 numaralı mekân) doğudan ve batıdan olmak üzere iki giriş bulunmaktadır. Doğudaki kapıdan öncelikle ön avluya (1 numaralı mekân), ön avluda bulunan ikinci bir kapıdan geçilerek ise ana avluya (6 numaralı mekân) ulaşılmaktadır.

Yapı, geleneksel Mardin mimarisinde alışlagelen biçimde yığma sistem ile inşa edilmiştir. Yapının duvar ve döşeme gibi esas elemanlarında ve şebeke, silme, çörten, baca, örtüye geçiş elemanı gibi yardımcı elemanlarında da kullanılan yapı malzemesi, bölgedeki taş ocaklarından çıkarılarak işlenen sarı kalker taşıdır. Yapının sokak yönlerindeki cepheleri derzli moloz taş duvar örgüsü ile avlu yönlerindeki cepheleri ise kesme taş duvar örgüsü ile inşa edilmiştir.

Caminin en önemli mimari unsurlarından biri anıtsal taç kapıdır. Bezemeli taç kapı, Mardin geleneksel yapıları içinde en iyi korunmuş portal örneğidir. Yapı kente bakan cephesi taş malzeme ile oluşturulmuş olup silmeler, söve ve başlıklarla hareketlendirilmiştir. Avlu cepheleri ise; eyvan ve revakların oluşturduğu kemer boşlukları, avluya açılan bezemeli pencere

ve kapılar ile silmelerden oluşmaktadır. Daha çok sivri kemer kullanımı görülmektedir.

3 MARDİN LATİFİYE CAMİİ'NDE DOĞAL TAŞ MALZEMENİN SORUNLARI

Yapıların zaman içinde karşılaştıkları etkiler yapı malzemelerinde farklı sorunların oluşmasına neden olmaktadır. Sorun türlerinin tespit edilmesi ise doğru müdahale yöntemlerinin belirlenebilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Çalışma kapsamında literatür taramasına dayalı bir sorun sınıflandırılması esas alınmıştır (Anonim, 2013). Buna göre 2017 yılında yapılan alan incelemesinde, Mardin Latifiye Camii'nde kullanılan doğal taş malzemede görülen sorunlar; yüzey kaybı, parça kopması, boşluk - delik oluşumu, oyuklu yüzey oluşumu, çatlak, kavlanma, yapraklanma, derz boşalması, yüzey kirliliği, kabuk oluşumu, çiçeklenme, bitki oluşumu, yosun oluşumu, korozyon, form kaybı, renk değişimi ve hatalı onarım uygulaması olmak üzere toplam on yedi farklı başlık altında incelenmiştir.

3.1 Yüzey Kaybı

Taş malzeme yüzeyi, özellikle de tekrarlanan ıslanma kuruma süreçleri sonucunda aşınmaktadır. Kullanılan sarı kalker taşının bünyesel yapısı ile çeşitli atmosferik etkenlerin birleşmesi, Latifiye Camii'nin çeşitli elemanlarında yüzey kaybı oluşmasına neden olmuştur (Şekil 2 ve 3).



Şekil 2. Korkulukta Yüzey Kaybı



Şekil 3. Duvarda Yüzey Kaybı

3.2 Parça Kopması

Mekanik etkilerin taş malzeme iç yapısında basınç oluşturarak çatlaklar meydana getirdiği, oluşan çatlakların ise zayıflayan malzeme parçasını itmesi ile parça kopmalarına neden olduğu bilinmektedir (Anonim, 2013). Yapılan incelemelerde Latifiye Camii'nin minaresinde parça kopmalarına rastlanmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Minarede Parça Kopması

3.3 Boşluk-Delik Oluşumu

Boşluk ve delikler bazen, insanlar tarafından bilinçli olarak açılabilir. Bazen de fiziksel veya mekanik etkiler nedeniyle oluşmuş bir boşluk - delik, taş malzemenin su / nem etkisine açık hale gelmesine sebebiyet vermektedir (Bozoğlu, 1998; Küçükkaya 2004). Latifiye Camii taş duvar örgüsünde çeşitli boşluk ve delikler mevcuttur. Bu deliklerde su rahatlıkla toplanabildiğinden, taş malzeme aralarında bitkiler yetişebilmektedir. Ayrıca boşlugun çevresindeki taşlar, hasar verici hava etkilerine açık hale gelmektedir. Tüm bunlar diğer bozulma süreçlerini de hızlandırmaktadır (Şekil 5).



Şekil 5. Duvarda Boşluk - Delik Oluşumu

3.4 Oyuklu Yüzey Oluşumu

Çalışma kapsamında Latifiye Camii'nin özellikle avluya bakan duvarlarında taş yüzeyinin; güneş, su ve rüzgar etkisinin yanı sıra ıslanma ve kuruma gibi nedenler ile zamanla oyuklu bir görünüm aldığı tespit edilmiştir (Şekil 6). Oyuklar nedeniyle yüzeyin boşalması taşın yıpranmasını hızlandırmaktadır.



Şekil 6. Duvarda Oyuklu Yüzey Oluşumu

3.5 Çatlak

Yatay hareketlerin, yapının zamanla zemine oturmasının ya da mekanik etkilerin yapılarda çeşitli boyutlarda çatlak oluşturduğu bilinmektedir. Çatlaklar; onarım yöntemlerindeki farklılık açısından, kılcal çatlak ve yapısal çatlak olmak üzere iki şekilde sınıflandırılabilir (Anonim, 2013). Latifiye Camii'nde yapılan incelemelerde, yapının özellikle de duvar elemanlarında çeşitli boyutlarda pek çok çatlak meydana geldiği tespit edilmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Duvarda Çatlak

3.6 Kavlanma

Kavlanma, taş malzemenin yüzeyinde, kalınlığı yaklaşık olarak 0,5 – 1 mm olan ince kabarma ve pul pul dökülmelerdir (Anonim, 2013). Latifiye Camii'nin özellikle taş duvarlarında atmosfer etkileri nedeniyle

oluştugu düşünölen ve taş yüzeyinde ince kabarmalar ve pul pul dökülmeler halinde görölen kabarmalar mevcuttur (Şekil 8).



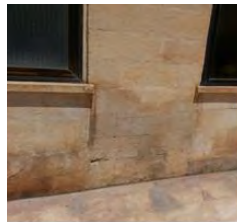
Şekil 8. Duvarda Kavlanma

3.7 Yapraklanma

Taş yüzeyinin daha kalın tabakalar halinde kabarması olarak tanımlanabilen yapraklanma taş malzemenin sorunlarından bir diğeri (Anonim, 2013). Yapraklanma şeklindeki bozulma, taşın kesitini zayıflattığından kavlanmaya göre daha büyük sorun oluşturmaktadır. Ancak Latifiye Camii'nde yapılan incelemelerde yapraklanma sorununa rastlanmamıştır.

3.8 Derz Boşalması

Duvar inşa edilirken taşların birleşimi harçla sağlanmakta ve duvar örgüsünde kullanılan harçlar, özellikle yıkanma sonucunda, zayıflayıp çözünerek taşlardan ayrılabilen, sonuçta da taşlar arasında boşluklar meydana gelmektedir. Bu durum bir yandan duvarın ve buna bağlı olarak yığma yapının bütünlüğünü tehdit etmekte, diğeri yandan su ve neme bağlı başka sorunlar oluşmasına da neden olabilmektedir. Yapılan incelemelerde anlatılan türden sorunlara Latifiye Camii'nin taş duvarlarında rastlanmıştır (Şekil 9).



Şekil 9. Duvarda Derz Boşalması

3.9 Yüzey Kirliliği

Yüzey kirliliği, genellikle hava kirliliğine bağlı olarak ve özellikle de yapıların dış duvarlarında ortaya çıkan bir sorun türüdür. İnce bir tabaka halinde olup genellikle gri renk ile kendini gösteren yüzey kirliliği, yapıların yağmur suyu ile yıkanan bölümlerinde belirginleşmektedir. Yüzey kirliliğinin giderilmesi oldukça zordur (Bozoğlu 1998, Küçükkaya 2004). Latifiye Camii'nde yüzey kirlilikleri mevcuttur. Sözü edilen yüzey kirliliği caminin özgün özelliklerinin algılanmasını zorlaştırmaktadır (Şekil 10).



Şekil 10. Yüzey Kirliliği

3.10 Kabuk Oluşumu

Hava kirliliğine bağlı olarak oluşan kalın kabuk, taş malzemenin dış ortamla da ilişkisini tamamen kesebilen bir sorun türüdür (Anonim, 2013). Kabuğun kalınlığı arttıkça taşın nefes alması zorlaşacağından temizlenmesi oldukça önemli olup bir o kadar da zordur. Bunun sonucunda da kabuk gerisindeki yüzeyde iç basınç, çatlama, ve ayrışma oluşmaktadır. Latifiye Camii'nde yapılan incelemelerde, özellikle dış duvarlarda, hava kirliliğine bağlı olarak ortaya çıkan, kalın ve genellikle koyu gri-siyah renkli kabuk sorunu tespit edilmiştir (Şekil 11).



Şekil 11. Kubbede Kabuk Oluşumu

3.11 Çiçeklenme

Taş malzeme bünyesine giren çeşitli tuz kristallerinin buharlaşarak yüzeye çıkması ile, malzeme yüzeyinde oluşan beyaz lekelerin çiçeklenme sorunu olarak isimlendirildiği bilinmektedir (Anonim 2013, Bozoğlu 1998). Latifiye Camii'nde çiçeklenme sorunu oldukça fazla elemanda kendini göstermektedir (Şekil 12, 13 ve 14).



Şekil 12. Ön Cephede Çiçeklenme



Şekil 13. Yan Cephede Çiçeklenme



Şekil 14. Tonozda Çiçeklenme

3.12 Bitki Oluşumu

Bitki oluşumu, taş malzemeden oluşan yapı elemanlarında sık karşılaşılan önemli bir sorundur. Özellikle taş malzeme yüzeyinde veya duvar örgüsü içinde bulunan boşluklara yerleşen tohumların zaman içinde kök salması ile oluşan bu sorun, bitki köklerinin büyümesi ile daha fazla hasara neden olabilmektedir. Zaman içinde kalınlaşan bitki köklerinin malzemede çatlaklara ve parça kopmalarına sebebiyet verdiği bilinmektedir. Çalışma kapsamında yapılan incelemelerde Latifiye Camii'nin dış duvarlarında önemli ölçüde bir bitki oluşumu sorunu ile karşılaşılmıştır (Şekil 15).



Şekil 15. Dış Duvarlarda Bitki Oluşumu

3.13 Yosun Oluşumu

Nemli bir ortamda karşılaşılan yosun oluşumu da doğal taş malzemede görülen sorunlardan bir diğeridir. Yosunların seyreltik bazı asitler salgılayarak taş malzemede çözünme oluşturdıkları bilinmektedir (Anonim, 2013). Latifiye Camii'nin kuzey cephesinde bulunan çeşmede yosun oluşumu sorunu ile karşılaşılmıştır (Şekil 16).



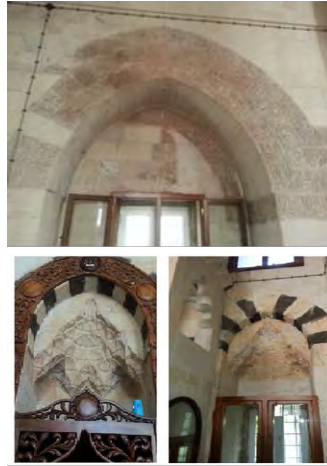
Şekil 16. Yosun Oluşumu

3.14 Korozyon

Korozyon, metal elemanların nem veya elektrolitik bir reaksiyon sonucunda kimyasal olarak hasara uğramasıdır. Metal elemanların taş malzeme ile birlikte kullanılması halinde taş malzemede de metal korozyonuna bağlı hasarlar oluşabilmektedir. Ancak Latifiye Camii'nde yapılan incelemelerde anlatılan türden bir sorun ile karşılaşılmamıştır.

3.15 Form Kaybı

Form kaybı, işlenmiş taş yüzeylerinde, bezemelerin kısmen ya da tamamen formunu ve okunurluğunu kaybetmesidir (Anonim, 2013). Latifiye Camii'nin doğu girişindeki portal çok iyi korunmuştur. Buna karşın yapının özellikle iç mekândaki işlenmiş taş yüzeylerinde, bezemelerin dış konturlarının kısmen ya da tamamen formunu kaybettiği tespit edilmiştir (Şekil 17).



Şekil 17. Form Kaybından Örnekler

3.16 Renk Değişimi

Renk değişimi, gün ışığı, su, nem ya da herhangi bir akıntı (metallerin korozyonu sonucu yıkanması vs...) etkisiyle, taşı oluşturan minerallerin özgün olarak sahip oldukları rengin farklılaşması sorunudur (Anonim, 2013). Latifiye Camii'nde neredeyse tüm duvarlarda renklenme, solma, nemli bölge koyuluğu ve lekelenme tespit edilmiştir (Şekil 18).



Şekil 18. Renk Değişiminden Örnekler

3.17 Hatalı Onarım

Tarihi yapılarda kullanılan özgün yapı malzemelerinin bünye yapılarına uygun olmayan farklı malzemeler ile onarılmaya çalışılması sık rastlanılan bir sorundur. Özellikle onarım derzlemelerinde çimento esaslı harçların kullanılması, taş malzeme yüzeylerinin sıvanması, boyanması ya da uygun olmayan bir malzeme ile kaplanması hatalı onarım uygulamaları arasındadır (Anonim, 2013). Latifiye Camii'nin çeşitli yapı elemanlarında onarım amaçlı olarak çimento kullanımı dikkati çekmektedir (Şekil 19).



Şekil 19. Taş Yüzeyde Çimento Kullanımı

4. SONUÇ

Çalışma kapsamında Mardin'in önemli mimari eserlerinden olan tarihi Latifiye Camii'nde kullanılan taş malzemenin

sorunlarının gözlemsel olarak tespit edilmesi amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda, yapıda kullanılan taş malzemede düzeyleri farklılaşan çeşitli sorunlar ile karşılaşmıştır. Çalışma kapsamında tespit edilen sorunların yapı elemanlarına göre dağılımı incelendiğinde; en fazla sorunun yapının duvarlarında görüldüğü söylenebilmektedir. Çalışmada ele alınan sorunların neredeyse tamamı ile en fazla karşılaşılan yapı elemanları duvarlardır. Yapının kemerlerinde belirginleşen sorun çiçeklenme sorunudur. Yapının merdivenlerinde ise oyuklu yüzey oluşumu, yüzey kirliliği, çiçeklenme, bitki ve yosun oluşumu göze çarpmaktadır. Pencere ile kapıların lento ve sövelerinde görülen yüzey kaybı ve parça kopması yine önemli kabul edilebilecek diğer bir sorundur. Yapının taş malzeme ile üretilmiş şebekelerinde ise hatalı onarımlar dikkati çekmektedir.

Mardin kentinin önemli tarihsel kimlik unsurlarından biri olan Latifiye Camii'nin korunarak yaşatılması ve gelecek kuşaklara aktarılması, yapının ana malzemesi olan doğal taş ile üretilmiş özgün elemanlarının bir bütün olarak korunmasına bağlıdır.

Yapılan incelemelerde tespit edilen yüzey kaybı, parça kopması, boşluk, delik, oyuk ve çatlaklar boyutsal olarak ayrıntılı incelemeye alınmalıdır. Sözü edilen sorunların boyutlarına bağlı olarak uygun sağlama yöntemi seçilmeli ve uygulanmalıdır. Özellikle duvar örgüsünün bütünlüğünü tehdit eden derz boşalmalarının giderilmesi için yeniden derzleme yapılmalıdır. Ancak derzlemede kullanılacak harcın tespit edilebilmesi için özgün harcın bileşimi ile ilgili gerekli araştırmaların yapılması önemsenmelidir. Diğer yandan yapı elemanları, taş malzemenin nefes almasını önleyen ve özgün görünümüne zarar veren çimentolu uygulamalardan arındırılmalıdır. Yapının özgün görünümüne zarar veren çeşitli düzeylerdeki yüzey kirliliğinin giderilmesi için ise uygun temizlik yöntemi seçilmeli ve uygulanmalıdır. Özellikle yapının dış cephesini oluşturan taş duvarlarda yoğun olarak görülen bitkilerin temizlenmesi önemsenmelidir.

Çalışma kapsamında yapılan incelemeler sonucunda, Latifiye Camii'nin en kısa sürede genel bir bakım ve onarımdan geçirilmesi gerektiği kanısına varılmıştır. Sarı kalker taşı başta olmak üzere doğal taş malzemede karşılaşılan sorunlar yapının özgün özellikleri ile korunmasına yönelik olarak yapılacak daha detaylı araştırmalara

gereksinim duyulduğuna da işaret etmektedir.

KAYNAKLAR

- Altun, A. 1971. *Mardin'de Türk Devri Mimarisi*, Acar Basım, İstanbul, S: 40-43.
- Anonim. 2013. *İnşaat teknolojisi Taş Bozulmalarını Teşhis Etme*, Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara.
- Bozoğlu, T. 1998. Yöresel Taş Malzemeli Yapılarda Taş Malzeme Bozulmaları ve Restorasyon Yöntemleri Üzerine İrdeleme, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Küçükkaya, A.G. 2004. *Taşların Bozulma Nedenleri Koruma Yöntemleri*, Birsen Yayınevi, İstanbul (163 s.).

Doğal Taş: Bir Sürdürülebilir Mimari Malzeme Örneği *Natural Stone: An Example of Sustainable Material in Architecture*

S. Ateş Can

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Burdur

B. Özipek

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Burdur

ÖZET Günümüzde mimari tasarımların doğa ve çevre ile uyumlu olması, sorunları çözmek için doğayı örnek alması istenmektedir. Tasarımlarda, doğadaki mevcut kaynakların verimli bir şekilde kullanımı için, çevreyle ilişkili, sürdürülebilirlik ilkelerine önem veren, ekolojik yaklaşımlar esas alınmaktadır. Bu kapsamda, malzeme, sürdürülebilir ekolojik mimari tasarımların oluşturulmasında büyük önem taşımaktadır. Geleneksel ve yerel malzemeler ise, enerji kullanımını en aza indirmesi nedeniyle de ayrıca önem taşır. Bu açıdan bakıldığında, doğal taş dayanıklılığı ve uzun ömrü, bakım kolaylığı, geri dönüştürülebilirliği, insan sağlığı açısından zararsız bir malzeme olması ve gelişmiş imalat uygulamaları sayesinde sürdürülebilir mimari tasarımlarda kilit bir rol üstlenmektedir. Bu çalışmada, doğal taşın, sürdürülebilir ve ekolojik mimari tasarımlarda mimara sağlayacağı avantajlar değerlendirilecektir.

ABSTRACT Nowadays, it is expected from architectural designs to find the solutions from nature as a source and to be in harmony with the nature and environment. For the efficient use of existing natural resources, designs are based on ecological approaches, which are related to the environment and attach importance to sustainability principles. In this context, material is of very great importance in the creation of sustainable ecological architectural designs. However, it can also be argued that use of traditional and local materials can reduce energy consumption. From this point of view, natural stone has a key role in sustainable architectural designs in terms of durability and long life, ease of maintenance, recyclability, harmlessness to human health, and advanced manufacturing practices. In this paper, designing with natural stone, how to gives architects the chance in sustainable and ecological designs are evaluated.

1. DOĞAL TAŞ: BİR SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARİ MALZEME ÖRNEĞİ

1.1 Doğal Taşın Tarihi

Taş deyip geçmemek gerekir. Sonuçta dünyanın kuruluşundan bu yana tarihin her safhasında, her medeniyetin kuruluşunda ve yok oluşunda, kültürel yaşanmışların gün yüzüne çıkmasında ve zaman sürecindeki devamlılığında hep taş vardı. Doğal taşlar aynı zamanda bu özelliklerinden dolayı

mimarlık ve sanat tarihinin de doğuşunda mihenk taşıdır (1).

İnsanoğlunun barınmadan korunmaya, geçmişe bir pencere geleceğe bir ayna tutan, sağlamlığı ve doğallığı ile sonsuz yolculuğunda bile kendi bedenini emanet ettiği, geçmişten getirdiği yazılı anıtlarla tarihin gizemini gün yüzüne çıkardığı ve hayatının her alanında beraber yaşadığı doğal bir simge olarak tarihe geçmiştir (1).

Taş, sıcak yuvamızda duvar, ekmeğimiz için değirmen taşı, ark taşı (oluk), kuyu taşı

(Kuyu ağızlarına konan yayvan taş), suluk, çeşmelerde yalak taşı, düven altında çakmak taşı, dibek taşı (buğdayı kabuğundan ayırmak için), merdivenlerin ilk basamağı olarak yapılan ayak taşı, binek taşı, fırın taşı, dilek taşı, siğil taşı, hamamlarda göbek taşı, camilerde musalla taşı ve mezarlıkta mezar taşı olarak hayatımızda çok önemli işlevler yüklenmiştir (1).

Altay Türklerinin Yaratılış Efsanelerinden Orhun Yazıtlarına, Uygurların iyi talih, saadet, güç ve bereket verdiği inandıkları Kutluğ Dağ sembolizminden Sümer, Akad, Babil, Hititler ve Anadolu'da kutsal sayılan Havaşi taşına, Frigler'deki Ana Tanrıça Kybele'ye kadar birçok mitolojik anlatılarda taş kullanıldığı görülmüştür. Eski Mısırlılar Aswan granitlerini, Urartular volkanik tüfleri, Hititliler bazalt taşlarını ve Helenistik dönem uygarlıkları mermerleri yoğun olarak kullanmışlardır. Bu antik uygulamalarda taşın kaynağından yapının yerine malzeme taşınmasının kolaylığı ve ekonomik oluşunun etkisi belirgindir; ancak görsel etkide sınırlı kalındığında, çeşitlilik ve zenginlik arandığında uzak yörelerden ve ülkelerden de taşların getirildiği bilinmektedir (1).

Tarih boyunca insan yaşantısının her alanında taş kullanılmıştır. Hatta farklı zamanlardaki farklı kullanılan özelliklerine göre tarihi süreçte o döneme adını bile vermiştir (Yontma Taş Devri, Cilalı Taş Devri gibi). Urartu medeniyeti ile başlayan taş işleme tekniği bir zanaat kolu olarak oluşmuş ve tarih sürecinde Anadolu'dan yayılarak bütün medeniyetlerde farklı amaç ve işlevlerde kullanılmıştır. Her medeniyetin kendine özgü tekniğiyle mermer ve doğal taşlar tiyatro, yol, hamam, kütüphane, ibadethane, çeşme, kervansaray gibi dış çevre yapılarında, heykelcilik, süsleme, döşeme ve mekân kaplaması olarak da iç mekan mimarisinde de kullanmıştır (Taşlıgil, Şahin, 2016).

Doğal taşlar doğa ve insan elinden bir yıkım görmediği, tahrip edilmediği sürece binlerce yıl ayakta kalabilmiştir. Böylece eski uygarlıkların yaşantısını ve kültürünü günümüze taşıyarak bunların tanınmasında ve incelenmesinde önemli bir rolü olmuştur.

Bunun getirisi olarak tarih sayfasında yer almak ve geleceğe bir eser bırakmak isteyen birçok mimar ve heykeltıraş eserlerini taşlardan yapmışlardır (Öztank, 1999).

Türkiye jeolojik yapısından kaynaklı doğal taş kaynaklarının çok çeşitli ve bol olduğu bir ülkedir. Mezopotamya'dan bu yana pek çok uygarlık farklı dönemlerde farklı çeşit doğal taşları kendi medeniyetlerinde kullanmışlardır. Bu yapıların hepsi günümüzde jeolojik miras niteliğindedir ve birçoğu da henüz tespit edilememiştir. Ayrıca bu kadar çeşitlilik altında hem ticari anlamda hem de bilimsel anlamda birçok doğal taş terminolojisi olduğundan dolayı, doğal taşlar hakkındaki jeolojik bilgilerimizde sınırlıdır (Kazancı, Gürbüz, 2014).



Şekil 1: Jeolojik miras nitelikli Türkiye doğal taşları (1. Ahlat Taşı, 2. Ankara Taşı, 3. Lületaşı, 4. Midyat Taşı, 5. Nevşehir Taşı, 6. Oltu Taşı, 7. Pileki Taşı, 8. Sille Taşı, 9. Önemli traverten ve mermer yatakları. Boyalı alanların büyüklüğü göreceli rezerv karşılaştırması içindir.)

Dünyanın pek çok ülkesinde Türkiye'den çıkarılan mermerler kullanılmakta ve kullanılmaya da devam etmektedir. Günümüzde 650 farklı renk ve dokuda/desende mermer çeşidi tespit edilmiş olup bunlardan 290 kadarı Türkiye'den çıkarılmaktadır. Bununla beraber günümüzde sadece Türkiye'den çıkarılan bazı özel mermerler vardır (*Denizli Traverteni*, *Elazığ Vişne* gibi). Örneğin Vatikan'daki Saint Pierre kilisesinin girişindeki sütun ve kaplamalarda Afyon İncehisar mermerleri kullanılmıştır. ABD'de Beyaz Saray'da basın açıklaması yapılan alanda, Alman ve Fransa Parlamentosu ile ABD Temsilciler Meclisi'nde zemin

kaplamalarında Elazığ'da üretilen *Elazığ Vişne* kullanılmıştır. Bundan dolayı Türkiye'nin bir an önce doğal taş haritası ve sayısal bilgileri çıkartılmalıdır (Taşlıgil, Şahin, 2016).

Günümüzde doğal taşlar her ne kadar endüstri tarafından şekillendirilse de taş, endüstriyel bir ürün değildir. Doğada milyarlarca yılda şekillenmiş, onun parçası olup tüm gizemini barındıran benzersiz, oluştuğu ortamın koşullarını yansıtan içyapıları, fosilleri ve insanlık tarafından binlerce yıllık tarih boyunca çeşitli amaçlarla kullanılmasıyla dünya ve insanlık tarihinin gelişimine ışık tutan nitelikleri taşı, başka hiçbir yapı malzemesinde bulunmayan özelliklere sahip ayrıcalıklı bir malzeme kılmaktadır (1).

1.2 Doğal Taşın Mimariye Yansması

Mimari kavram, aslında insanoğlunun varoluşundan bu yana içinde olduğu bir yaşam tarzıdır. İlk olarak korunma içgüdüğü ile başlayan mimari tasarım daha sonra yaşam tarzı ve gelişen farklı ihtiyaçlar doğrultusunda şekil almış ve değişkenlik göstermiştir. Bu değişkenliklerin başında da mimaride kullanılan farklı malzeme seçimleri gelmektedir. Dünyanın farklı bölgelerinde, farklı coğrafi, iklimsel ve kültürel özellikleri olan yerlerde, çevresine uyum sağlamakta olağanüstü bir yeteneğe sahip olan insanoğlu bütün bu değişkenler ışığında mimari tasarımda da farklı şekillenmelere gitmiştir. Bu şekillenmeler bölgesindeki yerel malzemelerle uyguladığı inşaat tipleridir. Örneğin bulunduğu bölgede jeolojik yapısı gereği taş varsa taşı, ormanlık bir bölgede yaşıyorsa ahşabı, topraklık bir alansa kerpici kullanmıştır.

Taş ise tarih öncesi zamanlardan bu yana kullanılan en eski inşaat malzemelerinden biridir. Doğadan çıkarıldığı için tamamen organik olan yapısıyla, dayanıklı, sert, taşıyıcı niteliği ve yalıtım sağlaması sebebi ile insanoğlunun tercih ettiği en önemli yapı malzemelerinden biri olmuştur. Doğadan çıkarıldığı gibi ya da yontularak binada taşıyıcı özellikli kullanılmasının yanında, teknolojinin de yardımıyla farklı işlemlerden geçirilerek iç mekânlarda da

kaplama malzemesi olarak kullanılmakta ya da birçok farklı işlev üstlenmektedir (Gürani, 2012; Canbolat, 2012).

Farklı bölgelerde farklı nitelikteki taşlarla yapılan yapılar, bölge halkının kültürel mozağini oluştururken, taşların bir araya gelişindeki ve işlenişindeki farklı yapım teknikleri ve uygulama tarzları bölgenin aynı zamanda yöresel mimari karakteristiğini yansıtmaktadır. Ayrıca doğal taşlar, milyonlarca yıllık oluşumları sonucunda farklı kimyasal ve fiziksel yapıları gereği farklı özelliklere sahiptirler. Bu farklı özelliklerine göre yapılardaki kullanım yeri ve amacı değişkenlik gösterir. Örneğin; birim hacim ağırlığı, ağırlıkça su emme yüzdesi, dona dayanıklılığı, aşınma ve darbelere direnci deneylerle ölçülebilen özelliklerine göre taşıyıcı, yüzey elemanı ya da dolgu malzemesi olarak kullanılırlar. Bunlardan farklı olarak taşın mineral bileşimi, yapısı, dokusu ve rengi gibi özelliklerine göre mekân içinde farklı kullanım alanlarına göre de tasarımcıya farklı alternatifler sunarlar (Gürani, 2012; Canbolat, 2012).



Şekil 2,3,4,5 : Yöresel taş malzemesi ve yapım tekniği farklılık gösteren taş evler. (Şekil 1: Mardin'de taştan ev, Şekil 2: Alaçatı'da taştan bir otel, Şekil 3: Antalya'da taştan bir villa , Şekil 4: Ürgüp'de kayaların içine oyulmuş bir otel)

İnşaat sektöründe geniş kullanım alanına sahip doğal taşlar ticari anlamda genelde traverten, beyaz mermer, renkli mermer ve sert taşlar (granit, granodiorit, siyenit) olarak

dört grupta toplanabilir. Ticari anlamda doğal taşlar dört ana grupta toplansa da, jeolojik, fiziksel ve kimyasal açıdan incelendiğinde her cins taşın kendine özgü özellikleri nedeniyle farklı sınıflandırmalarla grup sayısı artabilmektedir. Taşın kimyasal bileşimi, sertliği, kırılgenliği, don ve basınç gibi çeşitli fiziksel zorlamalar karşısında göstereceği reaksiyon bilgilerini içeren teknik bilgiler, doğru yerde doğru taşın kullanılması açısından önem taşır. Bu bilgiler irdelenmeden taş seçimi yapılması çeşitli olumsuzluklara yol açabilir (Öztank,1999).

Mimari yapılarda kullanılan doğal taşlar, kullanım yerinin özelliği ve tasarımı yönlendiren kriterler doğrultusunda bir kısmı parlatılarak bir kısmı da parlatılmadan kullanılmaktadır. Parlatılmadan kullanılan taşlar: granit, bazalt ve andezit parke taşlar, tüf, tüfit ve marınlar, şist, gnays ve benzeri kayrak taşlarıdır. Bunlar özellikle açık alan yapılarında, şömine, barbekü ve dekoratif eşya yapımında çok kullanılmaktadır. Metamorfik kökenli şist, gnays ve kayrak taşları çekiçle vurulduğunda santimetre ve milimetre kalınlığında levhalara ayrılırlar. Genellikle boyutlandırılmadan cilalanarak kullanılır. Cephe kaplamalarında buzlanmaya, donmaya ve fark meteorolojik koşullara dayanımı nedeniyle kuvarslı şistler kullanılmaktadır. Parlatılarak kullanılan doğal taşlara ise, yasal ve ticari olarak 'Mermer' denilmektedir (endüstriyel tanım). 'Granit' ise ticari tanımıyla mermerden daha sert olan her türlü doğal taşta verilen ortak isimdir (Öztank, 1999).

1.2.1 Konstrüktif Amaçlı Kullanım

Geçmişte inşa edilen yapılarda, inşaat teknolojisi ve yakın çevreden taş malzemenin kolay temin edilebilir olması nedeniyle taş malzemenin kullanımı rasyonel bir çözümdü. Yığma yapım tekniğinde yapının alt bölümlerinde ağır malzemeler, üstlerde ise daha hafif malzemeler kullanılırdı. Geçmişte olduğu gibi günümüzde de taş duvarların yüzey niteliği, kaba yonu ya da kesme taş olması ve derzlerin çizgisel düzende ya da serbest düzene sahip olması yapının mimari

karakterini etkilemektedir. Bölgesel olarak farklı karakteristik özelliğe sahip taşların cinsine göre farklı yapım sistemli binalar inşa edilmektedir (Gürani, 2012; Canbolat, 2012).



Şekil 6: Temeli ve Taşıyıcı Duvarları Blok Taştan Yapılmış Karadeniz Evi



Şekil 7 :Tamamı Taş Örgü Tekniğine Göre Yapılmış Taştan Köy Evi

1.2.2 Kaplama Olarak Kullanımı

Doğal taşın konstrüktif amaçlı kullanımından doğan olumsuzluklara bir çözüm olarak, taş işleme teknolojisinin gelişimi ile blok halindeki taş malzeme ince kesitli hale getirilerek yapı cephelerinde ya da iç mekânlarda kullanılabilir. Bu malzemeler; yüzeyde taşın doğal yapısını karşılayan dokuyu elde etmede ve estetik kaygılar nedeni ile kaplamada yer alabilir. Taşın ince kesite getirilmesi için gerçekleştirilen işlemlerde taşın cinsi, mekan içindeki yeri ve mekânın işlevi etkili olmaktadır (Gürani, 2012; Canbolat, 2012).

Yapılarda kaplama amaçlı olarak genellikle yüzeyleri düzelterek parlatılmış

mermer, granit gibi doğal taş ürünleri kullanılmaktadır. Özel işlemlerle yüzeyi pürüzlü hale getirilmiş yüzey kaplamaları ve döşeme uygulamaları da son zamanlarda yaygınlaşmıştır. Yüzeyi cilalanmış sert mermer zeminde aşınmalara karşı dayanıklı olduğu için tercih edilir. Aynı zamanda cilalı yüzeyler mekâna prestijli bir görünüm sağlar. Mermer, iç mekanda hijyenik nedenler ve ısıya, suya, neme olan geçirimsizliğinden dolayı ıslak hacimlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tür olumlu özelliklerine karşın aside dayanıksızdır. Mermer yüzeyindeki katman çizgileri mekânın doğal görünümünü destekler (Gürani, 2012; Canbolat, 2012).



8

9



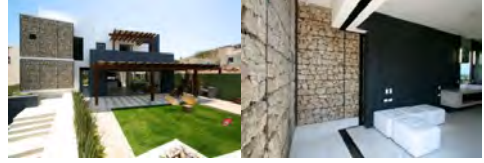
10

Şekil 8,9,10 : Farklı özellikteki taşların iç mekanda kullanımları

(Şekil 8: Zemin, duvar ve tavanda aşınmalara ve suya dayanıklı mermer ve granit kaplama örnekleri, Şekil 9: Suya dayanıklı doğal taş mermer kaplaması, Şekil 10: Mekana prestij katan granit zemin kaplaması)

1.2.3 Yapıda Dolgu Ve İzolasyon Amaçlı Kullanım

Sıcak iklime sahip bölgelerde yaşam alanının nefes almasını sağlayan bir duvar (gabyon duvar) oluşturarak doğal hava sirkülasyonu sağlanmaktadır.



Şekil 11: Meksika, Baja California Sur'da bir konut. Yaşam alanını güneş ışığından koruyan gabyon duvar.

Doğal taş malzemelerin istif yapılarak boşluklu bir şekilde düzenlendiğinde, yapıyı saran bir kabuk görünümündeki duvar bloğu hem görsel bir farkındalık oluşturmakta hem de iç mekânda termal konfor sağlamaktadır. Aynı zamanda taşın brüt ağırlığı ile dikey strüktürel görünümündeki hafifliği ile tezat oluşturması estetik açısından da görsel bir algı oluşturmaktadır (Gürani, 2012; Canbolat, 2012).



Şekil 12 :İsrail'de Mashrabiya Evi (Tasarımcı: Senan Abdelqader)

Taş malzemenin mekândaki ifadesi, mevcut olan rijit karakterinden sıyrılıp, mekâna tanım getirmekte ve ahşap gibi diğer doğal malzemelerle bir arada kullanılarak doğal bir görüntü elde edilmektedir. Ahşap konstrüksiyon arasında dolgu malzemesi olarak kullanılan taşlar doğal bir ısı yalıtımı sağlamaktadır (Gürani,2012; Canbolat, 2012).



Şekil 13: Geleneksel İç Anadolu Dokusunu Taşıyan Bir Ev

Yapı malzemesi olarak kullanılan taş aynı zamanda geri dönüşümlü bir ürün olarak da düşünülebilir. Taş ocağından çıkartılan çeşitli renk ve dokuya sahip taşlar, düzgün kesilerek yapılarda kullanılırken, üretim esnasında ortaya çıkan küçük taş parçaları bu yapının cephe kaplamasında kullanılarak hem kaplama maliyeti ortadan kaldırılmış oluyor, hem de doğaya atık malzeme bırakılmamış oluyor (Gürani, 2012; Canbolat, 2012).



Şekil 14 :İran'da atık taşlardan yapılmış ev Tasarım: Ramin Mehdizadeh, İran, 2010

2. SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARİ

Her canlı varlık temelinde yaşamını devam ettirme içgüdüsüyle doğar. Yaşamını sürdürürken, çeşitlilik ve üretkenlik özelliklerinin gelecek nesillere de aktarılmasını ilke edinen “Sürdürülebilirlik” kavramı, sosyal, ekonomik ve çevresel boyutları da kapsamaktadır. Çevresel boyutta doğa ve insan arasındaki etkileşimde bir denge kurarak, sosyo-kültürel bazda da duyulan ihtiyaçların insan sağlığı ve konforu kriterlerini gözeterek, kullanılan yapım

malzemeleri yönünde de ekonomik bir yapım, tadilat ve devamlılık sunarak oluşturulan mimari tasarım akımına “Sürdürülebilir Mimarlık” diyebiliriz.

1993 yılındaki ‘Dünya Mimarlık Birliği’ genel kurulunda alınan karar bildirisinde ise Sürdürülebilir Mimarlık şöyle tanımlanıyor; “Sürdürülebilir yapı tasarımı ve üretiminde kaynak ve enerjinin daha etkin kullanımının gözetilmesi, sağlıklı, işlevsel ve dayanıklı yapılar ve yapı malzemelerinin üretimi, ekolojik ve toplumsal kriterlere uygun arazi kullanımı ve esin veren estetik duyarlılıktır”. Bina yapım aşamasından yapı ömrünü tamamladığı yıkım aşamasına kadar çevresiyle ve ekosistemle ilişkili bir rol oynamaktadır. İnşaatin başladığı daha ilk andan itibaren yapı alanına yapılan müdahaleler, makine, malzeme ve işçi yoğunluğunun ekolojik çevreye yarattığı tahribatlar, zehirli atıklar, atmosfere salınan karbon salınımı, yapı için kullanılacak endüstriyel malzemelerin üretim, taşıma ve kullanım aşamasındaki enerji, su tüketimi ve doğaya salınan zararlı gaz salınımı, inşaat bitiminde çevrede biriken doğal olmayan moloz ve kimyasal atıklar, yapı kullanım ömrünü bitirdikten sonra kalan yıkıntı. İşte bu saydıklarımızın hepsi yaşadığımız ve soluduğumuz ekosisteme zararlı ve yok edici birer darbedir (5).

3. DOĞAL TAŞIN SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARİYE ETKİSİ

Taş, 1800'lü yıllara kadar çoğunlukla 'masif, strüktürel eleman' olarak kullanılmıştır. Bu tarihten itibaren tüm dünyada başlayan endüstri devriminin etkisiyle bu özelliğini yitirip 'kaplama malzemesi' kimliğiyle ağırlıklı olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Teknolojinin gelişmesi yapı malzemesi pazarında olumlu etkiler yaratırken yaşadığımız çevrenin de kirlenmesine neden olmaktadır. Yüksek teknoloji ürünü olan çağdaş yapı malzemelerinin üretiminin, çevre sorunlarının ortaya çıkmasında büyük rolü vardır. Bu malzemelerin sadece üretim aşamasında değil yapılarda kullanımı ve tüketimi sırasında da yaşam döngülerinin her aşamasında çevre üzerinde bir etki yaratırlar.

Bu durumda, gelecek nesillere yaşanabilir çevreler bırakmak için çevre kirlenmesini önleyecek tedbirlerin alınması kaçınılmaz olmaktadır. Geleneksel malzemelerin terk edilip modern (çağdaş) malzemelerin kullanımı yaygınlaşırken bunların çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkileri de göz ardı edilmemelidir (Öztank,1999).

Sürdürülebilir bir yapı sektörü için, yapı malzemelerinin çevresel etkilerinin belirlenmesi gereklidir. Bir yapı malzemesinin veya yapı ürününün hammaddesinin çıkarılmasından işlenmesi, paketlenmesi, taşınması, kullanımı, bakım ve onarımı, ömrünü tamamladıklarında atılması, geri dönüştürülmesi ve yeniden kullanıma hazır hale getirilmesine kadar geçen sürece “yapı malzemelerinin yaşam döngüsü değerlendirmesi” denir (Çelebi, Aydın, 2001: s. 457–464). Doğaya zarar vermeyen, geri dönüşümlü, yöresel, bölgenin iklim koşullarına uygun ısı geçirgenliğinde, üretim ve uygulamada çok enerji gerektirmeyen özelliklere sahip malzemelerin seçilmesi önemlidir (Yeler, Özek, 2007). Bu bağlamda baktığımızda yapılarda taş malzemenin kullanılmasının, tasarım, malzeme, yapım sistemi, ekonomi, üretim kolaylığı ve ekosisteme sağladığı olumlu etkileri bakımından sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda sürdürülebilir mimariye zengin kazanımlar yarattığını söyleyebiliriz.

Doğanın içinden gelen bu yapı elemanı insanoğlu için sağlıklı, ucuz ve kolay bulunabilirken, ekosistem için de atıksız, geri dönüşümlü ve çevreci olarak inşaat sektöründe kabul görmektedir. Sürdürülebilir mimari yaklaşımlarında önemli olan yapıda doğru malzeme seçiminde, yapının bulunduğu bölgedeki topoğrafyanın sunduğu malzemeyi taş ise taşı, killi toprak ise kerpici, ormanlık alan ise ahşabı kullanmaktır (6).

İnşaat yapım aşamasında yerel malzemelerin kullanılmasının önemi çok büyüktür. Böylelikle yakın bölgedeki taş ocaklarından çıkan taş malzemelerinin inşaat alanına taşınması için yapılan nakliye giderlerinin ve bu aşamada ortaya çıkacak karbon salınımının en aza indirilmesi, ekonomiye ve doğal çevreye olumlu bir

katkı sağlayacağından dolayı sürdürülebilir bir yaklaşım oluşturmaktadır. Böylelikle hem inşaat yapım maliyeleri azalacak hem de çevreye daha az zarar vermiş olacağız (7).

Sürdürülebilirlik açısından baktığımızda doğal taşın özelliklerine değinecek olursak;

- Dünyanın oluşumundan bu yana oluşumdaki farklılıkları, içerisindeki minerallerin bağlantı şekillerine göre çeşitlik gösteren doğal bir yapı malzemesidir.

- Doğallığı yüzünden üzerinde oluşumunun izlerini taşıyarak, bu çeşitliliğine göre yapıda farklı kullanılış yerleri vardır.

- Doğal taş bir yapı malzemesi olarak kullanılmak üzere doğada neredeyse hazır halde bulunmaktadır. Bundan dolayı sadece taşı ocağından çıkartmak ve işlemek için enerji gerekmektedir ve bu da diğer inşaat malzemeleri için gerekenden çok daha azdır.

- Doğal taşlar genellikle büyük patlatmalar yapmadan ocaktan kesilerek çıkarıldığından dolayı, kullanılmayan atıklar tekrar doğaya karışarak doğada zararsız bir şekilde yaşam döngüsünü tamamlayabilmektedir.

- Doğal taşlar sağlığa zararlı herhangi bir madde içermediğinden, yiyecek hazırlanan mekânlarda bile güvenle kullanılabilir.

- Yanıcı bir madde olmadığından, yangın sırasında herhangi zararlı bir gaz açığa çıkarmaz.

- Doğal yapısı, sertliği ve oluşum özelliklerinden dolayı yıllara meydan okur, kolay kolay aşınmaz, güzelliğini ve özelliğini kaybetmez. Bu özelliklerinden dolayı sadece paslanmaz çelikle kıyaslanabilir, ancak onun da üretim maliyeti çok yüksektir.

- Günümüz endüstriyel yapı malzemeleri gibi zamanla aşınarak çirkin bir görüntü oluşturmaz. Aksine doğal taşlar yıllar geçtikçe kendine özgü bir görünüme ve güzelliğe kavuşurlar. Bakım ve onarım maliyetleri de çok azdır ve hammaddesi kolaylıkla her yerden bulunabilmektedir.

- Doğal taşlarla diğer suni yapı malzemelerinin yaşam ömürlerini kıyaslarsak, diğer malzemelerin 30 yıl gibi bir ömrüne göre doğal taşların sonsuz

denebilecek bir yaşam ömrü hem üretim hem de onarım maliyetlerinde hatırı sayılır bir farklılık yaratmaktadır.

• Doğal taşın yapısı gereği ısıyı soğuran bir özelliği vardır. Böylece bina cephelerinde kullanıldığında bina için istenmeyen şekilde ısınma ve soğumasını engelleyecektir. Bu da ısıtma ve soğutma için kullanılan enerji sarfiyatını ve doğaya salınan zararlı gaz salınımını azaltacaktır. Araştırmalar doğal taş ile kaplanmış çok katlı binaların ısınması ve soğutulması için gereken enerjinin 100-150 kWs/m² olduğunu, yüzeyi cam olan binalarda ise bu oranın 300-700 kWs/m² olduğu görülmüştür (5).

4. SONUÇ

İnsanoğlu, yaşam döngüsünün başlamasından bu yana her zaman üreten ve ürettiği kadar da yaşayan ve tüketen bir varlık olmuştur. Yaşama olan bağlılık, yaşam alanlarının da şekillenmesine ve var olan ihtiyaçlar yanında gelişen ve değişen ihtiyaçlar neticesinde de değişmesine neden olmuştur. Tarih öncesi çağlarda mağaralarda başlayan yaşam alanları, toplumsal gelişme ve birleşmeyle beraber bölgesel yapım malzemelerinin de keşfi ile daha fiziksel, görsel ve işlevsel alanlara dönüşmüştür. Bunda doğal taş ile yapılan mekânların sayısı ve doğal taşın bu noktada kullanılmasının önemi büyüktür. Her zaman üreten ve gelişen insanoğlu yeni yapım malzemelerinin keşfi ile doğal olmayan birçok yapım malzemeleri bulmuş ve bunlarla binalarını yapmaya başlamıştır. Ancak, gelişen teknoloji ve artan ihtiyaçlar üretkenliği artırdığı kadar, tüketimi ve beraberinde getirdiği çevresel kirliliği de artırmaktadır. Modern çağla beraber gelişen sanayi, yeni teknolojik malzemeler, devamlı bir üretim ve tüketim içinde olan bu sistem, yeni malzemelerin üretiminde yaşadığımız yeryüzündeki doğal kaynaklarımızı, bu malzemelerin işlenmesi için harcanan enerji de fosil yakıtlarımızı tüketmektedir. Ayrıca, bu doğal olmayan fabrikasyon ürünlerin yaşam döngüleri evresinde hem atmosfere saldıkları zararlı gaz salınımları hem de

malzeme ömrü sonunda doğada bıraktığı atıklar çevre kirliliğine neden olmaktadır.

Bu fabrikasyon yapım malzemeleri, bölgesel olarak belirli yerlerde üretildiği için farklı inşaat alanlarına nakliye sorununu doğurmaktadır. Bununla beraber nakliye ücreti, karbon salınımı ve çevresel atık sorunları da ortaya çıkmaktadır.

Bütün bu veriler ışığında artık günümüz mimarisinde ve dünyasında, üretimi ve tüketimi az enerji harcayan, karbon salınımı olmayan, hammadde temininde sıkıntı yaratmayan tamamen doğal, temiz enerjili, ekolojik yaklaşımlı ürünler tercih edilmeye başlandı. Bu ürünlerin en önemlisi ve en çok tercih edilenlerinin başında da doğal taş vardır.

Doğal taş, kullanımı gereği ister yapıda taşıyıcı özellikli duvar ister iç mekânda estetik özellikli kaplama malzemesi olarak kullanılsın, doğasındaki karakteristik özelliğinden dolayı yapılarda her zaman tercih edilen, hammadde temini kolay, ucuz, yöresel, sağlıklı, estetik ve doğal bir ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılmıştır. Bu özelliklerinden dolayı yüzyıllardır insanoğlunun yaşam alanlarında, işlevsel ve dekoratif özellikleri ile yer almış ve her zaman modern ve işlevsel kalmış bir malzemedir.

Yöresel mimarinin karakteristiğini oluşturan taşın günümüz uygulamalarında özellikle taşıyıcı konstrüksiyon ve cephe kaplaması olarak kullanılması, geçmişin izlerini bugüne taşıma çabasının ve bölgesel mimari oluşumun karakterinin göstergesidir. Bu oluşum, özellikle son dönemlerde kendini göstererek, geleneksel mimarinin fiziksel özelliklerini günümüze taşımanın yanı sıra yöre turizmine de katkı sağlamaya başlamıştır. Ayrıca, bulunduğu bölgeden çıkarılan doğal taşların bölge ekonomisinin gelişmesinde de büyük rol üstlendiği görülmektedir. Bütün bu fiziksel ve ekonomik sürdürülebilirliğin yanında halkın kendi yaşadığı ortama bağlılığı, kendi kimliğinden bir şeyler bulma ve aidiyet duygusunu hissetmesi de sosyal sürdürülebilirlik için önemlidir (Aydm, 2014).

KAYNAKLAR

1. <http://www.tasdunyasi.com.tr/tr-TR/tasin-tarihi/2/9/1196/>
2. Taşlıgil, N., Şahin, G., 2016. "Yapı Malzemesi Olarak Kullanılan Türkiye Doğal Taşlarının İktisadi Coğrafya Odağında Analizi", Marmara Coğrafya Dergisi, 33, s.607-640
3. Öztank, N,1999.-Mimaride Doğal Taş Kullanımı- Ege Mimarlık Dergisi Sayı:31 Syf:8-9
4. Gürani, Y, 2012; Canbolat, T, 2012. Geçmişten Günümüze Mekân Ölçeğinde Doğal Taş Kullanımındaki Farklı Yaklaşımlar, Doğal Yaşam Doğal Taş Sempozyumu, 29-30 Mart 2012 İstanbul.
5. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü- Mimarlık Bilgisi Dersi- Ekolojik Yapı, Sürdürülebilir Yapılanma, Sürdürülebilir Yapı Malzemeleri.PDF
6. <http://www.mimarsiv.com/enerji-etkin-yapilarda-malzeme-kullanimi>
7. <https://www.surdurulebilirmalzemeler.com/single-post/2016/05/08/Surdurulebilir-Yapi-Malzemeleri-Kullanmak-icin-10-NEDEN>
8. AYDIN, Ö,2014. Karadeniz Geleneksel Mimarisinde Sürdürülebilir Malzemeler; Ahşap Ve Taş- Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi, Cilt: 7 Sayı: 35
12. <http://www.andiarchitec.com/luxury-home-design-mashrabiya-by-senan-abdelqader-in-jerusalem-palestine/>
13. https://www.tripadvisor.com.tr/LocationPhotoDirectLink-g754058-d3820081-i251981418-Old_Tarsus_Houses-Tarsus_Mersin_Icel_Turkish_Mediterranean_Coast.html
14. <http://desmena.com/?p=2494>

ŞEKİLLER

1. Kazancı N., Gürbüz A., 2014, Jeolojik Miras Nitelikli Türkiye Doğal Taşları, Türkiye Jeoloji Bülteni,57, 1,
2. https://tr.wikipedia.org/wiki/Dosya:Mardin_P1030_223_20080423061301.JPG
3. https://www.tripadvisor.com.tr/ShowUserReviews-g1024116-d2418175-r146214575Avcı_Han_Taş_Ev_HotelAlacati_Cesme_Izmir_Province_Turkish_Aegean_Coast.html
4. <http://www.dogaltasdunyasi.org/tas-evler>
5. <http://www.kucukvebutikoteller.com/Turkiye/Kapadokya>
6. <http://ozgurkaradeniz.blogspot.com/2009/11/karadeniz-evleri-ve-dunya-mirasi.html>
7. <https://modadekorum.com/2015/10/10/moda/>
8. http://www.getitcut.com/top-50-contemporary-bathroom-design-ideas/amazing-bathroom-ideas_012/
9. <http://furniture.trendzona.com/bathroom-design/bathroom-with-marble-walls.html>
10. <http://www.bjoku.com/natural-contemporary-house-design-by-qlr-architects/stone-wall-and-marble-floor-contemporary-house-design/>
11. <https://www.e-architect.co.uk/mexico/casa-gavion-san-jose-del-cabo>

Mimari Kimlik ve Doğal Taş Malzeme *Architectural Identity and Natural Stone Material*

S. Ateş Can, H. Tuncer

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Burdur

ÖZET Doğal taş, tarih öncesi dönemlerden bu yana kullanılan en eski mimarlık malzemelerindendir. Günümüzde ise, yeni teknolojik olanaklar sayesinde en ince ayrıntısına kadar işlenebilmekte ve yapılarda çok geniş bir yelpazede kullanım alanı bulmaktadır. Bu nedenle hala en eşi bulunmaz mimari malzemelerdendir. Taşıyıcı niteliği, dayanıklılığı, uzun ömürlü olması, yalıtım sağlaması, bakım kolaylığı gibi teknik özelliklerinin yanında renk, desen ve doku çeşitliliği gibi estetik özellikleri onu mimarlar için vazgeçilmez kılmaktadır. Tarih boyunca, mimari kimlik oluşturma amacıyla yerel taş kullanımına büyük önem verilmiştir. Doğal taş yıllar geçtikçe, daha da gelişen ve ömür boyu süren etkileyici bir görünüme sahiptir. Doğal taş, benzersiz karakter, istikrar ve görkemliliği yansıtan, önde gelen bir yapı malzemesi olarak mimari kimlikte büyük önem taşımaktadır. Yapılarda, kimliği oluşturan simgesel özelliklerin oluşumunda önemli bir rol üstlenmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada, mimari kimlik oluşturmada, mimari tasarımı her boyutta destekleyen ve ona karakter veren doğal taş malzeme ile ilgili değerlendirme ve öneriler ele alınacaktır.

ABSTRACT Natural Stone is one of the oldest materials has been used since ancient times. Nowadays, natural stone can be processed to the finest detail and has also more effective utilizing due to new technological opportunities. So that it is still one of the irreplaceable materials of architecture. In addition to its technical qualifications such as structure, endurance, durability, providing isolation, maintainability; its aesthetical qualifications such as colour, pattern and texture make it an indispensable material for the architects. Throughout history, great importance has been given to the use of local stone in order to create architectural identity. Natural stone has an attractive appearance that improves with age and can last a lifetime. It is essential for architectural identity due to the representation of unique characteristic, stability and glory as a building material. It takes an active role to create symbolical features which develops identity in the buildings. As a consequence, this study will approach evaluations and suggestions about natural stone that establishes architectural identity, supports architectural design in a very large scale, and gives a character.

1 KİMLİK VE KİMLİK BİLEŞENLERİ

1.1 Kimlik

Kimlik, sözlük anlamıyla insana özgü belirli nitelik ve özelliklerle bir insanın belirli bir kimse olmasını sağlayan durumların tümü ve herhangi bir nesnenin belirlenmesini sağlayan özellikler olarak tanımlanmaktadır (TDK, 2017).

Kimlik çeşitli şekillerde gruplandırılmaktadır; genellikle bireysel, toplumsal-kültürel, çevresel-kentsel kimlik olarak başlıklara ayrılmaktadır. Çevresel kimlik ise mimari, mekânsal ve kentsel kimlik olarak gruplandırılmaktadır. (Lynch, 2010).

Lynch'e (1960) göre, kentsel kimliği oluşturan bir çevresel imge üç bileşene ayrılabilir: "kimlik", "yapı" ve "anlam". Kent görünümüleri, bireyler tarafından algılanması, hatırlanması ve zevk alınması gereken görünümlerdir ve kente görünür bir form kazandırmak özel bir tasarım sorunu oluşturmaktadır. Çevre, farklılıklar ve ilişkiler ortaya koyar. Gözlemci ise uyum kabiliyetleri ve kendi amaçları doğrultusunda gördüklerini seçer, düzenler ve anlamlandırır. Kentin insan üzerinde bıraktığı izlenim olarak tanımlanan kentsel imge, toplumsal belleği şekillendirmektedir ve kent kimliğinin bileşenlerinden birisidir (Topçu, 2011). Bir yerin kimliğinin algılanabilmesi için bir zaman dilimi gereklidir. Tekeli'ye (1990) göre kimlik tarihsel bir süreçte oluşmakta ve dönemlerde farklılaşmalar olsa da geniş bir çerçeveden bakıldığında bir uyum yansıtmaktadır.

1.2 Mimari Kimlik

Mimarlık, tasarlama olgusunun hayata geçirildiği bir mekân yaratma sanatıdır. Yapı bilimi ve sosyal bilimlerin bir bütün olduğu bir kavram olan mimarlık (İnceoğlu, 2004); çevre ve kültür özelliklerine göre şekillenmektedir (Akçay, 2006). Mimari kimlik ise tek yapı ölçeğinde ya da bina topluluğu şeklinde ya da bulunduğu bölgeyi yansıtan yapı topluluklarının tüm özelliklerini kapsayacak bir kavramdır. Yerleşim ihtiyacı ve nüfus büyümesiyle şekillenmekte ve gelişmektedir (Öngül, 2012).

Mimarlık her toplumun doğduğu ve yaşamını sürdürdüğü toprak parçasının karakteristiğini ortaya koyan; fiziksel etkenlerle birlikte insani değişimlerden (alışkanlıklar, gelenekler, bilgi, anlayış, vb. gibi) etkilenen bir kimlik yapıtadır. Torabi ve Brahman (2013)'e göre ise mimari kimliğin ortaya çıkmasında etkisi olan faktörler mekansal düzenleme, zaman düzenlemesi, anlamsal organizasyon, genel tasarım prensipleri, yapı formu, yapı malzemeleri ve bunların bağlamla ilişkisidir.

Başka bir deyişle mimari kimlik ele alınan yapının/yapıların niteliklerinin algılanma biçimidir; somut ve soyut özelliklerinin yansımalarıdır. Soyut nitelikleri stili, tarzı, dili, anlamı, simgesi, ruhu, amacı gibi sıralandırılabilecek somut nitelikleri ise biçim, renk, doku, malzeme, yapım teknolojisi, çevresiyle uyumu olarak sıralandırılabılır (Akçay, 2006). Başka bir kimlik tanımına göre ise kentlerde koruma üzerine yapılan çalışmalar, mimari üslup, politikalar, malzeme ve teknoloji, çevreyle etkileşim mimari kimliği belirleyici unsurlardır (Hacıhasanoğlu, 1996).

Toplumlarda yönetim ve sosyal yapıyı fiziksel, kültürel ve ekonomik yönden etkileyen gelişmeler kimliğin sürdürülebilirliğini; dolayısıyla mimari kimliği de etkilemektedir. Lynch'e (2010) göre yapıların rengi, dokusu, malzemesi, zemin kaplaması, ölçeği, oranı, cephe detayları, ışıklandırması, bitkilendirmesi ve silüeti kent kimliğini öncelikli etkileyen ve kent içi harmoniyi yaratan faktörlerdir. Tek yapı ölçeğinden kent/bölge ölçeğine tasarımda doğa-malzeme karakteri-yapım tekniği-teknoloji birbirine saygılı ve bütüncül bir anlayışla hareket edilmelidir.

Öte yandan Tanyeli (2009) kimlik konusunun modern öncesi dönemde yere bağlılık olarak değerlendirildiğini ve "kimlik" kavramının dile getirilmediğini ve farklı olduğunu savunmaktadır. Modern öncesi dönemde yapıların aidiyet ve kimlik yapıları olarak iki gruba ayrılacağını belirtmektedir. Osmanlı tarihinde ise Usul-i Mimari-i Osmani isimli 1871 tarihine ait Osmanlı Dönemi eserlerinin çizimlerini ve dönem mimarlığı ile ilgili bilgileri içeren bir

kitap bulunmaktadır. Kitapta III. Selim'in tahtta olduğu dönem itibariyle ülkeye yabancı mimarların müdahale ettiği ve dolayısıyla Osmanlı Mimari'sinin etkilendiğine dair eleştiriler mevcuttur. Sonuç olarak farklı başlıklar altında olsa da Osmanlı Dönemi'nden itibaren "kimlik" kavramının farkına varılmış olduğu görülmektedir.

Ertaş (2017) ise kimliğin kent içerisindeki toplumun kültürünü tanımlayabilen imgeler, kültüre ilişkili bir şekilde ilerleyen fiziksel parametreler ve korunamayan simgesel elemanlara bütüncül bir yaklaşımla bakarak algılanabileceğini belirtmektedir. Simgesel elemanlar kentlerle bütünleşebilmekte; genellikle anıtlar, yapılar veya yapı topluluklarından oluşan bu elemanlar zaman zaman kimliğin önüne geçebilmektedirler. Ertaş (2017)'a göre simgeler kentin bellekte yer eden mimari kimliğinin bir ögesidir ve vere ait kültür, tarih ve toplumsal özellikler ile ortaya çıkmaktadırlar.

2 MİMARLIKTA KİMLİK OLUŞUMUNDA MALZEMENİN ROLÜ

Mimarlık, insanlığın barınma, korunma ihtiyacı ile ortaya çıkmış ve doğa ile gelişmiştir. Yerel, ulaşımı ve yapımı kolay malzemeler doğadaki strüktürler örnek alınarak bir araya getirilmiş, mimari mekânlar üçüncü boyuta taşınmıştır. Zamanla gelişen yapımların teknikleri ile bina yapımında çeşitli ilkeler göz önünde bulundurulmuştur. Vitruvius'un *utilitas, firmitas ve venustas* (kullanışlılık, sağlamlık, estetik) kavramları antik çağdan süregelen ve geçerliliği sekteye uğramayan mimarinin en önemli ilkeleridir. Mimari yapının kullanıcı ihtiyacına cevap verebilmesi, çeşitli etkilere karşı ayakta kalabilmesi ve estetik değerlere sahip olması gerekmektedir (Fotoğraf 1). (Yazıcı, 2009).

Mimarlıkta teknik, teknoloji ve ekonominin yorumlanması ile tasarım şekillenerek somut bir hale gelir; işlevsel bir hale gelmesinde uygun malzeme kullanımı da önem arz eder (Arayıcı, 2009). Kullanıcı ihtiyaçları göz önünde bulundurularak işlevlere göre yapılan tasarımda sorun derinlemesine incelenir, uygun strüktür ve

malzeme seçimi ile oluşturulan kurgu mimarı doğru çözüme ulaştırır. Tasarım anlayışı mimarlığın gerektirdiklerinden şaşmadan, geçerli koşullar dahilinde fiziksel, teknik ve estetik kaygı ile uyum halinde olmalıdır (Kafesçioğlu, 2006). Belirli ilkeler haricinde akımlarla çeşitlenen ve değişime uğrayan tasarım anlayışı günümüzde ise beklentileri karşılayamamakta, beklentinin anlaşılabilmesi karmaşık yapımlar ve malzemeler ile karakteri anlaşılabilen bir mimari ortaya çıkmaktadır.



Fotoğraf 1.Casa Mila (Apartman), Barselona, 1912 (Kaynak:<https://ob9a8415roh4djoj110c31a1-wpengine.netdna.ssl.com/wpcontent/uploads/2013/04/gaudi-pedrera.jpg>)

Mimar 1950'li yıllarda işleve uygun iklimsel, coğrafi ve kullanıcı ekonomisi gibi belirli faktörlere göre tasarımı yönetmekte ve yapımların sistemi ve malzeme ile bütünleştirmektedir. Ahşap, kâgir yapımların sistemindeki tüm detaylar mimar, usta ve işçi ekipleriyle yürütülmektedir. Bu yapımlar genellikle çevreye saygılı küçük boyutlara sahip, az sayıda malzeme ile oluşturulmuş, fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri tahmin edilebilir yapımlardan oluşmaktaydı.

Malzeme bir objenin yumuşaklık, sertlik, elastikiyet gibi özelliklerinin gözle veya dokunmayla anlaşılır olmasını mümkün kılan; mekânın algılanabilirliğini sağlayan; yapı elemanı tasarımındaki en önemli faktörlerden birisidir. Her malzemenin farklı ya da özel nitelikleri mevcuttur. Mimarlıkta malzeme tasarımı oluşturulan ana unsurlardandır; yapıda mimarın toplumla iletişim aracı olarak görev almaktadır. Tasarım aşamasında çizimlerle ve maketlerle ancak soyut bir işlev gören

mimarlık, inşa haline geldiğinde somut hale dönüşür ve mimarinin algılanabilmesini kolaylaştırır. Bazı yapılar kentlerde simge haline gelmiştir ve malzemeleriyle özdeşleşmiştir ve bu yapıları farklı malzemelerle düşünmek zordur (Fotoğraf 2).



Guggenheim Müzesi, New York, 1943
(Kaynak:<https://i1.wp.com/www.guggenheim.org/wp-content/uploads/2007/12/gen-press-guggenheim-foundation-image-3.jpg>)

Fotoğraf 2. Simgeleşmiş ve malzemesiyle bütünleşmiş bir yapı

Doğadan ilham alan çeşitli strüktürler ve malzeme kullanımının tasarımda etkili olması estetik kaygının göz önünde bulundurulduğunun bir kanıtıdır. Gaudi, Fuller, Otto ve Gehry gibi doğayı mimaride işleyen tasarımcılar, mimari ürünleri ile malzeme performansından yararlanarak strüktür ve kabuğun formuna ulaşmaktadırlar (Fotoğraf 3). Bu gibi tasarımların öncü olmasıyla ve 20. yy sonrası gelişen teknoloji ile yapı form ve strüktürleri daha da serbest hale gelmiştir. 21. yy. sonrasına bakıldığında ise malzeme kullanımında anlayışın değişmekte olduğu; yapı elemanlarına ve mekânlara göre değişen malzeme kullanımının yerini bütüncül, tek bir malzeme ile yapıyı oluşturma fikrinin gelişmekte olduğu görülmüştür (Yazıcı, 2009).



Casa Battlo (Apartman), Barselona, 1877
(Kaynak:<https://www.lapedrera.com/en/home>)



Münih Stadyumu, Münih, 2015
(Kaynak:<http://kot0.com/wpcontent/uploads/2015/03/muen.jpg>)



Montreal Expo, Montreal, 1967
(Kaynak:<https://i.pinimg.com/736x/8a/58/b0/8a58b014a2eda2f3ec3d4bc605382ba3--expo--buckminsterfuller.jpg>)

Fotoğraf 3. Doğadan ilham alan yapılar

Tasarımda malzeme tercihinin önemi tartışılmaz; mimarlık ile diğer tasarım alanları arasındaki malzeme kullanımı ise farklılık göstermektedir. Malzemenin mekânın işlevine ve boyutlarına uygun olması, estetik değer yargılarına sahip olması, ömrünün uzunluğu, ekonomik açıdan uygunluğu, temin edilebilirliği, bakım kolaylığı, sağlamlığı, çeşitli faktörlerden etkilenebilirliği, biçimi, rengi, dokusu;

fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler mimar tarafından dikkate alınarak doğru olan malzeme saptanmalıdır. Malzeme kararı öncelikle kullanılacağı bölüm baz alınarak sert veya yumuşak, yansıtıcı veya yutucu, pürüzsüz veya dokulu, açık veya koyu renkli olma durumu, eskiden beri kullanılan veya yeni bulunmuş bir malzeme olması gibi kategorilere ayrılabilir.

Malzeme, strüktürü oluşturmasının yanında mimarın estetik değerlerini en iyi şekilde dışa vurmasını sağlayan bir gereçtir. Tasarımdaki estetik kaygıyı kullanım yöntemleriyle ortaya çıkaran malzeme, teknolojik gelişimle teknik ile estetik düşüncenin uyumunu zorunlu kılmaktadır (Arayıcı, 2009). Mimar, malzemenin bireysel değeri ve tasarımın estetik değerini uyum içinde ve bütüncül bir şekilde kurgulayarak yapının estetik değerini ortaya koyar. Modernite ile birlikte yapının kullanışlı olma ilkesi ve sadelikle malzeme önceliği geri plana atılmışken günümüzde malzeme ile ortaya çıkan estetik ilkesi öne çıkarak kullanışlılık ilkesinin etkisini azaltmıştır. Malzeme-estetik ilişkisi yapının karakterinin oluşmasını sağlayarak var olan görünümüne ulaştırır, öte yandan malzemenin miktarı ve yerleşimi ile bir doku oluşturarak tarihi geçirmişliğinin izlerinin algılanabilir olmasına yardım eder.

2.1 Mimaride Doğal Taş Kullanımı

Doğal taş malzeme, özellikle dayanıklı ve çeşitli faktörlere karşı kalıcı olması sebebiyle tarih öncesi dönemden günümüze kadar mimaride en çok tercih edilir malzemelerden birisi olmuştur. Taş, tarihe tanıklık ederek binlerce yıl ayakta kalabilmesi niteliğiyle toplumların o yere ait geçmiş uygarlıkları tanıyabilmesinde önemli bir role sahiptir. Doğal ve insan kaynaklı tahribatlara en dayanıklı malzeme olması ve ulaşılabilirliği sebebiyle ömrü uzun bir eser ortaya koymak isteyen tasarımcılar genellikle bu malzemeye yönelmektedir.

Avrupa'da özellikle dini önem taşıyan yapıların inşa edilmesinde tarih öncesi çağlardan beri taş kullanılmaktadır. Taşınmasının zor olması sebebiyle bölgelere yakın kaynaklardaki taşlar 19.yy'a kadar

kiliseler, kaleler ve surların yapımında kullanılmakta; yalnızca özel durumlarda mermer gibi dekoratif kullanım amaçlı taşlar yakın çevrede aynı renk ve dokuyu sağlayabilmek amacıyla tercih edilmekteydi. Endüstri devrimi sonrasında ise kaplama malzemesi olarak kullanılmaya başlanmıştı. Yüksek basınç kuvvetli ve alçak çekme kuvvetli taşın girişlerde ve tonozlarda kullanımı ustalık gerektirmektedir. Özellikle ortaçağ Gotik mimaride taş kullanımının başarısı yüksek ve hafif çan kulelerinden, çapraz kaburgalı kubbelerden, sivri kemerli ve köşeli biçim anlayışından anlaşılabilir.

Malzemenin dönemlere göre kullanımı ve teknolojiyle çeşitlenmesi, kimlik şekillenmesinde zamanın etkili bir faktör olduğunun kanıtıdır. Geleneksel mimaride yapı malzemeleri taş, toprak ve bazı metaller ve bunların bir araya tutunmasını sağlayan bağlayıcı malzemelerdi. 18. yy. sonrasında ise çimento ve çeliğin yapı alanına dahil olmasıyla geleneksel malzemeler ve yapım tekniklerinin kullanım oranı azaldı (Kurugöl, 2006). İhtiyaçlara cevap vermek amacıyla dikeyde yükselen ve kent mimarisini dikkate almayan modern yapılar kimliğin ayırt edilmesini zorlaştırır hale getirdi (Fotoğraf 4).

19. yy. sonrasında malzeme çeşitliliği mimarları daha kolay ve daha ekonomik olma sebepleri ile başka malzemelere yönlendirse de sürdürülebilir mimari, hedefi doğal taş malzemeyi her zaman bir adım öne taşımıştır. Mevcut yasalaşmalar ve planlama çalışmaları da malzeme kullanımı üzerinde etkili olmuştur. Gelişmiş olan ülkelerde estetik, sağlığa uygunluk, ömür, ısı, ses ve kimyasal dayanım sebebi ile doğal taş kullanımı teşvik edilirken, çeşitli ülkelerde teşvik zorunluluk haline gelmiştir; inşası planlanan yapıların belirli yüzdelerde taş kullanmasına dair maddeler bulunmaktadır (Öztank, 1999).

Taşın gelişen dünyaya ayak uydurmasını tamamen özümseyebilmek için 20. yy.'ın başlarına doğru gitmek gerekir. İngiltere'de yapı endüstrisinde deneyimli taş malzeme kullanım amacıyla madenlerden büyük bir iş yüküyle işçiler tarafından taş bloklar çıkartılıyordu. Günümüzde ise taş endüstrisi artık daha küçük bir yere sahiptir ve daha az

sayıda belirli jeolojik özellikteki taş madenleri işlevlerini sürdürmektedir. Taş blok boyutları madenlere göre değişmekte, madenden çıktuktan sonra hangarlarda ilk etapta testereyle küçültülmekte ve tasarıma göre kesim işlemi birkaç kez tekrarlanmaktadır. (Robottom, 2015).



Fotoğraf 4. Kent kimliğini yansıtan mimarinin değişimi

(Kaynak: <http://demo.d6.cl/artishock/wp-content/uploads/2014/05/2-Absorbing-Modernity-2014-600x425.jpg>, <http://hicarquitectura.com/wp-content/uploads/2014/04/Absorbing-Modernity-2014.jpg>)

Doğal taşların kendilerine özgü fiziksel, kimyasal ve jeolojik özellikleri vardır;

- Kullanımlarına (parlatılarak kullanılanlar ve parlatmadan kullanılanlar)
- Sertliklerine (yumuşak ve sert) ve
- Oluşumlarına (magmatik, sedimentar ve metamorfik) göre gruplandırılırlar. (Güneri, 2009).

Doğal taşlar ticari anlamda traverten, beyaz ve renkli mermer ve sert taşlar olarak gruplandırılır (Öztank, 1999). Günümüzde

teknolojisinde doğal taşlar istenilen boyutlarda temin edilmekte, renk ve desenlerine göre çeşitlilik sağlanmakta ve yüzeyleri işlenmektedir. Yapılarda sert taşlar iç ve dış duvarlarda, döşeme ve merdiven kaplamalarında, denizlik gibi elemanlarda kullanılmaktadır. (Fotoğraf 5).



Taş Konut Merdiveni, Formby, 2016

(Kaynak: <https://www.archdaily.com/799954/see-the-engineering-behind-this-floating-award-winning-stone-helical-stair/58347afae58ecea9480013f-see-the-engineering-behind-this-floating-award-winning-stone-helical-stair-image>)



Apple Store Taş Merdiveni, Singapur, 2017

(Kaynak: <https://www.dezeen.com/2017/05/30/foster-partners-opens-apple-store-orchard-road-singapore-green-trees/>)

Fotoğraf 5. Taş merdiven örnekleri

Taşın mimari yapılarda sertliği, kırılganlığı, doluluğu, su tutması, gözenekli yapısı, çeşitli hava şartlarına ve basınca karşı göstereceği tepki gibi bilgiler önem arz etmektedir. Taşlar kullanılacakları bölgelere

göre de değişiklik göstermektedirler. Örneğin çok yağışlı bir bölgede dış cephede kullanılacak olan taşın düşük nem tutması istenirken, sirkülasyonun çok olduğu açık bir alanda taşın aşınmaya dayanımlı olması istenir.

Modern mimaride doğal taş

- kamu yapılarında (resmi daireler, okul, hastane vb.)
- sivil yapılarda (ev, otel, iş merkezi vb.)
- kamusal alanlarda yapılan düzenlemelerde (meydan, park, yaya yolları vb.) kullanılmaktadır.

Doğal taş malzemeler kolay üretilebilir olması, taşıyıcı olması, yalıtım sağlaması, işçiliğinin daha kolay olması, çevreye saygılı geri dönüşümü kolay ve az enerji tüketen bir malzeme olması, yapı ve zemini birbirine bağlaması ve ekonomik olması gibi olumlu özellikler barındırmaktadır. Taş malzeme çeşitli alternatif kullanımlara olanak sağlayabilir. Kendiliğinden bir karakteristiği olan taş malzeme iç ve dış mekânları zenginleştirmektedir.

Taşın iklimlendirme etkisinden de bahsedilmesi gerekir; kışın sıcak yazın soğuk tutmasıyla doğal bir iklim konforu sağlamaktadır. Doğal taşlar taşıyıcı ve estetik özelliklerinin yanı sıra iyi bir ısı yalıtımı özelliğine sahiptir. Taş malzeme ile mekânların iklim konforuna müdahale edilebilir ve doğru kullanım halinde ısı transferinin kontrolü mümkündür (Köksal, 2014). Mimari tasarımda cephelerde her bir dış duvar için rüzgar ve güneş gibi basit faktörler dikkate alınarak farklı detaylar ve malzemeler kullanılırsa o yapı iç ortamda optimum konfor koşullarına ulaşır. Bölge insanı için kolay elde edilebilir.

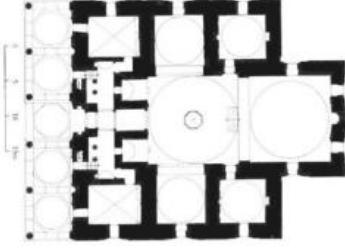
Mimarlıkta taş malzemeyi en etkin şekilde kullanan mimarlardan olan Antoni Gaudi, Gotik mimaride büyük, yüksek ve ışık alan taşan yapılmış dini yapıların strüktür yapılarından etkilenecek taş yapım tekniğinde yeni bir yöneme başvurmuştur (Fotoğraf 6). Katener sistemler ile parabolik kemerler, girişler, zeminler oluşturarak doğal formlar kullanmanın strüktürün taşıyıcı performansının yükselebileceğini malzemede ise minimum kullanımla maksimum verim alınabileceğini göstermiştir. Katener

sistemler, formun asılı bir kablonun geriliminin, ayakta duran bir kemerin basınç kuvvetine eşit olduğu prensibi ile çalışır (Dino, 2015).



Fotoğraf 6. Guell Kilisesi, Barselona, 1898 ve Antoni Gaudi'nin Guell Kilisesi için tasarladığı katener sistem (Kaynak:http://visit.guidespain.com/_data/_guidespa.in.com/g0_site/1/2814_santa_coloma_de_cervello_c_hurch_of_colonia_guell.jpg,<https://qph.ec.quoracdn.net/main-qimgf6eb93aa365795feecff42c95526f1de-c>)

Mimarlıkta taş kullanımına bir başka örnek de Bursa Yeşil Camii'dir. Bursa Yeşil Camii'nde bir dış duvar 110 cm kalınlığında bir taş kesite sahiptir, tasarım tek malzeme olarak taşın kullanılması içi ve dışı bir olan bir yapı olması sebebiyle kendi kimliğini yansıtabilmektedir (Sayın, 2014). (Fotoğraf 7).



Fotoğraf 7. Bursa Yeşil Camii, Bursa, 1421 ve taş kesit kalınlığını gösteren planı (Kaynak:https://3dkonut.com/Resimler/Projeler/bursa-a-yesil-camii/bursa-yesil-camii_8827.png, <http://www.sehrinesesver.com/wp-content/uploads/2014/04/bursa-kitapc%C4%B1k-5-copy-1024x891.jpg>)

Geleneksel mimariden devam edecek olursak ülkemizdeki zengin sivil mimariden yararlanabiliriz. Gaziantep'te yörenin jeolojik özellikleri sebebiyle konutlar genellikle ana malzeme olarak taştan yapılmıştır. Sofasız, dış sofalı ve iç sofalı Gaziantep evlerinde kültürel sebeplerle kadınlar gün boyu evde kalırlardı ve zamanlarını özellikle yaz aylarında "Hayat" adı verilen sokak kapısının açıldığı yarı açık mekânda zaman geçirirlerdi. Bu mekân taş döşelidir; çok sıcak havalarda bu mekân sulanır; taş gözle görünen/görünmeyen gözenekli yapısı sayesinde suyu tutar; güneş ortaya çıktığında ise taş ısınır ve gözeneklerindeki su sebebiyle mekândaki sıcaklık hissedilir derecede iyileşir. (Köksal, 2014). (Fotoğraf 8)

Safranbolu Evleri'nde ise tüm sokakların taş kaplama olduğu gözlemlenmektedir. Sokaklardaki büyük taşlar karşılıklı gelecek bir orta aks oluşturur ve eğimli yollara sahip olmasıyla suyum bu aks üzerinden akışına olanak verir (Fotoğraf 9). Taş kaplamaların boşluklu yerleşiminden dolayı da sular ağaç

köklerine su ulaştırır. Ayrıca taş kaplamalı sokaklar ve evlerin taş duvarları sokağın daha geniş algılanmasını sağlayarak yöre kimliğinin algılanabilirliğini sağlayan bir doku oluşturur (Gezer, 2013).



Fotoğraf 8. Etnografya Müzesi olan Gaziantep Evi'nin plan şeması ve Hayat mekânı, Gaziantep

(Kaynak:<https://cdn2.neredekal.com/hotel/2/PFB/340x240/21QP.jpg>)

Cumhuriyet döneminde, Atatürk Devrimleri ile başlayan ve toplumsal yaşama yansıyan çağdaşlaşma hareketleri mimari yapılarda yeni bir kimlik arayışını ortaya çıkarmıştır. Toplumsal dönüşümün mimariye yansımaları beraberinde yeni ve modern anlayışta mimari ürünler ortaya çıkarmıştır. (Fotoğraf 10)

Binanın anıtsal ölçeği ve cephe düzeni, taş malzeme ile bütünleşerek dönemin yeni kimlik oluşumunda ulus-devlet ideolojisini çok iyi yansıtmaktadır.

20. yüzyılın önemli mimarlarından Sedat Hakkı Eldem'in bu anıtsal yapısı dönemin Alman Nazi mimarlığının dev, masif kütle çözümlerini yansıtırken bir yandan da geleneksel Osmanlı konut mimarlığının pencere düzenleri, saçak biçimlenmeleri gibi elemanlarına da yer verilmiştir. Mimari

kimlik oluşumunda taş malzeme önemli bir rol üstlenmektedir (Arkiv, 2008). (Fotoğraf 11)



Fotoğraf 9. Safranbolu taş sokakları ve su toplama aksı
(Kaynak:<http://www.safranboluevleri.org/safranbolu-gezilecek-14-yerlerin-listesi/>, Gezer, H, 2013. Geleneksel Safranbolu Evlerinin Sürdürülebilirlik Açısından Değerlendirilmesi, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12(23), 13-31)



Fotoğraf 10. Ankara Garı, Ankara, 1937
(Kaynak:<http://www.rayhaber.com/2016/10/tarihite-bugun-30-ekim-1937-yeni-ankara-gari-acildi-2/>)



Fotoğraf 11. İstanbul Üniversitesi Fen - Edebiyat Fakültesi, 1942-1943
(Kaynak: <http://v3.arkitera.com/h36225-sedad-hakki-eldem-yuz-yasinda.html>)

Mimaride tasarım ve yapım teknikleri modern mimarinin etkisiyle değişikliğe uğramıştır. Bu olgu, doğal taş kullanımını da dolaylı yoldan etkilemiştir. Modern yapım teknikleri ile doğal taş kullanımı modern metotlara adapte olarak benimsemiştir. Örneğin çeşitli yaratıcı cephe yüzey bitirme tekniklerine ek olarak havalandırma boşluğu olan taş duvar kaplamaları kullanılmaya başlanmıştır (Robottom, 2015) (Fotoğraf 12). Doğal taş, modern yapılarda çeşitli işlevlere sahip mekanlarda tercih edilmeye devam etmektedir (Fotoğraf 13).



Fotoğraf 12. Havalandırma boşluğu olan taş cephe kaplamasına bir örnek
(Kaynak:<http://www.buildingconstructiondesign.co.uk/news/the-use-of-natural-stone-in-modern-architecture/>)



Filistin Müzesi Cephe ve Dış Mekân Taş Kullanımı, Birzeit, 2016

(Kaynak:<https://www.dezeen.com/2017/05/19/heneghan-pengs-limestone-clad-palestinian-museum-angular-landscaped-terraces-architecture-cultural-palestine-birzeit/>)



Karaj Haftasonu Evi'nde Cephe ve Yaşama Mekânı, Karaj, 2017

(Kaynak:<https://www.dezeen.com/2017/05/11/elevated-walkway-bridges-two-parts-of-iranian-holiday-home-divided-by-swimming-pool/>)



Apple Store Cephe ve İç Mekânda Taş, Singapur, 2016

(Kaynak:<https://www.dezeen.com/2017/05/30/foster-partners-opens-apple-store-orchard-road-singapore-green-trees/>)



AAU GSA Taş Pavyon, Jericho, 2017

(Kaynak:<https://www.dezeen.com/2017/05/07/aau-anastas-gsa-research-laboratory-stone-pavilion-jericho-palestine/>)



Taş Müzesi, Tochigi, 2000
(Kaynak:<http://kkaa.co.jp/works/architecture/stone-museum/>)

Fotoğraf 13. Modern yapılarda taş kullanım örnekleri

3 SONUÇ

Mimaride malzemenin rolü tartışılmazdır; rengi, dokusu, ruhu, hissettirdikleri ile yapının kendi içinde ve çevreyle olan uyumunu etkileyen en önemli unsurlardan birisidir. Değişen ve gelişen teknolojiye göre çeşitliliği artan malzemeler var olduğu dönemin inancını, yapıları bakış açısını ve kültürünü mimari ile yansıtır. Pallasmaa'ya (2000) göre malzemeler ve yüzeylerin kendi içinde bir dili vardır. Taş malzeme jeolojik kaynağa olan uzaklığını, mukavemetini ve doğası gereği kalıcılık sembolizmini dile getirmektedir. Torabi ve Brahman (2013)'a göre saray yapımında taşın kullanılması kralların güçlülüğünü ve kalıcılığını simgelerken, ahşap ve tuğla kullanımı halkın boyun eğen yapısına olan inancı simgeleyebilmektedir. Dolayısıyla tasarımda malzeme seçiminin sembolik değerleri ve anlamlarının olduğu, kullanıcıya ve ziyaretçisine mesaj verdiği savunulabilir. Geleneksel doğal malzemeleri kullanarak ya da modern malzemeleri tercih ederek mimari mekân anlaşılır kılınır ve kullanıcıya mimariyi kimliğiyle birlikte algılamasını kolaylaştırır.

Mimari ve çevre ayrı düşünülemez. Mimarlıkta malzemenin de çevreden ilham alması gerekmektedir. Örneğin bir bölgede doğal taş rezervleri uygunsa, yapıda doğal taş kullanımı çeşitli fiziksel, mekanik imkânlarla ek olarak hem yerel ekonomiye katkı sağlayabilir hem de var olan mimari kimliğe ayak uydurabilir (Kuma, 2014). Taş zanaatkarları sivil mimariden anıtsal mimariye kadar insan eliyle işlenen çevrenin kültürünün günümüze ulaşmasını sağlayarak toplumun geçmişiyle arasındaki bağı kopmasına engel olur.

Değinilmesi gereken bir diğer konu da sürdürülebilirlik kavramıdır. Sayın'a (2014) göre geleneksel mimari kullanılan malzemelerle, malzemelerin elde edilmiş biçimleriyle, yakın mesafelerden temin edilip getirilişleri ile sürdürülebilirlik ilkesini belirgin biçimde taşımaktadır. Çünkü yerel mimari soyut ve somut özellikleri ile kültürün kimliğini yansıtan bir araçtır. Sosyo-kültürel sürdürülebilirlik kapsamında yerel mimaride

kültürel özellikler ve manevi değerler dikkate alarak yapı toplulukları bir karakter oluşturur (Ovalı ve Delibaş, 2016).

Mimaride doğal taş yıllar geçtikçe, daha da gelişen ve ömür boyu süren etkileyici bir görünüme sahiptir; taşın sürdürülebilir bir malzeme olduğu ve dolayısıyla mimari kimliğin oluşması ve oturmasında etkili bir rolü olduğu söylenebilir.

Tüm bu nedenlerle, doğal taş malzemenin simge oluşturma özellikleri ve algı psikolojisi üzerindeki etkileri sonucunda önemli bir mimari kimlik oluşturma aracı olduğu görülmektedir.

Biz mimarlara düşen görev, değindiğimiz birçok özelliğe sahip bu doğal malzemeyi, geçmişte olduğu gibi günümüz mimari tasarımlarında da önemli bir mimari kimlik aracı olarak kullanmak ve kullanımının önemini göstermek olmalıdır.

KAYNAKLAR

- Arkay, A. Ö, 2006. Mimari Kimlik Değişimini Etkileyen Faktörler Üzerine Bir Araştırma Kıbrıs-Lefkoşa Örneği, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yayınlanmamış Doktora Tezi.
- Arayıcı, O, 2009. Malzeme ve Estetik Diyalektiği, *Mimarlıkta Malzeme*, 4(14), 88-98.
- Arkiv, 2008. İstanbul Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi. Arkitera. [http://v2.arkiv.com.tr/p2760-istanbul-universitesi-fen-edebiyat-fakultesi.html]
- Ertaş, Ş, 2017. "Kimlik" kavramı ile simgeleşen kentsel me-AN-lar, *Plant Dergisi*, 28 Nisan 2017.
- Dino, İ G, 2015. Tasarım ve Hesaplamanın Doğası, *TMMOB Mimarlar Odası Dergisi*, 2, 7-14.
- Gezer, H, 2013. Geleneksel Safranbolu Evlerinin Sürdürülebilirlik Açısından Değerlendirilmesi, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12(23), 13-31.
- Güneri, S, 2009. Doğal Taşların Teknik Özelliklerine Göre Kullanım Alanlarının ve Uygulama Parametrelerinin Belirlenmesi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi.
- Hacıhasanoğlu, O, 1996. Kimlik Sorunu, Mimarlığın Evrensel ve Yerel Boyutları, *Uluslar arası 8. Yapı ve Yaşam Kongresi*, 257-264.
- İnceoğlu, M ve İnceoğlu, N, 2004. Mimarlıkta Söylem, Kuram ve Uygulama. Tasarım Yayın Grubu, İstanbul, 216 s.
- Kafesçioğlu, R, 2006. Düşünce ve Gerçekliğin Arakesitinde Malzeme, *Mimarlıkta Malzeme*, 1(1), 32-35.
- Kuma, K, 2014. Projelerimi Doğaya Taşımaya Seviyorum, *Bien Blog*, 31 Ekim 2014. [http://blog.bienseramik.com.tr/mimar-kengo-kuma-projelerime-dogayi-tasimaya-seviyorum/]
- Köksal, A T, 2014. Mimaride Doğal Taşın Alternatif Kullanımı, *Natura Dergi*, 21 Kasım 2014.
- Kurugöl, S, 2006. Zaman ve Malzeme, *Mimarlıkta Malzeme*, 1(1), 42-47.
- Lynch, K, 1960. *The Image of The City*, MIT Press, Cambridge, 194 s.
- Lynch, K, 2010. Kent İmgesi, Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları, İstanbul, 215 s.
- Ovalı, P. K. ve Delibaş, N, 2016. Yerel Mimarinin Sürdürülebilirliği Kapsamında Kayaköy'ün Çözümlemesi, *Megaron*, 11(4), 515-519.
- Öngül, Z, 2012. Analysing the City Identity from a Historical Perspective: External Effects Solutions Proposed, *Social and Behavioral Sciences*, 35, 284-292.
- Öztank, N, 1999. Mimaride Doğal Taş Kullanımı, *Ege Mimarlık*, 31, 8-9.
- Pallasmaa, J, 2000. Hapticity and Time, Notes on Fragile Architecture, *The Architectural Review*. 207(1239), 78-84.
- Robottom, I, 2015. The use of natural stone in modern architecture, *Building Construction Design*, 18 Mayıs 2015. [http://www.buildingconstructiondesign.co.uk/news/the-use-of-natural-stone-in-modern-architecture/]
- Sayın, N, 2014. Taş ile Yapı; Yalın, Basit ve Kolay, *Ekoyapı*, 13 Mayıs 2014. [http://www.ekoyapidergisi.org/551-tas-ile-yapi-yalin-basit-ve-kolay.html]
- Tanyeli, U, 2009. Türkiye Mimarlığı: Türkiye'de Mimarlığı Kimlik Bağlamında Tartışmak, *Bilim ve Sanat Vakfı*, 71, 16 Aralık 2009. [http://www.bisav.org.tr/Bulten/36/652/turkiye_mimarligi_turkiye_de_mimarligi_kimlik_baglaminda_tartismak_]
- Topçu, K, 2011. Kent Kimliği Üzerine Bir Araştırma: Konya Örneği, *Uluslar arası İnsan Bilimleri Dergisi*, 8(2).
- Tekeli, D, 1990. Bir Kentin Kimliği Üzerine Yazılar, Kent Planlaması Konuşmaları, TMMOB Dergisi, 46.
- Torabi, Z ve Brahman, S, 2013. Effective Factors in Shaping the Identity of Architecture, *Middle-East Journal of Scientific Architecture*, 15(1), 106-113.
- Türk Dil Kurumu, 2017. Kimlik. [http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_gt_s&arama=gts&guid=TDK.GTS.59705a02caad56.20464950]
- Yazıcı, S, 2009. Yenilikçi Malzeme Sistemleri, Mimarlıkta Malzeme, *TMMOB Mimarlar Odası Dergisi*, 4(14), 42-48.

Fotoğraf Referansları

- Fotoğraf 1. Casa Mila, Barselona, 1912
(Kaynak:<https://ob9a8415roh4djoj110c31a1wpengine.netdnassl.com/wpcontent/uploads/2013/04/gaudi-pedrera.jpg>)
- Fotoğraf 2. Guggenheim Müzesi, New York, 1943
(Kaynak:<https://i1.wp.com/www.guggenheim.org/wp-content/uploads/2007/12/gen-press-guggenheim-foundation-image-3.jpg>)
- Fotoğraf 3. Casa Battlo (Apartman), Barselona, 1877
(Kaynak:<https://www.lapedrera.com/en/home>)
Mümin Stadyumu, Münih, 2015
(Kaynak:<http://kot0.com/wpcontent/uploads/2015/03/muen.jpg>)
Montreal Expo, Montreal, 1967
(Kaynak:<https://i.pinimg.com/736x/8a/58/b0/8a58b014a2eda2f3ec3d4bc605382ba3--expo--buckminster-fuller.jpg>)
- Fotoğraf 4. (Kaynak: <http://demo.d6.cl/artishock/wp-content/uploads/2014/05/2-AbsorbingModernity-2014-600x425.jpg>, <http://hicarquitectura.com/wp-content/uploads/2014/04/Absorbing-Modernity-2014.jpg>)
- Fotoğraf 5. Taş Konut Merdiveni, Formby, 2016
(Kaynak: <https://www.archdaily.com/799954/see-the-engineering-behind-this-floating-award-winning-stone-helical-stair/58347afae58ecea9480013f-see-the-engineering-behind-this-floating-award-winning-stone-helical-stair-image>)
Apple Store, Singapur, 2017
(Kaynak:<https://www.dezeen.com/2017/05/30/foster-partners-opens-apple-store-orchard-road-singapore-green-trees/>)
- Fotoğraf 6. Guell Kilisesi, Barselona, 1898 ve Antoni Gaudi'nin Guell Kilisesi için tasarladığı katener sistem
(Kaynak:http://visit.guidespain.com/data/guide_spain.com/g0_site/1/2814_santa_coloma_de_cervello_church_of_colonia_guell.jpg, <https://qph.ec.quoracdn.net/main-qimgf6eb93aa365795feecff42c95526f1de-c>)
- Fotoğraf 7. Bursa Yeşil Camii, Bursa, 1421 ve taş kesit kalınlığını gösteren planı
(Kaynak:https://3dkonut.com/Resimler/Projeler/bursa-yesil-camii/bursa-yesil-camii_8827.png, <http://www.sehrinesesver.com/wp-content/uploads/2014/04/bursa-kitap%C4%B1k-5-copy-1024x891.jpg>)
- Fotoğraf 8. Etnografya Müzesi olan Gaziantep Evi'nin plan şeması ve Hayatmekâni, Gaziantep
(Kaynak:<https://cdn2.neredekal.com/hotel/2/PFB/340x240/21QP.jpg>)
- Fotoğraf 9. Safranbolu taş sokakları ve su toplama aksı
(Kaynak:<http://www.safranboluevleri.org/safranbolu-gezilecek-14-yerlerin-listesi/>, Gezer, H, 2013. Geleneksel Safranbolu Evlerinin Sürdürülebilirlik Açısından Değerlendirilmesi, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12(23), 13-31)
- Fotoğraf 10. Ankara Garı, Ankara, 1937
(Kaynak:<http://www.rayhaber.com/2016/10/tariht-e-bugun-30-ekim-1937-yeni-ankara-gari-acildi-2/>)
- Fotoğraf 11. İstanbul Üniversitesi Fen - Edebiyat Fakültesi, 1942-1943
(Kaynak: <http://v3.arkitera.com/h36225-sedad-hakki-eldem-yuz-yasinda.html>)
- Fotoğraf 12. Havalandırma boşluğu olan taş cephe kaplamasına bir örnek
(Kaynak:<http://www.buildingconstructiondesign.co.uk/news/the-use-of-natural-stone-in-modern-architecture/>)
- Fotoğraf 13. Filistin Müzesi, Birzeit, 2016
(Kaynak:<https://www.dezeen.com/2017/05/19/he-neghan-pengs-limestone-clad-palestinian-museum-angular-landscaped-terraces-architecture-cultural-palestine-birzeit/>)
Apple Store, Singapur, 2016
(Kaynak:<https://www.dezeen.com/2017/05/30/foster-partners-opens-apple-store-orchard-road-singapore-green-trees/>)
Haftasonu Evi, Karaj, 2017
(Kaynak:<https://www.dezeen.com/2017/05/11/evaluated-walkway-bridges-two-parts-of-iranian-holiday-home-divided-by-swimming-pool/>)
AAU GSA Taş Pavyon, Jericho, 2017
(Kaynak:<https://www.dezeen.com/2017/05/07/aa-u-anastas-gsa-research-laboratory-stone-pavilion-jericho-palestine/>)
Taş Müzesi, Tochigi, 2000
(Kaynak:<http://kkaa.co.jp/works/architecture/stone-museum/>)

Mermer Yüzeylerindeki Duvar Yazılarının (Graffiti) Su Jeti İle Temizleme İşleminin Görüntü Analizi İle Değerlendirilmesi

An Evaluation of Graffiti Removal with Water-jet Method by Using Image Analysis

O. Akkoyun

Dicle Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye

N. Careddu

Civil, Environmental Engineering and Architecture Department (DICAAR), University of Cagliari, Cagliari, Italy

ÖZET Bu çalışmada, tarihi eserlerde sanat yapılarındaki mermer yüzeylerine yapılan graffiti boya ve yazıların (graffiti) temizlenmesi amacıyla su jeti ile silme yönteminin kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla graffitin en yaygın olduğu İtalya’da bu yapılarda çok yaygın kullanılan Carrara mermeri test taşı olarak seçilmiştir. Çalışma için mermer numuneleri sprey boya ile boyanmış, ardından her bir yüzey için farklı çalışma parametreleri kullanılan su jeti ile boya silinmiştir. Bu parametreler; ilerleme hızı, basınç ve silme dilim kalınlığıdır. Silme işlemlerinin ardından, görüntü analizi teknikleri kullanılarak hangi silme alanının daha iyi temizlendiği araştırılmış ve en uygun su jeti çalışma koşulları belirlenmiştir. Ayrıca mermer yüzeylerine pürüzlülük testi de uygulanmıştır. Çalışmanın sonucunda, su jetinin, belirli çalışma koşullarında, graffiti temizlemede kullanılabileceği, kalın boya tabakasında hızın düşürülmesi gerektiği, hafif boyada hızın ve geçiş diliminin artırılabilceği sonuçlarına varılmıştır.

ABSTRACT In this study, possible usage of water-jet technique for graffiti removing applications is investigated. As a test stone of the study, Carrara marble was selected and used because it has been widely used for historical and cultural monuments in Italy where graffiti is very common. The stone samples were painted, then divided into different areas and then cleaned with the water-jet machine within different operational conditions which are travel speed of nozzle, water pressure level and inter distances of passing lines. After the removing applications, image processing methods were used in order to evaluate the different cleaned areas. Roughness test was also applied to investigate the surface features of the stones. Finally, it is concluded that water-jet machine can be used for graffiti removal in certain operational conditions.

1 GİRİŞ

Graffiti terimi çok genel olarak, halka açık yerlerdeki duvarlarda, yapılarda, tarihi ve kültürel eserler ile heykeller üzerinde yapılan, istenmeyen boya, yazı, çizim ve karalamaları ifade etmek için kullanılan İtalyanca kökenli bir terimdir. Özellikle sprey boya ile yapılanları oldukça yaygındır.

Bir taraftan, -belirli sınırlar içinde kalanları- bir tür kendini ifade hatta bir politik ifade biçimi veya sanat dalı olarak değerlendirilirken, diğer taraftan, graffiti, mimari kültür ve sanat eserleri için en büyük tehlikelerden birisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Tarihi yapıların, katedrallerin, heykel ve diğer anıtların yoğun olduğu ve turizm açısından büyük ilgi gördüğü birçok Avrupa şehrinde, önemli turistik gelir

kaynağı olan bu yapılar, son yıllarda graffiti kirliliği ile karşı karşıyadırlar. Söz konusu tarihi yapıların değeri ve ziyaretçi sayıları düşerken bir de üzerine temizleme maliyetleri ve yıpranmaları eklenmektedir (Davini, 2003).

Graffiti için kullanılan sprej boyaların yapısında; boya rengini belirleyen pigmentler, bağlayıcılar (akrilik, gliserofitalik, selüloz vb.), bazı katkılar (yapışmayı artırıcılar gibi) ve solventler (ketonlar, esterler ve hidrokarbonlar) ile iticiler (kloroflorokarbon, propan, bütan ve bunların karışımları) bulunmaktadır (Chapman, 2000).

Günümüzde bu problem ile ilgili bazı yöntemler geliştirilmektedir. Sanmartin ve diğ. (2014), graffitiye karşı geliştirilen yöntemler hakkında detaylı bir çalışma sunmaktadır. Buna göre etkili yöntemler iki grupta toplanabilirler; Birincisi; kirlenilen yüzeyin kimyasallarla, özel çözücüler ile hatta basınçlı kum ile temizlenmesi ve ikincisi; önceden tedbir olarak riskli yüzeylerin graffiti öncesi koruyucu boya, yağ ya da benzeri polimerler ile kaplanarak graffiti ile mermer arasında bir koruyucu yüzey oluşturmak. Basınçlı kumlama gibi mekanik yöntemler mermer yüzeylerine zarar verirken, kimyasal içerikli yöntemler de içerdikleri kimyasal maddeler nedeniyle sağlık açısından risk oluşturmaktadırlar. Ayrıca graffiti ile boyanmış yüzeylerin temizlenmesi için lazer kullanılmasını öneren (Fiorucci et.al. 2013) ya da biyolojik iyileştirmeler öneren (Giacomucci et.al., 2012) çalışmalar da bulunmaktadır.

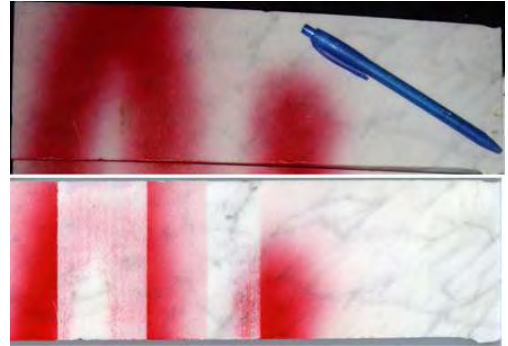
Bu çalışmada, mermer yüzeylerindeki graffiti kirliliğini temizlemek için su jeti ile temizleme yöntemi önerilmiştir. Çalışmada en uygun koşullarda temizleme yapmak için su jeti çalışma parametrelerinin seçilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç için graffiti ile boyanmış örnek mermerler hazırlanmış, farklı koşullarda su jeti ile silinmiş ve silinen yüzeyler görüntü analizi ve yüzey pürüzlülük ölçümleri ile değerlendirmeye tabi tutulmuşlardır. Takip eden bölümlerde bu çalışmalar sunulmuştur. Bu bildiride, çalışmanın görüntü analizi bölümüne ağırlık verilecektir ancak çalışma ile ilgili, özellikle,

yüzey pürüzlülüğü ile ilgili sonuçlar Careddu ve Akkoyun (2016) makalesinden incelenebilir.

2 YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışma, Cagliari Üniversitesi (Sardenya, İtalya) Çevre ve Yerbilimleri bölümü laboratuvarında bulunan su jeti kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma graffitinin en yaygın olduğu İtalya'da gerçekleştirildiği için ve İtalya'da en yaygın kullanılan mermerlerden birisi Carrara mermeri olduğu için bu çalışmada, bu mermer türü, çalışma materyali olarak tercih edilmiştir.

Hazırlanan mermer numuneleri, bir bölümü boyasız bırakıldıktan sonra graffiti uygulamalarında en çok tercih edildiği gibi kırmızı ve sarı sprej boya ile boyamalar yapılmıştır. Daha sonra su jeti ile farklı basınç, ilerleme hızı ve silme dilim kalınlığı parametreleri kullanılarak silme işlemleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 1).



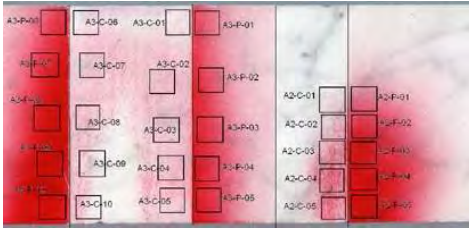
Şekil 1. Sprej boya ile boyanan mermer numuneleri ve silinmiş yüzeyler

Sprej boya ile boyanan ve farklı çalışma parametreleri ile çalışan su jeti ile silinen mermer yüzeylerinin değerlendirilmesi çalışmanın en önemli aşamalarından birisidir. Karşılaştırmanın doğru yapılması için mermer yüzeyinde bir alan boyanmadan bırakılmış, bir alan da boyanmamasına rağmen silme işlemine tabi tutulmuştur.

Bu amaçla mermer yüzeyindeki boyalı ve silinmiş alanların karşılaştırılması ve en iyi silinmiş alanın belirlenmesi gerekmektedir.

Karşılaştırma işlemi için görüntü analizi tekniklerinden yararlanılmasına karar verilmiştir. Görüntü analizinde en önemli aşama verilerin toplanması yani dijital görüntünün elde edilmesi aşamasıdır. Özellikle bu gibi kıyaslama içeren çalışmalarda, görüntülerin aynı ışık, gölge ve boyut koşullarında alınması çok önemlidir. Bu nedenle görüntü alma koşullarının eşit koşullarda olmasını sağlamak adına mermer numunelerinin bir tarayıcı yardımı ile görüntülerinin alınması uygun bulunmuş ve uygulanmıştır.

Çalışmanın sonraki aşamasında, boyalı ve silinmiş alanların birbirleri ile kıyaslanması yapılacağından, boyalı ve silinmiş alanlarda birbirlerine çok yakın aynı boyutlarda adeta ikiz alanlar oluşturulup bu alanların görüntü analizleri yapılmıştır (Şekil 2).



Şekil2. Boyalı ve silinmiş yüzeylerdeki ikiz alanlar

Bu alanların her biri su jetinin farklı çalışma koşulunu ifade etmektedir ve alanlar isimlendirilirken şu yol izlenmiştir; A1, A2... alanları ifade ederken örneğin P boyalı alanı C ise silinmiş alanı tanımlamaktadır. A1-P03; A1 bölgesindeki boyalı kısımdaki 3.kareyi, A1-C03 ise onun hemen karşısındaki silinmiş yerdeki kareyi ifade etmektedir. Bu durumda A8-C09 denildiğinde; 8. alandaki 9.kare ve silinmiş bölgedeki ikiz kare ifade edilmektedir.

Bilgisayarların görüntüleri, insanlardan farklı olarak, sayısal veri yığınlarından oluşan matrisler olarak algılaması nedeniyle görüntü üzerinde yapılacak işlemler de yine bu matrisler üzerinde yapılacak matematiksel işlemler olmaktadır. Bu durumda görüntü işleme çalışmalarının aslında sayısallaştırılan görüntülere ait veri yığınları üzerinde yapılan matematiksel

işlemler olduğunu söylemek yanlış olmayacaktır (Akkoyun, 2010).

Bu durumda boyalı ve silinmiş alanlarda birbirine çok yakın seçilen ve birbirine çok benzer boyutlardaki alanların görüntü analiz yöntemleri ile karşılaştırılmaları, aslında o alanlardaki renklerin sayısal değerlerinin, matematiksel ve istatistiksel olarak karşılaştırılmalarından başka bir şey değildir. Şekil2’de verilen bir kare içinde 500x500 piksel boyutuyla yaklaşık 250 bin piksel veri bulunmaktadır. Renkli görüntülerde bir pikselde üç veri saklandığı düşünülürse, tek bir karede yaklaşık 750bin veri elde edilmiş olmaktadır.

Belirlenen alanlar, tarayıcı aracılığı ile sayısal ortama aktarıldıktan sonra, yazar tarafından daha önce geliştirilen bir görüntü işleme program ile her bir pikseldeki renk değerinin sayısal karşılığı elde edilmiş ve istatistiksel işlemlere hazır hale getirilmişlerdir. Sonuçta;

- I- Hiç boyanmamış ve silinmemiş, böylece taşın doğal renk değerleri hakkında bilgi toplamamıza yardımcı olacak bir alan
- II- Boyanmamış olmasına rağmen su jeti ile silinen bir alan
- III- Boyanmış ve bir bölümü silinmiş birbirine çok yakın aynı boyutlu ikiz alanlar

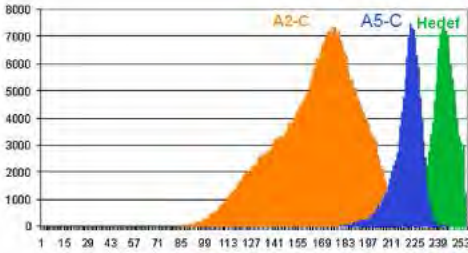
Hakkında sayısal bilgiler elde edilmiştir. Bu alanlardan I ve II’de ifade edilen alanlar karşılaştırılarak su jetinin mermer doğal rengi üzerindeki etkileri hakkında bilgiler elde edilmiştir. III’de ifade edilen ikiz alanlar birbirleri ile karşılaştırılarak boyanın ne oranda silindiği ve alanlar birbirleri ile kıyaslanarak en iyi çalışma parametresinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Sayısal görüntülerin analizinde çok fazla sayıda veri elde edildiği için verilerin histogramlar şekline dönüştürülüp birbiri ile bu histogramlar analiz edilerek kıyaslanması yaygın bir uygulamadır.

Histogramlar ve Çizelgeler incelenmeden önce, gri düzende renk değerlerinin 0- 255 aralığında değiştiğini, 0 siyah, 255 beyaz olacak şekilde küçükten büyüğe (koyudan

açığa) olduğunu bilmek gerekebilir. Bu durumda önceden 90 renk değerine sahip bir alan 150 renk değerine değişmiş ise, o alanın daha koyu bir renkten daha açık bir renge geçiş yaptığını söyleyebiliriz.

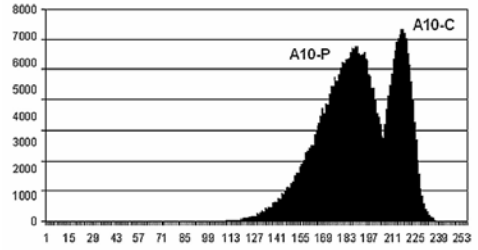
Hiç boyanmamış, temiz mermer yüzeyinden elde edilen renk değerleri (hedef), A2 alanında silme yapılmış alanın renk değerleri ve A5 alanında silme yapılmış alanın renk değerleri histogramlara aktarılıp incelendiğinde; A5 silim alanının A2 alanına göre daha iyi olduğu, dik bir histogramın homojen bir renk dağılımına işaret ettiği yorumları kolayca yapılabilir (Şekil 3).



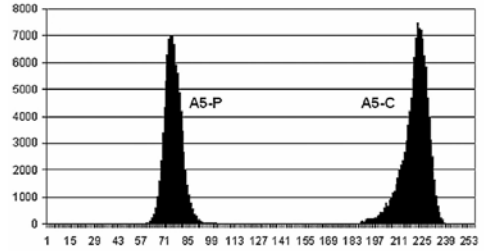
Şekil3. A2, A5 ve Hedef alanın renk histogramları

Benzer biçimde, bir bölgenin silinmiş ve boyalı alanlarının renk değerleri histogramlara atılıp kıyaslandığında farklı histogramlara sahip alanların renk değişiminin (silme) fazla olduğu sonucu çıkarılabilir. Oysa boyalı ve silinmiş iki alanın histogramları birbirine yakın ise bu alanda silme işlemi ile fazla bir renk değişiminin olmadığı sonucu çıkarılabilir.

Bu açıklamalar ışığında Şekil 4 ve Şekil 5 birlikte incelendiğinde, A10 alanındaki silme işleminin renk değişimi miktarının A5 alanındaki renk değişimine göre daha az olduğu, A5 alanında, silme işleminin çok büyük renk değişimlerine sebep olduğu sonucu çıkarılabilir.



Şekil4. A10 alanı boyalı (P) ve silinmiş (C) renk histogramları



Şekil5. A5 alanı boyalı (P) ve silinmiş (C) renk histogramları

Renk histogramlarından bağımsız olarak görüntü analizi programının elde ettiği ve piksellerdeki renklerin sayısal büyüklüklerini içeren bilgilerin istatistiksel değerlendirmeleri de ayrıca yapılabilir. Bu yol ile elde edilmiş bilgilerden; boyalı bölgelere ait renk değerleri ve istatistiksel büyüklükler Çizelge1’de, boyandıktan sonra su jeti ile silinmiş alanlara ait renk değerleri ve istatistiksel büyüklüklere ait veriler ise Çizelge2’de verilmiştir.

Çizelge 1. Boyalı alanlara ait renk değerleri ve istatistiksel büyüklükler

	Ort.	Mak.	Min.	Std. Sp.	Deg. Kat.	Çarpıklık	Basıklık
A1-P*	240	255	140	7.3	3.2	-0.8	3.4
A2-P	96	186	49	12.5	24.8	1.1	6.0
A3-P	103	190	52	15.2	26.6	0.8	3.4
A4-P	86	170	50	12.5	29.1	0.7	1.3
A5-P	79	138	48	6.6	19.9	0.3	5.3
A6-P	199	237	121	15.1	7.7	-1.0	1.6
A7-P	113	193	60	20.2	29.8	0.5	0.8
A8-P	95	172	57	11.7	24.6	0.9	2.8
A9-P	82	160	47	9.8	26.8	0.9	4.8
A10-P	124	185	71	13.5	16.0	0.4	1.3
A11-P	133	195	82	14.9	14.3	0.2	0.3
A12-P	128	193	75	11.9	15.2	0.5	3.7

* Boyanmamış ve su jeti ile silinmemiş yüzey

Çizelge 2. Boyanıp silinmiş alanlara ait renk değerleri ve istatistiksel büyüklükler

	Ort.	Mak.	Min.	Std. Sp.	Değ.Kat.	Çarpıklık	Basıklık
A1-C	237	255	196	7,0	2,7	-0,4	0,5
A2-C	178	247	77	22,4	14,4	-0,6	0,5
A3-C	216	254	100	15,3	7,1	-1,1	2,6
A4-C	225	254	132	9,2	4,1	-1,10	4,1
A5-C	223	252	164	8,9	4,2	-0,7	1,2
A6-C	223	223	170	6,7	2,8	-0,7	3,6
A7-C	208	240	149	7,9	3,7	-0,4	0,8
A8-C	223	255	159	7,6	3,5	-0,2	1,3
A9-C	194	241	125	12,3	6,7	-0,3	0,5
A10-C	223	253	158	7,9	3,6	-0,7	1,8
A11-C	212	248	154	8,3	3,9	-0,6	2,4
A12-C	215	249	144	8,8	4,2	-0,6	1,6

** Boyanmamış ancak su jeti ile silinmiş yüzey

Ayrıca, boyalı alanlara ait renk değerlerinden silinmiş alanlara ait renk değerlerini çıkarmak suretiyle elde edilen renk farkları, Çizelge3'de verilmiştir. Bu fark ne kadar yüksek ise silme işleminin boyalı alan üzerinde o oranda değişime neden olduğu sonucu çıkarılabilir.

Çizelge 3. Boyalı-silinmiş alan renk değeri değişimi

	Ort.	Mak.	Min.	Std. Sp.	Değ.Kat.	Çarpıklık	Basıklık
A1	3	0	-56	0,3	0,5	-0,5	2,9
A2	-82	-61	-28	-9,9	10,4	1,7	5,5
A3	-113	-64	-48	-0,1	19,5	1,8	0,8
A4	-139	-84	-82	3,3	25,0	1,8	-2,8
A5	-144	-114	-116	-2,4	15,7	1,1	4,0
A6	-24	14	-49	8,4	4,9	-0,3	-2,1
A7	-95	-47	-89	12,3	26,1	0,9	0,0
A8	-128	-83	-102	4,1	21,0	1,1	1,5
A9	-112	-81	-78	-2,5	20,1	1,2	4,2
A10	-99	-68	-87	5,6	12,5	1,1	-0,5
A11	-79	-53	-72	6,6	10,4	0,8	-2,1
A12	-87	-56	-69	3,1	11,0	1,1	2,1

Mermer numuneleri üzerinde bir alan, hiç boyanmamış ve su jeti ile silinmemiştir, sadece mermerin kesildiği testere izlerini taşıyan işlenmemiş bir yüzeydir (A1-P). Bu alanın yanındaki bir alan ise boyanmamasına rağmen su jeti ile silinmiştir ki su jetinin mermer yüzeyi üzerindeki değişimi gözlenebilsin (A1-C). Boyandıktan sonra su jeti ile silinen alanların renk değerleri ile boyanmamasına rağmen su jeti ile silinen alanın renk değerinin farkını görebilmek için bir çizelge oluşturulmuştur (Çizelge4). Bu çizelgede su jeti ile silme işlemi uygulanarak doğal rengine getirilmeye çalışılan alanlar ile hiç boyanmadığı halde su jeti ile silinen alan arasındaki değişim gözlenebilmektedir.

Çizelge 4. Silinmiş alanlar ile boyanmamış ancak silinmiş alanın renk değişimi

	Ort.	Mak.	Min.	Std. Sp.	Değ.Kat.	Çarpıklık	Basıklık
A1-C	-	-	-	-	-	-	-
A2-C	-58	-8	-119	15,4	11,7	-0,2	0,0
A3-C	-20	-1	-96	8,3	4,4	-0,7	2,1
A4-C	-11	-1	-64	2,2	1,4	-0,7	3,6
A5-C	-14	-3	-32	2,0	1,5	-0,4	0,7
A6-C	-13	-32	-25	-0,3	0,2	-0,4	3,2
A7-C	-28	-15	-46	1,0	1,1	-0,1	0,3
A8-C	-13	0	-37	0,6	0,9	0,2	0,8
A9-C	-42	-14	-71	5,3	4,0	0,1	0,0
A10-C	-14	-2	-38	0,9	0,9	-0,3	1,3
A11-C	-24	-7	-42	1,3	1,3	-0,3	1,9
A12-C	-22	-6	-52	1,8	1,5	-0,2	1,1

Bir başka çizelgede ise, yine su jeti ile silme işlemi uygulanan alanlar ile boyanmamış ve su jeti uygulanmamış, testereden geldiği gibi korunan bölge arasındaki renk farkları verilmiştir (Çizelge5).

Çizelge 5. Silinmiş alanlar ile hiç dokunulmamış alan farkı

	Ort.	Mak.	Min.	Std. Sp.	Değ.Kat.	Çarpıklık	Basıklık
A1-C	-4	0	56	-0,3	-0,5	0,5	-2,9
A2-C	-62	-8	-64	15,1	11,2	0,2	-2,9
A3-C	-24	-1	-40	8,0	3,9	-0,2	-0,8
A4-C	-15	-1	-8	1,9	0,9	-0,3	0,7
A5-C	-18	-3	24	1,6	1,0	0,1	-2,2
A6-C	-17	-32	30	-0,6	-0,4	0,1	0,2
A7-C	-32	-15	9	0,6	0,5	0,4	-2,6
A8-C	-17	0	18	0,3	0,3	0,6	-2,2
A9-C	-46	-14	-16	5,0	3,5	0,5	-2,9
A10-C	-18	-2	18	0,6	0,4	0,2	-1,6
A11-C	-28	-7	13	1,0	0,7	0,2	-1,0
A12-C	-26	-6	3	1,5	1,0	0,3	-1,9

Su jeti ile silme işlemi mermer yüzeylerinde az da olsa aşınmaya neden olabilir düşüncesi ile çalışma kapsamında yüzey pürüzlülüğü değerleri de ölçülmüştür. Boyanmış ve ardından silinmiş yüzeyler üzerinde yapılan yüzey pürüzlülüğü testleri oldukça ilginç sonuçlar vermiştir. Boyasının iyi silinmediği göz ile bile belli olan test alanlarında yüzey pürüzlülük değerinin çok düşük çıktığı gözlenmiştir.

Bunun bir nedeni silme işlemi basıncının görece az olması nedeniyle yüzeyin az aşınması olabilir ancak bir başka etken de silinmeyen boyanın bir dolgu gibi davranarak taşın doğal pürüzlü yapısını bile azaltıcı etki yapmasıdır.

Bu nedenle dolgu gibi davranan boya söz konusu olduğunda pürüzlülük değerleri dikkatli değerlendirilmelidir.

Bu bildirinın temel konusu görüntü analizi olduğu için pürüzlülük test sonuçları verilmemiştir ancak ayrıntılı sonuçlar Careddu ve Akkoyun (2016)'dan incelenebilir.

3 SONUÇLAR

Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen veriler yukarıdaki bölümlerde çizelgelerde verilmiştir. Elde edilen bu veriler değerlendirildiğinde;

- Su jeti ile silinen alanların renk histogramları, görsel olarak Şekil4 deki örnekte verildiği gibi değerlendirildiğinde A5, A4 ve A8 alanlarının daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir.
- Su jeti ile silme işlemi mermerin kendi rengi üzerinde bir renk değişimine neden olmamaktadır. A1-P ve A1-C alanlarına bakıldığında boyanmayan ancak silinen bu alanda renk derinin neredeyse hiç değişmediği görülmektedir (Çizelge 1 ve Çizelge 2).
- Boyandıktan sonra silinen alanlardaki en büyük renk değişiminin A5, A4, A8 ve A3 alanlarında görüldüğü anlaşılmaktadır. (Çizelge 3).
- Mermerin kendi doğal yüzeyinin boyanmadan silindiği bölge ile boyandıktan sonra silinen bölgeler kıyaslandığında en az renk farkının A4, A8, A6 ve A5 alanlarında olduğu görülmektedir (Çizelge 4).
- Mermer yüzeyinin hiç dokunulmamış yüzeyi ile su jeti ile silinen yüzeyleri arasındaki fark değerlendirildiğinde ise A4, A6, A8 ve A5 alanlarının en az renk farkına sahip bölgeler olduğu, mermerin doğal rengine en yakın bölgeler olduğu sonucu çıkarılabilir (Çizelge 5).
- Renk histogramları, yüzey pürüzlülük analizleri ve görüntü analizi sonuçları birlikte değerlendirildiğinde A5 alanında uygulanan su jeti ile grafiti işleminin en iyi sonucu verdiği değerlendirildiği yapılmıştır. A5 alanında kullanılan su jeti çalışma

parametreleri şu şekildedir; basınç 200MPa, silme dilim kalınlığı 0.5-1.0 mm ve ilerleme hızı 12-24m/dakika. Boya kalınlığına bağlı olarak ilerleme hızı ve dilim kalınlığı düşürülebilir.

- Çalışmanın sonucunda, su jetinin, belirli çalışma koşullarında, grafiti temizlemede kullanılabileceği, kalın boya tabakasında hızın düşürülmesi gerektiği, hafif boyada hızın ve geçiş diliminin artırılabilceği sonuçlarına varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Akkoyun, Ö., 2010, Görüntü işleme yöntemlerinin mermer kalite seçiminde uygulanabilirliği üzerine bir değerlendirme, Mersem7, Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi, Afyon, 14-16-Ekim-2010
- Careddu, N., Akkoyun, O., 2016, An investigation on the efficiency of water-jet technology for graffiti cleaning, Journal of Cultural Heritage 19, pp. 426-434.
- Chapman, S., 2000., Laser technology for graffiti removal, J. Cult. Herit. 1 pp. 75-78.
- Davini, P., 2003. Anti-graffiti techniques: removal and prevention, in: L'informatore del marmista, n. 496, Ed. G. Zusi, Verona, Italy, pp. 6-14.
- Fiorucci, M.P., López, A.J., Ramila, A., Pozo, S., Rivas, T., 2013, Optimization of graffiti removal on natural stone by means of high repetition rate UV laser, Appl. Surf.Sci. 278, pp. 268-272.
- Giacomucci, L., Toja, F., Sanmartín, P., Toniolo, L., Prieto, B., Villa, F., Cappitelli, F., 2012, Degradation of nitrocellulose-based paint by *Desulfovibrio desulfuricans* ATCC13541, Biodegradation, 23, pp. 705-716.
- Sanmartín, P., Cappitelli, F., Mitchell, R., 2014, Current methods of graffiti removal: a review, Construct. Build. Mater. 71, 363-374.

İstanbul Süleymaniye Camii Taş Yüzeylerinde Tespit Edilen Bozunmalar

Deteriorations Detected in İstanbul Süleymaniye Mosque Stone Surfaces

S. Khooshroo, N. Javadi

İstanbul Aydın Ün. Yüksek Lisans Öğrencisi/Mimarlık Bölümü, İstanbul.

S. Yardımlı

İstanbul Aydın Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul.

S. Hattap

Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Mimari Restorasyon Bölümü, İstanbul.

ÖZET Süleymaniye Camii Osmanlı Devletinin en önemli eserlerinden biridir. Cami 1557’de Kanuni Sultan Süleyman adına İstanbul’da Mimar Sinan tarafından inşa edilmiştir. Mimar Sinan’ın özellikle İstanbul’daki eserlerinde çok kullandığı küfeki taşı, Süleymaniye Camisi’nde de kullanılmıştır.

Yapının malzemeleri zaman içerisinde çevresel faktörlerin etkileriyle bozunmakta ve çeşitli deformasyonlara uğramaktadırlar. Bozunmalara neden olan dış etkenler, fiziksel, kimyasal, biyolojik nedenler gibi bölümlenmişler ve bu bozunma türleri çoğu durumda birbirlerinin oluşumunu kolaylaştırır ya da ortam hazırlayarak artırır niteliktedirler.

Bu çalışmanın amacı da önemli bir mimari eser olan Süleymaniye Camii yapı yüzey malzemelerinde görülen bozunmaların tespit edilmesine çalışmak, bozunmaların nedenlerini ve türlerini araştırmaktır. Böylesine önemli bir yapıdaki bozunmaları ve sorunları ortaya koymak, konuya dikkat çekmek açısından önemli görülmüştür.

ABSTRACT Suleymaniye mosque is one of the most phenomena in the age of Ottoman this mosque was built by the order of king Suleyman and was architected by Sinan in 1557. Engineer Sinan used limestone to build this mosque especially.

The building materials used in this mosque have changed and spoiled environmental factors through time. The reason of these changes are outer factors like physical, chemical and biological change these kind of damage themselves scan cause other change and damages or by making suitable situations naturally bring about new damages.

The goal of this article is of check and study the changes and damages. Appeared on the stones of this important architect of this mosque and to recognize one kind of damages of this building and so on it is known necessary for us to study damage with this article and to help people to recognize these damages and to notice this important more.

1 GİRİŞ

Tarih ve kültür ürünleri, tarih öncesi ve sonrası yaşamın birikimini taşıyor olması nedeniyle evrensel bir değerdir. Tarihi eserlerin pek çoğu da taş malzeme ile yapılmıştır. Taş çağlar boyunca yapılarımızda kullandığımız pek çok malzemeye göre dayanıklı olarak bilirse de zaman içerisinde

taşın türüne ve yapının bulunduğu çevresel koşullara göre yapı yüzeyinde hasarlar oluşabilmektedir. Bu hasarları çevremizdeki pek çok yapıda sıklıkla görebilmekteyiz. İstanbul’da önemli bir eser olan Süleymaniye Camii oldukça bakımlı bir yapı olmasına rağmen yapının taş yüzeylerinde pekçok

hasarla karşılaşmış ve bu hasarların tespiti için çalışılmıştır.

Süleymaniye Camii Mimar Sinan'ın taş eserlerinden biridir ve bu yapıda usta Mimar Sinan küfeki taşı kullanmıştır.

Küfeki taşı, Roma ve Bizans döneminde kullanılmaya başlanan; Osmanlı'nın, özellikle de Mimar Sinan'ın elinde zirveye ulaşan, Dünya'da "İstanbul taşı", Osmanlı'da ise "Bakırköy Taşı" olarak bilinen ve 2000 2500 yıl gibi uzun bir zaman ayakta kalabilen tek taştır buna göre bu tarihi yapı güzelliğini ve ayakta kalmasını bu taş borçludur (URL 1, 2017).

2 SÜLEYMANİYE CAMİİ

2.1 Süleymaniye Camisinin Tarihi ve Mimarisi

Süleymaniye Camii, Mimar Sinan tarafından 1557 tarihinde bitirilmiş bir eserdir. Süleymaniye Külliyesindeki en göz alıcı mekân kuşkusuz Süleymaniye Camii'dir.

Klasik Osmanlı Mimarisi tarzında yapılan eserin, çevresinde, medrese (okul), hamam, kütüphane, hastane, aşevi gibi birçok yapı bulunmaktadır.

70 x 61 metre ölçülerindeki iç mekânın üzeri 26,20 metre çapında ve 49,50 metre yüksekliğindeki merkezi kubbe ile örtülüdür. Dört adet ayağa oturan bu kubbe, kuzeyde ve güneyde birer yarım kubbeyle, (Şekil 1) yarım kubbelerin eteklerinde ise eksedralarla beslenir. Sekizgen kasnak üzerine oturan kubbe, kubbeyi taşıyan dört ayağın devamı niteliğindeki dört adet ağırlık kulesiyle çevrelenir. Harem batı ve doğuda beş kubbeli yan sahınlarla yanlara doğru genişletilmiştir. Farklı boyutlardaki bu kubbeler, içten ve dıştan yeterince hareketli bir görünüm sağlar. Köşedeki küçük kubbeler, merkezi kubbeyi taşıyan ayaklarla beden duvarları arasına atılan kemerlerle; arada kalan diğer üç kubbe ise, iki sıra halinde düzenlenmiş, mukarnas başlıklı, 10,20 metre uzunluğundaki ikişer sütun ve bu sütunlara basan kemerlerle taşınmaktadır. Küçük kubbeleri taşıyan sütunlardan arkadakiler beyaz mermerdendir. Önde yer alan dört sütun ise devşirme olup, kırmızı granittendir (Arıoğlu N., ve Arıoğlu E., 1999).



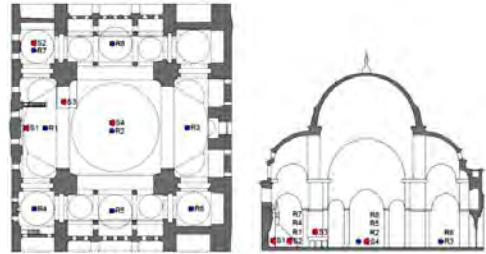
Şekil 1. Süleymaniye Camii'nin kubbeleri ve genel görünümü (URL 2, 2017)

Cami 4 minarelidir. Camiye yakın olan iki minarede üçer, uzak olan ikisinde ise ikişer şerefeye yapılmıştır. Minarelerde toplam 10 şerefeye yer almıştır.

Caminin, büyük kubbelerini taşıyan 4 sütun farklı yerlerden getirilmiştir. Birisi, Lübnan, Bekaa Vadisi'ndeki Baalbek Tapınağı'ndan, bir diğeri Mısır'ın İskenderiye şehriden, diğerleri; Topkapı Sarayı ve Vefa semtindedir (URL 3, 2017).

Süleymaniye Camii'nin önemli özelliklerinden biri de akustiğidir. Mimar Sinan caminin akustiğinin mükemmel olması ve seslerin caminin her köşesinden duyulması için çok uğraşmış bunun için kubbenin etrafına ve caminin çeşitli noktalarına içi boş küpler yerleştirmiştir (Şekil 2) (Çalışkan S. Z., Tavukçuoğlu M., Tavukçuoğlu U., 2014).

Akdeniz coğrafyasında devşirme malzeme kullanımının güç ve prestij olarak kabul edilmesi nedeniyle Kanuni camisinde bu malzemeleri kullanmıştır. Tezkiretü'l Bünyan'da (Çelebi S. , 2003) bu dört devasa büyüklükteki kırmızı renkli granit sütunlardan birinin, kıza taşı olduğu belirtilir.



Şekil 2. Süleymaniye Camii'nin ODTÜ-2013 yılı saha ölçümlerinde kullanılan düzenek: ses kaynağı (S) ve alıcı (R) noktalarının planda (solda) ve kesitteki (sağda) konumları (Çalışkan vd. 2014)

Caminin kuzey duvarındaki payandaları arasına iç maksureler yerleştirilmiştir. Farklı renkteki somaki sütunlara oturan iki katlı yan mahfiller, arkadaki beyaz mermer sütunları ve beden duvarlarındaki ana ayakları gizleyerek, taşıyıcıları yumuşatır. Dışta, alt kattaki mahfillerin mukarnas başlıklı farklı boydaki sütunlara oturan kemerleri, bir büyük bir küçük şeklinde sıralanır. Üst revakların baklava başlıklı sütunlarının yuvarlak kaideleri, mermer bir korkuluk ile birbirine bağlanmıştır (URL 4, 2017).

Caminin kible duvarının doğu ucundaki hünkâr mahfiline duvar içindeki merdivenlerle çıkılmaktadır. Mermer müezzin mahfili, on altı sütun üzerine oturur. Müezzin mahfili karşısındaki büyük ayağa bitişik vaiz kürsüsü, narin sütunlar üzerine oturan sivri kemer vasıtasıyla taşınır.

Mihrabın yaslandığı duvardaki vitraylı pencereler ve mihrabın iki yakasındaki çerçeveler Sarhoş İbrahim ustanın eseridir. Camide ana kubbenin hafif olması için özel tuğlalar imal edilmiştir. Ayrıca, caminin duvarlarını oluşturan kesme formundaki doğal taşlar birbirlerine içten demir kenetlerle bağlanmış ve bu kenetlere eritilmiş kurşun dökülmüştür (Gültekin A., 2012).

Camii 128 adet pencereyle ve onlarca kandille aydınlatılmış; bu kandillerden çıkan isin duvarları kirletmemesi ve ayrıca isten mürekkep imal edilebilmesi için girişin üzerine bir is odası yapılmıştır.

Caminin beyaz mermerden inşa edilmiş Beyaz Harem isimli iç avlusunun ortasında, dikdörtgen bir havuz, havuzun içinde ise bitkisel motifli bir şadırvan bulunmaktadır (Sav M., 2011). Avluya biri kuzeyde, ikisi de yanlarda olmak üzere üç kapıdan girilmektedir. Kuzeydeki üç katlı bir yapı niteliğindeki ana kapı abidevi yapısıyla dikkat çeker. Caminin kuzeyindeki şadırvanlı avlu, dört yönde revaklarla çevrilmiştir.

2.2 Süleymaniye Camii Yapı Taşı Özellikleri

Taş deyip geçmemek gerekir. Hayatın ve tarihin bütün macerası taşların gizil sırrında saklıdır. Doğal taşlar, insanlar tarafından bilinen ve kullanılan en eski inşaat malzemelerinden biri olduğu gibi mimarlık ve

sanat tarihi, aynı zamanda doğal taşların kullanım tarihidir. Taş, insan yaşamında barınmadan korunmaya, duygularını, mesajlarını geleceğe aktarmadan, sonsuz yolculuğunda bedenini emanet etmeye kadar sağlamlığın, sonsuzluğun, güvenin simgesi olarak tarihsel çağlar boyunca insanla bütünleşen bir malzemedir (Griffith, M. L., 2014).

Eski Mısırlılar Aswan granitlerini, Urartular volkanik tüfleri, Hititliler bazalt taşlarını ve Helenistik dönem uygarlıkları mermerleri yoğun olarak kullanmışlardır. Bu antik uygulamalarda taşın kaynağından inşaat alanına taşınmasının kolaylığı ve ekonomikliğine rağmen görsel çeşitlilik ve zenginlik arandığında uzak yörelerden ve ülkelerden de taşların getirildiği bilinmektedir. Roma ve Bizans döneminde Bazalt, Mermer, Kireçtaşı, Traverten, Volkanik Tüfler, Kommagene Krallığı döneminde Adıyaman Nemrut Dağı'nda bulunan heykellerde Kireçtaşları, Selçuklu'larda Mermer, Volkanik tüfler ve yumuşak Kalkerler, Andezit, Bazalt, Osmanlı döneminde Traverten, Mermer, Fosilli Kalker olan Bademli Küfeki taşı, Serpantin, (MacAfee P., 2011).

Ayasofya ve Süleymaniye Camii başta olmak üzere İstanbul'daki Roma, Bizans ve Osmanlı dönemi tarihi yapılara bakıldığında Bakırköy Küfeki, Hereke pudingi, Marmara Adası mermeri, Çanakkale Kestanbol graniti, Kapıdağ Graniti, Bilecik Taşkesen Tektonik Breşi, Gülümbe Oolitli Kalkeri, Afyon Menekşe Mermeri ve Oniks ile birlikte İtalya'dan getirilen Serpantin Breşi eski yeşil Porfir ve Aswan Granit'inin yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir (URL 5, 2017).

İstanbul'da Bizans ve Osmanlı İmparatorluğu boyunca pek çok önemli yapıda kireçtaşı kullanılmıştır. Bu taşlar Küfeki, Bakırköy kireçtaşı, Lümaşelli kalker, Bakırköy taşı "Maktralı kalker" gibi isimlerle anılmıştır (Dal, M. ve Öcal, A. D., 2013). Küfeki taşı Mimar Sinan'ın İstanbul'daki eserlerinde kullandığı ana yapı malzemesi olmuş, pek çok kaba kesme taş duvar türü ve bezemelerde yer almıştır (Hattap S., 2017).

Yapı taşları basınç karşı mukavemetli taşlardır, basınç dayanımı 18-65 MPa

aralığındadır. Küfeki taşı yapı olarak % 93-100 aralığında CaCO₃ İçeren türde bir kireç taşıdır (Mahrabel, H. A., 2006).

3 TAŞ YAPI YÜZEYLERİNDE GÖRÜLEN BOZUNMALAR

Günümüzde doğal taşlar her ne kadar endüstri tarafından şekillendirilse de taş, endüstriyel bir ürün değildir. Doğada milyarlarca yılda şekillenmiş, oluştukları ortamın koşullarını yansıtan içyapıları, fosilleri ve insanlık tarafından binlerce yıllık boyunca çeşitli amaçlarla kullanılmasıyla dünya ve insanlık tarihinin gelişimine ışık tutan nitelikleri taşı, başka hiçbir yapı malzemesinde bulunmayan özelliklere sahip ayrıcalıklı bir malzeme kılmaktadır.

Tarihi yapılarda özgün yapı malzemesini mümkün olan oranda koruyabilmek esastır. Ancak, yapı elemanlarında doğal süreç gereği hava şartları, atmosferik kirlilik ya da uygunsuz müdahaleler nedeniyle yüzey bozunmaları kaçınılmazdır. Söz konusu bozunmayı durdurmak veya en aza indirmek amacıyla yüzey koruma ve sağlamlaştırma, eski eser koruma ve onarım çalışmalarında karşılaşılan önemli uygulamalardandır.

Son 20 yıl içinde birçok malzeme ve birçok yöntem denenmiş olmakla beraber henüz her taş türü için başarı sağlayan tek bir metot bulunamamıştır (T.C.Milli Eğitim Bakanlığı, 2013). Yapı malzemeleri çoğu zaman çevresel ve zamana bağlı faktörler sebebiyle bozunmalara maruz kalırlar. Doğal taşlar zaman içerisinde bu bozunmaların etkisiyle zayıflar, sahip oldukları fiziksel ve mekanik özelliklerini kaybetmeye başlarlar. Bozunmalara karşı önlem alabilmek için, öncelikle bunların neden kaynaklandığını belirlemek gerekir. Doğal taşların bozunmasına neden olan etkenleri ve yapının sorunlarını doğru ve erken anlamak, eserin ömrünü uzatmak için gerekli koruma yöntemlerini belirlemede ilk ve en önemli basamaktır. Doğal taş bozunmaları birçok nedene bağlıdır.

3.1 Bozunmaya Yol Açan Çevresel Nedenler

Başta atmosfer etkileri olmak üzere, çevreden gelen etkiler, doğal etkenler ve insanların verdikleri zararlar çevresel nedenlerdir. Deprem, toprak kayması, iklim koşulları, sel gibi doğal afetler, nem ve sıcaklık değişimi gibi atmosfer olayları, hava kirliliği, trafik ve insanların neden olduğu hasarlar bu gruba girer (Çizelge 1) (T.C.Milli Eğitim Bakanlığı, 2013).

Çizelge 1. Doğal taşların bozunmasındaki çevresel nedenler (Dal M., Öcal A. D., 2013)

DOĞAL TAŞLARIN BOZUNMASINA YOL AÇAN ÇEVRESEL NEDENLER		
1	DOĞAL AFETLER	Deprem, Toprak Kayması, Sel, Tayfun, Yanardağ Patlaması vb.
2	ATOMOSFER ETKİLERİ	Yağış, Nem, Don vb.
3	SUYUN HAREKETİ	Yağmur, Islanma - Kuruma Etkisi, Su buharının etkisi, Kılcalılık, Nem
4	SICAKLIK DEĞİŞİMİ	Havanın durumu, Mevsim değişimi
5	TUZLAR	Nem ve rutubet, Yağış
6	HAVA KİRLİLİĞİ	Trafik ve fabrikalar
7	TRAFİK	Zararlı gazlar
8	İNSAN FAKTÖRÜ	Yanlış kullanım, Onarım ve bakım hataları

3.2 Taş Görülen Bozunma Türleri

Yapı malzemelerinde görülen bozunmaların ne türde olduklarını tanımlamak, nasıl bir tedavi yönteminin uygulanacağına karar vermek için gerekli bir işlemdir. Her bozunma türünün gerektirdiği tedavi yöntemi ve uygulama koşulları farklıdır. Bu nedenle, bozunmalar türlerine göre net ve doğru bir şekilde sınıflandırılabilirse, hasar verici etkilerin nasıl ortadan kaldırılacağı ya da azaltılacağı belirlenebilir. Bozunma türlerini sınıflandırırken uluslararası alanda kabul görmüş terimleri (Dal M., Öcal A. D., 2013) kullanmak çalışmaların ortak dilde olması için önemlidir. Bu amaçla hazırlanmış bozunma türleri Çizelge 2'de görülmektedir. Ancak bu türlerin belirlenmesi sürecinde bu

faktörlerin tümüyle tekil olmadıkları ve birbirlerini etkilediklerini ve zaman zaman arttırdıklarını da göz önünde bulundurmamak gerekmektedir.

Çizelge 2. Doğal taşlarda görülen bozunma türleri (Dal M., Öcal A. D., 2013)

BOZUNMA TÜRLERİ		
Fiziksel Bozunmalar	Biyolojik Bozunmalar	Kimyasal Bozunmalar
<ul style="list-style-type: none"> • Çatlak • Kırık – Parça Kopması • Deformasyon • Grafiti • Aşınma • Kesik • Parlama • Erezyon • Petek • Gözlülük • Yüksek Isı • Derz Boşalma 	<ul style="list-style-type: none"> • Bitki Oluşumu • Yosun Oluşumu 	<ul style="list-style-type: none"> • Atmosferik Kirleticiler • Siyah Tabaka • Tuzlanma • Yüzeyde kristalleşme (Çiçeklenme) • Derinde kristalleşme • Kabarma • Kabuk Atma • Şekerlenme • Tozlaşma • Yapraklanma • Mikrokarst Oluşumu • Renk Bozunması • Korozyon

4 SÜLEYMANİYE CAMİİNDE TESPİT EDİLEN TAŞ BOZUNMALARI

Yapı taşlarındaki bozunmada, taşın bulunduğu çevrenin iklimsel özellikleri bozunma sürecinde birinci derecede rol oynamaktadır. Bozunma türünün, kayacın fiziksel ve kimyasal yapısı ile dış ve iç etkilerin özelliklerine bağlı olduğu bilinmektedir. Yapı taşlarındaki bozunma sonucunda, taşın görünümü, dayanımı, bütünlüğü, boyutları ve kimyasal davranışı değişmektedir (Dal M., Öcal A., 2012).

4.1 Yapı yüzeyinde Tespit Edilen Bozunmalar

Süleymaniye Camisinde pek çok bozunma türüne rastlanılmış ve bu bozunmalar sırasıyla ele alınmıştır.

4.1.1 Isısal etkiler

Isı bir maddenin moleküllerinin hareketine bağlıdır ve doğal özelliği nedeniyle daha sıcak ortamlardan daha soğuk ortamlara doğru hareket etmektedir.

Isı genleşmelerinin yapıdaki en büyük etkisi ısı gerilmeleridir. Bir malzeme yapıda iki uçundan genleşmesi engellenecek şekilde sabitlenmişse, içinde ısı gerilmeleri doğacaktır. Bu durumda ısı gerilmeleri kırılmalara yol açabilecektir. Gündüz ve gece arasındaki ısı farkının fazla olması da yapı malzemelerinde genleşmeye neden olmaktadır (Çizelge 3).

Çizelge 3 Isısal etkenler

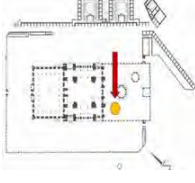
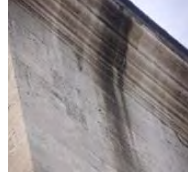


ISISAL ETKENLER	
	
	
Süleymaniye Camii'nin avlusunun zemininde boşluk bulunması ile kaplama üzerine yük gelmesi sonucunda çatlaklar oluşmuş ve bu noktalara suyun girmesi sürecinde ısının donma seviyesine düşmesi ile oluşan buzun genleşmesi zemin kaplamasında kırılma ve derz boşalmasına yol açmıştır.	
Fiziksel Bozunma	

4.1.2 Su etkisi

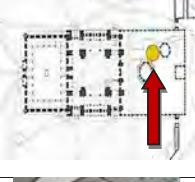
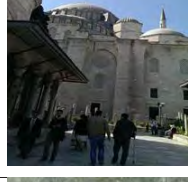



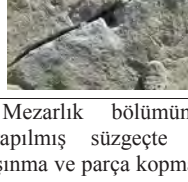
Su, canlıların bünyesinde, bitkilerde, havada ve hatta katı cisimlerde, değişen oranlarda ve farklı yapılarda bulunmaktadır. Dolayısıyla yeryüzünün dörtte üçünü oluşturan su, yapılar üzerinde oldukça etkin bir özelliğe sahiptir. Suyun yapı taşında farklı şekillerde deformasyona neden olduğu görülmektedir. Örneğin biyolojik bozunmaların artmasına neden olmakta, ortam ısısının düşmesi ile

donma sürecinde oluşan hacim artışı ile de kırılmalara neden olmaktadır (Çizelge 4, 5, 6 ve 7).

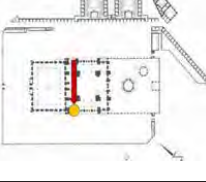
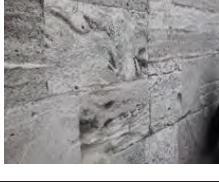


Çizelge 4. Suya bağlı etkenler

SU ETKENLERİ	
	
	
Süleymaniye Camii'nin dış cephe duvarlarında özellikle suyun aktığı bölgelerde ve yüzey süslemelerinde kirlenme.	
Biyolojik Bozunma	

Çizelge 5. Suya bağlı etkenler

SU ETKENLERİ	
	
	
	
Süleymaniye Camii'nin Mezarlık bölümünde Marmara mermerinden yapılmış süzgeçte su hareketinden dolayı aşınma ve parça kopması şeklindeki bozunma	
Fiziksel Bozunma	

Çizelge 6. Suya bağlı etkenler

SU ETKENLERİ	
	
	
Süleymaniye Camii'nin dış cephe duvarında Bakırköy Küfeki taşlarında görülen su ve rutubetten kaynaklanan Alveolar Ayrışma	
Fiziksel ve Biyolojik Bozunma	

Çizelge 7. Suya bağlı etkenler

SU ETKENLERİ	
	
	
Süleymaniye camii'nin dış cephe duvarında tuzlanma	
Kimyasal Bozunma	

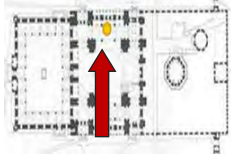
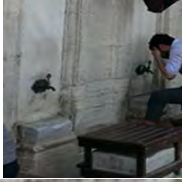


4.1.3 Farklı malzeme kullanımı

Farklı malzemelerin birlikte kullanımları zaman zaman yapı bünyesinde deformasyonlara neden olabilmektedir. Buldukları ortamlara göre farklı reaksiyonlar gösteren malzemelerin yan yana kullanılması bir malzemenin diğerine

etkimesi, iki malzeme arasında deformasyon yaratmaktadır.

Süleymaniye Camisinde duvar örgüsünde kullanılan kesme formdaki Bakırköy Küfeki taşları birbirlerine metal malzemeden yapılmış kenetlerle bağlanmışlardır. Ayrıca metal eski yapıların pencere ve bahçe duvarlarında parmaklık olarak da taşla birlikte kullanılmıştır. Rutubetli ortamlarda ve suyun etkisiyle taş ile birlikte kullanılan demirin paslanması (korozyonu) ile taş cephelerde renklenmeler oluşmuştur (Çizelge 8).

Çizelge 8. Farklı malzeme kullanımına bağlı etkenler

FARKLI MALZEME KULLANIMI ETKİLERİ	
	
	
Süleymaniye Camii'nin Erkekler Abdest bölümünde farklı malzeme olarak taş ile demirin kullanımı sonucunda oluşan korozyon nedeniyle Bakırköy Küfeki taşları üzerinde meydana gelen renk değişimi türündeki bozunmalar ve hasarlar.	
Kimyasal-Fiziksel Bozunma	

4.1.4 Biyolojik etkenler

Eski taş eserlerdeki çatlama ve hatta zamanla kırılmanın önemli nedenlerinden biri de biyolojik kökenli etkilerdir. Bunlar sarmaşık, bitki kökleri, alg ve likenler, mantarlar, bakteriler, kurt ve böcekler olarak sıralanabilirler (Eriç, M., 2014). Nemli ortamlarda, bitki ve yosunlar taş yapılar, taşın yüzeyindeki boşluklara yerleşerek orada zamanla köklenip malzemeyi çatlatmakta, hatta kırılmalara neden olmaktadır. Özellikle taş yapılar suyun toplanarak

dışarı atıldığı saçak kenarlarında ve derzlerde yetişen bitkilerin kökleri taşları kırmaktadır (Çizelge 9). Bu bölgelerde yerleşen alg ve likenler de taş yüzeyinde bozunmayı arttırmaktadır.

Çizelge 9. Biyolojik bozunma etkenleri

BİYOLOJİK ETKENLER	
	
	
	
Süleymaniye Camii'nin minaresinde ve dış cephedeki Bakırköy Küfeki taşlarında görülen siyah renkli yoğun kabuk oluşumu şeklindeki bozunmalar ve bitkilerin neden olduğu hasarlar.	
Biyolojik Bozunma	

4.1.5 İnsan faktörü

İnsanlar kullanım süreçlerinde yapıları pek çok açıdan etkilemektedirler. Bazı müdahaleler ve bilinçsiz yaklaşımlarla zarar verdikleri gibi doğal süreçte kullanımdan kaynaklı zararlar da olabilmektedir. Bunlardan biri olan ayak tabanı etkisi de zemine uyguladığı kuvvet nedeniyle doğal taşların yüzeyinde aşınmalara neden olmaktadır. Bu etken özellikle yapının zemin döşeme kaplamaları, merdiven basamakları ve eşiklerinde görülmekte ve eski eserlerde kalıcı deformasyonlara ve hasarlara neden

olmaktadır (Çizelge 10) (Sebastian, E., vd., 2008).

Çizelge 10. İnsan kullanımından kaynaklı bozunmalar

İNSAN FAKTÖRÜ	
	
	
Süleymaniye Camii'nin kapı eşiğinde insanlardan kaynaklanan ayak etkeni ile aşınma	
Fiziksel Bozunma	

4.2 Yapıda Görülen Hasarların Analizi

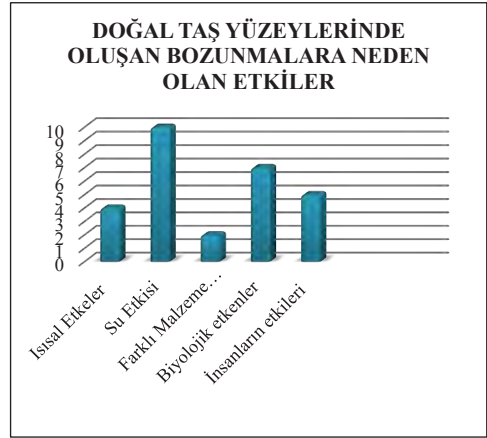
Süleymaniye Camii'nde yapılan doğal taş yüzeyleri üzerindeki araştırmalarda tespit edilen bozunmalar ve hasarlar oransal dağılımlarıyla Grafik'te gösterilmiştir.

Şekil 3'e baktığımızda, bu tarihi yapıda kullanılan doğal taş yüzeylerinde oluşan fiziksel bozunmaların diğer bozunmalara göre daha fazla oranda olduğu görülmektedir.



Şekil 3. Süleymaniye camisinin deki bozunma türlerine ait oranlar

İncelenen yapıda bozunmaya neden olan etkenlerin miktarı Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Süleymaniye camii'nin taş yüzeylerinin bozunma nedenlerine ait oranlar

5 SONUÇLAR

Tarihi eserleri korumak günümüzde önemli konulardan biridir. Bu çalışmada ele alınan Süleymaniye Camii de tarihi ve kültürel açıdan oldukça önemli yapılardan bir tanesini oluşturmaktadır. Camii, 2007-2011 tarihinde kapsamlı bir restorasyon ve onarım geçirmiş aslında bakımlı bir yapı olmasına rağmen yapıda kullanılan doğal taş yüzeylerinde oluşan bozunmalar ve hasarlar açısından bakıldığında pek çok sorun içerdiği görülmektedir. Bu sorunlar pek çok yapıda olduğu gibi farklı etkenler ile ortaya çıkmaktadırlar. Süleymaniye Camii'ndeki bu etkenlerin yapıdaki doğal taşları en çok etkileyen türünün su etkisi olduğu görülmüştür. Suyun da oluşumunu arttırdığı ikinci faktörün kimyasal ve biyolojik bozunmaları meydana getirdiği saptanmıştır. Bu etkileri öncelik sıralamasında insan faktörü, ısısal etkiler ve farklı malzeme kullanımı izlemiştir. Bu faktörlerin pek çoğu genel olarak birbirinin etkisini artırır niteliktedir. Örneğin su, kimyasal ve biyolojik bozunmayı artırırken su ile ısı değişikliği sonucu donma olayı gerçekleştiğinde bu noktadaki suyun genleşmesi ile doğal taşlarda

çatlama ve kırılmalar şeklinde hasarlarla sonuçlanabilmektedir.

Yapılan bu çalışmada, yapıdaki doğal taş yüzeylerinde en yüksek oranda tespit edilen bozunmaların ve hasarların fiziksel kökenli olduğu söylenebilir. Bu oranı sırasıyla izleyen biyolojik ve kimyasal bozunmalar olmuştur. Bu bozunma türleri de aslında doğal taş yüzeylerinde malzeme kayıplarına neden olmakta aynı zamanda diğer bozunma türlerini de destekleyen alt neden olarak görülebilmektedir. Dolayısı ile biyolojik ve kimyasal bozunma da yine fiziksel bozunma gibi önemli bir tür ve miktardadır.

Sonuç olarak, doğal taşlarda meydana gelen bozunma türlerini ve oluşturdukları hasarları tek tek ele aldığımızda tüm bu türlerin birbirinden tümüyle de bağımsız olduğunu söylemek mümkün değildir. Dolayısı ile her tür bozunma için önlem alınması yapının uzun ömürlü olması açısından son derece önemlidir. Özellikle su faktörü ve elbette diğer faktörlerin kontrol edilmeye çalışılması da gerekmektedir. Yapılardaki büyük onarımların daha uzun ömürlü olabilmesi için aslında küçük müdahaleler ve belli aralıklarla yapılacak bakımlar yapıların çok daha ekonomik şekilde uzun ömürlü yaşamalarını sağlayabileceklerdir.

KAYNAKLAR

- Arıoğlu N., Arıoğlu E., 1999, Mimar Sinan'ın Seçtiği Taş: Küfeki ve Çekme Dayanım, *ITU Mimarlık Fakültesi*, İstanbul.
- Çalışkan S. Z., Tavukçuoğlu M., Tavukçuoğlu U., 2014, Geçmişten Günümüze Süleymanie Camii Akustığı, *Yıldız Teknik Üniversitesi*, Mimarlık Fakültesi, İstanbul.
- Çelebi S. , 2003, *Yapılar Kitabı Tezkiretü'l-Bünyan ve Tezkiretü'l-Ebniye (Mimar Sinan'ın Anıları)* , Koçbank , İstanbul.
- Dal M., Öcal A., 2012, *Doğal Taşlardaki Bozulmalar*, Mimarlık Vakfı İktisadi İşletmesi.
- Dal M., Öcal A., 2013, 'Limestone in Islamic Religious Architecture: Istanbul and Turkish Thrace', *METU JFA*, DOI: 10.4305 (s.29-44)
- Eriç M., 2014, *Yapı Fiziği ve Malzemesi*, Literatür Yayıncılık.
- Griffith M. L., 2014, *Stones of Dublin: A History of Dublin in Ten Buildings*, Collins Press.
- Gültekin A., 2012, Süleymaniye Camii'ne ait Ahşap "ASKI TOP"un Konservasyon ve Restorasyonu, *Vakıf Restorasyon Yıllığı*, Türkiye.
- Hattap S., 2017, Doğal Taş Malzeme Koruyucuların Performans Ölçümünde Deneysel Metod, ISBN: 978-3-659-93801-6, (s.124)
- MacAfee P., 2011, *Irish Stone Walls*, O'Brien Press,
- Mahrabel H. A., 2006 ,'Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Sistem Özellikleri, Hasarlar, Onarımlar ve Güçlendirme Teknikleri', *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, (s.15)
- Sav M., 2011, Süleymaniye Camii Çevresinin ARKEO Topografyası ve Mimar Sinan'ın Alanseçim,*Vakıf Restorasyon Yıllığı*.
- Sebastia'n E., Cultrone, G., Benavente, D., Fernandez L. L., Elert K., Rodríguez-Navarro, C., 2008, Swelling damage in clay-rich sandstones used in the church of San Mateo in Tarifa (Spain), *Journal of Cultural Heritage* 9, Elsevier.
- T.C.Milli Eğitim Bakanlığı, 2013, *Taş Bozulmalarını Teshis Etme*, Ankara
- T.C.Milli Eğitim Bakanlığı, 2013, *Taş Yüzeylerde Koruma ve Sağlamaştırma*, Ankara.
- URL 1, www.kofekitasi.com(2017)
- URL 2, www.bayburtkoyleri.blogco.com (2017)
- URL 3, www.supergezginler.com (2017)
- URL 4, www.taşdunyasi.com (2017)
- URL 5 , [www. http://turbedar.blogcu.com](http://turbedar.blogcu.com)(2017)

IV

DOĞAL TAŞ ANALİZLERİ VE STANDARTLAR
ANALYSIS OF NATURAL STONE AND STANDARDS

Dekoratif Amaçlı Kullanılan Bazı Magmatik-Metamorfik Kökenli Doğal Taşların Mineralojik, Petrografik Özellikleri ve Doğal Radyasyon Seviyelerinin Belirlenmesi

Determination of Mineralogical, Petrographic Properties and Natural Radiation Levels of Some Magmatic-Metamorphic Naturel Stones Used for Decorative Purposes

T. Koralay

Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Denizli

N. Maden

Gümüşhane Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Bağlarbaşı - Gümüşhane

K. Deniz

Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara

Y. K. Kadioğlu

Ankara Üniversitesi, Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM), Ankara

ÖZET Bilimsel ve teknolojik gelişmeler insan yaşamında kimyasal içerikli yapı malzemelerinin kullanımını arttırmıştır. Ancak kimyasal içerikli yapı malzemeleri çeşitli sağlık sorunlarına neden olmakta/olabilmektedir. Bu durum magmatik-metamorfik-sedimanter kökenli doğal taşların yaşam alanlarında yoğun bir şekilde kullanılmasına yol açmıştır. Özellikle magmatik-metamorfik kökenli doğal taşların içerdiği radyoaktif minerallerden (zirkon, monazit, ksenotim, sfen, apatit vb.) kaynaklanan doğal radyasyon yayılımı gelecekte önemli sağlık sorunlarına neden olabilecektir. Bu çalışmada granit olarak tanımlanan yurt içi ve yurt dışı kaynaklı 10 farklı kayaç türünün mineralojik-petrografik açıdan tanımlaması yapılmış, jeokimyasal özellikleri ve doğal radyasyon seviyeleri belirlenmiş, uluslararası standartlara göre sağlık açısından risk değerlendirmesi yapılmıştır. İncelenen doğal taş örnekleri petrografik olarak Alkali Feldspat Granit, Granit, Siyeno-Granit, Monzo-Granit, Kuvarslı Diyorit, Gabro, Nefelin Siyenit ve Gnays bileşiminde olup, K (%) (0.76-6.68), U (ppm) (1.0-12.6) ve Th (ppm) (3.9-39.3) içerikleri magmatik kayalara ait sınır değerleri arasındadır. ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K aktivite değerlerinin sırasıyla 45.32(±3.56) - 33.67(±2.59), 65.32(±8.46) - 49.56(±7.43) ve 782.96(±62.64) - 598.45(±35.91) Bq/kg arasında değişmekte olup dünya ortalaması düzeyindedir. Sonuç olarak, incelenen magmatik-metamorfik kökenli doğal taş örneklerinin yaşam alanlarında dekoratif amaçlı olarak kullanımında sağlık açısından herhangi bir sakınca görülmemiştir. Ancak magmatik-metamorfik kökenli doğal taşların yaşadığımız ortamlarda kullanımında mutlaka mineralojik, petrografik, jeokimyasal özellikleri ile doğal radyasyon seviyeleri belirlenmeli ve uluslararası standartlar bağlamında risk faktörleri de dikkate alınarak elde edilen sonuçlara göre hareket edilmelidir.

ABSTRACT: Scientific and technological developments have increased the use of building materials with chemical content in human life. However, building materials with chemical content may cause various health problems. This situation has led to an increase in the use of natural stones (magmatic-metamorphic-sedimentary origins) in living areas. In particular, the natural radiation emitted by radioactive minerals (zircon, monazite, xenotime, sphene, apatite, etc.) contained in magmatic-metamorphic natural stones may cause significant health problems in the future. In the present study, 10 different rock types, which are commercially called as granite, are identified in terms of mineralogical, petrographic and their geochemical

characteristics. In addition, natural radiation levels have been determined and risk assessment for health is made according to international standards. According to the petrographic examinations, the investigated natural stone samples are in Alkali feldspar granite, Granite, Syeno-granite, Monzo-granite, Quartz Diorite, Gabbro, Nepheline syenite and Gneiss, the contents of K (%) (0.76-6.68), U (ppm) (1.0-12.6) and Th (ppm) (3.9-39.3) are within the limit values of magmatic rocks. ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K activity values changing between 45.32(\pm 3.56) - 33.67(\pm 2.59), 65.32(\pm 8.46) - 49.56(\pm 7.43) and 782.96(\pm 62.64) - 598.45(\pm 35.91) Bq/kg respectively, are in the world average level. As a result, there is no objection to the use of the examined magmatic-metamorphic natural stone samples for decorative purposes in living areas. However, when using natural stones of magmatic-metamorphic origin, mineralogical, petrographic, geochemical characteristics and natural radiation levels should be determined and the results obtained by considering the risk factors in the context of international standards should be taken into consideration.

1 GİRİŞ

Günümüzde artan bilimsel, teknolojik yenilikler ve ekonomik gelişmeler insanoğlunun yaşam biçimini değiştirmesine neden olmaktadır. Yaşam biçimi kişinin beslenme ve barınma kavramlarının bir bütünüdür. Kelime olarak “Doğa etkilerinden korunmak için kapalı bir yere sığınmak” anlamına gelen barınma tüm canlılar için vazgeçilemez bir kavramdır. İnsanoğlu tarih boyunca barınma ortamını güzelleştirmek ve geliştirmek için çaba göstermiş/göstermektedir. Bilimsel ve teknolojik gelişmeler kimyasal içerikli yapı malzemelerinin kullanımını arttırmış, bu artış beraberinde çeşitli sağlık sorunlarının da kısa ve uzun vadede ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu nedenle son yıllarda topluma açık yaşam alanlarında doğal taşlar yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bilindiği üzere “Doğal taş” terimi yer kabuğunda işletilen ve ticareti yapılan her türlü kayaç grubu için kullanılan genel bir tanımdır. Doğal taşlar, doğadan çıkarıldıktan sonra birçok alanda kullanılabilen en eski yapı malzemeleridir. Tarih boyunca insanoğlu tarafından yapılarda ve anıtlarda sağlamlığı, dış etkilere karşı olan dayanıklılığı ve güzelliği nedeniyle kullanılmışlardır. Zamanla kullanımı artan doğal taşlar günümüzde özellikle inşaat sektöründe cephe kaplaması ve yer döşemesi olarak kullanılmaktadır.

Maden kanununa göre “blok olarak üretilen, dekoratif amaçla kullanılan” ve II. grup madenler kapsamında tanımlanan doğal

taşlar arasında sedimanter (kireçtaşı, traverten, kumtaşı) ve metamorfik kökenli (mermer, şist, gnays) kayaçlardan sonra en önemli kayaç grubunu magmatik kökenli (granit, gabbro, bazalt) kayaçlar oluşturmaktadır. Granit başlıca kuvars, alkali feldspat, plajiyoklaz, biyotit, amfibol ana mineralleri ile zirkon, monazit, ksenotim, sfen, apatit, epidot ve manyetit gibi tali mineralleri içeren asidik bileşimli bir derinlik kayacıdır. İçerdiği minerallerin (özellikle alkali feldspat, plajiyoklaz) rengine bağlı olarak değişik renkler gösterebilmektedir. Orta ve ince kristalli yapıya sahip, gri renkli granitler çoğunlukla dış cephe kaplaması ve yer döşemesi olarak tercih edilirken, iri kristalli ve farklı renkli granitler dekoratif amaçlı (mutfak tezgâhı, iç mekân yer döşemesi) olarak kullanılmaktadır.

Ülkemizin sahip olduğu granit rezervleri çoğunlukla kuzeybatı-batı Anadolu’da (İzmir Bergama, Kozak, Kapıdağ, Balıkesir, Erdek, Eskişehir, Sivrihisar) yoğunlaşmakta olup, bu ocaklardan çoğunlukla parke taşı olarak üretim yapılmaktadır. Üretim hem yurtdışı hem de yurtiçinde tüketilmektedir. Tüketim daha çok döşeme amaçlı olarak parke, bordür, yaya kaldırımı, park ve bahçe düzenlemelerinde kullanılmaktadır (DPT 2001). 2000’li yıllar ve öncesinde lüks sınıfına giren ve mermerin çok üzerindeki fiyatıyla sadece belirli gelir gruplarınınca kullanılabilen granit, artık mermere yakın fiyatı ile kooperatif inşaatlarında bile kullanılmaya başlanmıştır. Bu anlamda artan talebin büyük çoğunluğu yurtdışından

(Hindistan, Çin, İspanya ve Vietnam) ithalat yoluyla karşılanmaya başlanmıştır.

İnsanoğlu ve diğer canlılar, milyonlarca yıldan beri evrenden gelen kozmik ışınlar ve yerkürede bulunan doğal radyoaktif maddelerden yayılan radyasyonla ışınlanmakta olup; tüm canlılar varoluşlarından bu yana sürekli olarak doğal radyasyonla iç içe yaşamaktadırlar. Üzerinde yaşadığımız yerkabuğunu oluşturan kayaç ve minerallerin içermiş olduğu K, U ve Th elementleri en önemli doğal radyasyon kaynaklarını oluşturmaktadır. Granit türü doğal taşlar içerdikleri bazı minerallerin (feldispat, biyotit, hornblend, zirkon, allanit, monazit, ksenotim, torit ve uranotorit) Uranyum (U), Toryum (Th) ve Potasyum (K) içerikleri nedeniyle radyoaktivite açısından önem taşımaktadır. Bu kayaçların bulunduğu alanlarda ölçülen gama radyasyon değerleri oldukça yüksek olup, bu alanlarda yaşayan insanların doğal kaynaklardan aldıkları yıllık radyasyon doz değerlerinin diğer bölgelerde yaşayan insanlara nazaran daha fazla olduğu belirlenmiştir. Granitlerin, özellikle dekoratif amaçlı olarak iç mekân kullanımlarında, içerdikleri doğal radyonüklitler nedeniyle radyoaktivite açısından detaylı olarak incelenmelerini zorunlu kılmaktadır (UNSCEAR 2000; Osmanoğlu 2006; Yaşar 2006; Örgün vd. 2008; Uyanık ve Akkurt 2009; Mavi ve Akkurt 2010; Karadeniz vd. 2011; Çetin vd. 2012; Sayın 2013; Maden ve Kahveci 2016; Angı vd. 2017).

Bu çalışmada dekoratif amaçlı olarak kullanılan ve çoğunlukla yurtdışından ithal edilen bazı magmatik-metamorfik kökenli doğal taş örneklerinin mineralojik, petrografik, jeokimyasal ve radyoaktivite özellikleri detaylı olarak incelenmiş, radyolojik risk değerlendirmesi yapılmıştır.

2 MATERYAL VE METOD

Bu çalışmanın konusunu oluşturan, mineralojik-petrografik ve radyoaktivite analizleri yapılan doğal taş örnekleri ülkemizde yaygın olarak kullanılan ürünler olup, Denizli ilinde faaliyet gösteren bir firmadan temin edilmiştir. Çalışma kapsamında piyasada farklı ticari isimler ile tanımlanan magmatik-metamorfik kökenli

doğal taş örneklerinden mineralojik-petrografik incelemeler için ince kesitler hazırlanmıştır. Hazırlanan ince kesitler üzerinde mineralojik bileşim, dokusal tanımlama ve petrografik isimlendirme yapılmıştır. Bu incelemeler Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Optik Mineraloji Laboratuvarında, “Leica DM750P” marka polarize mikroskop kullanılarak tamamlanmıştır.

Doğal taş örneklerinde polarizan mikroskop çalışmaları sırasında tanımlanmayan daha az orandaki bileşenleri belirleyebilmek için X-ışınları Difraktometre (XRD) analizleri yapılmıştır. XRD analizler için, 10 adet magmatik-metamorfik kökenli doğal taş örneği, halkalı değirmende 150-200 mesh boyutuna kadar öğütülerek toz haline getirilmiştir. Toz halindeki doğal taş örneklerinin XRD analizleri Ankara Üniversitesi Yer Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM) Laboratuvarında “Inel Equinox 1000” marka cihazla kobalt katotlu tüp kullanılarak yapılmıştır.

Farklı renk ve doku özelliği gösteren magmatik-metamorfik kökenli doğal taş örneklerinin jeokimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla X-ışınları Floresans (XRF) analizi yapılmıştır. XRF analizi için doğal taş örnekleri halkalı değirmende 150-200 mesh tane boyutuna kadar öğütülmüştür. Daha sonra her bir kayaç tozundan 6.25 gr alınarak, 1.4 gr bağlayıcı wax ile homojen bir şekilde karıştırılmıştır. Karışım halindeki örnek tozu 15-20 N/m basınç altında, 40 mm çapında bir tablet (pellet) şeklinde sıkıştırılmış ve analize hazır hale getirilmiştir. XRF analizleri Pamukkale Üniversitesi XRF Laboratuvarında “Spectro XEPOS PEDXRF (Polarized Energy Dispersive XRF) cihazı kullanılarak yapılmıştır. Analizler USGS’in magmatik kayaçlar için oluşturduğu standartlar kullanılarak kalibre edilmiştir.

Doğal taş örnekleri radyoaktivite ölçümleri için önce balyozla küçük parçalar haline, sonrasında öğütücü değirmen yardımıyla toz haline getirilmiştir. Öğütülen ticari granit örnekleri 105 °C sabit sıcaklıktaki etüvde 24 saat kurutularak nem dengesinin oluşması ve

örneklerin sabit kütleyle ulaşmaları sağlanmıştır. Toz örnekler hava alması engellenecek şekilde kapalı plastik kutulara konulmuş, hassas terazide tartılmış ve etiketlendikten sonra ^{226}Ra ve ^{222}Rn arasındaki radyoaktif dengenin oluşması için 4 hafta beklemeye bırakılmıştır. Bu süre sonunda örnekler için Gama spektrometrik ölçümler koaksiyal HPGe dedektörü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Dedektör, kozmik ışınlardan ve çevre etkilerden korunmak için 10 cm kalınlığında kurşun levha ile yalıtılmıştır. ^{226}Ra aktivitesini belirlemek için sayımlar 238 keV (^{212}Pb), 352 keV (^{212}Pb) ve 609 keV (^{214}Bi) kanallarından yapılmıştır. ^{232}Th aktivitesi 583 keV (^{208}Tl), 911 keV (^{228}Ac) kanallarından gelen gama ışınları sayılarak belirlenmiştir. ^{40}K aktivitesi doğrudan 1460 keV emisyon değerinden belirlenmiştir (Ray vd. 2008; IAEA 2003). Örnekler için ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyon değerleri belirlemek için sayım değerleri kullanılarak

$$C = N / \epsilon m P_{\gamma}$$

bağıntısı yardımıyla hesaplanmıştır. Bu bağlamda;

C: aktivite konsantrasyonunu (Bq/kg),

N: keV olarak ilgilenilen pik altındaki sayım sayısını, ϵ pik enerji verimliliğini,

t: ölçüm zamanını (sn),

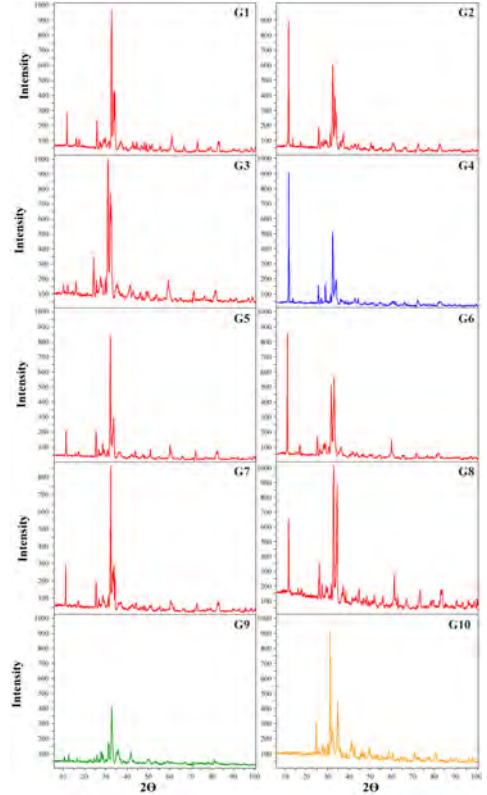
m: örnek ağırlığını (kg) ve

P_{γ} : ise mutlak geçiş yoğunluğunu göstermektedir.

3 DOĞAL TAŞ ÖRNEKLERİNİN MİNERALOJİK-PETROGRAFİK ÖZELLİKLERİ

İncelenen magmatik-metamorfik kökenli doğal taş örneklerinin detaylı mineralojik-petrografik özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Çizelge 1'e göre incelenen örneklerden G2 numaralı doğal taş örneği metamorfik kökenli bir kayacı temsil ederken, G4 ve G9 numaralı doğal taş örnekleri koyu renkli ortaç-bazik magmatik kayaları temsil etmektedir. Benzer şekilde G10 numaralı doğal taş örneği feldispatoyid minerali (nefelin) içermesi nedeniyle diğer örneklerden farklılık göstermektedir. Doğal taş örneklerinin petrografik incelemeler ile

belirlenen mineralojik bileşimleri yapılan XRD çalışmalarıyla da desteklenmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Magmatik-metamorfik kökenli doğal taş örneklerinin XRD grafikleri

Tüm kayacık toz XRD sonuçlarına göre, doğal taş örneklerinde K-feldispat, kuvars, plajiyoklaz, biyotit, amfibol, piroksen (G9) ve nefelin (G10) pikleri tespit edilmiştir. İncelenen doğal taş örneklerinin XRD grafiklerinin tümünde düzenli ve belirgin mineral pikleri görülmektedir. Ancak bazı mineral piklerinin birbirini örttüğü ve kısmen de olsa XRD grafiklerinde düzensiz piklerin görülmesine neden olmaktadır (Şekil 1). Bu durum doğal taş örneklerini oluşturan ve mikroskop incelemelerinde ortaya konulan bazı mineral fazlarındaki (k-feldispatlarda serizitleşme, killeşme; amfibol ve biyotitlerde kloritleşme) bozunmalar ile ilişkilendirilmiştir.

Çizelge 1. İncelenen magmatik-metamorfik kökenli doğal taş örneklerinin mineralojik-petrografik özellikleri

EL ÖRNEĞİ	TİCARİ ADI /KÖKENİ	EL ÖRNEĞİ DOKUSU	RENĞİ	KRİSTAL BÖLÜTÜ	MİKROSKOP GÖRÜNTÜSÜ	ANA MINERAL BİLEŞİMİ	TALI MINERALLER	BOZUNMA TÜRLERİ	MİKRO DOKU TÜRLERİ	PETROGRAFIK ADI
	G160 /ÇİN HALK CUMHURİYETİ	PORFİRO-FANERİTİK	KIRMIZI GRİ/PEMBE	ORTA (1-4 mm) İRİ (> 5 mm)		K-FELDİSPAT (ORTOKLAZ), KUVARS, PLAJİYOKLAZ (ANDEZİN), BİYOTİT	OPAK MINERAL (MANYETİT) KLORİT, ZİRKON	KİLİLEŞME SERİZİTLEŞME OPAKLAŞMA KLORİTLEŞME	HOLOKRİSTALEN DOKU, PERİTİK DOKU	ALKALI FELDİSPAT GRANİT
	HİNDİSTAN GRANİT	FOLİYASYONLU	SİYAH YESİLİMSİ SİYAH	İNCE (< 1 mm) ORTA (1-4 mm)		K-FELDİSPAT (MİKROKLİN), PLAJİYOKLAZ (ANDEZİN), BİYOTİT	OPAK MINERAL (MANYETİT, SEFEN, ZİRKON, EPİDOT, APATİT)	KİLİLEŞME, HİDROBİYOTİTLEŞME, KLORİTLEŞME	LEPIDOGRAFOBLASTİK	GNAYS
	TAN BROWN /HİNDİSTAN	RAPAKİVİL PORFİRO-FANERİTİK	KAHVERENGİL, K. KAHVRENGİ	ORTA (1-4 mm) İRİ (> 5 mm)		K-FELDİSPAT (ORTOKLAZ), PLAJİYOKLAZ, BİYOTİT, = HORNBLEND	OPAK MINERAL (MANYETİT, İLMENİT), SEFEN, ZİRKON, EPİDOT, APATİT, ALLANİT	KİLİLEŞME, SERİZİTLEŞME, POKLİTLİK DOKU, HİDROBİYOTİTLEŞME, KLORİTLEŞME	HOLOKRİSTALEN DOKU, PERİTİK DOKU, = MİNERİTİK DOKU	ALKALI FELDİSPAT GRANİT
	BLUE GALASY /HİNDİSTAN	FANERİTİK	SİYAH K. GRİ-SİYAH	İNCE (< 1 mm) ORTA (1-4 mm)		K-FELDİSPAT (ORTOKLAZ), KUVARS, BİYOTİT, = PROKSEN	OPAK MINERAL (MANYETİT, SEFEN, EPİDOT, APATİT, ALLANİT, ZİRKON	KİLİLEŞME, SERİZİTLEŞME, = SOSSÜRİTLEŞME, URAKLİTLEŞME	HOLOKRİSTALEN DOKU, POKLİTLİK DOKU = KONGONADOKUSU ?	KUVARSLI DİYORİT
	VIETNAM ÜDÖLET /VIETNAM	PORFİRO-FANERİTİK	PEMBE, GRİMSİ PEMBE	İNCE (< 1 mm) ORTA (1-4 mm)		K-FELDİSPAT (ORTOKLAZ), PLAJİYOKLAZ (ANDEZİN), = HORNBLEND	OPAK MINERAL (MANYETİT, SEFEN, APATİT, ZİRKON	KİLİLEŞME, SERİZİTLEŞME, = SOSSÜRİTLEŞME, KLORİTLEŞME	HOLOKRİSTALEN DOKU, MONZONİTİK DOKU	MONZO-GRANİT
	ROSA PORİNO /İSPANYA	FANERİTİK	PEMBE	İNCE (< 1 mm) ORTA (1-4 mm)		K-FELDİSPAT (MİKROKLİN), PLAJİYOKLAZ (ANDEZİN), KUVARS, BİYOTİT	OPAK MINERAL (MANYETİT), APATİT, KLORİT	KİLİLEŞME, SERİZİTLEŞME, = SOSSÜRİTLEŞME, KLORİTLEŞME	HOLOKRİSTALEN DOKU, PORFİROBLASTİK, PERİTİK DOKU	ALKALI FELDİSPAT GRANİT
	XIU İRED /ÇİN HALK CUMHURİYETİ	PORFİRO-FANERİTİK	SARIMSİ GRİ	ORTA (1-4 mm) İRİ (> 5 mm)		K-FELDİSPAT (ORTOKLAZ), KUVARS, PLAJİYOKLAZ, BİYOTİT, HORNBLEND	OPAK MINERAL, KLORİT, SEFEN, ZİRKON, = APATİT	KİLİLEŞME, SERİZİTLEŞME, = SOSSÜRİTLEŞME, KLORİTLEŞME	HOLOKRİSTALEN DOKU, POKLİTLİK DOKU, = OSELLAR DOKUSU	SİYENO-GRANİT
	WHITE LAU SPRİNG /VIETNAM	FANERİTİK	GRİ	İNCE (< 1 mm)		K-FELDİSPAT (ORTOKLAZ), PLAJİYOKLAZ, KUVARS, BİYOTİT, = HORNBLEND	APATİT, ZİRKON, OPAK MINERAL	KİLİLEŞME, SERİZİTLEŞME, = SOSSÜRİTLEŞME, = KLORİTLEŞME	HOLOKRİSTALEN DOKU, POKLİTLİK DOKU, = KATAKLASTİK DOKU ?	GRANİT
	ABSOLUTİE BLACK /HİNDİSTAN	FANERİTİK	SİYAH	İNCE (< 1 mm)		PLAJİYOKLAZ, PROKSEN (OHİT), =OLİVİN	OPAK MINERAL (İLMENİT), KLORİT	SOSSÜRİTLEŞME, KİLİLEŞME, URAKLİTLEŞME	HOLOKRİSTALEN DOKU, SUBOFİTİK DOKU	GA-BİRO
	KIR ÇÜĞEĞİ /TÜRKİYE	PORFİRO-FANERİTİK	KAHVİMSİ GRİ, GRİ	ORTA (1-4 mm) İRİ (> 5 mm)		NEFELİN, K-FELDİSPAT (ORTOKLAZ), PLAJİYOKLAZ (OLİGOKLAZ), FLOGOPİT, = HORNBLEND	OPAK MINERAL MELANİT, SEFEN, KLORİT	KİLİLEŞME, SERİZİTLEŞME, = SOSSÜRİTLEŞME, KLORİTLEŞME	HOLOKRİSTALEN DOKU, POKLİTLİK DOKU	NEFELİN SİYENİT

4 DOĞAL TAŞ ÖRNEKLERİNİN JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Doğal taş örneklerinin jeokimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla; ana ve iz element analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarının farklı diyagramlar kullanılarak yorumlanmış ve doğal taş örneklerini oluşturan magmanın karakteri ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Doğal taş örneklerine ait jeokimyasal analiz sonuçları Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Magmatik-metamorfik kökenli doğal taş örneklerinin kimyasal analiz sonuçları

Element	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10
SiO ₂ (%)	60.35	54.84	64.82	55.81	57.54	71.93	68.51	62.33	51.03	63.95
TiO ₂ (%)	0.24	0.76	0.73	1.41	0.56	0.28	0.24	0.35	1.32	0.14
Al ₂ O ₃ (%)	12.13	13.26	13.65	13.91	13.02	13.73	14.13	12.82	15.99	17.03
Fe ₂ O ₃ (%)	2.38	4.91	4.06	7.79	3.12	2.09	2.13	2.42	13.78	2.20
MnO (%)	0.06	0.07	0.05	0.11	0.07	0.05	0.05	0.07	0.18	0.07
MgO (%)	0.39	1.03	1.52	2.62	2.14	0.66	0.59	1.01	3.40	0.19
CaO (%)	1.25	2.51	3.45	4.86	2.93	1.67	1.80	1.99	9.99	2.65
Na ₂ O (%)	3.15	2.20	3.63	2.44	2.77	3.68	3.29	3.35	3.61	4.58
K ₂ O (%)	5.23	6.38	4.09	4.19	5.03	4.88	5.69	4.12	0.91	8.05
P ₂ O ₅ (%)	0.06	0.32	0.52	0.62	0.29	0.11	0.10	0.12	0.33	0.11
K (%)	4.34	5.30	3.39	3.48	4.18	4.05	4.72	3.42	0.76	6.68
T. Alkali	8.38	8.58	7.72	6.63	7.81	8.56	8.98	7.47	4.52	12.63
A/CNK	1.26	1.20	1.22	1.21	1.21	1.34	1.31	1.35	1.10	1.11
A/NK	1.45	1.55	1.77	2.10	1.67	1.60	1.57	1.72	3.54	1.35
Cr (ppm)	14.0	32.1	13.4	43.1	62.8	15.8	16.9	31.7	55.0	137
Ba (ppm)	132.9	2553	1073	1182	890	725	580	391.2	243.6	1132
Rb (ppm)	324.8	163.2	94.5	131.7	224.1	121.8	204.6	150.6	30.2	275.0
Sr (ppm)	57.6	258.3	257.5	261.5	441.2	148.1	203.7	185.7	150.3	1036
Y (ppm)	54.5	33.0	39.3	35.2	10.8	20.2	24.3	11.1	27.9	27.9
Zr (ppm)	211.9	397.8	421.8	426.9	223.7	211.8	142.8	94.1	95.1	247.5
Nb (ppm)	71.9	22.4	18.5	22.7	13.1	8.7	10.3	5.5	3.0	20.5
Ni (ppm)	42.8	39.2	54.7	54.8	42.2	67.7	58.6	45.2	109.7	8.2
V (ppm)	1.0	58.3	61.1	117.2	74.0	13.3	14.5	26.7	364.6	123
Hf (ppm)	4.8	9.0	10.0	9.2	4.6	8.4	8.2	4.7	3.4	3.4
Co (ppm)	51.8	51.7	88.3	58.9	41.2	104.4	78.3	52.4	80.8	24.5
W (ppm)	465.5	257.3	525.1	299.6	229.7	716.0	578.8	375.7	295.9	84.7
Ga (ppm)	26.9	18.2	19.3	19.8	20.5	17.6	16.7	17.1	16.9	20.3
Cu (ppm)	3.9	10.2	9.1	19.7	6.6	3.2	2.3	2.5	215.9	2.4
Zn (ppm)	46.9	57.7	67.3	92.9	49.8	45.5	24.8	35.5	108.1	47.6
Sn (ppm)	16.1	12.4	16.8	17.5	16.4	15.9	11.3	13.1	17.6	4.4
La (ppm)	92.0	2.0	46.9	82.6	42.4	60.7	2.0	2.0	26.3	89.8
Ce (ppm)	100.1	120.0	192.0	154.0	2.0	2.0	114.0	26.9	2.0	133.5
Nd (ppm)	114.6	116.4	157.8	69.8	77.0	139.0	113.4	28.9	2.0	-
Sb (ppm)	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	0.9
U (ppm)	8.7	1.0	1.0	1.0	12.6	2.5	2.9	2.0	1.0	10.5
Th (ppm)	39.3	11.8	15.1	14.4	30.0	17.2	20.9	11.7	3.9	24.2
Pb (ppm)	23.2	35.0	32.1	24.5	30.7	18.8	15.8	21.8	5.4	77.7
*N.M (%)	0.20	0.25	0.35	0.25	0.25	0.15	0.20	0.45	0.35	0.10
**K.K (%)	0.30	0.50	0.25	0.45	0.05	0.20	0.35	0.45	0.30	0.35

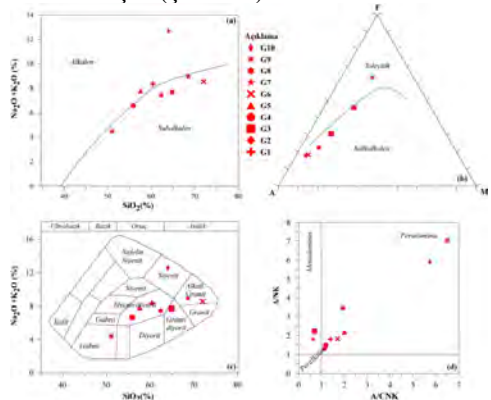
*N.M: Nem Miktarı (%), **K.K: Kızdırma Kaybı (%)

İncelenen doğal taş örneklerinin ait nem içerikleri % 0.10-0.45, kızdırma kaybı %0.05-0.50 arasında değişmektedir.

Kızdırma kaybı değeri kayacın ayrışma derecesiyle doğru orantılıdır. Doğal taş örneklerinin kızdırma kaybı değerlerinin oldukça düşük olması örneklerin ayrışmamıő, taze örnekler olduklarını göstermektedir.

Magmatik-metamorfik kökenli doğal taş örneklerini oluşturan magmanın karakterini belirlemek için toplam alkali (Na₂O+K₂O)(%)-silika (SiO₂)(%) diyagramı hazırlanmıştır. Bu diyagrama yerleştirilen mermer örneklerinden G1, G5 ve G10 numaralı örneklerin alkalen alana, G4 ve G7 numaralı örneklerin alkalen-subalkalen çizgisi üzerine, G3, G6, G8 ve G9 numaralı örneklerin subalkalen alana düőtükleri belirlenmiştir (Şekil 2a). Subalkalen karakterli magma ürünü olan mermer örneklerinin (G9 numaralı örnek dışında) AFM diyagramında kalkalkalen alana düştüğü görölmektedir (Şekil 2b).

İncelenen magmatik-metamorfik kökenli doğal taş örneklerinin Cox et al. (1979) tarafından oluşturulan (% Na₂O + K₂O)-silika (% SiO₂) kayaç adlandırma diyagramındaki konumları Şekil 2c’de verilmiştir. Maniar ve Piccoli (1989) tarafından önerilen alümino bazlı sınıflama diyagramında doğal taş örneklerinin (G3 ve G7 haricinde) peralüminyum alanda toplandığı görölmektedir. Aynı diyagramda G3 ve G7 numaralı örneklerin metaalüminyum alanına düştüğü belirlenmiştir (Şekil 2d).



Şekil 2. İncelenen doğal taş örneklerinin a) SiO₂(%)-Na₂O+K₂O (%) (Lemaitre vd. 2001), b) AFM (toleyitik-kalkalkalen ayırım

çizgisi Irvine ve Baragar (1971) göre, **c)** $\text{SiO}_2(\%) - \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}(\%)$ kimyasal adlandırma (Cox vd. 1979), **d)** Alümino bazlı sınıflama diyagramındaki (Maniar ve Piccoli 1989) konumları

Kayaçların sahip oldukları doğal radyasyon miktarı içerdikleri potasyum (K), itriyum (Y), zirkon (Zr), seryum (Ce), toryum (Th) ve uranyum (U) elementleri ile doğrudan ilişkidir. Aynı zamanda bu elementler radyoaktiviteye neden olan bazı minerallerin (Ortoklaz $[\text{KAlSi}_3\text{O}_8]$; Biotit $[(\text{K},\text{Fe},\text{Mg})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2]$; Muskovit $[(\text{K},\text{Al})_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2]$; Ksenotim $[\text{YPO}_4]$; Monazit $[(\text{Ce},\text{La},\text{Y},\text{Th})\text{PO}_4]$; Allanit $[(\text{Ca},\text{Ce},\text{Y},\text{Th})_2(\text{Al},\text{Fe},\text{Mg})_3\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})]$; Zirkon $[\text{ZrSiO}_4]$; Apatit $[\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F},\text{Cl},\text{OH})]$ ve Torit $[\text{ThSiO}_4]$) kimyasal formüllerinde de bulunmaktadır.

K elementi yer kabuğunda en fazla bulunan sekizinci element'tir. Kayaç oluşturan minerallerin (alkali feldispatlar, lösit, biyotit, muskovit, flogopit ve bazı amfiboller) esas bileşenini oluşturmaktadır. Felsik bileşimli magmatik kayaçlarda mafik bileşimli magmatik kayaçlara oranla daha bol miktarda bulunur (URL-1)

Y elementi magmatik-metamorfik kökenli kayaçlar içerisinde nadir olarak bulunan ksenotim ve itriyalit minerallerinin esas bileşenini oluşturur. Biotit, feldispat, piroksen, granat ve apatit içerisinde aksesuar element olarak görülebilir. Elektron dizilimi ve iyon yarıçapı bakımından ağır Nadir Toprak Elementlerine (NTE) benzerlik gösterir. Granit bileşimli kayaçlarda bazalt bileşimli kayaçlara göre zenginleşme eğilimindedir (URL-2).

Zr elementinin en karakteristik özelliği yüksek elektrik yükü ve iyon yarıçapına sahip olmasıdır. Bu özelliği nedeniyle kayaç oluşturan minerallerin bünyesine girmez ve kendi mineralini (zirkon, baddeleyit) oluşturur. Bununla birlikte ilmenit ve rutil içerisindeki Ti elementi ile yer değiştirebilir, klinopiroksen, amfibol, mika ve granat içerisinde eser miktarda bulunabilir. Zr magmatik farklılaşmanın son ürünü olan kayaçlarda daha yüksek miktarlarda görülür (URL-3).

Ce monazit, ksenotim ve bastnazit minerallerinin esas bileşenini oluşturan NTE'nden bir tanesidir. Büyük iyon yarıçapı ve güçlü elektropozitif özelliği nedeniyle Ca^{+2} , Y^{+3} ve Th^{+4} elementlerinin yerini alabilir. Granit bileşimli kayaçlarda Ce içeriği mafik magmatik kayaçlara göre daha yüksek değerlerdedir (URL-4).

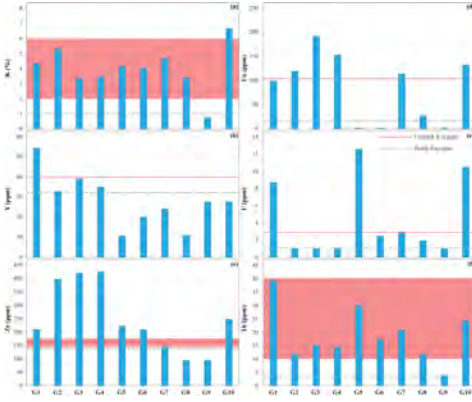
U ve Th elementleri aktinit grubu elementlerdir. U elementi uranit, autinit ve koffinit minerallerinin, Th elementi ise monazit, torit ve toriyanit minerallerinin ana bileşenini oluşturmaktadır. Bununla birlikte U ve Th elementleri zirkon, sfen, epidot, allanit ve apatit mineralleri içinde eser miktarda bulunurlar. Granit bileşimli magmatik kayaçların U ve Th içerikleri mafik magmatik kayaçlara göre daha yüksektir (URL-5, 6).

İncelenen doğal taş örneklerinin (G9 ve G10 dışında) K (%) içerikleri granitik kayaçlar için verilen sınır değerler arasında kalmaktadır (Şekil 3a). G9 numaralı doğal taş örneği gabro olduğu için ortalama bazik kayaç bileşimi ile karşılaştırılmış ve daha düşük miktarda K içerdiği belirlenmiştir. Petrografik incelemelerde nefelin siyenit olarak tanımlanan G10 numaralı doğal taş örneğinin K içeriği ortalama granit bileşimine göre hafif bir yükseklik göstermektedir. Bu durum kayaç içerisindeki nefelin ve ortoklaz minerallerinin killeşmesi ile ilişkilendirilebilir.

Y içerikleri bakımından G1 numaralı örnek dışında tüm doğal taş örnekleri granitik ve bazik kayaç ortalamalarından daha düşük değerlerde oldukları görülmektedir (Şekil 3b). G1 örneğinin yüksek Y değeri, bol miktarda ortoklaz ve biyotit içeriğiyle açıklanabilir.

Doğal taş örneklerinin Zr değerlerinin (G7, G8 ve G9 haricinde) granitik kayaçlar için verilen sınır değerlerin üzerinde olduğu belirlenmiştir (Şekil 3c). Literatürde Zr içeriklerinin özellikle yüksek dereceli metamorfik kayaçlar (G2), siyenit (G10) bileşimli derinlik kayaçları ve alkan karakterli (G1, G3, G4, G5) magmatik kayaçlarda yüksek değerler gösterebileceği belirtilmektedir (Watson 1979). G3 ve G4 numaralı doğal taş örneklerinin yüksek Zr

İçerikleri mineralojik bileşimlerinde görülen allanit minerali ile ilişkilendirilebilir.



Şekil 3. Doğal taş örneklerinin K(%), Y (ppm), Zr (ppm), Ce (ppm), U (ppm) ve Th (ppm) içeriklerinin granitik ve bazaltik kayaç ortalama değerleri ile karşılaştırılması (Ortalama granitik ve bazaltik kayaç değerleri URL-1, 2, 3, 4, 5, 6' dan alınmıştır.)

G2, G3, G4, G7 ve G10 numaralı doğal taş örneklerinin Ce içeriklerinin granitik kayaç ortalamasından daha yüksek oldukları görülmektedir (Şekil 3d).

İncelenen doğal taş örneklerinin U ve Th içerikleri granitik kayaçlar için verilen sınır değerler içerisinde kalmaktadır (Şekil 3e, f). Bununla birlikte G1, G5 ve G10 numaralı örneklerin U içeriklerinin ortalama granitik kayaç bileşimine göre daha yüksek değerlerde olduğu görülmektedir (Şekil 3e). Bu durum örneklerin mineralojik bileşimlerinde belirlenen zirkon minerali ile ilişkilendirilebilir.

İncelenen magmatik-metamorfik kökenli doğal taş örneklerinin K (%), U (ppm) ve Th (ppm) içerikleri, Çizelge 3'de verilen farklı kayaç gruplarına ait sınır değerler ile karşılaştırıldığında, örneklerin K(%), Th (ppm) ve U (ppm) içeriklerinin belirtilen sınır değerleri arasında kaldığı belirlenmiştir.

Çizelge 3. Farklı kayaç gruplarına ait radioelement içerikleri (Uyanık ve Akkurt 2009 alınmıştır).

Kayaç Tipi	Potasyum (%)		Uranyum (ppm)		Toryum (ppm)	
	Ort. Değ.	Sınır Değ.	Ort. Değ.	Sınır Değ.	Ort. Değ.	Sınır Değ.
Asidik Volkanitler	3.1	1.0-6.2	4.1	0.8-16.4	11.9	1.1-41.0
Asidik Plütonikler	3.4	0.1-7.6	4.5	0.1-30.0	25.7	0.1-253.1
Ortaç Volkanitler (Andezit)	1.1	0.01-2.5	1.1	0.2-2.6	2.4	0.4-6.4
Ortaç Plütonikler	2.1	0.1-6.2	3.2	0.1-23.4	12.2	0.4-106.0
Bazik Volkanitler	0.7	0.06-2.4	0.8	0.03-3.3	2.2	0.05-8.8
Bazik Plütonikler	0.8	0.01-2.6	0.8	0.01-5.7	2.3	0.03-15.0
Ultrabazikler	0.3	0.0-0.8	0.3	0.0-1.6	1.4	0.0-7.5
Alkali Feldspatoidal Ortaç Volkanitler (Traki-andezit)	6.5	2.0-9.0	29.7	1.9-62.0	133.9	9.5-265.0
Alkali Feldspatoidal Ortaç Plütonikler	4.2	1.0-9.9	55.8	0.3-720.0	132.6	0.4-880.0
Alkali Feldspatoidal Bazik Volkanitler	1.9	0.2-6.9	2.4	0.5-12.0	8.2	2.1-60.0
Alkali Feldspatoidal Bazik Plütonikler	1.8	0.3-4.8	2.3	0.4-5.4	8.4	2.8-19.6
Kimyasal Sedimanter Kayaçlar	0.6	0.02-8.4	3.6	0.03-26.7	14.9	0.03-132.0
Karbonatlar (Kireçtaşlar)	0.3	0.01-3.5	2.0	0.03-18.0	1.3	0.03-10.8
Aşınmış Sedimanter Kayaçlar	1.5	0.01-9.7	4.8	0.1-80.0	12.4	0.2-362.0
Metamorfize Volkanik Kayaçlar	2.5	0.1-6.1	4	0.1-148.5	14.8	0.1-104.2
Metamorfize Sedimanter Kayaçlar	2.1	0.01-5.3	3.0	0.1-53.4	12.0	0.1-91.4

5 GAMA SPEKTROMETRE İNCELEMELERİ

Magmatik-metamorfik kökenli doğal taş örneklerinin gama spektrometre ölçümleriyle elde edilen doğal radyonüklid aktivite konsantrasyonları Çizelge 4'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının sırasıyla $45.32(\pm 3.56)$ - $33.67(\pm 2.59)$, $65.32(\pm 8.46)$ - $49.56(\pm 7.43)$ ve $782.96(\pm 62.64)$ - $598.45(\pm 35.91)$ Bq/kg arasında değiştiği belirlenmiştir.

Çizelge 4. Doğal taş örneklerinin gama spektrometre ölçüm sonuçları

Örnek No	^{226}Ra (Bq/kg)		^{232}Th (Bq/kg)		^{40}K (Bq/kg)	
	Aktivite	Hata	Aktivite	Hata	Aktivite	Hata
G1	37.63	4.52	49.56	7.43	659.54	72.55
G2	45.32	3.56	62.78	12.56	782.96	62.64
G3	38.16	2.56	59.65	10.25	619.43	37.17
G4	42.45	4.25	62.54	8.76	702.64	91.34
G5	30.26	3.33	65.32	8.49	598.89	53.90
G6	36.44	3.58	63.71	9.56	702.36	35.12
G7	31.89	5.10	57.19	5.15	615.56	58.48
G8	39.51	5.14	51.36	6.68	678.16	67.14
G9	37.89	4.55	52.45	6.29	598.75	67.24
G10	33.67	2.59	55.62	6.25	598.45	35.91

^{226}Ra aktivitesi en yüksek G2, en düşük G10 numaralı örnekte elde edilmiştir. ^{232}Th aktivitesi en yüksek G5, en düşük G1 numaralı örnekte gözlenirken, ^{40}K

aktivitesinin en yüksek G2, en düşük G10 numaralı örnekte olduğu belirlenmiştir. Radyonüklidlerden kaynaklanan çevresel doz oranı değerleri UNSCEAR (2000) tarafından verilen aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanabilir:

$$D(nGyh^{-1}) = 0.0417A_K + 0.462A_{Ra} + 0.604A_{Th}$$

Bu bağıntıda A_K , A_{Ra} ve A_{Th} sırasıyla ölçülen, ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{232}Th aktivite değerleridir. İncelediğimiz doğal taş örnekleri için hesaplanan çevresel doz oranları Çizelge 5’de verilmiştir. UNSCEAR (2000) tarafından hazırlanan raporda, doğal radyasyonundan kaynaklanan ortalama doz oranının 10-200 nGyh⁻¹ arasında değiştiği ve ortalama 60 nGyh⁻¹ olduğu bildirilmektedir. Doğal taş örneklerinin çevresel doz oranı değerleri 74.11 ile 91.52 nGyh⁻¹ arasında değişmekte olup UNSCEAR (2000) raporundaki sınır değerler ile uyumludur.

Çizelge 5. Doğal taş örnekleri için hesaplanan çevresel doz oranı (D), iç ve dış zarar indeksleri (H_{ex} , H_{in}) yıllık etkin doz (DE) ve radyum eşdeğer aktivitesi [Ra(eq)] değerleri

Örnek No	D	Dış Zarar İndeksi-	İç Zarar İndeksi	DE	Ra(eq)
	(nGyh ⁻¹)	H_{ex}	H_{in}	($\mu Svyr^{-1}$)	Bq/kg
G1	74.82	0.45	0.55	91.76	159.29
G2	91.51	0.55	0.67	112.22	195.38
G3	79.49	0.48	0.58	97.49	171.16
G4	86.69	0.52	0.64	106.31	185.99
G5	78.41	0.48	0.56	96.16	169.78
G6	84.60	0.51	0.61	103.76	181.63
G7	74.94	0.45	0.54	91.91	161.07
G8	77.55	0.47	0.57	95.11	165.17
G9	74.15	0.45	0.55	90.94	159.00
G10	74.11	0.45	0.54	90.88	159.29

Yaşam alanı olarak kullanılan binalar dışarıdan gelen kozmik ve karasal kaynaklı radyasyona karşı koruyucu etkiye sahiptir. Ancak bina yapımında ve dekorasyonunda kullanılan yapı malzemelerindeki radyonüklid içeriğine bağlı olarak bina içi radyoaktivite bina dışındaki değere göre

daha fazla olabilmektedir. Doğal radyonüklidler nedeniyle ile oluşabilecek, dış ve iç radyasyon zarar indeksleri aşağıda verilen eşitlikler kullanılarak hesaplanmaktadır (UNSCEAR 2000; Yaprak 2009; Çıyrak 2010).

$$H_{ex} = (A_{Ra}/370) + (A_{Th}/259) + (A_K/4180) < 1.0$$

$$H_{in} = (A_{Ra}/185) + (A_{Th}/259) + (A_K/4180) < 1.0$$

Bina materyallerinde ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{232}Th radyonüklidlerinden kaynaklanan radyasyona bağlı olan ve radyoaktif risk açısından tanımlanan bu iki radyasyon zarar indeks değerleri (H_{ex} ve H_{in}) Çizelge 5’de verilmiştir. Yapılan hesaplamalara göre dış zarar indeks değerleri 0.45-0.55, iç zarar indeks değerleri 0.54-0.67 arasında değişmektedir. Hesaplanan iç ve dış zarar indeks değerleri 1’den küçük olduğu ve UNSCEAR (2000)’ de verilen sınır değerlerini aşmadığı görülmektedir. Çevresel radyasyonundan kaynaklanan yıllık etkin doz eşdeğeri aşağıdaki eşitlikten belirlenmektedir.

$$DE(\mu Svyr^{-1}) = [D(nGyh^{-1}) \times 0.7 SvGy^{-1} \times 8760 \text{ saat/yıl} \times 0.2] \times 10^{-3}$$

İncelediğimiz doğal taş örnekleri için hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri Çizelge 5’de verilmiştir. UNSCEAR (2000) tarafından hazırlanan raporda, yıllık etkin doz eşdeğerinin ortalama 70 ($\mu Svyr^{-1}$) olduğu belirtilmiştir. Doğal taş örneklerimizin yıllık etkin doz eşdeğerleri 90.88 ile 112.22 ($\mu Svyr^{-1}$) arasında değişmekte olup, dünya ortalamasının üzerinde olduğu görülmektedir.

Yaşam alanlarında dekoratif amaçlı kullanılan doğal taşların radyoaktivite değerlerini karşılaştırmak için tanımlanan diğer bir indeks, “Radyum Eşdeğer Aktivitesi” Ra(eq)’dir. Ra(eq) radyasyon zarar indeksi aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$Ra(eq) = A_{Ra} + 1.43A_{Th} + 0.077A_K$$

Magmatik-metamorfik kökenli doğal taş örneklerimizin radyum eşdeğer aktivite değerleri 159.00 ile 195.38 Bq/kg arasında değişmekte olup, radyolojik risk açısından Ra(eq) aktivitesinin 370 Bq/kg geçmemesi istenmektedir (UNSCEAR 1988).

6 SONUÇLAR

• İncelenen magmatik ve metamorfik kökenli doğal taş örneklerinin büyük bir kısmı yurtdişından ithal olarak getirilmekte ve yaşam alanlarımızda yaygın olarak kullanılmaktadır. İncelenen doğal taş örnekleri petrografik olarak Alkali Feldspat Granit (G1, G3 ve G6), Granit (G8), Siyeno-Granit (G7), Monzo-Granit (G5), Kuvarslı Diyorit (G4), Gabro (G9), Nefelin Siyenit (G10) ve Gnays (G2) bileşimli oldukları bildirilmiştir.

• Petrografik incelemelerde doğal taş örneklerinin esas mineral bileşimlerinde; K-feldispat (ortoklaz, mikroklin), kuvars, plajiyoklaz (oligoklaz, andezin, labrador), biyotit, amfibol, piroksen (G9) ve nefelin (G10) mineralleri, tali mineral olarak; opak mineraller (manyetit, ilmenit), sfen, zirkon, apatit, allanit mineralleri tespit edilmiştir. Bu sonuçlar tüm kayaç toz XRD sonuçları ile de desteklenmiştir.

• Kızdırma kaybı değerlerine göre incelenen doğal taş örneklerimiz ayırılmamış kaya özelliğinde olup, kızdırma kaybı değerleri en düşük monzo-granit (G5), en yüksek gnays (G2) olarak tanımlanan örneklerde belirlenmiştir.

• Kayaç ve minerallerin içermiş olduğu K, U ve Th elementleri en önemli doğal radyasyon kaynaklarını oluşturmaktadır. Dekoratif amaçlı kullanılan ticari granit örneklerimizin kimyasal analiz sonuçları incelendiğinde K (%) içeriklerinin 0.76 (G9) - 6.68 (G10), U (ppm) içeriklerinin 1.0 (G2, G3, G4, G9) - 12.6 (G5) ve Th (ppm) içeriklerinin 3.9 (G9) - 39.3 (G1) arasında değişim göstermektedir. İncelenen doğal taş  rneklerinin K (%), U (ppm) ve Th (ppm) içerikleri, farklı kayaç gruplarına belirtilen sınır değerleri arasında kaldığı belirlenmiştir.

• Ortalama K (%) içerikleri bakımından G1, G2, G4, G5 ve G8 (şekil 2c' de ortaç pl tonikler olarak tanımlanmıştır) numaralı

Örneklerin K (%) içeriklerinin ortaç pl toniklerin ortalama K (%) içeriklerinden daha yüksek değerlerdedir. Bu durum doğal taş örneklerinin içerdiği iri K-feldispat kristallerinin varlığı ile açıklanmıştır.

• Ticari granit  rneklerinin ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K aktivite konsantrasyonlarının sırasıyla 45.32(±3.56)-33.67(±2.59), 65.32(±8.46)-49.56(±7.43) ve 782.96(±62.64)-598.45(±35.91) Bq/kg arasında değişmektedir. Belirlenen değerler dünya ortalamasıyla uyumluluk göstermektedir.

• UNSCEAR 2000 tarafından hazırlanan raporda, ortalama yıllık etkin doz eşdeğerinin 70 (μ Svy⁻¹) olduğu belirtilmiştir. Doğal taş örneklerimizin yıllık etkin doz eşdeğerleri 90.88 ile 112.22 (μ Svy⁻¹) arasında değişmekte olup, dünya ortalamasının üzerindedir.

• İncelenen doğal taş örneklerinin radyum eşdeğer aktivite değerleri 159.00 ile 195.38 Bq/kg olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, yapı malzemeleri için kabul edilen 370 Bq/kg olan sınırın altında olup, incelenen örneklerin, kapalı mekânlarda kullanımında insan sağlığı için sorun oluşturmayacağı düşünülmektedir.

• oğunluğu yurtdişından ithalat yolu ile getirilen magmatik-metamorfik kökenli bazı ticari granit örneklerinde doğal radyonüklit ölçümleri ve buna bağlı olarak tahmin edilen karasal gama dozları müsaade edilir düzeylerde olsa da, kesin sonuçlar için direk doz hızı ölçümlerinin yapılması önerilmektedir.

Sonuç olarak, yaşam alanlarında yaygın olarak kullanılan magmatik-metamorfik kökenli ticari granit örneklerinin ayrıntılı mineralojik-petrografik, jeokimyasal ve radyoaktivite incelemeleri yapılmalı ve uluslararası standartlar bağlamında risk faktörleri de dikkate alınarak elde edilecek sonuçlara göre kullanım alanlarının belirlenmesi uygun olacaktır.

KATKI BELİRLEME VE TEŞEKKÜR

Bu alışma Kalkınma Bakanlığı (2012K120440) projesi kapsamında kısmen desteklenmiştir. Yazarlar, doğal taş örneklerinin kimyasal analiz ve gama-

spektrometre ölçümlerine hazırlanmasında titizlik ve özveri ile çalışan Gözde KIYMAZ'a ve Ahmet BİRCAN'a teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Angı, O.S., Yavuz, O., Yalçın, T. and Çiftçi, E., 2017. Mineralogy-Induced Radiological Aspects with Characterization of Commercial Granites Exploited in Turkey. *Bull Eng Geol Environ.*, 76, 507-522.
- Çetin, E., Altınsoy, N. and Örgün, Y., 2012. Natural radioactivity levels of granites used in Turkey. *Radiat Prot Dosim.* 151, 299-305
- Çıyrak, N., 2010. Bergama Kozak Granit Alanın Doğal Radyasyon Seviyesinin Belirlenmesi ve Karasal Doz Hızının Tayin Edilmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, 63s.
- Cox, K.G., Bell, J.D. and Pankhurst, R.J., 1979. *The Interpretation of Igneous Rocks*. George Allen and Unwin, London.
- DPT, 2001. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri-II (Mermer-Granit-Yapı Taşları - Arduvaz (Sleyt)) Çalışma Grubu Raporu.
- International Atomic Energy Agency (IAEA), 2003. Guidelines for radioelement mapping using gamma-ray spectrometry data. IAEA-TECDOC-1363.
- Irvine, T.N. and Baragar, W.R.A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. J. Earth Sci.* 8, 523-548.
- Karadeniz, Ö., Çıyrak, N., Yaprak, G. and Akal, C., 2011. Terrestrial gamma exposure in the granodiorite area of Bergama (Pergamon)-Kozak, Turkey. *Radioanal Nucl Chem.* 288(3), 919-926.
- Le Maitre, R.W., Streckeisen, A., Zanettin, B., Le Bas, M.J., Bonin, B., Bateman, P., Bellieni, G., Dudek, A., Efremova, S., Keller, J., Lameyre, J., Sabine, P.A., Schmid, R., Sorensen, H. and Woolley, A.R., 2001. *Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms*, Cambridge University Press. 236p.
- Maden, N. ve Kahveci, N., 2016. Ünlüpınar, Eylence Yayla (Kelkit-Gümüşhane) Epitermal Pb-Zn±Au Cevherleşmesinin Gamma Ray Spektrometre Ölçümleri ile İncelenmesi, *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi (GUFBED)*, 6(2):138-149.
- Maniar, P.D. and Piccoli, P.M., 1989. Tectonic discrimination of granitoids. *Geol Soc of Am Bull.* 101:635-643.
- Mavi, B. and Akkurt, İ., 2010. Natural Radioactivity and Radiation Hazards in Some Building Materials Used in Isparta, Turkey. *Radiat Phys and Chem.* 79:933-937.
- Osmanlıoğlu, A. E., 2006. Natural radioactivity and evaluation of effective dose equivalent of granites in Turkey. *Radiat Prot Dosim.* 121, 325-329
- Örgün, Y., Altınsoy, N., Yılmaz Şahin, S., Ataksor, B. and Çelebi, N., 2008. A Study of Indoor Radon Levels in Rural Dwellings of Ezine (Çanakkale, Turkey) Using Solid-State Nuclear Track Detectors. *Radiat Prot Dosim.* 131, 379-384.
- Ray, L., Roy, S. and Srinivasan, R., 2008. High radiogenic heat production in the Kerala Khondalite Block, Southern Granulite Province, India. *Int J of Earth Sci.* 97, 257-267.
- Sayın, N., 2013. Radioactive element contents of some granites used as building materials: insights into the radiological hazards. *Bull Eng Geol. Environ.* 72, 579-587
- UNSCEAR 1988. Report, United Nations Scientific Committee on The Effects of Atomic Radiation. *Sources and Effects of Ionizing Radiations*, United Nations, New York.
- UNSCEAR, 2000. Report, United Nations Scientific Committee on The Effects of Atomic Radiation. *Sources and Effects of Ionizing Radiations*, United Nations, New York.
- URL-1, <http://weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/text/K.pdf>
- URL-2, <http://weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/text/Y.pdf>
- URL-3, <http://weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/text/Zr.pdf>
- URL-4, <http://weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/text/Ce.pdf>
- URL-5, <http://weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/text/U.pdf>
- URL-6, <http://weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/text/Th.pdf>
- Uyanık, N.A. ve Akkurt, İ., 2009. Alkali Volkanitler Yönünden Zengin Olan Isparta-Çünür Tepesinde Doğal Radyoaktivite Tayini. *AKÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 2, 35-42.
- Watson, E.B., 1979. Zircon saturation in felsic liquids: experimental data and application to trace element geochemistry. *Contrib Mineral Petrol.* 70, 407-419.
- Yaprak, G., 2009. Çevresel Radyoaktivite I ve II Ders Notları (yayınlanmamış), *E.Ü. Nükleer Bilimler Enstitüsü*.
- Yaşar, Ö., 2006. Türkiye Mermerlerindeki Doğal Radyonüklit İçeriğinin ve Radon Emanasyon Hızının Radyolojik Risk Açısından Değerlendirilmesi. *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi*, 167s.

Travertenlerde Kapiler Su Emmenin Tanımlanması ve Sınıflandırılması

Identification and Classification of Capillary Water Absorption for Travertines

İ. Çobanoğlu, S.B. Çelik

Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, DENİZLİ

ÖZET Kapilarite kavramı özellikle atmosferik koşullar sayesinde nemden etkilenebilecek doğal yapıtaşları için önem taşımaktadır. Travertenler için kapiler su emme değeri hem iç ve hem de dış mekan kullanımlarda önem taşıyan bir parametre olarak deneysel olarak belirlenmektedir. Bu anlamda doğal olarak gözenekli bir yapıya sahip olan travertenler karbonatlı diğer doğaltaşlara göre suya daha hassas doğal malzemelerdir. Suyla temas halinde yüksek kapiler su emme potansiyeline sahip doğaltaşlar atmosferik koşullardan daha fazla etkilenmektedirler. Genel su emme kavramı ele alındığında, hem ağırlıkça su emme ve hacimce su emme ve hem de kapiler yolla su emme parametrelerinin birbirleriyle yakın ilişkide olabilecekleri düşünülmektedir. Bu parametre ayrıca CE belgelendirmeleri kapsamında hem Avrupa ülkelerinde ve hem de bu ülkelere ihraç yapan ülkelere, belgelendirmeye esas testler içinde yer almaktadır. Bu amaçla Avrupa normundan uyarlanan TS EN 1925 deney standardı 2000 yılından beri ülkemizde de kullanılmaktadır.

Bu çalışma, kapiler su emmenin gözenekli bir doğal yapıtaşı olan travertenler üzerinde elde edilmiş sonuçlarını içermektedir. Elde edilen veriler kullanılarak travertenler için geçerli olabilecek 4 kategoriden oluşan bir kapiler su emme sınıflaması da bu çalışma kapsamında önerilmiştir.

ABSTRACT The concept of capillarity is particularly important for natural building stones that can be influenced by moisture, especially through atmospheric conditions. For travertine natural stones, the values of water absorption are determined empirically as an important parameter for both indoor and outdoor use. Travertines, which have a naturally porous structure, are more sensitive natural materials than the other natural carbonate stones. Natural stones with high capillary water absorption potential in contact with water are more affected than atmospheric conditions. When the concept of general water absorption is considered, it is considered that both the absorption by weight and by volume as well as the capillary water absorption parameters may be relate to each other. This parameter is also included in the tests to be documented in CE certifications both in European countries and in countries exported to these countries. For this purpose, the TS EN 1925 test standard, adapted from the European norm, has been used in our country since 2000.

This study describes the results of capillary water absorption of a porous natural building stone travertine. A capillary water sorption classification consisting of 4 categories, which may be valid for travertines using the obtained data, is also proposed in this study.

1 GİRİŞ

1.1 Kapiler Su Emmenin Tanımlanması

Kapiler su emme deneyi, CE belgelendirmeleri kapsamında hem Avrupa ülkelerinde ve hem de bu ülkelere ihraç yapan ülkelerde, belgelendirmeye esas testler içinde yer alan bir deneydir. Avrupa normundan uyarlanan TS EN 1925 deney standardı 2000 yılından beri Türkiye’de de kullanılmaktadır. Deney, sabit kütleyle gelinceye kadar kurutulan örneklerin bir yüzeyinin 3 ± 1 mm su içine daldırılarak su emdirilmesi ve kütledeki artışın zamanın fonksiyonu olarak ölçülmesi ilkesine dayanır. Deney ile elde edilen kapiler su emme katsayısı $\text{g/m}^2\cdot\text{s}^{0.5}$ birimi ile ifade edilecek şekilde sunulur. Bu çalışmada, deney uygulamalarında karşılaşılan zorluklar ele alınarak traverten üzerindeki uygulama sonuçları değerlendirilmiştir. Doğaltaşlar için öngörülen TS EN 1925 deney standardı gerçekte kendi içinde açıklığa kavuşturulması gereken bir kısım hususlara ihtiyaç duymaktadır. TS EN 1925 standardında; (i) “Yüksek emiş” ve “Düşük emiş” kavramları ile ilgili açıklık bulunmamaktadır. (ii) Deney süresinin hangi tür kayaçlar için ve ne şekilde belirleneceği belirtilmemiştir. (iii) Elde edilen ve $\text{g/m}^2\cdot\text{s}^{0.5}$ birimi ile ifade edilen parametrenin neyi ifade ettiği tanımlanmamıştır. (iv) Bu anlamda deney, hem yapılması uzun süre alan ve hem de değerlendirilmesi belirsizlikler içeren bir deney halinde uygulama bulmaktadır. Bunun yerine, yine bu deney kadar önem taşıyan ağırlıkça su emme deneyi ile korelasyonu olan bir ifadenin tanımlanması ve kullanıma sunulması uygulamalar açısından da büyük kolaylık sağlayacaktır. Bu çalışma, yukarıda adı geçen hususları ele alarak kapiler su emmenin gözenekli bir doğal yapıtaşı olan travertenler üzerinde elde edilmiş sonuçlarını içermektedir. Bu amaçla bir traverten şehri olan Denizli ilinde yer alan traverten doğal yapıtaşları kullanılarak elde edilmiş su emme değerleri yorumlanmıştır.

1.2 Literatür Özeti

Literatürde, kapiler su emme çalışmalarının büyük çoğunluğunun betonlar ve sıva malzemeleri üzerinde yapılmış olduğu görülmektedir (Hall, 1981; Reinhardt ve Jooss, 1998; Turk vd., 2007; Arslan, 2001; Camoes et al, 2003; Lanzon ve Garcia-Ruiz, 2009). Doğaltaşlar üzerinde kapiler su emmenin incelendiği çeşitli çalışmalar da bulunmaktadır (Kırgız vd., 2003).

1.3 Çalışma Alanı ve Malzemenin Tanıtılması

Travertenler, karstik veya sıcak su kaynaklarının çevresinde, küçük nehirler ve bataklıklarda aynı zamanda bir kırık boyunca yeryüzüne çıkan karbonatlı sular ile oluşmuş, ince tabakalı ve laminalı karbonat çökelleridir (Atabey, 2003). Bünyelerindeki boşluklardan dolayı ses ve ısıya karşı izolasyon özelliği, nefes alabilen, ışığı emebilen ve hafif bir doğal malzeme olması, insan sağlığına zararlı herhangi bir madde içermemesi ve ekonomik olması bu taşı değerli yapıtaşlarından biri haline getirmektedir. Bu olumlu özelliklerine karşın, yüksek gözenekliliğe sahip olmaları, CaCO_3 bakımından zengin olmaları, kimyasal ve fiziksel ayrışma koşullarında dirençlerinin düşük olmasına neden olmaktadır. Denizli havzası, doğal taş ve özellikle de traverten açısından ülkemizin en önemli bölgesidir. 1980’li yılların başında sadece birkaç ocak işletmesine sahip olan Denizli, günümüzde 50’yi aşan sayıda ocak ve çok sayıda fabrika ile traverten üretimi ve pazarlanmasında dünyada da önemli bir yere sahiptir. Bölgede yer alan antik traverten ocakları, geçmişte antik şehirlerde (Hierapolis, Laodikeia, Tripolis) bile bu taşın kullanıldığını göstermektedir. Denizli havzası traverten üretimi açısından zengin bir potansiyele sahip olmasından ötürü dünyada da önemli bir yere sahiptir. Yenice, Gölemezli, Karahayit, Pamukkale, Ballık, Yeniköy, Irlıganlı, Kocabaş, Aşağı Dağdere, Emirazizli, Ovacık

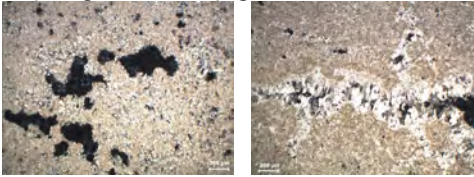
ve Karateke bölgeleri belli başlı traverten üretim sahalarıdır (Şekil 1).



Şekil 1. Örneklemeye yapılan Kaklık bölgesi traverten havzasının genel görünümü.

1.3.1 Petrografik Özellikler

Yapılan ince kesit incelemeleri, travertenlerin mikrit ve mikrosparit çimentolu olduğunu ortaya koymuştur. Boşluklu yapı kayaç genelinde hakim olup bir çoğu bağlantısız boşluklar şeklindedir. Boşlukların içinde bazen hiçbir mineral gelişimi görülmezken (Şekil 2, sol) bazen de ikincil olarak gelişmiş ışınal kalsit minerallerinin olduğu görülmektedir (Şekil 2 sağ). Boşlukların kalsit mineralleri ile doldurulduğu durumda kayaçta boşluklu yapının azaldığı belirlenmiştir. Boşluk geometrileri çoğu kez düzensizdir.

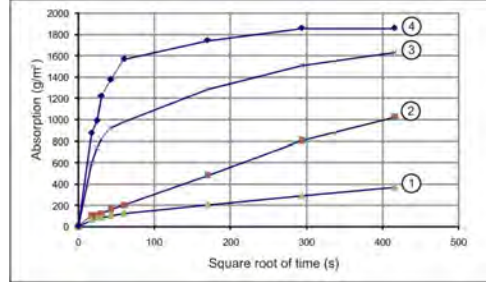


Şekil 2. Traverten örneklerine ait ince kesit fotoğrafları: Mikrosparit çimento ve içi boş gözeneklilik (solda), boşluklarda ikincil kalsit oluşumları (sağda).

2 DENEYSEL ÇALIŞMA

Kapiler su emme deneyi ile ilgili standart (TS EN 1925, 2000) kenar uzunluğu 70 ± 5 mm veya 50 ± 5 mm olan küp veya 70 ± 5 mm veya 50 ± 5 mm çapında ve çapı boyuna eşit silindirik şekilli örneklerin kullanılmasını önermektedir. Deneylerde kapiler su emme

zamanı için örneğin kapiler doyumluğa eriştiği zaman esas alınmıştır. Zira numune doyum hale gelmeden deneye son verilmesi durumunda doyum koşula ait deney eğrisi elde edilememektedir (Şekil 2’de 3 ve 4 nolu eğriler). Şekil 2’deki 1 ve 2 nolu eğriler ise yetersiz deney süresi nedeniyle elde edilmiş eğrileri göstermektedir. Bu eğriler için kapiler su emmenin doğru bir şekilde tanımlanması mümkün olmamaktadır.



Şekil 2. Kapiler su emme deneyleri ile elde edilen farklı türdeki test grafikleri.

Bu çalışmada 212 adet $7.0 \times 7.0 \times 7.0$ cm boyutlarında küp şekilli numune kullanılmıştır. Örnekler üzerinde aynı zamanda birim hacim ağırlığı, ağırlıkça ve hacimce su emme deneyleri de gerçekleştirilmiştir.

TS EN 1925 (2000) standardı kapiler su emme deneyi için $\text{g/m}^2 \cdot \text{s}^{0.5}$ birimini kullanmaktadır. Ancak deney parametresi çeşitli araştırmacılar tarafından $\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}^{0.5}$ ve $\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0.5}$ şeklinde de tanımlanmaktadır (Yıldız vd., 2010, García-del-Cura, 2012, Vázquez vd., 2013). Bu çalışma, kapiler su emme (KSE) katsayısı değerinin $\text{g/m}^2 \cdot \text{s}^{0.5}$ birimi yerine % olarak da tanımlanabileceğini de ortaya koymuştur.

2.1 Deney Prosedürü

Kapiler su emmenin belirlenmesi için, alanı m^2 cinsinden ifade edilen küp şekilli ($7.0 \times 7.0 \times 7.0$ cm) deney numuneleri, tabanı 3 ± 1 mm yüksekliğinde su dolu bir tank içine yerleştirilir. Deney boyunca gerektiği kadar su eklenerek tanktaki su seviyesinin sabit

kalması sağlanır. Numunelerin nemini buharlaşma yoluyla kaybetmemeleri amacıyla tankın kapağı kapatılır. Çeşitli zaman aralıklarında, her bir numune sudan çıkartılır, kuru bölümlerinden hafifçe tutularak nemli bir bez kullanılarak bütün su damlacıkları yüzey üzerinden uzaklaştırılır ve 0.01 g yaklaşımla tartılır (Şekil 1a ve b). Sonra yeniden tanka yerleştirilir. Deneyin başlangıcından itibaren her bir tartım arasında geçen zaman kaydedilir (TS EN 1925, 2000).



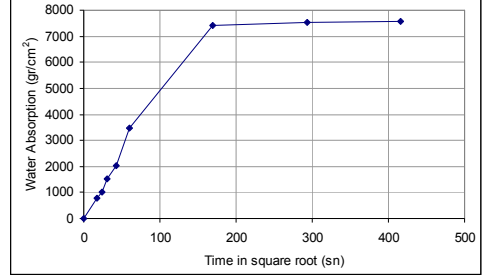
Şekil 1a. Kapiler su emme deneyi sırasında tabandan su almış örneklerin görünümüleri.



Şekil 1b. Kapiler su emme deneyi sırasında tabandan su almış örneklerin görünümüleri.

İlgili standarda göre, zamanların seçimini kayaç tipine bağlı olarak değiştirmektedir. Oldukça yüksek emişli bir kayaç için uygun süreler 1, 3, 5, 10, 15, 30, 60, 480 ve 1440 dakika ve düşük emişli bir kayaç için ise 30, 60, 180, 480, 1440, 2880 ve 4320 dakika olarak alınmaktadır. Bu süreler % 5 yaklaşımla ölçülmekte ve değerlendirmeler için minimum 7 ölçüm gerekmektedir. Ardışık iki tartım arasındaki fark, numunenin emdiği su kütlesinin % 1'inden az olduğunda deneye son verilir. Emilen suyun gram cinsinden kütlesi, numunenin m² cinsinden taban alanına

bölünerek, saniye cinsinden sürenin kareköküne karşı çizilmiş bir grafik olarak gösterilir. Genellikle grafikler Şekil 2'dekine benzerdir. Tipik bir deney grafiğinin genel olarak iki doğruyla gösterilebildiği görülür.



Şekil 2. Kılcal etkiyle su emmenin tespit edildiği bir deneyde, kılcal su emmenin zamanın karekökünün fonksiyonu olarak gösterilmesi.

Grafiğin birinci bölümündeki ölçülmüş noktalar ve bu birinci bölümün regresyon doğrusu arasındaki korelasyon katsayısı sırasıyla grafiğin birinci bölümünde en az 5 ölçüm alındığında 0.90'dan veya sadece 4 ölçüm alındığında 0.95'ten büyükse, kılcal etkiye bağlı su emme katsayısı C₁ veya C₂ (g/m².s^{0.5}) sırasıyla regresyon doğrusunun eğiminden bulunur. Su emme katsayısı bu doğru üzerindeki herhangi bir noktadaki yatay ve düşey eksen değerlerinin oranı olarak denklem (1) ile hesaplanır;

$$C_{1,2} = \frac{m_i - m_d}{A\sqrt{t_i}} \quad (\text{g/m}^2 \cdot \text{s}^{0.5}) \quad (1)$$

Bu bağıntıda; m_d: Kuru deney numunesinin kütlesi, g, m_i: Deney numunesinin deneydeki su emmiş kütlesi, g, A: Suyu batırılmış yüzeyin alanı, m², t_i: Deney başlangıcından ardışık m_i kütlelerinin ölçüldüğü süreler, s, C₁: Kayaç anizotropi düzlemlerine dik kılcal etkiye bağlı su emme katsayısı, g/m².s^{0.5}, C₂: Kayaç anizotropi düzlemlerine paralel kılcal etkiye bağlı su emme katsayısı, g/m².s^{0.5} değerleridir.

3 BULGULAR

Kapiler su emme katsayısının kapiler su emme yüzdesi, ağırlıkça su emme ve görünür porozite (hacimce su emme) ile olan ilişkilerinin sorgulanması amacıyla tekli regresyon analizleri yapılmıştır. Yapılan tekli regresyon analizleri, kapiler su emmenin, diğer su emme parametreleri olan ağırlıkça ve hacimce su emme parametreleri ile doğrusal bir ilişkinin var olduğu görülmüştür.

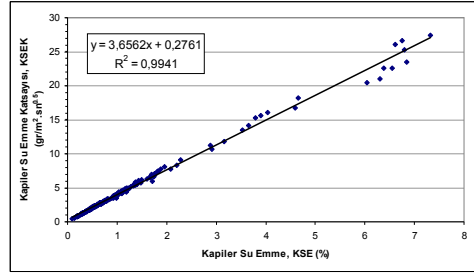
3.1 Tekli Regresyon Analizleri

Tekli regresyon analizleri ile kapiler su emmenin, ağırlıkça kapiler su emme yüzdesi, görünür porozite ve ağırlıkça su emme ilişkileri tanımlanmıştır.

Su emmenin bir diğer ifade şekli ağırlıkça emmenin yüzde olarak tanımlanmasıdır. Bu kullanım su emmenin hesap mantığına daha fazla uymaktadır. Zira hem atmosfer basıncında su emme ve hem de hacimce su emme değerleri % olarak tanımlanan ifadelerdir. Kapiler su emmenin bir katsayısı (KSEK) ile tanımlanması herhangi bir kolaylık sağlamamakta, tam tersine işlem karışıklığı getirmektedir. Ayrıca her iki parametre arasında doğrusal bir ilişkinin var olduğu bu çalışma ile de belirlenmiştir (Şekil 3). Elde edilen ilişki,

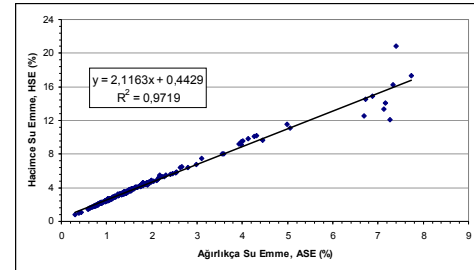
$$\text{KSEK (g/m}^2 \cdot \text{s}^{0.5}) = 3.65 \cdot \text{KSE (\%)} + 0.27$$

bağıntısı ile ifade edilmiştir. Bu çalışmada ele alınan kapiler su emme değerleri ağırlıkça yüzde şeklinde tanımlanmış su emme değerlerini ifade etmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Kapiler su emme katsayısı ($\text{g/m}^2 \cdot \text{s}^{0.5}$) – kapiler su emme yüzdesi (%) ilişkisi.

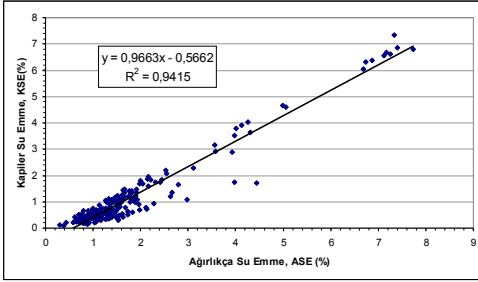
Deney prosedürünün zaman alıcı olması nedeniyle kapiler su emmenin (KSE) atmosfer basıncında su emme (ASE) ve hacimce su emme (HSE, n) parametreleri ile olan ilişkileri ortaya konulmuştur. Ağırlıkça ve hacimce su emme parametreleri arasında doğrusal ve oldukça anlamlı bir ilişki belirlenmiş ve $\text{HSE} = 2.1163 \text{ ASE} + 0.4429$ bağıntısı ile ifade edilmiştir (Şekil 4).



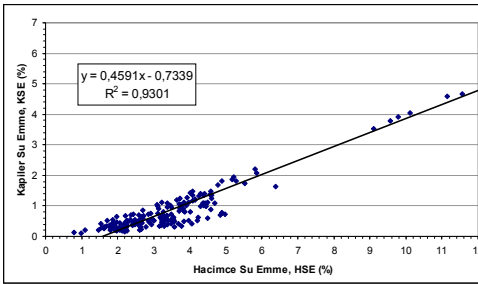
Şekil 4. Travertenler için tanımlanmış ağırlıkça ve hacimce su emme ilişkisi.

Kapiler su emme değerlerinin ağırlıkça veya hacimce su emme değerlerinden tahmin edilebilirliğinin belirlenmesi için ilişkiler incelenmiştir. Oldukça gözenekli bir doğaltaş türü olan travertenler için geçerli olacak bu ilişkilerin aynı örnek üzerinde elde edilmiş parametreler kullanılarak oluşturulması geçerliliklerinin de yüksek olmasını sağlamıştır. Şekil 5, ağırlıkça su emme – kapiler su emme, Şekil 6 ise hacimce su emme – kapiler su emme ilişkilerini ortaya koymaktadır. Bu ilişkiler,

KSE = 0.9663 ASE – 0.5662
 KSE = 0.4591 HSE – 0.7339
 eşitlikleri ile tanımlanmıştır.



Şekil 5. Kapiler su emme – ağırlıkça su emme ilişkisi.



Şekil 6. Kapiler su emme hacimce su emme ilişkisi.

3.2 Kapiler Su Emmenin Tanımlanması ve Sınıflandırılması

EN 1925 (2000) standardı görünür porozitesi < % 1 olan doğaltaşlar için kapiler su emme deneyini gerekli görmemektedir. Literatürde porozite çeşitlerine ve değerlerine bağlı olarak yapılmış çeşitli sınıflamalar bulunmaktadır. Lucia (1983) karbonat kayaların petrofiziksel özelliklerine göre sınıflandırmıştır. Moos-Quervain (1948) ve Anon (1979) ise kayaçları porozite değerlerine göre sınıflamaktadır. Anon (1979) sınıflaması halen yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Çalışmanın bu bölümünde Anon (1979) porozite sınıflaması esas alınarak elde edilen ilişkiler yardımı ile doğaltaşların kapiler su emme değerleri ile ilgili bir sınıflama ortaya

konulmuştur. Sınıflamanın oluşturulmasında porozitenin kapiler su emme katsayısı ve kapiler su emme yüzdesi parametreleri ile ilişkiler tanımlanmıştır. Önerilmiş olan sınıflama Tablo 1’de görülmektedir.

DeneySEL olarak belirlenen kapiler su emme değerleri ($\text{g/m}^2 \cdot \text{s}^{0.5}$, %) ortaya konulan ilişkiler kullanılarak tahmin edilmiş uyumlulukları grafik olarak tanımlanmıştır. Veri grubu geneli içinde dağılım oldukça doğrusala yakındır.

Önerilen tablonun geçerliliği incelenen travertenler için porozite ortalama değeri (4.19 %) alınarak sınanmıştır. Sonuçlar Tablo 2’de gösterilmiştir. Ortalama değer ele alındığında travertenlerin düşük porozite ve kapiler su emme değerlerine sahip oldukları görülmüştür.

Tablo 1 Travertenler için önerilmiş olan kapiler su emme sınıflaması.

Anon (1979) Sınıflaması		Önerilen Kapiler Su Emme Sınıflaması			
Sınıf	Porozite (%)	Tanımlama	KSE ($\text{gr/m}^2 \cdot \text{s}^{0.5}$)	KSE (%)	Tanım
1	> 30	Çok yüksek	> 68	> 13	Çok yüksek
2	30 – 15	Yüksek	68 – 22	13 – 6	Yüksek
3	15 – 5	Orta	22 – 5	6 – 2	Orta
4	5 – 1	Düşük	< 5	< 2	Düşük
5	< 1	Çok düşük	---*	---*	---*

* İlgili deney standardına göre, < %1 gözenekliliğe sahip kayaçlarda kapiler su emme deneyi yapılmamaktadır.

EN 1925 (2000) standardında kapiler su emme deneyi sırasında su emmenin zamana bağlı değişimi de ele alınmaktadır. Yüksek emişli kayaçlar için 1, 3, 5, 10, 15, 30, 60, 480 ve 1440 dakika değerlerinin, düşük emişli kayaçlar için ise 30, 60, 180, 480, 1440, 2880 ve 4320 dakika değerlerinin okuma zamanlamaları için uygun olduğu belirtilmiştir. Ancak hangi kaya grubunun

“düşük” hangisinin ise “yüksek” emiş grubunda olduğu ifade edilmemiştir. Bu çalışma, düşük ve yüksek su emme kapasitesi değerlerinin tanımlanmasına da ışık tutmuştur. Buna göre porozite ve kapiler su emme katsayısı değerleri < 5 olan kayalar düşük emişli, porozitesi > 15 , kapiler su emme katsayısı > 22 olan kayalar ise yüksek emişli kayaç olarak belirlenmelidir.

Tablo 2. Ortalama porozite değeri için deneysel ve teorik olarak elde edilmiş kapiler su emme parametreleri.

Değerler	n (%)	KSE ($g/m^2.s^{0.5}$)	KSE (%)	Tanım
Deneysel	4.19	4.47	1.14	Düşük
Regresyon	---	4.26	1.18	Düşük

Tablo 3, bu çalışma ile belirlenmiş olan ortalama değerleri içerecek şekilde literatürde var olan ve farklı araştırmacılar tarafından ortaya konulmuş olan kapiler su emme değerlerinin farklı kaya türleri için değişimlerini ifade etmektedir.

Tablo 3. Farklı kaya türleri için literatürde tanımlanmış porozite ve kapiler su emme parametreleri.

Litoloji	n (%)	KSE	Birim	Kaynak
Kireçtaşı	---	3.81-11.12	$kg/m^2.s^{0.5}$	Benavente vd. (2004)
Kireçtaşı	---	0.91-3.66	$kg/m^2.s^{0.5}$	Benavente vd. (2004)
Konglomera	---	6.47-10.94	$kg/m^2.h^{0.5}$	Benavente vd. (2007)
Kalsit kumtaşı	---	2.10	$kg/m^2.h^{0.5}$	Benavente vd. (2007)
Dolomit kumtaşı	---	8.40	$kg/m^2.h^{0.5}$	Benavente vd. (2007)
Mermer	0.21	---	---	Sarıışık vd. (2010)
Traverten	5.00	---	---	Sarıışık vd. (2010)
Andezitik tüf	---	5.06	$kg/m^2.s^{0.5}$	Yıldız vd. (2010)

Marn	---	1.72	$kg/m^2.s^{0.5}$	Yıldız vd. (2010)
Jura Kireçtaşı	0.233	---	$g/m^2.s^{0.5}$	Tomasic vd. (2011)
Kretase Kireçtaşı	2.154	---	$g/m^2.s^{0.5}$	Tomasic vd. (2011)
Traverten	---	3.69	$g/m^2.s^{0.5}$	García-del-Cura (2012)
Tufa	---	227.99	$g/m^2.s^{0.5}$	García-del-Cura (2012)
Kumtaşı	19.5	31.0	$g/m^2.s^{0.5}$	Vázquez vd. (2013)
Dolomit	11.0	3.7	$g/m^2.s^{0.5}$	Vázquez vd. (2013)
Kireçtaşı	28.4	166.0	$g/m^2.s^{0.5}$	Vázquez vd. (2013)
Traverten	14.3	4.4	$g/m^2.s^{0.5}$	Vázquez vd. (2013)
Traverten	1.77	4.47	$g/m^2.s^{0.5}$	Bu çalışma*

*Ortalama değerleri ifade etmektedir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Doğaltaşlarda kalite belirlemeye yönelik deneylerin kullanımı gün giderek yaygınlaşmaktadır. Bu çalışma, uzun, zaman alıcı ve değerlendirme güçlükleri olan bir deney olan kapiler su emmenin doğrudan ilgili parametrelerden ağırlıkça su emme (ASE) ve hacimce su emme (HSE) değerleriyle tahmin edilebilme durumunu araştırmıştır. Çalışmalar traverten doğaltaşları için geçerli olabilecek oldukça anlamlı ilişkilerin elde edilmesini sağlamıştır. Çalışmada Denizli havzasında halen çalışmakta olan 27 ocağın elde edilmiş toplam 212 adet deney numunesi kullanılmıştır. Regresyon analizleri ile elde edilen sonuçlar kapiler su emmenin ASE ve KSE değerleri ile oldukça kolay bir şekilde belirlenebilir olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, KSEK ($gr/m^2.sn^{0.5}$) ile KSE (%) değerleri arasında doğrusal ve tutarlı bir ilişki belirlenmiştir. Bu yüzden KSEK yerine KSE değerinin bulunması ve kullanılması uygulama açısından daha kolay olmaktadır. Bu çalışma sonucunda, traverten grubu gözenekli doğaltaşlar için geçerli olacak bir kapiler su

emme sınıflaması ortaya konulmuştur. Benzer çalışmaların farklı doğaltaş grupları için de yapılması, bilimsel anlamda da büyük katkılar sağlayacaktır.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 107Y213 nolu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Yazarlar, destekleri için ilgili kuruluşa teşekkür eder.

6. KAYNAKLAR

- Anon (1979) Classification of rocks and soils for engineering geological mapping. Part I – rock and soil materials. Bull. Int. Assoc. Eng. Geol. 19: 364–371.
- Atabey, E., (2003). Tufa ve Traverten, JMO Yayını, Kasım 2003, 106 s., Ankara.
- Benavente D, García-del-Cura MA, Fort R, Ordóñez S (2004) Durability estimation of porous building stones from pore structure and strength. *Engineering Geology* 74: 113-127
- Benavente D, Cueto N, Martínez JM, García-del-Cura MA, Canaveras JC (2007) The influence of petrophysical properties on the salt weathering of porous building rocks. *Environmental Geology* 52: 215-224.
- García-del-Cura M.A, Benavente D., Martínez J.M., Cueto, N., 2012. Sedimentary structures and physical properties of travertine and carbonate tufa building stone. *Construction and Building Materials*, 28, 456 – 467.
- Lucia FJ (1983) Petrophysical parameters estimated from visual description of carbonate rocks: a field classification of carbonate pore space. *Journal of Petroleum Technology* 35: 626–637
- Moos AV, De Quervain F De (1948) *Technische Gesteinkunde*. Verlag Birkhauser, Basel.
- P. Vázquez *,F.J.Alonso,R.M.Esbert,J.Ordaz, 2010. Ornamental granites: Relationships between p-waves velocity, water capillary absorption and the crack network. *Construction and Building Materials*, 24, 2536 – 2541.
- Sarışık A, Sarışık G, Şentürk A (2010) Characterization of Physical and Mechanical Properties of Natural Stones Affected by Ground Water under Different Ambient Conditions. *Ekoloji* 19: 88-96.
- TS EN 1925, 2000. Doğal taşlar - deney metotları - kılcal etkiye bağlı su emme katsayısının tayini, TSE Yayını, 9 s., Ankara.
- Tomasic, I., Lukic, D., Pecek, N., Krsinic, A., 2011. Dynamics of capillary water absorption in natural stone. *Bull. Eng. Geol. Environ.*

Yıldız M, Özşahin EY, Soğancı AS (2010) Balwois Conference, Republic of Macedonia (http://balwois.com/balwois/administration/full_paper/ftp-2069.pdf)

Investigation Of Resistance Performances Of Sandy Soils Reinforced With Marble Dust

N. Yarbaşı

Atatürk University, Oltu Earth Sciences Faculty, Department of Geology Engineering, Erzurum-Turkey. nyarbasi@atauni.edu.tr

M. Alacalı

Atatürk University, Oltu Earth Sciences Faculty, Department of Petroleum and Natural Gas Engineering, Erzurum-Turkey. minealacali@atauni.edu.tr

ABSTRACT In cold climate regions, freeze-thaw process is the most important one of the environmental factor negatively affecting engineering structures. A variety of studies have been carried out in order to reduce this effect with the participation of different types of waste materials on granular soils. In this study, the change in the freezing-thawing strength of sandy soil (SS) reinforced with waste marble dust (MD) was investigated. Experiments were carried out on SS and SS+MD samples prepared by compression under standard proctor energy. Unconfined compressive strength values of sandy soil samples with 5%, 10% and 15% addition of MD were determined at studied room temperature (+21°C) after 1, 7, 14 and 28 days of cure. 36.97% increase in the unconfined compressive strength values (UCS) of sandy soils samples reinforced by the addition of 5% MD was determined after 28 days of cure, 23.34% increase in the UCS by addition of 10% MD and 9.88% increase in the UCS by the addition of 15% MD to the sandy soil were recorded. As a result of the freeze-thaw test, it was recorded that the strength increase was 24.48% at the addition of 5% MT, 13.60% at the addition of 10% MT and 8.80% at the addition of 15% MT.

1 INTRODUCTION

Today, waste or waste materials are widely used in soil improvement applications. These materials used can be natural, synthetic or various chemicals. On this purpose, waste and waste materials (such as lime, silica fume, marble dust, various natural and synthetic fibers and various chemicals) are recycled and reused to reduce environmental damage and provide economic recovery. As a result, waste or waste materials are reused as raw materials and the economy is restored. Researchers such as Akbulut et al., (2007), Kalkan (2009, 2013), Okagbue et al., (1996), Ural et al., (2014), Yarbaşı et al., (2007), Zaimoğlu (2010) and Zorluer et al., (2003), indicate in their studies that the geotechnical properties of fine and coarse-grained soils strengthened with waste materials (synthetic fiber, waste tire, silica fume, lime, etc.) are improved.

At the present time, reuse and recycling of waste and residual materials are intensively studied. In recent years, waste fragments have been used as chemical additives in order to improve soil properties. Numerous studies have been carried out on the improvement of the geotechnical properties of fine-grained soils of waste marble fragments and dusts and on the changes in mechanical properties during repeated freeze-thaw effects in cold climatic zones. Taşpolat et al., (2006), applied freeze-thaw experiments to the clayey soils with addition of marble dust and stated that 10% and 15% addition of marble to the mixtures increased the strength. Altun et al., (2009), have reported that the strength of clay silt floor has increased due to the addition of fly ash and cement admixtures which has been subjected to freeze-thaw experiments at different cycles. In addition, studies on these subjects is continuing (Arasan et al., (2015), Chauhan et al., (2008), Güllü et al., (2010), Kalkan et al., (2007), Park, (2008), Qi et al., (2008), Yarbaşı (2016), Yıldız, (2008).

2 MATERIAL AND METHOD

2.1. Sand

The sand sample used within this study has been obtained from NESCE Company producing building and sub-base materials in Oltu, Erzurum. The sample has been brought to the laboratory and dried at $105\pm 5^\circ\text{C}$ in drying oven and then the experimental studies have been carried out by using the material sieved from 4.76 mm sieve.

The material has been determined as fine-grained sand (S) according to the Unified Soil Classification System (USCS), gravelly, silty, clayey sand according to the grain size classification of Massachusetts Institute of Technology (MIT). Sieve analysis results of sandy soil and marble dust are shown in Figure 1.

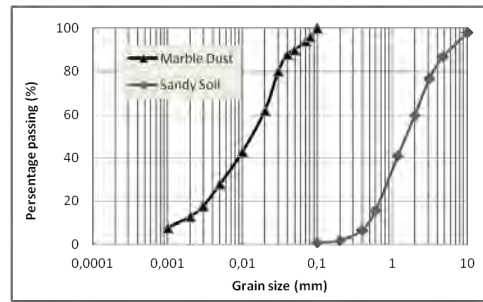


Figure 1. Sieve analysis of the sandy soil and marble dust.

Table 1. Physical and mechanical properties of sandy soil (SS).

Property	Value
Specific Gravity.Gs	2.58
Gravel (%)	30.0
Sand (%)	61.0
Silt (%)	5.80
Clay (%)	3.20
Liquid Limit (%)	26.10
Plastic Limit (%)	12.09
Plasticity Index (%)	14.01
Optimum Water Content ¹ , w _{opt} (%)	10.50
Max. Dry Unit Weight ¹ , γ_{kmax} (kN/m ³)	19.33
Soil Class ²	SW

1: Values obtained from Standard Proctor Experiment.

2: Determined according to the USCS

2.2. Waste marble dust (MD)

Marble dust (MD) used as waste material has been supplied as dry after carving process from marbles of Afyon (Turkey) region. The obtained marble dust was used as an additive material to strengthen the sandy ground. Chemical properties of the waste marble dust are given in Table 2.

Table 2. Chemical properties of waste marble dust (MD)

Components	MD
Density, g/cm ³	2,75
SiO ₂	0.36
Al ₂ O ₃	0.28
Fe ₂ O ₃	0.04
CaO	54.98
MgO	0.62
Na ₂ O ₃	0.03
K ₂ O	0.07
TiO ₂	-
SO ₃	0.06
CaO ₂	43.56

2.3. Preparation of samples

Many experimental studies have been carried out to determine the proportion of the mixture of the waste marble dust used for strengthening sandy soils. In these studies, mixtures were obtained by adding 5%, 10% and 15% marble dust to the sandy soil. The derived mixtures with optimum water content have been compacted under standard proctor energy. For uniaxial compressive strength tests, cylindrical samples of 38 mm in diameter and 76 mm in height were prepared. Experiments were performed on three specimens for each mixture and the average values were calculated (Fig. 2). The variation of each mixture in three different curves before and after freezing-thawing process was statistically evaluated and found to be below 10% of the standard error margin according to the analysis results (Table 3).

Table 3. Statistical analysis of the samples

SS	C.T. (day)	A.M. (kPa)	S.D. (%)	S.E. (%)
	1	225	8.66	5,00
Before F-T	7	523	13.20	7.62
	14	560	13.66	7.90
	28	587	13.99	8.01
	1	303	10.05	8.81
After F-T	7	547	13.50	7.80
	14	595	14.08	8.14
	28	625	16.10	8.34
SS+5%MD	C.T. (day)	A.M. (kPa)	S.D. (%)	S.E. (%)
	1	295	9.92	5.73
Before F-T	7	701	15.29	8.84
	14	761	15.93	9.21
	28	804	16.37	9.46
	1	362	10.98	6.35
After F-T	7	668	14.92	8.62
	14	735	15.65	9.04
	28	778	16.10	9.30
SS+10%MD	C.T. (day)	A.M. (kPa)	S.D. (%)	S.E. (%)
	1	265	9.40	5.80
Before F-T	7	627	14.46	8.36
	14	664	14.88	8.60
	28	724	15.10	8.73
	1	333	10.54	6.09
After F-T	7	605	14.20	8.21
	14	667	14.91	8.62
	28	710	15.38	8.89
SS+15%MD	C.T. (day)	A.M. (kPa)	S.D. (%)	S.E. (%)
	1	235	8.85	5.12
Before F-T	7	553	13.58	7.85
	14	593	14.06	8.13
	28	645	14.66	8.47
	1	323	10.38	6.00
After F-T	7	590	14.02	8.10
	1	235	14.57	8.72
	28	680	15.06	8.71

C.T.: Cure time, A.T.: Arithmetic mean, S.T.: Standard deviation, S.E.: Standard error

2.4. Preparation of samples

Experimental work has been carried out in combination with unconfined compressive strength tests. The values regarding the optimum water content and maximum dry unit volume weight of sandy ground and sandy ground + marble dust mixtures have been carried out by using the standard proctor experiments according to ASTM D 698.

The mixtures obtained by adding 5%, 10% and 15% marble dust to the sandy soil (SS) and natural sandy soil have been subjected to cures of 1, 7, 14 and 28 days in working room temperature (+21°C) to harden the material by drying and then unconfined compressive strength experiments have been carried out (Fig. 2). SS and the mixtures of SS+5%MD, SS+10%MD and SS+15% MD have been subjected to 12 cycles of freezing-thawing at temperatures of -21°C and +21°C for 24 hours. The unconfined compressive strength of the mentioned materials have been determined at the end of freezing-thawing cycles.

The unconfined compressive strength experiments have been done by using digital pressure tool in accordance with ASTM D 2166 with a loading speed of 0.5 mm/min. For freeze-thaw experiments, a deep freeze, programmable refrigerator has been used.



Figure 2. Digital unconfined compressive device and samples

4 RESULTS AND DISCUSSION

The mixtures obtained by adding 5%, 10% and 15% marble dust to the sandy soil (SS) and natural sandy soil have been subjected

to cures of 1, 7, 14 and 28 days in working room temperature (+21°C) to harden the material by drying and then unconfined compressive strength experiments have been carried out. The maximum unconfined compressive strength value has been obtained from 28 days of cure among four different cures. Increase ratios in the unconfined compressive strength values of the mixtures of SS+5%MD, SS+10MD and SS+15MD are 36.97%, 23.34% and 9.88% respectively (Fig. 3).

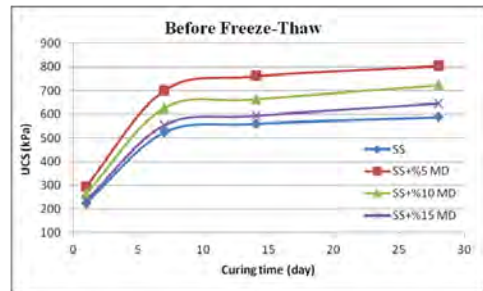


Figure 3. The changes in the strength values of the mixtures before freeze-thaw processes.

The unconfined compressive strength values of the SS and the mixtures of SS+5%MD, SS+10%MD and SS+15%MD have been determined after they have been subjected to cures of 1, 7, 14 and 28 days in working room temperature (+21°C) to harden the material by drying followed by freeze-thaw experiments. The maximum strength values have been obtained at the 28 days of cure. Increase ratios in the unconfined compressive strength values of the mixtures of SS+5%MD, SS+10MD and SS+15MD are 24.48%, 13.60% and 8.80% respectively (Fig. 4).

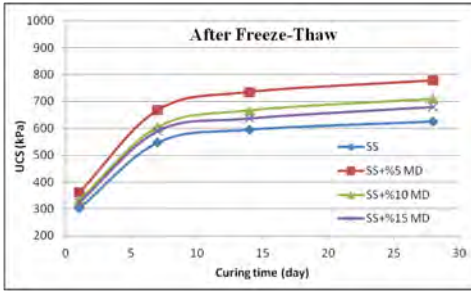


Figure 4. The changes in the strength values of the mixtures after freeze-thaw processes.

5 CONCLUSIONS

Within this study, the change in the unconfined compressive strength of sandy soils strengthened with marble dust was investigated before and after freeze-thaw processes and the following overall results were obtained.

- There has been a significant increase in the unconfined compressive strength of the mixtures obtained by adding waste marble dust to sandy soil samples. The changes in the strength of the sandy soil, to which 5%, 10% and 15% of marble dust has been added, has been determined in four different cures such as 1, 7, 14 and 28 days of cure. 12 cycles of freezing-thawing (-21°C, +21°C, 24h) experiment have been applied to the samples and change in their strengths have been determined in the end.

- As the obtained data were evaluated, it was clearly seen that the sandy soil strengthened with waste marble dust reached the highest strength after 28 days of curing. Comparing the strength values recorded before and after applying freeze-thaw test to the mixtures with the initial material, it was found that the mixture of SS+5% MD gives the highest strength value, followed by mixtures of SS+10% MD and SS+15% MD, respectively.

- At the end of 28 days of cure, at which the maximum unconfined compressive strength was obtained by adding 5%MD to the sandy soil, the increase in the unconfined compressive strength of the mixtures of SS+5%MD, SS+10%MD and

SS+15%MD were 36.97%, 23.34% and 9.88%, respectively.

- The recorded increase in the strengths of SS+5%MD, SS+10%MD and SS+15%MD are 24.48%, 13.60% and 8.80%, respectively, at the end of 28 days of cure, after applying freeze-thaw process to the sandy soil.

- It is recommended that attention should be paid to the cure-time and mixing ratios of waste marble dust used in soil improvement and strengthening, especially in applications at cold climatic regions.

REFERENCES

- Akbulut, S., Arasan, S., Kalkan, E. 2007. Modification of clayey soils using scrap tires rubber and synthetic Fibers, *Applied Clay Science*, Volume 38, Issues 1-2, Pages 23-32.
- Arasan, S., Işık, F., Akbulut, R.K., Zaimoğlu, A.Ş., Nasirpur, O. 2015. Rapid Stabilization of Sands with Deep Mixing Method Using Polyester. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 59(3), pp. 405–411.
- Altun, S., Alper, S., Alper, E. 2009. The effects of additives and curing conditions on the mechanical behavior of a silty soil. *Cold Regions Science and Technology*, 56, pp:135–140.
- ASTM D 698. Standart Test Method for Laboratory Characteristics of Soil Using Standart Effort.
- ASTM D 2166. Standart Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil.
- Chauhan, M.S., Mittal, S., Mohanty, B. 2008. Performance evaluation of silty sand subgrade reinforced with fly ash and fibre. *Geotextiles and Geomembranes*, 26 (5), pp: 429–435.
- Gullu, H., Hazirbaba, K. 2010. Unconfined compressive strength and post-freeze-thaw behavior of fine-grained soils treated with geofiber and synthetic fluid. *Cold Regions Science and Technology*, 62, pp:142–150.
- Kalkan, E., Yarbaşı, N., S. Akbulut, S. 2007. Katı atık-kireç karışımlarının zemin iyileştirilmesinde kullanımı. *Erdoğan Yüzer Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu*, 6-7 Eylül 2007, pp: 253-262, İstanbul.
- Kalkan, E. 2009. Effects of silica fume on the geotechnical properties of fine-grained soils exposed to freeze and thaw, *Cold Regions Science and Technology*, Volume 58, Issue 3, pp: 130-135.
- Kalkan, E. 2013. Preparation of scrap tire rubber fiber-silica fume mixtures for modification of

- clayey soils, *Applied Clay Science*, Volume 80-81, pp:117-125.
- Okagbue, C.O., Onyeobi, T.U.S. 1999. Potential of marble dust to stabilize red tropical soils for road construction. *Engineering Geology* ,53, pp: 371-380.
- Taşpolat, L.T., Zorluer, İ., Koyuncu, H. 2006. Atık mermer tozunun geçirimsiz kil tabakalarda donma - çözülmeye etkisi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*,(2) 11–16.
- Park, S.S. 2008. Effect of fiber reinforcement and distribution on unconfined compressive strength of fiber-reinforced cemented sand. *Geotextiles and Geomembranes* 27, pp: 162–166.
- Qi, J., Ma, W., Song, C. 2008. Influence of freeze-thaw on engineering properties of a silty soil. *Cold Regions Science and Technology*, 53 (3), pp: 397–404.
- Yarbasi, N., Kalkan, E., Akbulut, S. 2007. Modification of freezing-thawing properties of granular soils with waste additives. *Cold Regions Science and Technology*, 48, pp: 45-54.
- Yarbaşı N. 2016. Atık lastik parçaları ile güçlendirilmiş killi zeminlerin donma-çözülme davranışı, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 22, Sayı 6, Sayfalar 559-562, Denizli, Türkiye, 2016.
- Yıldız, A.H. 2008. Mermer toz atıklarının yol inşaatında değerlendirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst., *Doktora Tezi*, Isparta, Türkiye.
- Ural, N., Karakurt, C., Cömert, A.T. 2014. Influence of marble wastes on soil improvement and concrete production. *J Mater Cycles Waste Manag* (2014) 16, pp: 500–508.
- Zaimoglu, A.S. 2010. Freezing-thawing behavior of fine-grained soils reinforced with polypropylene fibers, *Cold Regions Science and Technology*, 60, Issue 1, pp: 63-65.
- Zorluer, İ., Usta, M. 2003. Zeminlerin Atık Mermer Tozu İle İyileştirilmesi. *Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (Mersem '2003) Bildiriler Kitabı* 18-19 Aralık 2003.

Kireçtaşı ve Travertenin Tek Eksenli Basınç Dayanımı Üzerinde Karot Boyutu Etkisinin Araştırılması

Investigation of The Core Size Effect on Uniaxial Compressive Strength of Limestone and Travertine

S.B. Çelik, İ. Çobanoğlu

Pamukkale Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 20070 Kınıklı Denizli

ÖZET Kayaların tek eksenli basınç dayanımı (TEBD) değerleri kaya mekaniği ve mühendisliği uygulamalarında kullanılan en önemli girdi parametrelerinden birisidir. Bu çalışmada yaygın karbonat kayalarından olan kireçtaşı ve travertenin TEBD değerleri üzerinde karot boyutu etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, 50, 40, 35, 25 ve 15 mm çaplarında, boy/çap oranı yaklaşık 2.5 olan karot örnekler hazırlanmıştır. Örneklerin kuru, doygun birim hacim ağırlıkları, görünür porozite ve ağırlıkça su emme değerleri belirlenmiş, daha sonra örnekler üzerinde TEBD deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar topluca değerlendirilmiş ve traverten ve kireçtaşı örneklerinin boyutlarının artışı ile TEBD değerlerinde önemli bir düşüş gözlenmiştir. Ortalama TEBD değerleri dikkate alındığında, bu düşüşün, kireçtaşı ve traverten örnekleri için birbirine yakın ve yaklaşık % 40 civarında olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar ayrıca literatürde yer alan ve en zayıf bağlantı teorisi olarak adlandırılan bir yaklaşımla değerlendirilmiş ve malzeme özelliklerine bağlı olarak değişen m katsayılarının kireçtaşı için 7 ve traverten için 5 olarak seçildiği koşullarda TEBD azalımının en iyi şekilde temsil edildiği belirlenmiştir. Bu çalışma ile kaya mekaniği uygulamalarında ve doğal taş sektöründe malzeme olarak kullanılan karbonat kayalarının dayanım özellikleri belirlenmiş ve karot örnek boyutunun çalışılan kireçtaşı ve traverten kaya grupları üzerindeki etkisi ortaya konulmuştur.

ABSTRACT The uniaxial compressive strength (TEBD) values of rocks are one of the most important input parameters used in rock mechanics and engineering applications. In this study, it was aimed to investigate the effect of the core size on the TEBD values of limestone and travertine which are common carbonate rocks. Through this purpose, core samples with diameters of 50, 40, 35, 25 and 15 mm and length to diameter ratio of about 2.5 were prepared. The dry, saturated unit volume weights, apparent porosity and water absorption values of the samples were determined, then TEBD tests were carried out. The obtained results were evaluated collectively and a significant decrease in the TEBD values with increasing sample size was observed. When the average TEBD values are taken into consideration, it is determined that this decrease is about 40 % for both limestone and travertine samples. The results were also evaluated with an approach called the weakest link theory in the literature and it was determined that the results were best represented by selected material constants as 7 and 5 for limestone and travertine respectively. In this study, strength properties of carbonate rocks used as materials in rock mechanics applications and natural stone sector were determined and the effect of core sample size on studied limestone and travertine rock groups was determined.

1 GİRİŞ

Kaya malzemelerin TEBD değerleri, kaya mekaniği ve mühendisliği ile ilgili projelerde kullanılan en önemli parametrelerden birisidir. Ayrıca doğal taş ve yapı sektöründe de özellikle taşın kullanım yeri ve şeklinin seçiminde göz önünde bulundurulması gereken önemli bir parametredir. ISRM (2007) tarafından, TEBD deneylerinin boy/çap oranı 2.5'tan az olmayan, NX çaplı (54 mm) silindirik karot örnekleri üzerinde yapılması önerilmektedir. Benzer şekilde ASTM (1991) standardı tarafından ise, en küçük 47 mm çaplı ve boy/çap oranı en az 2 olan karot örnekleri üzerinde yapılabileceği önerilmektedir. TEBD deney sonuçlarının sağlıklı olarak elde edilebilmesi için, alt ve üst yüzeyleri birbirine paralel ve hassas olarak hazırlanmış örnekler ihtiyacı bulunmaktadır.

Örnek boyutunun TEBD değerleri üzerinde etkili olduğu bilinmektedir. Yapılan önceki çalışmalarda araştırmacıların bu konuyla ilgili çalışmaları bulunmaktadır (Hoek and Brown 1980; Hawkins 1998; Thuro vd. 2001; Van der Merwe 2003; Kahraman ve Alber 2006; Ünlü ve Yılmaz 2008; Tuncay ve Hasançebi 2009; Özkan vd. 2009; Darlington vd. 2011). Genel olarak bakıldığında, örnek boyutu artışı ile TEBD değerinin azaldığı gözlenmektedir.

Hoek ve Brown (1980), boyutları (çap veya en, D) 10 ile 200 mm arasında değişen ve çeşitli kaya türlerini kapsayan örneklerin boyutları ile TEBD değerleri arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Genel olarak örnek çapının artışı ile TEBD değerinin azaldığını vurgulamışlardır. 50 mm'den farklı çaptaki örnekler üzerinde elde edilmiş TEBD değerlerini, 50 mm çaplı aynı örnek üzerinde elde edilebilecek TEBD değerinin tahmini için Eşitlik 1'i önermişlerdir.

$$TEBD_{50} = \frac{TEBD}{\left(\frac{50}{D}\right)^{0.18}} \quad (1)$$

Burada;

$TEBD_{50}$: 50 mm çaplı örnek üzerinde elde edilmiş TEBD değeri,

$TEBD$: 50 mm'den farklı çaptaki örnekler üzerinde elde edilmiş TEBD değeri,

D: Örnek çapı (mm).

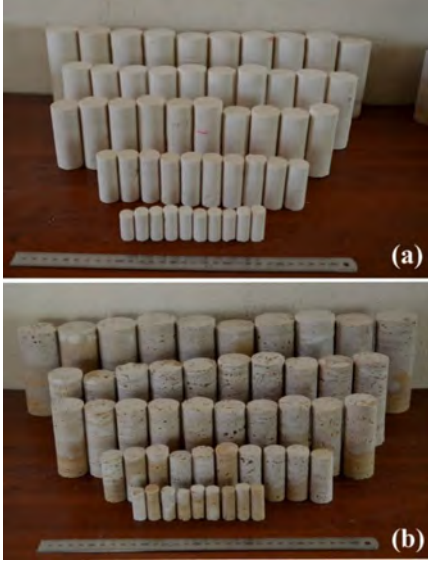
Hawkins (1998), çapları 12.5 ile 150 mm arasında değişen tortul kayaç örnekleri üzerinde yaptığı çalışmaların sonuçlarının, çoğunlukla kristalize (mağmatik) kayaç verileri kullanılarak geliştirilen ve Hoek ve Brown (1980) tarafından sunulan denklemi desteklediğini belirtmiştir. Hawkins (1998), en büyük dayanım değerlerinin 38-54 mm çaplı örnekler arasında elde edildiğini ve bu değerlerin dışında TEBD değerlerinin düştüğünü belirtmiştir.

Bu çalışma kapsamında, örnek boyutunun TEBD değerleri üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla doğal taş sektöründe yaygın olarak kullanılan kireçtaşı ve traverten kayaç blokları temin edilmiş ve laboratuvarında 50, 40, 35, 25 ve 15 mm çaplarında karotlar alınmıştır. Öncelikli olarak örneklerin petrografik özellikleri incelenmiş ve ardından fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra örnekler üzerinde TEBD deneyleri gerçekleştirilmiştir.

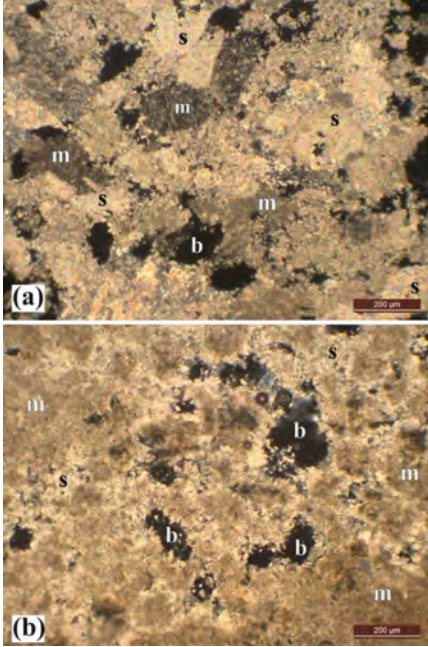
2 MALZEME VE METOT

Antalya, Finike bölgesinden kireçtaşı (K) ve Denizli, Kaklık bölgesinden traverten (T) blokları temin edilerek karot örnekler hazırlanmıştır. Örneklerin toplu görünümü Şekil 1'de verilmiştir. Her çaptan 10 adet ve boy/çap oranı 2.5 olacak şekilde karot örnekler hazırlanmıştır. Hazırlanan karotların alt ve üst yüzeylerinin paralellığı taşlama makinası kullanılarak sağlanmıştır.

Çalışılan iki grup için ince kesitler hazırlanarak mikroskop altında incelenmiştir (Şekil 2). Kireçtaşının iri kristalli ve homojen yapısı belirgin olarak gözlenmiştir. Tipik olarak, saydam kalsit çimento (s), yer yer mikritik çimento (m) ve boşluklar gözlenmiştir. İri tanelerin varlığı bu türün görünür porozitesinin yüksek olmasında katkısının olduğu söylenebilir. Traverten ise tipik gözenekli yapısıyla kireçtaşına benzer olarak gözlenmiştir. Tabakalanma belirgin değildir, mikritik yapı gözlenmiş, ikincil saydam kalsit dolgular, gözenek sınırlarında gözlenmiştir. İnce kesit incelemelerinde kayacın heterojen yapısı belirgin bir şekilde gözlenmiştir. Bu durum kayacın düşük TEBD değerlerine sahip olmasında etkilidir.



Şekil 1. Hazırlanan karot örneklerinin görünümü (a: Kireçtaşı, b: Traverten).



Şekil 2. Kireçtaşı (a) ve traverten (b) örneklerinin ince kesit görüntüleri.

3 FİZİKO-MEKANİK ÖZELLİKLER

3.1 Fiziksel Özellikler

Kuru ve doymun birim hacim ağırlık, görünür porozite ve ağırlıkça su emme değerleri çalışılan örnek gruplarının 50 mm çaplı 10'ar örnek üzerinde ISRM (2007)'ye göre belirlenmiştir. Kireçtaşı ve traverten için kuru birim hacim ağırlık değerleri sırasıyla 2.59 ve 2.51 g/cm³ olarak belirlenmiştir. Anon (1979)'a göre kireçtaşı ve traverten, ortalama değerler göz önüne alındığında sırasıyla yüksek ve orta birim hacim ağırlıklı kaya sınıfına girmektedir (Çizelge 1).

Görünür porozite değerlerinin bir kayanın TEBD değerleri üzerinde önemli etkiye sahip olduğu söylenebilir. Bu çalışma kapsamında kireçtaşı ve traverten örneklerinin görünür porozite değerleri sırasıyla % 9.56 ve 5.44 olarak belirlenmiş, Anon (1979)'a göre orta gözenekli kaya sınıfında yer almaktadır.

Çizelge 1. Örneklerin bazı fiziksel özellikleri.

Örnek no	Kuru b. h. ağı. (g/cm ³)	Doymun b. h. ağı. (g/cm ³)	Görünür porozite (%)	Ağırlıkça su emme (%)
Kireçtaşı	2.59	2.69	9.56	4.08
<i>Std. sapma</i>	<i>0.01</i>	<i>0.01</i>	<i>0.26</i>	<i>0.13</i>
Traverten	2.51	2.57	5.44	2.29
<i>Std. sapma</i>	<i>0.01</i>	<i>0.01</i>	<i>0.86</i>	<i>0.39</i>

3.2 Tek Eksenli Basınç Dayanımı (TEBD) Deneyleri

Çalışmanın amacı doğrultusunda TEBD deneyleri ISRM (2007) standardı doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Kireçtaşı ve travertene ait TEBD deney sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Deneyler Pamukkale Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde 2000 kN yüklem kapasiteli tek eksenli basınç dayanımı deney sistemi kullanılmıştır. Deneylerde yüklem hızı 0.5-1 MPa/s arasında olacak şekilde seçilmiştir.

Çalışılan kireçtaşı ve traverten örneklerinin TEBD değerleri göz önüne alındığında birbirine yakın olduğu ve ISRM (2007)'ye göre "orta dayanımlı kaya" grubuna girdiği belirlenmiştir. Çizelge 2'de görüldüğü gibi Denizli travertenine ait TEBD değerlerinin

daha geniş bir aralıkta değişim gösterdiği görülmektedir.

Çizelge 2. TEBD deney sonuçları.

Örnek Türü	Çap (mm)	TEBD (MPa)			
		Min	Maks	Ort	Std. S.
Kireçtaşı (K)	50	23.03	31.93	26.22	3.20
	40	22.00	27.86	25.54	2.02
	35	29.36	43.54	34.86	5.30
	25	29.10	52.70	37.03	7.86
Traverten (T)	15	28.24	53.44	44.04	8.10
	50	26.13	37.47	30.57	4.06
	40	14.55	24.45	19.73	3.35
	35	26.97	42.15	32.46	5.56
	25	27.08	50.68	40.80	7.05
15	36.71	76.46	50.50	11.79	

Bu durumun kayacın sahip olduğu yapısal özelliklerin değişiminden kaynaklandığı söylenebilir. Traverten örneklemelerinin yapıldığı blokta belirgin tabakalanma düzlemleri gözlenmemiştir. Finike kireçtaşının, Denizli travertenine kıyasla daha homojen özellikte olduğu görülmüştür.

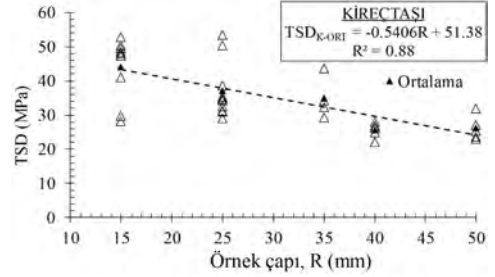
Ortalama değerler incelendiğinde karot boyutu artışına bağlı olarak TEBD değerlerinde belirgin azalma gözlenmiştir.

4 DENEY VERİLERİNİN TOPLUCA DEĞERLENDİRİLMESİ

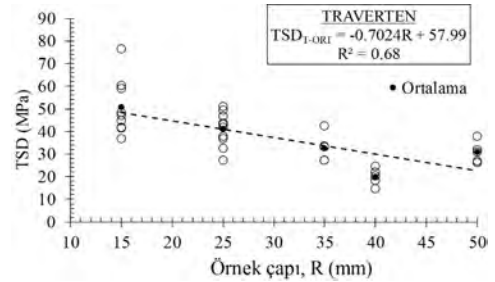
Karot boyutu artışı ile TEBD değerlerinin incelenen kireçtaşı ve traverten kaya grupları için detaylı olarak ortaya konabilmesi amacıyla değerlendirmeler yapılmıştır. Şekil 3'de kireçtaşı örneği için karot çapı artışıyla TEBD değerlerinin, ortalama değerler göz önüne alındığında doğrusal olarak düştüğü gözlenmiştir. Ayrıca, 40 ve 50 mm çaplı örneklerin TEBD değerlerinin birbirine yakın olduğu gözlenmiştir. Karot çapının 15 mm'den 50 mm'ye çıkmasıyla TEBD değerinin 43 MPa'dan 27 MPa'ya düştüğü belirlenmiştir.

Traverten için ise oldukça benzer bir durum gözlenmiş olup, karot çapının 15 mm'den 50 mm'ye çıkmasıyla ortalama TEBD değerlerinin yaklaşık 50 MPa dan 30 MPa'ya doğrusal olarak düştüğü gözlenmiştir. Bu grup için TEBD değerleri kayanın heterojen

yapısı ışığında daha geniş aralıklarda değişim göstermektedir.



Şekil 3. Kireçtaşında örnek çapı artışı ile TEBD değerlerindeki düşüş.



Şekil 4. Travertende örnek çapı artışı ile TEBD değerlerindeki düşüş.

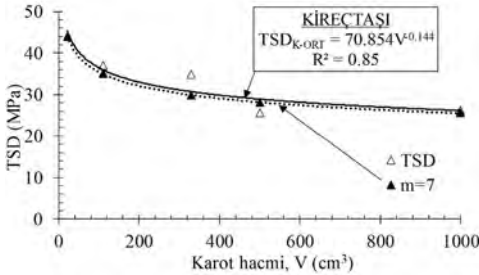
Bir kaya örneğinin hacmi arttıkça çatlak, zayıflık zonları ve süreksizlik içerme olasılığı kendisinden daha küçük bir örneğe göre daha yüksektir. Aynı kaya türü için TEBD değerlerinin örnek boyutu artışıyla azalması birçok araştırmacı tarafından bu yaklaşıma dayandırılmaktadır. Bu yaklaşım Weibull zayıf bağlantı teorisi olarak adlandırılmıştır (Bieniawski, 1968; Lundborg, 1967; Pratt vd, 1972). Özetle bu yaklaşımda örneğin yenilme olasılığı örnek hacmi artışı ile artmakta ve Eşitlik 2 ile ifade edilmektedir. Bu çalışma kapsamında örnek boyutu artışının TEBD değerleri üzerine etkisi Denizli travertenine ve Finike kireçtaşı örnekleri için ortaya konmuştur.

$$m \cdot \log \frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \log \frac{V_2}{V_1} \quad (2)$$

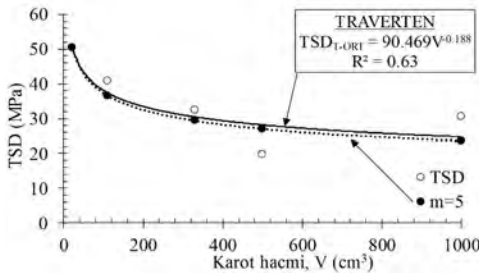
Burada, σ_1 and σ_2 ; 1. ve 2. örneğin TEBD değeri, V_1 ve V_2 ; 1. ve 2. örneğin hacmi, m ise malzeme cinsine bağlı bir sabittir.

Önceki çalışmalarda tek eksenli basınç koşulları altında farklı kaya türleri için farklı m değerleri önerilmiştir. Lundborg (1967), granit örnekler için m değerini 12 olarak önermiştir. Bieniawski (1968) ise kömür örnekleri için $m=2.5$ değerinin TEBD değerlerini temsil ettiğini belirtmiştir. Bieniawski (1968) zayıf link teorisinin örnek boyutu artışı ile sürekli olarak bir azalmaya işaret ettiğini bu durumun gerçek deneysel verilerle her zaman uyuşmayabileceğini belirtmiştir.

Bu çalışmada kireçtaşı ve traverten örneklerinin TEBD değerlerinin karot çapı artışı ile azalmayı zayıf bağlantı yaklaşımı ile modellenmeye çalışılmıştır. Kireçtaşı ve traverten örnek grupları için m sabiti sırasıyla 7 ve 5 olarak seçildiğinde TEBD azalımının en iyi şekilde temsil edildiği belirlenmiştir. Şekil 5 ve 6'da çalışılan kireçtaşı ve traverten için örnek hacmi artışına bağlı olarak TEBD değerlerindeki düşüm ilgili m değerleri ile birlikte verilmiştir.



Şekil 5. Kireçtaşının örnek hacmi artışı ile TEBD değerindeki düşüş.



Şekil 6. Travertenin örnek hacmi artışı ile TEBD değerindeki düşüş.

Bu çalışma kapsamında deneye tabi tutulan en büyük örnek boyutu 50 mm çaplıdır. Bu boyuta kadar TEBD değerlerinde azalma gözlenmiş ancak azalmanın hangi karot çapına kadar devam edeceği konusunda bir bulguya ulaşılamamıştır. Önceki çalışmaların bazılarında örnek boyutunun belirli bir değeri aşmasından sonra TEBD değerlerinin sabit bir değerde seyrettiği belirtilmiştir.

5 SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, Finike (Antalya) ve Denizli bölgesinden temin edilmiş kireçtaşı ve traverten örneklerinin TEBD değerleri üzerine örnek boyutunun etkisi 15, 25, 35, 40 ve 50 mm çaplı örnekler üzerinde deneysel olarak araştırılmıştır.

Kireçtaşı ve traverten, ortalama değerler göz önüne alındığında Anon (1979)'a göre sırasıyla yüksek ve orta birim hacim ağırlıklı kaya, görünür porozite değerlerine göre de orta gözenekli kaya sınıfına girmektedir. TEBD değerlerine göre de örnekler orta dayanımlı kaya grubunda yer almaktadır.

Yapılan TEBD deney sonuçlarına göre her iki grup için örnek çapının 15 mm'den 50 mm'ye çıkmasıyla TEBD değerlerinin de önemli ölçüde azaldığı ortaya konmuştur. Bu azalma miktarları kireçtaşı ve traverten için sırasıyla % 37 ve 40 olarak belirlenmiştir. Bu değerler TEBD değerlerinin ortalamaları göz önüne alınarak belirlenmiştir.

TEBD değerlerinin örnek boyutu artışı ile azalmayı ayrıca literatürde yer alan zayıf bağlantı teorisine de ortaya konmuştur. Kireçtaşı ve traverten örnek grupları için m sabiti sırasıyla 7 ve 5 olarak seçildiğinde örnek hacmi artışıyla TEBD değerlerinin düşüşünün en iyi şekilde temsil edilebildiği görülmüştür.

TEBD değerlerinin hassas olarak belirlenmesi gerekliliğinin yanında örnek boyutunun da göz önüne alınarak sonuçların değerlendirilmesi çeşitli mühendislik projeleri ve ayrıca doğal taş sektörü için önemli olabileceği bu çalışma ile ortaya konmuştur. Çalışılan kireçtaşı ve traverten kaya gruplarının yanında farklı litolojiye sahip kayaların ve aynı zamanda daha geniş

aralıkta değişen örnek boyutları ile daha genel sonuçlara ulaşılabilecektir.

KAYNAKLAR

- Anon, 1979. Classification of rocks and soils for engineering geological mapping part I: Rock and soil materials. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 19, s.364-371.
- ASTM, 1991. Standard Practice for Preparing Rock Core Specimens and Determining Dimensional and Shape Tolerances (Designation: D 4543). *Annual Book of ASTM Standards*, Philadelphia, PA, USA.
- Bieniawski, Z. T., 1968. The effect of specimen size on compressive strength of coal. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstracts*, 5, s.325-335.
- Darlington, W. J., Ranjith, G., Choi, S. K., 2011. The Effect of Specimen Size on Strength and Other Properties in Laboratory Testing of Rock and Rock-Like Cementitious Brittle Materials. *Rock Mech Rock Eng*, 44, s.513-529.
- Hawkins, A. B., 1998. Aspects of rock strength. *Bull Eng Geol Environ*, 57, s.17-30.
- Hoek, E., Brown, E. T., 1980. Underground excavations in Rock. Institution of Mining and Metallurgy. Stephen Austin and Sons Ltd., Hertford, London, s527.
- ISRM, 2007. The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974-2006. In: Ulusay R, Hudson JA (eds) Suggested methods prepared by the commission on testing methods, ISRM, Compilation arranged by the ISRM Turkish National Group, Kozan ofset, Ankara.
- Kahraman, S., Alber, M., 2006. Estimating unconfined compressive strength and elastic modulus of a fault breccia mixture of weak blocks and strong matrix. *Int J Rock Mech Mining Sci* 43, s.1277-1287.
- Lundborg, N., 1967. The strength-size relation of granite. *Int J Rock Mech Min Sci*, Vol 4, s.269-272.
- Özkan, İ., Özarslan, A., Geniş, M., Özşen, H., 2009. Assessment of scale effects on uniaxial compressive strength in rock salt. *Environmental & Engineering Geoscience*, Vol. XV, No. 2, May 2009, s.91-100.
- Pratt, H. R., Black, A. D., Brown, W. S., Brace, W. F., 1972. The effect of specimen size on the mechanical properties of unjointed diorite. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstracts*, 9, s.513-529.
- Thuro, K., Plinninger, R. J., Zäh, S., Schütz, S., 2001. Scale effects in rock strength properties. Part 1: Unconfined compressive test and Brazilian test. In: *ISRM regional symposium, EUROCK 2001, Rock mechanics—a challenge for society*, Finland, s.169-174.
- Tuncay, E., Hasağçebi, N., 2009. The effect of length to diameter ratio of test specimens on the uniaxial compressive strength of rock. *Bull Eng Geol Environ*, 68, 491-497.
- Ünlü, T., Yılmaz, Ö., 2008. Investigation of the shape effect on the uniaxial compressive strength of the intact rock. In: Türk N, Deliormanlı AH, Kıncaç C (eds) *9th regional rock mechanics symposium* Izmir, Turkey, s.121-141.
- Van der Merwe, J. N., 2003. A laboratory investigation into the effect of specimen size on the strength of coal samples from different areas. *The South African Institute of Mining and Metallurgy*, SA ISSN 0038-223X/3.00 +0.00, s.273-280.

Osmaniye/Kadirli Kireçtaşlarının Doğaltaş Özelliklerinin İncelenmesi

Evaluation of the Natural Stone Properties of Osmaniye/Kadirli Limestones

Ahmet Teymen

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Niğde.

ÖZET Bu çalışmada, kayaçların fiziko-mekanik özelliklerini araştırmak amacıyla üç farklı kireçtaşı incelenmiştir. Kayaçlar Osmaniye/Kadirli bölgesinden toplanmış ve çalışmanın amacı ile ilişkili standartlara göre test edilmiştir. Bu kireçtaşlarının TS 10449 ve TS 11137’te belirlenen limit değerlere göre yapı ve kaplama kayacı olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Standartlarda tanımlı olmayan özellikler çeşitli sınıflamalar kullanılarak değerlendirilmiştir.

DeneySEL sonuçlara göre; tek eksenli basınç dayanımı 121-158 MPa, eğilme dayanımı 7.07-9.67 MPa, Böhme aşınma dayanımı 6.12-7.47 cm³/50cm², birim hacim ağırlık 2.63-2.67 gr/cm³, don sonrası kütle kaybı değerleri % 0.14-0.43 arasında değişmektedir. Kayaçlara standart testlerin dışında schmidt sertlik, nokta yük dayanımı gibi indeks testler de uygulanmıştır. Ayrıca kayaçlar, asitlere dayanıklılık, açık hava tesirlerine dayanıklılık ve pas tehlikesi deneyleri açısından incelenmiştir. İncelenen kireçtaşlarının doğaltaş standartlarını karşıladığı ve yapılarda kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.

ABSTRACT In this study, three different limestones is studied to investigate the physico-mechanical properties of rocks. Rock samples were collected from Osmaniye / Kadirli region and tested according to relevant standards for the aim of this study. It has been investigated the usability of these limestones as building and covering stones according to the limit values determined in TS 10449 and TS 11137. Features not defined in the standards have been evaluated using various classifications.

According to experimental results; uniaxial compressive strength of 121-158 MPa, flexural tensile strength 7.07-9.67 MPa, Bohme surface abrasion resistance 6.12-7.47 cm³ / 50cm², unit volume weight 2.63-2.67 gr / cm³ and frost loss values ranged from 0.14-0.43%. Besides the standard tests, index tests such as schmidt hardness and point load index were applied to the rocks. In addition, rocks have been investigated in terms of acid resistance, resistance of open-air effect and rust hazard tests. It is concluded that examined limestones meet with the natural stone standards and can be used for building purposes.

1 GİRİŞ

Türkiye dünyanın en zengin doğal taş oluşumlarının bulunduğu Alp-Himalaya dağ kuşağında yer almaktadır. 4 milyar metreküp işletilebilir mermer, 2.8 milyar metreküp traverten, 1 milyar metreküp granit rezervine sahiptir ve sanayisi, üretim teknolojisi ile dünyanın en önemli doğal taş üreticileri arasındadır. Ülkemizde yapı, renk ve desen

bakımından 650 çeşit mermer rezervi belirlenmiştir. Doğaltaş sektöründe teknolojik yeniliklerle birlikte, daha ekonomik ve istenilen ebatta üretim mümkün olmuştur. Bu sayede yapı ve dekorasyon malzemesi olarak kullanımı gittikçe artmaktadır. Çin, İtalya, İspanya, Türkiye, Hindistan, Brezilya ve Portekiz dünya doğaltaş üretiminin yaklaşık % 70’ini gerçekleştirmektedir (TMMOB, 2005).

2003-2015 yılları arasında doğaltaş ihracatımız % 333 artış ile 1.5 milyon tondan 6.5 milyon tona yükselmiştir. Türkiye'nin 2015 yılı doğaltaş ihracat geliri 6.5 milyon ton karşılığı 1.9 milyar dolar, 2016 yılında ise 6.5 milyon ton karşılığı 1.8 milyar dolar civarındadır (İMMİB Sektör raporu).

Dünya doğal taş rezervlerinin yaklaşık % 40'ına sahip olan Türkiye dünya doğaltaş sektöründe ihracatta beşinci sırada yer almaktadır. Mermer sektöründe, 2.560 adet mermer işletme izinli ruhsat sahası (mermer ocağı), küçük ve orta ölçekli 1.500 fabrika ve 7.500 atölyede bulunmakta ve yaklaşık 250.000 kişi istihdam edilmektedir. Üretimim tamamına yakın kısmı özel sektör tarafından yapılmaktadır. Türkiye'de 2014 yılında yaklaşık 5 milyon m³ doğal taş üretimi yapılmıştır (<http://www.enerji.gov.tr>).

Doğal yapı taşları, petrografik ve teknolojik yönlerden yapılarda kullanılmaya elverişli olan, çeşitli minerallerin bir araya gelmesiyle doğal olarak meydana gelen mineral topluluğudur. Doğal taşların duvarlarda kullanılmasıyla mimari yönden estetik görünüm elde edilebilir. Doğal taşlar renk, doku yönüyle yapılara çeşitli özellikler kazandırması yanında, kaplama ve taşıyıcı bir eleman olarak da kullanılabilir (Yılmaz ve Safel, 2004).

Doğal yapı taşları estetik görünüme sahip, homojen yapıda olmalıdır. Ayrıca fiziksel-mekanik-kimyasal etkilere dayanıklı, oyma ve süsleme yapılabilmesi için yeterli dayanım değerlerine sahip olmalıdır (Koçu, 2006).

Türkiye'de piyasaya yeni sunulan mermerlerde genellikle renk, cila alma ve sertlik gibi parametreler öne çıkartılırken fiziko-mekanik özellikler genellikle ihmal edilmekte ya da deneme yanılma metodu ile sonuca gidilmek istenmekteydi. Bütün bunlar ekonomiye olumsuz bir külfet getirmekte ve mermerimize hâkim olamamanın verdiği maddi değer kaybı da kaçınılmaz olmaktadır. Oldukça büyük mermer rezervlerine sahip olan ülkemizde mermerlerin tüm özelliklerinin belirlenmesi, standartlara uygun şekilde yüksek kalitede üretilmesi özellikle yurtdışı piyasasında pazar payını artıracaktır.

Doğal yapı taşlarında aranan özellikler genel olarak; renk özelliği ve desen homojenliği, blok verme özelliği ve kesilip cilalanma, jeomekanik ve fiziksel özellikler, atmosferik ve kimyasal etkilere dayanım olarak sıralanabilir (Şentürk ve Ark., 1995).

Bu çalışmada, Osmaniye/Kadirli bölgesinde üretimi yapılan üç farklı kireçtaşı örneği birçok parametre bakımından incelenmiş ve yapıtaşı olarak kullanılabilirliği detaylı olarak ortaya konulmaya çalışılmıştır.

2 ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bulut (1998)'de tamamladığı yüksek lisans tez çalışmasında Karaisalı kireçtaşının (Kalfalar Köyü-Kadirli) mermer olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre bölgeye ait kireçtaşı oluşumlarının tabana yakın kalın katmanlı kesimlerinin sert, sağlam, keskin köşeli kırıklı, gözeneksiz olduğunu tespit etmiştir. Kireçtaşının yüksek basınç mukavemetine sahip olması ve büyük boyutlu blok verebilme kapasitesi sebebiyle mermer olarak değerlendirilebileceğini işaret etmiştir.

Erdoğan ve Yaşar (2001)'de Adana, İçel ve Osmaniye bölgesinde yüzeyleyen mermerlerin dış ortamlarla olan etkileşimlerini incelemişlerdir. Mermerlerin yapı ve dokusunda meydana gelen fiziksel ve kimyasal etkileşimlerden kaynaklanan değişimler, aşınma durumları, dayanımları ve dış etkenlere karşı olan dirençleri ile farklı sıcaklık koşullarındaki mekanik ve fiziksel özelliklerindeki değişimleri belirlemişlerdir.

Çınar (2007)'de hazırladığı yüksek lisans tez çalışmasında Osmaniye Çağşak kırmızı mermerinin fiziko-mekanik özelliklerini araştırmıştır. Deneysel çalışmalar Amanos kırmızı mermerlerinin yapı malzemesi olarak kullanılabilirliğini, ancak buzlanmanın olduğu soğuk yerlerde yapı malzemesi olarak kullanılmasında sakınca olabileceği sonucunu ortaya çıkarmıştır. Bölge mermerleri agrega olarak değerlendirmeye daha uygundur.

Tutuş ve Kılıç (2008) yılında yayınladıkları çalışmalarında Çukurova

yöresine (Osmaniye, Kozan, Karaisalı ve Tarsus) ait bazı mermerlerinin fizikomekanik özelliklerini incelemiş ve bu özellikler arasındaki ilişkiyi istatistiksel olarak ortaya koymuştur.

Ürünveren ve Yaşar (2009)'da Doğu Toroslar' da Kadirli (Osmaniye) ilçesinin 33 km kuzeyinde yer alan Kösepinarı ve Yoğunluk'tan alınan numunelerin çeşitli özelliklerini test ederek mermer olarak kullanılabilirliği araştırmıştır. İncelenen mermer örneklerinin standartlardaki sınır değerlerde olduğunu ortaya koymuşlardır.

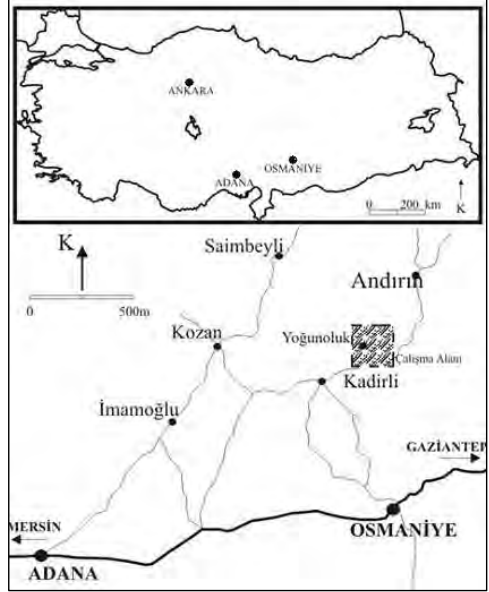
Kemerci ve ark. (2009)'da yayınladıkları makalede Düziçi (Osmaniye) bölgesi kireçtaşının mermer olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmanın sonuçlarına göre bölge kireçtaşlarının mermer olarak kullanımının uygun olmadığını belirlemişlerdir. Yaptıkları diğer deneysel çalışmalar sonucunda bu bölgeye ait kireçtaşının beton agregası, kireç ve çimento üretiminde kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır.

3 MATERYAL VE METOD

3.1 Materyal

Çalışmada Osmaniye/Kadirli bölgesine ait üç farklı kireçtaşı oluşumuna ait örnekler kullanılmıştır. Blok ve plaka halindeki numuneler laboratuvarlarda standartlarda belirtilen boyutlara uygun olarak kesilip hazırlanmıştır. Deneyler TS 699 ve ISRM 2007 standartlarında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Bulunan deney sonuçları ilgili yapı ve kaplama taşı standartlarına göre değerlendirilmiş ve çalışmada kullanılan kireçtaşlarının yer döşemesi, duvar kaplaması, merdiven basamağı v.b. kullanım alanlarına uygun olup olmadığı araştırılmıştır. Şekil 1'de çalışmaya konu olan kireçtaşlarının getirildiği bölgeye ait yer bulduru haritası görülmektedir.

Şekil 2'de çalışmada kullanılan kireçtaşlarının farklı deneyler için ebatlandırılmış numuneleri ve plak örnekleri verilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası (Ürünveren, 2008).



Şekil 2. Çalışmada kullanılan kayaçlar.

3.2 Metod

Testler, TS 699 ve ISRM 2007 standartları esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Görünür porozite ve birim hacim ağırlık deneyi TS EN 1936, su emme oranı TS EN 13755 standartlarına göre gerçekleştirilmiştir. Eğilme dayanımı için TS EN 12372, Böhme aşınma dayanımı için TS EN 14157 standardı kullanılmıştır.

Açık hava tesirlerine dayanıklılık, pas tehlikesi tayini ve asitlere dayanıklılık testleri TS 699'da tanımlı esaslara göre yapılırken, P dalga hızı için TS EN 14579, Schmidt sertlik ve nokta yük dayanım indeksi testlerinde ISRM'de tanımlanan test yöntemleri kullanılmıştır. Donma ve çözünme etkilerine karşı direnç testleri TS EN 12371'de belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

3.2.1 Atmosfer basıncında su emme oranı

Kireçtaşı örneklerine ait 7.5 cm kenar uzunluğuna sahip küp şeklindeki numunelere TS EN 13755 standardında belirtilen esaslara uygun olarak atmosfer basıncında su emme testi uygulanmıştır. Gerçekleştirilen deney sonucunda bulunan ortalama su emme oranı değeri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Kireçtaşlarının ortalama su emme oranı değerleri.

Ağırlıkça Su Emme Oranı (%)			
No	Kahve kıt.	Gri kıt.	Bej kıt.
1	2.05	1.91	0.87
2	0.99	1.43	0.67
3	1.13	1.77	1.20
4	0.92	1.89	0.42
5	1.38	2.07	1.18
Ort.	1.29 ± 0.46	1.81 ± 0.24	0.87 ± 0.33

Yapı ve kaplama taşı olarak kullanılan kireçtaşlarında normal atmosfer basıncında su emme özelliği (kapasitesi) kütlece % 4.0'den fazla olmamalıdır (TS 11137).

Her üç mermer numunesi de kireçtaşı mermeri sınıfındadır ve ağırlıkça su emme deneyi açısından standartta verilen limit değerin altında ortalama değerlere sahiptir.

3.2.2 Birim hacim ağırlık

Küp numuneler 105°C'de 24 saat kurutulup, desikatörde oda sıcaklığına kadar soğutulmuş ve kuru ağırlıkları tespit edilmiştir. Örnekler 24 saat suda bekletilerek doygun ağırlıkları da belirlenmiştir. Kumpas yardımıyla ebatları 0,1 mm hassasiyetle ölçülen numunelerinin hesaplanan ortalama kuru birim hacim ağırlık değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Kireçtaşlarının ortalama birim hacim ağırlık değerleri.

Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)			
No	Kahve kıt.	Gri kıt.	Bej kıt.
1	2.59	2.63	2.62
2	2.71	2.69	2.63
3	2.68	2.68	2.61
4	2.68	2.66	2.68
5	2.70	2.66	2.59
Ort.	2.67 ± 0.05	2.66 ± 0.02	2.63 ± 0.03

Ortalama değerler, TS 11137'da yapı ve kaplama taşı olarak kullanılan kireçtaşları için belirlenen alt limit değerinin (2.16 gr/cm³) oldukça üstündedir.

3.2.3 Görünür porozite

Birim hacim ağırlık deneyinde elde edilen veriler yardımı ile numunelerin boşluk hacimleri tespit edilmiş ve bu boşluk hacimlerin numune hacmine oranı yüzde cinsinden görünür porozite değeri olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 3. Kireçtaşlarının ortalama görünür porozite değerleri.

Görünür Porozite (%)			
No	Kahve kıt.	Gri kıt.	Bej kıt.
1	5.30	5.03	2.29
2	2.68	3.84	1.76
3	3.03	4.73	3.12
4	2.47	5.03	1.13
5	3.71	5.50	3.06
Ort.	3.44 ± 1.14	4.83 ± 0.62	2.27 ± 0.85

3.2.4 Doluluk oranı

Doluluk Oranı (Kompasite) - k - değişmez kütleye kadar kurutulmuş taşın, boşlukları hariç hacminin (dolu hacim), boşlukları dâhil hacmine (bütün hacim) oranıdır. Kireçtaşlarının doluluk oranı değeri, TS 699'da belirtilen hesaplamalar yardımıyla belirlenmiştir. TS 10449'e göre mermerin doluluk oranı değeri % 93 'ten büyük olmalıdır.

Test edilen kireçtaşları için belirlenen ortalama doluluk oranı değerleri minimum % 95 civarındadır. Bu durumda her üç deney numunesine ait ortalama doluluk oranı değerleri standartta verilen sınır değerinin üzerindedir.

Çizelge 4. Kireçtaşlarının ortalama doluluk oranı değerleri.

Doluluk Oranı (%)			
No	Kahve kıçt.	Gri kıçt.	Bej kıçt.
1	94.70	94.97	97.71
2	97.32	96.16	98.24
3	96.97	95.27	96.88
4	97.53	94.97	98.87
5	96.29	94.50	96.94
Ort.	96.56 ± 1.14	95.17 ± 0.62	97.73 ± 0.85

3.2.5 Özgöl ağırlık (Tane yoğunluğu)

Parça kireçtaşı örneklerinin bir bölümü çeneli kırıcı yardımı ile kırılarak 106 µm elek altı toz numune elde edilmiştir. Özgöl ağırlığı belirlemek amacıyla, hazırlanan numunelere TS EN 1936'da belirtilen piknometre metodu uygulanmış ve iki deneyin ortalaması Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5. Kireçtaşlarının ortalama özgöl ağırlık değerleri.

Yoğunluk - Özgöl Ağırlık (gr/cm ³)			
No	Kahve kıçt.	Gri kıçt.	Bej kıçt.
1	2.764	2.737	2.665
2	2.758	2.728	2.670
Ort.	2.761 ± 0.004	2.733 ± 0,006	2.668 ± 0.004

3.2.6 Mohs sertliği

Mohs sertliği esasen mineral sertliğidir. Kayacın Mohs sertliğinin tayin edilebilmesi ise kayacı oluşturan minerallerin oranlarının belirlenmesi ve her bir mineralin Mohs sertliklerinin ayrı ayrı tayin edilmesi ile belirlenebilmektedir.

Tamamen karbonat minerallerinden oluşmuş bir mermerin sertliği, bu minerallerin rekristalleşme derecelerine ve aralarında boşluk bırakıp bırakmadıklarına bağlı olarak değişmektedir. Dolomit varlığı mermerde sertliği yükselten bir parametredir. Mermerlerin sertliği işlenebilme ve cila kabul etme hususları ile yakından ilgilidir.

TS 6809 Nisan 1989'da belirtilen esaslara göre gerçekleştirilen deneye göre numunelerin ortalama Mohs sertlik değerleri Çizelge 6'da verilmiştir. Bu değerler, test edilen kireçtaşlarının orta sertlikte bir doğaltaş olduğunu göstermektedir.

Çizelge 6. Kireçtaşlarının ortalama Mohs sertlik değerleri.

Mohs Sertlik		
Kahve kıçt.	Gri kıçt.	Bej kıçt.
3.5 – 4.0	4.0 – 4.5	4.0

3.2.7 Schmidt sertliği

N tipi Schmidt çekici ile sertlik deneyi uygulanmış, deneyler sonucu numunelerin ortalama sertlik değerleri Çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 7. Kireçtaşlarının ortalama Schmidt sertlik değerleri.

Schmidt Sertlik		
Kahve kıçt.	Gri kıçt.	Bej kıçt.
46.86	54.86	50.71

3.2.8 Yüzey parlaklığı

Yüzey parlaklığının ölçülerek sayısal hale getirilmesinin amacı, fiziksel, kimyasal ve mineralojik farklılıkları göz önünde bulundurarak yeni cila maddeleri ve cilalama işlemlerinin geliştirilmesine katkıda bulunmaktır. Ölçümler, Glossmetre cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yaklaşık 18 mm kalınlığındaki mermer plakların parlatılıp-cilalanmış yüzeylerinden, TS 4318 EN ISO 2813'e uygun olarak 60° açıda ölçümler yapılmıştır. Yüzey parlaklık değerleri en az 20'şer adet okumanın ortalaması olarak Çizelge 8'de verilmiştir.

Çizelge 8. Kireçtaşlarının ortalama yüzey parlaklığı değerleri

Yüzey Parlaklığı (gloss)		
Kahve kıçt.	Gri kıçt.	Bej kıçt.
68,2 ± 2,1	75,2 ± 2,6	80,2 ± 2,3

3.2.9 P-dalga hızı

Deney 7.5 cm kenar uzunluğuna sahip küp numuneler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçüm aletinde gerekli kalibrasyonlar yapıldıktan sonra yüzeylerine şeffaf jel sürülen deney numuneleri alıcı ve verici arasına yerleştirilmiş ve P dalga hızının örneği kat ettiği süre kaydedilmiştir. Numune boyunun süreye bölünmesi ile elde edilen ortalama P dalga hızı değeri Çizelge 9'da verilmiştir.

Çizelge 9. Kireçtaşlarının ortalama P dalga hızı değerleri.

No	P Dalga Hızı (km/sn)		
	Kahve kıt.	Gri kıt.	Bej kıt.
1	5.73	5.58	5.86
2	5.06	5.19	6.05
3	5.07	5.58	5.42
4	5.31	5.87	6.21
5	4.93	5.12	5.63
Ort.	5.22 ± 0.32	5.47 ± 0.31	5.83 ± 0.31

3.2.10 Pas tehlikesi

Deney, yapı taşlarını oluşturan mineraller arasında atmosferik etkiler ile paslı renk bozukluklarının meydana gelmesine sebep olabilecek demir mineralleri ve demir karbonat karışımlarının kayaç içerisinde leke oluşturabilecek miktar ve durumda olup olmadıklarının tespit edilmesi amacıyla yapılmaktadır. Ayrıca nem etkisi ile ortaya çıkabilecek sülfürik asidin taşıdaki diğer mineralleri etkileyip etkilemeyeceğinin belirlenmesi de mümkün olmaktadır. Deney numuneleri açık bir kap içine kalınlıklarının yarısına kadar su içinde kalacak şekilde yerleştirilip 28 gün boyunca bekletilmiş ve bu sürenin sonunda işlem görmeyen parçalar ile suda bekletilen parçalar mukayese edilmiştir. Gri ve Bej kireçtaşlarında pas tehlikesi görülmemiştir. Ancak Kahve kireçtaşında çatlaklarda görülen demirden kaynaklanan çok az bir renk değişimi tespit edilmiştir.

3.2.11 Açık Hava Tesirlerine Dayanıklılık

Özellikle sanayi kuruluşlarının yoğun olduğu yerleşim bölgelerinde dış kaplama olarak kullanılan mermerlerin bu dış etkenlerden zarar görme ihtimalleri yüksektir. Ancak bazı mermerler bu etkilere çok hassas olurken, bazıları da oldukça uzun süre direnebilir. Deney, doğal taşların bu etkiler karşısında görünüş ve renklerdeki değişikliklerin tespit edilmesi amacı ile yapılmaktadır. Bu amaçla yaklaşık el büyüklüğünde 5'er çift numune hazırlanmış ve kesme yüzeyleri parlatılmıştır.

Elde edilen çiftlerin yarısı karşılaştırma için saklanmış, diğer yarısı ise hazırlanan % 1'lik hidroklorik asit (HCl) çözeltisi ile deney tabii tutulmuştur. 10 kez tekrarlanan

deney sonunda deneye tabii tutulan numunelerle saklanan numuneler karşılaştırılmıştır. Gri ve Bej kireçtaşlarında çok hafif sararma izlenirken, Kahve kireçtaşında ise renkte az miktarda koyulaşma, demirli bölgelerde belirgin sararma görülmüştür. Sonuç olarak üç kireçtaşında da önemli bir görünüş-renk değişiminin olmadığı belirlenmiştir.

3.2.12 Asitlere Karşı Dayanıklılık

Deney, yapı taşlarının asitlere dayanıklı olup olmadıklarının tayini amacı ile yapılmaktadır. Söz konusu bu asitler baca gazlarının ve havada bulunan diğer gazların havanın nemi ile birleşmesi ile oluşmaktadır. Uzun süre kalması halinde asitler mermerin dış yüzeyini etkilemektedir. Mermerin ana rengini değiştirmektedir. Kırık taze yüzeylerin olduğu 5 çift deney numunesi, içerisinde % 5'lik SO₂ bulunan sülfüroz asit çözeltisi üzerine asite değmeyecek şekilde uygun bir düzenekle asılmış ve 28 gün bekletilmiştir. Her 7 günde bir, asit etkisine maruz kalan parşalar ile işlem görmeyen parçalar mukayese edilmiştir. Bu işlemin dördüncü tekrarından sonra kireçtaşı örneklerinin renk ve görünüşünde kayda değer bir değişiklik olmadığı belirlenmiştir (TS 10449' da tanımlı kriterlere uygundur).

3.2.13 Tek eksenli basınç dayanımı

Mermerlerin basınç dayanımı, belirli ve farklı doğrultularda etkiyen gerilmeler karşısında kırılmaya karşı gösterdiği direnç olarak ifade edilebilir. Tek eksenli basınç dayanımı testleri TS EN 1926'da belirtilen esaslara göre küp numuneler kullanılarak test edilmiştir. 5 adet deney numunesinden elde edilen ortalama test sonuçları Çizelge 10'da verilmiştir.

Çizelge 10. Kireçtaşlarının TEBD değerleri.

No	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)		
	Kahve kıt.	Gri kıt.	Bej kıt.
1	151.3	142.0	159.5
2	112.4	119.4	171.9
3	112.8	142.1	132.5
4	126.1	160.1	183.0
5	105.4	115.4	145.2
Ort.	121.6 ± 18.2	135.8 ± 18.4	158.4 ± 20.2

TS 11137 standardında döşeme, zemin gibi taşıyıcı mekânlarda kullanılacak kayacın minimum dayanım değerinin 50 MPa olması istenirken süs ve kaplama amacıyla kullanılmasında ise bu değer 30 MPa değerinden daha düşük olmamalıdır.

Ortalama test sonuçlarına göre her üç numune de standartta belirtilen değerlerden oldukça yüksek TEBD değerlerine sahiptir.

3.2.14 Don sonrası basınç dayanımı ve kütle kaybı

Küp numuneler, suya doymun hale getirilmiş ve - 20°C'de 2 saat boyunca dondurucuda bekletilmiştir. Dondurucudan çıkarılan numuneler 20°C sıcaklıktaki su içerisinde 2 saat bekletilerek numune üzerindeki buzların tamamen erimesi sağlanmıştır. Bu döngü 25 kez tekrarlanmıştır.

Don sonu basınç dayanımı deneyinde don etkileri sebebiyle koparak ayrılan kısımlardan meydana gelen kütle azalması (don sonu kütle kaybı) aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanmıştır.

$$D_k = \frac{G_0 - G_k}{G_0} \cdot 100 \quad (1)$$

Burada; D_k : Don sonu kütle kaybı, %, G_0 , deney öncesi kütle (gr), G_k , deneyden sonraki kütle (gr).

Çizelge 11. Kireçtaşlarının don sonrası kütle kaybı değerleri.

Don Sonrası Kütle Kaybı (%)			
No	Kahve kıt.	Gri kıt.	Bej kıt.
Ort.	0.355	0.428	0.141

Doğal don etkileriyle basınç dayanımında meydana gelen azalma aşağıdaki bağıntı (Eşitlik 2.) yardımıyla hesaplanmıştır:

$$\Delta_f = \frac{f_b - f_{db}}{f_b} \cdot 100 \quad (2)$$

Burada; Δ_f , basınç dayanımında meydana gelen azalma (%), f_b , donma çözülme sonrası ortalama basınç dayanımı (MPa), f_{db} , don sonrası basınç dayanımı aritmetik ortalaması (MPa).

Çizelge 12. Kireçtaşlarının don sonrası basınç dayanımı değerleri.

Don Sonrası Basınç Dayanımı (MPa)			
No	Kahve kıt.	Gri kıt.	Bej kıt.
1	121.3	152.9	113.2
2	142.1	139.5	166.4
3	112.3	102.3	150.5
4	95.8	118.3	171.0
5	108.0	107.2	165.4
Ort.	115.9 ± 17.3	124.0 ± 21.6	153.3 ± 23.7

Kalsiyum esaslı mermerler belirtilen kritere göre mermerin don sonrası basınç dayanımı 30 MPa'dan büyük olmalıdır. Her üç mermerin de, donma-çözümne etkisiyle önemli bir basınç dayanımı kaybı yaşamadığı Çizelge 11-13'te de görülebilmektedir.

Çizelge 13. Kireçtaşlarının don sonrası basınç dayanım kaybı oranları.

Don Sonrası Basınç Dayanımı Azalması (%)			
No	Kahve kıt.	Gri kıt.	Bej kıt.
Ort.	4.70	8.66	3.24

3.2.15 Darbe dayanımı

Deney için 4 cm kenar uzunluğunda küp numuneler kesilip hazırlanmıştır. TS 699'ta belirtilen hesaplamalara göre, hacimleri ve düşme yükseklikleri belirlenen numunelere darbe dayanım test aletinde ilgili deney uygulanarak ortalama değer Çizelge 14'te verilmiştir.

Çizelge 14. Kireçtaşı numunelerinin ortalama darbe dayanımı değerleri

Darbe Dayanımı (MPa)			
No	Kahve kıt.	Gri kıt.	Bej kıt.
1	1.18	1.18	1.96
2	1.18	1.96	1.96
3	1.18	1.18	1.96
4	1.18	1.96	1.96
5	1.96	1.96	1.96
Ort.	1.33 ± 0.35	1.65 ± 0.43	1.96 ± 0.00

TS 11137 standardına göre; döşeme, zemin vb. darbeye maruz mekânlarda kullanılacak kireçtaşları için darbe mukavemeti değeri 0,6 MPa'dan, dekorasyon, duvar kaplama vb. amaçla kullanılacak kireçtaşları için 0,4 MPa'dan az olmamalıdır. Osmaniye/Kadirli bölgesi kireçtaşlarının deneylerle tespit edilen darbe dayanım değerleri, yukarıda verilen limit değerleri karşılanmaktadır.

3.2.16 Böhme aşınma dayanımı

Bu deney, yapı ve kaplama taşı olarak kullanılan kayaların yüzey aşınma dayanımlarının belirlenmesi amacıyla TS 699/Mart 2009'da tanımı yapılan bir deneştir.

Blok kireçtaşı örneklerinden standartta belirtilen ebatlara uygun olarak yaklaşık 71 mm kenar uzunluğuna sahip küp numuneler hazırlanmıştır. Etüvde 105 °C'de kurutulan deney numunelerinin tüm boyutları kumpas yardımıyla hassas bir şekilde ölçülerek kaydedilmiştir. Deneye hazır hale gelen deney numunesi aşındırma cihazının numune tutucu çerçevesi içine yerleştirilmiştir. Her bir devir için yaklaşık 20 gr aşındırma tozu kullanılmıştır.

Çelik manivela aracılığı ile numune üzerine 30 kg'lık yük uygulanarak, sürtünme şeridi üzerinde 0,6 kg/cm² lik bir basınç oluşturulmuştur. 22 devir döndükten sonra otomatik olarak duran diskin üzeri temizlemiştir. Her örnek için 20 aşınma periyodu, yani 440 devir uygulanmıştır. Deney bitiminde numuneler sert bir fırça ile temizlenerek tüm boyutları tekrar ölçülmüş ve meydana gelen aşınma miktarları hacimsel olarak tespit edilmiştir. Sonuçlar Çizelge 15'te verilmiştir.

Çizelge 15. Kireçtaşlarının ortalama Böhme aşınma kaybı değerleri.

Böhme Aşınma Kaybı (cm ³ / 50 cm ²)			
No	Kahve kıçt.	Gri kıçt.	Bej kıçt.
1	7.64	6.15	6.29
2	7.38	5.98	6.82
3	7.40	6.22	6.70
Ort.	7.47 ± 0.15	6.12 ± 0.12	6.60 ± 0.28

Yapı ve kaplama taşı olarak kullanılan kireçtaşlarında (Kalker) aşınma kaybı değeri basamak ve zemin döşemesi olarak kullanılacaksa 10 cm³ / 50 cm², süs ve kaplama amacıyla kullanılacaksa 15 cm³ / 50 cm² 'yi geçmemelidir (TS 11137).

3.2.17 Yoğun yük altında eğilme dayanımı

30 cm x 15 cm x 5 cm ebatlı plak numunelere, TS EN 12372 standartlarında

tarif edilen eğilme dayanımı (3 nokta) deneyi uygulanmıştır. Hazırlanan 4 adet mermer plakanın her biri, mesnetler arası mesafe 26 cm ve yükleme başlığı orta noktaya gelecek şekilde yerleştirilmiştir.

Kırılma yükleri ve numune ebatları kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucu bulunan ortalama eğilme dayanım değerleri Çizelge 16'da verilmiştir.

Çizelge 16. Kireçtaşlarının ortalama eğilme dayanım değeri.

Eğilme Dayanımı (MPa)			
No	Kahve kıçt.	Gri kıçt.	Bej kıçt.
1	7.10	7.54	8.94
2	6.35	8.02	9.89
3	7.02	8.85	10.34
4	7.81	8.41	9.51
Ort.	7.07 ± 0.60	8.21 ± 0.56	9.67 ± 0.59

TS 10449'da eğilme dayanımı için belirlenen alt limit minimum 6,0 MPa'dır. Ortalama test sonuçlarına göre tüm kireçtaşı örnekleri standartta tanımlı bu değerden daha yüksek eğilme dayanımı değerlerine sahiptir.

3.2.18 Brazilian dolaylı çekme dayanımı

Kireçtaşı bloklarından kesilerek hazırlanan 54 mm çaplı karot numunelerinden boy/çap oranları yaklaşık 0.5 olacak şekilde disk numuneler hazırlanmıştır. Deney, Brazilian dolaylı çekme deney aparatı ve nokta yük aleti kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Düşük yükleme hızında gerçekleştirilen deneyler sonucunda numune ebatları ve kırılma yükleri kullanılarak hesaplamalar yapılmış ve bulunan ortalama sonuç Çizelge 17'de verilmiştir. Deney ISRM 2007'de belirtilen test prosedürlerine göre gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 17. Kireçtaşlarının ortalama Brazilian dolaylı çekme dayanım değerleri.

Brazilian Dolaylı Çekme Dayanımı (kg/cm ²)			
No	Kahve kıçt.	Gri kıçt.	Bej kıçt.
1	2.89	6.65	4.77
2	5.06	6.60	4.91
3	3.41	4.80	4.44
4	4.58	4.31	5.66
5	3.34	6.07	4.35
Ort.	3.85 ± 0.92	5.69 ± 1.07	4.83 ± 0.52

3.2.19 Nokta yük dayanımı

Nokta yük dayanımı için 42 mm çapında ve yaklaşık 50 mm boyunda karot numuneleri hazırlanmıştır. Deneyler, standart nokta yük dayanım indeksi deney cihazında ve çapsal yükleme yöntemi kullanılarak (ISRM, 2007) gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, düzeltilmiş nokta yükü dayanım indeksi, $I_{s(50)}$, şeklinde Çizelge 18’de verilmiştir.

Çizelge 18. Kireçtaşlarının ortalama nokta yükü dayanım indeksi değerleri.

Nokta Yük Dayanımı (MPa)			
No	Kahve kıt.	Gri kıt.	Bej kıt.
1	7.26	6.88	7.60
2	5.66	5.95	8.11
3	5.68	6.88	6.49
4	6.23	7.63	8.57
5	5.37	5.78	7.01
Ort.	6.04 ± 0.75	6.62 ± 0.76	7.56 ± 0.83

3.2.20 Disk makaslama dayanımı

Deney, disk makaslama deney aparatı ve nokta yük dayanım aleti kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 54 mm çapa ve 10 mm kalınlığa sahip karot numuneleri iki noktadan makaslanacak şekilde yüklenmiştir. Okunan kırılma yükleri ve çap değerleri kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda bulunan ortalama deney sonucu Çizelge 19’da verilmiştir.

Çizelge 19. Kireçtaşlarının ortalama disk makaslama dayanım değerleri.

Disk Makaslama Dayanımı (MPa)			
No	Kahve kıt.	Gri kıt.	Bej kıt.
1	20.23	19.11	21.22
2	15.53	16.37	22.72
3	15.57	19.12	17.96
4	17.18	21.29	24.06
5	14.68	15.89	19.49
Ort.	16.64 ± 2.20	18.36 ± 2.22	21.09 ± 2.44

Çizelge 20. Standartlarda belirtilen limit değerler.

Özellik	TS 10449 - Mermer	TS 11137 - Kireçtaşı
	(Yer döşemesi / Duvar kaplaması)	(Yer döşemesi / Duvar kaplaması)
Kimyasal bileşim	% 95 CaCO ₃	% 90 CaCO ₃
TEBD (MPa)	50 / 30 (Min.)	50 / 30
Don sonrası TEBD (MPa)	30	-
Eğilme dayanımı (MPa)	6.0	-
Darbe dayanımı (MPa)	0.6 / 0.4	0.6 / 0.4
Birim hacim ağırlık (gr/cm ³)	-	2.16
Aşınma dayanımı (cm ³ /50cm ²)	15 / 25	10 / 15
Don sonrası kütle kaybı (%)	1.0	2.0
Doluluk oranı (%)	93	-
Su emme (%)	0.4	4.0

4 SONUÇLAR

İncelenen örnekler kireçtaşı özellikleri taşımaktadır ve kireçtaşı mermeri olarak değerlendirilmiştir. Test sonuçları ayrıntılı olarak incelendiğinde her üç kireçtaşı mermerinin de TS 11137 ve TS 10449 standartlarında belirtilen limit değerleri sağladığı görülmektedir. Bu standartların 02.03.2004 tarihli tadil edilmiş versiyonları (TS 11137/T1 ve TS 10449/T1) mevcuttur ve hala yürürlükte olan standartlardır. Kahve kireçtaşı örneğinin dolomit içerdiği ve blok içerisinde yer yer iyi kaynaşmamış bölümler içerdiği gözlenmiştir. Test sonuçları müspet olmasına karşın, kayacın heterojen yapısı blok verimini olumsuz etkileyebilecektir. Gri

kireçtaşı örneğinde de damar dolgularında yer yer zayıflıklar söz konusu olsa da, Kahve kireçtaşına göre daha masif ve sağlam bir yapıdadır. Özellikleri test edilen üç kireçtaşı örneği arasında birçok parametre bakımından Bej kireçtaşı en masif ve en dayanımlı olanıdır. Bu kireçtaşında boşluk oranı düşüktür ve nispeten daha ince kristalli, matriks iyi kaynaşmış durumdadır.

Her üç kayacın porozite değerleri Çizelge 20’de belirtilen % 4 değerinden düşük ya da yakın değerlere sahiptir. Çizelge 21’de belirtilen porozite sınıflaması açısından değerlendirildiğinde Bej kireçtaşı az boşluklu, diğer iki kireçtaşı ise orta boşluklu kaya sınıfında yer almaktadır. Kireçtaşlarının

ağırlıkça su emme oranı, birim hacim ağırlık ve doluluk oranı değerlerinin standartlarda belirtilen sınır değerleri (Çizelge 20) karşıladığı görülmüştür.

Çizelge 21. Kayaçların porozite değerlerine göre sınıflandırılması.

Kaya sınıfı	Porozite (%)
Çok kompakt	< 1.0
Az boşluklu	1.0 – 2.5
Orta boşluklu	2.5 – 5.0
Oldukça boşluklu	5.0 - 10
Çok boşluklu	10 - 20
Çok fazla boşluklu	> 20

Çizelge 22’de verilen sınıflandırmaya göre, test edilen kireçtaşlarının her üçü de TEBD ve nokta yük dayanımı bakımından yüksek dirençli kaya sınıfında yer almaktadır. Schmidt sertlik sınıflamasına göre Kahve kireçtaşı yüksek dirençli kaya (40-50) sınıfında iken, Gri ve Bej kireçtaşları oldukça yüksek dirençli (50-60) kaya sınıfında yer almaktadır.

Çizelge 22. Kaya dayanımı mühendislik sınıflaması (ISRM, 1981b)

Term	UCS (MPa)	Point Load (MPa)	L-Schmidt Hardness
R6 Extremely strong	> 250	> 10	50-60
R5 Very strong	100-250	4-10	40-50
R4 Strong	50-100	2-4	30-40
R3 Medium strong	25-50	1-2	15-30
R2 Weak	5-25	-	< 15
R1 Very Weak	1-5	-	-
R0 Extremely Weak	< 1	-	-

Kayaçların tamamının, eğilme dayanımı, darbe dayanımı ve Böhme aşınma dayanımı gibi testler açısından da yapı ve kaplama taşı olarak kullanılacak kireçtaşları ile ilgili standart olan TS 11137 ve kalsiyum karbonat esaslı mermerler ile ilgili standart olan TS 10449’da tanımlı limit değerleri karşıladığı görülmektedir. Sonik hız deneyi ile ilgili standartlarda herhangi bir limit belirlenmemiştir. Çizelge 23’te verilen sınıflama tablosuna göre testleri yapılan kayaçların P dalga hızı açısından “çok yüksek hız” kategorisinde olduğu görülmektedir.

Çizelge 23. Sonik Hız Sınıflaması.

Vp (m/sn)	Tanımlama
< 2500	Çok Düşük Hız
2500-3500	Düşük Hız
3500-4000	Orta Hız
4000-5000	Yüksek Hız
> 5000	Çok Yüksek Hız

Disk makaslama dayanımı ile ilgili sınıflama çizelgesi (Çizelge 24) dikkate alındığında her üç kayacın da diğer sınıflama sonuçlarına paralel şekilde “yüksek dayanımlı” kayaç kategorisinde yer aldığı görülmektedir.

Çizelge 24. BPI Sınıflaması.

BPI (MPa)	Strength class
< 1	Very Weak
1-5	Weak
5-10	Moderate
10-20	Medium
20-50	High
> 50	Very high

Kireçtaşının tabii dona karşı mukavemet (donma neticesindeki kütle azalması) değeri % 2’den fazla olmamalıdır. Test sonuçlarına göre her üç numune de tabii don etkilerine karşı oldukça dirençli durumdadır.

Bu çalışma kapsamında Osmaniye/Kadirli bölgesinde işletilmekte olan ocaklardan temin edilen üç farklı kireçtaşı örneğinin detaylı analizleri yapılmıştır. Deney sonuçları her üç kayacın da standartlarda tanımlı limit değerleri karşıladığını dolayısı ile yapı ve kaplama taşı olarak birçok mühendislik uygulamasında kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

KAYNAKLAR

- Bulut, B. 1998. Karaisalı kireçtaşının (Kalfalar Köyü-Kadirli) mermer olarak kullanılabileme olanaklarının araştırılması. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enst. Yüksek Lisans Tezi, 59 syf, Adana.
- Çınar, B. 2007. Osmaniye Çarşak kırmızı mermerlerinin fiziko-mekanik özelliklerinin belirlenmesi. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enst. Yüksek Lisans Tezi, 57 syf, Adana.
- Erdoğan, Y., Yaşar, E., 2001. Adana-İçel-Osmaniye mermerlerinin mühendislik özellikleri açısından değerlendirilmesi. MERSEM’2001-Türkiye III.

- Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı. s: 163-174, Afyon.
- ISRM, 1981. Rock characterization, testing and monitoring – Commission on standardization laboratory and field results. Suggested methods for determining hardness and abrasiveness of rocks. Part 4, p:102-103, Pergamon, Oxford.
- ISRM, 2007. The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974-2006. Suggested methods prepared by the commission on testing methods, international society for rock mechanics. In: Ulusay R, Hudson JA (eds) Compilation arranged by the ISRM Turkish national group, Ankara, Turkey, Kozan Ofset
- Kemerci, M., Yapıcı, N., Anıl, M., 2009. Düziçi (Osmaniye) bölgesi kireçtaşlarının mermer ve malzeme olarak kullanılabilirlik olanaklarının araştırılması.Ç.Ü. Müh.Mim.Fak.Dergisi, Cilt 24, Sayı 1-2, s: 257-265.
- Koçu, N., 2006. Doğal taşların duvarlarda yapı malzemesi olarak kullanılması, fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi için deney yöntemleri. 30. Yıl Fikret Kutman Jeoloji Sempozyumu, Selçuk Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü.
- Maden sektör görünümü, 2015. İstanbul Maden ve Metaller İhracatçı Birlikleri Genel Sekreterliği, İMMİB Sektör raporu
- Maden sektör görünümü, 2016. İstanbul Maden ve Metaller İhracatçı Birlikleri Genel Sekreterliği, İMMİB Sektör raporu
- Şentürk, A., Gündüz, L., Sarıışık, A., 1995. Yapı taşı olarak kullanılan endüstriyel kayalar teknik bir bakış. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu 21-22 Nisan 1995, s: 333-334.
- TMMOB., 2005. Doğal Taş ve Mermer Raporu, Maden Mühendisleri Odası Genel Merkez, Ankara.
- TS 4318 EN ISO 2813, Mart 2002. Boyalar ve vernikler - Metalik olmayan boya filmlerinin 20, 60 ve 85 açılarda parlaklık tayini, Ankara.
- TS 699, Mart 2009. Doğal yapı taşları- İnceleme ve laboratuvar deney yöntemleri, Ankara.
- TS 6809, Nisan 1989. Mohs sertlik cetveline göre sertlik tayini, Ankara.
- TS 10449, Kasım 1992. Mermer-kalsiyum karbonat esaslı-yapı ve kaplama taşı olarak kullanılan, Ankara.
- TS 10449/T1, Mart 2004. Mermer-kalsiyum karbonat esaslı-yapı ve kaplama taşı olarak kullanılan, Ankara.
- TS 11137, Kasım 1993. Kireçtaşı(Kalker)- Yapı ve kaplama taşı olarak kullanılan, Ankara.
- TS 11137/T1, Mart 2004. Kireçtaşı(Kalker)- Yapı ve kaplama taşı olarak kullanılan, Ankara.
- TS EN 1926, Ekim 2013. Doğal Taşlar - Deney Yöntemleri - Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tayini, Ankara.
- TS EN 1936, Ocak 2010. Doğal taşlar - Deney yöntemleri - Gerçek yoğunluk, görünür yoğunluk, toplam ve açık gözeneklilik tayini, Ankara.
- TS EN 12371, Haziran 2010. Doğal taşlar - Deney metotları - Dona dayanım tayini, Ankara.
- TS EN 12372, Temmuz 2007. Doğal Taşlar - Deney Metotları - Yoğun Yük Altında Bükülme Dayanımı Tayini, Ankara.
- TS EN 13755, Şubat 1997. Doğal taşlar - Deney metotları - Atmosfer basıncında su emme tayini, Ankara.
- TS EN 14157, Mart 2005. Doğal taş - Aşınma direncinin tayini, Ankara.
- TS EN 14579, Ocak 2015. Doğal taşlar - Deney yöntemleri - Ses hızı ilerlemesinin tayini
- Tutuş, M., Kılıç, M., 2008. Çukurova yöresinde bulunan bazı mermerlere ait fiziko-mekanik özelliklerin istatistiksel analizi. Ç.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 17-8, s: 132-141
- Ürünveren, A., Yaşar, E., 2009. Kadirli (Osmaniye) Kösepinarı Köyü ve çevresindeki mermerlerin mühendislik özelliklerinin değerlendirilmesi. Ç.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 20-1, s: 94-100
- Yılmaz, H., Safel, R., 2004. Mermer Sektörü. Türkiye Vakıflar Bankası T.A.O. İktisadi Araştırmalar ve Mevzuat Yönetmeliği, Sektör Araştırmaları Serisi.
- <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Dogal-Taslar>

Çatlaklı Bej Mermer (Kireçtaşı) Blokların Sağlamaştırılmasında Laboratuvar Ölçekli Alternatif Yöntemlerin Araştırılması

Investigation of Laboratory-Scale Alternative Methods for Consolidation of Fractured Beige Marble Blocks

L. Yeşilkaya, M. Ersoy, M.Y. Çelik,
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksekokulu, Afyon

N. Akalın
Maden Müh. Serbest

ÖZET Ülkemizin en önemli doğaltaş rezervlerinin başında bej mermer olarak bilinen kristalize kireçtaşları gelmektedir. Kireçtaşlarında gerek oluşum sırasında gerekse sonraki tektonik olaylar sonucunda değişik özelliklerde ve şekillerde çatlak yapıları meydana gelmektedir. Mermer kesme tesislerinde blokların kesilmesi sırasında blokta maksimum kazanç sağlanması için plaka kaybının minimum düzeyde olması istenir. Çatlaklı mermerlerde ST kesimi sonrası, levhaların cilalama ve ebatlama aşamasında kırılması ve kullanılamaz hale gelmesi en önemli sorunların başında gelmektedir. Bu gibi durumlarda çatlaklı blokların sağlamaştırılması gündeme gelmektedir. Bu çalışmada Isparta Senirkent yöresine ait çatlaklı kireçtaşı bloklarının değişik türde yapıştırıcılarla ve değişik yöntemlerle sağlamaştırılması üzerine laboratuvar ortamında deneyler yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlara göre; çatlaklı mermer blokların polyester-ahşap hazne ve epoksi-ahşap hazne uygulamaları ile sağlamaştırılarak sağlam plaka alınabilen bloklar haline getirilebileceği belirlenmiştir.

ABSTRACT Crystallized limestones, known as beige marble, are the most important natural stone reserves of in Turkey. When the limestone is formed, many cracks occur with different properties and shapes because of tectonic events. During the cutting of blocks in marble plants, it is desired that the loss of the slab or strip should be minimized to obtain the maximum gain from the block. The head of the most important problems in circular saw cut of the fractured blocks are breaking the slabs or strips while sizing and polishing stages. In such cases, the consolidation requirement of cracked blocks emerge. In this study, in the laboratory condition, some experiments were carried out on the consolidation of cracked limestone blocks of Isparta Senirkent region by using different type's adhesives and methods. According to experimental studies; it is seen that more efficient and massive slabs or strips can be obtained by reinforcing of fractured blocks with polyester-wood container and epoxy-wood container applications.

1 GİRİŞ

Jeolojik konumu nedeniyle çok önemli doğaltaş rezervlerine sahip olan Türkiye, Dünyanın en önemli doğaltaş üretici ve ihracatçısı ülkeleri arasında yer almaktadır. Üretilen doğaltaşlar arasında mermer, kireçtaşı (bej mermer) ve traverten ilk sıralarda yer almaktadır. Üretilen doğaltaş blokların bir kısmı yurt içinde işlenip kullanılırken önemli bir kısmı da ham blok olarak yurt dışına ihraç edilmektedir.

Doğaltaşların kullanım alanları ve ticaret hacimleri sürekli olarak artış göstermektedir. Yıllık doğaltaş ihracatı 3 milyar dolar seviyelerine ulaşmıştır.

Doğaltaşlarda gerek oluşum sırasında gerekse sonraki tektonik olaylar sonucunda değişik özelliklerde ve şekillerde çatlak yapıları meydana gelmektedir. Bu çatlaklara genellikle stilolitler de eşlik etmektedir. Çatlaklar gözle görülebilecek kadar büyük olabildiği gibi mikro boyutta da

olabilmektedir. Bu çatlaklar blok üretimi sırasında blok boyutlarını doğal olarak sınırlamaktadır. Doğaltaş ocaklarının işletilebilmesi için ekonomik boyutlarda bloklar (4-10 m³) alınabilmesi gerekmektedir. Bu blokların da kesme ve işleme aşamaları sırasında fire vermemesi, ekonomik olarak kesilebilmesi gerekmektedir.

Kireçtaşı terimi genellikle %50 veya daha fazla kalsiyum karbonat içeren kayalar için kullanılır (Cox et al., 1974). Kireçtaşı, çoğunlukla kalsit (CaCO₃) mineralinden oluşun ve doğada yaygın olarak bulunan sedimanter kayadır. Su içerisinde erimiş halde bulunan karbonat eriyiklerinde kristalleşme veya denizde yaşayan canlıların kabuk ve iskeletlerinin birikimi ve bunların litifikasyona uğramasıyla oluşur (Carlson et al., 2008). Kireçtaşının nispeten kolay işlenebilirliği inşaat ve anıtlar için tercih edilen bir taş olmasını sağlamıştır. Yüzlerce yıldır kireçtaşı, mimaride yapı taşı olarak kullanılmıştır.

Ülkemizin en önemli doğaltaş rezervlerinin başında bej mermer olarak bilinen kristalize kireçtaşları gelmektedir. Güneyden kuzeye ve batıdan güneydoğuya kadar birçok alanda yüzeylenmiş olan kireçtaşı oluşumları içerisinde çok sayıda ocak açılmıştır. Bu kireçtaşı ocaklarının büyük bir kısmında blok verimleri çok düşüktür. Üretilen blokların çok büyük bir kısmının da çatlaklı bir yapıda olduğu bilinmektedir. Aynı zamanda çatlaklı bloklar, mermer kesme ve işleme tesislerinde plaka verimlerinin düşük olmasına yol açmaktadır. Mermer kesme tesislerinde blokların kesilmesi sırasında blokta maksimum kazanç sağlanması için plaka kaybının minimum düzeyde olması istenir. Sağlam, çatlaksız ve düzgün geometrik şekillere sahip blokların maksimum plaka alanı sağlayacağı ve daha fazla gelir getireceği için ocaklardan bu özelliğe sahip olan blokların elde edilmesine çalışılır.

Mermer bloklarının sağlam ve çatlaksız olması durumunda bile kullanılacak makinaların kesim verimleri de farklı olabilmektedir. Katraklar, S/T lere göre daha fazla verimle kesim yapmaktadırlar. Ancak blokların çatlaklı olması durumunda katrak ile kesimleri zorlaşmakta ve doğrudan S/T lerde

kesilmektedir. Çatlaklı mermerlerde ST kesimi sonrası, levhaların cilalama ve ebatlama aşamasında kırılması ve kullanılamaz hale gelmesi en önemli sorunların başında gelmektedir. Bu da bloklarda verim kaybına yol açmaktadır. Bu gibi durumlarda çatlaklı blokların sağlamaştırılması gündeme gelmektedir. Sağlamaştırılan çatlaklı bir blok hem katrakta kesilebilirliği nedeniyle, kesim verimi artacak hem de daha büyük ebatlı levha ve katma değeri yüksek ürünler haline geleceği için ekonomik getirisi çok daha yüksek olacaktır.

Mermer sektöründe sağlamaştırma işlemleri yıllardır uygulanmaktadır. Bu yöntemler yerinde güçlendirme, blok güçlendirme ve plaka güçlendirme olarak sıralanabilir. Ocağın jeolojik yapısından kaynaklanan çatlakları yerinde güçlendirmek için ocağın çatlak haritası çıkarılır, bloklar kesilmeden önce bu çatlaklar uygun kimyasallar ile doldurulur. Çatlaklara daha iyi sıvı enjeksiyonu sağlamak için gerekirse düşey ve yatay delikler açılabilir. Böylelikle sağlamaştırılan aynalardan daha büyük ve sağlam bloklar alınabilmektedir. Blok güçlendirme işlemi ise kesme aşamasında daha fazla plaka elde etme amacıyla yapılır. Kesilen plakaların kırılıp dağılmadan işlenip cilalanması için de plaka güçlendirme işlemi yapılmaktadır.

Son yıllarda plaka sağlamaştırılması konusunda çok önemli ilerlemeler kaydedilmiş olup çok sayıda plaka sağlamaştırma hattı kurulmuştur. Bu nedenle kesilen çatlaklı bloklardan üretilen çatlak plakalar gerektiği şekilde sağlamaştırılıp ekonomiye kazandırılmaktadır. Ancak mermer sektöründe asıl sorun çatlaklı yapısından dolayı kesilemeyen ve kaderine terk edilen bloklardır. Bu nedenle asıl amaç çatlaklı yapısı nedeniyle kesilemeyen bu blokların kesim yoluyla plakaya dönüştürülmesi sırasında dağılmalarını önlemektir. Zaten kesildikten sonra plaka haline getirilen ürünün sağlamaştırılmasında herhangi bir problem bulunmamaktadır.

Literatürde sağlamaştırma ve güçlendirme konularında daha çok malzeme tanıtımı ve plaka sağlamaştırılması üzerine çalışmalara rastlanmaktadır. Çetin (2001), dolgu mumu,

polyester esaslı dolgular, epoksi esaslı çatlak tamir tutkalları, çatlak ve gözenek dolgu tamir hatları ve uygulama örneklerini açıklamıştır. Acar (2003), taşlardaki problemlerin tanımını yaparak tamir ve dolgu malzemelerini tanıtmış, sağlamaştırma uygulama sistemleri ve uygulamada dikkat edilecek hususları açıklamıştır. Önenç (2010), kesme işleme tesislerinde yapılan dolgu ve çatlak sağlamaştırma işlemlerini mermer kesme ve işleme tesisi-mermer ve hastane-insan ekseninde ele alarak ironik bir yaklaşımla mermeri insanla özdeşirmiş ve yapılan işlemlerinin önemine vurgu yapmıştır. Efe vd. (2012) kırık-çatlak sistemleri epoksi ile tamir edilmiş bej mermer ve herhengi bir tamir işlemi uygulanmamış ham bej mermer örnekleri termal (ısı) şok donma-çözülme çevrimlerine tabi tutmuşlar ve netice olarak yapılarında değişimleri teknik açıdan incelemişlerdir. López-Buendía vd. (2013), çatlaklı kireçtaşını epoksi ile sağlamaştırarak çekme mukavemetlerindeki değişimleri incelemişlerdir.

Doğaltaşlarda çatlaklardan kaynaklanan üretim kayıplarını minimuma indirmek için sağlamaştırma, tamir ve dolgu işlemleri yapılmaktadır. Bu işlemlerde en çok kullanılan malzemeler epoksi reçineler, polyester reçineler, U.V reçineler, mastikler ve çimento dolgudur. Bu çalışmada Isparta Senirkent yöresine ait çatlaklı kireçtaşı bloklarının değişik türde yapıştırıcılarla ve değişik yöntemlerle sağlamaştırılması üzerine laboratuvar ortamında deneyler yapılmıştır.

2 MALZEME VE YÖNTEM

2.1 Malzeme

Deneysel çalışmalarda kullanılan mermerler Afyonkarahisar'da faaliyet gösteren Tureks MNS Madencilik A.Ş.'ye ait Isparta Senirkent bej mermer ocağından temin edilmiştir. Çalışmanın yapıldığı ocakta bej mermer olarak nitelendirilen kireçtaşı türünde blok mermer üretimi yapılmaktadır. Üretimi yapılan bej mermer, açık ve koyu bej renklerinin homojen bir renk karışımına sahiptir. Bu renklerin yanı sıra pembe ve açık yeşil renkli stilolitleri de içermektedir. Bu

ocaktan alınan çatlaklı yapıya sahip olan numuneler sağlamaştırma deneylerini yapmak amacıyla istenilen ebatlara kesilerek yapılacak deneyler için hazır hale getirilmiştir. Ocak lokasyonu ve ocağın genel görünümü Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Bej mermer ocağı lokasyon haritası (a), ocağın görünümü (b), çatlaklı blok görünümü (c).

2.2 . Yöntem

Deneylerde kullanılan bej mermerlere fiziksel ve mekanik deneyler uygulanmıştır. Fiziksel ve mekanik deneyler TS EN standartlarına göre yapılmıştır. Fiziksel ve mekanik deneylerde kullanılan standartlar ve örnek özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Deneysel çalışmalar A.K.Ü Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarında ve Afyon Meslek Yüksekokulu mermer uygulama atölyesinde yapılmıştır. Tek eksenli basınç dayanımı, atmosfer basıncında ağırlıkça su emme, ses yayılma hızı, görünür yoğunluk, toplam ve açık gözeneklilik deneyleri için 70×70×70 mm boyutlarında numuneler hazırlanmıştır. Eğilme dayanımı (3 nokta) deneyi için ise 30×180×50 mm boyutlarında numuneler hazırlanmıştır.

Deneylerde kullanılmak üzere sağlamaştırma deneyleri için 15x15x15 cm

boyutlarında numuneler hazırlanmıştır. Sağlama deneylerinde deney

özelliklerine göre; epoksi, polyester, akemi, alçı, ağaç talaşı ve file kullanılmıştır.

Çizelge 1. Fiziko mekanik testlerle ilgili standartlar

Testler	İlgili standart
Yoğunluk	TS EN 1936
Ağırlıkça Su Emme	TS EN 13755
Porozite	TS EN 1936
Ultrases Dalga Hızı	TS EN 14579
Tek Eksenli Basınç Dayanımı	TSEN 1926
Eğilme Dayanımı	TS EN 12372
Aşınma Dayanımı	TS 699

3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLARIN İRDELENMESİ

3.1 Fiziko-mekanik Özellikler

Bej mermer örnekleri üzerinde fiziksel özelliklerini belirlemeye yönelik olarak yoğunluk, ağırlıkça su emme, açık porozite, ultrases dalga hızı ve aşınma kaybı deneyleri yapılmıştır. Deneyler hazırlanan 6'şar örnek üzerinde gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçların ortalaması Çizelge 2'de verilmiştir. Kayaçların fiziko-mekanik özellikleri baraj, tünel, maden ocakları gibi büyük ölçekli maden ve inşaat mühendisliği uygulamalarında çok önemlidir. Aynı şekilde yapı taşı olarak kullanılacak doğal taşların da kullanım yerlerine göre belirli özellikleri taşıması gerekir. Porozite, su emme ve yoğunluk gibi özellikleri mekanik dayanımları ile ilişkilidir. Düşük yoğunluklu ve yüksek poroziteli kayaçlar genellikle daha dayanıksızdır.

3.2 Çatlaklı Blokların Sağlama Deneyleri

Çatlaklı mermer bloklarının sağlama deneyleri amacıyla değişik güçlendirme ve sağlama malzemeleri ile laboratuvar ölçekli deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Çizelge 2. Bej mermerlerin bazı fiziko-mekanik özellikleri

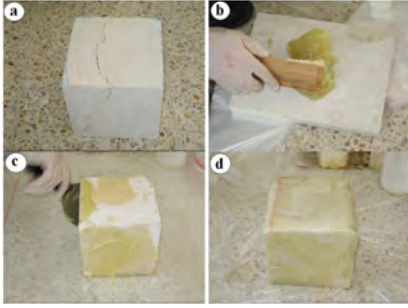
	Sonuçlar
Yoğunluk (g/cm ³)	2.66
Ağırlıkça Su Emme (%)	0.19
Açık Porozite (%)	0.50
Ultrases Dalga Hızı (m/s)	5972
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	105.68
Eğilme Dayanımı (3 nokta) (MPa)	57.77
Aşınma Dayanımı (cm ³ /50cm ²)	12.52
Yoğunluk (g/cm ³)	2.66
Ağırlıkça Su Emme (%)	0.19
Açık Porozite (%)	0.50

Çatlaklı bloğun sağlama deneylerinde 15x15x15 cm boyutlarında bej mermer numuneleri kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan alçının, epoksi veya polyester gibi taşın içerisine kılcal çatlaklar veya gözenekler kadar nüfus edemeyeceği beklenmemektedir. Alçının görevi bağlayıcı özelliği nedeniyle çok fazla çatlaklı olan blokların gerek nakliye gerekse kesilme aşamasında dağılmasını önlemek olacaktır. Nitekim kırıklı plakalar son aşamada sağlama işlemine tabi tutulmaktadır.

3.2.1 Çatlaklı bloğun akemi ve file uygulaması ile sağlama

Çatlaklı bloğun sağlama amacıyla ile 15x15x15 cm boyutlarına kesilmiş olan numune yıkandıktan sonra 24 saat süreyle

etüvde kurutulmuş ve daha sonra işleme tabi tutulmuştur (Şekil 2). Akemi ile numune blok sağlamaştırılma işleminde, numune blok yüzeyinde yaklaşık 5 mm kalınlığında bir tabaka oluşacak şekilde akemi sürülmüştür. Bu işlem için 500 gr akemi içerisine sertleşmeyi hızlandırıcı 5 gr pasta ilave edilmiştir. Hazırlanan karışım bir spatula yardımı ile çatlaklı bloğun bütün yüzeylerine sürülmüştür. Çatlaklı blok akemi uygulandıktan sonra file ile sarılarak 48 saat boyunca kurumaya bırakılmıştır.



Şekil 2. Sağlamaştırılacak numune bloğun görünümü (a), Akeminin sertleştirici pasta ile karıştırılması (b), Akemi uygulanmış numune blok (c), file ile sarılmış numune blok (d).

3.2.2 Çatlaklı bloğun alçı ve ağaç talaşı karışımı ile sağlamaştırılması

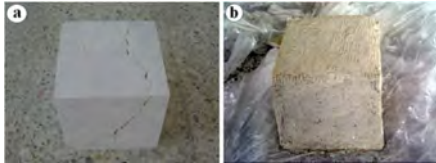
Alçı ve ağaç talaşı karışımı ile sağlamaştırılacak blok işleminde, numune blok yüzeyinde yaklaşık 0,5–1 cm kalınlığında bir tabaka oluşturacak şekilde alçı ve ağaç talaşı karışımı sürülmüştür. Bu işlem için 1 kg alçı ile 75 gr ağaç talaşı bir kap içerisinde yeterli miktarda su ile karıştırılarak karışım hazırlanmıştır. Hazırlanan alçı ağaç talaşı karışımı bir spatula yardımı ile numune blok yüzeyine sürülmüştür. Bloğun yüzeyleri alçı ve ağaç talaşı karışımı ile kaplandıktan sonra numune kurumaya bırakılmıştır (Şekil 3).

3.2.3 Çatlaklı bloğun alçı, ağaç talaşı ve file ile sağlamaştırılması

Çatlaklı numune bloğun sağlamaştırılması amacı ile 15x15x15 cm boyutlarına kesilmiş olan numune yıkandıktan sonra 24 saat süreyle etüvde kurutulmuş ve daha sonra sağlamaştırma işlemine tabi tutulmuştur. Alçı, ağaç talaşı karışımı numune blok yüzeyinde yaklaşık 0,5-1 cm kalınlığında bir tabaka oluşturacak şekilde sürülerek file ile sarılmış ve kurumaya bırakılmıştır (Şekil 4)



Şekil 3. Sağlamaştırılacak numune blok (a), alçı ve ağaç talaşı karışımının numune bloğa uygulanması (b), alçı ve ağaç talaşı karışımı uygulanmış numune blok (c).

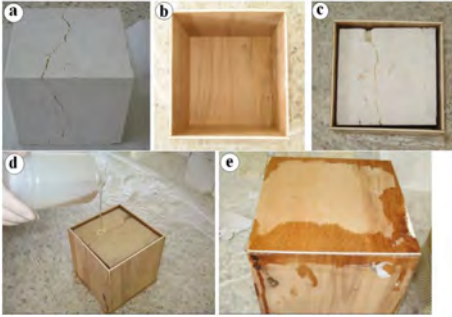


Şekil 4. Sağlamaştırılacak numune blok (a), alçı, ağaç talaşı karışımı ve file ile sağlamaştırılmış numune blok (b).

3.2.4 Çatlaklı bloğun polyester ve ahşap hazne uygulaması ile sağlamaştırılması

Çatlaklı numune bloğun sağlamaştırılması amacı ile 15x15x15 cm boyutlarına kesilmiş olan numune yıkandıktan sonra 24 saat

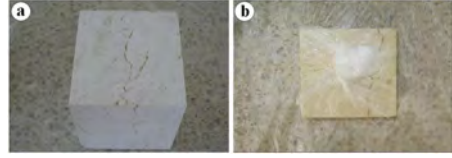
süreyle etüvde kurutulmuş ve daha sonra sağlamlaştırma işlemine tabi tutulmuştur. Polyester ile çatlaklı numune bloğun sağlamlaştırılması işleminde, 1 kg polyestere % 2'si kadar (20 gr) sertleştirici olarak kullanılan MEK peroxide karıştırılarak polyester hazırlanmıştır. Daha önce hazırlanmış olan 16x16x16 cm ebatlarındaki ahşap haznenin içerisine 15x15x15 cm boyutlarındaki numune blok yerleştirilerek, yapıştırıcı polyester yavaş yavaş ahşap haznenin içerisine dökülerek doldurulmuş ve kapak kısmı kapatılarak kurumaya bırakılmıştır. (Şekil 5).



Şekil 5. Sağlamlaştırılacak numune blok (a), ahşap hazne (b), ahşap hazne ve numune blok (c), polyester uygulaması (d), polyester uygulanmış numune blok (e).

3.2.5 Çatlaklı bloğun epoksi uygulaması ile sağlamlaştırılması

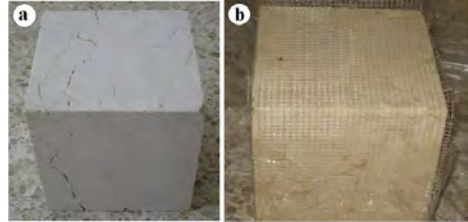
Çatlaklı numune bloğun sağlamlaştırılması amacı ile 15x15x15 cm boyutlarına kesilmiş olan numune yıkandıktan sonra 24 saat süreyle etüvde kurutulmuş ve daha sonra sağlamlaştırma işleme tabi tutulmuştur. Sağlamlaştırma işleminde kullanılacak olan epoksiden 200 ml, sertleştiriciden 100 ml alınarak karışım hazırlanmıştır. Epoksi ile çatlaklı numune bloğun sağlamlaştırılması işleminde, numune blok önce bir naylon torbanın içerisine yerleştirilmiş, hazırlanan epoksi naylon torbanın içerisine dökülerek torba kapatılmış ve kurumaya bırakılmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Sağlamlaştırılacak numune blok (a), epoksi uygulanmış numune blok (b).

3.2.6 Çatlaklı bloğun epoksi ve file uygulaması ile sağlamlaştırılması

Çatlaklı numune bloğun sağlamlaştırılması amacı ile 15x15x15 cm boyutlarına kesilmiş olan numune yıkandıktan sonra 24 saat süreyle etüvde kurutulmuş ve daha sonra işleme tabi tutulmuştur. Sağlamlaştırma işleminde kullanılacak olan epoksiden 200 ml, sertleştiriciden 100 ml alınarak karışım hazırlanmıştır. Epoksi ile çatlaklı numune bloğun sağlamlaştırılması işleminde, epoksi karışımı numune blok üzerine dökülerek 4 yüzeyi file ile kaplanarak naylon torba ile sarılmış ve kurumaya bırakılmıştır (Şekil 7).

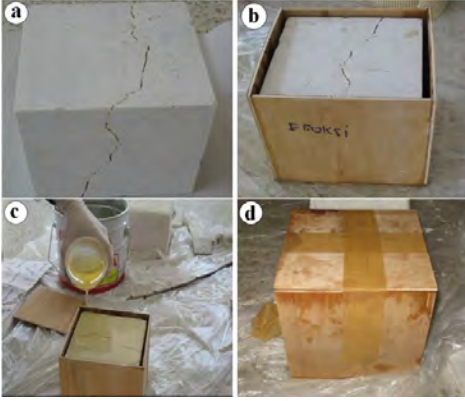


Şekil 7. Sağlamlaştırılacak numune blok (a), epoksi ve file uygulanmış numune blok (b).

3.2.7 Çatlaklı bloğun epoksi ve ahşap hazne uygulaması ile sağlamlaştırılması

Çatlaklı numune bloğun sağlamlaştırılması amacı ile 15x15x15 cm boyutlarına kesilmiş olan numune yıkandıktan sonra 24 saat süreyle etüvde kurutulmuş ve daha sonra sağlamlaştırma işlemine tabi tutulmuştur. Epoksi ile çatlaklı numune bloğun sağlamlaştırma işleminde, 500 ml epoksi ve 250 ml sertleştirici karıştırılarak yapıştırıcı epoksi hazırlanmıştır. Daha önce hazırlanmış olan 16x16x16 cm ebatlarında ahşap hazne içerisine 15x15x15 boyutlarındaki numune blok yerleştirilmiş, epoksi yavaş yavaş ahşap haznenin içerisine dökülerek doldurulmuş ve

kapak kısmı kapatılarak kurumaya bırakılmıştır (Şekil 8).



Şekil 8. Sağlamaştırılacak numune blok (a), ahşap hazne ve numune blok (b), epoksi uygulaması (c), epoksi uygulanmış numune blok ve ahşap hazne (d).

3.3 Kesme Deneyler

3.3.1 Çatlaklı blok kesme deneyleri

Sağlamaştırılmamış çatlaklı blokların plaka elde edilmesi sırasında dağılıp dağılmayacağını incelemek amacıyla kesme deneyleri yapılmıştır. Hiçbir sağlamaştırma işlemine tabi tutulmamış numune yan kesme makinesinin tablasına yerleştirilerek kesim yapılmıştır. Kesme işlemi bütün deneylerde 1x15x15 cm plaka alınacak şekilde planlanmıştır. Sağlamaştırılmadan kesilen çatlaklı numune blok kesiminde kesilen plaka çatlak yerinden ayrılarak dağılmıştır (Şekil 9).



Şekil 9. Sağlamaştırma uygulanmayan numune bloğun kesimi ve kesildikten sonra plakanın durumu

3.3.2 Sağlamaştırılmış numune blok kesme deneyleri

3.3.2.1 Sağlamaştırılmış numune blok kesme deneyleri

Akemi ve file ile sağlamaştırılmış numunenin kapak kısmı 2 cm kalınlığa ayarlanmış yan kesme makinesi ile kesilip atılmıştır. Ardından 1 cm kalınlığında 15x15 cm boyutlarında plaka kesilmiştir.

Kesim işlemi sırasında ve sonrasında alınan plakada herhangi bir dağılma ve kırılma görülmemiştir. Alınan plakanın daha sonraki aşamalarda çok rahat kullanılabilir niteliklere sahip olduğu görülmüştür. Kesilen numune blok çok çatlaklı olmasına rağmen sonra kesilen 3 adet plakada herhangi bir dağılma görülmemiştir (Şekil 10).



Şekil 10. Akemi ve file uygulanarak sağlamaştırılan blok ve plakanın görünümü

3.3.2.2 Alçı uygulanmış numune blok kesim sonuçları

Alçı ile sağlamaştırılmış numune blok kapak kısmından 2 cm kalınlığa ayarlanmış yan kesme makinesi ile kesilip atıldıktan sonra 1 cm kalınlığında 15x15 ebatlarında plaka kesilmiştir. Alçı ile sağlamaştırılmış numune bloğun kesimi sırasında suyla temas eden alçının mukavemetinin düştüğü, numunenin yüzeyinden koparak döküldüğü ve sağlam

plaka alma olasılığının çok az olduğu görülmüştür (Şekil 11).



Şekil 11. Alçı ile sağlamlaştırılmış numune blok kesimi ve kesilen plakanın görünümü

3.3.2.3. Alçı ve file uygulanmış numune blok kesim sonuçları

Alçı ve file ile sağlamlaştırılmış numune bloğun kapak kısmı 2 cm kalınlığa ayarlanmış yan kesme makinesi ile kesilip atıldıktan sonra 1 cm kalınlığında 15x15 cm ebatlarında plaka kesilmiştir. Kesim işlemi sonrasında alınan plakanın yüzeyindeki alçının döküldüğü ve çatlaklı plakayı taşıma özelliğini kaybettiği görülmüştür (Şekil 12).



Şekil 12. Alçı ve file ile sağlamlaştırılmış blok kesimi ve kesilen plakanın görünümü.

3.3.2.4. Polyester ve ahşap hazne uygulanmış blok kesim sonuçları

Polyester ve ahşap hazne ile sağlamlaştırılan numune bloğun kapak kısmı, 2 cm kalınlığa ayarlanmış yan kesme makinesi ile kesilip atılmıştır. Daha sonra 1 cm kalınlığında 15x15 cm ebatlarında plaka kesilmiştir.

Polyester ve ahşap hazne ile sağlamlaştırılan numunedan kesilen plakanın dağılmadığı ve çok sağlamlaştığı görülmüştür. Ayrıca polyesterin çatlaklardan 2-3 cm derinliğe kadar nüfuz ettiği gözlemlenmiştir. Bu işlem sonucunda 1x15x15 cm ebatlarında plaka elde edilmiştir (Şekil 13).



Şekil 13. Polyester ve ahşap hazne uygulanmış numune bloğun kesimi ve kesilen plakanın görünümü.

3.3.2.5. Epoksi uygulanmış blok kesim sonuçları

Epoksi ile sağlamlaştırılan numune bloğun kapak kısmı, 1 cm kalınlığa ayarlanmış yan kesme makinesi ile kesilip atılmıştır. Daha sonra 1 cm kalınlığında 15x15 cm ebatlarında plaka kesilmiştir.

Epoksi uygulaması ile sağlamlaştırılan numune bloktan kesilen 1x15x15 cm ebatlarındaki plakanın dağılmadığı görülmüştür. Epoksinin çatlaklara kenarlardan 0.5-1 cm ye kadar nüfuz ettiği gözlemlenmiştir. Ancak gerçek plaka boyutlarında çalışılması durumunda plakayı bir arada tutacak mukavemete sahip olmadığı görülmüştür (Şekil 14).



Şekil 14. Epoksi uygulanmış blok ve plakanın görünümü.

3.3.2.6. Epoksi ve file uygulanmış blok kesim sonuçları

Epoksi ve file ile sağlamlaştırılan numunenin kapak kısmı, 1 cm kalınlığa ayarlanmış yan kesme makinesi ile kesilip atılmıştır. Daha sonra 1 cm kalınlığında 15x15 cm ebatlarında plaka kesilmiştir.

Epoksi ve file ile sağlamaştırılan numune bloktan kesilen 1x15x15 cm ebatlarındaki plakanın dağılmadığı görülmüştür (Şekil 15). Epoksinin çatlaklara kenarlarından 0.5–1 cm kadar nüfuz ettiği gözlemlenmiştir. Gerçek plaka boyutlarında çalışma halinde de sağlam plaka elde edilecek bir mukavemet sağlayacağı düşünülmektedir.



Şekil 15. Epoksi ve file uygulanmış numune blok ve kesilen plakanın görünümü

3.3.2.7. Epoksi ve ahşap hazne uygulanmış blok kesim sonuçları

Epoksi ve ahşap hazne ile sağlamaştırılan numunenin kapak kısmı, 2 cm kalınlığa ayarlanmış yan kesme makinesi ile kesilip atılmıştır. Daha sonra 1 cm kalınlığında 15x15 cm ebatlarında plaka kesilmiştir.

Epoksi ve ahşap hazne ile sağlamaştırılan numune bloktan kesilen 1x15x15 cm ebatlarındaki plakanın dağılmadığı, çok sağlamaştığı görülmüş, ayrıca çatlak kısımlara epoksinin 1–2 cm nüfuz ettiği görülmüştür (Şekil 16).

Kesilen numunelerin hem epoksi uygulamasından hem de ahşap çerçeve desteğinden dolayı çok sağlam olduğu görülmüştür.



Şekil 16. Epoksi ve ahşap hazne uygulaması ile numune blok ve kesilen plakanın görünümü.

3.4 Mukavemet Deneyleri

Numune blokların kesildiği ham kayaktan 7x7x7 cm ebatlarında sekiz adet küp numune kesilmiş ve tek eksenli basınç dayanımı deneyinde kullanılmak üzere 450 ml epoksi hazırlanmıştır.

70x70x70 mm ebatlarındaki numuneler yıkandıktan sonra 24 saat süreyle etüvde kurutulmuş ve numunelerin her biri ayrı ayrı naylon numune poşeti içerisine konularak üzerine 50 ml epoksi dökülmüştür. Daha sonra içinde epoksi ve küp numune bulunan numune poşeti vakum etkisi yaratmak amacıyla içerisine su girmeyecek şekilde suya daldırıldı ve bir süre bekletilmiştir. Bu sayede epoksinin küp numune yüzeyine homojen bir biçimde yayılması ve çatlaklara sızmasına çalışılmıştır. Su içerisinden çıkarılan numune, numune poşeti içinde birkaç dakika bekletilmiştir (Şekil 17). Daha sonra poşetlerden çıkarılarak kurumaya bırakıldı.



Şekil 17. Epoksi uygulanmış numunenin suya daldırılışı ve Epoksi içerisinde bekletilen numunelerin görünümü.

Deney TS EN 1926'da tanımlanan yöntemle yapılmıştır. Epoksi uygulanmış kenarları 70x70x70 mm boyutlarındaki deney numunelerinin basınç uygulanacak yüzeylerinin boyutları kumpas yardımıyla 0,1 mm hassasiyette ölçüldükten sonra deney presinin tablaları arasına ve tam ortaya gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Yükleme hızı 200 kgf/sn olacak şekilde ayarlanmıştır. Yük deney numunesi kırılıncaya kadar uygulanmış ve pres göstergesinden okunan en büyük yük tespit edilmiştir. Bulunan tek eksenli basınç dayanımı değerleri Çizelge 3'de verilmiştir. Bulunan değer epoksi uygulanmamış 7x7x7 cm ebatlarındaki numunelerin tek eksenli basınç dayanımı değeri ile karşılaştırılmış ve epoksi uygulanmış numunelerin basınç dayanımlarının düşüğü görülmüştür.

Çizelge 3. Doğal ve Epoksi uygulanmış numunelerin tek eksenli basınç dayanımı.

Örnek No	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa) (Doğal)	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa) (Epoksi Uygulanmış)
1	104.68	33.87
2	97	50.63
3	94.96	46.37
4	125.13	56.07
5	105.05	42.71
6	107.25	30.01
Ort.	105.68	44.62

Epoksi kurduğu zaman çok gevrek bir malzemedir. Bilindiği gibi epoksi uygulandığı taşın çatlak ve gözeneklerine belirli oranlarda sızmaktadır. Bu işlem sonucunda uygulandığı taşın gevrekliğini arttırmakta ve çatlaklara sızması nedeni ile taşın esneme miktarını düşürmektedir. Bu nedenle taşın mukavemeti düşmekte ve epoksi uygulanmamış numuneye göre yüke daha az dayanım gösterdiği düşünülmektedir.

Bununla birlikte epoksi uygulanmış numunelerin kırıldıklarında normalden daha az oranda dağıldıkları görülmüştür (Şekil 18). Bu da epoksinin taşı bir arada tutmadaki etkisini göstermektedir.



Şekil 18. Epoksi uygulanmamış ve uygulanmış numunenin tek eksenli basınç deneyinden sonraki görünüşleri.

4 SONUÇLAR

Bu çalışmada Tureks MNS Madencilik A.Ş.'ye ait Isparta (Senirkent) mermer ocağından alınan çatlaklı numune mermer blokları üzerinde değişik yöntemler ve yapıstırıcılar kullanılarak blok sağlamlaştırma

deneyleri yapılmıştır. Sağlamlaştırılan çatlaklı numune bloklar daha sonra kesme işlemi sonucu plaka halinde kesilebilmeleri üzerinde deneyler yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda aşağıdaki bulgulara rastlanmıştır:

Çatlaklı numune mermer blok sağlamlaştırma işlemine tabi tutulmadan kesme makinesinde kesilmiş, kesilen plaka çatlak yerinden ayrılarak dağılmıştır.

Alçı ve ağaç talaşı karışımı ile sağlamlaştırılan çatlaklı numune blok kesim sırasında dağılmamış, ancak alçı kesim sırasında bünyesine aldığı su nedeniyle plaka kenarlarından ayrılmıştır.

Alçı, ağaç talaşı ve file ile sağlamlaştırılan çatlaklı numune blok kesim sırasında dağılmamıştır. Ancak alçı, ağaç talaşı karışımı ve filenin plakayı bir arada tutmakta yeterli olmadığı görülmüştür.

Çatlaklı numune bloğun akemi ve file uygulaması ile sağlamlaştırma deneyi sonucunda yapılan kesimde dağılmadığı görülmüş, sağlam plaka elde edilmiştir. Kesilen plakaların daha sonraki işlemlerde kullanılabilir özelliklere sahip olduğu görülmüştür.

Polyester ve ahşap hazne ile sağlamlaştırılan çatlaklı numune bloğun kesimi sırasında ve kesim sonrasında herhangi bir dağılma veya kırılmanın gerçekleşmediği, polyesterin özellikle açık çatlakların içerisine 2 – 3 cm derinliğe kadar nüfuz ettiği ve çok sağlam plakaların elde edildiği görülmüştür. Daha sonraki işlemlerde çok rahat bir şekilde kullanılabilir özellikler göstermektedir.

Epoksi ile sağlamlaştırılmış çatlaklı numune bloğun kesimi sırasında plakanın çatlak kısımlardan kopmadığı ve epoksinin çatlaklara 0,5–1 cm derinliğe kadar nüfuz ettiği görülmüştür. Fakat gerçek plaka ebatlarında yapılan kesimlerde yeterli sağlamlığı sağlamasının mümkün olamayacağı düşünülmektedir.

Epoksi ve file ile sağlamlaştırılan çatlaklı numune bloğun kesimi sırasında dağılmadığı, epoksinin çatlaklara 0,5–1 cm derinliğe kadar nüfuz ettiği ve gerçek plaka boyutlarında çalışılması durumunda yeterli sağlamlığı sağladığı görülmüştür.

Epoksi ve ahşap hazne ile sağlamaştırılan numune bloğun kesimi sırasında dağılmadığı, epoksinin çatlaklara 2–3 cm derinliğe kadar nüfuz ettiği ve çok sağlam plaka elde edildiği görülmüştür.

Çok çatlaklı ve plaka verme özelliği olmayan mermer blokların epoksi ve ahşap hazne uygulaması ile sağlamaştırılarak sağlam plaka alınabilen bloklar haline getirmek mümkündür.

Çok çatlaklı plaka verme özelliği olmayan mermer blokların Polyester ve ahşap hazne uygulaması ile sağlamaştırılarak sağlam plaka alınabilen bloklar haline getirmek mümkündür.

Ekonomik değeri yüksek olan çatlaklı mermer blokların Polyester, ahşap hazne ve epoksi, ahşap hazne uygulamaları ile sağlamaştırılarak sağlam plaka alınabilen bloklar haline getirmek mümkündür.

Katnak makinesinde kesilen bloklardan elde edilen plakaları ile ebatlı ürünlerin piyasa değerleri açısından aralarında büyük bir farklılık olduğu, katnak plakalarının ebatlı ürünlere göre fiyat farklılıklarının 2–5 katı arasında değiştiği göz önüne alındığında blok sağlamaştırmanın ekonomik getirisi de yüksek olacaktır.

KAYNAKLAR

- Acar, H., 2003. Doğal taşlarda çatlak tamir ve gözenek dolgu sistemleri, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (Mersem 2003) Bildiriler Kitabı, s. 415-434
- Carlson, DH, Plummer, CC, McGeary, D, 2008. Physical geology forth revealed, 7th edition. McGraw-Hill International Edition, pp. 360-376, pp.241-249
- Cox, KG, Price, NB, Harte, B, 1974. The practical study of crystals, minerals and rocks, McGraw Hill International Editions. pp. 104-124, 201-207.
- Çetin, F. 2001. Gözenek ve çatlak tamir uygulama örnekleri ve bu uygulamaların işletmelere getirdiği ilave kazançlar, Türkiye III. Mermer Sempozyumu (Mersem '2001) Bildiriler Kitabı 3-5 Mayıs 2001 /Afyon
- Efe, T, Akbay, D, Demirdağ, S, Şengün, N, Altındağ R., Uğur İ., 2012. Bej mermerlerde epoksi uygulamasının atmosferik şartlar altında kayacın bazı fiziksel ve mekanik özelliklere etkisi, MERSEM'2012 8. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi, 13-15 Aralık 2012 / Afyonkarahisar
- López-Buendía, AM, Guillem, C, Cuevas, JM, Mateos, F, Montoto, M, 2013. Natural stone reinforcement of discontinuities with resin for industrial processing, Engineering Geology, 166 39–51
- Öneç, Dİ. 2010. Mermer hastanesi, II. Uluslararası Mermer ve Doğal Taşlar Kongresi, 391-405, İzmir.
- TS699, Türk Standartları, 1987. Tabii Yapı Taşları-Muayene ve Deney Metotları, TSE, Ankara.
- TS EN 12372. Türk Standartları, 2001, Doğaltaşlar-Deney Metotları-Yoğun Yük Altında Bükülme Dayanımı Tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 1926, 2000. Türk Standartları, Doğaltaşlar - Deney Metotları – Basınc Dayanımı Tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 1936. Türk Standartları, Doğal taşlar deney metotları, gerçek yoğunluk, görünür yoğunluk, toplam ve açık gözeneklilik, TSE, Ankara, (2010)
- TS EN 13755. Türk Standartları, Doğal taşlar-deney metotları-atmosfer basıncında su emme tayini, TSE, Ankara, (2006)
- TS EN 14579. Türk Standartları, Doğal taşlar- deney metotları- ses ilerleme hızı tayini, TSE, Ankara. (2006)

Andezitlerde Farklı Sulu Ortamların Kapiler Su Emme Özelliğine Etkisinin İncelenmesi

Investigation of the Effect of Different Aqueous Environments on Capillary Water Absorption in Andesite

M.Y. Çelik, M. Ersoy, L. Yeşilkaya
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksekokulu, Afyon

S. Yılmaz, İ. Köken

Maden Müh. Serbest

ÖZET Doğal yapı taşları, değişik çevresel etkilere maruz kalarak zaman içinde ayrışmaya başlar. Bu çevresel etkilerin en önemlilerinden birisi sudur. Kapiler su emme, doğal yapı taşları içine suyun girmesini sağlayan en önemli mekanizmalardan birisidir. Doğal yapı taşlarında kapiler su emme miktarı gözeneklilik geometrisine bağlıdır. Bu çalışmada Afyonkarahisar yöresinde yapı taşı olarak kullanılan İscehisar andezitlerinin değişik sulu ortamlarda kapiler su emme potansiyelleri incelenmiştir. Bu amaç için önce, İscehisar andezitlerinin, kimyasal, petrografik-mineralojik (polarizan mikroskop, XRD), gözenek çapı dağılımı ve fiziko-mekanik özellikleri belirlenmiştir. İkinci aşamada ise statik, sıcak, tuzlu ve asidik sulu ortamlarda kapiler su emme özelliklerini belirlemek amacıyla deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda andezitlerde kapiler su emme potansiyeli 4,70 ile 7,85 kg/m²s^{0.5} arasında bulunmuştur. En fazla kapiler su emme değerleri asidik değeri pH'ı 3 olan sularda ölçülmüştür. Andezitler, kapiler su emme kapasitesi 3,0 kg/m²s^{0.5} den daha büyük olduğu için “kuvvetli kapiler su emme” gösteren taşlar sınıfında yer almaktadır.

ABSTRACT If natural building stones are exposed by various environmental influences, they begin to decompose over time. One of the most important of these environmental effects is water. Capillary water absorption is one of the most important mechanisms that enable water to enter natural building stones. The amount of water absorption in natural building stones depends on the pore geometry. In this study, the water absorption potentials of İscehisar andesite used as building stones in Afyonkarahisar region were investigated in different aqueous media. For this purpose, chemical, petrographic-mineralogical (polarizing microscope, XRD), porosity distribution and physico-mechanical properties of İscehisar andesite have been determined. In the second stage, experimental studies were carried out to determine the water absorption properties of the capillary in static, hot, saline and acidic aqueous media. As a result of these studies, water absorption potential was found between 4,70 and 7,85 kg/m²s^{0.5} in the andesite. The maximum capillary water uptake values were measured in the acidic pH 3 water. Since the water absorption capacity of andesite is greater than 3,0 kg/m²s^{0.5}, it is classified as “stones that have strong water absorption”.

1 GİRİŞ

Doğal taşlar, çeşitli uygarlıklar tarafından bilinen ve yaygın şekilde kullanılan inşaat malzemelerinden birisidir. Bunun en önemli nedenlerinden birisi doğal yapı taşlarının gerek estetik gerekse sağlam ve dayanıklı yapısal özelliklerinden kaynaklanmaktadır.

Bu nedenle tarihi dönemlerden günümüze kadar gelen en önemli yapıların doğal taşlardan yapıldığı görülmektedir. Bu yapı taşlarından birisi de andezitlerdir. Andezitler, diyoritlerin yüzey kayaçlarıdır. Andezitlerde plajiyoklas (andezin) ve amfibol (hornblende) grubu mineraller çoğunluğu oluşturmaktadır.

Piroksen grubu, olivin, biyotit gibi minerallerin yanı sıra az miktarda kuvars da bulunabilir. Volkanik kayalar arasında çok bulunan bir kayadır. Ülkemizde yaygın bir şekilde yüzeylenen andezitler nötr kökenli bir magmadan oluşur.

Tarihi yapılar da kullanılan doğal yapı taşları, yapısal ve dokusal özelliklerine göre çevresel ve atmosfer etkileri altında zamanla az ya da çok ayrışmaya başlar. Bu etkilerin en önemlilerinden birisi de sudur. Su gerek tek başına gerekse çözünebilir tuzların kristalleşmesi, donma-çözünme, ıslanma-kuruma gibi atmosferik etkilerle beraber doğal yapı taşları için önemli bir ayrışma faktörüdür.

Yapıların iç ve dış mekanlarında döşeme, kaplama ve dekoratif kullanımın yanı sıra çevre düzenlemeleri, yaya yolu ve kaldırımlarda da doğal yapı taşları kullanılmaktadır. Bu kullanım alanlarında bulunan doğal yapı taşları, yüzeyel veya zemin suları ile karşılaştığında, gözeneklilik özelliklerine göre suyu içerisine alma eğilimi gösterir. Bu olay kendiliğinden gerçekleşir ve doğal taşlar içindeki gözeneklerin kontrol ettiği kapiler emme kuvveti ile ilişkilidir. Kapiler su emme mekanizması, doğal taşın gözenek sisteminin geometrisine, büyüklüğüne ve gözeneklerin birbiri ile bağlantılı olup olmamasına bağlıdır ve akışkan sıvının yüzey gerilimi ile gözenek duvarının emme kuvveti arasındaki denge ile gerçekleşir (Vazquez vd., 2010).

Doğal taşların içine suyun nüfuz etmesini, en iyi değerlendirme yöntemlerinden birisi, kapiler su emme potansiyelidir (Peruzzi vd., 2003). Kapiler su emme, doğal taşların en önemli fiziksel özelliklerinden birisidir. Yüksek gözeneklilik ve kapiler su emmeye bağlı olarak emilen sular, birçok doğal taş için fiziksel ve mekanik özelliklerde olumsuz etki yapmaktadır. Kapilerite etkisiyle emilen sular, soğuk iklimlerde donarak buza dönüşür. Buz kristallerinin büyümesi ve artan hacmi nedeniyle boşluklarda basınç oluşturularak taşın dayanımını önemli ölçüde azaltır. Bu durum, suyla beraber doğal taşların içine giren tuzların kristalleşmesi için de geçerlidir (Tomašić vd., 2011).

Literatürde, kapiler su emmeyi konu alan birçok çalışmaya rastlanmaktadır. Suyun gözenekli ortamda kılcal akış kinetiği, ilk olarak Washburn (1921) tarafından teorik olarak incelenmiştir. Çok sayıda araştırmacı, doğal taşların petrografik, yapısal ve gözenek özelliklerini inceleyerek suyun doğal taş içindeki hareketini belirlemeye çalışmışlardır (Vazquez vd., 2010; Peruzzi vd., 2003; Hoffmann ve Niesel, 1992; Mosquera vd., 2000; Nicholson 2001; Karoglou vd., 2005; Juhász vd., 2014; Moreno vd., 2006; Çobanoğlu, 2015; Çelik ve Kaçmaz, 2016; Karagiannis vd., 2016).

Yapılarda kullanılan doğal taşların, su emmeden kaynaklanan ayrışmaların ve zararların azaltılması amacıyla kapiler su emme kapasitelerinin bilinmesi büyük önem taşımaktadır. Doğada, sulu ortamlar farklı karakterlerde olabilmektedir. Bu nedenle bu çalışmada statik, sıcak, tuzlu ve asidik sulu ortamlarda, Afyonkarahisar yöresinde hem geçmişte hem de günümüzde yapı taşı olarak kullanılan İncehisar andezitlerinin kapiler su emme özellikleri incelenmiştir.

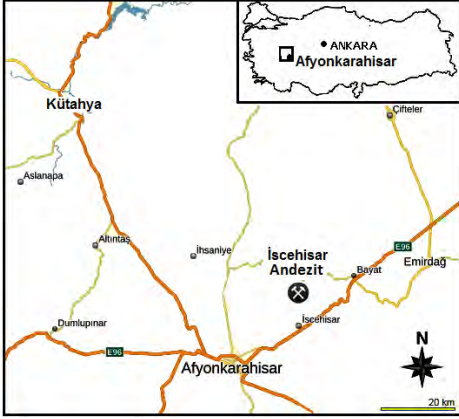
2 MALZEME VE YÖNTEM

2.1 Malzeme

Bu çalışmada kullanılan andezit örnekleri İncehisar kuzeyindeki Ağın Dağı yöresindeki ocaklardan temin edilmiştir. Söz konusu ocaklar aktif olup üretilen andezitler bölgede yapıtaşı olarak kullanılmaktadır. Örneklerin alındığı lokasyonu gösteren yer bulduru haritası Şekil 1'de verilmiştir. Deneylerde kullanılmak üzere 70x70x70 mm kübik şekilli 66 adet örnek hazırlanmıştır.

2.2 . Yöntem

Andezitin kimyasal analizleri, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği bölümü Doğaltaş Analiz Laboratuvarında bulunan Rigaku/ZSX Primus II marka XRF cihazında yapılmıştır. Petrografik incelemeleri için ince kesitler hazırlanmış ve polarizen mikroskop incelemeleri, Nikon Eclipse 2V100POL model polarizen mikroskop ile tane büyüklüğü, dokusu ve mineralojik bileşimi açısından incelenmiştir.



Şekil 1. İscehisar andeziti konumu.

XRD analizleri Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (TUAM)

laboratuvarlarında, Bakır (Cu) X ışını tüpü kullanılarak Shimadzu marka XRD-6000 model cihaz ile yapılmıştır. Andezit örneklerinin gözenek çap dağılımları, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde (TUAM) cıvalı porozimetre Micromeritics Auto Pore IV 9500 cihazında belirlenmiştir. Deney şartları 480,00 erg/cm² vakum altında 140 °C kontak açısı şeklindedir.

Andezitin kapiler su emme, yoğunluk, su emme, gözeneklilik, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı gibi fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla TS EN standartlarına göre deneyler yapılmıştır (Çizelge 1). Deneylerde 6'şar adet andezit örnekleri kullanılmıştır.

Çizelge 1. Fiziko mekanik deneylerde kullanılan örnekler ve ilgili standartlar.

Testler	Boyut (mm)	İlgili standart
Yoğunluk (kg/m ³)	70x70x70	TS EN 1936
Ağırlıkça su emme (%)	70x70x70	TS EN 13755
Gözeneklilik (%)	70x70x70	TS EN 1936
Ultrasonik dalga hızı (km/s)	70x70x70	TS EN 14579
Basınç dayanımı (kg/cm ²)	70x70x70	TS EN 1926
Kılcal kapillarite (kg/m ² s ^{0.5})	70x70x70	TS EN 1925

3 JEOLJİK KONUM

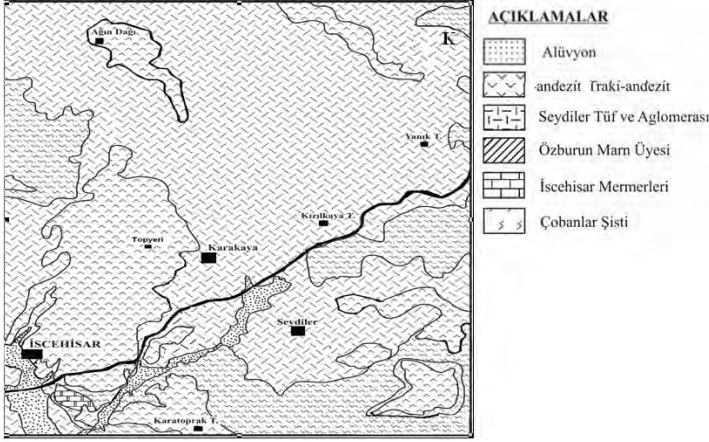
Çalışma sahasında en yaşlı birim Paleozoyik yaşlı şistlerdir. Afyon Metamorfitleri adı verilen bu metamorfik temelde mikaşist, kalkışist, kuvarslı şist ve fillit egemendir. Afyon Metamorfitleri genellikle kahve, boz, yeşil renkli, kıvrımcıklı, granoblastik dokulu, şisti yapılıdır.

Şistlerin üzerine açısız uyumsuzlukla Neojen çökelleri gelmektedir. Gebeceler Formasyonu adı verilen bu seri; Seydiler Tüf ve Aglomera Üyesi, Akpınar Kireçtaşı Üyesi ve Erdemir Konglomera üyesinden oluşur. Genel rengi beyaz, grimsi beyazdır. İnce-orta-kalın katmanlı konglomera, kumtaşı,

aglomera, tüf, tüfit, marn, killi kireçtaşı, silisifiye kireçtaşı gibi birimlerden oluşmuştur.

Bölgede, Üst Miyosen sonunda başlayarak Pliosen boyunca devam eden volkanik faaliyetlerin etkisinde kalmıştır. Bu volkanik faaliyetlerin ürünü olarak dasitik tüfler aglomeralar, andesitler, trakitler, trakiandezitler ve bazaltlar bölgede çok geniş alanlar kaplamaktadır (Metin vd., 1987).

Volkanik kayalar altta beyaz, krem renkli tüf ve üstte ise siyahımsı, grimsi ve bordo renkli traki-andezitik bileşimli volkanik kayalardan oluşmaktadır (Şekil 2). Bunların üzerine uyumsuzlukla gelen alüvyonlar çalışma sahasının en genç birimleridir (Metin vd., 1987).



Şekil 2. İscehisar ve yakın dolayının genelleştirilmiş jeoloji haritası (Metin vd., 1987; Kuşçu, vd., 2003).

4 BULGULAR VE TARTIŞMALAR

4.1 Kimyasal Analiz

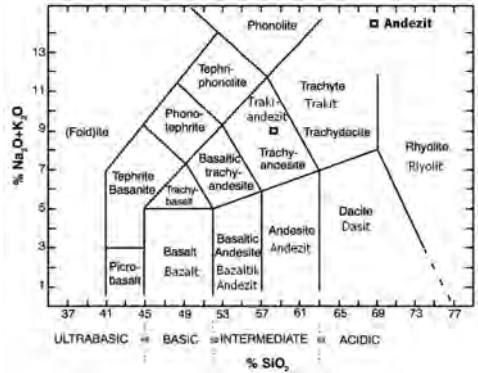
Doğal yapı taşı olarak kullanılan ve bu çalışma kapsamında incelenen andezitin ana element oksit içerikleri Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Andezitin kimyasal analizleri

Kimyasal bileşim	(%)
SiO ₂	58,58
Al ₂ O ₃	15,16
Fe ₂ O ₃	6,04
MgO	3,89
CaO	4,36
Na ₂ O	2,65
K ₂ O	6,04
TiO ₂	1,29
A.Z	0,56
Top.	98,57

Andezitin ana element oksit analizi sonuçlarına göre en büyük bileşen SiO₂ dir. Andezitin SiO₂ oranı % 58,58 olarak belirlenmiştir. İkinci en büyük bileşen Al₂O₃ %15,16 dır. Kimyasal analiz verilerine göre, andezitin kökenini bulmak amacıyla Le Bas

vd. (1992) tarafından önerilen toplam alkali (Na₂O+K₂O) ve silis (SiO₂) diyagramı kullanılmıştır. Andezitin traki-andezitik bileşimli oldukları belirlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Deneylerde kullanılan andezitlerin toplam alkali içeriğine karşı silis Le Bas vd. (1992) diyagramında sınıflandırılması.

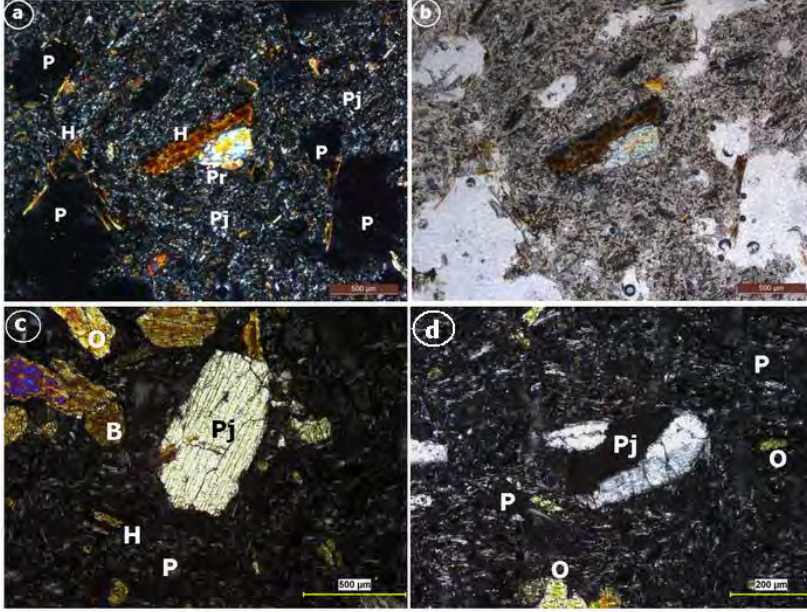
4.2 Petrografik ve Mineralojik Analizler

4.2.1 Polarizan mikroskop analizi

Andezitin mineralojik bileşiminin ve dokusal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Polarizan mikroskopta incelemeleri yapılmıştır. Andezitlerin ince kesit resimleri Şekil 4’de verilmiştir. Bu incelemeye göre, andezitte

hornblend, plajiyoklas ve piroksen mineralinin bulunduğu gözlenmiştir. Plajiyoklas mineralleri mikrolitler halinde matriksi oluşturmaktadır. Matriste akma dokusu belirgindir. Hornblend ve piroksenler daha büyük boyutlu fenokristal olarak gözlenmiştir. Piroksen minerallerinde özellikle kırık ve çatlaklar çok belirgindir. Yer yer olivin mineralleri de gözlenmektedir. Andezitte 200-300 mikron büyüklüğünde

gözenekler de bulunmaktadır. Koyu renkli mineral olarak biyotit ve hornblend görülmektedir. Hornblendlerde yer yer ayrışma izleri görülmektedir. Yapılan incelemeler sonucunda andezitik bileşimli olduğu tespit edilen kayaçta, gözlenen pembemsi-kırmızımsı rengin hornblend ve biyotitlerdeki alterasyondan kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.



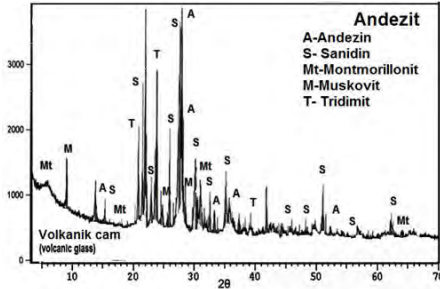
Şekil 4. Andezitte ince kesit görüntüleri (a, c, d): Çift nikol, (b): Tek nikol. (H: hornblend, O: olivin, P: piroksen ve Pj: plajiyoklas, P: gözenek)

4.2.2 XRD analizi

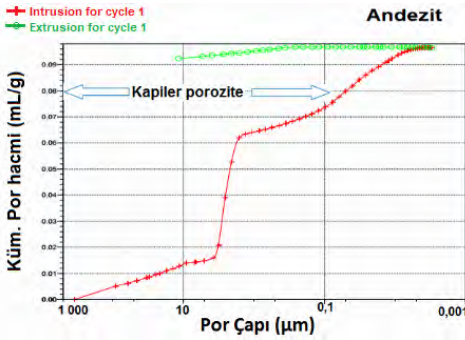
İncelenen andezit örneklerinin XRD analiz sonuçları Şekil 5'de verilmiştir. XRD analizi sonucunda andezitlerde feldispat (andezin, sanidin), montmorillonit, muskovit ve tridimit mineralleri tespit edilmiştir. Montmorillonit gibi kil minerallerinin varlığı volkanik cam bileşenlerin ve feldispatların yer yer bozduğunu göstermektedir. XRD grafiğinde Andezitlerde $2\theta=0^\circ$ itibaren zeminin yükselmesi amorf malzeme (volkanik cam) varlığını desteklemektedir.

4.3 Gözenek Çapı Dağılımı

Klopfer (1985) tarafından gözenekler boyutlarına göre şu şekilde sınıflandırılmıştır: mikro gözenek ($<0,1 \mu\text{m}$), mezo gözenek (kapiler gözeneklilik) ($0,1 \mu\text{m} - 1 \text{mm}$) ve makro gözenek ($>1 \text{mm}$). Kapiler (kılcal) su emme, pratik olarak çapları $0,1 \mu\text{m}$ ve 1mm arasındaki gözeneklerle ilişkilidir. Kayaçların gözenek çapları küçüldükçe kapilarite özelliği artar. Makro gözenekler ise çapı 1mm 'den büyük olup daha çok suyun malzeme içindeki hareketini sağlarlar (Siegesmund ve Dürrast, 2011).



Şekil 5. Andezitin XRD grafiği.



Şekil 6. Andezitin gözenek çapı dağılımı.

İncelemelerde kullanılan andezitin cıvalı porozimetre yöntemiyle ölçülen gözenek çapı dağılım grafikleri Şekil 6’da verilmiştir. İncelenen örneğin 0,01 µm-1 mm arasında gözenek çapı dağılımına sahip olduğu

görülmektedir. Andezitin gözenek boyut dağılımı, 0,01-10 µm arasında yoğunlaşmıştır. Kapiler su emme miktarını 0,1 µm-1 mm arasındaki gözenek miktarı etkilediği için grafikler üzerinde bu bölgeler de işaretlenmiştir. İncelenen andezitlerde kapiler gözenek oranı %80 olarak belirlenmiştir.

4.4 Fiziko-Mekanik Özellikler

Yapı taşı olarak kullanılacak doğal taşların kullanım yerlerine göre belirli özellikleri taşınması gerekir. Gözeneklilik, su emme ve yoğunluk gibi özellikleri mekanik dayanımları ile ilişkilidir. Düşük yoğunluklu ve yüksek gözenekli kayalar genellikle daha dayanıksızdır. Çalışma kapsamında incelenen andezit örneklerinin, bazı fiziko-mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla deneyler yapılmıştır. Deneylerle ilgili standartlar Çizelge 1’de, elde edilen verilerin ortalamaları Çizelge 3’de verilmiştir.

Buna göre andezitlerin yoğunluk 2.729 kg/m³ iken toplam gözeneklilik %19,37 olarak tespit edilmiştir. Kayacın gözeneklilik değerlerinin yüksek olması kayacın mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilerken su emme değerinin de yüksek olmasına yol açmaktadır. Buna göre de ağırlıkça su emme miktarı %4,29, tek eksenli basınç dayanımı da 85,17 N/mm² olarak bulunmuştur.

Çizelge 3. Andezitlerin fiziko-mekanik özellikleri

Deneyler	Andezit		
	min	max	ortalama
Yoğunluk (gerçek) (kg/m ³)	2.648	2.859	2.729
Ağırlıkça su emme (%)	2,49	5,19	4,29
Açık gözenek (%)	5,5	11,04	9,44
Toplam gözenek (%)	10,9	20,85	19,37
Ultras ses dalgası hızı (km/s)	3,39	3,81	3,68
Tek eksenli basınç dayanımı (N/mm ²)	74,16	97,75	85,17

Sesin geçiş hızı taşın yoğunluğuna, gözenek özelliğine ve çatlaklı yapısına bağlı olarak değişmektedir. Taşın yoğunluğu düşük ve bünyesinde gözenekli yapı ve çatlaklar var

ise sesin geçiş hızı da bunlara bağlı olarak düşük olmaktadır. Bu kapsamda ultras ses geçiş hızı 3,68 km/s olarak ölçülmüştür. Gözenekliliği düşük, homojen ve süreksizliği

az olan kayaçların ultrases geçiş hızı değerleri daha yüksektir.

4.5 . Kapiler Su Emme Özellikleri

Yapıların duvarında veya kaplamasında kullanılan gözenekli bir yapı taşı, yağmur veya yeraltı suları ile temas edince suyu absorbe eder. Bu emme işlemi kılcal kapilarite yoluyla gerçekleşir. Kılcal kapilarite, genellikle 1 mm ye kadar çapa sahip olan gözeneklerde oluşan kılcal emme kuvveti ile ilgili kendiliğinden oluşan bir işlemdir. Gözenek yüzeylerindeki su, karakteristik bir ıslatma açısı sergiler ve sonuçta suyun gözenek sistemine girme eğilimi, kılcal damar veya kılcal emilim olarak adlandırılır. Kılcal su emiliminin mekanizması esas olarak gözenek boyutuna ve gözenek sisteminin geometrisine bağlıdır (Siegesmund ve Dürrast, 2011).

Andezitlerin kapiler su emme (kılcallık) özelliğini saptamak için numunenin önce kuru ağırlığı tartılır, sonra suyun yüzeyine degecek şekilde su dolu kaba yerleştirilir. Taşların gözenek miktarına göre, zaman aralıklarında yapılan ağırlık ölçmeleri ile emilen su miktarları bulunur. Bu incelemede zaman aralıkları 1, 3, 5, 10, 15, 30, 60, 480, 1.440, 2.880 dakika olarak alınmıştır.

Andezitlerin kapiler su emme miktarları, TS EN 1925 standardına göre belirlenmiş ve aşağıda verilen eşitliğe göre kılcal kapilarite katsayısı (C) hesaplanmıştır.

$$C = (m_i - m_d) / (A \sqrt{t_i}) \quad (1)$$

Burada;

m_i : su emmiş numune ağırlığı (g)

m_d : kuru numune ağırlığı (g)

A: suya temas eden yüzey alanı (m²)

t_i : zaman (s) olarak verilmiştir.

Kılcal kapilarite katsayısı, bir taşın kılcal gözenek ve çatlaklar yoluyla su emme kinetiği hakkında fikir verir. Diğer bir deyişle taşın, suyla temas ettiğinde ne kadar hızlı bir şekilde su emilimi gösterebileceğini ifade etmektedir. Kılcal kapilarite katsayısı, Washburn denklemine göre, suyla temas eden belirli bir yüzey için su alımı zamanın kareköküne doğru orantılıdır (Mertz, 1991).

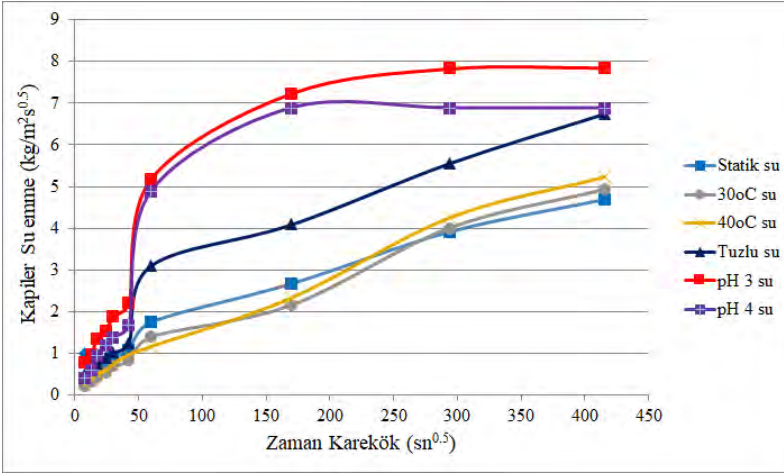
Graue vd. (2011) tarafından yapılan bir sınıflandırmaya göre; kapiler su emme değeri, <0,5 kg/m²s^{0.5} olan taşlar düşük kapiler su emme, 0,5–3,0 kg/m²s^{0.5} olan taşlar orta kapiler su emme, >3,0 kg/m²s^{0.5} olan taşlar güçlü kapiler su emme gösteren taşlardır.

Çalışma kapsamında incelenmiş olan andezitlerin kapiler su emme katsayıları Çizelge 4’de, sulu ortam cinsine göre kapiler su emme grafiği de Şekil 7’de verilmiştir

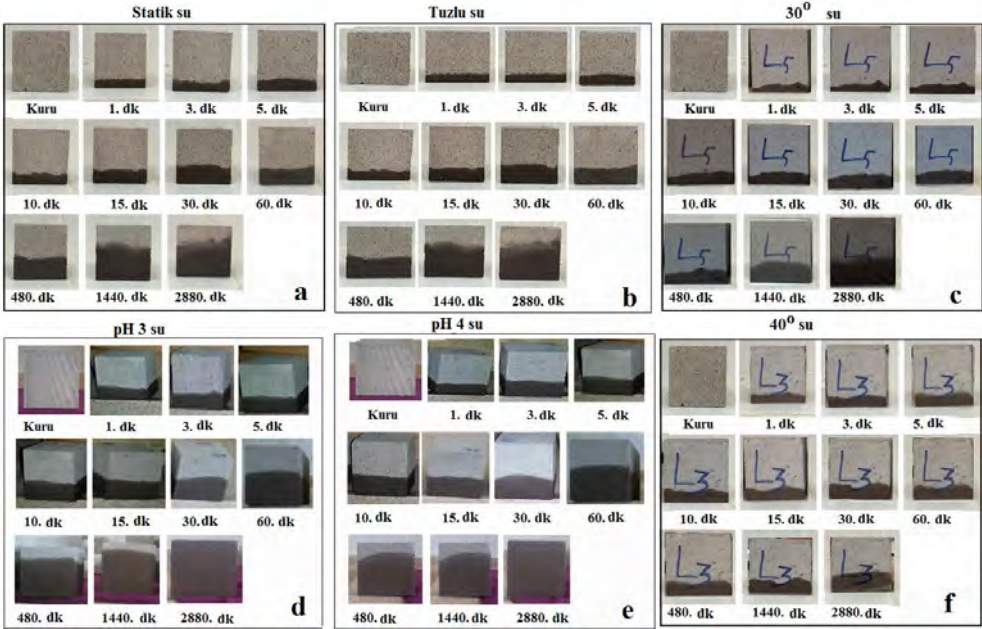
Andezitlerin kapiler su emme katsayıları 4,70 ile 7,85 kg/m²s^{0.5} arasında değişmektedir. Bu verilere göre İncehisar andezitleri, Graue vd. (2011) tarafından yapılan sınıflandırmaya göre, 3,0 kg/m²s^{0.5}’den daha büyük olduğu için “güçlü kapiler su emme gösteren” taşlar sınıfında yer almaktadır.

Çizelge 4. Andezitlerde sulu ortam cinsine göre ortalama kapiler su emme katsayıları

Zaman	dk (t)	1	3	5	10	15	30	60	480	1.440	2.880
	$\sqrt{t_i}$ (saniye ^{0.5})	7,75	13,42	17,32	24,49	30	42,43	60	169,71	293,94	415,69
Kapiler su emme (C) (kg/m ² s ^{0.5})											
Sulu ortam	Statik su	0,40	0,54	0,65	0,76	0,90	1,08	1,75	2,67	3,92	4,70
	30°C su	0,28	0,46	0,60	0,77	0,89	1,12	1,46	4,29	6,33	7,73
	40°C su	0,29	0,42	0,53	0,65	0,79	1,05	1,32	2,58	5,67	6,67
	Tuzlu su	0,50	0,67	0,77	0,90	1,03	1,25	3,11	4,09	5,56	6,75
	pH 3 su	0,78	0,98	1,35	1,54	1,88	2,20	5,18	7,23	7,83	7,85
	pH 4 su	0,40	0,59	0,96	1,19	1,39	1,67	4,89	6,88	6,88	6,88



Şekil 7. Andezitlerin sulu ortam cinsine göre kapiler su emme grafiği.



Şekil 8. Andezitlerin sulu ortam cinsine göre kapiler su emme seviyeleri.

Şekil 8'de yer alan su emme seviyelerini gösteren resimler incelendiğinde, kapiler su emme miktarı bakımından 2.880 dakika sonunda sadece asidik sulara tam su doygunluğu gerçekleşmiştir. Statik, tuzlu ve

sıcak sulara ise tam doygunluk gerçekleşmemiş olup daha fazla süreye ihtiyaç olduğu görülmektedir.

Andezitler, zeminde bulunan statik suya göre pH değeri 3 olan suda %40,13 daha fazla

kapiler su emerken, bu oran pH'ı 4 olan suda %31,69, tuzlu suda %30,37, 30°C sıcak suda %39,20, 40°C sıcak suda %29,54 olmuştur. Suyun tuzlu, asitli ve sıcak olması durumunda kapiler su emme miktarının arttığı görülmektedir. Bu durum suyun daha aktif hale gelerek, andezitler içindeki boşluk ve çatlaklara daha fazla emilim yapmasından kaynaklanmaktadır.

5 SONUÇLAR

Kapiler (kılcal) su emme, malzemenin suya temas eden yüzeyinden zamanla emilen su miktarı ile belirlenir. Su, çok küçük çaplı boşluklar içinde kılcallık etkisi ile yükselir. Suyun etkisiyle kayacın oluşmuş ayrışma ve donma etkisi gibi tahribatlar malzemenin mukavemetini etkiler. Kılcal etki ile emilen sular zamanla buharlaşırken içerdiği tuzları geride bırakarak yapılarca taşın yanı sıra, sıva ve badanayı da bozarlar, ayrıca rutubet oluşurması nedeniyle de sağlık yönünden sakıncalıdır.

Dolayısı ile kayacın su emme kapasitesi ve bünyesine giren suyun miktarı önemlidir. Bu çalışmada, Afyonkarahisar bölgesinde yapı taşı olarak kullanılan İncehisar andezitlerinin kimyasal, mineralojik ve petrografik, fiziko-mekanik ve gözenek özellikleri incelenmiştir. Bu özelliklerin yanında statik, sıcak, tuzlu ve asidik ortamlarda kılcal etkiye bağlı su emme potansiyelleri değerlendirilmiştir. Yapılan analiz ve deneyler neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

İncehisar andezitlerinin Polarizan mikroskopta incelemeleri sonucunda hornblend, plajyoklas ve piroksen mineralinden meydana geldiği belirlenmiştir. XRD analizinde ise montmorillonit gibi kil minerallerinin varlığı tespit edilmiştir.

İncehisar andezitlerinin yoğunluğu 2.729 kg/m³, toplam gözenek %19,37, ağırlıkça su emme miktarı %4,29, tek eksenli basınç dayanımı da 85,17 N/mm² olarak bulunmuştur. Andezitin gözenek boyut dağılımı, 0,01-10 µm arasında yoğunlaşmıştır. Andezitlerde kapiler gözenek oranı %80 dir.

Andezitlerin statik, sıcak, tuzlu ve asidik sulu ortamlarda kapiler su emme katsayıları

4,70 ile 7,85 kg/m²s^{0.5} arasında değişmektedir. Bu verilere göre İncehisar andezitleri, Graue vd. (2011) tarafından yapılan sınıflandırmaya göre, 3,0 kg/m²s^{0.5}'den daha büyük olduğu için "güçlü kapiler su emme gösteren" taşlar sınıfında yer almaktadır. Andezitlerde, en düşük kapiler su emme miktarı statik suda, en yüksek kapiler su emme değeri de pH değeri 3 olan suda ölçülmüştür.

Test edilen sulu ortamlarda toplam gözenekliliği %19,37 olan İncehisar andezitlerinin güçlü kapiler su emme özelliği gösterdiği belirlenmiştir. Bu özelliğinden dolayı bol sulu çevresel ve atmosferik etkileri olan dış mekanlarda sınırlı kullanılmalı veya su itici veya yüzey koruyucu kimyasal maddelerle kaplandıktan sonra kullanılmalıdır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) tarafından 17.KARİYER.57 nolu proje ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Çelik, M.Y, Kaçmaz, A.U, 2016. The investigation of static and dynamic capillary by water absorption in porous building stones under normal and salty water conditions, *Environ Earth Sci*, 75:307.
- Çobanoğlu, İ, 2015. Prediction and identification of Capillary Water Absorption Capacity of Travertine Dimension Stone, *Arab J Geosci*, 8: 10135.
- Juhász, P, Kopecskó, K, Suhajda Á, 2014. Analysis of capillary absorption properties of porous limestone material and its relation to the migration depth of bacteria in the absorbed biomineralizing compound, *Period. Polytech. Civil Eng.* (58)2, 113-120.
- Graue, B, Siegesmund, S, Middendorf, B, 2011. Quality assessment of replacement stones for the cologne cathedral: mineralogical and petrophysical requirements, *Environ Earth Sci*, 63:1799-1822.
- Hoffmann, D, Niesel, K, 1992. Pore structure of rendering as a feature of its weathering, *7th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone*, Lisbon, 611-620.
- Karagiannis, N, Karoglou, M, Bakolas, A, Moropoulou, A, 2016. Effect of temperature on

- water capillary rise coefficient of building materials, *Build. Environ*, 106:402-408.
- Karoglou, M., Moropoulou, A., Giakoumaki, A., Krokida, M.K., 2005. Capillary rise kinetics of some building materials, *J. Colloid Interface Sci*, 284:260–264,
- Klopfer, H., 1985. Feuchte. In: Lutz P et al (eds) *Lehrbuch der Bauphysik*, Teubner, Stuttgart, pp 329–472.
- Kuşçu, M., Yıldız, A., Bağcı, M., 2003. Investigation of Ağın andesite as a building stone (Iscehisar Afyon, W-Turkey). *Industrial Minerals and Building Stones, International Symposium*, İstanbul.
- Le Bas M.J, Le Maitre R.W, Woolley A.R, 1992. The construction of the total alkali-silica chemical classification of volcanic rocks, *Miner. Petrol*, 46:1-22.
- Mertz, J.D, 1991. Structures de porosité et propriétés de transport dans les grès, *Thèse de doctorat de l'Université Louis Pasteur*, Starsbourg,
- Metin, S, Genç, Ş, Bulut, V, 1987. Afyon ve yakın dolayının jeolojisi, *M.T.A. Rap. No: 8103*, Ankara.
- Moreno, F, Vilela, S.A.G, Antunes, A.S.G, Alves, C.A.S, 2006. Capillary-Rising salt pollution and granitic stone erosive decay in the parish church of Torre de Moncorvo (NE Portugal), *J. Cult. Heritage*, 7:56–66.
- Mosquera, M.J, Rivas, T, Priet, B, Silva, B, 2000. Capillary rise in granitic rocks: interpretation of kinetics on the basis of pore structure, *J. Colloid Interface Sci*, 222:41-45.
- Nicholson, D.T, 2001. Pore properties as indicators of breakdown mechanisms in experimentally weathered limestones, *Earth Surf. Processes Landforms*, 26:819-838.
- Peruzzi, R, Poli, T, Toniolo, L, 2003. The experimental test for the evaluation of protective treatments: a critical survey of the “capillary absorption index”. *J. Cult. Heritage*, 4:251–254.
- Siegesmund, S, Dürrast, H, 2011. *Physical and mechanical properties of rocks. in: stone in architecture*, 4th edition, Siegesmund S., Snethlage R. eds., Berlin: Springer, pp. 97–225,
- Tomašić, I, Lukić, D, Peček, N, Kršinić, A, 2011. Dynamics of capillary water absorption in natural stone. *Bull. Eng. Geol. Environ*, 70:673–680.
- TS EN 1936, 2010. Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri-Gerçek Yoğunluk, Görünür Yoğunluk, Toplam ve Açık Porozitelilik Tayini, *TSE*, Ankara,
- TS EN 13755, 2014. Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri-Atmosfer Basıncında Su Emme Tayini, *TSE*, Ankara,
- TS EN 14579, 2006. Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri-Ses Hızı İlerlemesinin Tayini, *TSE*, Ankara,
- TS EN 1926, 2013. Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri-Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tayini, *TSE*, Ankara,
- TS EN 1925, 2000. Doğal Taşlar- Deney metotları-Kılcal Etkiye Bağlı Su Emme Katsayısının Tayini, *TSE*, Ankara,
- Vazquez, P, Alonso, F.J, Esbert, R.M, Ordaz, J, 2010. Ornamental granites: relationship between P-waves velocity, water capillary absorption and crack network. *Constr. Build. Mater*, 24:2536-2541.
- Washburn, E.W, 1921. The dynamics of capillary flow. *Phys. Rev*, 17:273–283.

Emet (Kütahya) Yöresindeki Travertenlerin Fiziko-Mekanik Özellikleri ve Petrografik Özellikleri ile Karşılaştırılması

Comparison of travertines in Emet (Kütahya) region with their physico-mechanical properties and petrographic properties

Y. Kibici, E. Zengin, G. Yanık, C. Özkul, H. Karakuş, M. Demirbilek, İ. Aksoy, R.U. Acar

Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kütahya

ÖZET Emet (Kütahya) traverten traverten seviyeleri bir kaç santimetre - metre boyutunda kalınlığa sahiptir. Travertenler genelde kristalin - kriptokristalin kalsit, kil mineralleri ve az oranda da aragonit, dolomit, serisit, çok az miktarlarda demir minerallerinden (limonit, hematit) oluşmaktadır. Masif yapılı ve beyaz-sarı-kırmızı-turuncu renklerde olan travertenlerden alınan örnekler üzerinde petrografik incelemeler ve fiziko-mekanik deneyler yapılmıştır. Özellikle Boyut Mermer Ocağı içinde farklı basamaklarda değişimler araştırılmıştır. Kademeler arasındaki basamak yükseklikleri de 8 metre civarındadır. Halen çalışmakta olan bu traverten ocağında 4 kademedeki traverten blokları alınmıştır. Bu örneklerin fiziko-mekanik özelliklerinin tanımlanabilmesi için yoğunluk ve birim hacim ağırlık tayini, görünür gözeneklilik ve boşluk oranı tayini, ağırlık ve hacimce su emme deneyleri donma-çözülme öncesi ve sonrasındaki tek eksenli sıkışma dayanımı ile aşınma kaybı (Böhme) deneyleri de gerçekleştirilmiştir. Söz konusu traverten sahasındaki örneklerin petrografik özellikleri ve kimyasal analizleriyle fiziko-mekanik özelliklerinin ilişkisi incelendiğinde kademeler arasında önemli bir değişim olmadığı görülmüştür. Üst seviyedeki travertenlerin tabanda yer alanlara göre daha boşluklu, dolayısıyla porozitesinin de yüksek olduğu şeklinde tanımlanabilmektedir.

ABSTRACT Emet (Kütahya) travertines occur as horizontally bedded and inclined layers and range from centimetres to several metres in thickness. Travertine composed mainly of fine crystalline and cryptocrystalline calcite, clay minerals minor aragonite, dolomite, sericite, iron minerals (limonite, hematite). Petrographic determinations, and physico-mechanical experiments were carried out on specimens taken from travertines. They are massive structure and white-yellow-red-orange colored. In particular, changes in different levels within the Boyut Marble Quarry have been investigated. The step heights between the levels are also about 8 meters. Travertine blocks were taken from 4 stages in this travertine quarry which is still working. In order to determine the index properties of these samples, density and unit volume weight, apparent porosity and void ratio and water absorption tests and also to define physico-mechanic uniaxial compression tests before and after freeze-thawing cycles and Bohme abrasion loss tests were carried out. When the relationship between the petrographic properties, and the physico-mechanical properties of the specimens in the travertine area is examined, it is seen that there is no significant change between the levels. It can be defined that the upper level of the travertine is higher in porosity than in the basement level.

1. GİRİŞ

Kütahya ili sınırları içerisinde bulunan inceleme alanı; 1/25000 ölçekli Kütahya J₂₂ - A₂ - Kütahya J₂₂-A₃ paftalarında yer alan Emet ilçesi ve civarındadır (Şekil 1). İnceleme alanı içinde yer alan Emet (Kütahya) Neojen baseni Ege Bölgesi'nin doğu kısmında bulunur. K-G doğrultusunda uzanan Emet Baseni graben şeklinde olup, Batı Anadolu'daki Neojen basenlerine çok benzerlik göstermektedir. Bu basen oldukça geniş alanlarda sedimanter birimler yer alır. Basenle ilişkili graben sistemine bağlı K-G doğrultulu Emet fayı boyunca değişik periyotlarda traverten ve tufa oluşumları gözlemlenmektedir. Emet grabeninde Kuvaterner yaşlı traverten oluşumları fay sistemlerini ve buna bağlı olarak gelişen çatlak sistemlerini izleyerek çıkan termal sulara bağlı olarak gelişir (Şekil 2).

İnceleme alanı içindeki jeotermal sahalar ile bu sistemlere bağlı olarak oluşan traverten sahaları KB-GD uzanımlı Akşehir-Simav Fay Zonu'na (ASFS) ait yapısal unsurlar denetiminde gelişmiştir. Emet basenindeki travertenler, K-G fay hattı boyunca, kuzeyden güneye doğru; Boyut – Beştaş – Yeniceköy – Sefaköy ve Uyuzhamamı şeklinde 5 ayrı lokasyonda oluşmaktadır. Emet fayı yaklaşık 15 Km. uzunluğundadır. Boyut ve Beştaş traverten açık ocaklarında kalınlık 25 metre ile 40 metre arasındadır. Hem Yeniceköy hem de Sefaköy yöresinde güncel traverten oluşumları bulunmaktadır.

Bu traverten oluşumlarında farklı renk ve kalınlıklarda ve de ince karbonat laminasyonları şeklinde izlenmektedir. Bu seviyelerden petrografik inceleme amacıyla yaklaşık 120 adet traverten alınmıştır. Emet Fay hattının orta ve kuzey kısmında günümüzde çalışmakta olan 2 açık ocakta (Boyut ve Beştaş Traverten Ocağı) bulunmaktadır.

Bu araştırma kapsamında yapılan tüm bilimsel çalışmalar, Dumlupınar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Başkanlığı tarafından desteklenen BAP 2012-10 projesi kapsamında tamamlanmış çalışmanın bir kısmını içermektedir.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1 Materyal

Kütahya ilinin Emet ilçesinin sınırları içerisinde, Emet grabeninin batı kısmında ve Emet baseni içinde yaklaşık K-G doğrultulu kenar fayı boyunca yer alan ve termal kaynakların oluşumuyla ilişkili travertenlerle söz konusu travertenlerin oluşumları ve fiziko mekanik özellikleri ile ilgili araştırmalar ile travertenlerin fiziko mekanik özelliklerinin petrografik özelliklerle karşılaştırılıp denestirilmesi çalışmanın ana malzemesini oluşturur. Kütahya ili sınırları içerisinde bulunan ve yaklaşık yüz ölçümü yaklaşık 60 km² olan inceleme alanının 1/25.000 ölçekli jeolojik harita yapımı ve bu harita bilgilerine ilişkin olarak jeolojik enine kesitlerin hazırlanması çalışmanın amaç kapsamlarındadır.

2.2 Yöntem

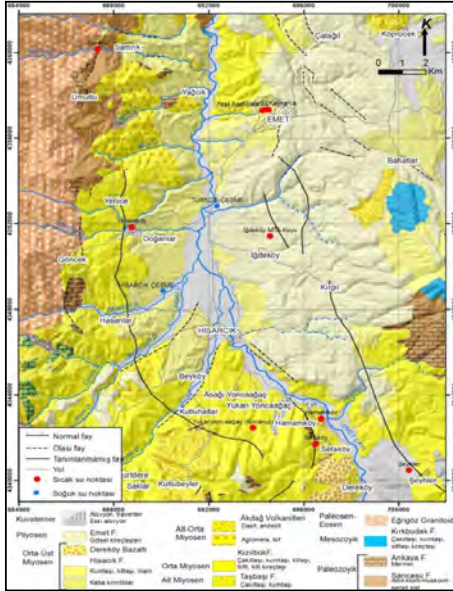
Bu araştırmanın gerçekleştirilmesinde, literatür incelemesi, arazi çalışması, laboratuvar çalışması (mineralojik ve petrografik incelemeler, fizikomekanik deneyler vb.), yorumlama ve proje yazımı olmak üzere başlıca 4 aşamadan oluşan bir çalışma düzeni izlenmiştir.

2.2.1. Literatür araştırması

İnceleme alanı ve yakın çevresi ile ilgili olarak daha önce gerçekleştirilmiş olan çalışmaların ayrıntılı literatür taraması yapılarak bildirinin yazılmasında kaynakça olarak yararlanılmış ve bu çalışmalar kaynaklar bölümünde verilmiştir.



Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru haritası (Karakuş vd. 2013)



Şekil 2. Emet ve Hisarcık ilçeleri içindeki jeotermal alanlar ve bölgenin jeoloji haritası (MTA 1/100.000 ölçekli Kütahya J22 jeoloji haritasından alınmıştır)

2.2.2 Saha çalışmaları

İnceleme alanında kuzeyden güneye doğru; Boyut, Beşaş traverten ocaqları, Yeniceköy, Sefaköy ve Uyuzhamamı - Hamamköy olmak üzere 5 ayrı lokasyonda oluşan traverten oluşumları incelenerek haritalanmış ve en tipik olan ve halen açık ocak olarak işletilen Boyut Traverten ocağından sistematik olarak örnekleme yapılmıştır.

2.2.3 Laboratuvar çalışmaları

İnceleme alanında halen açık ocak olarak işletilen Boyut traverten ocağından sistematik olarak alınan örnekler üzerinde; indeks özelliklere ilişkin deneylerle dayanım özelliklerine ilişkin deneyler yapılmıştır. Ayrıca, söz konusu bu örneklerin ince kesitleri hazırlanarak mikroskobik çalışmalar da yapılmıştır.

2.2.4. Yorumlama ve bildiri yazımı

Bu aşamada, Boyut traverten ocağından alınan örneklerin petrografik özellikleri ile fiziko-mekanik özellikleri arasında ilişki ortaya çıkarılmıştır. Bu sonuçlara göre, bölgede yüzeyleyen travertenlerin dokusal özelliklerinin yapısal özellikleri ve dolayısıyla fiziko-mekanik özellikleri ile ilişkileri karşılaştırılarak bildiri yazılımı yapılmıştır. Arazi çalışmaları ile elde edilen veriler laboratuvarda sağlanan sonuçlarla sağlanan bilimsel veriler yazılım sırasında yorumlanmıştır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

3.1. Genel Jeoloji

İnceleme alanında Neojen daha eski formasyonlar üzerinde iri taneli ve bazen çok iri blok halinde, konglomeralar ile başlayıp, kum, kil, marn, kireçtaşı, kumtaşı, marnlı kireçtaşı, silisli kireçtaşı, silis yumru ve tabakaları ve tuf ile devam etmektedir (Kalafatçıoğlu, 1964).

Emet yöresinde kayalar altta Miyosen öncesi değişik yaş ve birimlerden oluşan

temel kayalarla başlar. Üste doğru Miyosen yaşlı Taşbaşı ve Kızılıbük formasyonları ile devam ederek aynı yaşlı volkanizma ile Civanadağ tüfleri ve Akdağ volkanitleri yer alır. En üstte ise; Hisarcık, Emet ve Toklar gölü formasyonları ile Kuvaterner yaşlı birimlerden Naşa bazaltları, alüvyon ve travertenleri bulunur (Akdeniz & Konak, 1979).

İnceleme alanında volkanik kayalar ve tüfler Miyosen ve bunların üstüne gelen sedimanlar ise Pliyosen yaşlıdır. İki ayrı yaşlı birimler arasında açısız bir uyumsuzluk söz konusudur. Tersiyer ve Kuvaterner yaşlı sedimanter - volkanik kayalar ise çok geniş bir yayılım gösterir. Temeli oluşturan, Geç Kretase ve öncesi yaşlı kayalar Tersiyer yaşlı birimler tarafından açısız uyumsuzluk ile örtülmektedir (Gün vd.1979).

Emet civarında stratigrafik olarak üç birim mevcuttur. Bu birimler yaşlıdan gence doğru sırasıyla;

- Paleozoik yaşlı metamorfik kütleler,
- Bu birimlerin üzerine uyumsuzlukla oturan kireçtaşı ağırlıklı taban serisi, kırmızı seri, kilmarn-kireç taşları-tüfleri içeren boratlı seri ve örtü kireçtaşları ile volkaniklerden oluşan Neojen sedimanları,
- Uyumsuzlukla diğer birimleri örten Kuvaterner yaşlı nehir çakıltaşları ve alüvyon olarak dizilmektedir (Helvacı, 1986).

3.2 Boyut Ocağındaki Travertenlerin Petrografik Özellikleri

İnceleme alanında yüzeylenen traverten örneklerinden yapılan ince kesitler Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında Nikon Eclipse LV 100 POL marka polarizan mikroskopta incelenmiş ve fotoğraflanarak farklı koşul ve zaman dilimi içinde oluşan travertenlerin mineralojik bileşimleri ve dokusal özellikleri ortaya konmuştur. Bu makalede, sadece fiziko-mekanik özelliklere odaklanmak adına, mineralojik ve petrografik özelliklere detayına değinilmemiştir.

Ancak, travertenlerin mineralojik ve petrografik özelliklerinin fiziko-mekanik özellikleri denetlemesi ele alınmıştır. Bu bildiri metninde, petrografik incelemelerde sadece, Boyut traverten ocağı içindeki seviyelerden alınan travertenlerden yapılan ince kesitlerin determinasyonuna yer verilmiştir.

İnceleme alanında laminalı kristalin kabuğu oluşturan asiküler liflerin petrografik incelemelerinde Braithwaite (1979)'un belirttiği şekilde mikritik karakterli olduğu izlenmiştir. Mikritik kümeler, benekli doku (çalı tipi) içerisinde çok yaygındır. Bulanık yapıli mikritler, spar kristalleri üzerinde gelişmişlerdir (Şekil 3). Tümüyle öz şekilsiz olup bir kaç mikron boyunda mikritik tanelerden meydana gelmişlerdir.

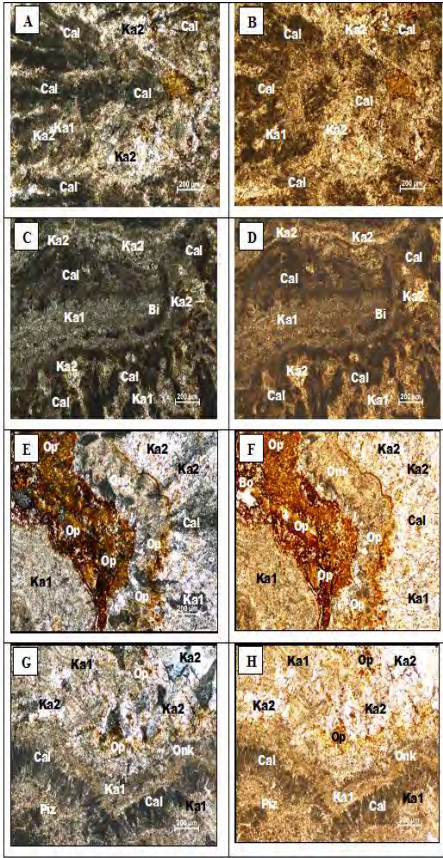
Chafetz ve Folk'a göre (1984) çalı düzeyleri bakterilerin çiçeklendiği, büyüdüğü bahar ve yaz dönemlerini, buna karşılık mikritik düzeyler ise büyümenin durduğu kış dönemlerini temsil eder. Bakteriyel kökenli çalı travertenleri günlük sıcaklık değerlerinin üzerinde ısınmış sulardan çökelmiştir.

Traverten ince kesitlerin çoğunda yukarı doğru genişleyen koyu renkli, mikritik çalı şekilleri gözlenir. Bu çalıların arasındaki boşluklar sekonder olarak meydana gelmiş spari kalsitle doldurulmuştur (Şekil 3).

Bu özellik travertenlerin fizikomekanik özelliklerini direkt olarak etkilemektedir. Bazı travertenlerin ince kesitlerde ise koyu renkli mikritik zeminler içerisinde adacıklar veya yamalar şeklinde benekli bir doku oluşturur.

Benekli doku sunan çalı travertenleri içerisinde masif ve gevşek yapıli mikrit ayrılmıştır. Yaygın olarak bakteriyel çalılarından büyüktür. Kaba spar içinde küçük mikrit bantları şeklindedir.

İnceleme alanımızdaki traverten oluşumunda bu çalı tiplerinden bakteriyel çalılar, kristal çalı tipi gözlenmiştir. Işınal çalılara optik incelemelerde rastlanılmamıştır.



Şekil 3. Boyut Traverten Ocağını Ait Örneklerin Polarizan Mikroskopta Görünüşü

Örnek no: Boyut 1A (A, B), Boyut 1B (C, D),
Boyut 8/2 (E, F), Boyut 8/3 (G, H),

3.3 Boyut Ocağındaki Travertenlerin Fiziko-mekanik Özellikleri

Travertenler hem mühendislik projelerinde hem de sanayiye bazlı üretim ve kaplama malzemesi olarak günümüzde çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Her iki amaç göre de travertenlerin sınıflandırılması hem kaya mekaniğinin hem de bununla ilgili olan uygulamaların en önemli girdi parametrelerinden birisi olarak ön plana çıkmaktadır. Kayaçların mineralojik ve petrografik özelliklerinin belirlenmesi, sınıflandırılması ve daha sonrasında ise

indeks ve dayanım parametrelerinin tayin edilmesi gerekmektedir.

Bu amaçla ilgili proje kapsamında yapılan arazi çalışmaları sırasında ASTM (American Society for Testing and Materials), ISRM (International Society for Rock Mechanics) ve TS (Türk Standartı) standartlarında yer alan indeks ve dayanım testlerine uygun olacak şekilde Emet (Kütahya) bölgesinde halen üretim yapılan Boyut traverten ocağının tabanından tavanına doğru 4 basamak halinde açılan basamak seviyesinden (yüksekliği 8 metre olan) temsil edici düzeyde örnek alınmıştır (Şekil 4).

Alınan bu örnekler testlerde kullanılmak üzere 50 x 50 mm boyutlarında olacak şekilde kesilmiştir. Laboratuvar çalışmaları kapsamında hazırlanan örnekler üzerinde aşağıda listesi verilen deneyler yapılmış ve temsili her örneğin incekesitleri yapılarak polarizan mikroskopta incelenmiştir.

- *İndeks özelliklere ilişkin deneyler;* Yoğunluk ve birim hacim ağırlık tayini (Kuru yoğunluk ve birim hacim ağırlık), Görünür gözeneklilik ve boşluk oranı tayini, Ağırlıkça ve su emme yüzdesi (Çizelge 1).

- *Dayanım özelliklerine ilişkin deneyler;*

Tek eksenli sıkışma dayanımı, Tek eksenli sıkışma dayanımı (Donma-Çözülme sonrası), Aşınma kaybı (Böhme) deneyi (Çizelge 2).

Çizelge 1'de ve Şekil 5'de verilen değerler incelendiğinde tabandan tavana doğru, 1-4. kademeler arasındaki yoğunluk ve birim hacim ağırlık değerlerindeki azalış yönündeki değişim görülmektedir. Yine, elde edilen veriler incelendiğinde seviyeler arasındaki gözeneklilik ve boşluk oranı değerleri arasında tabandan tavana doğru artış eğilimi görülebilmektedir. Ancak 2. kademede bazı kesimlerde değer artışı da görülmektedir. Bu durum Yoğunluk ve Birim Hacim Ağırlık değerleri ile de uyum sağlamaktadır. 4 kademeye ait olan Ağırlıkça ve Hacimce Su Emme oranlarındaki değişim incelendiğinde

1. kademedan elde edilen ağırlıkça ve hacimce su oranlarının 4. kademeye doğru arttığı görülmektedir.

Örnekleme yapıldığı 4 farklı kademenin temsil edici tek eksenli sıkışma dayanımı parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle her seviyeden tabakalanma düzlemine paralel ve dik olacak şekilde 20 adet örnek (Toplam 80 örnek) üzerinde 100 ton kapasiteli bilgisayar kontrollü hidrolik pres kullanılarak travertenler üzerindeki deneyler gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca travertenlerin donma-çözülme çevrimleri sonucundaki dayanımlarındaki değişim ile ilgili fikir edinebilmek amacıyla yine aynı sayıda örnek 26 donma-çözülme çevrimi sonrasında tek eksenli sıkışma deneyine tabi tutulmuştur (*Toplam 80 örnek*).

Doğal koşullardaki deney örnekleri ile 26 adet donma-çözümeye çevrimi sonrasında deneye tabi tutulan örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımlarına ilişkin veriler *Çizelge 2*, *Şekil 6*'da verilmiştir.

Aşınma kaybı değerlerinin tayini için her seviyeye ait örneklerin aşınma parametrelerinin belirlenmesi amacıyla *Böhme metodu* kullanılmıştır.

Her seviyeden 3'ü tabakalanma eksenine paralel ve 3'ü de tabakalanma eksenine dik olarak deneye tabi tutulacak 6 adet kullanılmıştır.

Örneklerin aşınma özelliklerine ilişkin deney sonuçları *Şekil 6*'da görülmektedir. 1. ve 4. kademede aşınma kaybı değerleri artış gösterirken 2. ve 3. seviyede azalmaktadır.

Boyut Mermer A.Ş. traverten sahasındaki örneklerin mineralojik ve petrografik özellikleriyle Fiziko-mekanik özelliklerinin ilişkisi incelendiğinde kademeler arasında önemli bir değişim olmadığı görülmüştür. Diğer bir deyişle; ocak taban ve tavanında yer alan travertenler bazı boşlukları içermesine karşın, önemli bir dokusal değişiklik göstermemektedir.

Bölgede yapılacak olan ilave çalışmalarda yapılan sondaj karot örnekleri üzerinde de fiziko-mekanik deneylerle mineralojik ve petrografik özelliklerin mikroskobik incelemelerinin yapılması planlanmaktadır.

İlerleyen dönemlerde ihtiyaç duyulması halinde örneklerin diğer dayanım özelliklerinin belirlenmesi amacıyla çalışma bölgesinden blok boyutunda örneklerin alınması ve laboratuvar ortamında uluslararası standartlara uygun olacak şekilde karot (*silindirik*) örneklerin temin edilerek deneylerin yapılması da planlanmaktadır.

Çizelge 1. Boyut traverten ocağı örneklerinin **indeks özellikleri** tabloları

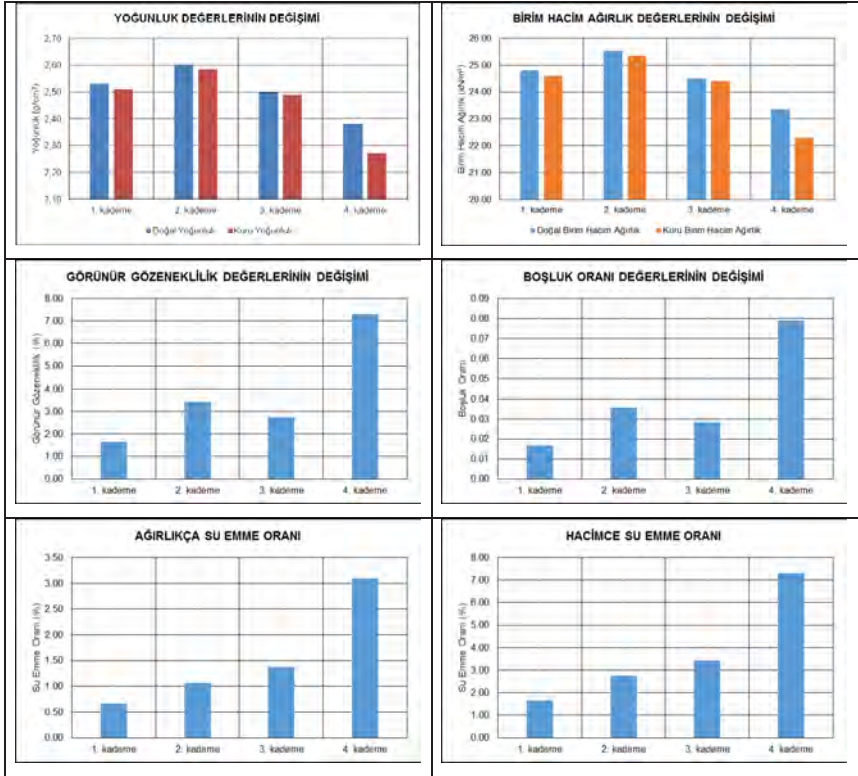
Örnek seviyesi	Örnek sayısı	Yoğunluk (g/cm^3)			Kuru yoğunluk (g/cm^3)		
		En az	En yüksek	Ortalama	En az	En yüksek	Ortalama
1	5	2,49	2,57	2,53	2,47	2,55	2,51
2	5	2,43	2,52	2,48	2,41	2,50	2,46
3	5	2,48	2,50	2,52	2,47	2,51	2,49
4	5	2,33	2,43	2,38	1,84	2,42	2,27
Örnek seviyesi	Örnek sayısı	Birim Hacim Ağırlık (kN/m^3)			Kuru birim hacim ağırlık (kN/m^3)		
		En az	En yüksek	Ortalama	En az	En yüksek	Ortalama
1	5	24,39	25,22	24,81	24,22	24,97	24,61
2	5	23,85	24,72	24,28	23,68	24,56	24,12
3	5	24,33	34,74	24,50	24,23	24,65	24,41
4	5	22,85	23,84	23,36	22,87	23,82	23,36
Örnek seviyesi	Örnek sayısı	Gözeneklilik (%)			Boşluk oranı		
		En az	En yüksek	Ortalama	En az	En yüksek	Ortalama
1	5	1,01	2,20	1,16	0,01	0,02	0,02
2	5	1,66	3,70	2,75	0,02	0,04	0,03
3	5	2,89	4,12	3,44	0,03	0,04	0,04
4	5	5,48	8,86	7,31	0,06	0,10	0,08
Örnek seviyesi	Örnek sayısı	Ağırlıkça Su Emme (%)			Hacimce Su Emme (%)		
		En az	En yüksek	Ortalama	En az	En yüksek	Ortalama
1	5	0,40	0,89	0,66	1,01	2,20	1,66
2	5	0,66	1,53	1,07	1,66	3,70	2,75
3	5	1,16	1,66	1,38	2,89	4,12	3,44
4	5	2,26	2,75	3,09	5,48	8,86	7,31

Çizelge 2. Boyut traverten ocağı örneklerinin *dayanım özellikleri* tabloları

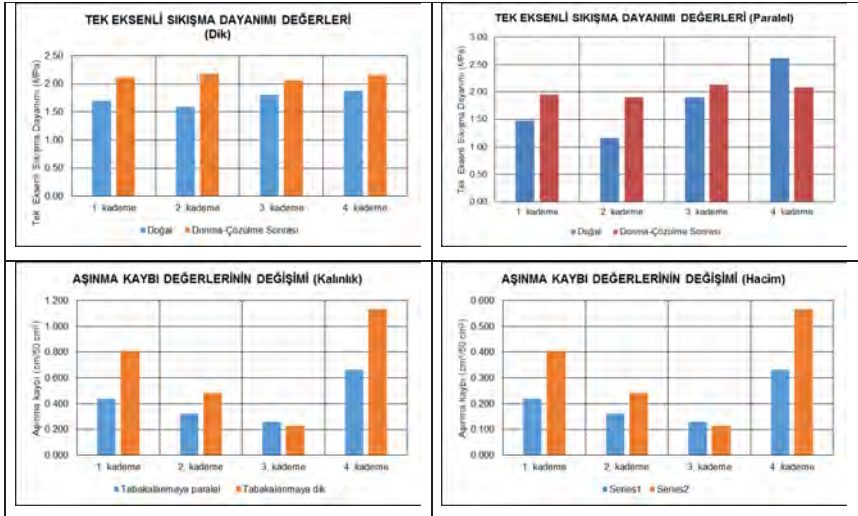
Örnek seviyesi	Örnek sayısı	Tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa)			Tek eksenli sıkışma dayanımı (Donma-Çözülme çevrimleri sonrası) (MPa)		
		Tabakalanma düzlemine dik			Tabakalanma düzlemine dik		
		En az	En yüksek	Ortalama	En az	En yüksek	Ortalama
1	10	0,75	2,68	1,88	1,37	2,62	2,16
2	10	1,22	2,13	1,80	1,42	2,54	2,06
3	10	0,94	2,03	1,59	1,50	3,04	2,19
4	10	1,40	1,95	1,70	1,40	2,59	2,12
Örnek seviyesi	Örnek sayısı	Tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa)			Tek eksenli sıkışma dayanımı (Donma-Çözülme çevrimleri sonrası) (MPa)		
		Tabakalanma düzlemine paralel			Tabakalanma düzlemine paralel		
		En az	En yüksek	Ortalama	En az	En yüksek	Ortalama
1	10	2,05	3,05	2,62	1,48	2,78	2,08
2	10	1,42	2,48	1,90	1,67	2,31	2,13
3	10	0,65	1,68	1,17	1,30	2,54	1,90
4	10	0,93	1,77	1,47	1,31	2,82	1,95



Şekil 4. Boyut traverten ocağındaki basamak (seviye) görünümü



Şekil 5. Boyut Traverten ocağı örneklerinin *indeks özellikleri* diyagramları



Şekil 6. Boyut traverten ocağı örneklerinin *dayanım özellikleri* diyagramları

4. SONUÇLAR

- İnceleme alanında, K-G doğrultulu Emet fayı boyunca traverten ve tufa oluşumları görülmektedir. Traverten oluşumu, Emet fayı ile oluşan çatlaklardan çıkan termal sular ile ilişkili olarak gelişir.
- İnceleme alanındaki travertenlerin mineralojik ve petrografik özellikleri göz önüne alındığında traverten oluşumunda bakteriyel çalılar, kristal çalı tipi gözlenmiştir. İşınsal çalılar gözlenmemektedir.
- Demir içeren örnekler renklenme bakımından da diğerlerine göre farklılık göstermekte, sarı - kırmızı - kırmızı/sarı - kırmızı kahverengi tonlarda bir renk kazanmaktadır. Bu görüntüler özellikle Beştaş ve Boyut Mermer ocaklarında, işletme aynalarında, izlenebilmektedir.
- *Yoğunluk* (Doğal yoğunluk /kuru yoğunluk) ve *Birim Hacim Ağırlık Deneyleri* (Doğal Birim Hacim Ağırlığı/ KuruBirim Hacim Ağırlığı) değerleri incelendiğinde kademeler arasındaki yoğunluk ve birim hacim ağırlık değerlerindeki artış yönündeki değişim görülmektedir.
- *Görünür Gözeneklilik ve Boşluk Oranı* belirlenmesi için yapılan deney sonuçları incelendiğinde; kademeler arasındaki gözeneklilik değerlerinde artış ve boşluk oranı değerleri arasında tabandan tavana doğru (1-4. kademe arasında) artma eğilimi görülebilmektedir. Ancak 2. Kademede bazı kesimlerde değer artışı da belirgindir.
- *Ağırlıkça ve Hacimce Su Emme Yüzdesi* deneylerinden sağlanan sonuçlara da bakıldığında 1. kademeden elde edilen ağırlıkça ve hacimce su oranlarının 4. kademeye doğru arttığı görülmektedir.
- *Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı, Aşınma kaybı* değerlerinin belirlenmesi (*Kalınlık/Hacim*) deneylerinde görüleceği üzere, 1.ve 4. kademede aşınma kaybı değerleri artış gösterirken 2. ve 3. kademede azalmaktadır.

- Travertenin etkileyen parametrelerin tamamen oluşum süreci ve koşullarından fiziksel olarak etkilendiğini göstermiştir. Bu nedenle tavandaki travertenlerin tabanda yer alanlara göre daha boşluklu, dolayısıyla porozitesinin de yüksek olduğu şeklinde tanımlanabilir.

5. KAYNAKLAR

- Akdeniz, N. ve Konak, N., 1979. Simav-Emet-Dursunbey-Demirci Yörelerinin Jeolojisi. *MTA Raporu No. 6547*, 108 sahife, Ankara.
- Atabey, E., 2003. *Tufa ve Traverten*, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, No: 75, 106 s. Ankara.
- Braithwaite, C.J.R., 1979. Crystal Textures of Recent Fluvial Pisolites and Laminated Crystalline Crusts in Dyfed, South Wales. *J. Sed. Petrol.*, 49, 181-194.
- Chafetz, H. S. & Folk, R. L., 1984. Travertines, Depositional Morphology and the Bacterially Constructed Constituents. *Journal of Sedimentary Petrology*, 54, 289-316.
- Doğan., N., 2015. Emet-Hisarçık (Kütahya) Yöresi Travertenlerinin Jeolojisi, Petrografisi ve Jeokimyası, *DPÜ, Fen Bilimleri Ens. Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*, 311 sahife, Kütahya, (yayımlanmamış).
- Guo, L. & Riding, R., 1998. Hot Spring Travertine Facies and Sequence Late Pleistocene, Rapolano Terme, *Sedimentology*, 45, 163-180, Italy.
- Gün, H. Akdeniz, N. & Günay, E., 1979. Gediz ve Emet Güneyi Neojen Havzalarının Jeolojisi ve Yaş Sorunları, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, Sayı: 8, ss: 3-13, Ankara.
- Helvacı, C., 1986. Emet borat yataklarının kökeni ve jeokimyası, *Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Seri A-Yerbilimleri - C: 3*, s. 1, 49-73.
- İlhan, A., 2006. Emet ve Hisarçık (Kütahya) Cıvırı Bor Yataklarının mineralojik ve Jeokimyasal İncelemesi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens. Jeoloji Müh. Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, (Yayımlanmamış).
- Kalafatçıoğlu, A., 1964. Balıkesir-Kütahya Arasındaki Bölgenin Jeolojisi, *M.T.A. Enstitüsü Rapor No: 282*, Ankara. (yayımlanmamış).
- Karakuş, H., 2013. Kütahya İl Sınırları İçindeki Jeotermal Alanların Jeokimyasal ve İzotopik Yöntemlerle Deneyilmesi, *Dumlupınar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri, Proje No 2012-7*, 46 sahife, Kütahya, (yayımlanmamış).

- Kibici, Y., 2012. Emet (Kütahya) Travertenlerinin Mineralojik, Petrografik ve Jeokimyasal Özelliklerinin Araştırılması ve Fizikomekanik Özellikleri İle İlişkisi, *Dumlupınar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (BAP, 2012-10)*, 136 sahife, Kütahya. (yayımlanmamış).
- Kökçü, M., 2007. Melikşah Kuzeyi (Ankara-Çubuk) Pliyosen Yaşlı Yapı Taşlarının Petrografik ve Mineralojik Özellikleri, *Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens. Jeoloji Müh. Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*, Ankara, (Yayımlanmamış).
- Özkul, C., 2008. Emet (Kütahya) Neojen Havzası Bor Prospeksiyonu: Hedef Sapmada Jeokimyasal Yöntem Geliştirme, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, Kocaeli, (Yayımlanmamış).
- Özkul, M., Alçiçek, M. C., Heybeli, H., Semiz, B., Erten, H., 2001. Denizli Sıcak su Travertenlerinin Depolanma Özellikleri ve Mermercilik Açısından Değerlendirilmesi, *Türkiye III. Mermer Sempozyumu "Mersem 2001" Bildiriler Kitabı*, ss: 57-72, Afyon.
- Özkul, M., Varol, B., Alçiçek, M.C., 2002. Denizli Travertenlerinin Petrografik Özellikleri ve Depolanma Ortamları, *MTA Dergisi*, Sayı: 125, ss: 13-29, Ankara.
- Pentecost, A., 1990. The formation of Travertines Shrub: Mammoth Hot Spring, Wyoming. *Geol. Mag.*, (127), 159-168.
- Pentecost, A., 2005. Travertine, *Springer, ISBN-10 1-4020-3523-3 ISBN-13 978-1-4020-3523-4*, London, United Kingdom.
- Pentecost, A., 2005. Travertine. *Kluwer Academic Pub., Science & Technology*, 445p.
- Polat, S., 2011. Türkiye'de Traverten Oluşumu, Yayılış Alanı ve Korunması, *Marmara Coğrafya Dergisi*, sayı: 23, ss: 389 - 428, İstanbul.
- Üstün, H., 2008. Hisarcık (Emet-Kütahya) Güneyinin Neojen Stratigrafisi, *Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Jeoloji Müh. Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*, Adana, (Yayımlanmamış).
- Yükünç, M., 2007. Hisarcık (Kütahya) Çevresindeki Neojen Birimlerinin Stratigrafisi, Mineralojisi, Petrografisi ve Jeokimyası, *Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens. Yüksek Lisans Tezi*, İzmir, (Yayımlanmamış).

Mersin/Erdemli Bölgesindeki Mermer Ocaklarının Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Evaluation of Physical-Mechanical Properties of Marble Quarry in Mersin/Erdemli Area

A. C. Özdemir

Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana

ÖZET Doğal yapı taşları tarih boyunca insan hayatında farklı amaçlar için kullanılmıştır. Doğal yapı taşlarının en çok bilinen türü mermerdir. Mermer metamorfik bir kayaç olup kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşlarının ısı ve basınç altında başkalaşıma uğrayarak kristalleşmesiyle oluşmaktadır. Ticari anlamda ise parlatıldığı zaman iyi cila kabul ederek göze güzel görünen her türlü kayaç mermer olarak kabul edilir. Ancak, doğada bulunan her mermer farklı fiziko-mekanik özelliklere sahiptir. Bundan dolayı, bu özelliklerine göre mermerlerin kullanım alanları değişmektedir.

Bu çalışmanın amacı, Mersin/Erdemli bölgesinde bulunan mermer ocaklarının fiziko-mekanik özelliklerinin araştırılması ve kaplama taşı olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesidir. Bu çalışma kapsamında 3 farklı mermer sahasından alınan mermer numuneleri üzerinde TSE standartlarına uygun deneyler yapılmıştır ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

ABSTRACT Natural building stones have been used for different purposes in human life throughout history. The most well-known type of natural building stones are marble. Marble is a metamorphic and is formed by crystallization of limestone and dolomitic limestones under heat and pressure by metamorphism. In commercial sense any kind of rock that looks good on the surface by accepting good lacquer when it is polished is accepted as marble. However, every marble found in nature have different physic-mechanical properties. Therefore, according to these properties the usage areas of marble are changing.

The aim of this study is to investigate the physical-mechanic properties of the marble quarries in Mersin/Erdemli region and determine their usability as a covering stone. In this study, experiments were carried out on the marble samples taken from 3 different marble areas in accordance with TSE standards and the results obtained were evaluated.

1 GİRİŞ

Doğal yapı taşlarının geçmişten günümüze insanoğlunun yaşamında önemli bir malzeme olduğu bilinen bir gerçektir. Geçmişte binaların, anıtların, kırıların ve sarakların

yapımında yoğun bir şekilde kullanılmıştır. Günümüzde ise, tarihi eserlerin restorasyon işlemlerinde, yapıların döşeme ve kaplamalarında, binaların iç ve dış mekânlarında, çevre düzenlemelerinde, yaya yolu ve kaldırımlarda yaygın bir şekilde

kullanılmaktadır (Vardar, 1990; Demir v.d., 2006).

Mermer, doğal yapı taşlarının en yaygın kullanılan ve en çok bilinen türüdür. Genel olarak parlatılabilen tüm kayalar mermer olarak tanımlanmaktadır. Ancak, mermerler oluşum mekanizmaları ve çevresel faktörlerden dolayı fiziko-mekanik özellikleri açısından farklılık gösterebilmektedirler. Bu durum birçok kullanım alanı olan mermerler için oldukça dikkat edilmesi gereken bir konudur. Ayrıca, ocak ve fabrikalardaki üretim verimliliği açısından önemli rol oynamaktadır. Bu nedenle, mermer ocaklarının değerlendirilmesinde fiziko-mekanik özelliklerinin belirlenmesi zorunluluk haline gelmektedir. TSE standartları doğrultusunda gerçekleştirilecek olan bir dizi deney sonucunda mermer numunesinin fiziko-mekanik özellikleri hakkında bilgiler elde edilebilmektedir (Tonçer, 2005).

Bu çalışmanın amacı, Mersin/Erdemli yöresinde faaliyet gösteren 3 farklı mermer ocağından alınan numunelerin fiziko-mekanik özelliklerinin araştırılması ve kaplama taşı olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesidir. Deney numunelerine TSE standartlarına uygun şekilde deneyler uygulanmış olup elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

1.1 Çalışma Sahası Hakkında Genel Bilgi

Bu bölgeye ait jeolojik haritadan, mermer alanı olarak kullanılabilir masif kireçtaşlarının Jurasik döneme ait yer yer dolomitik özellikteki karbonatlar olduğu anlaşılmaktadır.

Çalışma sahası olarak Türkiye'nin mermer ocağı bakımından zengin bölgelerinden birisi olan Akdeniz bölgesinde yer alan Mersin İline bağlı Erdemli İlçesi seçilmiştir. Çalışma alanına ait yerbulduru haritası Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1 Çalışma sahası yerbulduru haritası

2 FİZİKO-MEKANİK ÖZELLİKLERİN BELİRLENMESİ

2.1 Özgül Ağırlık

Özgül ağırlık deneyi, bir kayacın bağıl (boşlukları ihmal edilmiş) yoğunluğunu hesaplamak için yapılmaktadır. Özgül ağırlığın belirlenmesi için birden fazla yöntem bulunmaktadır. Ancak yaygın olarak piknometre deney yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde, deney numunesi 0,2 mm'lik elekten geçecek şekilde öğütülür ve sabit ağırlığı gelene kadar 105°C sıcaklıkta etüvde kurutulur. Daha sonra oda sıcaklığına ulaşıncaya kadar desikatörde bekletilir. Deney numunesi hazırlandıktan sonra öncelikle boş piknometre ağırlığı tartılır, daha sonra piknometrenin 4/3'lük kısmı deney numunesi ile doldurulur ve bu şekilde tartım yapılır. Sonrasında numune ile dolu olan piknometrenin içerisinde saf su doldurulur ve tekrar tartım alınır. Son olarak piknometre boşaltılıp temizlenir ve sadece saf su ile doldurulur ve tartım alınır. Bu işlemlerden sonra Eşitlik (1) kullanılarak özgül ağırlık değeri hesaplanır (TS EN 1097-6). Deney sonrası elde edilen ortalama özgül ağırlık değeri Çizelge 1'de verilmiştir.

$$G_s = \frac{(W_2 - W_1)}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)} \quad (1)$$

W_1 = Boş piknometre ağırlığı

W_2 = Piknometre + numune ağırlığı

W_3 = Piknometre+ numune + su ağırlığı

W_4 = Piknometre + su ağırlığı

G_s = Özgül Ağırlık

Çizelge 1. Özgül ağırlık değerleri.

Numune No	Özgül Ağırlık
1	2.68
2	2.71
3	2.67
Ortalama	2.69

2.2 Ağırlıkça Su Emme Oranı

Bu deney, bir kayacın kütlece bünyesinde tutabildiği su miktarını ölçmek için

uygulanır. Deney numuneleri sabit tartıma gelinceye kadar 105°C sıcaklıkta etüvde kurutulur. Sabit tartıma gelen deney numunesi hassas terazide tartılarak kuru ağırlığı belirlenir. Daha sonra deney numunesinin tüm yüzeyleri su ile temas edilecek şekilde su dolu kabın içerisine bırakılır. Yaklaşık 48 saat süre su içerisinde bekletildikten sonra sudan çıkarılır, hafifçe yüzey üzerindeki ıslaklık alınır ve aynı hassas terazi ile tartılarak suya doymuş ağırlığı belirlenir. Elde edilen veriler Eşitlik (2)'de yerine koyularak ağırlıkça su emme değeri hesaplanır (TS EN 13755). Gerçekleştirilen deney sonucu hesaplanan Ağırlıkça Su Emme Oranı değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.

$$A_w = \frac{W_d - W_k}{W_k} \times 100 \quad (2)$$

W_d = Numunenin doymuş ağırlığı (gr)

W_k = Numunenin kuru ağırlığı (gr)

A_w = Ağırlıkça su emme oranı değeri (%)

Çizelge 2. Ağırlıkça Su Emme Oranı değerleri.

Numune No	Ağırlıkça Su Emme Oranı (%)
1	0.57
2	0.56
3	0.59
Ortalama	0.57

2.3 Yoğunluk

Bu deney ile kayacın numunesinin yoğunluk değeri hesaplanmaktadır. Deney numunesi 105°C sıcaklıkta etüvde kurutulduktan sonra hassas terazide tartımı yapılarak kütlesi belirlenir. Daha sonra deney numunesinin hacmi hesaplanır. Elde edilen değerler Eşitlik (3)'de yerine koyularak yoğunluk değeri hesaplanır (TS 699). Deneylerden elde edilen yoğunluk değerleri Çizelge 3'de verilmiştir.

$$\rho = \frac{W}{V} \quad (3)$$

W= Numune kütlesi (gr)
V= Numune hacmi (cm³)
ρ= Yoğunluk (gr/cm³)

Çizelge 3. Yoğunluk değerleri.

Numune No	Yoğunluk (gr/cm ³)
1	2.55
2	2.58
3	2.57
Ortalama	2.57

2.4 Görünür Porozite

Porozite kayaçların fiziksel özelliklerinden birisidir ve boşluk oranını ifade etmektedir. Porozite deneyi yapılırken deney numunesinin sırası ile doymuş haldeki ağırlığı, sabit tartıma gelinceye kadar kurutulmuş ağırlığı ve doymuş halde su içindeki ağırlığı hesaplanır. Eşitlik (4) kullanılarak deney numunesinin porozite değeri hesaplanır (TS 699). Gerçekleştirilen deneyler sonucunda belirlenen görünür porozite değerleri Çizelge 4'te verilmiştir.

$$P_g = \frac{G_d - G_k}{G_d - G_{ds}} \times 100 \quad (4)$$

G_d= Numunenin doymuş ağırlığı (gr)
G_k= Numunenin kuru ağırlığı (gr)
G_{ds}= Numunenin doymuş halde ağırlığı (gr)
P_g= Numunenin görünür porozite değeri (%)

Çizelge 4. Görünür porozite değerleri.

Numune No	Görünür Porozite (%)
1	1.61
2	1.46
3	1.56
Ortalama	1.54

2.5 Sertlik

Sertlik, mermer işletmeciliğinde ocaktan atölyeye kadar her aşamada oldukça önemli bir parametredir. En yaygın kullanılan sertlik belirteci ise Mohs sertlik cetvelidir. Mohs sertliği, mineral sertliği olarak tanımlanır. Sertlik tayini shore sclereskop test cihazı kullanılarak yapılmıştır. Deney numunesi üzerine farklı noktalarda 22 vuruş yapılmış olup bu değerlerin ortalaması alınarak shore sertlik değeri belirlenmiştir. Deney numuneleri üzerinde TS 6809 standardı doğrultusunda gerçekleştirilen deney sonucunda numunelerin ortalama Shore ve Mohs sertlikleri belirlenmiştir (Çizelge 5).

Çizelge 5. Sertlik değerleri.

Numune No	Shore	Mohs
1	57	4
2	58	4
3	55	4
Ortalama	57	4

2.6 Sürtünme İle Aşınma Kaybı

Aşınma dayanımı, kayaç yüzeyindeki aşındırıcı maddelerin oluşturduğu aşınmaya karşı gösterilen direnç olarak tanımlanmaktadır. Sürtünme ile aşınma kaybı testi Böhme aşındırma cihazı ile yapılmaktadır. Bu deneyde 30 devir/dk. ± 1 devir/dk hızla dönebilen yaklaşık 750 mm çapında yatay olarak yerleştirilmiş döner bir aşındırma diskisi bulunmaktadır. Numuneye dönen disk üzerinde belirli bir kuvvet uygulayan donanım, yüzey aşındırıcı olarak kullanılmaktadır. Sürtünme ile aşınma kaybı deneyi için kenar uzunlukları 71 mm ± 1,5 mm olan küp numuneler hazırlanmıştır. Deneyde yaklaşık 20 gr zımpara tozu (korundum) sürtünme şeridi üzerine serpilir ve çelik manivela aracılığı ile 294 ± 3 N ile yüklenir. 22 devir sonunda otomatik olarak duran disk üzerinden zımpara tozu ve numune atıkları temizlenir. Numune düşey eksen etrafında 90° çevrilir. Her numune için 22 devirden oluşan deney 16 defa tekrarlanır. Deney numunesi iyice

temizlendikten sonra numune hassas terazide tartılır. Eşitlik (5) kullanılarak toplam hacim kaybı hesaplanır (TS 699). Deney sonucu elde edilen Böhme aşınma kaybı değerleri Çizelge 6'da verilmiştir.

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\rho} \quad (5)$$

ΔV = Toplam hacim kaybı (cm³)

Δm = Toplam ağırlık kaybı (gr)

ρ = Numune yoğunluğu (gr/cm³)

Çizelge 6. Böhme Aşınma Kaybı değeri.

Numune No	Böhme Aşınma Kaybı (cm ³)
1	11.01
2	10.83
3	10.91
Ortalama	10.92

2.7 Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Kayaçların düşey yönde üzerine gelen yük karşısında kırılmaya karşı gösterdikleri direnç tek eksenli basınç dayanımlarıdır. Deney numunesi, tek eksenli basınç dayanımının belirlenmesi için küp veya silindir (boy/çap oranı= 2-2,5) olacak şekilde hazırlanmalıdır. Hazırlanan deney numunesinin yüzey alanı ölçüldükten sonra hidrolik baskı makinesi yardımıyla düşey yönde kuvvet uygulanır ve numunenin kırılma yükü kayıt altına alınır. Deney numunesinin kırılma yükünün yüzey alanına oranı tek eksenli basınç dayanımı değerini verir (TS EN 1926). Tek eksenli basınç dayanımı deneyi sonucu hesaplanan değerler Çizelge 7'de verilmiştir.

$$\sigma_b = \frac{F}{A} \quad (6)$$

F= Numunenin kırılma yükü (kgf)

A= Numunenin yüzey alanı (cm²)

σ_b = Tek eksenli basınç dayanımı (kgf/cm²)

Çizelge 7. Tek eksenli basınç dayanım değerleri.

Numune No	Tek Eksenli Basınç Dayanımı	
	(kgf/cm ²)	(MPa)
1	512.37	50.25
2	498.66	48.90
3	527.27	51.71
Ortalama	512.77	50.29

2.8 Darbe Dayanımı

Darbe dayanımı, kayaçların belirli bir doğrultuda darbelere karşı gösterdikleri direnç olarak tanımlanmaktadır. Bu deney, deney numunesinin koyulduğu numune yuvası ve darbe yükünü oluşturacak çelik tokmaktan oluşan, darbe dayanımı deney düzeneği kullanılarak yapılmaktadır. Deneyde standartlara uygun olarak kesilip hazırlanan 4x4x4 cm ebatlı küp numuneler kullanılmaktadır. Eşitlik (7)'den çelik tokmağın ilk düşme yüksekliği (H) hesaplanır.

$$H = 0.04xV \quad (7)$$

H= Tokmağın düşme yüksekliği (cm)

V= Deney numunesinin hacmi (cm³)

Birinci darbeden sonraki her darbeye düşme yüksekliği, bir önceki yüksekliğin ilk düşme yüksekliği (H) kadar artırılması ile bulunur. Deney numunesi kırılıncaya kadar bu işlem her seferinde tekrar ettirilir. Deney numunesinin kırıldığı andaki darbe sayısı not edildikten sonra Eşitlik (8) kullanılarak deney numunesinin darbe dayanım değeri hesaplanır (TS 699). Çalışma sırasında deney numunelerine uygulanan darbe dayanımı deneyinden elde edilen sonuçlar Çizelge 8'de verilmiştir.

$$D_n = nx(n+1) \quad (8)$$

n= Kırılmanın gerçekleştiği darbe sayısı

D_n= Darbe dayanımı (kgcm/cm³)

Çizelge 8. Darbe dayanımı değerleri.

Numune No	Darbe Dayanımı	
	(kgf/cm ²)	(MPa)
1	30	2.94
2	30	2.94
3	20	1.96
Ortalama	27	2.62

2.9 Eğilme Dayanımı

Standart boyutlardaki plaka numunelerin belirli doğrultuda kırılmaya karşı gösterdikleri direnç eğilme dayanımı olarak bilinmektedir. Eğilme dayanımını belirlemek için, blok halinde gelen deney numunesi kaba taş kesme makinesi ile plaka şeklinde 5x10x20 cm ebatlarında kesilerek hazırlanmıştır. Deney numunesi, eğilme dayanımı cihazında bulunan mesnetler üzerine yerleştirilir ve numune üzerine kademeli olarak artacak şekilde yükleme yapılır. Deney numunesinin kırıldığı yük kaydedilir ve Eşitlik (9) kullanılarak eğilme dayanımı değeri hesaplanır (TS EN 12372). Eğilme dayanımı deneyinden elde edilen sonuçlar Çizelge 9’da verilmiştir.

$$\sigma_{eg} = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (9)$$

P= Numunenin kırılma yükü (kg)
L= Mesnetler arasındaki mesafe (cm)
b= Numunenin genişliği (cm)
h= Numunenin kalınlığı (cm)
 σ_{eg} = Eğilme dayanımı (kg/cm²)

Çizelge 9. Eğilme Dayanımı değerleri

Numune No	Eğilme Dayanımı	
	(kgf/cm ²)	(MPa)
1	51.16	5.02
2	54.29	5.32
3	47.90	4.17
Ortalama	51.11	4.84

2.10 Don Kaybı Deneyi

Kayaçların farklı iklim şartlarına sahip bölgelerde kullanılabileceği düşünüldüğünde don etkisine dayanıklı olmaları önemli bir parametredir. Bu nedenle, deney numunelerine don kaybı deneyi uygulanması gerekmektedir. Deney sırasında 10-14 mm boyut aralığında yaklaşık 500 gr agrega numunesi magnezyum sülfat çözeltisine bırakılır ve deney numunesi 17 saat çözeltide bekletilir. Daha sonra deney numunesinin 2 saat süzülmesi beklenir ve sonrasında 5 saat süre ile etüvde kurutulur. Bu işlemler periyodik olarak 5 sefer tekrarlanır. Döngü tamamlanıp deney numunesi 10 mm’lik elekten geçirildikten sonra elek üzerinde kalan malzeme tekrar tartılır. Magnezyum sülfatın tekrar su alması ve agrega numunesinde tekrarlanan kristalizasyon ile agrega boşluklarında zararlı etkiler ortaya çıkar. Tane büyüklüğü 10 mm’den daha küçük malzemelerin oluşmasına neden olan zararlı etkilerin neden olduğu ufalanma ölçülür. Tartım işleminden sonra Eşitlik (10) kullanılarak deney numunesinin Don kaybı değeri kütlece yüzde olarak hesaplanır (TS EN 1367-2). Deney numunelerine don kaybı deneyi uygulanmış olup elde edilen sonuçlar Çizelge 10’da verilmiştir.

$$M_s = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 \quad (10)$$

M₁= Deney numunesinin ilk kütlesi (gr)
M₂= Deney numunesinin son kütlesi (gr)
M_s= Donma-Çözünme kaybı (%)

Çizelge 10. Don dayanıklılığı değerleri

Numune No	Kütle Kaybı (%)
1	4.23
2	4.17
3	4.26
Ortalama	4.22

3 SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında Mersin/Erdemli bölgesinde bulunan mermer ocaklarından

alınan deney numunelerine bir dizi deneyler uygulanmıştır. Bu deney sonuçlarından faydalanarak mermer ocaklarının fiziko-mekanik özelliklerinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Deneylerin uygulanması sırasında TS 699, TS EN 1097-6, TS EN 13755, TS 6809, TS EN 1926, TS EN 1367-2 ve TS EN 12372 standartlarından

yararlanılmıştır. Ayrıca deney sonuçlarının değerlendirilmesinde ise TS EN 1467 ve TS EN 1469 standartları göz önünde bulundurulmuştur. Çizelge 11’de TS EN 1467 ve Çizelge 12’de TS EN 1469 standartlarına göre mermerlerin sahip olmaları gereken fiziksel ve mekanik özelliklerin sınır değerleri görülmektedir.

Çizelge 11. Kayaçların Doğal Yapı Taşı Olarak Kullanılabilirliği İçin Sahip Olmaları Gereken Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Sınır Değerleri (TS EN 1467)

Fiziksel Özellikler	Sınır Değer	Mekanik Özellikler	Sınır Değer
Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	> 2.55	Tek Eksenli Basınç Direnci (kg/cm ²)	> 500
Ağırlıkça Su Emme (%)	< 1.80	Eğilme Direnci (kg/cm ²)	> 50
Don Sonrası Ağırlık Kaybı (%)	< 5	Böhme Yüzeysel Aşınma Direnci (cm ³ /50 cm ²)	< 15
		Darbe Direnci (kgf.cm/cm ³)	> 6

Çizelge 12. Kaplama Olarak Kullanılan Doğal Kayaçların Sahip Olmaları Gereken Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Sınır Değerleri (TS EN 1469).

Fiziksel Özellikler	Sınır Değer	Mekanik Özellikler	Sınır Değer
Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	> 2.55	Tek Eksenli Basınç Direnci (kg/cm ²)	> 500
Ağırlıkça Su Emme (%)	< 0.75	Eğilme Direnci (kg/cm ²)	> 50
Porozite (%)	< 2	Böhme Yüzeysel Aşınma Direnci (cm ³ /50 cm ²)	< 15
Don Sonrası Ağırlık Kaybı (%)	< 5		

Deney sonuçları ayrıntılı olarak incelendiğinde; yoğunluk, ağırlıkça su emme, don dayanımı, porozite, sürtünme ile aşınma kaybı (Böhme) değerleri bakımından her iki standartta belirtilmiş olan limitlerin sağlandığı görülmüştür. Ayrıca, tek eksenli basınç dayanımı ve eğilme dayanımı değerlerinin limit değerlere oldukça yakın olmasına rağmen kabul edilebilir değerler olduğu ortaya çıkmıştır.

Sonuç olarak Mersin/Erdemli bölgesinde bulunan mermer ocaklarından elde edilen numunelerin birçok parametre bakımından doğal yapı taşı ve kaplama taşı olarak kullanılması için gerekli olan minimum değerleri sağladığı belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Demir, İ., Başpınar, M. S. ve Görhan, G., 2006. Afyonkarahisar-Ayazini Tüflerinin Mekanik Özellikleri ve Yapı Taşı Olarak Kullanılabilirliği. Türkiye 5. Mermer ve Doğaltaş Sempozyumu Bildiriler Kitabı, s. 31-38.
- Tonçer, M., 2005. Diyarbakır Hani Yöresindeki Mermer Ocaklarının Blok Alma Olanakları, Fiziksel, Kimyasal Ve Mekanik Özellikleri Açısından Değerlendirilmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi. 136s.
- TS EN 1097-6, Aralık 2013. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler-Bölüm 6: Tane Yoğunluğunun ve Su Emme Oranının Tayini, Ankara.

- TS EN 13755, Haziran 2014. Doğal taşlar-Deney yöntemleri-Atmosfer basıncında su emme tayini, Ankara.
- TS 699, Mart 2009. Doğal Yapı Taşları-İnceleme ve Laboratuvar Deney Yöntemleri. Ankara.
- TS 6809, Ocak 2012. Mohs sertlik cetveline göre sertlik tayini. Ankara.
- TS EN 1926, Ekim 2013. Doğal Taşlar, Deney Yöntemleri,Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tayini. Ankara.
- TS EN 1367-2, Nisan 2011. Agregaların Termal ve Bozunma Özellikleri İçin Deneyler-Bölüm 2: Magnezyum Sülfat Deneyi. Ankara.
- TS EN 1467, Nisan 2005. Dağol taşlar, ham bloklar, özellikler. Ankara.
- TS EN 1469, Nisan 2006. Doğal taş mamulleri, Kaplamada kullanılan plakalar, özellikler. Ankara.
- TS EN 12372, Ekim 2013. Doğal taşlar, deney yöntemleri, yoğun yük altında eğilme dayanımı tayini. Ankara.
- Vardar, M., 1990. Mermerlerin Uygarlık Tarihindeki Yeri, Mermer Dergisi, Sayı:12, İstanbul.

Suya Doygunluğun Karbonatlı Kayaçların Dayanımı Üzerinde Etkisinin Araştırılması

Investigating the Effect of Water Saturation on the Strength of Carbonate Rocks

S. Kahraman

Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara

H. Aydın

Ömer Halisdemir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde

ÖZET Kireçtaşı ve traverten gibi karbonatlı kayaçlar inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Bazı projelerde inşaa edildikten sonra bu kayaçlar suya doymun hale gelmektedir. Suya doymun hale gelen kayaçların dayanım değerleri önemli derecede düşebilmektedir. Bu çalışmada, 6 farklı yöreden toplanan kireçtaşı ve traverten örneklerinin tek eksenli basınç (UCS) ve Brazilian çekme (BTS) dayanımı üzerinde suya doymunluğun etkisi araştırılmıştır. Kayaç bloklarından karot numuneler hazırlanmış ve kuru ve doymun numuneler üzerinde UCS ve BTS deneyleri yapılmıştır. Suya doymunluktan kaynaklanan dayanım kaybı UCS için % 12.1' den % 28.0'e ve BTS için % 2.8' den % 28.1' e kadar değişmektedir. Doymun UCS/kuru UCS oranı ortalama % 78.8 ve doymun BTS/kuru BTS oranı ise ortalama % 83.8' dir. Ayrıca, kuru ve doymun direnç değerleri arasında regresyon analizleri yapılmış ve çok kuvvetli korelasyon katsayılarına sahip doğrusal eşitlikler geliştirilmiştir. Geliştirilen eşitlikler yardımıyla, karbonatlı kayaçların kuru dayanım değerlerinden suya doymun dayanım değerlerinin tahmin edilebileceği söylenebilir.

ABSTRACT Some rocks such as limestone and travertine are widely used in construction sector. These rocks become water-saturated in some projects after construction. The strength of rocks which are water-saturated may decrease significantly. In this study, the effect of water saturation on the uniaxial compressive strength (UCS) and Brazilian tensile strength (BTS) of limestone and travertine samples collected from 6 different locations was investigated. Core specimens were prepared from rock blocks and the UCS and BTS tests were carried out on the dried and saturated specimens. The strength loss due to water saturation range from 12.1 % to 28.0 % for UCS and range from 2.8 % to 28.1 % for BTS. Average saturated UCS/dry UCS ratio is 78.8 % and average saturated BTS/dry BTS ratio is 83.4 %. Regression analyses between the dried and saturated strength values were also performed, and linear equations with high correlation coefficients were developed. It can be said that the water-saturated strength values of carbonate rocks can be estimated from the dry strength values.

1 GİRİŞ

Tek eksenli basınç dayanımı (UCS) ve Brazilian çekme dayanımı (BTS) kayaçlarla ilgili mühendislik projelerinde yaygın olarak kullanılan özellikleridir. Kayaçların su içeriğindeki değişimin veya suya

doygunluğunun bahsedilen direnç özelliklerini önemli oranda etkileyebildiği genel olarak bilinmektedir. Suya doymunluğun kayaç dayanımı üzerindeki etkisi konusunda yapılan çalışmalara bakıldığında, doymunluğa bağlı dayanım

düşmesi değerlerinin kayaç gruplarında ve hatta farklı lokasyonlara ait aynı kayaç çeşitlerinde bile değişiklik gösterdiği görülmektedir. Dolayısıyla, farklı kayaç grupları veya farklı yörelere ait kayaçlar için benzer çalışmaların yapılmasında yarar vardır. Bu çalışmada, 6 farklı yöreye ait kireçtaşı ve traverten örneklerinin UCS ve BTS değerleri üzerinde suya doygunluğun etkisi araştırılmıştır

2 ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Şeyl ve kuvarsitik kumtaşı üzerinde araştırmalar yapan Colback and Wiid (1965), test ettikleri kayaçlar için kuru kayacın UCS' sine kıyasla suya doygun kayacın UCS' sine % 50 azalma olduğunu göstermişlerdir. Yaptığı laboratuvar deneylerinde Burshtein (1969), kuvars arenit için su içeriğinde % 0' dan % 4' e artmasının UCS' de % 50 azalmaya sebep olduğunu görmüştür. Ayrıca Burshtein, kil içeriği yüksek kumtaşı için su içeriğinin % 1.5' a çıkmasının UCS' de üçte bir oranında düşmeye neden olduğunu da göstermiştir.

Üç farklı kumtaşının su içeriğine bağlı olarak UCS' sineki değişimleri inceleyen Dyke and Dobereiner (1991), genellikle kayaç zayıfladıkça suya duyarlılığın arttığını ifade etmişlerdir. Hawkins (1989), su etkisiyle oluşan direnç azalmasının çoğunun, özellikle yüksek dirençli kayaçlar için % 0 ile % 1 su içeriği aralığında meydana geldiğini açıklamıştır. Suya duyarlılık üzerinde mineraloji ve dokunun etkisini araştıran Hawkins and McConnel (1992), kumtaşlarının suya duyarlılığının kayacın mikro-dokusundan ziyade kuvars ve kil içeriği oranları tarafından kontrol edildiğini bulmuşlardır.

Çeşitli kayaçlar üzerinde yapılan deney sonuçlarına göre Vasarhelyi (2002, 2003 ve 2005), farklı kayaçların dayanımı üzerinde suyun etkisini incelemiş ve test edilen kayaçlar için doymun UCS/kuru UCS oranları önermiştir. Vasarhelyi and Van (2006), kayaçların suya karşı duyarlılığının değişken olduğunu ifade etmiş ve kumtaşının suya duyarlılığını tahmin etmek

için bir yöntem önermiştir. Kahraman et al. (2008) mermerlerin UCS, BTS ve nokta yük dayanımı üzerinde suya doygunluğun etkisini araştırmış ve dikkate alınan dayanım özellikleri için doymun UCS/kuru UCS oranlarını belirlemiştir. Török and Vasarhelyi (2010) bazı Macaristan travertenlerinin mekanik özellikleri üzerinde suyun etkisini incelemiş; doymun ve kuru kayacın UCS arasında doğrusal bir korelasyon bulmuştur. Magmatik ve piroklastik kayaçların UCS, BTS ve nokta yük dayanımı üzerinde suya doygunluğun etkisini inceleyen Kahraman et al. (2012) ve Kahraman and Sarıbüyük (2014), su etkisiyle meydana gelen dayanım azalmalarını ve doymun UCS/kuru UCS oranlarını sunmuşlardır.

Şimdiye kadar yapılan araştırmalardan kayaçların dayanımının suya duyarlılığının oldukça değişken olduğu anlaşılmaktadır. Literatürde mevcut doymun UCS/kuru UCS oranları Çizelge 1' de verilmiştir.

3 LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Kayseri ve Yozgat yörelerinden 6 farklı lokasyona ait mermer olarak kullanılan kireçtaşı ve traverten numunelerinden laboratuvar deneyleri için blok numuneler toplanmıştır. Blok numunelerin kırıksız-çatlaksız ve mümkün olduğu kadar homojen olmasına dikkat edilmiştir. Numune lokasyonları Çizelge 2' de verilmiştir.

Araziden toplanan kayaç bloklarından standartlara uygun karot numuneler hazırlandıktan sonra UCS ve BTS değerlerini belirlemek üzere kurutulan ve suya doyurulan numuneler üzerinde deneyler yapılmıştır. Kurutulmak istenilen numuneler tamamen kuru hale gelmesi amacıyla 105-110 °C' de bir hafta etüvde bekletilmiştir. Suya doyurma işlemi ise, numuneleri çeşme suyunda bir hafta bekletmek suretiyle gerçekleştirilmiştir. Her kayaç türü için UCS ve BTS deneyleri kuru ve doymun için ayrı olmak üzere en az 5 defa tekrarlanmış ve sonuçların ortalaması alınmıştır. Deney sonuçları Çizelge 2' de özetlenmiştir.

Çizelge 1. Literatürde bulunan doygun TESD/kuru TESD oranları (Nunes (1989) and Van Eeckhout (1976)' den değiştirilerek alınmıştır).

Kaynak	Kayaç	Doygun UCS/Kuru UCS (%)
Colback and Wiid (1965)	Kumtaşı ve şeyl	50
Hawkins and McConnell (1992)	Kumtaşı	22-92
Vasarhelyi (2002)	Andezitik tüf	71
	Basaltik tüf	76
	Riyolitik tüf	69
Vasarhelyi (2003)	Kumtaşı	76
Vasarhelyi (2005)	Kireçtaşı	66
Obert et al. (1946)	Mermer	95
	Kireçtaşı	83
	Granit	86
	Kumtaşı	89
	Kumtaşı	68
	Arduvaz	80
Price (1960)	Kumtaşı	45
Wiid (1970)	Kumtaşı	60
Parate (1973)	Kireçtaşı	62
Kiatowa et al. (1977)	Kumtaşı	64
Bell (1978)	Fell Kumtaşı	68
Hassani et al. (1979)	Kumtaşı	70
Ferreira et al. (1981)	Bauru Kumtaşı	50
Priest and Selvakumar (1982)	Bunter Kumtaşı	65
Koshima et al. (1983)	Bauru Kumtaşı	50
Pells and Ferrry (1983)	Kumtaşı	41
Dobereiner (1984)	Su taşı	83
Dyke (1984)	Su taşı	49
	Bunter Kumtaşı	71
	Penrith Kumtaşı	66
Gunsallus and Kulhawy (1984)	İri Kristalli Kumtaşı	98
	İri Klastik Kumtaşı	81
	İnce Taneli Kumtaşı	49
Denis et al. (1986)	Kireçtaşı	48
Howarth (1987)	Kumtaşı	67
Sachpazis (2004)	Kireçtaşı	90
	Düşük dereceli Metamorfik Kireçtaşı	89
	Yüksek dereceli Metamorfik Kireçtaşı	77
	Mermer	85
Kahraman et. al. (2008)	Mermer	87
Török and Vasarhelyi (2010)	Traverten	89
Kahraman et. al. (2012)	Magmatik	78
Kahraman and Sarıbiyik (2014)	Piroklastik	64

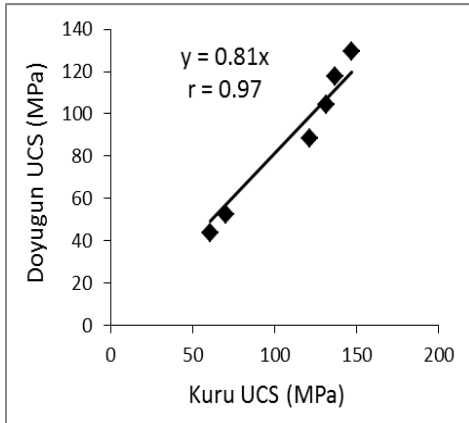
Çizelge 2. Kayaç adları, lokasyonları ve deney sonuçları.

Lokasyon ve kayaç adı	Kuru UCS (MPa)	Doygun UCS (MPa)	Doygun UCS/Kuru UCS(%)	UCS dayanım kaybı(%)	Kuru BTS (MPa)	Doygun BTS (MPa)	Doygun BTS/Kuru BTS(%)	BTS dayanım kaybı(%)
Kayseri/Yahyalı kireçtaşı (Toros siyahı)	136.8	117.7	86.0	14.0	10.9	10.6	97.2	2.8
Kayseri/Bunyan kireçtaşı (Bünyan roza)	121.4	88.3	72.7	27.3	12.8	9.2	71.9	28.1
Kayseri/Bunyan kireçtaşı (Bünyan bej)	131.4	104.3	79.4	20.6	9.6	7.6	79.2	20.8
Yozgat/Boğazlıyan kireçtaşı (Boğazlıyan bej)	147.1	129.3	87.9	12.1	10.3	9.7	94.2	5.8
Yozgat/Boğazlıyan traverten (Boğazlıyan traverten)	70.3	52.6	74.8	25.2	7.8	6.1	78.2	21.8
Kayseri/Pınarbaşı traverten (Pınarbaşı traverten)	60.5	43.6	72.0	28.0	5.6	4.6	82.1	17.9

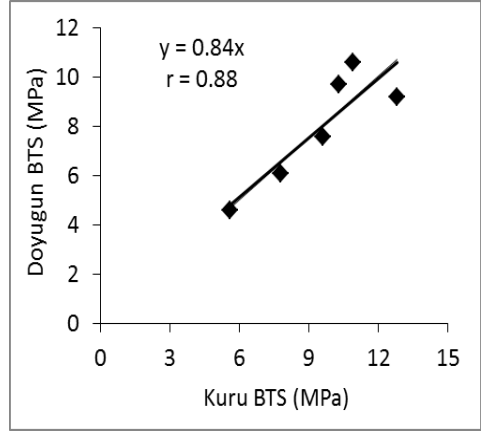
4 VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Kuru duruma göre suya doygunluğun dayanım özellikleri üzerindeki etkisini görebilmek için her kayacın dayanım kayıpları ve doygun/kuru dayanım oranları hesaplanmıştır (Çizelge 2). UCS' deki kayıp ortalama % 21.2 olup; % 12.1' den % 28.0' e kadar değişmektedir. BTS' deki ortalama kayıp ise % 16.2 olup; % 2.8' den % 28.1 arasında değişmektedir. Dayanım kayıplarına paralel olarak, doygun UCS/kuru UCS oranının ortalama % 78.8 olduğu ve % 72.0' den % 87.9' a kadar değiştiği görülmektedir. Doygun BTS/kuru BTS oranı ise ortalama % 83.8 olup; % 71.9' dan % 97.2' ye kadar değişmektedir.

Kuru dayanım değerleri bilinen karbonatlı kayaların suya doygun hale geldiğinde sahip olacağı dayanım değerlerini tahmin etmeye yarayacak eşitlikler elde etmek amacıyla, kuru ve suya doygun dayanım değerleri regresyon analiziyle değerlendirilmiştir. Şekil 1' de görüldüğü gibi, kuru ve suya doygun UCS değerleri arasında korelasyon katsayısı (r) 0.97 olan doğrusal bir ilişki bulunmuştur. Kuru ve suya doygun BTS değerleri arasındaki ilişki ise Şekil 2' de verilmiştir. Bu iki parametre arasında da doğrusal bir ilişki bulunmakta olup, korelasyon katsayısı 0.88' dir.



Şekil 1. Kuru ve doygun UCS değerleri arasındaki ilişki.



Şekil 2. Kuru ve doygun BTS değerleri arasındaki ilişki.

Çizelge 1' de verilen literatür bilgisine göre, karbonatlı kayaların doygun UCS/kuru UCS oranlarının % 48' den % 95' e kadar değişiklik gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu çalışmada da söz konusu oran % 72.0' den % 87.9' a kadar değişmekte olup; literatürdeki verilerle uyum göstermektedir. Ancak, gerek literatürdeki oranların, gerekse bu çalışmadaki oranların aynı kayaç türünde bile farklılıklar gösterdiği açıkça görülmektedir. Bu nedenle, hassas sonuçlar elde etmek bakımından farklı yörelere ait benzer kayaçlar için oranların ayrı ayrı belirlenmesinde yarar vardır.

5 SONUÇLAR

Kireçtaşı ve traverten örneklerinin UCS ve BTS üzerinde suya doygunluğun etkisinin araştırıldığı bu çalışmada aşağıdaki bulgular elde edilmiştir:

- Suya doygunluktan kaynaklanan dayanım kaybı UCS için % 12.1' den % 28.0' e ve BTS için % 2.8' den % 28.1' e kadar değişiklik göstermektedir.
- Doygun UCS/kuru UCS oranı ortalama % 78.8 olup; % 72.0' dan % 87.9' a kadar değişmektedir. Doygun BTS/kuru BTS oranı ise ortalama %

83.8 olup; % 71.9' dan % 97.2' ye kadar değişmektedir.

- Kuru ve doğun direnç değerleri arasında çok kuvvetli korelasyon katsayılarına sahip doğrusal eşitlikler bulunmaktadır.

Sonuç olarak, kireçtaşı ve traverten gibi karbonatlı kayaçların dayanım değerleri üzerinde suya doğunluğun etkisinin ortaya konulduğu söylenebilir. Diğer yandan, geliştirilen eşitlikler yardımıyla, karbonatlı kayaçların kuru dayanım değerlerinden suya doğun dayanım değerlerinin tahmin edilebileceği ifade edilebilir. Ancak, daha hassas sonuçlar elde etmek bakımından farklı yörelere ait benzer kayaçlar için çalışmanın tekrarlanmasında yarar vardır.

KAYNAKLAR

- Bell, F.G., 1978. The physical and mechanical properties of the Fell sandstones, Northumberland, England. *Engineering Geology*, 12, 1-29.
- Burshtein, L.S., 1969. Effect of moisture on the strength and deformability of sandstone. *Soviet Mining Science*, 4, 573-576.
- Colback, P.S.B. and Wiid, B.L., 1965. The influence of moisture content on the compressive strength of rocks. *Proceeding of the 3rd Canadian Rock Mechanics Symposium*, 65-83.
- Denis, A., Durville, J.L., Massieu E. and Thorin, R., 1986. Problèmes posés par un calcaire très poreux dans l'étude de la stabilité d'une carrière souterraine. *Proceeding of the 5th Congress of Int. Association of Engineering Geologists*. Buenos Aires, 549-557.
- Dobereiner, L., 1984. *Engineering geology of weak sandstones*. PhD Thesis, Imperial College, London.
- Dyke, C.G. 1984. The pre-peak deformation characteristics of sandstone at varying moisture contents. MSc Thesis, Imperial College, London.
- Dyke, C.G. and Dobereiner, L., 1991. Evaluating the strength and deformability of sandstones. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 24, 123-134.
- Ferreira, R. Monteiro, L.C.C., Peres, J.E., and Prado, Jr. F.A. de A., 1981. Analise de alguns fatores que influem na resistencia a compresao do arenito Bauru. *The 3rd Brazilian Congress of Engineering Geology (ABGE)*, Itapema, vol. 3, 233-248.
- Gunsallus, K.L. and Kulhawy, F.H., 1984. A comparative evaluation of rock strength measures. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 21, 233-248.
- Hassani, F.P. 1979. Strength characteristics of rocks associated with open-cast coal mining in the U.K. *Proceeding of the 20th U.S. Symposium on Rock Mechanics*, Austin, 347-356.
- Hawkins, A.B., 1989. Aspects of rock strength. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 57, 17-30.
- Hawkins, A.B. and B.J. McConnell, 1992. Sensitivity of sandstone strength and deformability to changes in moisture content. *Q. J. Eng. Geol.* 25, 115-130.
- Howarth, D.F., 1987. The effect of pre-existing microcavities on mechanical rock performance in sedimentary and crystalline rocks. *Int.J.Rock Mech. Min. Sci.* 24, 223-233.
- Kahraman, S., Gunaydin, O. and Fener, M., 2008. The effect of water saturation on the strength of marbles. *5th Asian Rock Mechanics Symposium*, 24-26 November, Tehran, Iran, 345-351.
- Kahraman, S., Gunaydin, O. and Fener, M., 2012. The effect of water saturation on the strength of igneous rocks. *Proceeding of the 5th International Geomechanics Conference*, 18-22 June, Varna, Bulgaria, 75-79.
- Kahraman, S., Sarıbyık, M., 2014. Piroklastik kayaçların dayanımı üzerinde su içeriğinin etkisi. *XI. Bölgesel Kaya Mekaniği Semp.*, 7-9 Mayıs 2014, Afyonkarahisar, 121-128.
- Kiatowa, M., 1977. Influence of moisture on the mechanical properties of soft rock. *Proceeding of The 5th National Symposium on Rock Mechanics*, Japan, 113-121.
- Koshima, A., Frota, R.G.Q., Lorano, M.H. and Hoshisk, J.C.B. de F., 1983. Comportamento e propriedades geomecánicas do arenito Bauru. *Simposio Geotecnico Sobre Bacio Alto Parana*, ABGE-ABMS-CBMR, San Paulo, 2b, pp. 173-189.
- Obert, L., S.L., 1946. Standardized tests for determining the physical properties of coal mine rock. *U.S. Bureau of Mines RI 3891*, 67.
- Parate, N.S., 1973. Influence of water on the strength of limestone. *Trans. A.I.M.E.*, 254, 127-131.
- Pells, P.J.N. and Ferry, M.J., 1983. Needless stringency in sample preparation standards for laboratory testing of weak rocks. *Proc.5th Congress of Int. Society for Rock Mechanics*, Melbourne, A, 203-207.
- Price, N.J., 1960. The compressive strength of coal

- measure rocks, *The Colliery Engineer*, 37, 283-292.
- Priest, S.D. and Selvakumar, S., 1982. The failure characteristics of selected British rocks. A report to the Transport and Research Laboratory, Department of Environment and Transport, Imperial College, London.
- Sachpazis, C.I., 2004. Monitoring degree of metamorphism in a four stage alteration process passing from pure limestone to pure marble. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 9, Paper no. 416.
- Török, A. and Vasarhelyi, B., 2010. The influence of fabric and water content on selected rock mechanical parameters of travertine, examples from Hungary. *Eng. Geol.*, 115, 237-245.
- Van Eeckhout, E.M., 1976. The mechanisms of strength reduction due to moisture in coal mine shales. *Int.J.Rock Mech. Min. Sci.*, 13, 61-67.
- Vasarhelyi, B., 2002. Influence of water saturation on the strength of volcanic tuffs. In: Dinis da Gama, C. and Ribeire e Sowa, L. (eds). *Workshop on volcanic rocks. EUROCK 2002, Madeira*, 89-96.
- Vasarhelyi, B., 2003. Some observations regarding the strength and deformability of sandstones in dry and saturated conditions. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 62, 245-249.
- Vasarhelyi, B., 2005. Statistical analysis of the influence of water content on the strength of the Miocene limestone. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 38(1), 69-76.
- Vasarhelyi, B. and Van, P., 2006. Influence of water content on the strength of rock. *Engineering Geology*, 84, 70-74.
- Wiid, B.L., 1970. The influence of moisture content on the pre-rupture fracturing of two rock types. *Proceeding of The 2nd Congress of International Society for Rock Mechanics, Belgrade*, vol. 3, 239-245.

Indentation Hardness Test to Predict the Strength of Pyroclastic Rocks Used as Building Stones

S. Kahraman

Hacettepe University, Mining Engineering Department, Ankara, Turkey

M. Sarıbüyük

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ömer Halisdemir Üniv., Niğde, Turkey

ABSTRACT Pyroclastic rocks such as tuffs and ignimbrites are commonly used as building stones in the Cappadocian Volcanic Province (CVP) located in the central Anatolia. Predicting the strength parameters of pyroclastic rocks from the indirect tests will be useful for the engineers for the preliminary studies. In this study, the prediction of uniaxial compressive (UCS) and tensile strength (BTS) of pyroclastic rocks from the indentation hardness index (IHI) was investigated. The samples of pyroclastic rocks were collected from 31 different locations in CVP of Turkey. The UCS, BTS and the IHI tests were performed on the samples in the laboratory. The UCS and BTS values were correlated with the IHI values and strong relations were found between the parameters. Concluding remark is that the UCS and BTS of pyroclastic rocks can be predicted from the IHI values for the preliminary studies.

1 INTRODUCTION

Rock engineers widely use the rock strength for designing surface and underground structures. Indirect tests are often used to predict the rock strength especially for the preliminary studies. Pyroclastic rocks have been used widely as building stones in the Cappadocia region of Turkey which is located in the central Anatolia. The development of some estimation equations for the strength parameters of pyroclastic rocks from the indirect tests will be useful for the practitioners especially for the preliminary investigations of projects.

Indentation hardness test is a simple and easy test and can be conducted using a point load test apparatus. The test is of special value when only a limited amount of rock material, e.g. a thin disc of core or a small lump sample, is available (Szwedzicki, 1998a).

The main objective of this study is to investigate the predictability of the uniaxial compressive strength (UCS) and the

Brazilian tensile strength (BTS) of pyroclastic rocks from the indentation hardness index (IHI).

2 PREVIOUS STUDIES

Since rock indentation is the basic process in drilling and boring, numerous researchers (Cheatham, 1958; Gnirk and Cheatham, 1963; Paul and Sikarskie, 1965; Cheatham and Pittman, 1966; Hartman, 1966; Gnirk, 1966; Pariseau and Fairhurst, 1967; Miller and Sikarskie, 1968; Benjumea and Sikarskie, 1969; Morris, 1969; Lundberg, 1974; Pang et al., 1989; Bilgin et al., 1993; Çopur et al., 2003) have carried out indentation tests to understand the indentation phenomena or to develop some prediction models for drilling or boring. Kahraman et al. (2000) also investigated the relations between the slope of load-indentation curves and the rock properties. They found good correlations between the

slope of load-indentation curves and the rock properties. Kahraman and Gunaydin (2008) investigated the sawability prediction of carbonate rocks from indentation hardness test carried out by attaching a dial gauge to the point load apparatus for measuring penetration. They concluded that indentation hardness test can be used for the sawability prediction of carbonate rocks. Yağız (2009) suggested a new brittleness index and rock brittleness classification based on type, strength and density of rock together with result of punch penetration test. Kahraman et al. (2012) investigated the predictability of the UCS and BTS of rocks from the IHI obtained using point load apparatus. They concluded that the UCS and BTS could be estimated from IHI and the effects of rock classes on the relations were important.

A standard indentation test method was recommended by ISRM (Szwedzicki, 1998a) and Eq. (1) was suggested for the prediction of UCS from IHI (Szwedzicki, 1998b):

$$UCS = 3.1IHI^{1.09} \quad (1)$$

where UCS is the uniaxial compressive strength (MPa) and IHI is the indentation hardness index (kN/mm).

Eq. (1) was obtained from the IHI testing performed on ultramafic and basaltic rocks. In this study, the relation between IHI and both UCS and BTS was investigated for pyroclastic rocks.

3 SAMPLING

The sampling area is the Cappadocian Volcanic Province (CVP) located in the central Turkey. The CVP extends as a belt in NE-SW direction with a long axis of about 300 km and is in large part situated within the Anatolide tectonic belt. Block samples of pyroclastic rocks were collected from the 31 different locations in the CVP. Each block sample was inspected for macroscopic defects so that it would provide test specimens free from fractures, partings or alteration zones. The locations of the samples are shown in Figure 1 as sample codes and listed in Table 1.

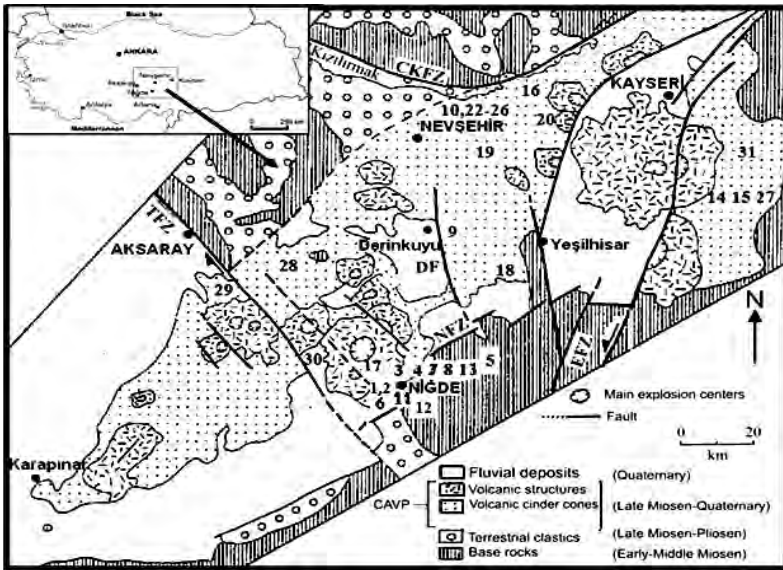


Figure 1. Simplified geological map of Cappadocian Volcanic Province (Toprak et al. 1994) (The numbers show the sample locations).

Table 1. The locations of the samples and the test results.

Sample code	Sample location	Uniaxial compressive str. (MPa)	Brazilian tensile str. (MPa)	Indentation hardness index (kN/mm)
1	Derbent-1/Niğde (Beige)	13.2	2.61	3.47
2	Dere Mah.-1/Niğde	8.5	3.42	1.60
3	Dere Mah.-2/Niğde	18.5	3.31	5.49
4	Kızılören/Niğde	27.4	3.70	11.12
5	Özbelde/Niğde	16.5	3.80	6.29
6	Aktaş-1/Niğde	5.2	0.94	0.83
7	Aktaş-2/Niğde	3.9	0.72	1.00
8	Derinkuyu/Nevşehir	8.4	1.55	1.52
9	Nevşehir (Old rose)	12.7	1.77	2.17
10	Akkaya Göleti/Niğde	21.4	2.81	7.88
11	Bahçeli/Niğde	15.8	2.62	2.94
12	Gümüşler/Niğde	9.9	1.45	1.51
13	Tomarza/Kayseri (Yellow)	27.8	3.8	1.65
14	Tomarza/Kayser (Black)	14.1	2.82	1.62
15	Avanos/Nevşehir (Pink)	15.7	2.51	2.26
16	Derbent-2/Niğde (Gray)	18.3	2.99	3.68
17	Güllüce/Niğde	41.0	4.18	14.02
18	Araplı/Yahyalı/Kayseri	12.4	2.38	1.90
19	Mustafapaşa/Nevşehir	7.4	1.21	1.55
20	Avanos/Nevşehir (White)	2.2	0.60	0.60
21	Nevşehir (Dark pink)	10.3	2.27	1.45
22	Nevşehir (Light yellow)	9.1	2.13	1.35
23	Nevşehir (White)	8.5	1.99	1.02
24	Nevşehir (Formica)	7.9	1.70	0.70
25	Nevşehir (Yellow)	8.8	1.10	1.12
26	Tomarza/Kayseri (Gray)	36.4	3.61	4.59
27	Selime/Ihlara/Aksaray	25.7	4.07	5.90
28	Taşpınar/Aksaray	18.8	3.26	5.33
29	Altunhisar/Niğde	23.9	2.27	4.30
30	Persek/Kayseri	44.3	4.68	10.55
31	Başakpınar/Kayseri	46.7	6.02	9.74

4 EXPERIMENTAL STUDIES

First, the UCS and BTS tests were carried out on the oven-dried core samples according to ISRM (2007) suggested methods. The test results are given in Table 1. Then the IHI tests were carried out for each rock type at least three times. The details of the IHI test are explained following:

Indentation hardness test suggested by ISRM (Szwedzicki, 1998a) requires a loading system having a capacity of 30 kN and a conical platen having a 60° cone and 5 mm radius spherical tip. Point load apparatus is suitable for this purpose. After attaching a dial gauge to the point load apparatus for the measuring penetration, indentation hardness tests can be carried out.

NX core samples having a height to diameter ratio of at least 0.75 were used in

the tests. The surfaces of the samples were diamond-sawed. The samples were cemented into a steel frame using a high grade plaster having a compressive strength of 60.6 MPa. After placing the sample into the center of the steel frame, viscous plaster was filled into the gap between the steel frame and the sample (Figure 2).

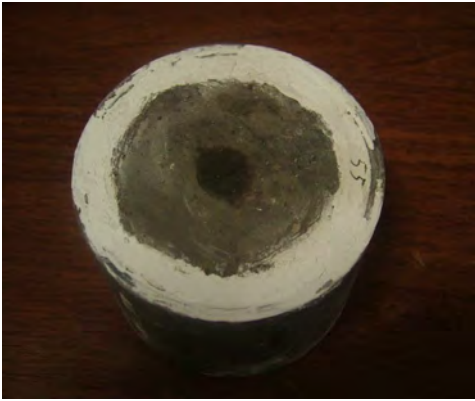


Figure 2. The sample cemented into steel frame.

During IHI test, samples are loaded until a distinct crater is formed (the depth of crater up to 1 mm) or the load has reached 20 kN limit. The IHI values were calculated by dividing the maximum load by the maximum penetration (Szwedzicki, 1998a):

$$IHI = \frac{L}{P} \quad (2)$$

where IHI is the indentation hardness index (kN/mm), L is the maximum load (kN), and P is the maximum penetration (mm).

The cemented samples were placed on the lower platen of the point load apparatus and were loaded up to 1 mm because the test samples were soft. The corresponding load was read from the pressure gauge of the point load device (Fig. 3). IHI values were calculated using Eq. (2). At least three tests were conducted on intact and fine grained samples. On the coarse grained samples, more than three tests were carried out.



Figure 3. The Indentation testing using point load apparatus.

5 EVALUATION OF THE RESULTS

The UCS, BTS and IHI test results given in Table 1 were analyzed using the method of least squares regression. Linear, logarithmic, exponential and power curve fitting approximations were executed and the best approximation equation with highest correlation coefficient was determined for each regression.

The IHI values strongly correlated to both the UCS and BTS values (Figs. 4 and 5). Increasing IHI increases both the UCS and BTS. The relations follow a power function. The equations and the correlation coefficients of the curves are

$$UCS = 7.1IHI^{0.7} \quad r = 0.87 \quad (3)$$

$$BTS = 1.4IHI^{0.5} \quad r = 0.80 \quad (4)$$

where, UCS is the uniaxial compressive strength (MPa), BTS is the Brazilian tensile strength (MPa), and IHI is the indentation hardness index (kN/mm).

The Eq. (3) shows similar trend with Eq. (1), but there is some difference between them. The difference is probably due to the fact that the rock types tested in the studies are different. Eq. (3) was derived for pyroclastic rocks while Eq. (1) was derived for ultramafic and basaltic rocks.

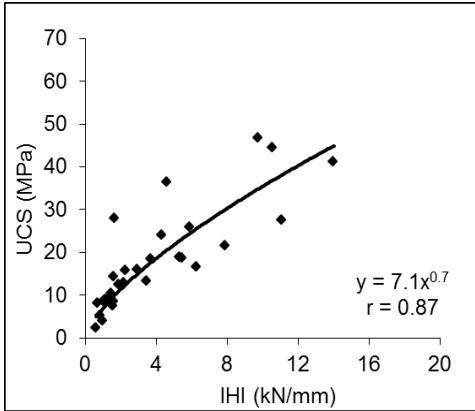


Figure 4. The correlation between the UCS and IHI.

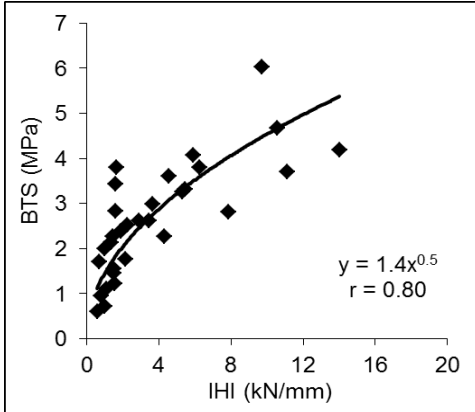


Figure 5. The correlation between the BTS and IHI.

6 CONCLUSIONS

Pyroclastic rocks were tested in order to develop prediction equations for the UCS and BTS from the IHI obtained using point load apparatus. The evaluation of the results showed that there were strong correlations between IHI and both the UCS and BTS. Concluding remark is that the UCS and BTS of pyroclastic rocks can be predicted from the derived equations.

Further research is necessary to check the validity of the derived equations for the

other pyroclastic rocks from different locations.

REFERENCES

- Benjumea, R. and Sikarskie, D.L., 1969. A note on the penetration of a rigid wedge into a nonisotropic brittle material. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, vol. 6, pp. 343-352.
- Bilgin, N., Eskikaya, S. and Dincer, T., 1993. The performance analysis of large diameter blast hole rotary drills in Turkish Coal Enterprises. *2nd International Symposium on Mine Mechanization and Automation*, Rotterdam: Balkema, pp. 129-135.
- Cheatham, J.B., 1958. An analytical study of rock penetration by a single bit-tooth, *8th Annual Drilling and Blasting Symposium*, Univ. of Minnesota, pp.1-21.
- Cheatham, J.B. and Pittman, R.W., 1966. Plastic limit analysis applied to a simplified drilling problem. *ISRM, Proceedings of 1st Congress*, Lisbon, vol.2, pp. 93-97.
- Çopur, H., Bilgin, N., Tuncdemir, H. and Balci, C., 2003. A set of indices based on indentation tests for assessment of rock cutting performance and rock properties. *The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, vol. 103 (9), pp. 589-600.
- Gnirk, P.F., 1966. An experimental study of indexed single bit-tooth penetration into dry rock at confining pressures of 0 to 7500psi. *ISRM, Proceedings of 1st Congress*, Lisbon, vol. 2, pp. 121-129.
- Gnirk, P.F. and Cheatham, J.B., 1963. Indentation experiments on dry rocks under pressure. *Journal of Petroleum Technology*, September, pp. 1031-1039.
- Hartman, H.L., 1966. The effectiveness of indexing in percussion and rotary drilling. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, vol. 6, pp. 265-278.
- ISRM, 2007. *The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974-2006*. Ulusay R., Hudson J.A., Editors. Ankara (Turkey): ISRM Turkish National Group.
- Kahraman, S. and Gunaydin, O., 2008. Indentation hardness test to estimate the sawability prediction of carbonate rocks. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, vol. 67, pp. 507-511.

- Kahraman, S., Balci, C., Yazici, S. and Bilgin, N., 2000. Prediction of the penetration rate of rotary blast hole drills using a new drillability index. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, vol. 37, pp. 729-743.
- Kahraman, S., Fener, M. and Kozman, E., 2012. Predicting the compressive and tensile strength of rocks from indentation hardness index. *J. South Afr. Inst. Min. Metall.* 112, pp. 331-339.
- Lundberg, B., 1974. Penetration of rock by conical indentors. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, vol. 11, pp. 209-214.
- Miller, M.H. and Sikarskie, D.L., 1968. On the penetration of rock by three-dimensional indentors. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, vol. 5, pp. 375-398.
- Morris, R.I., 1969. Rock drillability related to a roller cone bit. *Society of Petroleum Engineers*, Paper No. 2389, pp. 79-83.
- Pang, S.S., Goldsmith, W. and Hood, M., 1989. A force-indentation model for brittle rocks. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, vol. 22, pp. 127-148.
- Pariseau, W.G. and Fairhurst, C., 1967. The force-penetration characteristic for wedge penetration into rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, vol. 14, pp. 165-180.
- Paul, B. and Sikarskie, D.L., 1965. A preliminary theory of static penetration by a rigid wedge into a brittle material, *7th Symposium on Rock Mechanics*, The Pennsylvania State University, pp. 119-148.
- Szwedzicki, T., 1998a. Draft ISRM suggested methods for determining the indentation hardness index of rock materials. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, vol. 35, pp. 831-835.
- Szwedzicki, T., 1998b. The indentation hardness testing of rock *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, vol. 35, pp. 825-829.
- Toprak, V., Keller, J. and Schumacher, R. 1994. Volcano-tectonic features of the Cappadocian volcanic province. *International Volcanological Congress - Excursion Guide*, Ankara (Turkey): Middle East Technical University.
- Yağız, S., 2009. Assessment of brittleness using rock strength and density with punch penetration test. *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 24, pp. 66-74.

Piroklastik Kayaçların Suda Dağılmaya Karşı Duraylılıklarının Dolaylı Deneylerden Tahmini

Estimating the Slake Durability of Pyroclastic Rocks from Indirect Tests

S. Kahraman

Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara

M. Fener

Ankara Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara

O. Günaydın

Adıyaman Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adıyaman

ÖZET Tüf ve ignimbrit gibi piroklastik kayaçlar eski çağlardan beri yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bu kayaçların suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi (SDI)' nin kolay ve ucuz dolaylı deneylerden tahmini özellikle ön araştırmalarda faydalı olacaktır. Bu çalışmada, yapıtaşı olarak yaygın bir şekilde kullanılan Kapadokya piroklastik kayaçlarının SDI değerlerinin nokta yük indeksi (PLI) ve disk makaslama indeksi (BPI) değerlerinden tahmin edilebilirliği araştırılmıştır. Kapadokya yöresinden 32 farklı lokasyondan toplanan numuneler üzerinde SDI, PLI ve BPI deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarının regresyon analizi SDI ile PLI arasında çok yüksek korelasyon katsayısına sahip logaritmik bir ilişki olduğunu göstermiştir. SDI ile BPI arasında ise yüksek korelasyona sahip logaritmik bir ilişki bulunmuştur. Sonuç olarak, geliştirilen eşitlikler yardımıyla piroklastik kayaçların SDI değerlerinin PLI ve BPI değerlerinden kolay bir şekilde tahmin edilebileceği söylenebilir.

ABSTRACT Pyroclastic rocks such as tuffs and ignimbrites have been used as building materials since ancient times. The prediction of the slake durability index (SDI) of these rocks from easy and cheap indirect tests will be useful especially for preliminary studies. In this study, the predictability of the SDI values of Cappadocia pyroclastic rocks from the point load index (PLI) and block punch index (BPI) values was investigated. The SDI, PLI and BPI tests were carried out on the samples collected from the 32 different locations of Cappadocia region. The regression analysis of the test results showed that there was a logarithmic relation between the SDI and PLI with a very high correlation coefficient. A logarithmic relation with a high correlation coefficient was found between the SDI and BPI. In conclusion, it can be said that the SDI values of pyroclastic rocks can be easily predicted from the PLI and BPI values by the help of the derived equations.

1 GİRİŞ

Çoğunlukla çok yumuşak ve yumuşak kayaç grubuna piroklastik kayaçlar volkanlardan püskürtülen kırıntıların yeryüzünde depolanmasıyla oluşmuşlardır. Tüf, ignimbirit, lapilli taşı, volkanik breş ve aglomera en önemli piroklastik kayaç türleridir. Genellikle düşük yoğunluk ve yüksek gözeneklilik oranına sahip piroklastik kayaçlarda yoğun bir mikro-

çatlak yapısı gözlenmektedir. Ayrıca, önemli oranlarda kil mineralleri içerebilmeleri dikkat çeken özelliklerindedir.

Genellikle 50 MPa'dan düşük tek eksenli basınç dayanımına sahip olmalarına rağmen, 200 MPa değerine kadar dayanıma sahip piroklastik kayaçlara da rastlanmaktadır. Yoğunlukları 0.75 g/cm^3 'den 2.75 g/cm^3 'e, gözeneklilik değerleri ise % 4.7' den % 69' a kadar değişebilmektedir (Frolova, 2008).

Piroklastik kayalardan belirli özelliklere sahip olanlar eski çağlarda yaygın bir şekilde yapı taşı olarak kullanılmış ve halen kullanılmaya devam edilmektedir.

Suda dağılmaya karşı duraylılık yumuşak kayaların önemli özelliklerinden biridir ve kayacın mineral içeriği (özellikle kil içeriği) ve dokusal özellikleri ile yakından ilişkilidir. Yumuşak olmaları ve önemli oranda kil içerebilmeleri bakımından piroklastik kayalar suya karşı hassas kayalardır. Dolayısıyla yapıtaşı olarak kullanılacak piroklastik kayacın suda dağılmaya karşı duraylılığının bilinmesi önemlidir.

Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi (SDI)'nin standart yöntemle belirlenmesinin numune hazırlama zorluğu ve zaman alıcı olması gibi dezavantajları bulunmaktadır. SDI'inin kolay bir şekilde dolaylı yöntemlerden tahmini özellikle ön araştırma aşamalarında faydalı olacaktır. Bu çalışmada, Kapadokya yöresi piroklastik kayalarının SDI değerlerinin nokta yük indeksi (PLI) ve disk makaslama indeksi (BPI) yardımıyla tahmin edilebilirliği araştırılmıştır.

2 ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

SDI ile çeşitli kayaç özellikleri arasındaki ilişkiler bazı araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Bonelli (1989), kumtaşları üzerinde tek eksenli basınç direnci (UCS) ile SDI arasındaki ilişkiyi araştırmış, fakat anlamlı bir ilişki bulamamıştır. Bonelli, anlamlı ilişki elde edilememesinin nedenini, test edilen kayaların SDI değerlerinin dar bir aralıkta (>90%) değişmesine bağlamıştır. Cargill ve Shakoor (1990), farklı kayaç türlerini test ederek UCS ve SDI arasındaki korelasyonu incelemiş, fakat iyi bir korelasyon bulamamışlardır. Koncağul ve Santi (1999), Breathitt şeyli için UCS ve SDI arasında bir korelasyon olup-olmadığını araştırmış ve iki parametre arasında iyi bir korelasyon olmadığını görmüşlerdir. Gokceoglu vd. (2000), killi kayalar üzerinde yaptıkları deney sonuçlarını değerlendirirken test edilen bütün kayalar için UCS ve SDI arasındaki iyi bir korelasyon bulamamışlar, ancak sadece

marnları gözönüne aldıklarında iki parametre arasında pozitif doğrusal bir korelasyon bulmuşlardır. Chen and Hu (2003) zayıf kumtaşları için UCS ile SDI arasında lineer korelasyonlar geliştirmişlerdir. Sharma ve Singh (2008), mağmatik, sedimanter ve metamorfik kayaları test etmiş ve SDI ile P-dalga hızı arasında yüksek korelasyon katsayısına sahip doğrusal bir ilişki bulmuşlardır. Dincer vd. (2008), kaliç formasyonları için UCS ile SDI arasında bazı lineer ve lineer olmayan eşitlikler geliştirmişlerdir. Kahraman vd. (2009), piroklastik kayalar için UCS ve SDI arasındaki ilişkiyi araştırmışlar ve iki değişken arasında kuvvetli bir eksponansiyel ilişki olduğunu göstermişlerdir. Moradian vd. (2010), dokuz farklı yumuşak kumtaşını test ederek, basit ve çoklu regresyon analiziyle UCS, P-dalga hızı, yoğunluk ve poroziteden SDI tahmin edilebilirliğini araştırmışlar ve basit regresyon analiziyle SDI ile ölçülen diğer kayaç özellikleri arasında kuvvetli korelasyonlar bulunmuşlardır. Ayrıca, Moradian vd. (2010) tarafından alternatif çoklu regresyon analizleri denenmiş ve elde edilen modellerin basit regresyon modellerinden daha iyi korelasyon katsayısına sahip oldukları görülmüştür. Yağız (2011), karbonatlı kayalar için UCS ve SDI arasında kuvvetli bir lineer ilişki bulmuştur.

Kahraman vd. (2011) tarafından piroklastik kayalar için yapılan çalışmada SDI ile yoğunluk arasında yüksek korelasyon katsayısına sahip doğrusal bir ilişki bulunurken, SDI değeri ile porozite arasında da iyi korelasyon katsayısına sahip doğrusal ters bir ilişki bulunduğu görülmüştür. Sarkar vd. (2012) ve Khandelwal (2013), SDI ile P-dalga hızı arasında çok yüksek korelasyon katsayısına sahip doğrusal ilişkiler geliştirmişlerdir. Azimian and Ajalloeian (2015) marn grubu kayalar için P-dalga hızı ile SDI arasında yüksek korelasyonlu lineer ilişki bulmuştur.

Daha önce yapılan çalışmalar çoğunlukla UCS ile SDI arasındaki ilişki hakkındadır. SDI'nin PLI ve BPI'dan tahmin edilmesi konusunda literatürde herhangi bir çalışma bulunmamaktadır.

3 NUMUNE ALIMI

Niğde, Nevşehir, Kayseri ve Aksaray illerinde halen işletilmekte olan yapıtaşı ocaklarından ve mostralardan 32 farklı lokasyondan laboratuvar deneyleri için piroklastik kayaçlara ait blok numuneler toplanmıştır. Numunelerin lokasyonları Çizelge 1’ de verilmiştir.

4 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Suda dağılmaya karşı duraylılık deneyleri ISRM (2007) standardına göre yapılmış olup; 10 adet 40-60g ağırlığa sahip yuvarlatılmış numune, 110 °C’ de 24 saat

kurutulup soğutulduktan sonra deney aletinin tamburuna konulmuştur. Tambur deney haznesi içerisine yerleştirilmiş ve hazne belirli seviyeye kadar yaklaşık 20 °C’ deki su ile doldurulduktan sonra 10 dakikada 200 devir yaptırılmıştır. Hücrede kalan numune kurutulduktan sonra tartılarak ağırlığı belirlenmiştir. İşlem dört defa tekrarlanarak dört çevrimlik suda dağılmaya duraylılık indeksi hesaplanmıştır (Çizelge 1).

PLI ve BPI deneyleri suya doyurulmuş karotlar üzerinde ISRM (2007) standardına göre yapılmıştır. Deneyler her kayaç çeşidi için en az beş defa tekrarlanmış ve sonuçların ortalaması alınmıştır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Numune lokasyonları ve deney sonuçları.

Lokasyon	Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi-SDI (%)	Nokta yük indeksi-PLI (MPa)	Disk makaslama indeksi-BPI (MPa)
Derbent-1/Niğde (Bej)	85.6	0.62	3.4
Dere Mah.-1/Niğde	86.7	0.82	2.0
Dere Mah.-2/Niğde	94.8	1.78	5.9
Kızılören/Niğde	97.9	1.79	4.9
Özbelde/Niğde	97.2	2.04	4.1
Aktaş-1/Niğde	85.0	0.46	1.2
Aktaş-2/Niğde	69.9	0.30	1.1
Derinkuyu/Nevşehir	90.2	0.70	2.6
Nevşehir (Gül kurusu)	93.0	0.67	2.5
Akkaya Göleti/Niğde	98.0	2.11	6.9
Bahçeli/Niğde	91.9	1.74	2.7
Gümüşler/Niğde	85.7	0.65	2.9
Tomarza/Kayseri (Sarı)	95.3	1.40	1.5
Tomarza/Kayser (Siyah)	93.7	1.09	3.9
Avanos/Nevşehir (Pembe)	94.6	0.98	2.8
Derbent-2/Niğde (Gri)	95.6	1.32	4.7
Güllüce/Niğde	97.3	2.21	8.1
Araplı/Yahyalı/Kayseri	94.9	0.99	3.6
Mustafapaşa/Nevşehir	75.5	0.13	0.9
İncesu/Kayseri	95.0	0.91	3.8
Avanos/Nevşehir (Beyaz)	67.3	0.12	0.8
Nevşehir (Vişne)	83.9	0.85	0.7
Nevşehir (Devetüyü)	91.2	0.62	1.6
Nevşehir (Beyaz)	85.7	0.64	1.7
Nevşehir (Formika)	80.4	0.73	1.0
Nevşehir (Sarı)	90.1	0.59	2.1
Tomarza/Kayseri (Gri)	97.4	1.80	4.9
Selime/Ihlara/Aksaray	96.9	1.66	4.3
Taşpınar/Aksaray	95.6	1.43	4.9
Altunhisar/Niğde	97.2	1.57	4.2
Persek/Kayseri	98.9	2.20	5.9
Başakpınar/Kayseri	98.7	2.23	7.0

4 VERİ ANALİZİ

Çizelge 1’ de görüldüğü gibi SDI değerleri % 67.3’ den % 98.9’a kadar değişmekte olup piroklastik kayalar için istatistiksel açıdan geniş bir aralığa sahiptir. Benzer şekilde PLI ve BPI değerleri de geniş aralıkta dağılmaktadır.

Çizelge 1’ de verilen deney sonuçları arasındaki korelasyonlar regresyon analiziyle değerlendirilmiştir. Şekil 1’ de görüldüğü gibi SDI ile PLI arasında çok yüksek korelasyon katsayısına sahip logaritmik bir ilişki bulunmuştur. İlişkiye ait eşitlik aşağıda verilmiştir:

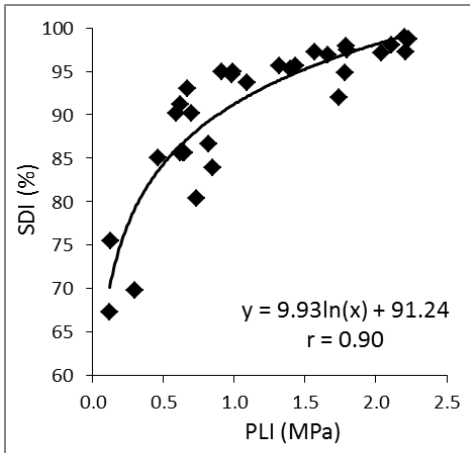
$$SDI = 9.93PLI + 91.24 \quad (1)$$

Burada, SDI, suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi (%) ve PLI, nokta yük indeksi (MPa)’ dir.

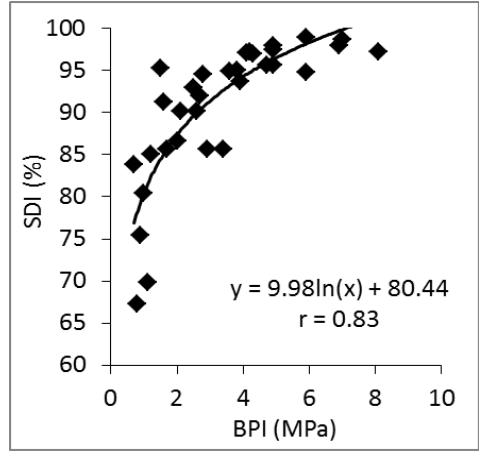
SDI ile BPI arasında yine Şekil 1’ de verilen ilişkiye benzer logaritmik bir ilişki bulunmuş olup, korelasyon katsayısı yüksektir (Şekil 2). İlişkiye ait eşitlik aşağıda verilmiştir:

$$SDI = 9.98BPI + 80.44 \quad (2)$$

Burada, SDI, suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi (%) ve BPI, disk makaslama indeksi (MPa)’ dir.



Şekil 1. SDI ve PLI arasındaki ilişki.



Şekil 2. SDI ve BPI arasındaki ilişki.

4 SONUÇLAR

Piroklastik kayaların SDI değerlerinin PLI ve BPI’ den tahmin edilebilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada Kapadokya yöresinden 32 farklı lokasyona ait numune kullanılmıştır. Deney sonuçlarının değerlendirilmesiyle SDI ile PLI ve BPI arasında yüksek korelasyonlu ilişkiler bulunmuştur. Sonuç olarak, piroklastik kayaların SDI değerlerinin PLI ve BPI değerlerinden tahmin edilebileceği söylenebilir.

Geliştirilen eşitliklerin başka yörelere ait piroklastik kayalar için de geçerli olup-olmadığını ortaya koyabilmek için ileri araştırmalar yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Azimian, A. and Ajalloeian, R., 2015. Empirical correlation of physical and mechanical properties of marly rocks with P wave velocity, *Arab. J. Geosci.*, 8, s. 2069–2079.
- Bonelli, R., 1989. Relationship between engineering properties and petrographic characteristics of selected sandstones, *MSc. Thesis*, Ohio: Kent State University.
- Cargill, J.S. ve Shakoor, A., 1990. Evaluation of empirical methods for measuring the uniaxial compressive strength of rock, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 27, s. 495-503.
- Chen, H. and Hu, Z., 2003. Some factors affecting the uniaxial strength of weak sandstones, *Bull. Eng. Geol. Env.*, 62, s. 323–332.

- Dincer, I., Acar, A., and Ural, S., 2008. Estimation of strength and deformation properties of Quaternary caliche deposits, *Bull. Eng. Geol. Environ.*, 67, s. 353–366.
- Frolova, Y.V., 2008. Specific Features in the Composition, Structure, and Properties of Volcaniclastic Rocks, *Moscow University Geology Bulletin*, 63(1), s. 28–37.
- Gokceoglu, C., Ulusay, R. and Sonmez, H., 2000. Factors affecting the durability of selected weak and claybearing rocks from Turkey, with particular emphasis on the influence of the number of drying and wetting cycles, *Eng. Geol.*, 57, s. 215-237.
- ISRM, 2007. The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974-2006. Suggested Methods Prepared by the Commission on Testing Methods, International Society for Rock Mechanics, R. Ulusay and J.A. Hudson (eds.), Compilation Arranged by the ISRM Turkish National Group, Ankara, Turkey, Kozan Ofset.
- Kahraman, S., Fener, M. and Gunaydin, O., 2011. Piroklastik Kayaçların Suda Dağılmaya Karşı Dayanırlılık İndeksinin Yoğunluk ve Poroziteden Tahmini. *22nd International Mining Congress and Exhibition of Turkey*, 11-13 May, Ankara, pp. 381-386.
- Kahraman, S., Fener, M. and Gunaydin, O., 2009. Predicting the UCS of pyroclastic rocks from the slake durability index, *Eurock 2009*, October 29-31, s. 267-270, Dubrovnik, Croatia.
- Khandelwal, M., 2013. Correlating P-wave Velocity with the Physico-Mechanical Properties of Different Rocks, *Pure Appl. Geophys.*, 170, s. 507–514.
- Koncagul, E.C. and Santi, P.M., 1999. Predicting the unconfined compressive strength of the Breathitt shale using slake durability, Shore hardness and rock structural properties, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 36, s. 139-153.
- Moradian, Z.A., Ghazvinian, A.H., Ahmadi, M. and Behnia, M., 2010. Predicting slake durability index of soft sand stone using indirect tests, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 47, s. 666–671.
- Sarkar, K., Vishal, V. and Singh, T.T., 2012. An empirical correlation of index geomechanical parameters with the compressional wave velocity, *Geotech. Geol. Eng.*, 30, s. 469–479.
- Sharma, P. K. and Singh T.N., 2008. A correlation between P-wave velocity, impact strength index, slake durability index and uniaxial compressive strength, *Bull. Eng. Geol. Environ.*, 67, s. 17–22.
- Yagiz, S., 2011. Correlation between slake durability and rock properties for some carbonate rocks, *Bull. Eng. Geol. Environ.*, 70, s. 377–383.

Doğal Yapı Taşlarının Basınç Dayanımında Örnek Boyutu ve Suyun Etkisi

The Effect of Sample Size and Water on Compressive Strength of Natural Building Stones

S. Beyhan, A. Özgür

Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya

ÖZET Bu çalışmada, 4 farklı bölgeye ait mermer ve traverten yapı taşlarından küp ve prizma numuneler hazırlanıp, bu numuneler üzerinde tek eksenli basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. 100, 75, 50 ve 25 mm boyutlarında küp, 50x50x100 mm ve 25x25x100 mm boyutlarında prizma olarak hazırlanan numuneler üzerinde boyut etkisi incelenmiştir. Çalışma sonucunda küp numunelerde, numune boyutunun artışına bağlı olarak basınç dayanımı değerlerinin azaldığı belirlenmiştir. Prizma numunelerin ise boyutlarındaki artışa paralel olarak dayanımlarının arttığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca, 5 farklı bölgeye ait mermer numuneleri üzerinde kayacın su emme özelliğine bağlı olarak dayanım değerlerindeki değişim de incelenmiştir. Bu amaçla, her bölge için kenar boyutu 70 mm olan 20'şer adet küp örnek hazırlanmıştır. Bu örneklerden 10 tanesi kuru 10 tanesi suya doymun koşullarda tek eksenli basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonucunda suyun mermer gibi doğal yapı taşları üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Buna göre suya doymunluk kayacın dayanımını etkileyen önemli bir faktördür.

ABSTRACT In this study, cubic and prismatic samples were prepared from marble and travertine building stones belonging to 4 different regions and uniaxial compressive strength tests were performed on these samples. The effect of size was investigated on specimens prepared as cubes with edge sizes of 100, 75, 50, 25 mm and prisms with dimensions of 50x50x100 mm and 25x25x100 mm. As a result of the study, it was determined that the compressive strength values of the cube samples decreased depending on the increase of the sample size. But the prism samples strength increased in parallel with the increasing size. In addition, the change in strength values of marble samples belonging to 5 different regions were investigated depending on the water absorption properties of the rock. For this purpose, 20 cube samples with an edge size of 70 mm were prepared for each region. Ten of these samples were subjected to uniaxial compressive strength test in dry conditions and ten of them in water-saturated conditions. As a result of the experiment, the effect of water on natural building stones has been determined. Accordingly, water saturation is an important factor affecting the strength of the rock.

1 GİRİŞ

Doğal yapı taşları günümüzde yapı sektöründe farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Bu taşların fiziksel, mekanik ve petrografik özellikleri, kullanılacağı yerin seçiminde önemli rol oynamaktadır. Doğal yapı taşları kullanılacağı yerin özelliklerine bağlı olarak farklı şekil ve boyutlarda üretilmektedir. Özellikle dış mekanlarda kullanılan taşlar, atmosfer etkilerine bu farklı boyut ve şekil doğrultusunda maruz kalmaktadır.

Minerallerin kaya içinde dağılımı heterojen olup, mineral dağılımı kayanın her yerinde aynı değildir. Bu heterojen yapı, aynı kaya türünden alınan aynı boyutlu ve şekilli numunelerin basınç dayanımlarının farklı olmasına neden olmaktadır (Özsen ve ark., 2007). Numune boyutu kayacın dayanımını etkileyen önemli bir parametredir. Bunun en önemli nedeni, numune boyutunun artışına bağlı olarak numunenin içereceği gözle görülemeyen mikro çatlak sayısının artışıdır. Bu çatlaklar, numune boyutuna bağlı olarak farklılıklar gösterecektir. Bu durum kayacın özellikle mekanik davranışını önemli derecede etkileyecektir. Bu doğrultuda, bugüne kadar yapılan birçok çalışmada, numune boyutunun artışına bağlı olarak numunelerin mekanik ve fiziksel özelliklerinde önemli değişiklikler meydana geldiği belirtilmektedir.

Kayanın heterojenliği, kaya içerisindeki farklı mineral bileşenlerinin artması, mineral bileşenleri arasındaki karakteristiklerin değişiminin büyük farklılık göstermesi, bileşenlerin boyutları arasındaki farkın büyük olması ve minerallerin hacim içinde çok düzensiz bir dağılım göstermesi ile artmaktadır (Yavuz ve ark., 2001). Ayrıca, küçük çatlaklardan başlayıp doğada var olan kayaçların mineral bileşenlerinde ya da bunlar arasındaki büyük boyutlu çatlaklara ve arızalara kadar devam eden süreksizlikler bulunmaktadır. Bu nedenle heterojen ve anizotropik özelliğe sahip kaya birimlerinin dayanım değerleri, ölçüğe bağlı olarak farklı değerler alacağı belirtilmektedir (Özsen ve ark., 2007).

Ximeng ve ark. (2015) yükseklik / çap oranı 1,5 ve 2,5 arasında olan kumtaşı

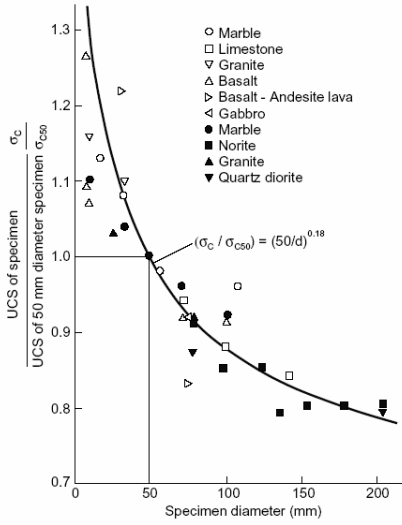
örneklerine uyguladıkları deneylerde, numunenin yüksekliğinin kayaçların basınç dayanımına etkisinin az olduğunu belirtmişlerdir. Deneyde numunenin yüksekliği ile birlikte dayanımın artması veya azalmasının nedenini deneysel hatalar ve kayaçların doğal heterojenliğinden kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Kaklis ve ark. (2015), iki farklı yapı taşının davranışını tanımlamak için yaptıkları çalışmada, hemen hemen tüm mekanik parametrelerin, numunelerin boyutlarına bağlı olduğu sonucuna varmışlardır.

Boyut ve şeklin kayaç dayanımına etkisinin belirlenmesine yönelik yapılan çalışmaların birçoğu silindirik numunelere aittir. ISRM (1981), tek eksenli basınç dayanımı deneyleri için 54 mm çaplı en az 5 numune önermektedir. ASTM (1986), genellikle doğal yapı taşlarının dayanımının belirlenmesi amacıyla 70 mm kenar uzunluğuna sahip en az 5 küp numune önerirken, TS 699'a (1987) göre ise, basınç dayanımı deneyi için genellikle kenarları 70 mm olan küp deney numuneleri kullanılması gerektiği belirtilmektedir.

Mümkün olduğunca büyük boyutlu numune kullanmak, numunelerin içereceği mikro çatlakları ve kırıkları daha iyi temsil edeceği için sonuçlarında doğal ortam şartlarına uygun olarak gerçek değerlerine yakın sonuçlar vereceği de dikkate değer bir durumdur. Ancak kaya kütlelerinden kırık ve çatlakları içerecek boyutlarda örnekler alınmamakta veya bu boyuttaki örnekler üzerinde laboratuvar da deneysel çalışmalar yapılamamaktadır. Bu nedenle, standartların önerdiği boyutlarda numuneler deneysel çalışmalarda kullanılmaktadır.

Hoek ve Brown (1980), kaya malzemesinin dayanımı üzerinde bir numunenin çapının etkisini Şekil 1'de vurgulamaktadır. Şekil 1'de farklı kaya türleri için elde edilen veriler, basınç dayanımı değerlerini bir laboratuvar numunesinin ortalama boyutu olan 50 mm çaplı bir numunenin basınç dayanımına bölmek suretiyle boyutsuz biçime indirgenmektedir.



Şekil 1. Tek eksenli basınç dayanımı ile boy / çap oranı arasındaki ilişki (Hoek ve Brown 1980).

Hoek ve Brown (1980), 50 mm'den farklı çapa sahip örneklerin, standart 50 mm çaptaki eşdeğer tek eksenli basınç dayanım değerleri için Eşitlik 1'den hesaplanabileceğini belirtmişlerdir.

$$\sigma_{c50} = \frac{\sigma_{cd}}{\left(\frac{50}{D}\right)^{0.18}} \quad (1)$$

Eşitlikte,

σ_{c50} : 50 mm çapında bir karot örneği için tek eksenli basınç dayanımı

σ_{cd} : D çapında bir örneğin tek eksenli basınç dayanımı

D : Örnek çapı (mm)

Benzer bir ilişki Cunha (1990) tarafından Eşitlik 2 kullanılarak önerilmektedir.

$$\sigma_{cd} = \sigma_{c50} \left(\frac{50}{D}\right)^{0.22} \quad (2)$$

Özellikle dış mekanlarda kullanılan farklı boyut ve şekillerdeki doğal yapı taşları kullanım süresi boyunca ıslanma-kuruma, donma-çözülme, asidik ortam, rüzgar vb. gibi iklim ve atmosfer olaylarına maruz

kalmaktadır. Bu tür olaylar kayacın fiziksel ve mekanik özelliklerini önemli derecede etkilemektedir. Özellikle nemli ve sulu ortamlara maruz kalmış kayaların, gözenekleri ile bünyelerine aldıkları bu nem ve su nedeniyle dayanım değerlerinde önemli azalmalar meydana gelebilmektedir.

Kaya malzemesi dayanım özelliklerini belirlemeye yönelik deneylerde, doğal ortam nemini korumuş olan örneklerde deney yapılması gerektiği belirtilmektedir (ISRM, 1983). Birçok araştırmacı da, kayaların doğal ortamlarındaki su ve nem içeriklerine göre dayanım deneylerinin yapılması gerektiğini, aksi takdirde gerçek değerlerden sapmalar olacağını belirtmişlerdir (Burshtein, 1969, Lin ve Hung, 1982, Vasarhelyi ve Van, 2006). Bu amaçla, çalışmada suyun etkisi de belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada 5 farklı bölgeye ait mermer numuneleri üzerinde kayacın su emme özelliğine bağlı olarak dayanım değerlerindeki değişim incelenmiştir. Her bölge için kenar boyutu 70 mm olan 20'şer adet küp örnek hazırlanmıştır. Bu örneklerden 10 tanesi kuru 10 tanesi suya doygun koşullarda tek eksenli basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuştur.

Boyut ve şekil etkisi ile suyun dayanım üzerindeki etkisinin belirlenmesine yönelik yürütülen bu çalışmada, kenar uzunluğu 100 mm, 75 mm, 50 mm ve 25 mm olan küp ve boyutları 50x50x100 mm, 25x25x100 mm olan prizma örnekler kullanılmıştır.

2 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1 Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi

Farklı geometrik şekle sahip kaya malzemesi örneklerinin dayanım ve kaya kütlesi sınıflamalarında ve yeraltı ve yerüstü mühendislik yapılarının tasarımında tek eksenli basınç dayanımı deneyinden yararlanılmaktadır. Deney standartları Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği (ISRM), Amerikan Test ve Malzeme Derneği (ASTM) ve TS 699 tarafından önerilen yöntemlere göre belirlenebilmektedir. Tek eksenli basınç dayanımı; litolojik özellikler, ayrışma derecesi, izotropluk, süreksizliklerin durumu, çimentolanma, kristallenme derecesi ve su içeriği gibi kayaca ait içsel faktörlerden ve

deney numunesinin boy/çap oranı, yükleme hızı gibi faktörlerden etkilenmektedir (Özdemir ve Sarıcı, 2017)

Numunelerin tek eksenli basınç dayanımı (σ_b) Eşitlik 3 kullanılarak belirlenmektedir (Ulusay ve ark. 2001).

$$\sigma_b = \frac{F}{A} \quad (3)$$

Eşitlikte;

σ_b = Numunenin tek eksenli basınç dayanımı

F = Yenilme anında kaydedilen yük

A = Örneğin kesit alanı

2.2 Dayanımda Boyut Etkisi

Boyut ve şekil etkisinin dayanım üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan deneylerde kullanılmak üzere 4 farklı bölgeye ait ocaklardan uygun boyutlarda blok halinde mermer ve traverten numuneleri alınmıştır. Marmara Adası (Mermer-1) ve Bursa (Emperador) (Mermer-2) bölgesinden mermer, Kütahya – Emet (Traverten-1) ve Kütahya – Hisarcık (Traverten-2) bölgelerinden traverten numuneleri alınarak atölyelerde kesilerek deney uygun boyutlara getirilmiştir. Çalışma amacına uygun olarak kenar uzunluğu 100mm, 75mm, 50mm, 25mm olan küp ve 50x50x100 mm, 25x25x100 mm ebatlarında prizma şeklinde numuneler hazırlanmıştır (Şek. 2).



Şekil 2. Farklı boyut ve şekildedeki mermer ve traverten örnekleri

Çalışmanın laboratuvar aşamasında, alınan numuneler üzerinde tek eksenli basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Deneylerde 100 ton yükleme kapasiteli, yükleme hızı ayarlanabilen, 1/8 sn aralığında veri alabilen servo kontrollü hidrolik pres kullanılmıştır (Şek. 3). Küp şeklindeki numunelerin dört farklı boyutundan 5'er adet olmak üzere toplam 80 adet küp numune, prizma şeklindeki numunelerin iki farklı boyutundan da 5'er adet olmak üzere toplam 40 adet prizma numune hazırlanmıştır.

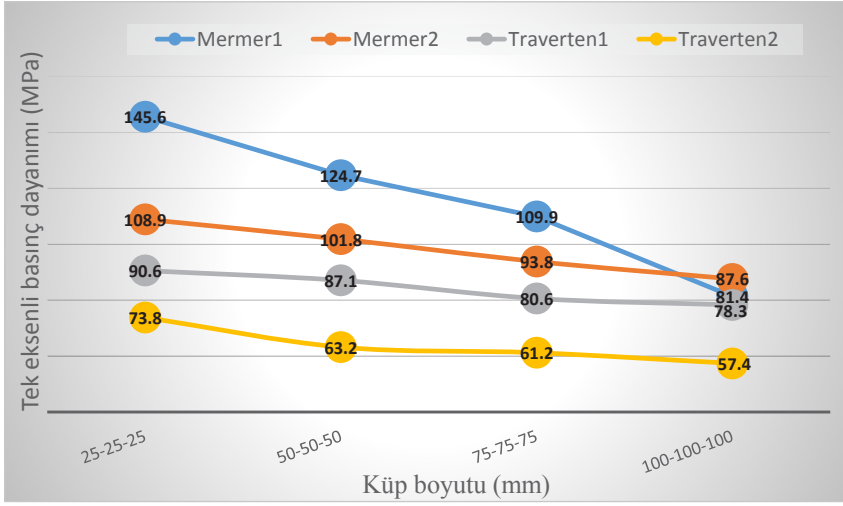


Şekil 3. Deneysel çalışmalarda kullanılan servo kontrollü hidrolik pres

Mermer ve travertenin küp şekilli her bir boyutuna uygulanan tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları Şekil 4'te verilmektedir. Şekil 4'e göre; numune boyutlarının artması ile numunenin basınç dayanımının azaldığı görülmektedir. Prizma numunelere uygulanan tek eksenli basınç dayanımında ise değerlerin arttığı görülmektedir (Çiz. 1). Küpün boyutunun artışına paralel olarak dayanım değerlerinde önemli azalmalar görülmüştür. Bu durum, boyutun artmasıyla, içerdiği mikro çatlak sayısının artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. 25x25x100mm ve 50x50x100mm boyutundaki prizma şekilli numunelerde yükseklik aynı olmasına rağmen prizmanın yüzey alanının artışıyla dayanım değerinin de arttığı görülmüştür (Çiz. 1).

Çizelge 1. Prizma numunelerin ortalama tek eksenli basınç dayanımı değerleri

Boyut (mm)	Toplam Örnek Sayısı	Ortalama Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)			
		Mermer1	Mermer2	Traverten1	Traverten2
25x25x100	20	149,6	151,9	57,6	83,4
50x50x100	20	202,9	189,4	94,9	119,8



Şekil 4. Küp numunelerin boyut artışına bağlı olarak dayanım değerleri

2.3 Dayanımda Suyun Etkisi

Kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri, yeraltı ve yerüstü mühendislik yapılarının tasarımında göz önünde bulundurulmuş önemli girdi parametrelerindedir. Farklı şekil, boyut, geometriye sahip taneciklerin bir araya gelmesi ile oluşan kayaçlarda gözlenen heterojen yapı, kayaçların fiziksel ve mekanik parametrelerini etkileyen önemli unsurlardandır. Tek eksenli basınç dayanımı bu parametreler içinde büyük öneme sahiptir. Tek eksenli basınç dayanımı; kayacın mineral kompozisyonu, gözenekliliği, süreksizliklerin durumu, tane boyutu, geometrisi ve ortam sıcaklığı, nem durumu, su içeriği gibi faktörlerden etkilenmektedir. Özellikle kayacın bünyesinde gelişen doymuluk derecesindeki değişim kayaç dayanımını ve davranışlarını etkilemektedir (Özdemir ve Sarıcı, 2017).

Çalışmanın bu bölümünde, suyun doğal yapı taşının dayanımına olan etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, 5 farklı ocaktan alınan blok numuneler atölyede 70 mm ebatında olacak şekilde hazırlanmıştır. Her bir bölgeye ait mermer numunelerinden 10 adedi kuru, 10 adedi de suya doymun olmak üzere 20 adet numune hazırlanmıştır. Toplam numune sayısı ise 100 adettir.

Numunelerin suya doymun duruma getirilmesi amacıyla yaklaşık olarak oda sıcaklığında (20°C) su içerisinde değişmez kütleyle gelinceye kadar bekletilmiştir (Şek. 5). Su içerisindeki numunelerden her 6 saatte bir ağırlık ölçümleri alınmıştır.

Ayrıca numunelerin su emme aşamasında fiziksel olarak herhangi bir değişiklik olup olmadığı da takip edilmiştir. Numuneler hem kuru hem de suya doymun şartlarda tek eksenli basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonuçları Çizelge 2'de verilmektedir.



Şekil 5. Numunelerin suya doymun hale getirilmesi

Çizelge 2'ye göre; 5 bölgeye ait mermer numunelerinin suyun etkisiyle dayanımlarının azaldığı belirlenmiştir. Dayanım azalması her bölge için farklı

oranlarda gelişmiştir. Bu durumun, mermerlerin bölgesel farklılıklarından dolayı, oluşum mekanizmalarındaki geçirdikleri sürece bağlı olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 2. Kuru ve suya doymun mermer numunelerinin tek eksenli basınç dayanımı değerleri

Bölge	Numune Sayısı	Ortalama Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)			
		Kuru	Standart Sapma	Suya Doymun	Standart Sapma
Mermer-1 (Muğla-Milas)	20	93,1	14,88	62,3	12,54
Mermer-2 (Afyon-Kaplan postu)	20	86,3	5,36	83,1	11,99
Mermer-3 (Muğla-Limon)	20	77,9	12,94	67,5	2,69
Mermer-4 (Marmara-Gri)	20	75,7	5,66	72,4	8,90
Mermer-5 (Kütahya-Kırççeği)	20	70,0	10,03	66,4	10,08

3 SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, doğal yapıtaşlarının tek eksenli basınç dayanımında boyut ve suyun etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla 25, 50, 75 ve 100 mm kenar boyutlu küp ve 25x25x100 ile 50x50x100 mm ebatlarında prizma numuneler tek eksenli basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuştur. Küp numunelerin basınç dayanımlarının boyutun artması ile azaldığı belirlenmiştir. Bu azalmanın nedeninin, numune boyutun artmasıyla, numunelerin içerdiği mikro çatlak sayısının da artmasına bağlı olabileceği düşünülmektedir.

Suya doymunluğun basınç dayanımı üzerindeki etkisinin belirlenmesine yönelik yapılan deney sonuçlarına göre, doymunluk derecesi kayacın basınç dayanımını azaltıcı yönde etki ettiği belirlenmiştir. Bu etkinin, kaya malzemesi taneleri arasında yer alan gözeneklerin doymunluk derecesine bağlı olarak zayıflaması neticesinde basınç dayanımını azalttığı düşünülmektedir.

Yapılarda kullanılan doğal yapıtaşları, farklı şartlarda iklim ve atmosfer olaylarına maruz kaldığından dolayı bu şartlardan etkilenme dereceleri de değişebilmektedir. Bu durum, yapıtaşlarının kullanım amacına bağlı olarak değişen boyut ve şekillerine göre, atmosfer olaylarından etkilenme derecelerine de yansımaktadır. Dolayısıyla çalışmaların bu

yönde yürütülmesi, bu etkilenmenin belirlenmesi açısından son derece önemlidir. Benzer çalışmaların, daha farklı bölgeleri kapsayacak şekilde daha fazla deney numunesi üzerinde yapılması, boyut ve suya doygunluk derecesinin doğal yapı taşlarının dayanımına etkisinin belirlenmesi açısından önemlidir.

KAYNAKLAR

- ASTM, 1986. Standard test method of unconfined compressive strength of intact rock core specimens. D 2938: 390-391
- Burshtein, L.S., 1969. Effect of moisture on the strength and deformability of sandstone, *Soviet Mining Science*, 5, 573-576 p.
- Cunha, AP, 1990. Scale effects in rock masses, In: Cunha AP (ed.) *Proceeding of International Workshop on Scale Effects in Rock Masses*, Loen, Norway, 7-8 June.
- Hoek, E., Brown, E. T., 1980. *Underground Excavations in Rock*, Institution of Mining and Metallurgy, London, 532 p.
- ISRM, 1981. *Rock Characterization Testing and Monitoring, ISRM Suggested Methods*, International Society for Rock Mechanics, 211 p.
- ISRM, 1983. *Suggested Methods for Determining the Strength of Rock Materials in Triaxial Compression: Revised Version*, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, 20, 285-290 p.
- Kaklis, K.N., Maurigiannakis, S.P., Agioutantis, Z.G., Stathogianni, F.K., Steiakakis, E.K., 2015. *Experimental Investigation of the Size Effect on the Mechanical Properties on Two Natural Building Stones*, 8th GRACM International Congress on Computational Mechanics, Volos, Greece.
- Lin, M.L., Hung, J.J., 1982. The influence of moisture content on mechanical properties of some sedimentary rocks in Taiwan, *Proceeding of the 7th Southeast Asian Geotechnical Conference*, 1, 155-169 p, Hong Kong.
- Özdemir, E., Sarıcı, D.E., 2017. Farklı Suyu Doygunluk Derecelerinde Bazı Sedimenter Kayaçlarda Tek Eksenli Sıkışma Dayanımının Diğer Fiziko-Mekanik Özelliklerden Kestirimi, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 6, Sayı 2, s.681-691, Niğde.
- Ozsen, H., Bilim, N., Ozkan, I., 2007. The Effect of Shape and Size for Marble Rock Units under Uniaxial Compression, 7th International Scientific Conference SGEM 2007-Modern Management of Mine Producing Geology and Environmental Protection, 11-15 June, Albena, Bulgaria.
- TS 699, 1987. *Tabii Yapı Taşları Muayene ve Deney Metotları*, Türk Standartları Enstitüsü, 84s, Ankara.
- Ulusay R., Gökçeoğlu C., Binal A., 2001. *Kaya Mekaniği Laboratuvar Deneyleri*, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara, 167 s.
- Vasarhelyi, B., Van, P., 2006. Influence of water content on the strength of rock, *Engineering Geology*, v. 84, 70-74 p.
- Ximeng, L., Changyou, L., Weibin, G., Jiaojian, Q., 2015. The Effect of Specimen Height on the Uniaxial Compressive Experiment of Rocks, School of Mines, Key Laboratory of Deep Coal Resource Mining, Ministry of Education of China, State Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining, China University of Mining & Technology, 1473-1486 p., China.
- Yavuz, H., Sari, D., Varol, M., 2001. *Mermer ve Travertenin Tek Eksenli Basınç Dayanımının Belirlenmesinde Boyut ve Sekil Etkisi*, MERSEM'2001-Türkiye III. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı, s.209-217.

Donma-Çözünme İşleminin İgnimbiritlerin Mekanik Özelliklerine Etkisi

The Effects of Freeze-Thaw Process on Mechanical Properties of Ignimbrite

M. Bağcı, A. Yıldız, C. Başaran

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

S. Çetintaş

Akdeniz Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Antalya.

M. Yıldız

Aksaray Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Aksaray.

ÖZET İgnimbiritler gözenekli, ince kül boyutlu bileşenlerin depolanması ve çimentolaşması sonucunda oluşan piroklastik kayalardır. Bu tür kayalar genellikle yapı malzemesi olarak binaların dış cephe kaplamalarında, duvar yapımlarında, merdiven ve yer döşemesinde ve özellikle tarihi binaların restorasyon çalışmalarında yoğun olarak kullanılmaktadır. Atmosferik etkiler ve iklim farklılıkları kayaları önemli derecede etkilemektedir. Kayaların mineralojik-petrografik bileşimlerinin yanı sıra, porozite oranı, kırık ve çatlak düzlemlerinin yoğun olması gibi fiziksel özellikler de kayaların ayrışmasında etkili olmaktadır. Donma çözülme deneyleri sonucunda, İgnimbiritlerin mineralojik-petrografik ve fiziko mekanik özelliklerinde meydana gelen farklılıklar bu çalışmanın konusunu oluşturmuştur. Bu çalışmada, Afyon ve Aksaray bölgelerinden alınmış farklı ignimbirit örnekleri kullanılmıştır. Donma ve çözülme deneyi öncesi ve sonrasında ignimbiritlerin birim hacim ağırlığı, sertlik, kütle, ultrases hızı, porozite ve tek eksenli basınç dayanımı gibi fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Ayrıca ignimbiritlerin mineralojik-petrografik özelliklerini belirlemek amacıyla örneklere polarizan mikroskop, x-ışını kırınımı (XRD) ve taramalı elektron mikroskop (SEM) analizleri yapılmıştır.

Sonuç olarak, donma-çözülme deneylerinden elde edilen verilere göre, ignimbirit örneklerinin birim hacim ağırlık, sertlik, kütle oranı, ultrases hızı ve tek eksenli basınç dayanımı değerlerinde azalma olurken, porozite değerinde artış olduğu gözlenmiştir.

ABSTRACT Ignimbrites are pyroclastic rocks formed by storage and cementation of porous, fine ash-sized components. Such rocks are mostly used as building materials in exterior walls of buildings, in wall constructions, on stairs and flooring, and especially in the restoration works of historical buildings. Atmospheric effects and climate differences affect rocks significantly. In addition to the mineralogical-petrographic composition of the rocks, physical properties such as porosity ratio, fracture and cracked planes are also effective in the decomposition of rocks. As a result of the freeze-thaw experiments, the differences in mineralogical-petrographic and physico-mechanical properties of the ignimbrites have been the subject of this study. In this study, different ignimbrite samples taken from Afyon and

Aksaray regions were used. Physical and mechanical properties of ignimbrite such as unit volume weight, hardness, mass ratio, ultrasound velocity, porosity and uniaxial compressive strength were investigated before and after the freezing and thawing experiment. Polarizing microscope, x-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscope (SEM) analyses were also performed to determine the mineralogical-petrographic properties of ignimbrites.

As a result, according to the results obtained from the freeze-thaw experiments, it was observed that the unit volume weight, hardness, mass ratio, ultrasound velocity and uniaxial compressive strength values of the ignimbrites decreased while the porosity value increased.

1. Giriş

Doğal yapıtaşları, antik dönemden günümüze uzun zamandır kullanılmaktadır. Son yıllarda, dünyanın her yerinde yapı malzemesi olarak doğaltaşların kullanıldığını görmekteyiz. Doğaltaşların albenilerinin yüksek olması, yalıtım özelliklerinin çok iyi olması ve kolay kesilip işlenebilmesi bu taşların tercih edilmesine neden olmaktadır. Doğal taşlardan yapılmış tarihi ve kültürel yapılar zaman içinde rüzgar, yağmur, nem, donma-çözülme, tuz kristalleşmesi gibi atmosferik olayların etkisi altında kalmaktadırlar. İklim farklılıklarının çok yüksek olduğu ülkemizde özellikle don etkisi gibi süreçler doğaltaşlar üzerinde çok etkili olmaktadır. Tüf, andezit ve ignimbirit gibi kayaçları içeren volkanik kökenli doğaltaşlar kaldırım taşı, duvar yapımında ve binalarda dekorasyon malzemesi olarak kullanılmaktadırlar. Farklı fiziksel ve kimyasal etkenler kayaçların ayrışmasına neden olabilmektedir. Örneğin, donma çözülme (Ruedrich vd., 2011; Binal, 2009), tuz kristalleşmesi (Angeli vd., 2007; Siegesmund ve Duerrast, 2011; Charola, 2000; Benavente vd., 2007), Islatma kurutma (Yavuz 2012; Topal ve Doyuran, 1997), termal etki (Siegesmund vd., 2000; Weiss vd., 2004) ve nem etkisi (Ruedrich vd., 2010; Wedekind vd., 2013; Korkaç, 2007; Korkaç, 2013). Kimyasal ayrışmada kayaçların bozunmasında önemli bir etken olmaktadır. Özellikle suların bünyesinde bulunan çözeltilerin etkisiyle kayaçların gözenekli kısımlarına yerleşen bu çözeltiler kayaçların bozunmasını hızlandırmaktadır. birimlerin üzerinde uyumsuzlukla yer almaktadır (Metin vd., 1987; Erkan vd., 1996). Gebeceler formasyonu genel rengi beyaz, grimsi beyaz renkli, ince-orta - kalın

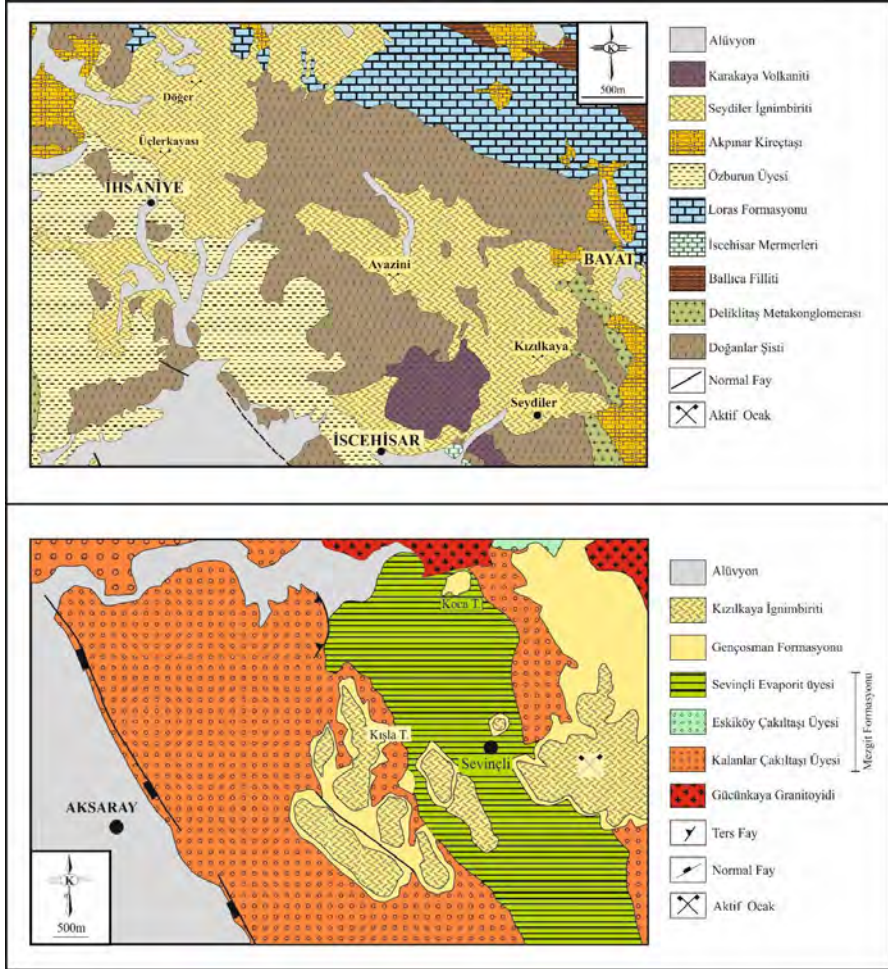
Kırık, çatlak ve gözenekli kayaçlarda bu bozunma derecesi daha hızlı olacaktır. Bu durum özellikle tarihi ve kültürel yapılarda önemli olmaktadır. Donma çözülme direncini etkileyen faktörler, kayaçların mineralojik bileşimleri, gözenek özellikleri, kapillarite, permeabilite ve mekanik özellikleri, basınç dayanımı, aşınma kaybı ve eğilme dayanımı gibi özellikleri içermektedir (Topal ve Sözmen, 2000; Everett ve Haynes, 1965; Binal ve Kasapoğlu, 2002). Farklı kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin yanı sıra dayanımı üzerinde donma çözülme süreçlerinin etkili olduğu son yapılan çalışmalarda belirtilmiştir (Altındağ vd., 2003; Yavuz, 2011, Topal ve Sözmen, 2000). Bu çalışmada, Afyonkarahisar ve Aksaray illerinden alınan ignimbiritlerin mineralojik ve petrografik özellikleri göz önünde bulundurularak, ignimbiritlerin don tesirlerine dayanıklılık özellikleri araştırılmıştır.

2. Frig Vadisi (Afyonkarahisar) ve Sevinçli (Aksaray) İgnimbiritlerinin Jeolojisi

Frig Vadisi (Afyonkarahisar)'nde, inceleme alanının temel kayaçlarını Paleozoyik yaşlı Doğanlar şistleri, Deliktaş metakonglomerası, Ballıca filliti ve İsehisar mermerleri oluşturmaktadır (Şekil 1a). Temel kayaçların üzerine gri renkli, orta-kalın tabakalı kireçtaşı ve dolomitlerden oluşan Triyas-Jura yaşlı Loras formasyonu gelmektedir. Gebeceler formasyonları ile Afyon volkanitleri Mesozoyik yaşlı katmanlı, altta tüf- tüfit- marn, killi kireçtaşları, kumtaşı ve aglomeralardan oluşan Özburun marn üyesi ile killi ve silis ara bantlı mikritik kireçtaşlarından meydana

gelen Akpınar üyesinden oluşmaktadır. Afyon volkanitleri ignimbirit ve lav türündeki volkanitlerden oluşmaktadır. Senozoyik birimler, Kuvaterner yaşlı alüvyal çökeller tarafından uyumsuz olarak örter. Genellikle beyaz ve krem renkli olan Frig Vadisi ignimbiritlerinin rengi yüksek

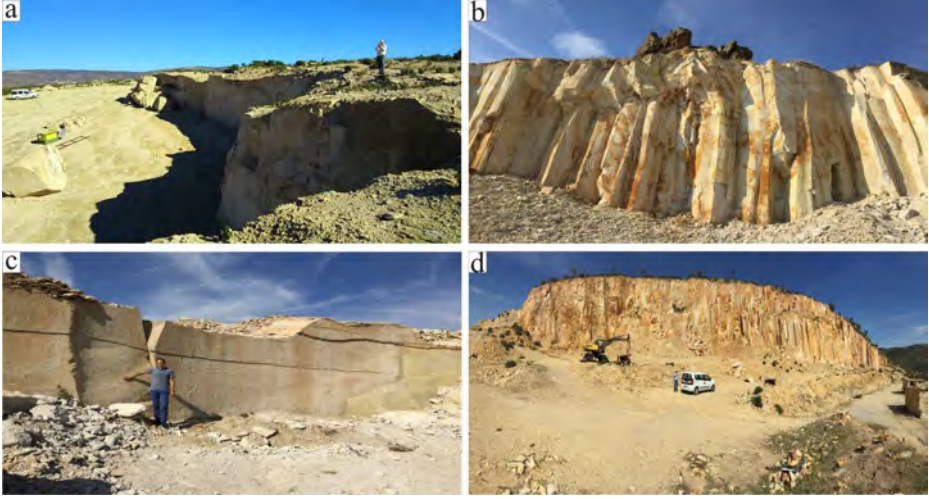
sıcaklıktaki kaynaşma ve/veya hidrotermal eriyiklerin etkisiyle açık sarı ve sarımsı kırmızıya dönüşmüştür. Birimdeki renk geçişleri oldukça düzensizdir. Çalışmada Frig Vadisi'ne ait örnekler Döğer, Üçlerkayası, Ayazini ve İncehisar bölgelerinden alınmıştır.



Şekil 1. (a): Frig vadisi jeolojisi (Turhan, 2002), (b): Aksaray ve çevresinin jeoloji haritası (Güllü, 2003).

Seydiler bölgesi İğnimbiritleri, Seydiler Kasabası ve çevresinde beyaz, beyazımsı sarı ve krem renkli 20 m toplam kalınlığa ulaşan diyatomit ara seviyelerini içerir. Formasyon kalınlığı, yaklaşık olarak 550 m olup, önceki çalışmalarda Seydiler İğnimbiritleri alt ve üst olmak üzere 2 seviyeye ayrılmıştır (Aydar vd., 1998). Miyosen yaşlı Seydiler İğnimbiritinin alt seviyeleri, koyu renkli, düzleşmiş, uzamış,

merceksi pümis parçaları (Fiamme yapısı) ile tipiktir. Üste doğru pümis akıntı çökelleri içerisinde kaynaklanma ve sütun çatlakları iyi gelişmiştir (Şekil 2d). Bunların üzerinde, yeniden işlenmiş piroklastik kökenli sedimanlardan oluşan seviye yer alır. Üst Seydiler Fasiyesi ise, altta birkaç akıntı birimi ile temsil edilir. (Aydar vd., 1998). Kaynaklanma derecesi üst seviyelere doğru artış gösterir. Bu seviyelerde peri bacası oluşumları yaygındır (Aydar vd., 1998).



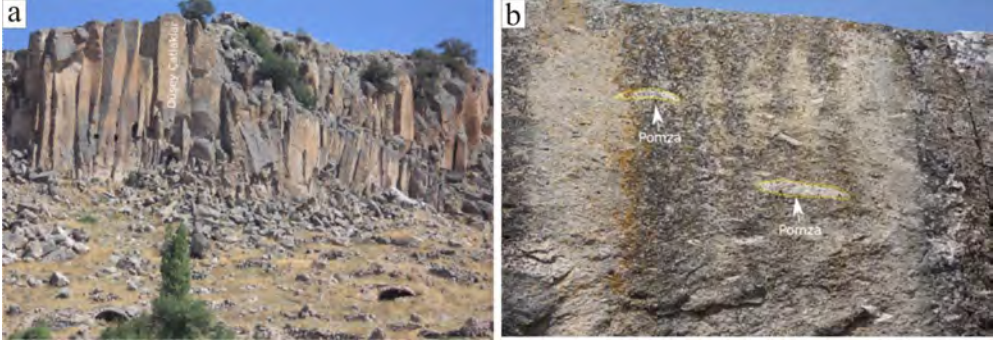
Şekil 2. Blok üretiminin yapıldığı Döğür bölgesi İğnimbiritleri (a), Ayazini bölgesi İğnimbiritlerinde gözlenen sutunsal yapılar (b), Üçlerkayası İğnimbiritleri (c), Çok iyi gelişmiş sutunsal yapıların gözlemlendiği Seydiler İğnimbiritleri (d).

Sevinçli (Aksaray) bölgesinde, Orta Anadolu Kristalen Karmaşığına ait metamorfik ve magmatik kayalar bunlar üzerine uyumsuz olarak gelen sedimanter ve volkanik kayalar yüzeylenmektedir. Metamorfitler, Orta Anadolu granitoidlerine ait Üst Kretase yaşlı gabbro, granit ve granodiyorit bileşimli magmatik kayalar tarafından kesilir. Magmatik kayalar Mamasun gabroidleri ve Gücünkaya granitoidleri olarak iki alt birime ayrılır. (Güllü, 2003). Temel kayaları üzerine uyumsuz olarak Geç Eosen – Oligosen yaşlı karasal ortamda çökelmiş Mezgit formasyonu yer alır. Mezgit formasyonunun litolojisini çakıtaşı, kumtaşı ve çamurtaşı ve evaporitler oluşturur. Mezgit formasyonu

üzerine Alt Pliyosen yaşlı yatay konumlu Gençosman formasyonu uyumlu olarak gelir. Alt Pliyosen yaşlı Kızılkaya İğnimbiriti Gençosman formasyonu üzerinde uyumlu olarak yer alır. Kuvaterner yaşlı yeni alüvyon çökelleri ise tutturulmamış kum ve çakıl boyu malzemenin oluşumunda. Kızılkaya İğnimbiriti atmosferik yüzeyleri pembemsi kırmızı renkli, taze yüzeyleri beyazımsı gri renklidir. Düşey yönde gelişen soğuma çatlakları nedeniyle sütunsu bir yapı sergilemektedir (Şekil 3a). Kızılkaya İğnimbiritleri asidik karakterli piroklastik akma ürünü kaynaklanmış tuf özelliğindedir. İnceleme alanı içerisinde yaklaşık 10–20 metre kalınlığa sahip olan birim, inceleme

alanı dışındaki İhlara vadisinde 120 metre kalınlığa ulaşmaktadır. Kızılkaya ignimbiriti paleosol seviyesi üzerine beyaz renkli ve yaklaşık 1-2 m kalınlığa sahip vitrik tüflerle başlar. Vitrik tüflerin üst seviyeleri 10-20 cm büyüklüğünde yuvarlak, elips şekilli pomza

ve litik parçalar içerir. Bu seviyelerde litik parçaların oranı pomza parçalarına göre daha yoğundur. Daha üst seviyelerde ise pomza parçalarının oranı litik parçalara göre daha çok artar (Şekil 3b).



Şekil 3. Sevinçli (Aksaray) bölgesi İgnimbiritlerinde gözlenen sütunsal yapılar (a), İgnimbiritler içerisinde gözlenen iri pomza parçaları (b).

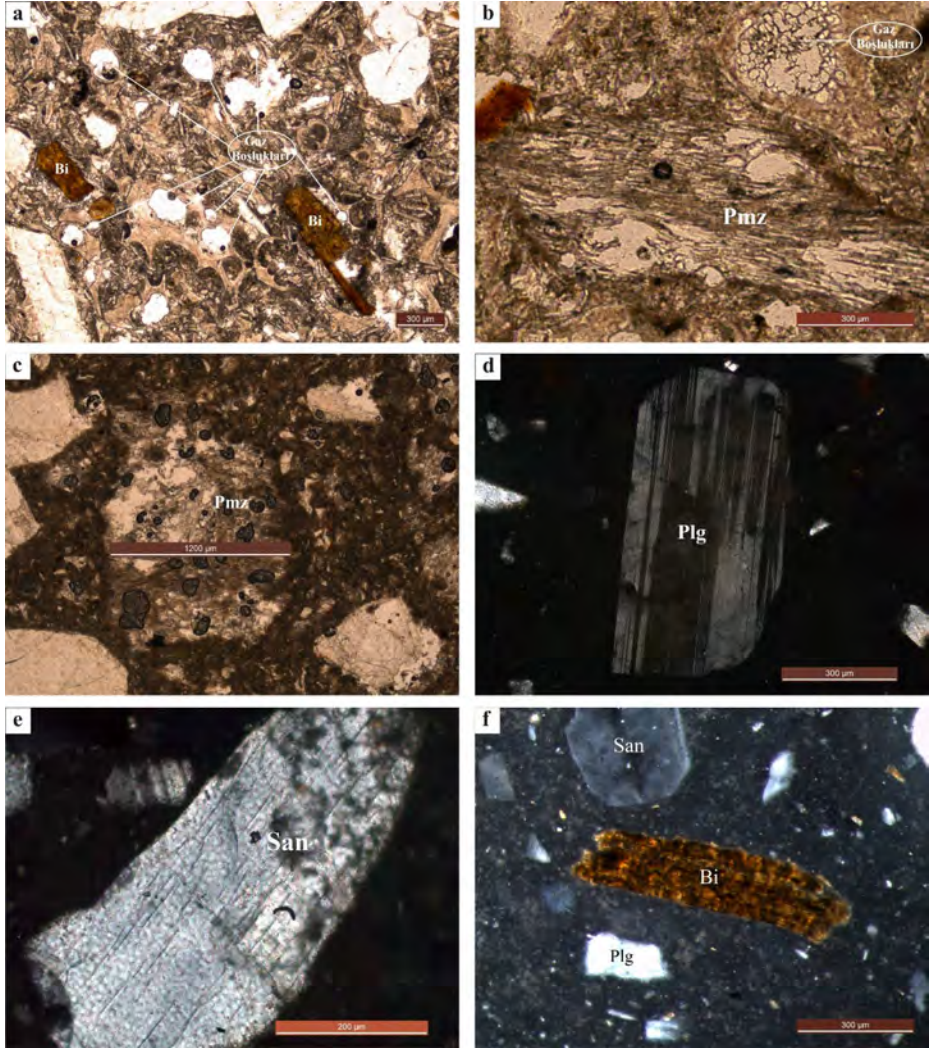
3. Materyal ve Metot

Çalışmada, ignimbiritlerin donma – çözünme deneyleri TS EN 12371 ve TS EN 1926 ‘ya göre yapılmıştır. Deney için hazırlanan bütün örnekler 105°C’de değişmez kütleye gelinceye kadar etüvde kurutulmuş ve kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Kurutulan numuneler su havuzunda suya doymun hale gelinceye kadar bekletilmiştir. Suya doymun hale gelen numuneler -12°C’de 6 saat dondurucuda bekletilmiştir. Bu işlemden sonra dondurucudan alınan numuneler +20 °C olan su havuzunda 6 saat süreyle tutularak bir döngü tamamlanmıştır. Bu işlem 25 döngü olacak şekilde tamamlanmıştır. Örneklerin donma çözülme deneyine bağlı olarak ayrışma durumlarıyla mineralojik-petrografik ve fiziksel özellikleri arasındaki ilişkileri ortaya koyabilmek için, örneklere polarizan mikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM), x-ışınları kırınımı (XRD), jeokimyasal analiz; kuru birim hacim ağırlığı, basınç dayanım deneyi, Schmid sertlik ve ultrases hızı testleri yapılmıştır. Polarizan mikroskop analizleri için deney numunelerinden ince kesit örnekleri hazırlanmıştır. Analizler Leica

DM2500P model görüntü analiz sistemli polarizan mikroskopta gerçekleştirilmiştir. Örneklerin morfolojik özellikleri ve mikrokimyasal analizleri LEO VP-1431 model taramalı elektron mikroskobunda yapılmıştır. SEM analizi öncesi örnekler 250-300 Å kalınlığında karbon filmle kaplanmıştır. Jeokimyasal bileşiminin belirlenmesi için ACME Laboratuvarı (Kanada)’nda örneklere majör ve minör element analizleri yapılmıştır. İgnimbirit örneklerinin fiziksel özelliklerinin tanımlanması için birim hacim ağırlık (TS EN 1936), Örneklerdeki kayaç ultrases hızı ilerlemesi (TS EN 14579) ve schmidt sertlik (ISRM, 1981) testleri yapılmıştır.

4. BULGULAR

4.1. Mineralojik-Petrografik İncelemeler
Sevinçli (Aksaray) ignimbiriti; vitrofirik-porfirik doku sunmakta ve kuvars, plajiyoklas, (±) biyotit ve (±) opak mineralden oluşmaktadır. Matriksi volkanik cam, cam kıymıkları ve biyotit kristalitleri meydana getirmektedir (Şekil 4a). Pomzalar ve hamur yoğun gaz boşluğu içerir (Şekil 4b).



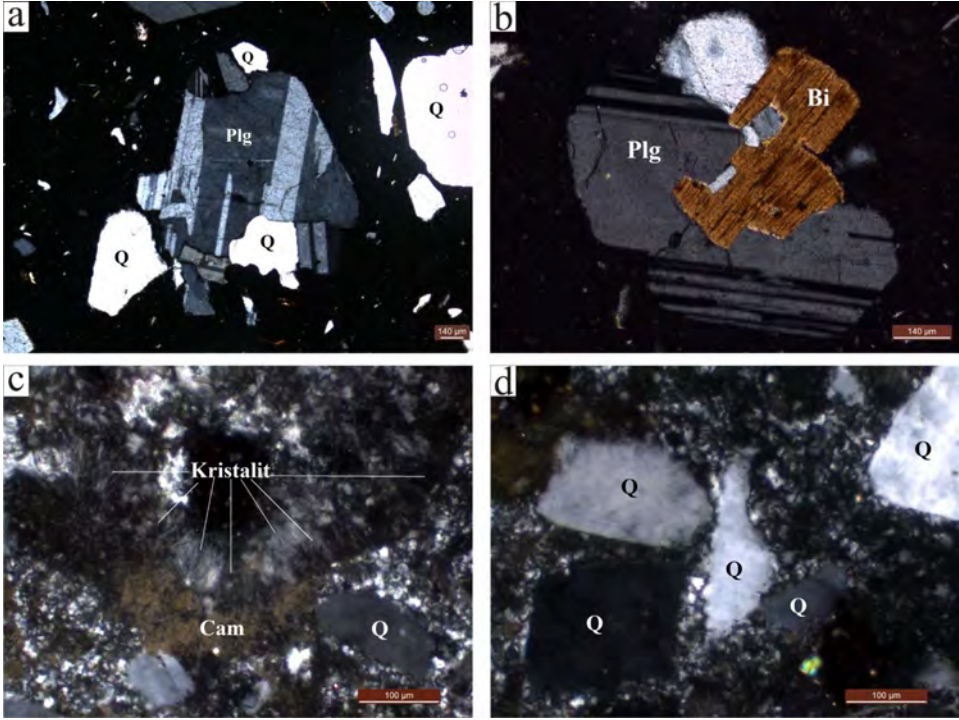
Şeki 4. Sevinçli (Aksaray) İgnimbirit örneklerinde çok sık gözlenen gaz boşlukları ve iri pomza parçaları (Pmz) (a,b); Döğer (Afyonkarahisar) İgnimbirit örneklerinde belirlenen çok iri paraçalar halinde bulunan pomza (Pmz) parçaları (c) ve iri plajiyoklas taneleri (d); Üçlerkayaş İgnimbirit örneklerinde iri özşekilli Sanidin (San) (d) ve Biyotit (Bi) kristalleri.

Gaz boşlukları yuvarlak oval veya elips şeklindedir. Kayaç parçaları bazalt-andezit bileşimli volkanik kayalara aittir. Pilotaksitik doku sunan Sevinçli (Aksaray) ignimbiriti, “Kristal-Vitrik Tuf” olarak adlandırılmıştır.

Polarizan mikroskop incelemelerinde; Frig Vadisi ignimbritlerinde vitrofirik-porfirik doku izlenmiştir. Kuvars, sanidin, ortoklas, (\pm), plajiyoklas ve (\pm)biyotit minerallerinden oluşan örneklerde, bu minerallerin oranları örneklerin alındığı bölgelerde farklılık

göstermektedir. Buna göre; Döğer İgnimbiritleri bol pomza ve kristal parçaları içerir Şekil 4c. Mineralojik bileşimi kuvars + sanidin + plajiyoklas + biyotit oluşturur. Hamurda pomza parçaları yoğun şekilde yer alır. Pomza parçaları içerisinde gaz boşlukları bulunur ve boşluklar düzensiz şekildedir. Üçlerkayası ignimbiritlerin mineralojik bileşimleri, Sanidin + kuvars + plajiyoklas +/- Biyotit mineral topluluğuna sahiptir. Vitrofirikporfirik dokuludur. Sanidin, kuvars ve plajiyoklas mineralleri fenokristalleri oluşturur (Şekil 4d). Biyotit, uzun çubuksu şekle tek yönde dilinime ve kuvvetli paleokrizmaya sahiptir (Şekil 4e). Vitrofirik-porfirik dokulu Ayazini

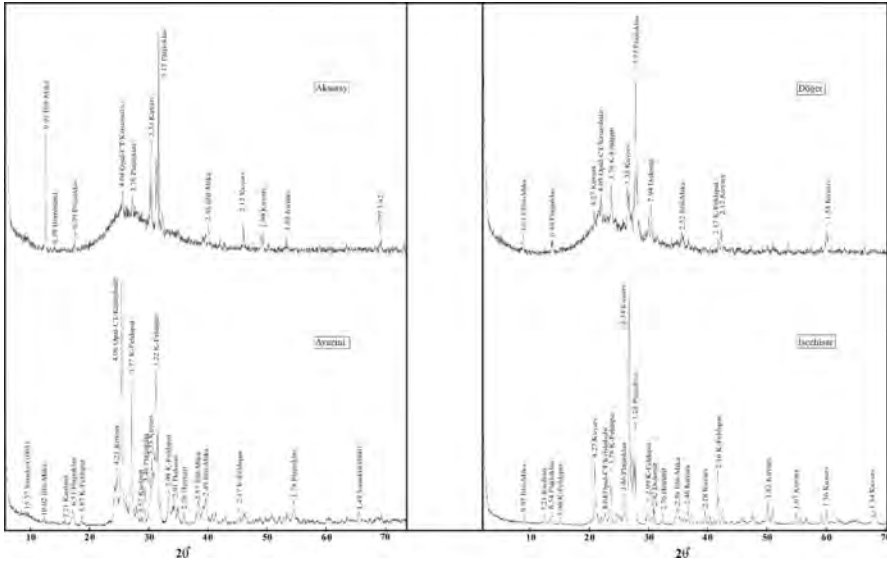
İgnimbiritleri plajiyoklas + ortoklas + kuvars +biyotit mineral topluluğundan oluşur. İçerisinde metamorfik kaya parçası ve pomzalar yer alır (Şekil 5a). Plajiyoklaslarda zonlu doku gelişmiştir. Ortoklaslarda karlspat ikizi tipiktir (Şekil 5b). Metamorfik kaya parçaları kuvarsit ve meta-pelit türü kayalardan oluşur. Riyolitik karakterli İncehisar İgnimbiritleri Kuvars + sanidin + plajiyoklas mineral bileşimine sahiptir (Şekil 5c). Kuvars minerallerinde dalgalı sönme yaygındır (Şekil 5d). İncehisar bölgesi dışındaki örnekler Frig Vadisi (Afyonkarahisar) ignimbiritleri, “Kristal-Vitrik Tüf” olarak tanımlanmıştır.



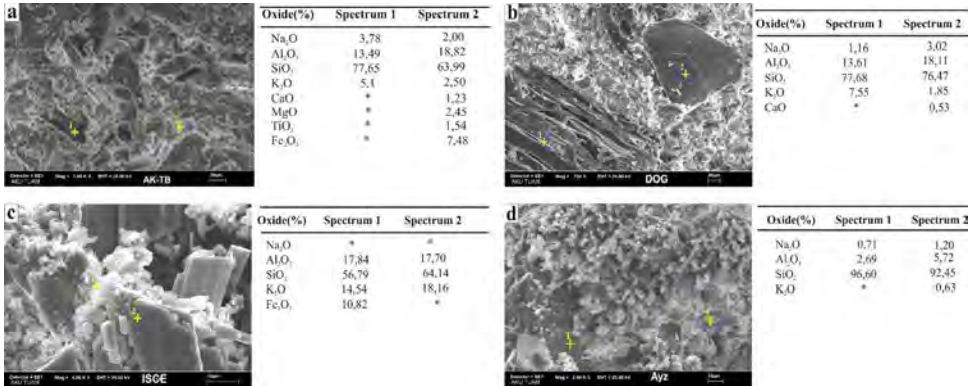
Şekil 5. Ayazini ignimbirit örneklerinde gözlenen Kuvars (Q), Plajiyoklas (Pl) taneleri (a) ; Ayazini İgnimbirit örneklerinde Feldspat kristallerinde gözlenen Karlsbat ikizlenmesi ve Feldspat kristalleri tarafından iterasyona uğramış Biyotit (Bi) kristali (b); Seydiler İgnimbirit örneklerinde gözlenen Kristalit ve Kuvars kristallerinin görünümü (c, d).

İncelenen İğnimbirit örneklerine ait X-ışınları kırınımı (XRD) incelemelerinden elde edilen XRD grafikleri Şekil 6'da verilmiştir. Örneklerdeki başlıca kayaç yapıcı mineralleri kuvars (Q) ve alkali feldspat (Ksp), kristobalit/opal-CT (Cr-O), plajiyoklas (Plg), biyotit (Bio) ve amfibol (Amp) oluşturmaktadır. Ayrıca bu minerallere simektit (Sme), kaolinit (Kao), dolomit (Dol) ve hematit (Hme) mineralleri

eşlik etmiştir. İğnimbiritlerin camsi matrisiyle pomza tanelerinin örneklerdeki amorf fazın en önemli kaynağı olduğu düşünülmektedir. Frig vadisi örneklerindeki alkali feldspat, simektit ve kaolinit gibi alterasyon mineralleri ile Aksaray örneğindeki amfibol içeriği iki bölgenin örneklerini birbirinden ayıran en önemli mineralojik farklılıklardır.



Şekil 6. İğnimbirit örneklerine ait X ışınları difraktometre (XRD) çekim sonuçları.



Şekil 7. Sevinçli (Aksaray) İğnimbirit örnekleri (a), Döğeri (b), Seydiler (c) ve Ayazini (d) (Afyonkarahisar) ait Elektron Mikroskop (SEM) görüntüleri.

Taramalı elektron mikroskop (SEM) incelemelerinde; Sevinçli (Aksaray) örneğinde, camsı fazın kristal faza göre daha baskın olduğu gözlenmiştir. (Şekil 7a). Frig Vadisi ignimbiritlerinin amorf silisten oluşan matrisinde plajyoklas, kuvars, alkali feldspat ve biyotit minerallerinden meydana geldiği belirlenmiştir. Döğer bölgesine ait örnekte belirgin bir şekilde pomza taneleri gözlenmiştir. Pomza tanelerinde uzunlamasına kapalı gözenekler oldukça dikkat çekicidir (Şekil 7b). Seydiler örneklerinde gözlenen iri plajyoklas kristalleri matris içinde oldukça belirgindir (Şekil 7c). Ayazini örneklerinde matris içinde yer yer küçük kuvars taneleri gözlenmektedir (Şekil 7d). Yüksek camsı faz oranı, silis kristal morfolojisindeki çeşitlilik ve yüksek pomza içeriği ve alterasyonun olmayışı Sevinçli örneklerini Frig Vadisi örneklerinden ayıran en önemli morfolojik farklılıklardır

4.2. Fiziksel Özellikler

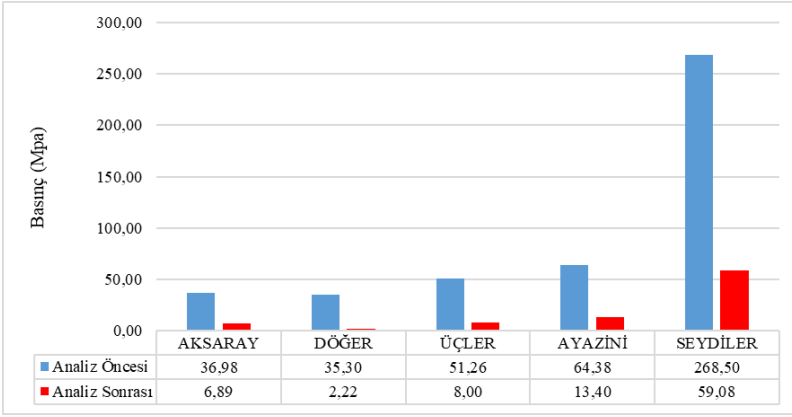
Sevinçli (Aksaray) ve Frig Vadisi (Afyonkarahisar) İgnimbirit örneklerine ait don deneyi öncesi ve don deneyi sonrası olmak üzere Ağırlık Kaybı (%), Basınç Dayanımı (MPa), Ultrases ve Schmid Sertliği deneyleri yapılmıştır. Deneylere ait sonuçlar (Tablo 1)'de verilmiştir. İgnimbirit örnekleri üzerinde oluşan bozunmanın belirlenmesi ve bozunma ile mineralojik ve fiziko mekanik özellikler arasındaki ilişkiler ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Basınç dayanımı (MPa) sonuçları incelendiğinde, İgnimbirit örneklerinin hepsinde bir azalma

olduğu görülmektedir (Şekil 8). Donma çözülme deneyi öncesi basınç dayanımı değerleri 35,30 MPa ile 268 MPa arasında değişmektedir. Deney sonrası ise sonuçların 2,22 MPa ile 59.08 MPa arasındadır. Donma çözülme deneyi sonrasında oluşan fark özellikle Seydiler ve Döğer örneklerinde yüksek çıkmıştır. Sırasıyla %77 ve %94'e kadar çıkan fark oluşmuştur. Seydiler ve Döğer İgnimbirit örneklerinde metamorfik kayalık parçalarından oluşan litik materyalin fazla olması ve örneklerin kataklazma dokuya sahip olmaları farkını yüksek çıkmasına neden olmuştur. Ultrases hızı değerlerindeki değişim grafikleri incelendiğinde ise Seydiler ve Döğer örneklerindeki azalma oranı çok düşük olmasına karşın diğer örneklerin tümünde azalma oranı kadar çıkmıştır (Şekil 9). Sevinçli (Aksaray) ve Frig vadisi (Afyonkarahisar) bölgelerine ait farklı İgnimbirit örneklerine ait donma çözülme deneyine bağlı olarak gerçekleşen fiziksel ve mekanik deneylere ait sonuçlar incelendiğinde fiziksel ve mekanik deney sonuçlarının benzerlik göstermediği görülmüştür. Donma çözülme deneyinin en önemli sonuçlarından birisi olan ağırlık kaybı (%) değişimleridir. Donma çözülme deney sonrasında ağırlık kaybı değişimleri incelendiğinde tüm İgnimbirit örneklerinde bu değişimin çok düşük oranlarda kaldığı (%0,01 ile %1,05) görülmüştür. Deney sonrası Seydiler bölgesi İgnimbirit örneklerindeki kütle değişimleri çok az oranda gerçekleşirken diğer örneklerde bu oran daha yüksek miktarda olmuştur. (Şekil 10).

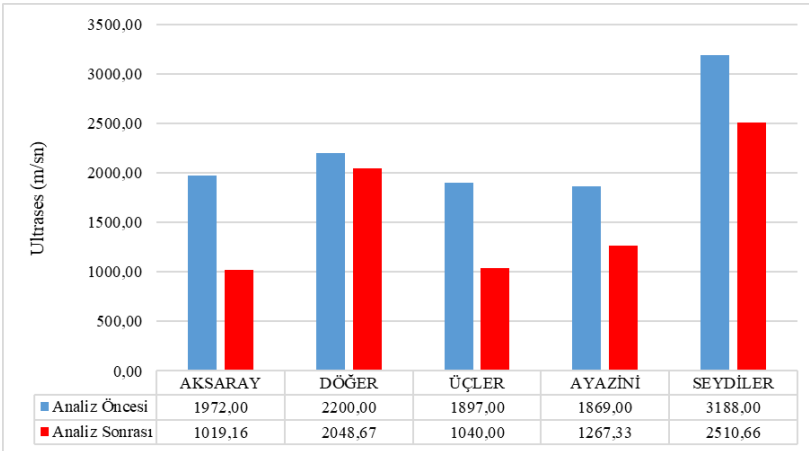
Tablo1: Sevinçli (Aksaray) ve Frig Vadisi (Afyonkarahisar) İgnimbirit Örneklerinin Don Deneyi Öncesi ve Sonrası Ağırlık Kaybı (%), Basınç Dayanımı (MPa), Ultrases (m/sn) ve Schmid Sertliği değerleri.

	Aksaray		Döğer		Üçlerkayası		Ayazini		Seydiler	
	A.Ö	A.S.	A.Ö	A.S.	A.Ö	A.S.	A.Ö	A.S.	A.Ö	A.S.
Basınç Dayanımı (MPa)	36,98	6,89	35,30	2,22	51,26	8,00	64,38	13,4	268,50	59,08
Ultrases (m/sn)	1972,00	1019,16	2200,00	2048,67	1897,00	1040,00	1869	1267,33	3188,00	2510,66
Ağırlık Kaybı %	-	0,35	-	1,05	-	1,04	-	0,7	-	0,01

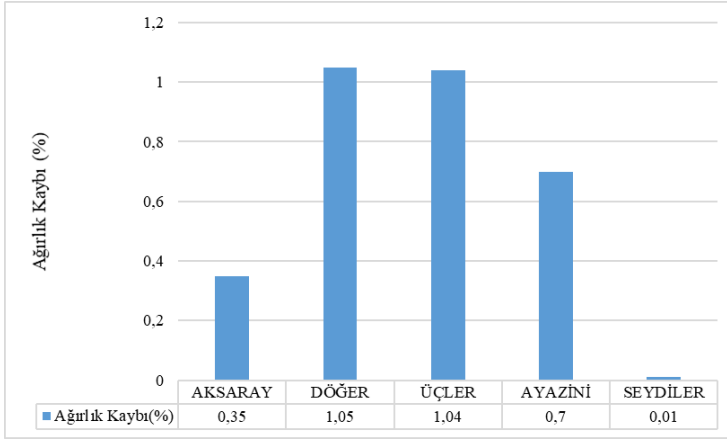
*A.Ö: Analiz Öncesi; A.S: Analiz Sonrası



şekil 8. Donma özölme deneyine bağlı olarak İğnimbirit örneklerindeki Basınç dayanımı (Mpa) değerlerindeki değişim grafiği.



şekil 9. Donma özölme deneyine bağlı olarak İğnimbirit örneklerindeki Ultrases (m/sn) değerlerindeki değişim grafiği.



Şekil 10. Donma çözülme deneyine bağlı olarak İgnimbirit örneklerindeki Ağırlık Kaybı (%) değerlerindeki değişim grafiği.

5. SONUÇLAR

Sevinçli (Aksaray) ve Frig Vadisi (Afyonkarahisar) bölgelerinden seçilen farklı ignimbirit örnekleri donma çözülme deneyine tabi tutulmuştur. Donma çözülme deneyinin İgnimbirit örnekleri üzerindeki bozunma etkisi yapılan fiziksel ve mekanik deneyler yardımıyla belirlenmeye çalışılmıştır. İgnimbirit örneklerinin deney öncesi fiziksel ve mekanik özellikleri donma çözülme deneyinden olumsuz yönde etkilenmişlerdir. İgnimbiritlerin fiziksel özellikleri toplam 25 döngü sonucunda deney öncesi değerlerle karşılaştırıldığında bu durum net bir şekilde gözlenmektedir. Bu değişim oranı Seydiler ve Döğür örneklerinde daha az oranlarda gerçekleşirken diğer örneklerde daha yüksek oranda değişimin olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak; donma çözülme deneyi ignimbirit örneklerindeki fenokristal, pomza ve kaya kırıntılarının uzaklaşmasına neden olmuş, bunun sonucu olarak da kayalarda porozite, sertlik ve kütle azalması gerçekleşmiştir.

6. KAYNAKLAR

Altındağ, R., Mutlutürk, M., Karagüzel, R., 2003. The effects of freezing-thawing cycles on the

useability of İsparta andésite as a building stone, Proceeding of Int. Sympos. of industrial minerals and building stone, 289-292

Angeli, M., Bigas, J.P., Benavente, D., Menendez, B., Hebert, R., David, C., 2007. Salt crystallization in pores: quantification and estimation of damage. Environ. Geol. 52, 205-213.

Aydar, E., Bayhan, H., Gourgaud A., 1998, Koroglu caldera, mid-west Anatolia, Turkey: volcanological and magmatological evolution, Journal of Volcanology and Geothermal Research 85 1998 83-98

Binal, A., Kasapoğlu, K.E., 2002. Donma Çözülme Sürecinin Aksaray – İhlara Vadisinde Yüzeyleyen Selime İgnimbiritinin Fiziksel Ve Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkisi, VI. Bölgesel Kaya Mekaniği Semp. (Şensöğüt, C, Özkan, İ., -ed.), 189-196, Konya.

Benavente, D., Cueto, N., Martinez-Martinez, J., Garcia del Cura, M.A., Canaveras, J.,C., 2007. The influence of petrophysical properties on the salt weathering of porous building rocks. Environ. Geol. 52, 215-224.

Charola, A.E., 2000. Salts in the deterioration of porous materials: An overview. Journal of the American Institute for Conservation, 39, 327-343.

Erkan, Y., Bayhan, H., Tolluoglu, A.U., Aydar, E., 1996. Geological, Petrographical and Geochemical Investigations of Afyon Metamorphic and Volcanic Rock Suites. Project

- report of TUBITAK-YBAG-0044rDPT, 206 pp., in Turkish.
- Everett DH, Haynes JM (1965) Capillary properties of some model pore systems with special reference to damage. RILEM Bull 27:31–38
- Güllü, B., 2003, Mamasun yöresi (Aksaray) magmatik kayalarının jeolojik, petrografik ve jeokimyasal incelemesi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, 85 s.
- Ruedrich, J., Kirchner, D., Siegesmund, S., 2011. Physical weathering of building Stones induced by freeze–thaw action: a laboratory long-term study. Environ. Earth Sci. 63 (7-8), 1573–1586.
- ISRM 1981, Rock characterization, testing and monitoring: suggested methods International Society for rock mechanics. In: Brown ET (ed) Pergamon Press, Oxford, 211 p
- Korkanç, M., 2007, İgnimbritlerin Jeomekanik Özelliklerinin Yapı Taşı Olarak Kullanımına Etkisi: Nevşehir Taşı, Jeoloji Mühendisliği Dergisi 31 (1)
- Korkanc, M (2013) Deterioration of different stones used in historical buildings within Niğde province, Cappadocia. Constr Build Mater 48:789–803
- Kuscu M, Yıldız A (2001) Ayazini (Afyon) tuflerinin yapısı olarak kullanılabilirliğinin Araştırılması (in Turkish). Türkiye III. Mermer Sempozyumu MERSEM, pp 85–98
- Metin, S., Genç, İ. ve Bulut, V., 1987. Afyon ve Dolayının Jeolojisi, M.T.A. Rapor No: 2113, Ankara, 105-115.
- Ruedrich J, Bartelsen T, Dohrmann R, Siegesmund S (2010) Building sandstone integrity affected by the process of hygric expansion. Environ Earth Sci. doi:10.1007/s12665-010-0767-0
- Siegesmund S, Ullemeyer K, Weiss T, Tschegg EK (2000) Physical weathering of marbles caused by anisotropic thermal expansion. Int J Earth Sci 89:170–182.
- Siegesmund S, Duerrast H (2011) Physical and mechanical properties of rocks. In: Siegesmund S, Snelhage R (eds) Stone in architecture: properties, durability, 4th edn. Springer, Berlin, pp 97–225
- Topal T, Doyuran V (1997) Engineering geological properties and durability assessment of the Cappadocian tuff. Eng Geol 47:175–187
- Topal, T., Sözmén, B., 2000. Freeze–thaw resistance of the Yazılıkaya tuffs. Proc. 9th Int. Cong. On the Deterioration and Conservation of Stone, Venice, Italy Vol.1. Elsevier, pp. 275–281.
- TS EN 12371, 2003, Natural stones testing methods, determination of frost resistance. Publication of Turkish Standards Institution. Ankara (in Turkish)
- TS EN 1936, 2001, Doğal taşlar- Deney metotları- Gerçek yoğunluk, görünür yoğunluk, toplam ve açık gözeneklilik tayini
- TS EN 1026, 2000, Natural stone test methods- Determination of compressive strength
- TS EN 14579, 2006, Natural stone test methods - Determination of sound speed propagation
- Turhan, N., 2002. Türkiye jeoloji haritası Ankara paftası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, İs., Ankara
- Yavuz, H., 2011. Effect of freeze–thaw and thermal shock weathering on the physical and mechanical properties of an andesite stone. Bull. Eng. Geol. Environ. 70, 187–192.
- Yavuz AB (2012) Durability assessment of the Alacatı tuff (Izmir) in western Turkey. Environ Earth Sci 67(7):1909–1925
- Wedekind W, Lopez-Doncel R, Dohrmann R, Kocher M, Siegesmund S (2013) Weathering of volcanic tuff rocks caused by moisture expansion. Environ Earth Sci 69:1203–1224
- Weiss T, Strohmeyer D, Kirchner D, Sippel J, Siegesmund S (2004) Weathering of stones caused by thermal expansion, hygric properties and freeze–thaw cycles. In: Kwiatkowski D, Lofvendahl R (eds) Proceedings of 10th international congress on deterioration and conservation of stone. ICOMOS, Stockholm

İgnimbiritlerin Nemli Ortamlarda SO₂ Etkisiyle Değişiminin İncelenmesi

The Investigation of The Change of Ignimbrites by SO₂ Effect in Moist Environments

S. Çetintaş

Akdeniz Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Çevre Koruma Teknolojisi, Antalya.

M. Bağcı, A. Yıldız, C. Başaran

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

M. Yıldız

Aksaray Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Aksaray.

S. Acar

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

ÖZET Bozunma türlerinin ve derecelerinin belirlenmesi, yapı malzemesi olarak kullanılan doğal taşların uzun süre kalabilmesi ve korunması için çok önemlidir. Doğal taşlar yapılarda kullanılırken, fiziksel, kimyasal ve biyolojik faktörlerin etkisi altında bozunmaya maruz kalmaktadır. Doğal taşlar atmosferik koşullar altında çok farklı bozunmalar göstermektedir. Hava kirliliğine bağlı olarak görülen en yaygın kirlenici maddeler SO_x ve NO_x gibi maddelerdir. Bu maddeler, yağmur, kar, nem, rüzgar, güneş ve don olayları gibi atmosferik parametrelerin etkisi sonucunda, doğaltaş yapı malzemeleri üzerinde malzeme hasarı ve bozunmaların gelişmesine hızlı etki yapmaktadır.

Bu çalışmada, Afyonkarahisar ve Aksaray bölgelerine ait ignimbirit örnekleri kullanılmıştır. Çalışma kapsamında, nemli ortamlarda SO₂ etkisiyle ignimbiritlerde meydana gelen yüzey değişimlerin ve bozunmaların belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, SO₂ yıpranması sonucunda meydana gelen değişimlerin belirlenmesi amacıyla TS EN 13919 nolu standart kullanılmıştır. Ayrıca, kütle kaybı, birim hacim ağırlığı, ultrases, porozite gibi deneylerin deney öncesi ve deney sonrası değerleri elde edilmiştir. İgnimbiritlerin, mineralojik-petrografik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla X-ışınları difraktometresi (XRD) analizleri kullanılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, nemli ortamlarda SO₂ etkisine maruz kalan ignimbiritlerde oluşan bozunma özellikleri belirlenmiştir.

ABSTRACT Determination of the types and grades of the decomposition is very important for the long-term preservation and protection of natural stones used as building materials. When natural stones are using in constructions are subject to decomposition under the influence of physical, chemical and biological factors. Natural stones show very different decompositions under atmospheric conditions. The most common pollutants observed due to air pollution are SO_x and NO_x. These materials have a rapid effect on the development of material damage and decomposition on natural stone building materials because of atmospheric parameters such as rain, snow, humidity, wind, sun and frost.

In this study, ignimbrite samples belonging to Afyonkarahisar and Aksaray regions were used. Within the scope of the study, it was aim to determine the surface changes and deterioration of the ignimbrite due to the effect of SO₂ in moist environments. For this purpose, TS EN 13919 standard has been used in order to determine the changes occurring in the SO₂ decomposition. In addition to that, experiment result like, mass loss, unit volume

weight, ultrasonic, porosity has been obtained from the values before and after the experiment. X-Ray Diffractometry (XRD) analyzes was used to determine the mineralogical-petrographic properties of the ignimbrites. According to the results of the study, the deterioration properties of ignimbrites exposed to SO₂ in moist environments were determined.

1 GİRİŞ

Yapı malzemesi olarak kullanılan doğal taşların bozunma ve yıpranmadan kalabilmesi, bu malzemelerin özelliklerinin çok iyi tanımlanması ile ilgilidir. Bunun yanı sıra, yapıların uzun süre kalabilmesi ve korunması için bozunma türlerinin ve derecelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Doğal taşların yapılar da kullanılırken fiziksel, kimyasal ve biyolojik faktörlerin etkisi altındadır. Bu faktörlerden hangisinin baskın olacağı çevre, topografya, iklim şartları ile doğal taşın cinsi, yapıdaki yeri ve o yapının korunmasına bağlıdır (Dal ve Artık 2008). Bu yüzden, bu faktörlerin tanımlanması gerekmektedir.

Doğal taşların atmosferik koşullar altında oluşan bozunmaları çeşitlilik göstermektedir. Hava kirliliğine bağlı olarak en yaygın görülen birincil kirlenici maddeler SO_x ve NO_x gibi maddelerdir. Bu maddelerin yağmur suyu, kar, nem, rüzgar, güneş ışığı ile don olayı gibi atmosferik parametrelerin de yardımıyla birleşmesiyle, doğal taş yapı malzemeleri üzerindeki malzeme hasarı ve bozunmaların gelişimini çok daha ileri ve görünür boyutlara taşımaktadır. Hava kirlenicilerin hasar mekanizmalarının, doğaltaşlar üzerinde faaliyet göstermesine neden olan en önemli kirlenici SO₂ (kükürtdioksit)'tir. Kükürtdioksit mekanizmalarının etkisiyle açığa çıkan CaSO₄ (kalsiyum sülfat/alçıtaşı/jips)'de, doğal taşlarda meydana gelebilecek en ciddi hasar oluşumudur. Yapılardaki SO₂ birikimine yüzeylerdeki nem ve gün boyu güneş ışığı ve gece esintilerinin sebep olduğu, sıcaklık farklılıklarının daha güçlü etki yaptıkları rapor edilmektedir (Tecer, 2005).

Doğal taşların bozunma ve ayrışmasında etkili olan parametreler üzerine birçok araştırmacının çalışması bulunmaktadır (Küçükaya 2004, Akın 2008). Bu parametrelerin genel olarak; hava

kirlenicileri, malzeme özellikleri ve kullanım yerinin seçimi olarak sıralanabilir. Gökaltun (1997)'a ait çalışmada, kuru ve ıslak çökelme mekanizmaları şeklinde, iki farklı yoldan ulaşan atmosferik kirlenicilerin etkileri ve bu etkilerin farklı ortamlarda ve konumlarda yer alan kireçtaşları üzerinde meydana getirdiği parlaklık değişimlerini deneysel yöntemle araştırılmıştır. Binal (2008)'a ait çalışmada ise, kayaç örnekleri üç yıl atmosferik etkiler altında bekletilmiş ve laboratuarda UV etkisi belirleme cihazında test edilmiştir. Koyu renkli kaya örneklerinde yapılan renk ölçümlerinde, taze örnekler göre bir renk açılmasının meydana geldiği ve özellikle bazalt ve mikritik kireçtaşı örneklerinde gözle bile rahat fark edilebilecek şekilde renk açılması meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Özellikle tarihsel yapılardaki bozunmayı konu alan çalışmalarda ise; kayaçların özellikleri, bozunmaya etki eden kimyasal ve organik faktörler açıklanmıştır (Katsanos vd., 1999, Yüzer ve diğ., 2000, Dal ve Öcal 2017). Bunun yanı sıra, bu yapıların daha uzun süre varlıklarını sürdürebilmesi için yapılacak restorasyon çalışmalarında (Okuyucu, 2008) hangi tür önlemler alınması gerektiği vurgulanmıştır (Eskici ve diğ., 2006, Dal ve Artık, 2008). Gökçen (2007)'e ait çalışmada ise kentsel ortamdaki ana bileşeni CaCO₃ olan doğal yapı taşlarında atmosferik kirlenicilerin etkisiyle oluşan bozunmalar incelenmiştir.

Yapılan çalışmalar dikkate alındığında; nemli ortamlarda SO₂ yıpranma sonrasında doğaltaşlarda meydana gelen ağırlık azalması ve diğer fiziksel özellikler ile ilişkileri ayrıntılı olarak araştırılmamıştır.

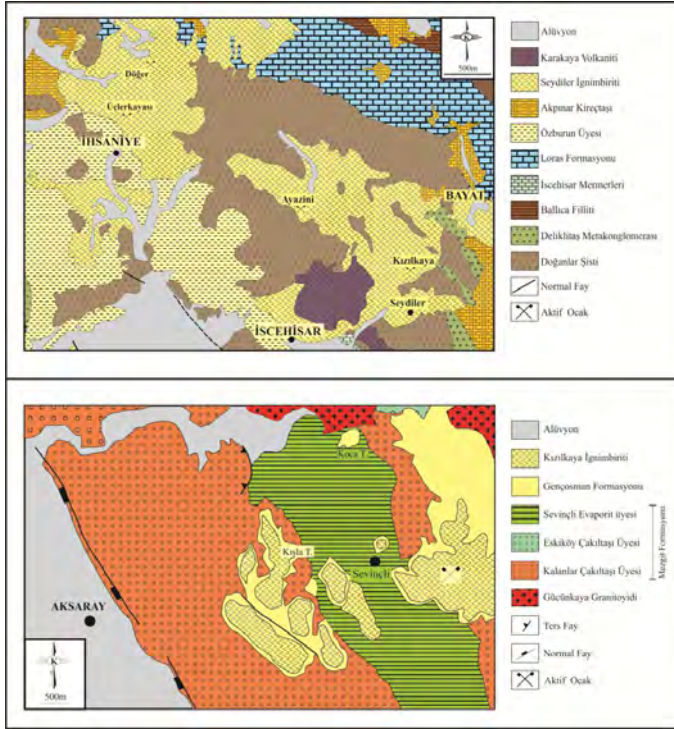
Çalışmada, Frig Vadisi (Afyonkarahisar-Döğeri) ve Sevinçli (Aksaray) bölgelerinden alınan ignimbirit örneklerinin nemli ortamlarda SO₂ etkisiyle ignimbiritlerde meydana gelen bozunma durumlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, x-

ışınları kırınımı (XRD) ve fiziksel testler uygulanarak, bozunmada mineralojik-petrografik ve fiziksel özelliklerin etkisiyle, nemli ortamlarda SO₂ yıpranma direnci deneyi sonrasında örneklerde meydana gelen mineralojik ve fiziksel değişim incelenmiştir. Çalışmada iki farklı bölge örneklerinin kullanılmasının sebebi, bu bölge ignimbiritlerinin kullanıldığı tarihi

binalarda farklı ayrışma derecelerine sahip olmasıdır.

2 MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada kullanılan ignimbirit örnekleri Frig Vadisi (Afyonkarahisar) ve Sevinçli (Aksaray) bölgesinde alınmıştır. Örneklerin alındığı bölgelere ait jeolojik haritalar Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. (a): Frig vadisi jeolojisi (Turhan, 2002), (b): Aksaray ve çevresinin jeoloji haritası (Güllü, 2003).

İgnimbiritlerin nemli ortamlarda SO₂ yıpranma direncini incelemek amacıyla yapılan bu çalışmada TS EN 13919 standardı dikkate alınmıştır. Bu standart, nemli ortamlarda kükürt dioksit (SO₂) etkisiyle meydana gelen yıpranmaya (bozunmaya) karşı doğal taşların bağlı direncinin tayinine dair bir metodu kapsar.

Deneye tabi tutulacak taşın tamamını temsil edecek özellikte 7 adet numune

seçilir. Bunlardan bir tanesi kontrol amacıyla referans numune olarak kullanılır. Numuneler 120x60x10 mm boyutunda kesilir ve yüzeyleri herhangi bir madde kalmayacak şekilde yıkandıktan sonra (70±5)°C sıcaklıkta sabit kütleye ulaşınca kadar kurutulur. Kuruyan numunelerin ağırlıkları tartılır ve bunlar ilk ağırlık (m₀) olarak kaydedilir. Daha sonra numuneler (20±5)°C sıcaklıktaki su içerisinde 24 saat

bekletilir. Sudan alınan numunelerin 3 adedi daha önceden hazırlanmış derişimleri farklı olan Çözelti A (150±10 ml deiyonize su ve 500±10 ml sülfürozasiti (H₂SO₃) ilave edilerek hazırlanan çözelti)'nin bulunduğu kaba konulur. Numunelerin diğer 3 adedi Çözelti B (500±10 ml deiyonize su ve 150±10 ml sülfürozasiti (H₂SO₃) ilave edilerek hazırlanan çözelti)'nin bulunduğu kaba konulur (Şekil 2). Deney süresince kabın içerisindeki sıcaklık (20±5) °C'de sabit tutulur.



Şekil 2. SO₂ deney kabininin görüntüsü.

Deneyde numuneler 21 gün sonra kaptan alınır. Alınan numuneler deiyonize veya damıtık suyla yıkanır ve yeniden sabit kütleye gelinceye kadar kurutulur. Kuru numunenin son kütlesi (m₁) olarak kaydedilir. Daha sonra elde edilen sonuçlar, formül yardımıyla ağırlık değişimi hesaplanır (TS EN 13919).

Örneklerin nemli ortamlarda SO₂ yıpranma etkisine bağlı olarak ayrışma durumlarıyla mineralojik ve fiziksel özellikleri arasındaki ilişkileri ortaya koyabilmek için, örneklere, x-ışınları kırınımı (XRD), kuru birim hacim ağırlığı (TS EN 1936), porozite (TS EN 1936), boşluk (TS EN 1936), su emme (TS EN 13755) ve ultrases hızı (TS EN 14579) testleri yapılmıştır. İgnimbiritlerin mineralojik incelemeleri X-ışınları difraktometresi (XRD)'de incelenmiştir. X-ışını Difraksiyonu (XRD) analizi Shimadzu marka XRD-6000 model cihazda gerçekleştirilmiştir. XRD verileri kullanılarak örneklerdeki mineral bollukları

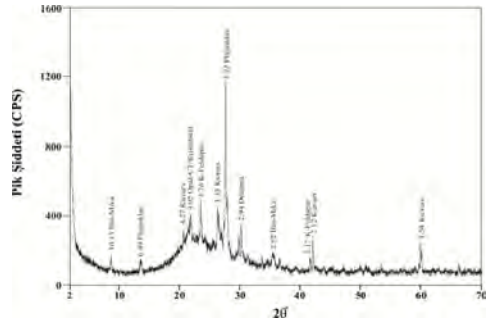
Chung (1974) tarafından geliştirilen yarı kantitatif ve standartsız yöntemle göre belirlenmiştir.

3 BULGULAR

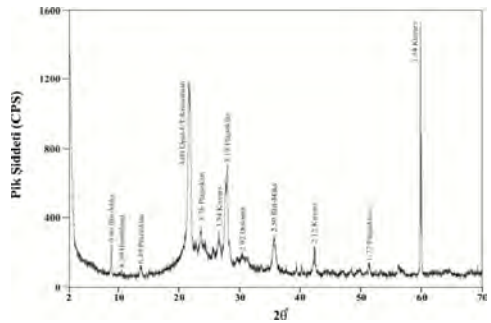
3.1. Mineralojik İncelemeler

Frig Vadisi (Afyonkarahisar-Döğer) ve Aksaray (Sevinçli) örneklerinin XRD grafikleri Şekil 3 ve 4'te verilmiştir.

Örneklerdeki başlıca kayalık yapıları mineralleri kuvars (Q) ve alkali feldspat (Ksp), kristobalit/opal-CT (Cr-O), plajioloklas (Plg), biyotit (Bio) ve amfibol (Amp) oluşturmaktadır. Ayrıca bu minerallere simektit (Sme), kaolinit (Kao), dolomit (Dol) ve hematit (Hme) mineralleri eşlik etmiştir. İgnimbiritlerin camı matriksiyle pomza tanelerinin örneklerdeki amorf fazın en önemli kaynağı olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3. Döğer (Afyonkarahisar) örneğinin X-ışınları kırınımı (XRD) grafiği.



Şekil 4. Sevinçli (Aksaray) örneğinin X-ışınları kırınımı (XRD) grafiği.

Frig vadisi örneklerindeki alkali feldspat, simektit ve kaolinit gibi alterasyon mineralleri ile Sevinçli örneğindeki amfibol içeriği iki bölgenin örneklerini birbirinden

ayırarak en önemli mineralojik farklılıkları (Çizelge 1).

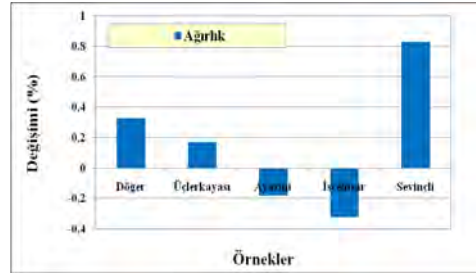
Çizelge 1. İgnimbirit örneklerinin yarı-kantitatif X-ışınları kırınımı (XRD) analiz sonuçları.

Mineral	Ayazini	Döğer	İscehisar	Üçlerkaya	Sevinçli
Simektit	6.56	0.00	0.00	0.00	0.00
Biyotit	4.10	4.92	9.72	3.95	8.25
Amfibol	0.00	0.00	0.00	0.00	2.20
Kaolinit	4.10	0.00	8.10	7.90	0.00
Plajiyoklas	9.84	7.79	12.15	12.64	11.00
Kristobalit-Opal-CT	28.70	4.92	4.05	31.60	22.00
Kuvars	13.12	8.61	22.68	11.85	9.90
Alkali Feldspat	12.30	12.71	20.25	7.90	0.00
Dolomit	1.64	2.05	2.43	1.58	1.65
Hematit	1.64	0.00	1.62	1.58	0.00
Amorf Faz	18.00	59.00	19.00	21.00	45.00

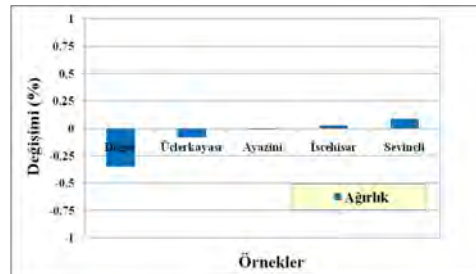
4.2. Fiziksel Özellikler

İgnimbiritlerin nemli ortamlarda SO₂ yıpranma deneyine bağlı olarak farklı derişimlerdeki bozunma durumlarının belirlenmesi ve fiziksel özelliklerindeki değişimi ortaya koyabilmek için, fiziksel özellikler karşılaştırılmıştır.

Örneklerin Çözelti A-ağırlık değişimi ilişkilerinin verildiği Şekil 5 incelendiğinde, Döğer, Üçlerkaya ve Sevinçli örneklerinde ağırlık artışı, diğer örneklerde ise ağırlık azalması meydana gelmiştir. En fazla ağırlık değişimi Sevinçli örneğinde, en düşük ağırlık değişimi ise Üçlerkaya örneğinde tespit edilmiştir. Şekil 6 incelendiğinde; Çözelti B oranına bağlı olarak en düşük ağırlık değişim değeri Ayazini örneğinde elde edilmiştir. En yüksek ağırlık değişim değeri ise Döğer örneğinde gözlenmiştir. Örnekler dikkate alındığında, Çözelti B oranındaki asit derişiminin daha düşük olmasına bağlı olarak ağırlık azalmalarında Çözelti A göre daha düşük bir eğilimin gözlenmiştir.

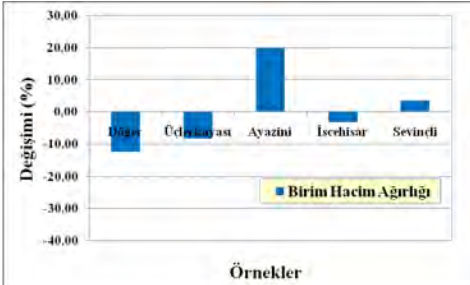


Şekil 5. Çözelti A'ya bağlı ağırlık değişimi.

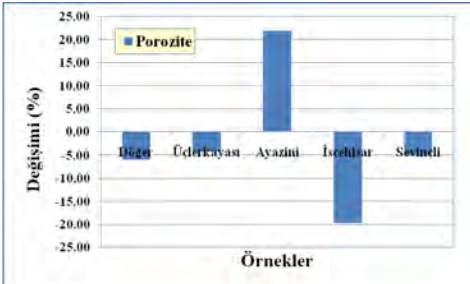


Şekil 6. Çözelti B'ye bağlı ağırlık değişimi.

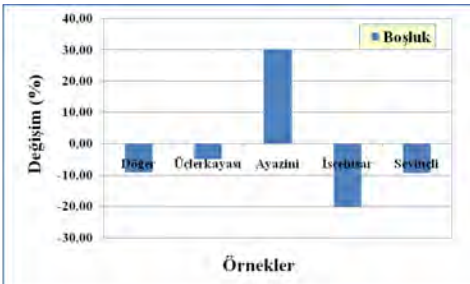
Nemli ortamlarda SO₂ yıpranma deneyine bağlı olarak Çözeltili A'da ki birim hacim ağırlık, porozite, boşluk oranı değişim grafiği incelendiğinde, Ayazini dışındaki örneklerin tamamında söz konusu değerlerin azaldığı görülmüştür (Şekil 7-Şekil 9). Birim hacim ağırlık, porozite ve boşluk değerlerindeki azalmanın SO₂ deneyinin etkisiyle örneklerden ayrılan pomza tanelerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 7. Çözeltili A'ye bağlı birim hacim ağırlık değişimi.

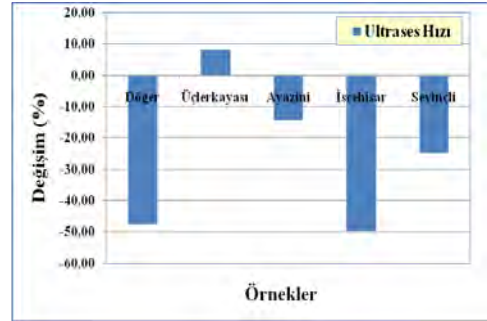


Şekil 8. Çözeltili A'ye bağlı porozite değişimi.



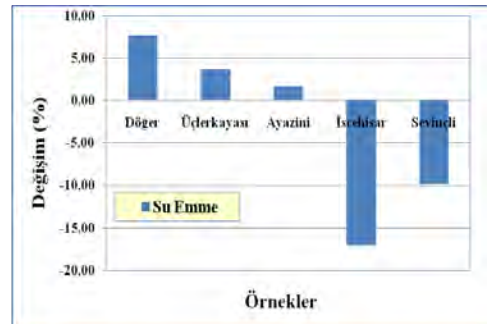
Şekil 9. Çözeltili A'ye bağlı boşluk değişimi.

Ultrases ve su emme deneylerinde ise örneklerdeki değişim oranında farklılık göstermiştir. Deney sonrasında ultrases değerinde en fazla azalma İncehisar örneğinde tespit edilmiştir. Örnekler içinde artış ise sadece Üçler kayasında gözlenmiştir. Ultrases değerindeki azalmanın porozite değerindeki azalmaya bağlı olarak gerçekleştiği düşünülmektedir (Şekil 10).



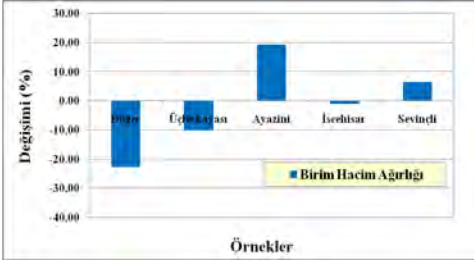
Şekil 10. Çözeltili A'ye bağlı ultrases hızı değişimi.

Çözeltili A-Su emme değişimi incelendiğinde Döğer, Üçler kayası ve Ayazini örneklerinde artarken, diğer örneklerde ise SO₂ deneyi sonrası azalmıştır. İncehisar ve Sevinçli örneklerinde su emme değişimi çok yüksek değerlerde tespit edilmiştir (Şekil 11). Çalışmada kullanılan örneklerin su emme kapasitelerinin yüksek olduğu düşünüldüğünde bu tür değişimlerin gerçekleştiği düşünülmektedir.

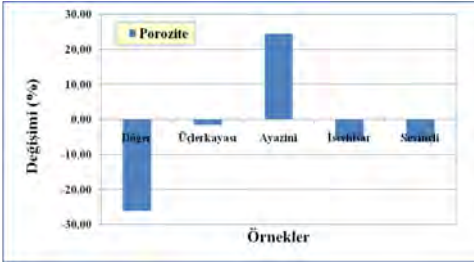


Şekil 11. Çözeltili A'ye bağlı su emme değişimi.

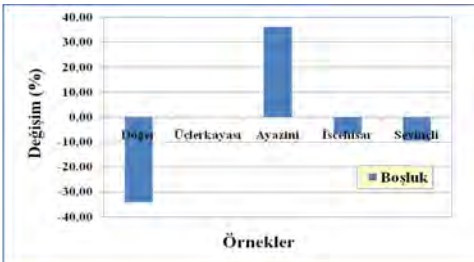
Nemli ortamlarda SO₂ yıpranma deneyinde Çözelti B bağlı ignimbritlerde meydana gelen fiziksel değişimler incelenmiştir. Elde edilen grafikler Şekil 12 ile Şekil 16'da verilmiştir. Bu değişimler incelendiğinde; Çözelti B-birim hacim ağırlık değişiminde en az değişim İsehisar örneğinde elde edilmiştir. Döğer, Üçlerkayası ve İsehisar örneğinde değişimde azalma gözlenirken, Ayazini ve Sevinçli örneklerinde değişim artma yönünde gerçekleşmiştir (Şekil 12). Porozite ve boşluk oranındaki değişimde ise yine Ayazini artarken, diğer örneklerde azalma olduğu gözlenmiştir (Şekil 13 - Şekil 14).



Şekil 12. Çözelti B'ye bağlı birim hacim ağırlık değişimi.

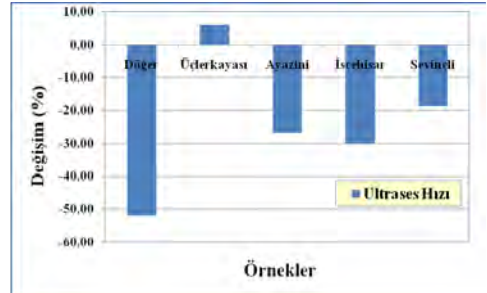


Şekil 13. Çözelti B'ye bağlı porozite değişimi.

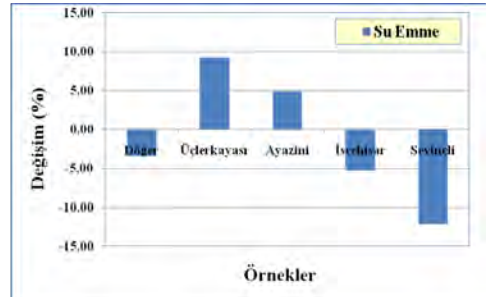


Şekil 14. Çözelti B'ye bağlı boşluk değişimi.

Çözelti B derişiminde ki ultrases hızındaki değişim Çözelti A'daki değişimi ile uyumlu bir trend sergilediği gözlenmiştir (Şekil 15). Su emme değerlerindeki değişimin Üçlerkayası ve Ayazini örneklerinde arttığı, Döğer, İsehisar ve Sevinçli örneklerinde ise azaldığı gözlenmiştir (Şekil 16). Su emme değerindeki değişim boşluk oranındaki değişimle uyumlu bir eğilim gösterdiği düşünülmektedir.



Şekil 15. Çözelti B'ye bağlı ultrases hızı değişimi.



Şekil 16. Çözelti B'ye bağlı su emme değişimi.

4 TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Bu çalışmada; Frig Vadisi (Afyonkarahisar) ve Sevinçli (Aksaray) bölgesinden alınan farklı ignimbritlerin mineralojik özellikleri göz önünde bulundurularak, ignimbritlerin nemli ortamlarda SO₂ etkisiyle değişimi TS EN 13919 standardına göre araştırılmıştır. Ayrıca, ignimbritlerin mineralojik özellikleri ve fiziksel özelliklerinin SO₂ etkisine bağlı deney sonrası değişimleri incelenmiş olup, çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

Yapılan nemli ortamlarda SO₂ yıpranma deneyleri sonucunda, çözeltideki asit oranındaki artışına bağlı olarak fiziksel özelliklerde değişim gözlenmiştir. Her iki çözelti karşılaştırılacak olursa, Çözelti A'da ağırlık artışının daha fazla olduğu anlaşılmıştır. Ancak, her ignimbirit örneğinde gözlenen eğilim farklılık sergilemektedir. Daha önce yapılan çalışmada karbonatlı kayaların bozulmasına etki eden en önemli kirlenici SO₂ ve diğer kirlenitçiler (NO_x vb.) olduğu ve bunların malzeme yüzeyleri üzerinde kuru ve yaş depolanma şeklinde biriktikleri belirtilmiştir (Dal 2010). Bu nedenle, çalışmada kullanılan ignimbirit örneklerindeki ağırlık artışı kuru ve yaş depolanmadan kaynaklandığını göstermektedir.

Kayaçları oluşturan mineraller ve bileşime giren minerallerin oranları kayanın birim ağırlıklarının değişiminde son derece etkilidir. Bu nedenle kayanın bünyesinde bulunan ağır minerallerin varlığı ve oranı kayanın yüksek birim ağırlık değerinin oluşmasına neden olmaktadır (Erguvanlı, 1975). Yapılan nemli ortamlarda SO₂ etkisi sonucunda, ignimbiritlerin kütle değişiminde artış ve azalışlar olduğu belirlenmiştir. Bu kütle değişiminin Çözelti A derişiminde % 0,83 ile % -0,32, Çözelti B derişiminde ise % 0,09 ile % -0,35 arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu durumun, örneklerin farklı bölgelerden temin edilmesinden ve ignimbiritlerin mineral etkisinden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.

Elde edilen deneysel bulgular ışığında, Frig vadisi örneklerindeki alkali feldspat, simektit ve kaolinit gibi alterasyon mineralleri ile Sevinçli örneğindeki amfibol içeriği iki bölgenin örneklerini birbirinden ayıran en önemli mineralojik farklılıklardır. Bu mineralojik farklılıktan dolayı nemli ortamlarda SO₂ yıpranma deneyinin değişim gösterdiği düşünülmektedir.

Yapı malzemesi olarak kullanılacak doğal taşların kullanım öncesi, oluşabilecek bozunma, aşınma, nem, ve atmosfer etkilerinin tümü fiziksel, kimyasal, mekanik ve biyolojik değişimler açısından incelenmeli, elde edilecek sayısal değerlerin kullanılabilirlik limitleri belirlenmelidir.

Sonuç olarak, SO₂ etkisiyle yıpranma direncinin önceden belirlenmesiyle, doğal taşların cephe kaplamalarında ya da döşeme malzemesi olarak kullanımında yardımcı olabileceği anlaşılmıştır. Bu tür bir yaklaşım, özellikle daha uzun süreli kullanım ve bozunmanın daha yavaş gerçekleşmesi açısından uygulamada önemli yararlar sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Akın, M., 2008, Eskipazar (Karabük) Travertenlerinin Bozunmasının Araştırılması, Ankara Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Bölümü, *Doktora Tezi*, Ankara.
- Binal, A., 2008. Doğal Yapı Taşlarının Atmosferik Etkiler Altında Kimyasal Bozunmasının İncelenmesi ve Laboratuvar Yaşlandırma Deneyleri ile Karşılaştırılması, *Tübitak Projesi*, Proje No: 106Y296.
- Chung, F.H., 1974. Quantitative interpretation of X-ray diffraction patterns of mixtures. II. Adiabatic principle of X-ray diffraction analysis of mixtures. *Journal of Applied Crystallography*, 7, s.526-531.
- Çelik, M. Y., Kavuşan G., 2001. Doğal Taş ve Mermerlere Uygulanan Yüzey Şekillendirme Teknikleri, 4. *Endüstriyel Hammadde Sempozyumu*, s.77-86.
- Dal, M., Artık K., 2008. Geleneksel Mimaride Taş Alterasyonu, *Türkiye VI. Mermer ve Doğaltaş Sempozyumu*, s.59-63.
- Dal M., 2010. Trakya Bölgesi Tarihi Yapılarında Kullanılan Karbonatlı Taşların Bozulma Nedenleri, *Vakıflar Dergisi*, 34, 47-59.
- Dal, M., Öcal A. D., 2017. Mardin şehrindeki taştan yapılmış eserlerde görülen bozunmalar, *BAUN Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(1), 60-74.
- Erguvanlı, K., 1975. *Mühendislik Jeolojisi*, İTÜ Gümüşsuyu Matbaası, İstanbul, 590 s.
- Eskici, B., Akyol A. A., Kadioğlu Y.K., 2006. Erzurum Yakutiye Medresesi Yapı Malzemeleri, Bozunmalar ve Koruma Problemleri, *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 46, 1, s.165-188.
- Gökaltun, E., 1997. Atmosferik Kirlenitçilerin Kuru ve Islak Çökeltme Mekanizmalarının Kireçtaşlarındaki Parlaklık Kaybına Etkisi, *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Gökçen, C., 2007. Tarihi Süreçlerde Atmosferik Şartların ve Hava Kirliliğinin Taş Yapılar Üzerindeki Etkileri; Köprülü Medresesi ve Kütüphanesi Örneği, *Yüksek Lisans Tezi*, Gebze

- Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Güllü, B., 2003. Mamasun Yöresi (Aksaray) magmatik kayalarının jeolojik, petrografik ve jeokimyasal incelemesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Niğde Üniversitesi, s.163.
- Küçükaya, A. G., 2004, *Taşların Bozunma Nedenleri ve Koruma Yöntemleri*, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Okuyucu, Ş. E., 2008. Afyonkarahisar Millet Hamamında Yapılan Restorasyon Çalışmasının Değerlendirilmesi, *Türkiye VI.Mermer ve Doğaltaş Sempozyumu*, s.65-77.
- Turhan, N., 2002. 1:500.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritası, Ankara paftası. Maden Tetkik Arama (MTA) Genel Müdürlüğü, Ankara.
- TS EN 13919, 2004. Doğal Taşlar-Deney Metotları-Nemli Ortamda SO₂ Yıpratmasına Karşı Direncinin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1936, 2001. Doğal Taşlar - Deney Metotları - Gerçek Yoğunluk, Görünür Yoğunluk, Toplam ve Açık Gözeneklilik Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 13755, (2003). Doğal Taşlar - Deney Metotları - Atmosfer Basıncında Su Emme Tayin. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 14579, (2006). Doğal Taşlar - Deney Metotları - Ses Hızı İlerlemesinin Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Avrupa ve Amerikan Standartlarına Göre Belirlenen Doğal Taş Aşınma Direnci Değerlerinin Tasarım Amaçlı Karşılaştırılması

Design-Purpose Comparison of Natural Stone Abrasion Resistance Values Determined According to the European and American Standards

N. Güneş Yılmaz

Dokuz Eylül Üniversitesi, Torbalı Meslek Yüksek Okulu, İzmir

R. M. Gökten

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Maden Müh. Böl., Eskişehir

ÖZET Döşemelik olarak kullanılan doğal taşların, estetik özelliklerinin yanı sıra, yaya trafiği yoğunluğuna uygun olarak seçilmesi büyük önem taşımaktadır. Mimari tasarımlarda, aşınma direnci bir doğal taşın kullanım sınıfını belirlemede yol gösterici bir parametre olarak kullanılmaktadır. Bu parametrenin belirlenmesinde en yaygın olarak kullanılan standartlar Avrupa Birliği Standardı EN 14157 ve Amerikan Standardı ASTM C 241/ASTM C 1353 tür. Bununla birlikte, anılan standartlarda farklı deney yöntemleri öngörülmesi nedeniyle, elde edilen aşınma direnci değerlerinin tasarım amaçlı uygulamalarda ne derece örtüştüğü konusunda ayrıntılı bir bilgi birikimi bulunmamaktadır. Bu çalışmada, daha önce yapılmış bazı araştırmalardan elde edilen veriler yardımıyla, farklı gruplara ait doğal taşların her iki standarttan elde edilen aşınma değerleri karşılaştırılmış ve kullanım sınıfı belirleme sürecinde gösterdikleri benzerlikler/farklılıklar irdelenmiştir.

ABSTRACT Besides aesthetic features, it is highly important that the natural stones used for flooring purposes should be selected according to the intensity of foot traffic. In architectural design, abrasion resistance is used as a guide parameter for determining the usage class of a natural stone. The European Standard EN 14157 and the American Standard ASTM C 241/ASTM C 1353 are the most frequently cited standards for the determination of this property. However, mainly due to the differences in the employed testing procedures in these two standards, there is no detailed information available regarding to what extent the obtained abrasion resistance values coincide in design-purpose applications. In this study, by evaluating data from previous research, abrasion resistance values of different natural stones determined according to both standards have been compared and the indicated similarities/differences from the point view of usage class assessment have been examined.

1 GİRİŞ

Mimari uygulamalarda doğal taşların estetik görünüşleri, atmosferik koşullara uygunluğu, dış yüklerle karşı olan mukavemetleri ve yaya trafiği altındaki aşınma dirençleri gibi özellikler proje tasarım aşamasında göz önünde bulundurulmaktadır. Projede gerek duyulan özelliklerin belirlenmesi için, standart deney yöntemlerine başvurulmaktadır. Sonraki aşamada ise, deneylerden elde edilen veriler yardımıyla,

söz konusu bir taşın proje amaçlarına uygunluğu irdelenmektedir.

Döşeme kaplaması olarak kullanılan doğal taşlar, taşın özelliğine ve yaya trafiğinin yoğunluğuna bağlı olarak, aşınma eğilimi göstermektedir (Şek. 1). Bir doğal taşın aşınma direnci, yaya trafiği altında aşınmaya karşı gösterdiği direncin bir ölçütü olarak kullanılmaktadır. İç ve dış mekânlarda döşemelik olarak kullanılacak doğal taşların aşınma direnci tayini için geliştirilmiş farklı

deney standartları bulunmaktadır. Avrupa Standardı EN 14157 (2004) ve Amerikan Standardı ASTM C 241/ASTM C 1353 (1996) bunlardan en yaygın olarak kullanılanlardır. Avrupa standardında üç deney yöntemi önerilmektedir: *Geniş Disk Aşınma deneyi*, *Böhme Aşınma deneyi* ve *Amsler Aşınma deneyi*. Bunlardan Geniş Disk Aşınma deneyi “referans yöntem” (Yöntem-A) olarak önerilmiştir. Amerikan standardı ise *Taber Aşınma* deneyini öngörmektedir. Yukarıda anılan standart deneylerden elde edilen aşınma direnci değerleri yardımıyla, herhangi bir taşın ‘kullanım sınıfı’ tayin edilebilmektedir. Doğal taşlarda kullanım sınıfı, bir projenin yaya trafiği gereksinimlerine bağlı olarak *hafif*, *orta*, *ağır* ve *çok ağır* gibi gruplara ayrılmaktadır. Örneğin, konutsal yerleşim alanları genel olarak “hafif” yaya trafiği sınıfında yer alırken, alışveriş merkezleri ve tren/metro istasyonları gibi mekanlar “ağır” yaya trafiği sınıfında değerlendirilmektedir.



Şekil 1. Yaya trafiği etkisi altında aşınma

Avrupa ve Amerikan standartlarında öngörülen deney yöntemlerindeki farklılıklar, deneylerden elde edilen aşınma direnci verilerinin ‘kullanım sınıfı’ açısından doğrudan karşılaştırılmasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, bir doğal taşın EN 14157 (2004) (Yöntem-A) deney standardı esas alınarak belirlenen kullanım sınıfı ve ASTM C 241 standardına göre belirlenen kullanım sınıfı arasındaki uyumluluk derecesi bilinmek istenildiğinde, doğrudan değerlendirme yapmayı mümkün

kılacak ayrıntılı bir bilgi birikimi bulunmamaktadır. Bu çalışmada, konuya bir katkıda bulunabilmek amacıyla, bazı araştırmacı ve kurumlar tarafından rapor edilen bilgilerden yararlanarak, anılan standartlardan elde edilen aşınma direnci verileri yardımıyla belirlenen kullanım sınıfları arasındaki uyumluluk dereceleri irdelenmiştir. Varılan sonuçların uygulamalara yol gösterici nitelikte olacağı düşünülmektedir.

2 MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında, mimari projelerde en yaygın döşeme malzemesi olarak kullanılan *mermer*, *kireçtaşı*, *traverten* ve *granit* gruplarına ait bazı doğal yapı taşlarının EN 14157 (2004) ve ASTM C 241 (2005) standartlarına göre belirlenen aşınma direnci değerleri ‘kullanım sınıfı’ tayini açısından değerlendirilmiştir.

2.1 EN 14157 ve ASTM C 241 deney standardı bilgileri

EN 14157 Avrupa standardı 2004 yılında yürürlüğe girmiştir. Bu standartta referans deney yöntemi olarak Geniş Disk Aşındırma deneyi (Yöntem- A) önerilmektedir. Deney, 100 x 100 x 70 mm boyutlu bir örneğin 200 mm çapındaki düşey düzlemde hareket eden döner disk ve aşındırıcı toz ortamında 60 s süreyle aşındırılması prensibine dayanmaktadır. Deney süresince aşındırıcı toz 2.5 l/dak bir hızda döner disk üzerine beslenmekte ve deney örneğinin yüzeyi 14 kg ağırlığındaki bir karşı ağırlık yardımıyla ileriye doğru hareket ettirilmektedir. Deney sonucunda örnek yüzeyinde oluşan yarığın genişliği (mm) aşınma direnci değeri (WWA) olarak kabul edilmektedir. Ortalama bir değer elde edebilmek amacıyla, deney altı örnek üzerinde tekrarlanmaktadır. Elde edilen küçük WWA değerleri, aşınma direnci görece yüksek olan taşlara karşılık olmaktadır.

ASTM C 241 (2005) standardında belirtilen Taber aşınma direnci deneyi ilk olarak 1950 yılında onaylanmıştır. Deney seti 250 mm çapında ve yatay düzlemde

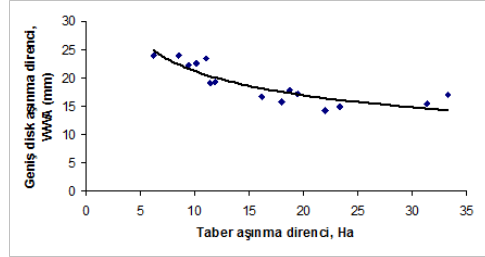
dönen (45 dev/dak) bir aşındırma tablası, aşındırıcı tozu tabla üzerine sabit hızda veren bir besleme hunisi ve deney örnekleri üzerine 2000 g ağırlığın uygulandığı bir düzeneden oluşmaktadır. Deneyde, 25 mm kalınlığında ve 200 mm x 200 mm yüzey alanına sahip deney örnekleri 225 devir aşınmaya maruz bırakılır. Deney sonucunda, aşınma direnci değeri (H_a) Eşitlik (1) yardımıyla hesaplanır:

$$H_a = 10 G (2000 + W_s) / 2000 W_a \quad (1)$$

Burada: G deney örneğinin kütle özgül ağırlığı; W_s örneğin ortalama ağırlığı (ilk ve son ağırlıkların aritmetik ortalaması (g)); ve W_a örneğin aşınma sonucu ağırlık kaybı (g) dir. Eşitlik (1) yardımıyla hesaplanan H_a 'nın yüksek değerleri, aşınma direnci daha fazla olan taşları işaret etmektedir. Deneyde kullanılan standart aşındırma tozunun ve deney setinin temininde karşılaşılan zorluklar nedeniyle, 1996 yılından itibaren ASTM C 241 deney yöntemi yerine, aynı sonuçların elde edilmesine olanak tanıyan ASTM C 1353 deney yöntemi kullanılmaya başlanmıştır [2, 4]. Bu nedenle, doğal taşların Amerikan standardındaki aşınma direnci değerleri verilirken genellikle ASTM C 241/ASTM C 1353'e atıf yapılmaktadır.

İlgili literatür incelendiğinde, EN 14157 (Yöntem-A) ve ASTM C241 standart deneylerinden birine göre elde edilen aşınma direnci değerinin diğer standarttaki karşılığının ne olacağı konusunda yeterli bir bilgi birikimi bulunmadığı görülmüştür. Bu makale yazarlarının bilgisi çerçevesinde, Marradi vd. (2008) tarafından yapılan çalışma konuya ışık tutabilecek nitelikteki tek kaynak olarak gözükmektedir. Anılan çalışmada mermer, granit, traverten, kalsit, dolomit, serpantin, kumtaşı gibi değişik litolojik özelliklere sahip doğal taşlar üzerinde EN 14157 (2004) (Yöntem-A) ve ASTM C241(2005) standartlarına göre yapılan aşınma direnci deneylerinin sonuçları değerlendirilmiştir. Yapılan istatistiksel analiz sonucunda, Geniş Disk aşınma (WWA) ve Taber aşınma (H_a) değerleri arasında determinasyon katsayısı (R^2) yüksek bir ilişki bulunduğu ortaya

konmuştur. Bu ilişkiye ait regresyon eğrisi ve regresyon modeli Şekil 2 ve Eşitlik 2' de verilmiştir:



Şekil 2. Taber aşınma ve Geniş Disk aşınma değerleri arasındaki ilişki [5]

$$WWA = 45.072 / (H_a)^{0.325} \quad (R^2=0.76) \quad (2)$$

3 ANALİZLER VE BULGULAR

Bu bölümde, Geniş Disk aşınma direnci (WWA) ve Taber aşınma direnci (H_a) değerleri yardımıyla belirlenen kullanım sınıflarının ne derece örtüştüğü araştırılmıştır. Karaca vd. (2012) yaptıkları bir çalışmada, WWA değerleri deneysel olarak ölçülen mermer, kireçtaşı, traverten ve granit gruplarına ait toplam 20 doğal taş örneği değerlendirmeye alınmıştır.

Çalışmanın amacı doğrultusunda, Şekil 2' de verilen regresyon eğrisine ait veri noktalarının sayısal değerlerinden yararlanılarak, WWA değerlerinin bağımsız değişken ve H_a değerlerinin ise bağımlı değişken olarak yer aldığı bir regresyon modeli oluşturulmuştur:

$$H_a = 13770 / (WWA)^{2.3336} \quad (R^2 = 0.76) \quad (3)$$

Analizlerde kullanılmak üzere, çalışma kapsamındaki taşların H_a değerleri Eşitlik (3) yardımıyla hesaplanmıştır. Sonraki aşamada ise, bu taşların kullanım sınıfları WWA ve H_a aşınma direnci değerleri yardımıyla belirlenmiştir.

Bu çalışmada, Technical Foundation Centre for Galician Granite (FCTGG) (2013) ve Marble Institute of America (MIA) (2016) tarafından önerilen kullanım sınıfları dikkate alınmıştır (Çiz. 1). Anılan kuruluşların önerilerine göre, mimari projelerde yaya trafiğinin yoğunluğuna bağlı olarak doğal taşların başlıca dört kullanım sınıfı söz konusu olmaktadır:

Sınıf I: Hafif trafik (Konutsal mekânlar)

Sınıf II: Orta trafik (Küçük ticari kuruluşlar ve konutsal alanların girişleri)

Sınıf III: Ağır trafik (Alışveriş merkezleri, tren veya otobüs istasyonlarının koridorları)

Sınıf IV: Çok ağır trafik (Büyük ticari tesislerdeki merdivenler, asansör koridorları, gişe ve turnike gibi yoğunluk alanları).

Çizelge 1. Kullanım sınıfları ve aşınma direnci değerleri

Kullanım sınıfı	Yaya trafiği değeri yoğunluğu	Öngörülen Aşınma Direnci	
		FCTGG (mm) [7]	MIA [8]
I	Hafif	WWA ≤ 30	H _a ≥ 6.0
II	Orta	WWA ≤ 27	H _a ≥ 7.0
III	Ağır	WWA ≤ 23	H _a ≥ 10.0
IV	Çok ağır	WWA ≤ 20	H _a ≥ 12.0

Çalışma kapsamındaki doğal taşların aşınma dirençleri ve karşılık olan kullanım sınıfları Çizelge 2’ de verilmiştir.

Çizelge 2. Aşınma direnci değerlerine göre belirlenen kullanım sınıfları

Ticari Adı	Kod	WWA	Kullanım Sınıfı	H _a	Kullanım Sınıfı
Belevi Black	M1	19.8	IV	12.69	IV
Karacasu White	M2	24.0	II	8.28	II
Yatağan White	M3	24.6	II	7.82	II
Afyon White	M4	23.5	II	8.70	II
Aegean Silver	M5	18.6	IV	15.00	IV
Orient Pink	K1	17.8	IV	16.63	IV
Golden Beige	K2	20.1	III	12.52	IV
Karia Cream	K3	18.4	IV	15.39	IV
Burdur Beige	K4	17.9	IV	16.42	IV
Lymra	K5	27.3	I	6.13	I
Classic Travertine	T1	21.0	III	11.31	III
Ivory Cream	T2	20.8	III	11.56	III
Philadelphia	T3	24.1	II	8.20	II
Noche Travertine	T4	19.9	IV	12.82	IV
Majestic Travertine	T5	22.1	III	10.04	III
Giresun Vizon	G1	15.2	IV	24.04	IV
Rosa Porrino	G2	15.0	IV	24.79	IV
Blue Pearl	G3	16.7	IV	19.30	IV
Bianco Sardo	G4	14.8	IV	25.59	IV
Pergamon Grey	G5	16.0	IV	21.33	IV

Çizelge 2 incelendiğinde, K2 kodlu taş hariç olmak üzere, WWA ve H_a aşınma direnci değerleri esas alınarak belirlenen kullanım sınıflarının örtüştüğü görülmektedir. Bu bulgu, Avrupa standardı EN 14157 referans deney yöntemi (Yöntem-A) ve Amerikan standardı ASTM C 241 aşınma deneyi sonuçlarının ‘kullanım sınıfı’ açısından çok

yakın bir paralellik gösterdiğine işaret etmektedir. İleride yapılacak başka çalışmalarla da desteklendiği takdirde, bu tür bir bulgunun ön inceleme aşamasındaki proje çalışmalarında yararlı olabileceğini söylemek mümkündür.

Genel bir değerlendirme yapmak gerekirse; çalışma kapsamında yer alan tüm

granit grubu taşların (G1-G5) “Çok ağır” yaya trafiğinde döşeme malzemesi olarak kullanılabileceği anlaşılmaktadır. Mermer, kireçtaşı ve traverten grubundaki taşların kullanım sınıfları ise kendi aralarında değişkenlik göstermektedir. Granitlerden sonra “Ağır” ve “Çok ağır” yaya trafiği için en uygun taş grubu kireçtaşları (K1-K4) olmaktadır. Bununla birlikte, bu grupta yer almasına rağmen, K5 kodlu kireçtaşının kullanım sınıfının “hafif” yaya trafiği ile sınırlı olduğu ve bu nedenle sadece konutsal mekânlar için uygun olacağı anlaşılmaktadır.

Bilindiği gibi, bazı mimari projelerde renk ve desen özelliği farklı olan taşların ‘dekoratif’ amaçlı olarak birlikte kullanılması istenebilmektedir. Böyle durumlarda, birlikte kullanılacak taşların aşınma dirençlerinin uyumlu olması gerekmektedir. Aksi halde, düzensiz aşınma nedeniyle, gerek estetik bakımdan ve gerekse kullanım açısından olumsuzluklar söz konusu olabilmektedir (Şek. 3). Aşınma dirençleri $H_a \leq 20$ olup dekoratif amaçlar için birlikte kullanılacak taşlarda aşınma direnci değerleri arasındaki farkın $H_a \leq 5$ olması Marble Institute of America (MIA) (2016) tarafından önerilmektedir. Örneğin; aşınma direnci değerleri arasındaki fark $H_a \leq 5$ olduğundan M2, M3 ve M4 mermerlerinin birlikte kullanıma uygun olduğu anlaşılmaktadır. Diğer yandan, aşınma dirençleri arasındaki fark ≥ 5 olması nedeniyle, M5 mermerinin M2, M3 ve M4 mermerleriyle birlikte dekoratif amaçlı olarak kullanılması uygun olmayacaktır. Çizelge 2’de yer alan diğer taşlar için benzer değerlendirmelerin yapılması mümkündür.



Şekil 3. Birlikte kullanılan iki taşta oluşan düzensiz aşınma

4 SONUÇLAR

Bu çalışmada, döşemelik olarak kullanılan bazı doğal taşların Avrupa Birliği Standardı EN 14157 (Yöntem-A) ve Amerikan Standardı ASTM C 241 deney yöntemlerine göre belirlenen aşınma direnci değerlerinin ‘kullanım sınıfı’ açısından karşılaştırılması hedeflenmiştir. Bu amaca yönelik olarak, Geniş Disk aşınma (WWA) ve Taber aşınma (H_a) direnci arasındaki görsel bir Eşitlikten yararlanılarak, kullanım sınıflarındaki karşılıkları belirlenmiştir. Yapılan karşılaştırmada, anılan iki deney yönteminden elde edilen aşınma direnci değerleri yardımıyla tayin edilen kullanım sınıflarının önemli ölçüde örtüştüğü görülmüştür. Bu nedenle, ileride yapılacak başka araştırmalarla da desteklendiği takdirde, bu çalışmada getirilen yaklaşımın mimari projelerin ön inceleme aşamasında yol gösterici bir araç olabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- EN 14157 (2004). Natural Stones- determination of the abrasion resistance.
- ASTM C 241 (2005). Standard test method for abrasion resistance of stone subjected to foot traffic.
- ASTM C 1353 (1996). Standard test method using the Taber abraser for abrasion resistance of dimension stone subjected to foot traffic.
- MIA (2014). Dimension stone test methods, guides, and standards. Technical Bulletin, Volume VII, Issue I. http://www.stonesofnorthamerica.com/technical/Dimension_Stone_Test_Methods_Guides_and_Standards.pdf
- Marradi A, Secchiari L, Lezzerini M (2008). The qualification of materials for their application in road stone pavements. In: *Proceedings of the second international congress on dimension Stones*. Carrara, Italy, p. 225-235
- Karaca Z, Günes Yılmaz N, Goktan RM (2012). Considerations on the European Standard EN 14157 test methods: Abrasion resistance of natural Stones used for flooring in buildings. *Rock Mechanics and Rock Engineering* 45: 103-111
- FCTGG (2013). Guide for the design, construction and maintenance of natural stone for internal paving. *1st Edition, Ideaspropias Editorial,Vigo*.

http://www.fctgranito.es/en/pdf/cap_prueba_pav_interiores_en.pdf

- [8] MIA (2016). Horizontal surfaces. *An excerpt from the Dimension Stone Manual, Version VIII (May 2016)*. <http://pubs.marble-institute.com/pub/2dd2874a-9480-ad2d-d813-b26a856f9b83>

Farklı Tür Doğaltaşların Numune Boyutlarına Bağlı Olarak Tek Eksenli Basınç Dayanımlarının İncelenmesi

Investigation of Uniaxial Compressive Strengths of Different Kind of Natural Stones Depending on Sample Sizes

M. Sert, V. Karakuş, M. Gürsoy, Z. Arsoy

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar

ÖZET Doğaltaşlar oluşum şekillerine göre tortul, başkalaşım ve magmatik olmak üzere 3 kısma ayrılmaktadır. Doğaltaşların her türü yapı sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Tek eksenli basınç dayanım değerleri (TBD) şev açıları, bina temelleri, yeraltı kazı tasarımları ve kaya kütle sınıflandırmaları için vazgeçilmez bir öneme sahiptir. Bu çalışmada tortul, başkalaşmış ve magmatik kökenli doğaltaşların, öncelikle kimyasal analiz ve petrografik tanımlamaları yapılarak kökenleri belirlenmiştir. 40x40x40 mm, 50x50x50 mm, 60x60x60 mm, 70x70x70 mm ve 80x80x80 mm ebatlarında 30'ar adet küp numune üzerinde TBD değerleri ölçülmüştür. Elde edilen TBD değerleri ile numune boyutları arasındaki ilişki belirlenmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda, numune boyutlarının değişmesiyle doğaltaşların dayanımlarındaki değişimin çokta anlamlı bir şekilde değişmediği saptanmıştır. Literatürdeki birçok çalışmanın aksine numune boyutları küçüldükçe kayaların dayanımının arttığı sonucu bu çalışmada doğrulanamamıştır.

Anahtar Kelimeler doğaltaşlar, basınç dayanımı, boyut etkisi

ABSTRACT Natural stones separated three parts according to the formation; sedimentary, metamorphic and magmatic. All kinds of natural stones are widely used in the construction sector. Uniaxial compressive strength values (UCS) are essential for slope angles, building foundations, underground excavation designs and rock mass classifications. In this study natural stones which are sedimentary, metamorphic and magmatic origin were first determined by chemical analysis and petrographic descriptions. UCS values were measured on each groups 30 cube samples of size 40x40x40 mm, 50x50x50 mm, 60x60x60 mm, 70x70x70 mm and 80x80x80 mm. The correlation among the dimension of samples was determined by the obtained uniaxial pressure values.

As a result of our laboratory studies; unlike many previous studies, It has been found that the variation in the endurance of natural stones does not significantly change with the variation of samples size. In contrast to many studies in the literature, the result of as the sample sizes become smaller, increase the strength of rocks can not be confirmed in this study.

Keywords rock, compressive strength, size effect

1 GİRİŞ

Enerji Bakanlığının verilerine göre dünya doğaltaş rezervinin yaklaşık olarak %40 Türkiye’de bulunmaktadır. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda Türkiye’de farklı renk ve desenlerde 650’nin üzerinde doğaltaş çeşidi bulunduğu belirlenmiştir. Başlıca doğal taş türleri; çeşitli renk ve desenlerde kristalize mermer, kalker, traverten oluşumlu kalker (oniks), konglomera, breş ve magmatik kökenli kayalardan (granit, siyenit, diyabaz, diyorit, serpantin, vb.) oluşmaktadır. Türkiye doğaltaş ihracatı bakımından dünyanın ilk beş ülkesinden biri olmakla birlikte yıllık ihracatı yaklaşık 2,5 milyar dolar seviyelerindedir. Emek yoğun bir sektör olan doğaltaş sektörünün istihdama ve diğer yan sanayilere katkısı azımsanmayacak seviyede yüksektir ve sektördeki yabancı ikame mal girdisi çok düşük olduğundan her yıl cari açığı azaltıcı bir etkisi de bulunmaktadır.

Doğaltaş ocaklarının işletmeye alınmadan önce kayaların bazı fiziko-mekanik özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu özellikler içerisinde en önemlilerinden biri de TBD’nin belirlenmesidir. Ocaklarda üretilen doğaltaşların üretim verimi %30’lar civarındadır. Bu oran doğaltaşların oluşum şekillerine göre değişiklik göstermektedir. Bazı taşların yapısında doğal olarak bulunan kılcal çatlaklar taşın basınç dayanımını ve ocak üretim verimini de düşürebilmektedir. Literatürde doğaltaşların TBD için numune boyutlarının etkisi ile ilgili önemli çalışmalar bulunmaktadır, (Qi vd., 2014) çalışmalarında numune boyutu arttıkça, çatlakların numuneye yayılması için daha fazla zamana gereksinim duyulduğunu ve uygulanan gerilmelerin, numunelerin makro kırıkları oluşmadan önce daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur. (Tuncay E., ve Hasancebi N., 2009) çalışmalarında farklı boyutlardaki karot numuneleri üzerinde yapılan TBD sonunda doğaltaşların kırılması için toplamda 2-3 dk’lık yükleme hızları ile 8-10 dk’lık yükleme hızları arasında anlamlı bir fark olmadığını ortaya koymuşlardır.

(Coates 1965; Hoek and Brown 1980; Hudson and Harrison 1997; Lockner 1995) çalışmalarında TBD sonuçlarını etkileyen

birçok faktör olduğunu bunlardan bazılarının gözenek oluşumunun tipi, yükleme hızı, çevresel koşullar, numune boyutu ve şekli, olduğunu ortaya koymuşlardır. (Lockner, 1995) Çoğunlukla doğaltaşların TBD’nin azalması; gözenek basıncının artması, yükleme hızının azalması ve sıcaklığın artması ile ilişkilidir. (Bieniawski,1968), karot numuneleri üzerinde yaptığı testlerde kömürün TBD değerlerinin artan örnek boyutu ile azaldığını, ancak 1 m’lik bir numune boyutundan sonra TBD’nin neredeyse sabit kaldığını ortaya koymuştur. (Hodgson ve Cook, 1970) ve (Obert ve diğ., 1946), numune büyüklüğüyle birlikte kaya gücünde herhangi bir değişiklik olmadığını bildirirken, (Mogi, 1962), (Bieniawski, 1972), (Pratt ve diğ.,1972), (Protodyakonov ve Koifman, 1963) ve (Hoskins ve Horino, 1969) numune boyutlarının artmasıyla doğaltaşların dayanımında önemli azalmaların olduğunu ortaya koymuşlardır. (Hoek ve Brown, 1980), yapmış oldukları çalışmada 10 ile 200 mm boyutları arasında olan karot ve kübik kaya şekilli numuneler üzerinde TBD ölçümleri de dâhil olmak üzere literatürdeki verileri gözden geçirmişlerdir. Bunun sonucunda farklı boyutlardaki basınç dayanımı değerlerini 50 mm ebatlarındaki numune dayanımlarına çeviren Eşitlik 1’deki denklemi önermişlerdir.

$$TBD/TBD_{D50}=(50/D)^{0.18} \quad (1)$$

(Hawkins, 1998), tortul kayalarda çapları 12,5 ila 150 mm arasında olan numuneler üzerinde TBD testleri yapmıştır. Bu araştırmacı, kayaların maksimum mukavemetlerinin yaklaşık 40-60 mm çaplı karot numunelerinden elde edildiği sonucuna varmıştır. ASTM D2938-86/95 ve D4543-85 numaralı Amerikan standartları (ASTM 1994 and 2000) TBD için boy-çap oranını 2-2,5:1, Uluslararası Kaya Mekanik Derneği (ISRM 2007) ise 2,5-3:1 olarak önermiştir. ASTM numune çaplarının 47 mm’den az olmasını tavsiye ederken ISRM 54 mm’den az olmasını tavsiye etmektedir. (Hoek ve Brown, 1980), bu boyutu 50 mm olarak tavsiye etmektedir. Bu çalışmalardan 54 mm ve 47 mm lik karot çaplarının en

güvenilir TBD değerlerini verdiği anlaşılmaktadır. (Mogi, 1966, 2007), dolomit, granit ve trakit karot numuneleri üzerinde boy-çap oranları 1 ila 4:1 olan laboratuvar testlerini uygulamıştır. Bu araştırmacının sonuçlarına göre TBS değerleri, boy-çap oranı 2.5:1 veya daha büyük karotlar numuneleri için yaklaşık olarak sabit kalmıştır. Karot çaplarının oranının 2,5'den düşük olması durumunda dayanımın düzenli olarak azaldığı görülmüştür. (John, 1972 ve Hawkins, 1998)' e göre karot numunelerinin boy çap oranları 2 veya daha fazla ise TBD'nin sabit kaldığı gözlenmiştir. Oranın 2'nin altına inmesi durumunda ise TBD değerinde belirgin bir artış gözlenmiştir. Oranları 2,5 – 4:1 olan numunelere kıyasla 2:1 oranlı numunelerin TBS değerlerinde azda olsa bir artış olduğu gözlenmiştir.

(Thuro ve diğ., 2001), kersantit numuneleri üzerinde TBD testleri gerçekleştirdiler ve verileri için bir logaritmik regresyon fonksiyonu geliştirdiler. Bu TBD değerlerinde bir düşüş olduğuna işaret etmesine rağmen, (John, 1972), (Hawkins, 1998) ve (Mogi, 1966, 2007) ile karşılaştırıldığında farklı boy-çap oranlarındaki değişimin düzensiz olduğunu ortaya koymuştur. (Ünlü ve Yılmaz, 2008), hem magmatik hem sedimanter doğaltaş numuneleri ile boy-çap oranları yaklaşık 0,5:3,5 olan çimento ve alçı çekirdeklerinin şekil etkisi üzerinde araştırmalar yapmışlardır. Boy-çap oranı, yenilme tipinde önemli bir faktör olmasına rağmen, elde edilen TBS değerlerinde belirgin bir farklılık olmadığı sonucuna varmışlardır. (Obert ve diğ., 1946) ve (Obert ve Duvall, 1967), silindirik numuneler için, numune uzunluğunun çapa oranının sabit tutulması koşuluyla, numunenin boyutunun normal grup içi varyasyona oranla daha düşük olduğunu bildirmiştir. Bununla birlikte, boy-çap oranının basınç mukavemeti üzerinde önemli bir etkisi olduğunu ve aşağıdaki ilişki Eşitlik 2. yardımıyla düzeltilebileceğini önermektedirler.

$$TBD_1 = TBD / (0,778 + 0,222 \text{ boy/çap}) \quad (2)$$

(ASTM, 1994) boy-çap oranlarının 2'den düşük olması durumunda TBD değerlerini 2

oranına sahip numunenin TBD değerine dönüştürmek için Eşitlik 3'ü önermiştir.

$$TBD_2 = TBD / (0,88 + 0,224 \text{ boy/çap}) \quad (3)$$

Bu çalışmanın amacı laboratuvar testlerinde kullanılan doğaltaş numunelerinin hangi boyutlarda en uygun sonuçları verdiğini ve eğer varsa boyutlar arası değişim katsayılarını belirleyebilmektir. TBD'da tek bir numuneyi kırmak için harcanan enerji ve zaman düşünüldüğünde deneylerde ne kadar küçük boyutlarda verimli sonuç alınabilirse harcanan zaman ve enerji de o derece az olacaktır.

2 MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Malzeme

Bu çalışmada oluşum şekillerine göre tortul, başkalaşmış ve magmatik olmak üzere üç çeşit doğal yapı taşı kullanılmıştır. Tortul olarak kullanılan numuneler Bilecik ilindeki ocaklardan çıkartılan ve Bilecik Bej ticari isme sahip bir kireçtaşıdır. Başkalaşmış (metamorfizmaya uğramış) numune örnekleri ise yine Marmara Adasından çıkartılan ve Bianco Dolomiti isimli kristalize mermer türüdür. Magmatik kökenli kullanılan numune ise Afyonkarahisar bölgesinden çıkartılan ve Traki Andezit olarak adlandırılan bir traki andezit çeşididir.

Laboratuvar deneylerinde Bilecik Bej için DEMMER A.Ş., Bianco Dolomiti için Efal Maden LTD., ve Traki Andezit için YÜNTAŞ A.Ş. firmaları tarafından hazırlanan 40x40x40 mm, 50x50x50 mm, 60x60x60 mm, 70x70x70 mm, ve 80x80x80 mm ebatlarında kübik şekilli 50'şer adet numune içerisinden seçilen 30'ar adet numune kullanılmıştır.

2.2. Yöntem

Laboratuvar deneylerinde kullanılan her bir çeşit numunenin karakterizasyonu için kimyasal analiz (XRF) ve petrografik tanımlamaları yapılmıştır. Numunelerin elementel bileşimlerinin tayini Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği bölümü Akredite Doğaltaş Analiz Laboratuvarında bulunan Rigaku/ZSX Primus

II marka XRF cihazı ile yapılmıştır. Metkon marka ince kesit hazırlama cihazında ince kesitler hazırlanarak Nikon marka polarizan mikroskop yardımıyla numunelerin petrografik tanımlamaları yapılmıştır. Gaz Piknometre yöntemi kullanılarak özgül ağırlıkları belirlenmiştir. TBD 40x40x40 mm, 50x50x50 mm, 60x60x60 mm, 70x70x70 mm, ve 80x80x80 mm ebatlarında kübik şekilli 30'ar adet numune üzerinde Test Center marka 3000 kN kapasiteli ve düzenli olarak kalibrasyonları yapılan basınç presinde yapılmıştır.

Çizelge 1. Laboratuvar Deneylerinde Kullanılan İlgili Standartlar.

Testler	İlgili Standart
Elementel bileşimin tayini	TS EN 15309 (TSE, 2008)
Petrografik tanımlama	TS EN 12407 (TSE, 2013)
Özgül kütle tayini	ASTM D-5550-06 (ASTM, 2009)
Basınç Dayanımı	TS EN 1926 (TSE, 2013)

3 BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Kimyasal Analiz Sonuçları

Doğal yapı taşlarının elementel bileşimlerinin belirlenmesi, petrografik tanımlamalarında oldukça yardımcı bilgiler vermektedir. Ana bileşimlerinde SiO₂, MgO veya CaO olması doğaltaşların oluşum şekilleri hakkında bazı temel bilgileri sunmaktadır. Elementel bileşimleri belirlenen tortul, başkalaşmış ve magmatik doğaltaşların yüzdesel değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Deneylerde Kullanılan Doğaltaş Örneklerinin Kimyasal Analiz Sonuçları.

Kimyasal Bileşim (%)	Numune Adı		
	Bilecik Bej	Bianco Dolomit	Traki Andezit
SiO ₂	0,1400	0,1600	55,0000
Al ₂ O ₃	0,0844	0,0800	16,1000
Fe ₂ O ₃	0,0329	0,0275	5,5000
MgO	0,2860	15,0705	2,5700
CaO	55,3000	38,0108	5,9400
Na ₂ O	0,0245	0,0109	3,0100
K ₂ O	-	0,0115	6,0300
TiO ₂	-	-	0,8830
P ₂ O ₅	-	0,0200	0,8040
SrO	0,1260	0,0202	0,2020
Diğer	0,1062	-	2,7410
*K.K.K.	43,9000	46,5900	1,2200

*Kızdırma kaybı

Çalışmada kullanılan doğal yapı taşlarının ince kesitleri hazırlanarak polarizan mikroskop yardımıyla petrografik tanımlamaları yapılmıştır. Çizelge 3.'de doğaltaşlarla ilgili petrografik tanımlama sonuçları sunulmaktadır.

Çizelge 3. Bilecik Bej, Bianco Dolomit ve Traki Andezit'in Petrografik Tanımlamaları

Ticari İsim	Bilecik Bej	Bianco Dolomiti	Traki Andezit
Köken	Tortul	Baskalaşmış	Volkanik
Tür	Kireçtaşı	Dolomitik Memer	Traki Andezit
Bölge	Bilecik - Merkez	Marmara Adası	Afyon - Merkez
Renk / Renk Kodu	Suluk Sarımsı Turuncu (10YR 8/6) - Koyu Sarımsı Turuncu (10YR 6/6)	Beyaz (N9)	Orta Koyu Gri (N4)
Doku	Mikrokristalin	Kristalin	Afanitik
Çatlak	Var	Yok	Yok
Gözenek	Yok	Yok	Var
Makro Fosil	Yok	Yok	Yok
En Küçük Tane Boyutu (µm)	1,9	11,7	-
En Büyük Tane Boyutu (µm)	1523,4	198,5	-
Ortalama Tane Boyutu (µm)	41,3	106,6	-
Ortalama Çatlak Genişliği (µm)	293,8	-	-

3.2. Petrografik Tanımlama Sonuçları

3.2.1. Bilecik Bej

Petrografik tanımlama sonucunda Bilecik Bejinin tortul (sedimenter) kökenli bir doğal yapı taşı olduğu ortaya çıkmıştır. Soluk ve koyu sarımsı ve turuncu renklere sahip olan Bilecik Beji bünyesinde bazı mikro ve makro çatlaklar bulunmaktadır. Çatlak genişliği ise ortalama 293,8 µm dolaylarındadır. Bilecik Beji bünyesinde gözenek ve makro fosil bulunmamakla birlikte mikro kristalin bir dokuya sahiptir. Ortalama kristal boyutu ise 41,3 µm dolaylarındadır. Şekil 1.'de polarizan mikroskop altında Bilecik Bejinin 25X ve 50X yakınlaştırmayla ince kesit

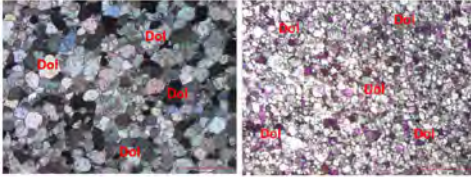
görüntüleri verilmektedir. Kayaç içerisindeki birincil (Kal-1) ve ikincil (Kal-2) kalsit mineralleri açıkça görülmektedir.



Şekil 1. Bilecik Bejinin Polarizan Mikroskop Altındaki İnce Kesit Görüntüleri (Çift Nikol).

3.2.2. Bianco Dolomit

Bianco Dolomitinin başkalaşmış (metamorfik) kökenli bir doğal yapı taşı olduğu ortaya görülmektedir. Beyaz bir renge sahip olan Bianco Dolomitinin bünyesinde çatlak, gözenek ve makro fosil bulunmama ile birlikte kristalin bir dokuya sahiptir. Ortalama kristal boyutu 106,6 µm dolaylarındadır. Şekil 2’de polarizan mikroskop altında Bianco Dolomitinin 25X ve 50X yakınlaştırmayla ince kesit görüntüleri verilmektedir. Kayaç içerisindeki dolomit (Dol) mineralleri açıkça görülmektedir.

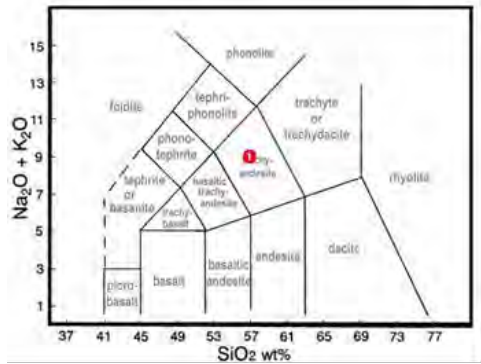


Şekil 2. Bianco Dolomitinin Polarizan Mikroskop Altındaki İnce Kesit Görüntüleri (Çift Nikol).

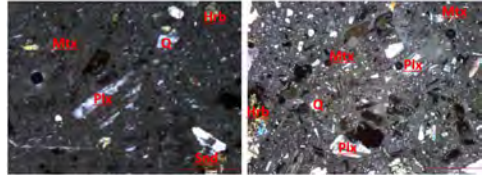
3.2.3. Traki Andezit

Traki Andezitin magmatik kökenli volkanik bir doğal yapı taşı olduğu görülmektedir. Petrografik tanımlama sonucunda Traki Andezit olarak tanımlanmıştır (Şekil 3). Orta koyu gri bir renge sahip olan Traki Andezitin bünyesinde çatlak ve makro fosil bulunmamaktadır. Gözenekli bir yapıya sahiptir Afanatik (hızlı soğumayla oluşan ince taneli doku) bir dokuya sahiptir. Şekil 4’te

polarizan mikroskop altında Traki Andezitin 25X ve 50X yakınlaştırmayla ince kesit görüntüleri verilmektedir. Kayaç içerisindeki kuvars (Q), plajiyoklas (Plx), sanidin (Snd), hornblend (Hrb) mineralleri ve plajiyoklas mikrolitleri (Matriks) (Mtx-) açıkça görülmektedir.



Şekil 3. Traki Andezit Taş Diyagramı (Le Bas, et al., 1986) Üzerinde Petrografik Tanımlaması



Şekil 4. Traki Andezitin Polarizan Mikroskop Altındaki İnce Kesit Görüntüleri (Çift Nikol).

3.3. Özgül Kütle Tayini

Doğaltaşların özgül kütle tayini gaz piknometresi yöntemiyle ölçülmüştür.

Çizelge 4. Bilecik Bej, Bianco Dolomit ve Traki Andezitin Özgül Kütle Değerleri

Numune Adı	Bilecik Bej	Bianco Dolomiti	Traki Andezit
Özgül Kütle (g/cm ³)	2,712	2,873	2,732

3.4. Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tayini

Tek eksenli basınç dayanımı TS EN 1926 standardına uygun olarak yapılmış olup

standartta belirtilen 50x50x50 mm ve 70x70x70 mm ebatların yanı sıra 40x40x40 mm, 60x60x60mm ve 80x80x80 mm ebatlarındaki numuneler de kullanılmıştır. Standartta belirtilen 10 adet numune yerine her bir boyuttan numuneden 30'ar adet kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonrasında standart sapmaların düşürmek için en düşük ve en yüksek değere sahip numunelerden 5'er adet hesaplamaya katılmamıştır.

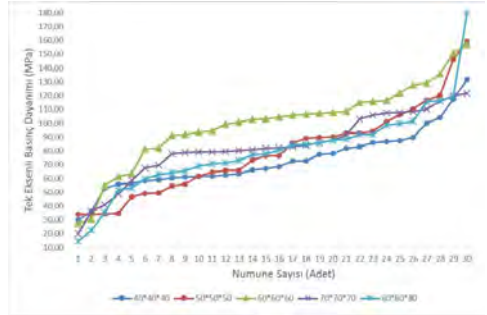
3.4.1. Bilecik Beji

30 adet numune üzerinde farklı boyutlarda yapılan Bilecik Bejinin TBD değerleri Çizelge 5'de verilmektedir. Bu sonuçlara göre tüm boyutlardaki ortalama değişim %0,15 olup standart sapmadaki ortalama azalma ise %55,18'dir.

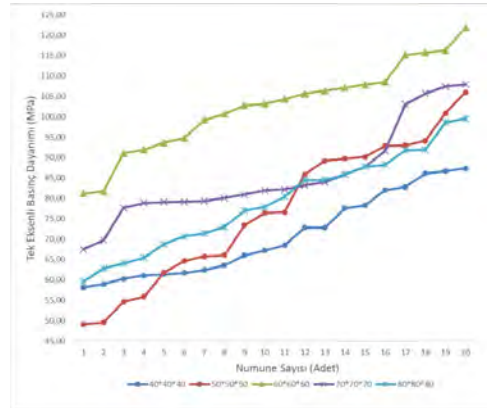
Çizelge 5. Bilecik Beji Numunelerinin TBD Basınç Dayanımı Sonuçları (MPa)

Boyutlar (mm)	40x40 x40	50x50 x50	60x60 x60	70x70 x70	80x80 x80
N1	30.03	33.83	27.49	19.80	14.44
N2	36.07	33.86	30.67	35.91	22.52
N3	52.69	34.31	54.88	41.00	35.43
N4	55.73	34.51	61.35	48.70	51.42
N5	56.54	46.56	63.42	58.49	53.19
N6	58.14	49.12	81.19	67.47	59.50
N7	58.95	49.52	81.74	69.67	62.76
N8	60.19	54.61	91.08	77.66	64.02
N9	61.06	55.84	91.91	78.83	65.41
N10	61.34	61.80	93.63	79.10	68.74
N11	61.71	64.59	94.72	79.14	70.59
N12	62.37	65.70	99.22	79.33	71.39
N13	63.56	65.98	100.69	80.10	72.93
N14	65.99	73.35	102.84	80.88	77.01
N15	67.15	76.37	103.14	81.95	77.83
N16	68.46	76.58	104.35	82.16	80.39
N17	72.76	85.81	105.68	83.15	84.44
N18	72.80	89.19	106.38	83.92	84.48
N19	77.58	89.73	107.11	85.87	85.81
N20	78.26	90.11	107.92	87.75	87.73
N21	82.03	92.89	108.53	91.59	88.23
N22	82.78	92.98	115.19	103.02	91.81
N23	86.12	94.09	115.76	105.75	91.92
N24	86.68	100.88	116.29	107.41	98.61
N25	87.30	106.04	121.85	107.98	99.62
N26	89.80	110.19	127.79	108.62	101.45
N27	99.87	116.93	128.97	110.39	115.85
N28	104.06	120.18	135.66	116.10	116.45
N29	117.50	146.31	151.15	119.76	119.10
N30	131.65	159.29	157.04	121.67	179.80

Şekil 5'de Bilecik Bejinin ortalama TBD dağılım grafiği verilmiştir. Şekil 6'da ise düzeltilmiş TBD grafiği verilmektedir.



Şekil 5. Bilecik Bejinin Tek Eksenli Basınç Dayanımı Değerlerinin Dağılımı.



Şekil 6. Bilecik Bejinin Düzeltilmiş Tek Eksenli Basınç Dayanımı Değerlerinin Dağılımı.

3.4.2. Bianco Dolomit

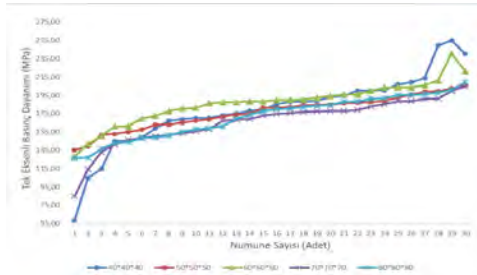
Bianco Dolomitinin TBD değerleri Çizelge 6'da verilmektedir. Bu sonuçlara göre tüm boyutlardaki ortalama değişim -%1,09 olup standart sapmadaki ortalama azalma ise %51,56'dır.

Çizelge 6. Bianco Dolomiti Numunelerinin Tek Eksenli Basınç Dayanımı Sonuçları (MPa)

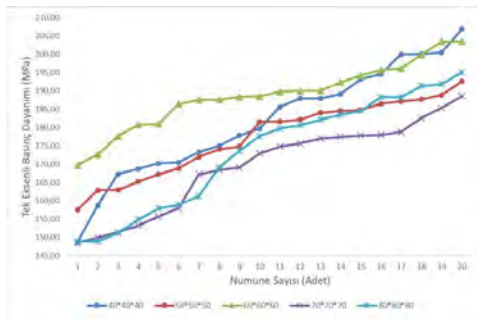
Boyutlar (mm)	40x40 x40	50x50 x50	60x60 x60	70x70 x70	80x80 x80
N1	58.48	135.35	128.09	84.64	126.38
N2	104.63	139.08	141.91	114.01	126.88
N3	114.44	151.77	150.66	133.15	136.42
N4	145.19	152.78	161.04	141.05	142.81
N5	145.60	154.84	161.25	146.21	143.87
N6	148.61	157.51	169.72	148.61	148.85

N7	158,69	162,88	172,61	149,93	148,93
N8	167,29	162,92	177,68	151,38	151,21
N9	168,69	165,20	180,72	153,25	154,89
N10	170,20	167,23	181,00	155,68	157,88
N11	170,46	168,80	186,41	157,99	158,89
N12	173,31	171,95	187,53	167,27	161,27
N13	174,99	174,05	187,53	168,38	169,09
N14	177,87	174,79	188,35	169,05	173,64
N15	179,67	181,56	188,50	172,93	177,65
N16	185,58	181,62	189,76	174,81	179,69
N17	187,92	182,13	190,00	175,62	180,60
N18	187,92	183,99	190,11	176,93	182,15
N19	189,14	184,51	192,36	177,43	183,48
N20	193,16	184,79	194,19	177,83	184,52
N21	194,56	186,49	195,72	177,96	188,24
N22	199,99	187,09	196,11	178,80	188,26
N23	200,07	187,68	199,83	182,54	191,36
N24	200,46	188,89	203,43	185,32	191,83
N25	206,86	192,58	203,54	188,57	195,09
N26	209,27	195,55	203,67	188,74	195,40
N27	213,89	199,04	206,05	191,00	196,26
N28	249,47	199,54	211,14	191,43	197,81
N29	254,96	202,54	240,45	199,67	200,88
N30	240,44	205,59	221,51	204,94	209,18

Şekil 7’de Bianco Dolomitinin ortalama TBD dağılım grafiği verilmiştir. Şekil 8’de ise düzeltilmiş TBD grafiği verilmektedir.



Şekil 7. Bianco Dolomitinin Tek Eksenli Basınç Dayanımı Değerlerinin Dağılımı.



Şekil 8. Bianco Dolomitinin Düzeltilmiş Tek Eksenli Basınç Dayanımı Değerlerinin Dağılımı.

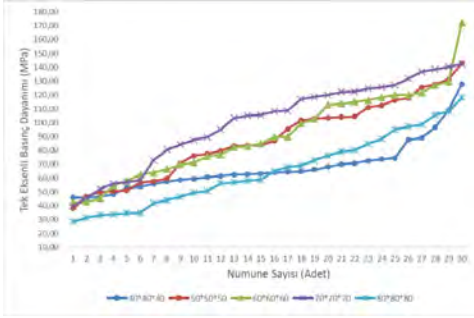
3.4.3. Traki Andezit

Traki Andezitin TBD değerleri Çizelge 7’de verilmektedir. Bu sonuçlara göre tüm boyutlardaki ortalama değişim %0,96 olup standart sapmadaki ortalama azalma ise %35,46’dır.

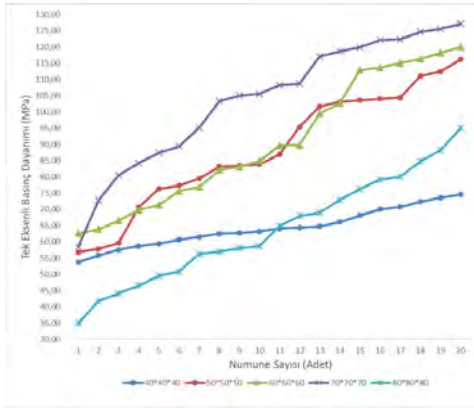
Çizelge 7. Traki Andezit Numunelerinin Tek Eksenli Basınç Dayanımı Sonuçları (MPa)

Boyutlar (mm)	40x40 x40	50x50 x50	60x60 x60	70x70 x70	80x80 x80
N1	45.85	38.04	42.48	39.96	28.53
N2	45.88	46.75	42.89	45.65	31.29
N3	46.37	49.80	45.21	52.08	33.19
N4	48.31	50.53	54.59	55.96	33.70
N5	53.03	51.03	57.81	57.13	34.58
N6	53.71	56.77	62.53	58.40	34.80
N7	55.87	57.79	63.85	72.78	41.79
N8	57.55	59.68	66.49	80.55	44.11
N9	58.70	70.67	69.78	84.22	46.50
N10	59.44	76.28	71.30	87.43	49.47
N11	60.67	77.33	75.62	89.47	50.78
N12	61.45	79.54	76.89	95.06	56.23
N13	62.47	83.17	82.12	103.34	56.92
N14	62.74	83.48	83.10	105.05	58.07
N15	63.21	83.86	84.89	105.57	58.67
N16	64.10	86.96	89.67	108.21	64.84
N17	64.43	95.36	89.78	108.72	67.96
N18	64.78	101.65	99.49	117.10	69.00
N19	66.05	103.08	102.71	118.65	72.84
N20	68.13	103.61	112.97	119.91	76.24
N21	70.03	104.06	113.68	122.16	79.14
N22	70.76	104.39	115.10	122.38	80.06
N23	72.35	111.06	116.29	124.63	84.80
N24	73.56	112.41	118.25	125.62	88.30
N25	74.52	116.20	119.97	127.10	94.99
N26	87.59	117.68	120.02	131.84	97.25
N27	89.07	125.41	121.70	136.81	98.64
N28	96.72	127.76	127.02	138.61	105.68
N29	109.02	131.25	129.55	140.37	108.08
N30	127.92	142.84	172.18	142.36	118.19

Şekil 9’da Traki Andezitin ortalama TBD dağılım grafiği verilmiştir. Şekil 10’da ise düzeltilmiş TBD grafiği verilmektedir.



Şekil 9. Traki Andezit Tek Eksenli Basınç Dayanımı Değerlerinin Dağılımı



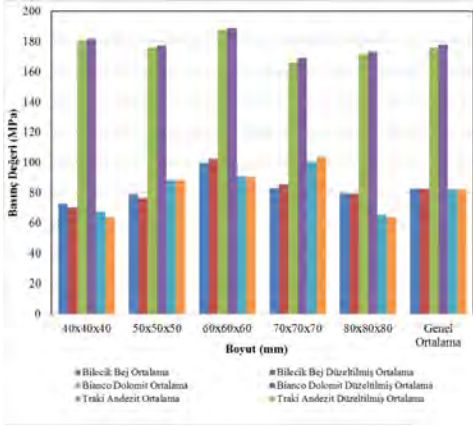
Şekil 10. Traki Andezit Düzeltilmiş Tek Eksenli Basınç Dayanımı Değerlerinin Dağılımı

3.4.4. Bilecik Bej, Bianco Dolomit ve Traki Andezit Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Çizelge 8’de yapılan bütün çalışmaların ortalamaları ve düzeltilmiş ortalamaları verilmiştir. Çizelge incelendiğinde doğal taşlar için en uygun boyutun Bilecik Bej numunesi için 70x70x70 mm iken bianco dolomit ve traki andezit için bu boyutun 50x50x50 mm olduğu saptanmıştır.

Çizelge 8. Genel ve Düzeltilmiş TBD Sonuçlarının Ortalama ve Standart Sapmaları.

	Parametreler	Numune Boyutları (mm)				
		40x40 x40	50x50 x50	60x60 x60	70x70 x70	80x80 x80
Bilecik Bej	Genel Ortalama	72,97	79,04	99,59	83,11	79,76
	Std. Sapma	21,71	32,27	30,00	24,82	31,31
	Düzeltilmiş Ortalama	70,76	76,76	102,46	85,64	79,16
	Düzeltilmiş Std. Sapma	10,22	17,62	11,00	11,76	12,01
	Genel Std. Sapma Yüzdesi (%)	29,75	40,82	30,12	29,87	39,26
	Düzeltilmiş Std. Sapma Yüzdesi (%)	14,44	22,96	10,73	13,73	15,17
	Yüzde Fark (%) (G-F)	15,31	17,86	19,39	16,13	24,09
Bianco Dolomit	Genel Ortalama	180,23	176,03	187,56	166,11	171,37
	Std. Sapma	42,87	18,20	24,58	25,54	23,16
	Düzeltilmiş Ortalama	181,77	177,33	188,76	169,51	173,38
	Düzeltilmiş Std. Sapma	15,38	10,36	9,13	12,46	15,63
	Genel Std. Sapma Yüzdesi (%)	23,79	10,34	13,11	15,37	13,51
	Düzeltilmiş Std. Sapma Yüzdesi (%)	8,46	5,84	4,84	7,35	9,01
	Yüzde Fark (%) (G-F)	15,32	4,49	8,27	8,03	4,50
Traki Andezit	Genel Ortalama	67,81	88,28	90,93	100,57	65,49
	Std. Sapma	18,50	28,59	31,05	30,81	25,77
	Düzeltilmiş Ortalama	64,23	88,37	90,72	103,82	63,78
	Düzeltilmiş Std. Sapma	5,89	18,54	20,01	19,65	16,78
	Genel Std. Sapma Yüzdesi (%)	27,29	32,38	34,15	30,64	39,36
	Düzeltilmiş Std. Sapma Yüzdesi (%)	9,17	20,98	22,06	18,93	26,30
	Yüzde Fark (%) (G-F)	18,12	11,40	12,09	11,71	13,05



Şekil 11. Bütün Kayaçların Ortalama ve Düzeltilmiş Ortalama Basınç Değerleri (MPa).

4. SONUÇLAR

- Çizelge 8 incelendiğinde, doğaltaşların ortalama TBD ile düzeltilmiş TBD arasındaki fark %5'i geçmemektedir. Genel ortalamaları ise %0,01'dir Bunun yanında standart sapmalarda %68'e varan düşüşler görülmektedir. Ortalama ise %49,31'dir. Bu sonuçlar TBD düzeltme faktörlerinin kullanımının standart sapmaları önemli ölçüde düşürdüğü, ortalama sonuçları ise etkilemediği sonucunu ortaya çıkarmıştır.
- Bilecik Beji için genel ve düzeltilmiş ortalama en yakın sonucu veren boyut 70x70x70 mm olarak belirlenmiştir. Bu boyutlar Bianco Dolomiti ve Traki Andeziti için 50x50x50 mm olarak bulunmuştur.
- En yüksek değerlere TBD değerlerine Bianco Dolomiti ve Bilecik Beji için 60x60x60 mm, Traki Andeziti için ise 70x70x70 mm boyutlarında ulaşılmıştır.
- Boyutların artması veya azalmasına bağlı olarak TBD değişimi ile ilgili anlamlı bir ilişki bulunamamıştır.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma TÜBİTAK 2209-A - Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında desteklenmektedir. Katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- ASTM D 5550-06, 2009, American Society for Testing and Materials, Standard Test Method for Specific Gravity of Soil Solids by Gas Pycnometer.
- ASTM, 1994, American Society for Testing and Materials. Annual book of ASTM standards, vol 04.08, Philadelphia, PA, USA.
- ASTM, 2000, American Society for Testing and Materials. Annual book of ASTM standards, vol 04.08, Philadelphia, PA, USA.
- Bieniawski Z. T., 1968, The Effect Of Specimen Size On Compressive Strength Of Coal. *Int J Rock Mech* 5:325-335
- Bieniawski Z. T., 1972, Propagation of Brittle Fracture in Rock. In: *Proceedings of 10th symposium on rock mechanics*, AIME, Newyork, pp 409-427
- Coates D. F., 1965, *Rock Mechanics Principles*. Mines branch monograph 874. Queen's Print, Ottawa, Canada, p 280.
- Ergün T. and Hasancebi N., 2009, The Effect of Length to Diameter Ratio of Test Specimens on the Uniaxial Compressive Strength of Rock, *Bull. Eng. Geol. Environ.*, 68:491-497.
- Hawkins A. B., 1998, *Aspects of Rock Strength*. *Bull Eng Geol Environ* 57:17-30
- Hodgson K., Cook N. G. W., 1970, The Effects of Size and Stress Gradient on the Strength of Rock. In: *Proceedings of 2nd Congress of International Society of Rock Mechanics*, vol 2, Belgrade, pp 3-5.
- Hoek E, Brown ET, 1980, *Underground Excavations in Rock*. Institution of Mining and Metallurgy. Stephen Austin and Sons Ltd., Hertford, London, p 527.
- Hoskins J. R., Horino F.G., 1969, The Influence of Spherical Head Size and Specimen Diameter on the Uniaxial Compressive Strength of Rocks. *US Bureau of Mines Report of Investigations*, 7234, p 16.
- ISRM, 2007, The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974-2006. In: *Ulsay R., Hudson J. A., (eds)*

- Suggested methods prepared by the commission on testing methods, ISRM, Compilation arranged by the ISRM Turkish National Group, Kozan ofset, Ankara
- John M., 1972, The Influence of Length to Diameter Ratio on Rock Properties in Uniaxial Compression: A Contribution to Standardisation in Rock Mechanics Testing. Rep S Afr CSIR No ME1083/5.
- Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., Streckeisen, A. & Zanettin, B., 1986, A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology* 27, 745–750.
- Lockner D. A., 1995, Rock failure. In: Thomas J. A. (ed) *Rock Physics and Phase Relations. A handbook of physical constants*, AGU References Shelf 3, pp 127–147.
- Mogi K., 1962, The Influence of the Dimensions of Specimens on the Rock Fracture Strength of Rocks. *Bull Earthq Res Inst Tokyo Univ* 40:175–185.
- Mogi K., 1966, Some Precise Measurements of Fracture Strength of Rocks Under Uniform Compressive Stress. *Felsmechanik und Ingenieurgeologie* 4:41–55.
- Mogi K., 2007, *Experimental rock mechanics*. Taylor & Francis, London, p 361.
- Obert L, Duvall W.I., 1967, *Rock Mechanics and the Design of Structures in Rock*. Wiley, London, p 650.
- Obert L., Windes S. L., Duvall W. I., 1946, Standardized Tests for Determining the Physical Properties of Mines Rocks. US Bureau of Mines Report of Investigations, 3891, p 1.
- Pratt H. R., Black A. D., Brown W. S., Brace W. R., 1972, The Effect of Specimen Size on the Mechanical Properties of Unjointed Diorite. *Int J Rock Mech Mining Sci* 9:513–529.
- Protodyakonov M. M., Koifman M. I., 1963, The Scale Effect in Investigations of Rock and Coal. In: *Proceedings of 5th congress international bureau rock mechanics*, Leipzig.
- Qi Chengzhi et al., 2014, Mechanism Underlying Dynamic Size Effect On Rock Mass Strength, *International Journal of Impact Engineering*, 68, 1-7.
- Thuro K, Plinninger R. J., Zah S., Schutz S., 2001, Scale Effects in Rock Strength Properties. Part 1: Unconfined Compressive Test and Brazilian Test. In: *ISRM regional symposium, EUROCK 2001, Rock mechanics—a challenge for society*, Finland, pp 169–174
- TS EN 15309, Türk Standartları Enstitüsü, 2008, X ışını floresans yöntemi kullanılarak elementel bileşimin tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 12407, Türk Standartları Enstitüsü, 2013, Doğal taşlar - Deneysel yöntemleri - Petrografik inceleme, TSE, Ankara.
- TS EN 1926, Türk Standartları Enstitüsü, 2013, Doğal taşlar - Deneysel yöntemleri - Tek eksenli basınç dayanımı tayini, TSE, Ankara.
- Ünlü T., Yılmaz O., 2008, Investigation of the Shape Effect on the Uniaxial Compressive Strength of The Intact Rock. In: Türk N., Deliormanlı A. H., Kıncaç C., (eds) *9th regional rock mechanics symposium* Izmir, Turkey, pp 121–141.

Granitik Kayaçların Termal Özelliklerinin Değerlendirilmesi *Evaluation of Thermal Properties of Granitic Rocks*

M. Kun

Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir

ÖZET Günümüzde gerek yapı ve kaplama gerekse dekoratif ve izolasyon amaçlı olarak değerlendirilen doğal taşlar içerisinde granitik kayaçların kullanımı, inşaat ve diğer yapı sektörlerinin gelişimine paralel olarak hızla artmaktadır. Özellikle son yirmi yıllık süreçte yapılarda, kaplamalarda ve özellikle ısıtma sistemlerindeki (zeminden ısıtma vb) gözlenen değişiklikler, granitlerin yapılardaki kullanımını arttırmıştır. Ayrıca, özellikle büyük şehirlerde prestijli binaların hızla artışı ve buna bağlı olarak iç ve dış cephelerinde kullanılan doğal taşların (granitlerin) kullanımında giderek artmış ve bu nedenle özellikle yer döşemelerinde ve kaplamalarda kullanılan granitlerin, termal performanslarının bilinerek ve kullanım yerine uygun şekilde, titizlikle seçimi zorunlu hale gelmiştir.

Mermer olarak isimlendirilen kayaçlardan ilk etapta gerek sertlik ve dayanım değerleri ile gerekse fiziksel etkilere karşı göstermiş oldukları dirençler açısından kolaylıkla ayrılabilen granitlerin, yapıları gereği sahip oldukları termografik özelliklerinin bilinmesi, kızıl ötesi termografi ölçümlerinin yapılarak değerlendirilmesi çalışmanın özünü oluşturmaktadır. Bu bağlamda çalışmada, ülkemizde yoğun olarak kullanılan beş farklı granitin ısı özellikleri belirlenmiş, termografik ölçümleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

ABSTRACT The usage of granitic rocks in natural stones which are evaluated as both decorative and isolation purposes is rapidly increasing in parallel with the development of construction and other building sectors, nowadays. Especially changes observed in coatings and especially in heating systems (floor heating systems) have increased the use of granites in the construction during the last two decades. In addition, the use of natural stones (granites) used in interior and exterior facades has also increased, especially in large cities, where prestigious buildings have increased rapidly so that granites which are used in flooring and covering have become well known for their thermal performances accordingly.

Granites that can easily be separated in terms of resistance, hardness and strength values in the first look from the rocks known as marble so knowledge of the thermo-graphic properties of the structures, the measurements of the infrared thermometers evaluate the nature of the work. In this content, the thermal properties of five different granites used extensively in our country were determined and the results obtained were evaluated comparatively.

1 GİRİŞ

Günümüzde hızla artan şehir nüfusu, yapı ve inşaat sektörüne olan ilgiyi de arttırmış ve bu durum her iki sektörde de yoğun olarak

kullanılan doğal yapı malzemelerin (doğal taş, ağaç vb.) özelliklerinin bilinip, uygun yerlerde kullanım zorunluluğunu doğurmuştur. Gelişen teknoloji, çevre bilinci

ve buna bağılı olarak giderek artan enerji talebi ve hassasiyeti, özellikle doğal malzeme kullanımını arttırmış, yerinde, uygun ve nitelikli malzemelerin kullanımı da, ekonomik ve çevresel değerlere pozitif katkılar sağlamıştır (Kun 2017).

Eski çağlardan beri yapı malzemesi olarak kullanılan doğal taşların, günümüzde daha çok döşeme, kaplama ve dekoratif amaçlı kullanılması, bu kayaların gerek kullanım yerlerinin tercihi gerekse enerji açısından önemlidir. Isı yalıtımı amacı ile cephe kaplamalarında kullanılan birçok farklı malzeme bulunmaktadır. Estetik görünüm ve teknik özellikleri açısından yaygın olarak kullanılan doğal taşların, termal davranışlarındaki üstünlükler nedeni ile (ısı geçirgenliği, ısı birikimi, sağlığa uygunluk vb.) farklı mekânlarda (iç ve dış cephe kaplama, fayans, vb.) daha bilinçli ve yerinde kullanılması gerekmektedir (Tufan ve Kun 2014).

Bu bağlamda hazırlanan çalışmada, ülkemizde gerek çok katlı prestijli binaların neredeyse her alanında gerekse konutların belirli bölgelerinde sıklıkla tercih edilen beş farklı granit için ısı özellikleri belirlenmiş, elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak yorumlanmaya çalışılmıştır. Bu amaç için ele alınan örneklerin ısı performansları, kızılötesi termal kamera ve infrared termometreler kullanılarak ölçülmüştür.

Kızılötesi termografi yöntemi tahribatsız bir sıcaklık haritalama yöntemi olup, yüzey sıcaklığının önemli olduğu birçok endüstriyel çalışma alanında kullanımı mevcuttur. Bu yöntem ile birçok malzeme ve yapının ısı analizi yapılabilmektedir (Tufan ve Kun 2014). Özellikle yapılarda, ısı kaçaklarının tespiti, ısıtma ve soğutma sistemlerinin verimliliği gibi alanlarda etkin olarak kullanılan termografi yönteminin madencilik sektöründeki kullanım alanları giderek genişlemekte ve günümüzde açık ocaklar ve tesislerin termal izleme sistemleri ile etkin olarak izlenmesi ve denetlenmesi gerçekleştirilmektedir.

Malzeme karakterizasyonu amacı ile kullanılan kızılötesi termografi yöntemi, Demirdağ ve Gündüz (2003), Vosteen ve Schellscmidt (2003), Meola vd. (2004),

Nilica ve Harmuth (2005), Meola (2007) ve Shi vd. (2007) gibi birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır. Bunlara ek olarak, çeşitli kayaç ve yalıtım malzemelerinin ısı özellikleri birçok araştırmacı tarafından detaylı biçimde incelenmiştir (Al-Kassir vd. 2005, Synnefa vd. 2006, Barreira ve Freitas 2007, Durmus ve Görhan 2009). Ayrıca Gündüz vd. (2001) tarafından da farklı mermer türlerinin ısı kapasite değerleri araştırılmış ve değerlendirilmiştir.

2 METOD

Çalışma kapsamında doğal taşlar içerisinde, serttaşlar başlığı altında sınıflandırılan granitlerin, termografik özelliklerinin tayini için, ülkemizde sıklıkla tercih edilen beş farklı ithal granit örneği ele alınmıştır. Seçilen granit örnekleri, ülkemizde granit endüstrisinde kabul görmüş ve kullanımı bakımından ilk sıraları alan örneklerdir. Çalışma kapsamında termal özellikleri incelenen granit örnekleri sırası ile African Red "AR", Baltic Brown "BB", Labrador "LB", Star Galaksi "SG" ve Rosa Porino "RP" olarak belirlenmiş ve kodlanmıştır.

Termografi ya da termal görüntüleme yöntemi, nesnelerin yüzey sıcaklığını esas alan, görüntünün genel yapısının ısıya göre oluşmuş renkleri ve şekiller tarafından belirlenmesidir (Grinzato vd. 1998, Luong 2004). Bu yöntemde yüzeyden kızılötesi bantta yansıyan termal enerji, her bir enerji seviyesinin farklı renklerle gösterildiği gözle görülebilir bir renk spektrumu olarak sunulur (Popov vd., 1999, Meola vd. 2005, Avdelidis vd. 2007). Kızılötesi ışınlarını kullanan termal kameralar bu sistemleri kullanmakta ve nesnelerin yüzeylerinde oluşan termal farklılıkları da saptayabilmektedir (Peterson ve Innocenzi 2002; Kun ve Tufan 2015).

Çalışmada, termografik ölçümler için tasarlanan cihaz, doğal taşların üzerine yerleştirileceği, tamamen izole ve homojen ısı dağılımı sağlayan bir yapıdadır. Cihaz yüzeyi, üzerine konulan standart ölçülerde (30x30), (40x40) ya da (60x60) örneklerin, tüm yüzeylerine aynı ısıyı verebilmesi amacı ile 1200°C sıcaklıklara dayanabilen sodyum silikat ve kuvars karışımı hamur ile

kaplanmışır. Bu hamur aynı zamanda yüksek fırın ve benzer ısı işlem cihazlarının rezistanslarının gizlenerek ortama homojen ısı yaymalarını sağlayan bir malzemedir. Geliştirilen bu cihazla, üzerine konumlandırılan örneğin homojen ısı alması sağlanmakta ayrıca rezistanslar ve hamur malzemesi arasına yerleştirilen termokupllar ile de cihaz yüzeyinin sıcaklık dağılımı kontrol edilebilmektedir (Şekil 1).

Termal görüntüleme işlemi için kullanılan termal kameraya ait teknik özellikler Çizelge 1’de verilmektedir. Bu bağlamda, DEÜ Maden Mühendisliği Bölümü Isıl İşlem Laboratuvarında 60x60x2 cm boyutlarında beş farklı örnek üzerinde termal testler yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Çizelge 1. Termal kamera özellikleri

	Değerler
Termal çözünürlük	240 x 180 piksel
Termal hassasiyet	$\leq 0,05^{\circ}\text{C}$
Sıcaklık ölçüm aralığı	$-20^{\circ}\text{C} / 650^{\circ}\text{C}$
Minimum fokus	0,4 metre



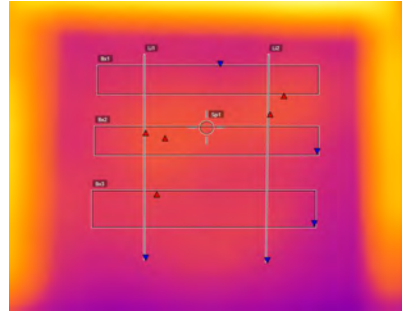
Şekil 1. Termografi ölçümleri deney düzeneği.

Bu düzenek sayesinde, arka yüzünden ısıya maruz bırakılan 2 cm. kalınlığındaki doğal taşın, termal kamera ile elde edilen termografik görüntüleri, cihazla birlikte gelen özel yazılım ile işlenip incelenebilmekte ve bu sayede ölçümler değerlendirilebilmektedir.

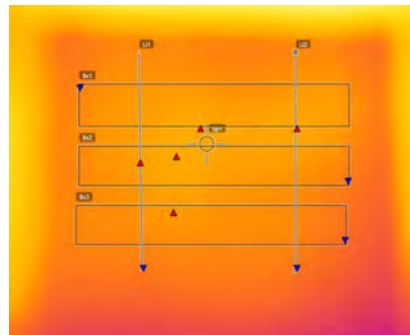
3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deney düzeneğine yerleştirilen granit örneklerinin her biri sıra ile 30 dakika

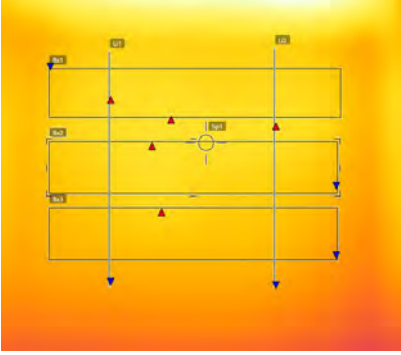
boyunca 30°C , 45°C ve 60°C düzgün dağılımlı ısıya maruz bırakılmış ve yüzey sıcaklıkları her 10 dakikada bir, termal kamera ile okunarak kaydedilmiştir. Aşağıda BB kodlu “Baltık Browne” granit örneğinin, çalışmaya konu olan 45°C sıcaklığa maruz bırakıldığında, yüzeyinin farklı zaman aralıklarında alınan ve yazılım ile işlenen termal görüntüleri örnek olarak verilmektedir (Şekil 2-4). Örneklerin termal ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi için her bir örnekten 5 adet numune üzerinde ölçümler alınmış ve alınan bu ölçümlerin ortalama değerleri ile granit örnekleri üzerinde uygulanan tüm ölçümlere ait termal görüntülerden elde edilen toplu sonuçlar Çizelge 2’ de verilmiştir.



Şekil 2. BB granit örneğinin ait 45°C ısı kaynağı üzerinde, 10 dakika sonrası yüzey sıcaklığına ait termografik görüntüleri.



Şekil 3. BB granit örneğinin 45°C ısı kaynağı üzerinde, 30 dakika sonrası yüzey sıcaklığına ait termografik görüntüleri.



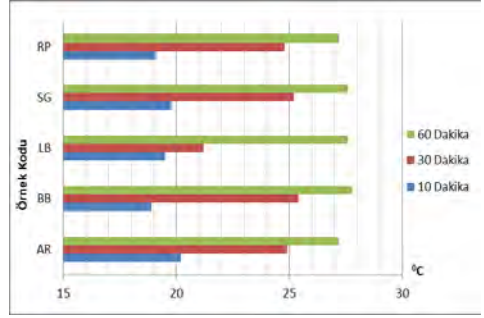
Şekil 4. BB granit örneğinin 45°C ısı kaynağı üzerinde, 60 dakika sonrası yüzey sıcaklığına ait termografik görüntüsü.

Çizelge 2. Farklı sıcaklık ve zaman aralıklarında ölçülen yüzey sıcaklıkları (°C)

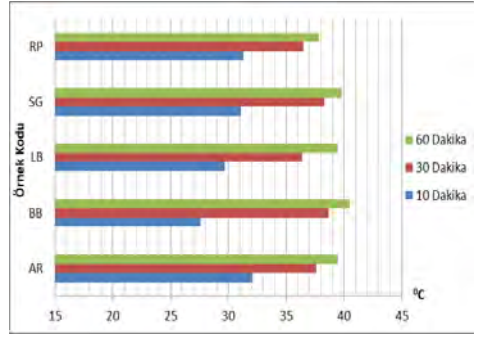
	10 Dakika	30 Dakika	60 Dakika
<i>AR</i>			
30°C	20,2	24,9	27,2
45°C	32,1	37,6	39,5
60°C	37,3	47,3	49,1
<i>BB</i>			
30°C	18,9	25,4	27,8
45°C	27,6	38,7	40,5
60°C	32,8	49,5	51,2
<i>LB</i>			
30°C	19,5	21,2	27,6
45°C	29,7	36,4	39,5
60°C	31,6	45,6	50
<i>SG</i>			
30°C	19,8	25,2	27,9
45°C	31,1	38,3	39,8
60°C	37,1	48,2	51,1
<i>RP</i>			
30°C	19,1	24,8	27,2
45°C	31,3	36,5	37,8
60°C	34,3	47,1	50

* “AR” African Red, “BB” Baltic Brown, “LB” Labrador, “SG” Star Galaksi, “RP” Rosa Porino

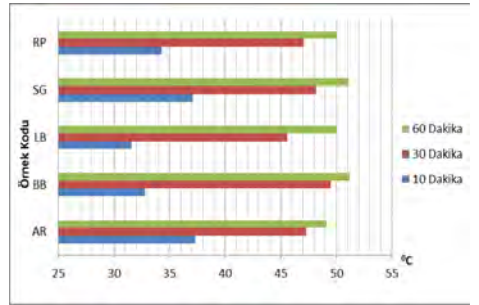
Farklı granit örneklerinin 30 °C, 45 °C ve 60 °C sıcaklıklar için, yüzeylerinden elde edilen sıcaklık değerleri şekil 5-6 ve 7 de farklı dakikalar baz alınarak, kıyaslamalı olarak verilmektedir.



Şekil 5. Granit örneklerin 30°C sıcaklığa maruz bırakıldığında yüzeyden okunan sıcaklık değerleri



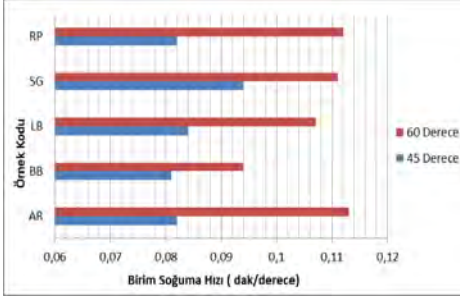
Şekil 6. Granit örneklerin 45°C sıcaklığa maruz bırakıldığında yüzeyden okunan sıcaklık değerleri



Şekil 7. Granit örneklerin 60°C sıcaklığa maruz bırakıldığında yüzeyden okunan sıcaklık değerleri

Ayrıca tüm örnekler 45°C ve 60°C lik sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra düzenek üzerinden alınarak soğumaya bırakılmış, 45

$^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa maruz bırakılan örnekler 180 dakika, 60°C maruz bırakılan örnekler ise 240 dakika izlenerek ölçümler alınmıştır.



Şekil 8. 45°C ve 60°C sıcak için granit örneklerinin birim soğuma hızları.

Bu sürelerin sonunda elde edilen verilerle, zamana bağlı birim soğuma hızları ($^{\circ}\text{C}/\text{dak}$) hesaplanmış ve elde edilen verilerden oluşturulan grafik şekil 8’ de verilmiştir.

4 SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Granitlerin yapıları gereği sahip oldukları ısıl davranış özelliklerinin belirlenmesi, kızıl ötesi termografi ölçümlerinin yapılarak değerlendirilmesi amacı ile hazırlanan bu çalışmada elde edilen bulgular aşağıda sunulmaktadır.

Eş ısı kaynağı ile gerçekleştirilen deneylerde örnekler 30°C , 45°C ve 60°C sıcaklığa maruz bırakılmış ve bu değerlere karşılık gelen yüzey sıcaklıkları 10, 30 ve 60 dakikalık sürelerle termal kamera ile ölçülerek kaydedilmiştir. Bunun yanı sıra örneklerin belirlenen sıcaklıklara tabi tutulduktan sonraki süreçte, ısıyı tutma kapasitelerinin belirlenmesi amacı ile birim soğuma hızları hesaplanmıştır.

Buna göre; çalışmada ele alınan granit örneklerinden Baltık Brown “BB” örneğinin verilen ısıyı yüzeye hızlı iletme özelliği açısından diğer örneklerden ayrıldığı gözlenmiştir. BB granit örneği, çalışma içerisinde incelenen ve özellikle 30°C ve 45°C sıcaklıklarda yapılan 10,30 ve 60 dakikalık okumalarda en yüksek yüzey sıcaklığını veren örnektir. Bu örneği sırası ile Star Galaksi “SG” ve Labrodor “LB”

ticari isimleri ile anılan örnekler izlenmektedir. 60°C sıcaklıkta gerçekleştirilen deneylerde ise “SG” granit örneğinin “BB” örneği ile benzer bir davranış sergilediğini hatta 10 dakikalık erken okumada daha fazla ısıyı yüzeye ilettiği tespit edilmiştir.

Ayrıca örneklerin dakikadaki birim soğuma hızlarında çalışma içerisinde incelenmiş ve özellikle 60°C sıcaklıkta gerçekleştirilen deney sonuçlarına göre sırası ile; AR, RP ve SG ve LB kodlu granit örneklerinin BB kodlu örneğe nazaran çok hızlı soğudukları, bir başka deyişle BB örneğinin bünyesindeki sıcaklığı daha uzun sürede dış ortama verdiği (koruduğu) gözlenmiştir. Aynı durum 45°C de yapılan ölçüm sonuçları içinde geçerli olup, sadece BB örneğinden sonraki diğer örneklerin sıralaması değişmektedir.

Granitler üzerindeki çalışmalar sonucunda, birbirine çok yakın fiziksel ve mekanik özellikleri olan granitlerde gözlenen bu durumun, kayaçların petrografik özellikleri, mineral yapısı ve kayaç yapısındaki makro ve mikro gözenekler ile ilgili olduğu, termal performansın kayaçlardaki petrografik yapı ile birlikte irdelenmesi gereği sonucuna varılmıştır. Benzer yapıdaki kayaçların ortaya koydukları farklı termal davranışların daha net olarak ortaya konulabilmesi için araştırmanın bundan sonraki bölümlerinde kayaçların mineral bileşimleri, porozite durumları vb. özellikleri araştırılarak sonuçları birlikte değerlendirilecektir.

Günümüzde hızla gelişen enerji ve buna bağlı alt sektörlerden biri olan ısıtma teknolojileri kapsamında son dönemde önemli bir çalışma alanı olan alttan ısıtma (zeminden ısıtma) uygulamalarında verimin artırılması, verilen ısının yüzeye hızlı iletilmesi ve özellikle doğal malzemeler kullanılacaksa, bünyelerinde tutulup zamana bağlı olarak yavaş soğumaya geçmesi aranan ve istenen bir durumdur. Bu nedenle ısıtma sistemleri ile kullanılacak doğal taşlarda, özellikle zemin ve kaplamalarda diğer mekanik özelliklerin yanısıra kayaçların termal davranışlarında incelenmesi ve kullanım yerine göre uygun özellikte olan

kayacın seçilmesi, enerji verimliliği açısından giderek önem kazanan bir olgudur.

TEŞEKKÜR

Yazar, DEÜ Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne 2013.KB.FEN.022 no'lu projeye olan desteklerinden dolayı teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- Al-Kassir, A.R, Fernandez, J, Tinaut, F.V, Castro, F, 2005. Thermographic study of energetic installations. *Applied Thermal Engineering*, 25: 183-190, Elsevier.
- Avdelidis, N.P, Kouï, M, Ibarra-Castanedo, C, Maldague, X, 2007. Thermographic studies of plastered mosaics. *Infrared Physics & Tech.*, 49: 254-256, Elsevier.
- Barreira, E, Freitas, V.P, 2007. Evaluation of building materials using infrared thermography. *Construction and Building Materials*, 21: 218-224, Elsevier.
- Demirdağ, S, Gündüz, L, 2003. The characteristics of pumice and analysis of thermal insulation. *18th International Mining Congress and Exhibition*, 10-13, Turkey.
- Durmuş, G, Görhan, G, 2009. Evaluation of termographic images with respect to thermal conductivity. *Journal of Technical-Online*, Vol.8, 1: 48-57.
- Grinzato, E, Vavilov, V, Kauppinen, T, 1998. Quantitative infrared thermography in buildings. *Energy & Build.*, 29: 1-9.
- Gündüz, L, Uğur, L, Demirdağ, S, 2001. Mermer türlerinin özgül ısı kapasite değerleri üzerine teknik bir inceleme. *Türkiye III. Mermer Sempozyumu*, Afyon.
- Kun, M, Mallı, T, 2017. Karbonat Kökenli Bazı Doğal Taşların Termal Davranış Performanslarının Belirlenmesi. *Türkiye 25. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi*, Antalya
- Kun, M, Tufan, B, 2015. Farklı Doğal Taşların Isıl Yalıtım Performanslarının Değerlendirilmesi. *Türkiye 24. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi*, Antalya
- Luong, M.P, 2004. Mechanical performance of wood construction materials, *16th World Conference on Nondestructive Testing*, Montreal-Canada.
- Meola, C, Carlomango, M, Gierleo, L, 2004. The use of infrared thermography for materials characterization. *Journal of Materials Processing Tech.*, 155-156:1132-1137, Elsevier.
- Meola, C, Di Maio, R, Roberti, N, Carlomagno, G.M, 2005. Application of infrared thermography and geophysical methods for defect detection in architectural structures. *Engineering Failure Analysis*, 12: 875-892, Elsevier.
- Meola, C, 2007. Infrared thermography of masonry structures. *Infrared Physics & Technology*, 49: 228-233, Elsevier.
- Nilica, R, Harmuth, H, 2005. Mechanical and fracture mechanical characterization of building materials used for external thermal insulation composite systems. *Cement and Concrete Research*, 35: 1641-1645, Elsevier.
- Peterson J.E, Innocenzi, M.J., 2002. Use of Infrared thermography as a standard in the quality assurance and quality control of grouted masonry construction, *Inframation*, ITC 035 A.
- Popov, Y.A, Pribnow, F.C, Sass, J.H, Williams, C.F, Burkhardt, H, 1999. Characterization of rock thermal conductivity by high-resolution optical scanning. *Geothermics*, 28: 253-276, Pergamon.
- Shi, W, Wu. Y, Wu. L, 2007. Quantitative analysis of the projectile impact on rock using infrared thermography. *International Journal of Impact Engineering*, 34: 990-1002, Elsevier.
- Synnefa, A, Santamouris, M, Livada, I, 2006. A study of the thermal performance of reflective coatings for the urban environment. *Solar Energy*, 80: 968-981, Elsevier.
- Tufan, B, Kun, M, 2014. Thermal insulation performance and thermal conductivity evaluation of natural stones by infrared thermography. *Proceedings of the International Conference on Mining, Material and Metallurgical Engineering*, Paper No.62, Czech Republic.

Karbonat Kökenli Bazı Doğal Taşların Yüzey Özelliklerine Bağlı Olarak Güneş Işığını Yansıtma İndeks Değerlerindeki Değişimin İncelenmesi

Investigation of the Solar Reflection Index Values Changes of Some Carbonate Based Natural Stones Depend on the Surface Properties

R. Altındağ, İ. Uğur, N. Şengün, D. Akbay, S. Demirdağ
Süleyman Demirel Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta

A. Coşkun
Süleyman Demirel Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta

M. Sert
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyon

ÖZET Günümüzde farklı renk ve doku özelliklerine sahip doğal taşlar, gerek dış cephe ve yer, gerekse iç mekân kaplamalarında, çeşitli kalınlıklarda ve yüzeyleri farklı şekillerde işlenmiş (cilalı, honlu ve kumlmalı) olarak yaygın şekilde kullanım alanı bulmaktadır. Özellikle dış cephelerde, güneş ışığının ortama yansıtılması ve soğurulması, mimari yapının iklimsel koşulları (mevsimsel sıcaklık ortalaması, güneşli gün sayısı, ortalama en yüksek sıcaklık, ortalama güneşlenme süresi vb.) baz alındığında, enerji verimliliği ve ısıl konfor açısından oldukça önemli sonuçlar doğurabilmektedir.

Bu çalışma kapsamında, gerek yurt içi ve gerekse yurt dışında yüksek ticari öneme sahip farklı renk, doku ve yüzey (cilalı, honlu ve kumlmalı) özelliklerine sahip 5 farklı karbonat kökenli (kireçtaşı, re-kristalize mermer, traverten) doğal taş türüne ait numuneler kullanılmıştır. Kuru ve doygun durumda güneş ışığı yansıma ve ısıl yayılım değerleri ölçülerek, güneş ışığını yansıtma indeks değerleri hesaplanmıştır. Kuru ve doygun durum için hesaplanan güneş ışığını yansıtma indeks değerinin, yüzey özelliklerindeki değişime bağlı olarak önemli derecede değişimler gösterdiği gözlenmiştir.

ABSTRACT Currently, natural stones having different colour and texture properties are widely used as both exterior and interior surface and floor coverings at various thicknesses and in different surface processed shapes (polished, honed and sanded). Especially on the outer facades, the reflection and absorption of the sunlight to the environment can have considerable consequences in terms of energy efficiency and thermal comfort based on the climatic conditions of the architectural structure (seasonal temperature average, number of sunny days, average maximum temperature, average sunshine duration etc.).

Within the scope of this study, samples of 5 different carbonate based (limestone, re-crystallized marble, travertine) natural stone types with different colour, texture and surface properties (polished, honed and sanded) with high commercial importance were used. In dry and saturated conditions, sunlight reflectance and heat emission values were measured and solar reflection index values were calculated. It has been observed that the solar reflection index values, calculated for dry and saturated conditions varies considerably depending on the changes in surface properties.

1 GİRİŞ

Hızla gelişen teknolojiye paralel olarak, enerji verimliliği, birçok sektör ve alanda karşımıza çıkmakta ve enerji maliyetleri her geçen gün artış göstermektedir. Genellikle binalarda dış cephe kaplama malzemesi olarak kullanılan doğal taş plakalarının estetik görünümünün yanında enerji verimliliğine katkısı da bulunabilmektedir (Shi ve Zhang, 2011).

Güneş ışığını yansıtma indeks (solar reflection index, SRI) değeri binalarda kullanılan kaplama malzemelerinin enerji verimliliğinin değerlendirilmesinde önemli bir parametre olarak kullanılmaktadır. Farklı renk, doku ve yüzey özellikleri güneş ışığını yansıtma ve soğurma karakteristiklerine bağlı olarak inşa edilen bir yapının çevresinde oluşturduğu en önemli etkilerden birisi ortam sıcaklığının arttığı bölgelerde ısı adası oluşumudur (Kültür ve Türkeri, 2012). Isı adaları yüzeylerin neredeyse tamamının sentetik yapıda olduğu şehirselleşmiş yaşam alanlarında daha yaygın olarak görülmektedir. Özellikle güneş kaynaklı ışımayı yansıtma özelliği oldukça düşük düzeyde olan çatı ve beton yüzeyler güneşin neden olduğu ısıyı büyük oranda yutarak ısı adalarının oluşumuna katkıda bulunurlar. Yapı tarafından yutulan ısı konveksiyon yoluyla tekrar ortam havasına geri döndüğünde, artan sıcaklığa bağlı olarak havanın kalitesi, doğal kaynaklar ve ekosistem üzerinde olumsuz bir etki oluşturabilmektedir.

Literatür incelendiğinde bu alanda farklı çalışmalar olduğu görülmektedir. Levinson vd., (2010), SRI değerlerinin kaplama yüzeyinin yönü, güneşin pozisyonu ve atmosferik şartlarına bağlı olduğunu belirtmektedirler. Ma vd., (2001), güneş ışığından daha fazla yararlanabilmek amacıyla renk değiştiren kaplamalar üzerinde güneş ışığı yansıtma ölçümleri yapmışlar ve kırmızı ve mor renklerin arasındaki kaplamaların beyaz renge göre daha çok güneş ışığını absorbe ettiğini belirtmişlerdir. Sleiman vd., (2011) ABD'nin sıcak bölgelerinde binaların çatılarının yüksek güneş ışığını yansıtıcı özellikli malzemelerle kaplanmasıyla yaşam alanlarındaki

iklimlendirme talebinin azalacağı sonucuna varmışlar, böylelikle şehirlerin ısı adalarında da kayda değer bir azalış olacağını ve bunun sonucu olarak küresel ısınmanın azalacağını belirtmişlerdir. Boriboonsomsin ve Reza (2007), çalışmalarında bölgelerdeki ısı adalarının etkilerinin azaltılması için yüksek güneş ışığını yansıtma değerlerine sahip kaldırımların tasarlanması gerektiğini tespit etmişlerdir. Yüksek yansıtma değerinin elde edilebilmesi için alternatif olarak beyazlığın artırılması gerektiğini savunmuşlardır. Berdahl ve Bretz (1997), çatı kaplamalarının güneş ışığını yansıtma değerleri kullanılan malzeme çeşitliliğine, yüzey pürüzlülüğü ve yabancı madde miktarına bağlı olarak değişimini incelemişler ve güneş ışığını yansıtma değerleri ile yüzey sıcaklıkları arasında kuvvetli bir korelasyon olduğunu ifade etmişlerdir. Alchapar vd., (2013), tarafından yapılan çalışmada, kentsel sıcaklıkların (ısı adaları) azaltılması amacıyla sık kullanılan yaya kaldırım kompozisyonları şekil ve renklerine bağlı olarak SRI değerlerini ve ısı davranışlarını ölçerek, zamana bağlı kirlenmenin SRI ve ısı davranışlarına etkilerini incelemişlerdir.

Bu çalışmada, farklı renk, doku ve yüzey (cılalı, honlu ve kuşlamalı) özelliklerine sahip 5 farklı karbonat kökenli (kireçtaşı, rekrystalize mermer, traverten) doğal taş türüne ait numunelerin, kuru ve doygun durumda güneş ışığı yansıtma ve ısı yayılım değerleri ölçülerek, güneş ışığını yansıtma indeks değerleri hesaplanmıştır. Kuru ve doygun durum için hesaplanan güneş ışığını yansıtma indeks değerinin, yüzey özelliklerine bağlı olarak değişimi incelenmiştir.

2 GÜNEŞ IŞIĞINI YANSITMA İNDEKS DEĞERİ (SRI)

SRI değeri, bir malzemenin güneşten yayılan enerjiyi yansıtma kabiliyeti olarak tanımlanmaktadır. Isıl yayılım ise bir yapının ısıyı serbest bırakma kabiliyeti olarak tanımlanabilmektedir. Güneş ışığı yansıtma değeri ve ısı yayılım değeri 0 ile 1 arasında değişmektedir. Isıl yayılım değerinin büyüklüğü emilen enerjinin daha çok serbest

kaldığını ifade etmektedir. Güneş ışığı yansıtma indeks değeri açık yüzeyler için 100'e yakın, koyu yüzeyler için ise 0'a yakın değerler almaktadır.

Malzemenin SRI değerinin artması ortamda ısı adası oluşumunun azalmasına neden olmaktadır. Yüksek SRI değerleri göreceli olarak daha serin malzemeleri temsil etmektedir. Numunelerin Güneş Işığını Yansıtma İndeks (Solar Reflection Index, SRI) değerlerinin belirlenmesi için Güneş Işığı Yansıtma değeri (β) (ASTM C1519) ve Isıl Yayımlım (ε) (ASTM C1371) değerlerinin ölçülmesi gerekir. Güneş ışığı yansıtma ve ısıl yayılım ölçüm değerlerinin Eşitlik 1-3'de yerine konmasıyla o numunenin SRI değeri hesaplanabilmektedir (ASTM E1980-11).

$$\alpha = 1 - \beta \quad (1)$$

$$x = \frac{(\alpha - 0.029\varepsilon)(8.797 + h)}{9.5205\varepsilon + h} \quad (2)$$

$$SRI = 123.97 - 141.35x + 9.655x^2 \quad (3)$$

ASTM E1980-11 standardında önerilen düşük, orta ve yüksek rüzgar koşulları göz önünde bulundurularak taşınım katsayısı (h) değeri 5, 12 ve 30 $Wm^{-2}K^{-1}$ olarak ayrı ayrı dikkate alınarak her bir h durumu için tüm koşullarda ölçümleri yapılan numunelerin SRI değerleri hesaplanmaktadır.

3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Çalışmada Kullanılan Doğal Taşlar

Çalışma kapsamında, gerek yurt içi ve gerekse yurt dışında yüksek ticari öneme sahip farklı renk, doku ve yüzey (cılalı, honlu ve kumlamalı) özelliklerine sahip 5 farklı karbonat kökenli doğal taş türüne ait numuneler kullanılmıştır (Çizelge 1). Ayrıca, 15x15x2 cm boyutuna getirilmiş olan doğal taş plakalarının yüzeyleri üzerinde Güneş Işığı Yansıtma değeri (β) ve Isıl Yayımlım (ε) değerlerinin ölçümü için gerekli 5 cm kenar uzunluğunda 9 adet karelaç oluşturulmuştur (Şekil 2).

3.2 SRI Değerlerinin Belirlenmesi

Numunelerin Güneş Işığını Yansıtma İndeks (Solar Reflection Index, SRI) değerlerinin belirlenmesi amacıyla Güneş Işığı Yansıtma değeri (β) ve Isıl Yayımlım (ε) değerleri Şekil 1-2'de verilen cihazlar kullanılarak ölçülmüş ve sonuçlar Çizelge 2'de sunulmuştur. Çalışma kapsamında numunelerin kuru ve suya doymun durumda ölçümleri yapılmıştır. Güneş Işığını Yansıtma İndeks (SRI) değeri Eşitlik 1-3 kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 3'de verilmiştir.

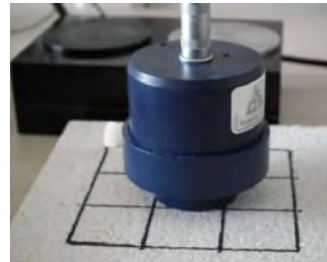
Çizelge 1. Çalışmada kullanılan doğaltaşlar

Num. Kodu	Köken	Kayaç Türü	Renk	Doku
M1	Sed.	Traverten	Orta Kahverengi	Mikrokristalin
M2	Sed.	Killi-Kireçtaşı	Sarımsı Gri	Sparitik
M3	Sed.	Kireçtaşı	Sarımsı Gri	Mikritik
M4	Sed.	Dolomit	ÇokAçık Gri	Sparitik
M5	Met.	Mermer	Beyaz-AçıkGri	Granoblastik

Sed: Sedimenter; Met: Metamorfik



Şekil 1. Güneş Işığı Yansıtma değeri ölçümü



Şekil 2. Isıl yayılım değeri ölçümü

Çizelge 2. Çalışmada kullanılan doğal taşların ölçülen Güneş Işığı Yansımaya ve Isıl Yayılim değerleri

Num. Kodu	Koşul	Güneş Işığı Yansımaya değerleri (β) (ASTM C1549)			Isıl Yayılim (ϵ) (ASTM C1371)		
		Cilalı	Honlu	Kumlu	Cilalı	Honlu	Kumlu
M1	Kuru	0.860 ± 0.003	0.875 ± 0.005	0.882 ± 0.007	0.502 ± 0.076	0.578 ± 0.050	0.658 ± 0.049
M2		0.843 ± 0.004	0.846 ± 0.004	0.862 ± 0.002	0.907 ± 0.005	0.905 ± 0.003	0.911 ± 0.003
M3		0.834 ± 0.005	0.851 ± 0.002	0.870 ± 0.001	0.770 ± 0.024	0.811 ± 0.038	0.855 ± 0.015
M4		0.848 ± 0.002	0.861 ± 0.001	0.871 ± 0.003	0.684 ± 0.052	0.691 ± 0.036	0.770 ± 0.026
M5		0.851 ± 0.002	0.860 ± 0.001	0.878 ± 0.003	0.469 ± 0.024	0.505 ± 0.049	0.664 ± 0.031
M1	Doygun	0.900 ± 0.003	0.908 ± 0.005	0.947 ± 0.004	0.389 ± 0.052	0.443 ± 0.054	0.404 ± 0.056
M2		0.913 ± 0.004	0.922 ± 0.002	0.954 ± 0.004	0.711 ± 0.004	0.702 ± 0.005	0.704 ± 0.005
M3		0.934 ± 0.005	0.932 ± 0.005	0.974 ± 0.003	0.698 ± 0.018	0.718 ± 0.018	0.708 ± 0.010
M4		0.897 ± 0.006	0.927 ± 0.005	0.964 ± 0.007	0.490 ± 0.044	0.496 ± 0.030	0.553 ± 0.022
M5		0.880 ± 0.001	0.896 ± 0.005	0.940 ± 0.004	0.384 ± 0.013	0.402 ± 0.022	0.453 ± 0.026

Çizelge 3. Çalışmada kullanılan doğal taşların hesaplanan SRI değerleri

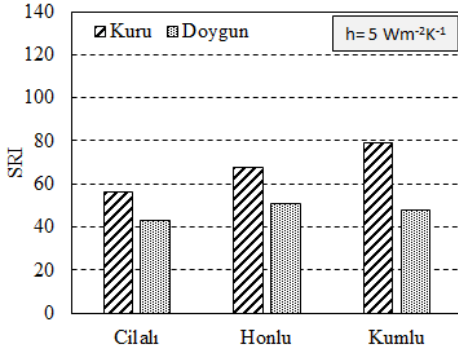
Num. Kodu	Yüzey Koşulu	Güneş Işığı Yansıtma İndeksi (SRI) Değeri					
		Taşınım katsayısı (h) (Kuru Durum)			Taşınım katsayısı (h) (Doygun Durum)		
		5Wm ² K ⁻¹	12Wm ² K ⁻¹	30Wm ² K ⁻¹	5Wm ² K ⁻¹	12Wm ² K ⁻¹	30Wm ² K ⁻¹
M1	Cilalı	56.4	57.4	58.3	43.3	43.8	44.2
M2		113.7	113.9	114.1	87.3	87.4	87.5
M3		93.5	94.1	94.7	86.0	86.0	85.9
M4		81.5	82.2	82.9	56.7	57.1	57.5
M5		51.4	52.6	53.7	41.5	42.3	43.1
M1	Honlu	67.5	68.2	68.7	50.9	51.2	51.4
M2		113.5	113.7	113.9	86.3	86.3	86.3
M3		99.9	100.3	100.6	88.8	88.7	88.7
M4		82.8	83.5	84.0	58.9	58.9	58.8
M5		56.7	57.7	58.6	44.8	45.3	45.8
M1	Kumlu	79.0	79.4	79.8	47.9	47.6	47.2
M2		114.6	114.7	114.9	87.5	87.3	87.0
M3		106.5	106.8	107.0	88.6	88.2	87.8
M4		94.4	94.7	95.1	67.9	67.4	66.9
M5		79.6	80.1	80.5	53.8	53.6	53.4

4 BULGULAR VE TARTIŞMA

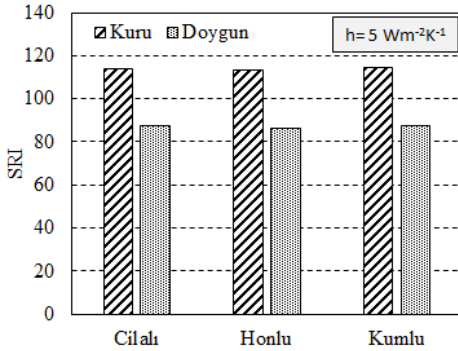
Karbonat kökenli 5 farklı (M1, M2, M3, M4, M5) doğal taş türüne ait, cilalı, honlu ve kumlu yüzeyler üzerinde, numunelerin kuru ve suya doygun olma durumlarına göre yapılan Güneş Işığı Yansımaya (β) ve Isıl Yayılim (ϵ) ölçümleri (Çizelge 2) sonucunda hesaplanan SRI değerleri (Çizelge 3) incelendiğinde, baz alınan sabit taşınım katsayısına ($h=5$) göre, M2 kodlu doğal taş

örneğin su içeriği ve yüzey pürüzlülüğünden neredeyse hiç etkilenmediği (Şekil 4) görülmektedir. Bunun nedeni zaten oldukça yüksek seviyede bir SRI değerine sahip olan kayacın bu parametrelerden etkilenme yüzdesinin daha düşük seviyede kalmasıdır. Buna karşın M1, M3, M4 ve M5 kodlu örneklerde pürüzlülük derecesi arttıkça SRI değerlerinde önemli ölçüde bir artış gözlenmiş, kuru ve kumlu yüzeylerde en yüksek SRI değerlerinin elde

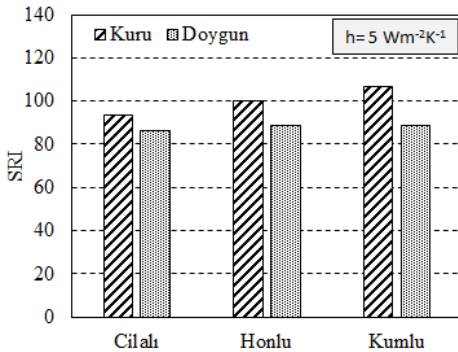
edilmiştir (Şekil 3 ve Şekil 5-7). SRI değerlerinde görülen artışın, özellikle kuru durumda, doğal taş yüzeylerinde artan pürüzlülükle birlikte meydana gelen daha açık tondaki renksel değişimlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.



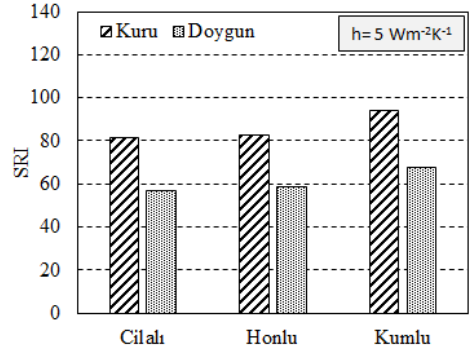
Şekil 3. M1 kodlu doğal taşta ait SRI sonuçları



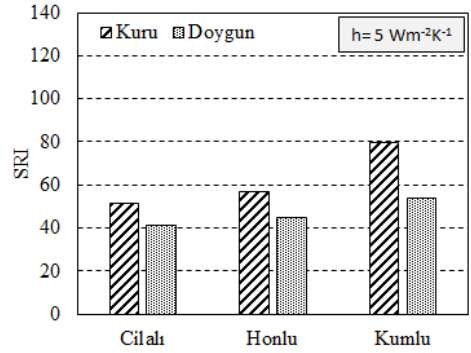
Şekil 4. M2 kodlu doğal taşta ait SRI sonuçları



Şekil 5. M3 kodlu doğal taşta ait SRI sonuçları



Şekil 6. M4 kodlu doğal taşta ait SRI sonuçları



Şekil 7. M5 kodlu doğal taşta ait SRI sonuçları

5 SONUÇLAR

Yukarıda elde edilen bulgular ışığında, çalışmada kullanılan tüm doğal taş türleri, farklı su içeriğinde ve yüzey koşullarında hesaplanan SRI değerleri açısından incelendiğinde, güneşten yayılan enerjiyi belirli ölçüde yansıtma kabiliyetine sahip oldukları ve özellikle M2 kodlu doğal taş türü için diğerlerine nazaran daha serin bir yüzeye sahip olabileceği sonucuna varılmıştır. Diğer doğal taş türleri için ise genellikle kaba işlenmiş ve kuru yüzeyler tercih edildiğinde oldukça tatmin edici sonuçlar doğuracağı, artan SRI değerlerinin ise, doğal taş kullanımında çok büyük yüzey alanları söz konusu olduğunda, buldukları ortamlarda oluşabilecek ısı adalarının azalmasına da önemli derecede katkı sağlayabilecekleri sonucuna ulaşılmıştır.

Ayrıca yeşil bina değerlendirme sistemi ve çevresel sürdürülebilir yapı için uygun standartları oluşturmak üzere, ABD Yeşil Bina Konseyi (U.S. Green Building Council, 2007) tarafından geliştirilen "Enerji ve Çevre Tasarımında Öncülük" (The Leadership in Energy and Environmental Design, LEED) sertifikasyonu kapsamında, binalarda kaplama olarak kullanılacak doğal taşların SRI değerinin 29'un üzerinde olması gerektiği önerilmektedir. Bu çalışmada incelenen 5 farklı doğal taş için hesaplanan SRI değerlerinin, 29'un üzerinde olduğu ve bu öneriyi sağladıkları belirlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK-1001 "Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projelerini Destekleme Programı" kapsamında 114M569 No'lu Proje tarafından desteklenmiştir. Kuruma katkıları için teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Alchapar, N.L.,Correa, E.N., Canton, M.A., (2013), "Solar reflectance index of pedestrian pavements and their response to aging", *Journal of Clean Energy Technologies*, 1 (4), 281-285.
- ASTM C1371, (2015), "American Society for Testing and Materials", Standard Test Method for Determination of Emittance of Materials Near Room Temperature Using Portable Emisometers.
- ASTM C1549, (2009), "American Society for Testing and Materials", Standard Test Method for Determination of Solar Reflectance Near Ambient Temperature Using a Portable Solar Reflectometer.
- ASTM E1980 - 11 (2001), "American Society for Testing and Materials", Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low-Sloped Opaque Surfaces.
- Berdahl P.,Bretz S.E., (1997), "Preliminary survey of the solar reflectance of cool roofing materials", *Energy and Buildings*, 25, 149-158.
- Boriboonsomsin K.,Reza F., (2007), "Mix design and benefit evaluation of high solar reflectance concrete for pavements", *Transportation Research Board of the National Academies*, 11–20.
- Kültür, S. Türkeri, N.,(2012), "Assessment of longterm solar reflectance performance of roof coverings measured in laboratory and in field", *Building and Environment*, 48, 164-172.

- Levinson, R.,Akbari, H., Berdahl, P.,(2010), "Measuring solar reflectance—Part II: Review of practical methods", *Solar Energy*, 84, 1745–1759.
- Ma, Y.,Zhu, B., Wu, K., (2001), "Preparation and solar reflectance spectra of chameleon type building coatings", *Solar Energy*, 70 (5), 417–422.
- Shi Z, Zhang X., (2011), "Analyzing the effect of the long wave emissivity and solar reflectance of building envelopes on energy-saving in buildings in various climates", *Solar Energy*, 85:28-37.
- Sleiman, M.,Kirchstetter, T.W., Berdahl, P., Gilbert, H.E., Quelen, S., Marlot, L., Preblea, C.V., Chen, S., Montalbano, A., Rosseler, O., Akbari, H., Levinson, R., Destailats, H., (2011), "Soiling of building envelope surfaces and its effect on solar reflectance – Part II: Development of an accelerated aging method for roofing materials", *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 122, 271-281.
- U.S.Green Building Council, (2007), 5 September 2007, "www.usgbc.org".

Güneybatı Türkiye’de Serpantinleşmiş Ultrabazik Kayaçların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Physical and Mechanical Properties of Serpentinized Ultrabasic Rocks in Southwestern Turkey

Z. Kamacı

Süleyman Demirel Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Isparta

P. Özer

Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği A.B.D, Isparta

ÖZET Kaya mekaniğinde, kayaç özelliklerini belirlemek için kullanılan çeşitli yöntemler vardır. Amaç Eğirdir-Kızıldağ Harzburgitik Peridotitler gibi serpantinleşmiş ultrabazik kayaçlar üzerindeki fiziksel ve mekanik özellikleri araştırmak ve bu kayaçların pek çok alanda yani yol stabilize malzemesinin yanı sıra bazı mimarilerde temel taş malzemesi olarak kullanılmasıdır. Bu taşlar aynı zamanda farklı türde dekoratif amaçlı; masalarda, raflarda, süsleme gibi iç mimaride kullanılır. Ekonomik öneminden dolayı bu çalışmada aynı bölgeden alınmış 9 farklı serpantinleşmiş kayaç grubunun kuru ve suya doymun numuneleri üzerinde P ve S dalga hızları, poisson oranı, rijitlik modülü, elastise modülü, bulk modülü, doğal periyot, güvenli taşıma kapasitesi, yatak katsayısı gibi dinamik mühendislik parametrelerini belirlemek için yerinde arazide jeofiziksel ve jeoteknik çalışmalar yürütülmüştür. Jeofiziksel ve jeoteknik laboratuvar testleri söz konusu küp numuneler üzerinde tabakalanma yüzeylerine dik ve paralel olarak yapılmıştır: ultrasonik ses dalga hızı (UPV), tek eksenli basınç dayanımı (UCS), efektif porozite, kuru birim hacim ağırlık, yoğunluk, ağırlıkça ve hacimce su emme oranı değerlerini belirlemek için deneyler yapılmıştır. Sonuçta UCS ile birim hacim ağırlık, hacimce su emme, ağırlıkça su emme, porozite ve UPV ile birim hacim ağırlık, hacimce su emme, ağırlıkça su emme, porozite arasındaki ilişkiler değerlendirilerek regresyon analizi yardımıyla uyumlu istatistiksel ilişkiler kurulmuştur.

ABSTRACT In rock mechanics, various methods are available to detect the rock properties. The aim of this study is to determine physical and mechanical properties of the serpentinized ultrabasic rocks such as Eğirdir-Kızıldağ Harzburgitic Peridotites. The serpentinized ultrabasic rocks are commonly used for architecture and the ground under road bases in many areas and also widely used for indoor elements such as tables, pilasters and ornaments of different kinds. In this study, geophysical and geotechnical tests including P and S- wave velocities, rigidity modulus, Poisson ratio, elasticity modulus, bulk modulus, natural period, safe bearing capacity and bedding coefficient were performed on nine rock samples, collected from different areas. Geophysical and geotechnical studies were carried out both parallel and perpendicular to foliation planes of the cubic samples. Ultrasonic P-Wave Velocity (UPV), Uniaxial Compressive Strength (UCS), volumetric water contents, effective porosity, unit volume weight, density and weight of all samples were calculated. Finally, statistical relations among the measured parameters were established by using regression analysis.

1 GİRİŞ

Jeolojik açıdan kayaçlar; magmatik kayaçlar, metamorfik kayaçlar ve sedimanter kayaçlar olmak üzere üç sınıfa ayrılır. Ancak, mühendislik çalışmalarında kullanılan kaya sınıflamaları, jeolojik sınıflamadan oldukça farklılık göstermektedir. Çünkü mühendislik çalışmalarında kayaçların kökenlerinden başka, dayanıklılıkları ve duyarlılıkları önem kazanmaktadır. Bazik ve ultrabazik olarak sınıflandırılan kayaçların, doğal taş sektöründeki son yıllarda değeri önemli derecede artmıştır. Bu nedenle, talebi önemli boyutlara erişen magmatik kayaçların sektörel isminin yanı sıra, mineralojik ve petrografik olarak da bazı terimleri doğal taş sektöründe yer almıştır. Kayaçların petrografik, fiziksel ve mekanik özellikleri gibi farklı özelliklerin saptanması ve aralarında ilişki kurulması özellikle mühendislik ve iç- dış dekoratif çalışmalar ile ilgili fizibiliteleri önemli faydalar sağlamaktadır.

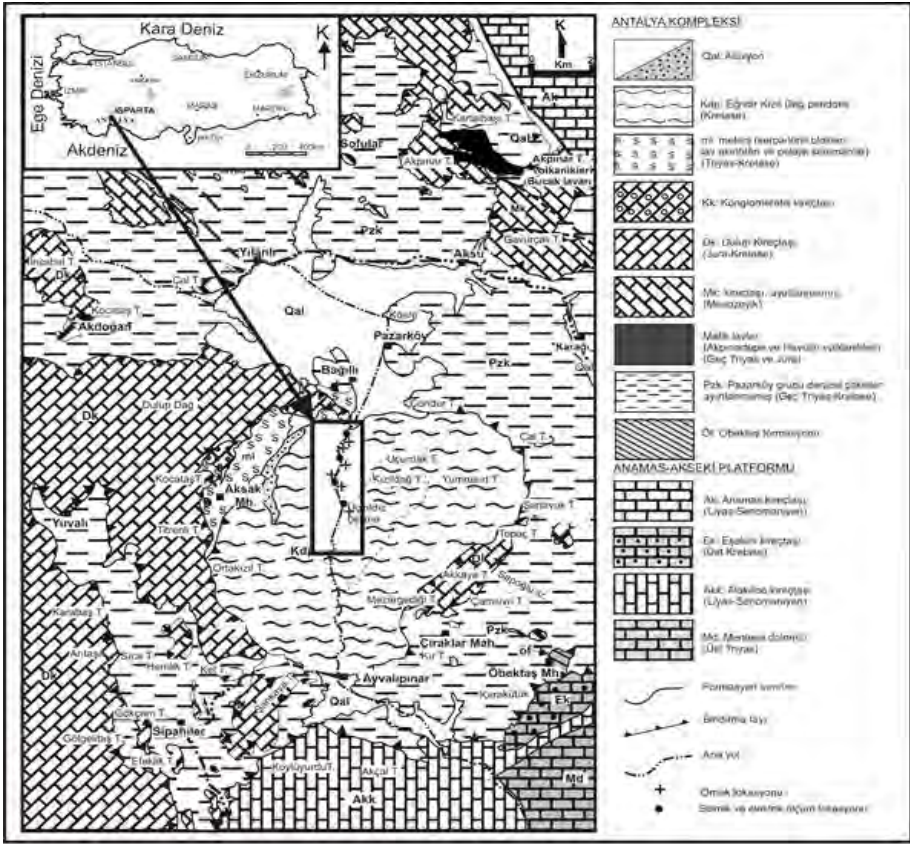
Serpantinleşmiş ultrabazik kayaçların mekanik özelliklerinin belirlenmesinde tek eksenli basınç dayanımı (Uniaxial Compressive Strength) mühendislik sınıflaması açısından önemlidir. UCS testi için ilgili ISRM(2007) ve ASTM D7012-10(2010) standartlarında açıklandığı gibi düzgün olarak kesilen küp kayaç örneklerine ihtiyaç duyulur. UCS testi ile kayaçların ve zeminlerin mekanik ve mühendislik özelliklerini belirlemek için (Morgan, 1969; Youash, 1970; Hamilton, 1978; Castagna ve diğ., 1985; Chau ve Wong, 1996; Schön, 1998; Kahraman, 2001; Yaşar ve Erdoğan, 2004; Vasconcelos ve diğ., 2007; Kahraman ve Yeken, 2008) gibi pek çok çalışma yapılmış olmasına rağmen bu çalışmaların sadece çok azı serpantinleşmiş ultrabazik kayaçlar üzerinde gerçekleştirilmiştir (Koumantakis, 1982; Paventi ve diğ., 1996; Coutier ve diğ., 2004; Kurtuluş ve diğ., 2012; Özer, 2015). Bu çalışmada Güneybatı Türkiye’de, Isparta-Pazarköy güneyinde yüzeyleyen, “Eğirdir Kızıldağ Harzburjit” olarak (Juteau, 1975) tarafından adlandırılan serpantinleşmiş ultrabazik kayaçların

mühendislik ve mekanik özellikleri jeolojik ve jeofiziksel yöntemlerle açıklanmıştır. Sismik kırılma, elektrik öz direnç ve mikrotromör gibi jeofizik çalışmalarına ek olarak, söz konusu sahada kaya bloklarından elde edilen küp numuneler üzerinde tabakalanmaya paralel ve tabakalanmaya dik şekilde tek eksenli basınç dayanımı (UCS), ultrasonik sismik hız (UPV), doymun ve kuru birim hacim ağırlık, hacimce ve ağırlıkça su emme, yoğunluk, porozite deneyleri yapılmıştır. Deneylerden elde edilen veriler basit bir regresyon yöntemi kullanılarak istatistiksel açıdan analiz edilmiş ve yorumlanmıştır.

2 ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ

Elitok (2012) çalışmasında Güneybatı Türkiye’de Antalya kompleksinin kuzey kanadındaki mafik – ultramafik kayaçların jeolojik, kimyasal ve jeodinamik etkilerini ayrıntılı bir şekilde incelemiştir (Şekil 1).

Çalışma alanında en yaşlı birimleri Anamas-Akseki Platformu olarak tanımlanan, esas olarak kireçtaşları ve dolomitlerden oluşan birimler oluşturur. Bunlar alttan üste doğru şu şekilde istifleme sunarlar. Söz konusu platformun en yaşlı birimini üst Maniyen-Resiyen yaşlı Mentese dolomitleri oluşturur. Mentese dolomitleri üste liyas-Üst Kretase yaşlı Alakilise kireçtaşlarına geçer. Bu kireçtaşlarının üstünde egemen litolojilerini mikritik kireçtaşı, yer yer şeyl ve kilttaşlarından oluşur. Üst Kretase Eşekini kireçtaşları yer alır (Bozcu ve Yağmurlu, 1997). Anamas-Akseki Platformu Kampaniyen-Maastrichtiyen yaşlı kireçtaşlarından oluşur ve Anamasdağ kireçtaşlarıyla son bulur (Şenel ve diğ., 1996). Bunlar üzerine Pazarköy Grubu adı altında toplanan farklı havza koşullarını yansıtan, birbirleriyle tektonik ilişkili olarak bir arada bulunan sedimanter kaya birimleri ve yine farklı tektonik ortamlarda gelişmiş volkanik kayaçlar (Akpınar Tepe volkanitleri, Havutlu volkanitleri), Kızıldağ peridotitleri, Dulup kireçtaşları, Öbektaş formasyonu tektonik olarak gelmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanının bulduru ve jeoloji haritası (Elitok, 2012'den değiştirilmiştir)

Kızıldağ Peridotitleri daha çok harzburjitik peridotitler, bunları kesen piroksenit ve izole diyabaz daykları ile harzburjitle içerisinde yer yer lens şekilli dunitlerden oluşmaktadır. Peridotitlerin genelde bozunma rengi kahve, sarımsı kahve, yeşilimsi kahve taze kırık yüzey rengi koyu yeşil, siyahımsı yeşil, sarımsı yeşil renk tonlarındadır (Şekil 2).

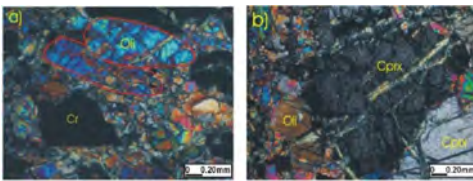
Bu harzburjitik peridotitlerde magmatik bantlaşma ve bu bantlaşmaya paralel dizilmiş piroksen mineralleri yada piroksence zengin ince seviyeler yer almaktadır (Elitok, 2012). Bu kayaçların mineralojik kompozisyonunda yer alan minerallerin azlık ve çoklukları da, kayaçların isimlendirilmesinde, bu kayaçların kesilip parlatılmasında, ticari değerinde, hatta blok veriminde çok önemli bir yer tutmaktadır. Deneylerde kullanılan kayaç örneklerinin mineralojik özelliklerine

bakıldığında; magmatik tabakalanmanın görüldüğü bir yerden alınan kayaçtan, tabakalanmaya dik ve paralel olacak şekilde iki yönde yapılan ince kesitlerin mineralojik ve petrografik özellikleri incelenmiştir (Şekil 3). Söz konusu kayacın esas minerallerini başlıca olivin ve klinopiroksenler oluştururlar. Tali mineral olarak kromit bulunur. Holokristalen (tüm kristalli) doku özelliği bulunan kayacın çoğunluğunu olivinler oluşturur. Özşekilsiz ve yarı özşekilli kristaller olarak bulunan olivinle, kenar ve dilinim düzlemleri boyunca ayrılarak serpantinleşmişlerdir. Bundan dolayı olivinler elek doku gösterirler. Kristaller orta-iri boyutlardadırlar. Klinopiroksen mineralleri enstatitle temsil edilirler. Bunlar genellikle iri kristaller şeklinde olup, bazen orta boyutlardadırlar. Olivinlerde olduğu gibi

bu durumlarda da serpantinleşme görülmüştür. Ayrıca polisentetik iksizlenmeleri bulunur. Tabakalanmaya dik olarak alınan kesitteki mineraller ile paralel alınan kesitteki mineraller arasında önemli farklılık minerallerin biçimlerinde oluşan farklılıktır. Tabakalanmaya dik olarak alınan kesitteki mineraller genel olarak yuvarlak ve elips şeklinde iken, paralel olarak alınan kesitlerdeki mineraller belli bir yönde uzamış olarak bulunurlar. Orta tane büyüklüğünde olan kromitler yarı özşekilli ve özşekilsiz olup, opak' tırlar. Şekil 3'de Oli: Olivin, Cprx: Klinopiroksen, Cr: Kromiti göstermektedir.



Şekil 2. Güneybatı Türkiye'de Serpantinleşmiş ultrabazik kayalardan görünüm (Isparta-Eğirdir-Pazarköy).



Şekil 3. Harzburjitin şekillenmiş minerallerinin kesit görünümü (Olivin, Klinopiroksen ve Kromit), a) tabakalanmaya paralel, b) tabakalanmaya dik.

3 MATERYAL VE METODLAR

Isparta-Eğirdir-Pazarköy güneyinde yapılan bu çalışma; arazi ve laboratuvar çalışmaları şeklinde iki aşamada yürütülmüştür.

3.1 Arazi Çalışmaları

Arazide jeofizik sismik kırılma, mikrotremör ve elektrik öz direnç çalışmaları beş farklı noktada yapılmıştır (Şekil 1).

Sismik kırılma verisi 12 kanallı WZG-48 Model sismograf kullanılarak kaydedilmiştir. Tabakalara ait olan P ve S sismik hızlar GeoSeis bilgisayar programı kullanılarak hesaplanmıştır. Kurtuluş (2000, 2002) ve Tezcan ve diğ., (2006) çalışmalarında buldukları deneysel bağıntılar kullanılarak söz konusu tabakaların elastik özellikleri, P ve S sismik hızlarından yararlanılarak elde edilmiştir. Hesaplanan P ve S ortalama hızları aşağıdaki bağıntılarda kullanılarak ilgili dinamik parametreler elde edilmiş ve Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Burada V_p ve V_s , P ve S sismik hızlar, ν Poisson Oranı, $\nu = 1 - 2(V_s/V_p)^2 / (2 - 2(V_s/V_p)^2)$; G rijidite modülü, $G = (DUW) \cdot V_s^2 / 100$; E elastisite modülü, $E = 2(1 + \nu)G$; k bulk modülü, $k = \{2(1 + \nu) / (1 - 2\nu)\}G$; q_s güvenli taşıma kapasitesi, $q_s = 0.024 (DUW) \cdot V_s$; K_s yatak katsayısı, $K_s = 40 \times (V_p/V_s) \times q_s \times 19.99$; DUW kuru birim ağırlık, $DUW = \{(0.002 \times V_p) + 16\} / 10$, T_0 doğal zemin periyodu.

Sismik ölçümlerin alındığı noktalarda zeminin doğal periyodu (T_0), CMG-6TD Broad-Band mikrotremör cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Her bir noktada yaklaşık 30 dakika ölçüm süresi ve 100 Hz örnekleme aralığı kullanılarak alınan ölçülere 25 saniyelik pencere ve % 5 katlanma uygulanarak elde edilen sonuçlardan ortalama olarak değer bulunmuştur.

Elektrik rezistivite verisi Schlumberger elektrot dizilimiyle Düşey Elektrik Sondajı (VES) tekniği ile elde edilmiştir (Şekil 1). Elektrod aralığı (AB) ortalama 60 metre seçilmiş, VES eğrileri IP2WIN bilgisayar iterasyon tekniği ile değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

Çizelge 1. İnceleme alanında sismik kırılma çalışmasından belirlenen serpantinleşmiş ultrabazik kayaçların ortalama dinamik P ve S dalga hızları ve mühendislik özellikleri

Sismik Profil	V_p [m/s]	V_s [m/s]	DUW [kN/m ³] $DUW = (0.002 * V_p) + 16$	ν $\nu = \frac{V_p^2 - 2 * V_s^2}{2 * (V_p^2 - V_s^2)}$	G [Gpa] $G = \frac{DUW * V_s^2}{100}$	E [Gpa] $E = 2 * (1 + \nu) * G$
1	4701	2582	25,40	0,28	16,93	42,34
2	4317	2213	24,63	0,32	12,06	31,83
3	4590	2489	25,18	0,29	15,59	40,22
4	5549	2828	27,10	0,32	21,67	57,21
Ortalama	346,38	185,89	0,70	0,02	2,63	6,68

Çizelge 1. devamı

Sismik Profil	K [kN/m ³] $k = \frac{2 * (1 + \nu)}{3 * (1 - 2 * \nu)} * G$	T_0 [s]	q_s [kPa] $q_s = 0.024 * DUW * V_s$	K_s [kN/m ³] $K_s = 40 * \frac{V_p}{V_s} * q_s * 19.99$
1	32,90E+08	0,09	1573,98	2291427
2	29,42E+08		1308,14	2040458
3	31,62E+08		1504,15	2217950
4	53,47E+08		1839,33	2885810
Ortalama	3,11	-	149,45	232914,7

Çizelge 2. Tabakalanmaya bağlı olarak tek eksenli basınç dayanımı (UCS), kuru ve doymuş birim ağırlık(DUW ve γ_s) su emme(Wn) ve efektif porozite(n), dalga hızları(P ve S) sonuçlarının özeti

Kayaç Örneği	Su Emme Wn [%]	Efektif porozite n [%]	Kuru Birim Ağırlık DUW [g/cm ³]	Doymuş Birim Ağırlık, γ_s [g/cm ³]	Toplam porozite Pt [%]	Tabakalanmaya Dik		Tabakalanmaya Paralel	
						V_p [m/s]	UCS [MPa]	V_p [m/s]	UCS [MPa]
A1	0,59	1,75	2,98	3,15	0,05	5564	69,99	6063	74,93
B1	0,43	1,30	3,04	3,15	0,04	5907	78,34	6433	84,41
B2	0,27	0,83	3,11	3,25	0,04	5913	76,03	7853	101,21
B3	0,45	1,36	3,06	3,18	0,04	5683	86,24	6605	95,56
C1	0,73	1,94	2,65	2,69	0,01	4416	52,64	5723	70,04
D1	0,29	0,88	3,05	3,19	0,04	5933	107,88	6852	78,61
E1	0,10	0,33	3,29	3,35	0,02	7429	105,30	8009	118,42
E2	0,12	0,40	3,27	3,41	0,04	7435	115,64	7923	121,05
G1	0,25	0,78	3,10	3,21	0,03	6473	109,52	7024	96,18
Ortalama	0,21	0,56	0,19	0,20	0,01	941	21,58	835	27,27

3.2 Laboratuvar Çalışmaları

ASTM C170/ C170M- 14a (2010) ve TS EN 1926 (2000) standartlarına göre 2x2x2 inç lik yani 51x51x51 mm'lik küp kayaç numuneler üzerinde ultrasonik hız (UPV) ve tek eksenli basınç dayanım (UCS) deneyleri gerçekleştirilmiştir.

3.2.1 Sismik hız deneyi (UPV)

Song ve diğ., (2004), Vasconcelos ve diğ., (2007) ve Kurtuluş ve diğ., (2012) yaptıkları çalışmalar sonucunda kayaçtaki tabakalanmaya paralelde sismik hız değerinin tabakalanmaya dik durumdakinden daima daha yüksek olduğunu ve bu durumun bir şekilde kayacın anizotropik özelliğinden kaynaklanabileceğini göstermişlerdir. Buradan hareketle, bu çalışmada kullanılan küp şeklindeki kayaç numunelerinin P -dalga hızları (V_p) ISRM (2007)'de belirtilen standartlara uygun olarak PUNDIT7-UPV E48 marka sismik hız cihazı ile tek tek ölçülmüştür. Deneyler öncelikle kuru örnekler üzerinde yapılmıştır. Aynı deneyler, numuneler suya doymun hale getirildikten sonra yapılmış ve doymun sismik hız değerleri bulunmuştur. İncelenen kayaç örneklerinin mekanik özellikleri de ISRM (2007) standardı dikkate alınarak belirlenmiştir.

3.3 Jeoteknik Çalışmalar

Dört farklı yerden alınan küp numuneler yüzeyleri parlatılarak düzeltilmiştir. Aynı bölgeden alınmış ve alındıkları yerlere göre numaralandırılmış toplamda 6 farklı grup (A1- B1- B2- B3- C1- D1- E1- E2- G1) olmak üzere 66 kayaç numunesi elde edilmiştir. Kayaç numunelerinin yoğunluğu, birim hacim ağırlığı, görünür porozitesi, kütlece ve hacimce su emme oranı, sismik hız gibi fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Yoğunluk deneyleri TS EN 1936 (2010) standardına göre her numune için 3'er kez yapılmış ve değerlendirilmelerde aritmetik ortalaması alınmıştır.

Kayaçların kuru birim hacim ağırlıkları TS EN 1936 (2010) standardında belirtilen standartlara göre hesaplanmıştır. Kayaç örneklerinin su emme kapasitesinin belirlenmesi için TS EN 13755 (2009) ve

TSE-TS 8615 (1990) standartlarına uygun olarak atmosfer basıncında hacimce ve ağırlıkça su emme deneyleri ile hesaplanmıştır. Görünür ve toplam porozite deneyleri TS EN 1936 (2010) standardına göre yapılmıştır.

3.3.1 Tek eksenli basınç dayanımının belirlenmesi (UCS)

200 ton yükleme kapasiteli hidrolik pres kullanılmıştır (Karpuz ve diğ., 1986). Deneydeki amaç hazırlanan küp numunelerin uygulanan yükler altındaki dayanım sınırının bulunmasıdır.

4 ARAŞTIRMA BULGULARI

Serpantinleşmiş ultrabazik kayaç örneklerinden veya numunelerinden elde edilen tüm fiziksel ve mekanik bulgular Çizelge 2'de verilmiştir. Bu bulgular arasında çeşitli ilişkileri ortaya koymak için en küçük kareler regresyon analiz yöntemi uygulanmıştır. Bu regresyon analizleri UCS ve V_p ile UCS ve W_n , UCS ve n , UCS ve DUW, UCS ve γ_s , W_n ve V_p , n ve V_p , DUW ve V_p ile γ_s ve V_p arasında tabakalanmaya dik ve tabakalanmaya paralel olmak üzere ilişkileri tanımlamak için yapılmış ve uyum dereceleri grafiklerle birlikte gösterilmiştir (Şekil 4-12).

UCS ve V_p 'ye göre kayaçların mühendislik özellikleri arasındaki tüm ilişkiler Çizelge 3'de bir arada verilmiştir. Buna göre en yüksek korelasyon katsayısı tabakalanmaya dik numunelerde DUW ve V_p arasında 0,95 olarak bulunmuştur. Tabakalanmaya paralel numunelerde ise W_n ve V_p ile n ve V_p aralarındaki korelasyon katsayısı 0,94 civarındadır. En düşük korelasyon katsayısı tabakalanmaya dik numunelerde DUW ve UCS arasında 0,80, γ_s ve UCS arasında ise 0,78 olarak bulunmuştur. Aynı şekilde tabakalanmaya dik ve paralel yöndeki UCS ve W_n , UCS ve n arasında azalan doğrusal bir iyi ilişki bulunmuştur (Şekil 4-5). Buna göre söz konusu kayaç örneklerinde W_n veya n değeri arttıkça UCS değeri azalmaktadır. Tabakalanmaya dik ve paralel yöndeki UCS ve DUW, UCS ve γ_s arasında artan doğrusal bir ilişki bulunmuştur

(Şekil 6-7). Kayaç örneklerinin DUW veya yoğunluğu (γ_s) arttıkça UCS değerleri de artmaktadır. Tabakalanmaya dik ve paralel yöndeki V_p ve W_n , V_p ve n arasında azalan doğrusal bir ilişki bulunmuştur (Şekil 8-9). Burada W_n ve n oranı arttıkça V_p sismik hız değeri azalmaktadır. n değeri efektif poroziteye eşit olduğundan porozite ile sismik hız arasında da doğrusal bir ilişki olduğu açıkça söylenebilir. Tabakalanmaya dik ve paralel yöndeki V_p ve DUW ile V_p ve yoğunluk (γ_s) arasında artan doğrusal bir ilişki elde edilmiştir (Şekil 10-11). Söz konusu kayaç örneğinin yoğunluk ve birim hacim ağırlığı (DUW) arttıkça sismik hız değeri de artmaktadır. Şekil 12'de gösterildiği gibi UCS ve V_p arasında artan doğrusal bir ilişki elde edilmiştir. Yani sismik hız arttıkça UCS değeri artmaktadır

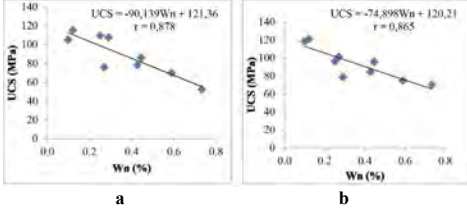
5 SONUÇLAR

Bu çalışmanın en önemli amacı serpantinleşmiş ultrabazik kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin yanında dinamik mühendislik değerlerinin belirlenmesidir. Bu amaçla sahada 9 farklı yerden kayaç örneği toplanıp sismik ve elektrik özdirenç çalışmaları dört farklı noktada yerinde yapılmıştır (Şekil 1). Aynı derinlikteki serpantinleşmiş ultrabazik 4. Ölçü noktası altındaki tabaka için P ve S sismik dalga hızları sırasıyla 5549 m/s ve 1400 m/s olarak bulunmuştur (Çizelge 1). Söz konusu kayaç üzerinde düşünülen derinlikte yaygın elektrik özdirenç değerleri 1200 Ω m ile 3400 Ω m arasında değişmektedir. Bu geniş rezistivite değer aralığı sahadaki serpantinleşmiş ultrabazik kayaçların doğal çatlağının veya gözenekliliğinin bir yansımaları göstermektedir.

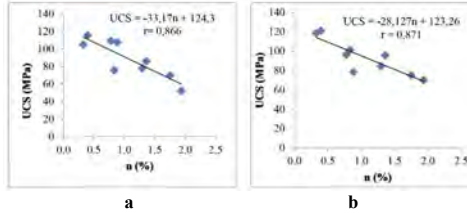
Sahada aynı derinlikteki tabakaya ait P sismik hız değerlerinin dağılımına bakıldığında 4600 m/s ile 4700 m/s arasında olduğu görülmektedir. Dolayısıyla sahadaki rezistivite ile sismik hız değerleri litolojik açıdan birbirleriyle uygunluk göstermektedir. Mikrotremör arazi sonuçlarına göre ortalama periyodun 0,1s olması, ortamın kompakt (sıkı) ve yüksek P dalga hızına sahip olduğunu gösterir. Yatay/düşey (H/V) kuvvet

oranının hesaplanan aralığının geniş olması ortam parametrelerinin yön bağımlı (anizotropik) olarak değişebileceğine işaret etmektedir. Arazide elde edilen V_p/V_s sismik hız oranlarını dikkate alarak ayırışma derecesini tanımlayan Iliev (1967)'in çizelgesine göre; 1. Sismik ölçüm noktası ile 3. sismik noktası altındaki kayaç "az ayırışmış kaya", 2. sismik ölçüm noktası altındaki kayaç "fazla ayırışmış kaya", 4. sismik noktası altındaki kayaç "ayırışmamış kaya" sınıfında olduğu görülmüştür. Ercan (2001) çizelgesine göre; zemin – kaya sıklığıyla ilgili sınıflandırma yapılacak olursa 1. sismik nokta, 3. sismik nokta ve 4. sismik noktası altındaki kayaç "çok gevşek", 2. sismik noktası altındaki kayaç ise "sıkı-katı" olmaktadır. Onodera (1963) çalışmasına göre kayaç kalitesi, 1. sismik nokta altındaki kayaç "orta", 2. sismik nokta ile 3. sismik noktası altındaki kayaç "iyi", 4. sismik nokta altındaki kayaç ise "çok iyi" durumdadır. Numune grupları üzerinde yapılan çalışma sonucunda yoğunluk değeri 2,69 g/cm³ ile 3,41 g/cm³ arasında değişmektedir. Dolayısıyla yoğunluk arttıkça buna bağlı olarak hacimce (n) ve ağırlıkça su emme (W_n) kapasitesi ve boşluk oranı azalmaktadır. Kayacın porozite değerleri 0,01 ile 0,05 arasında değişmektedir. Bu durumda % poroziteye göre sınıflandırma yapıldığı zaman Tarhan (1989)'a göre söz konusu kayaç "çok kompakt" kaya sınıfında yer aldığı açıktır. Tek eksenli basınç direncine göre sınıflandırılma yapıldığında Deere ve Miller (1966)'da ortaya koydukları çizelgeye göre, tabakalanmaya dik olan gruplardan A1,B1,B2,B3,C1 ve tabakalanmaya paralel olan gruplardan A1,B1,B2,B3,C1,D1,G1 kayaç numunelerinin "orta dirençli kaya" sınıfında yer aldığı görülmüştür. Tabakalanmaya dik gruplardan D1,E1,E2,G1 ve tabakalanmaya paralel olan gruplardan E1,E2 kayaç numunelerinin "yüksek dirençli kaya" sınıfında yer aldığı görülmüştür. Basınç dayanım değerlerinin (UCS) tabakalanmaya dik olan gruplarda 52,64 MPa ile 115,64 MPa ve tabakalanmaya paralel kayaç gruplarında ise 70,04 MPa ile 121,05 MPa arasında değiştiği görülmüştür.

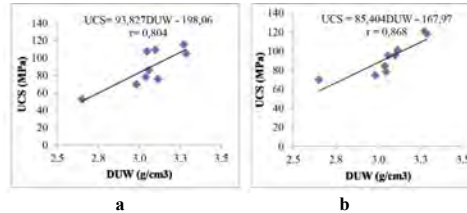
Bu çalışma serpantinleşmiş ultrabazik kayaların jeomekanik özelliklerine dayanan verilere dayanılarak, dekoratif taşlar, iç-dış dekorasyon ve inşaat sektörü olarak kolaylıkla kullanılabileceğini açıkça ortaya koymuştur.



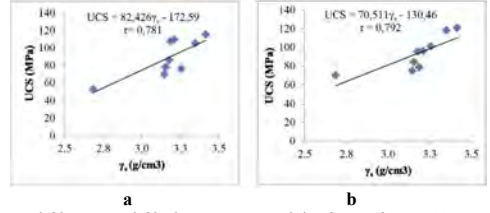
Şekil 4. Kübik kayaç örneklerine ait su emme (Wn)ye karşı UCS değişim grafiği: a) tabakalanmaya dik, b) tabakalanmaya paralel.



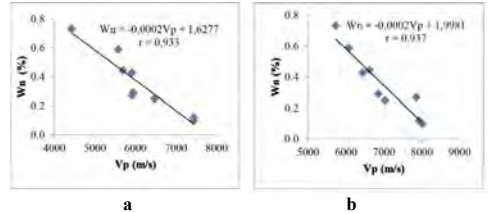
Şekil 5. Kübik kayaç örneklerine ait UCS ye karşı efektif porozite (n) değişim grafiği: a) tabakalanmaya dik, b) tabakalanmaya paralel.



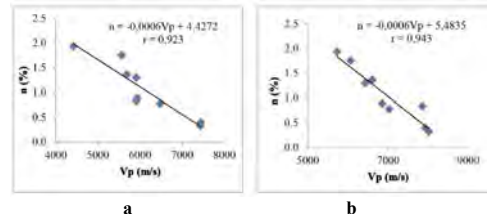
Şekil 6. Kübik kayaç örneklerine ait UCS ye karşı kuru birim ağırlık (DUW) değişim grafiği: a) tabakalanmaya dik, b) tabakalanmaya paralel.



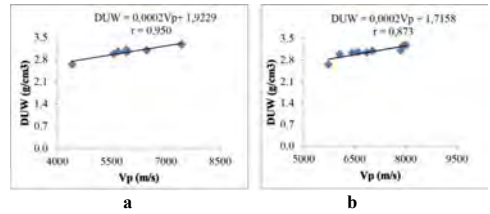
Şekil 7. Kübik kayaç örneklerine ait UCS ye karşı doymuş birim ağırlık (γs) değişim grafiği: a) tabakalanmaya dik, b) tabakalanmaya paralel.



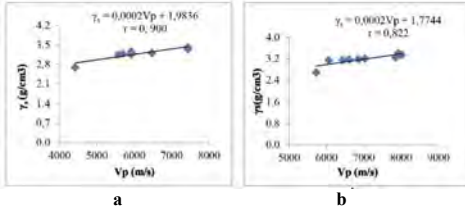
Şekil 8. Kübik kayaç örneklerine ait su emme (Wn)ye karşı Vp değişim grafiği: a) tabakalanmaya dik, b) tabakalanmaya paralel.



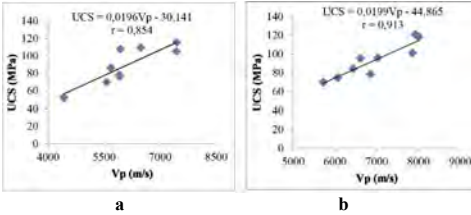
Şekil 9. Kübik kayaç örneklerine ait efektif porozite (n)ye karşı Vp değişim grafiği: a) tabakalanmaya dik, b) tabakalanmaya paralel.



Şekil 10. Kübik kayaç örneklerine ait kuru birim ağırlığa (DUW) karşı Vp değişim grafiği: a) tabakalanmaya dik, b) tabakalanmaya paralel.



Şekil 11. Kübik kayaç örneklerine ait doymuş birim ağırlığa (γ_s) karşı V_p değişim grafiği: a) tabakalanmaya dik, b) tabakalanmaya paralel.



Şekil 12. Kübik kayaç örneklerine ait UCS ye karşı V_p değişim grafiği: a) tabakalanmaya dik, b) tabakalanmaya paralel.

Çizelge 3. Laboratuvar çalışmaları ile elde edilen deneysel ilişkiler ve mühendislik özellikler

Deneysel İlişkiler	Tabakalanma Yönü	r
$UCS = -90,139W_n + 121,36$	dik	0,87
$UCS = -74,898W_n + 120,21$	paralel	0,86
$UCS = -33,170n + 124,30$	dik	0,86
$UCS = -28,127n + 123,26$	paralel	0,87
$UCS = 93,827DUW - 198,06$	dik	0,80
$UCS = 85,404DUW - 167,97$	paralel	0,86
$UCS = 82,426 \gamma_s - 172,59$	dik	0,78
$UCS = 70,511 \gamma_s - 130,46$	paralel	0,79
$W_n = -0,0002V_p + 1,6277$	dik	0,93
$W_n = -0,0002V_p + 1,9981$	paralel	0,93
$n = -0,0006V_p + 4,4272$	dik	0,92
$n = -0,0006V_p + 5,4835$	paralel	0,94
$DUW = 0,0002V_p + 1,9229$	dik	0,95
$DUW = 0,0002V_p + 1,7158$	paralel	0,87
$\gamma_s = 0,0002V_p + 1,9836$	dik	0,90
$\gamma_s = 0,0002V_p + 1,7744$	paralel	0,82
$UCS = 0,0196V_p - 30,141$	dik	0,85
$UCS = 0,0199V_p - 44,865$	paralel	0,91

Teşekkür

3661-YL1-13 nolu Yüksek Lisans projesini destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine teşekkür ederiz. Ayrıca laboratuvar çalışmaları sırasında desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Raşit Altındağ ve Arş. Gör. Deniz Akbay'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- ASTM C170/ C170M-14a.(2014), Standard Test Method for Compressive Strength of Dimension Stone, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.
- ASTM D7012-10. (2010) Standard Test Method for Compressive Strength and Elastic Moduli of Intact Rock Core specimens under varying States of Stress and Temperatures. ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.
- Aumento F, Loubat H (1971) The Mid-Atlantic Ridge Near 45 °N. XVI. Serpentinized Ultramafic Intrusions, *Canadian Journal of Earth Sciences*, **8(6)**, 631-663.
- Bozcu A, Yağmurlu F (1997) Eğirdir (Isparta) güneyinde yer alan Mesozoyik yaşlı birimlerin petrol jeolojisi yönünden incelenmesi, *Geosound* **30**, 1-9 (in Turkish).
- Castagna JP, Batzle ML, Eastwood RL (1985) Relationships between compressional-wave and shear wave velocities in clastic silicate rocks, *Geophysics* **50**, 571-581.
- Chau KT, Wong RHC (1996) Uniaxial compressive strength and point load strength of rocks, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.* **33 (2)**, 183-188.
- Courtier AM, Hart D, Christensen NI (2004) Seismic properties of leg 195 serpentinites and their geophysical implications, *In: Proc. ODP. Sci. Results*, **195**
- Deere DU, Miller RP (1966) Engineering Classification and Index Properties of Rock. Air Force Weapons Laboratory, *Tech. Rap.* AFNL - TR- 65-116; New Mexico.
- Elitok Ö (2012) Geology, geochemistry and geodynamic implications of the mafic-ultramafic rocks from the northern part of the Antalya Complex, SW Turkey. *Tectonophysics* **568**, 335-356.
- Ercan A (2001) *Yer Araştırma Yöntemleri; Bilgiler Kurulları*. TMMOB Jeofizik Müh. Odası Yayını, Ankara.
- Hamilton L (1978) Sound velocity density relations in sea floor sediment. *J Acoustic Socam.* **63**, 366-377.
- Iliev IG (1967) An attempt to estimate the degree of weathering of intrusive rocks from their physico-

- mechanical properties. **In: Proceedings of the 1st Congress of the International Society of Rock Mechanics Issue 3, Lisbon, 109-114.**
- ISRM (2007) The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974-2006 (Ulusay,R. and Hudson, J.A., Editors), Kozan Ofset Matbaacılık, Ankara.
- Juteau T (1975) Les ophiolites des nappes d' Antalya (Taurides occidentales, Turquie) These so Terre, Mem.No:32, 602P, Nancy.
- Kahraman S, Yeken T (2008) Determination of physical properties of carbonate tocks from P-wave velocity. *Bull. Engineering Geol. Environ.* **67**, 227-281.
- Kahraman S (2001) Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial compressive strength of rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* **38**, 981-994.
- Karpuz C, Özenoğlu A, Tutluoğlu L, Ünal E (1986) *Rock Mechanical Principles*. METU Department of Mining Engineering No: 6-7, 50-56, Ankara.
- Koumantakis J (1982) Compertement des peridotites et serpentinites de la Grece en travaux public. Leur propretes physiques et mechaniques. *Bull. IAEG* **25**, 53-60.
- Kurtuluş C (2000) Sismik yöntemlerle belirlenen ampirik taşıma gücü bağıntısı ve uygulaması, *Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi Kocaeli Üniversitesi*. **1** (6), 51-59.
- Kurtuluş C (2002) *Sismik Arama, Teori ve Uygulama*. Kocaeli Üniversitesi Yayınları. Kocaeli.
- Kurtuluş C, Bozkurt A, Endes H (2012) Physical and mechanical properties of serpantinized ultrabasic rocks in NW Turkey. *Pure and Applied Geophysics* **169**, 1205-1215.
- Morgan NA (1969) Physical properties of marine sediments asrelated to seismic velocities, *Geophysics* **3** (4), 529-545.
- Onodera, S. (1963) Numerical analysis of relative resistivity for a horizntally layered earth. *Geophysics*. **28** (2), 222- 231.
- Özer, P (2015) Güneybatı Türkiye'de Serpantinleşmiş Ultrabazik Kayaçların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri.SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, sayfa:76, Isparta
- Paventi M, Scoble, M, Stead D (1996) Characteristics of a complex serpentinised ultramafic rock mass at the Birchtree Mine. Manitoba. In: Mitri. H. Aubertin (Ed.) *North American Rock Mechanics Symposium*. Rotherdam 339-346.
- Schön JH (1998) *Physical properties of rocks: Fundamentals and principles of petrophysics*, Pergamon Press . 582p, London.
- Şenel M et al. (1996) Isparta bölümünü doğusunda, otokton ve allohton birimlerin stratigrafisi (Bati Toroslar), *Bulletin of the Mineral Research and Exploration* **118**.
- Song I, Suh, M, Yong-Kyun W, Hao T (2004) Determination of the elastic modulus set of foliated rocks from ultrasonic velocity measurements, *Engineering Geology* **72**, 293-308.
- Tarhan F (1989) *Mühendislik Jeolojisi Prensipleri*, KTÜ Yayınları, Trabzon.
- Tezcan SS, Keçeli A, Özdemir Z (2006) Allowable bearing capacity of shallow foundations based on shear wave velocity, *Geotechnical and Geological Engineering* **24**, 203-218.
- TS EN 13755 (2009) Natural stone test methods - Determination of water absorption at atmospheric pressure.
- TS EN 1926 (2000) Natural stone test methods- Determination of compressive strength. TSE, Ankara.
- TS EN 1936 (2010) Natural stone test methods- Determination o f real density and apparent density and of total and open porosity. TSE, Ankara.
- TSE - TS 8615 (1990) Determination of Water Content, Density and Porosity of Rocks.
- Vasconcelos G, Lourec OPB, Alves CSA, Pamplona J (2007) Prediction of the mechanical properties of granites by ultrasonic pulse velocity and Schmidt hammer hardness. *North American Masonry Conference*. June 3-6, St Louis, Missouri, USA 980-991.
- Yaşar E, Erdoğan Y (2004) Correlation sound velocity with the density, compressive strength and Young's modulus of carbonate rocks. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* **41**, 871-875.
- Youash Y (1970) Dynamic Physical Properties of Rocks: Part 2. Experimental result. *Proceeding of the and Congress of the International Society for Rock Mechanic*, Beograd. **1**, 185-195.

Doğal Taşların Tuz Kristallenmesine Karşı Direncinin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri ile İlişkisinin İncelenmesi

Investigation of the Relationship between Physico-Mechanical Properties and Resistant to Salt Crystallization of Natural Stones

D. Akbay, N. Şengün, R. Altındağ, S. Demirdağ

Süleyman Demirel Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta

ÖZET Bu çalışmada Türkiye'nin farklı bölgelerinden temin edilen ve yapı taşı olarak kullanılan farklı fiziksel, mekanik ve dokusal özelliklere sahip 8 farklı kayacın ısı etkisi ile tuz kristallenmesine karşı göstermiş oldukları dirençler incelenmiştir. Çalışmada kullanılan 8 farklı kayacın, tuz (Na_2SO_4) kristallenmesi sonucu fiziksel ve mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimler belirlenmeye çalışılmıştır. Tuz kristallenmesi çevrim sayılarının ilerlemesi ile kayaçların ağırlıklarında, *P*-dalga hızlarında ve tek eksenli basınç dayanımı değerlerinde azalma gözlenmiştir. Tuz kristallenmesi sonucunda kayaçlarda meydana gelen bozunmalar makroskobik ölçekte incelenmiş ve elde edilen verilere göre makro boyutta yeni çatlakların oluştuğu, kabuklaşmaların ve bozunmanın meydana geldiği görülmüştür.

ABSTRACT In this study, the resistance against the salt crystallization by thermal effect were investigated of 8 different rocks used as building blocks with different physical, mechanical and textural properties which were taken from different regions of Turkey. Changes in the physical and mechanical properties were determined of the salt (Na_2SO_4) crystallization of 8 different rocks used in the study. Weight loss values, *P*-wave velocities and uniaxial compressive strength values decreased with an increase salt crystallization cycles. As a result of the salt crystallization, the degradations occurring in the rocks were investigated on the macroscopic scale and it was seen that new cracks occurred in macro size, crusting and decay occurred according to the obtained data.

1 GİRİŞ

Günümüzdeki teknolojik ve bilimsel gelişmelere paralel olarak insanoğlunun ihtiyaçları, yaşam standartları ve zevkleri değişmiştir. Bu değişimler neticesinde dünyada ve ülkemizde özellikle büyük şehirlerdeki büyük inşaat projelerinde, iç ve dış mimaride, restorasyon ve konservasyon çalışmalarında doğal taşlar yaygın olarak kullanılmaktadır.

Doğal taşın olumsuz hava koşullarına dayanıklı olması, taşıyıcı gücünün fazla olması ve doğada bol miktarda bulunması, yüzyıllar boyunca mimarinin ana yapı malzemesi olarak kullanılmasına sebep

olmuştur. Zarafeti, dayanımı ve potansiyel zenginliği ile asırlardan beri insanoğlunun vazgeçilmez sanat kollarından birini ve yapı elemanlarını oluşturan doğal taşları bütün medeniyetler günümüze kadar kullanmışlardır.

Doğal taşların kullanım yerlerinin saptanabilmesi ve kullanılacak mekânda doğru taşın uygulanabilmesi için jeolojik özelliklerinin (renk, doku, sertlik, homojenlik, mineralojik bileşim, çökeltme şekli, kristallenme derecesi), kimyasal özelliklerinin (kimyasal bileşimi, kimyasal maddelerin etkisi, suyun etkisi), fiziksel özelliklerinin (birim hacim ağırlık, özgül

ağırlık, porozite, geçirgenlik, su emme yeteneği), mekanik özelliklerinin (basınç dayanımı, aşınma dayanımı, çekme dayanımı, eğilme dayanımı), teknolojik (işlenebilirlik özelliği, rezervi, nakliye olanakları), ekonomik özelliklerinin (üretim maliyeti, pazarlanabilirliği) çok iyi belirlenmiş olması gerekmektedir.

En eski yapı malzemelerinden biri olarak doğal yapı taşlarının en genel özelliği dayanıklılıkları olarak bilinmektedir. Ancak doğal taşların farklı kullanım alanlarına ve yerlerine bağlı olarak, doğrudan veya dolaylı çevresel etkenler sonucunda bozunmaya maruz kaldıkları bilinmektedir. Çevresel etkenlere bağlı olarak bozunma mekanizması, genel olarak fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozunma olmak üzere üç ana başlık altında toplanabilmektedir. Farklı şekillerde oluşan kayalarındaki bozunmayı önlemek için öncelikle bozunmaya neden olan faktörlerin tam olarak belirlenmesi gerekmektedir. Günümüzde bozunmaya neden olan faktörleri belirlemeye yönelik çalışmaların giderek arttığı ve bozunmaya neden olan deprem, yangın, sel, rüzgâr, donma-çözülme, sıcaklık dalgalanmaları, kimyasal malzemeler, kirlilik, tuz kristallenmesi ve biyolojik bozunma ile ilgili pek çalışmaya rastlamak mümkündür (Öcal ve Dal, 2012; Topal ve Doyuran, 1998; Tuğrul ve Zarif, 1999; Goudie, 1999; Navarro ve Doehne, 1999; Benavente vd., 2004; Zedef vd., 2005; Sousa vd., 2005; Van vd. 2007; Yavuz ve Topal, 2007; Backstrom vd. 2008; Angeli vd. 2010; Yu ve Oguchi, 2010; Akın ve Özsan, 2011). Araştırmacılar yaptıkları çalışmalarda fiziksel ve kimyasal bozuşma (alterasyon) mekanizmalarının en önemli iki ögesinin su ve tuz olduğunu, kayaların gözeneklerindeki çözünebilen tuzların oluşturduğu kristallenme basınçlarının bir sonucu olarak kayalarındaki bozunmanın en önemli faktörlerinden birisi olduğunu ifade etmişlerdir. Yaptıkları deneyler sonucunda yüksek oranda mikro boşluklara sahip kayaların, yüksek oranlarda geniş boşluklara sahip kayalara göre tuz aşındırmalarına karşı daha hassas olduğunu belirlemişler, kılcallık etkisinin daha fazla olduğu kayalarda da tuz bozunmasının daha etkili olduğunu söyleyerek, kayadaki kılcal

emilmenin ve su hareketinin bozunmanın etkisinin ortaya konmasında anahtar unsurlar olduğunu vurgulamışlardır.

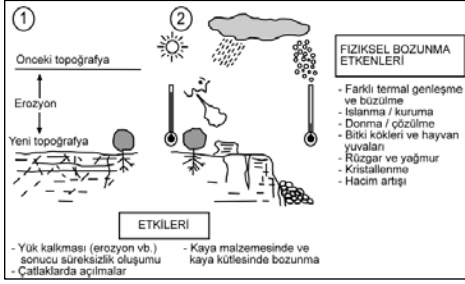
2 DOĞAL TAŞLARDA GÖRÜNEN BOZUNMALAR

Bozunma, jeolojik dönemlerde belirli sıcaklık ve basınç koşulları altında oluşan kayaların yüzeyde ve yüzeye yakın kesimlerde yeni ortam koşullarına uyum sağlayabilmek için gösterdikleri değişim olarak tanımlanmaktadır (Reiche, 1950). Bozunma sonucunda kayaların bünyesindeki minerallerin kimyasal bileşimi değişmekte, ikincil mineraller oluşmakta, gözeneklilik ve boşluk oranının artmasına paralel olarak dayanımları azalmaktadır. Price (1996) bozunmayı, kaya kütlelerinin doğal ve yapay nedenlerden dolayı, yüzeye çıktıkları zaman gösterdikleri ve geri dönüşümü olmayan tepkimeler şeklinde tanımlamıştır.

Bozunma fiziksel, kimyasal ve biyolojik olmak üzere üç ana sınıfa ayrılmaktadır.

2.1 Fiziksel Bozunma

Kayanın kimyasal ve mineralojik bileşiminde çok az bir değişiklikle veya herhangi bir değişiklik olmaksızın parçalanıp ufalanması fiziksel bozunma olarak tanımlanır. Fiziksel bozunmayı oluşturan iç ve dış etkenler arasında, erozyon gibi nedenlerden dolayı oluşan gerilme azalması; meteorolojik faktörlerin bir sonucu olan donma-çözülme, ıslanma-kuruma; kimyasal tepkimeler sonucu oluşan tuz kristallenmesi ve son olarak bitki kökleri sayılabilir. Bu unsurların etkisiyle kaya kütlelerinde mevcut süreksizliklerin açılması, yeni süreksizlik oluşumları ve kütleli gevşeme gibi tepkiler meydana gelir. Bütün bunların sonucunda da fiziksel parçalanma ve ufalanma süreci gözlenir (Akın, 2008) (Şekil 1).



Şekil 1. Fiziksel bozunma süreçleri (ANON, 1995).

2.1.1 Tuz kristallenmesi

Tuz kristallenmesi potansiyel olarak kayalara en fazla zarar veren faktördür. Çözünbilir tuzlar doğal taşlarda parçalanmalara, yüzeyinde dökülmelere neden olmaktadır. Doğal taşlar, bünyelerinde genel olarak suda çözünebilir tuzlar ihtiva ederler. Çözünür tuzlar, duvarın malzemesinden (kum, tuğla, harç), topraktan veya havadaki asit gazlarının duvar yüzeyleriyle temasından kaynaklanabilir. Bozunma teorisi, çözünür tuzların en az iki yoldan taşlar ve boşluklu yapı malzemeleri üzerinde zarara neden olduklarını gösterir (Öcal ve Dal, 2012).

Çözünür tuzlar ozmos yoluyla su çekerek taş duvarın kritik su içeriğini yükselterek kurummasını geciktirirler. Suyun buharlaşması sonucunda tuzlar, kristalleşerek duvar yüzeyinde leke, yama veya bant şeklinde hoş olmayan izler meydana getirerek, çiçeklenme ve yüzey bozunmalarına neden olurlar (Torraca, 1982).

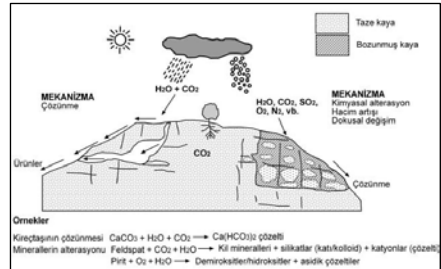
Kireçtaşının kullanılmış olduğu yapılarda gözlenen aşınmanın başlıca nedenlerinden biri tuz kristallenmesidir. Tuz kristallenmesi (haloclasty), tuzlu çözeltilerin doğal taşta bulunan süreksizliklere, kırık ve çatlaklara nüfuz etmesi, ardından buharlaşarak tuz kristalleri bırakması ile oluşur. Doğal taş her zaman belli bir oranda su içerdiği ve suda çözünen tuzlarla yüklü olduğundan, bu tuzlar nemli ortamda erir ve kuru ortamda kristallenirler (hacimce büyüme meydana gelir). Bunun yanında, taşın alt kısmındaki sular kapiler etkiyle üst bölümlere yükselirken su ile beraber erimiş tuzlar da

taşın üst yüzüne taşınır. Sıcaklığın artmasıyla artan buharlaşma nedeniyle, suyun taş yüzeyinden buharlaşması ile erimiş tuzlar orada birikir ve sert kabuklar oluşur. Özellikle porozitesi yüksek taşlarda suyun yükselmesinden dolayı alt kısımlar kururken üst kısımlar nemli kalmakta, gözeneklerdeki suyun basınç yaratması dolayısıyla farklı dirençli kısımlar oluşmaktadır. Ayrıca taşın nemli kısımlarına yapışan tozlar kirlenmelere sebep olmaktadır.

Gece nemli geçerse, suyunu yitirmiş olan tuz billurları yeniden su alır ve hacmi genişler. Gözenekler ve kılcal çatlaklarda tuzlar kristallenirken oluşan basınçla taş üzerindeki gerilimi artırarak taşta kabuklaşma, tozlaşma, oyuk şeklinde bozunmalara yol açabilir. Bu bir döngü şeklinde devam ederek, tuzu yüzeye doğru taşıyarak orada beyaz çiçeklenmeler, taşı parçalayan ve kıran çözümler oluşturur.

2.2 Kimyasal Bozunma

Yüzeyde ve yüzeye yakın kesimlerde kaya oluşturan minerallerin kimyasal süreçler sonucunda ikincil minerallere dönüşmesi neticesinde oluşan bozunmadır. Minerallerin ve kaya malzemesinin kimyasal bozunması sonucunda bozunma ürününde hacimsel bir genişleme söz konusudur (Ollier, 1984). Kimyasal bozunma sonucu gelişen en önemli yıkıcı kuvvet, özellikle sülfat ve karbonat gibi bazı tuzların sıcaklık ve nemlilik değerlerindeki değişime bağlı olarak geçirdikleri hidrasyon ve hidrasyon süreçlerinde oluşan hidrasyon basınçlarıdır (Winkler ve Wilhelm, 1970) (Şekil 2).

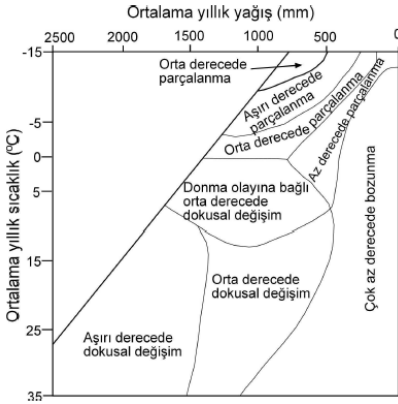


Şekil 2. Kimyasal bozunma süreçleri (ANON, 1995).

2.3 Biyolojik Bozunma

Kaya ve minerallerin bozunması, fiziksel ve kimyasal faktörlerin yanı sıra bitkiler, hayvanlar ve bakterilerin etkisiyle de gerçekleşebilmektedir. Yapılan çalışmalarda, bakterilerin etkisiyle kayalarda meydana gelen biyolojik bozunmanın sanılandan daha etkili olduğu belirlenmiştir (Ollier, 1984). Öte yandan organik malzemeler, çeşitli faktörlerin yardımıyla (sızıntı suyu, hayvansal faaliyetler vb.) derinlere taşınarak bozunmayı hızlandırmaktadır. Toprak içerisinde yaşayan hayvanlar da biyolojik bozunma sürecinde önemli bir yer tutmaktadır.

Doğal taşlarda meydana gelen bozunma, jeolojik süreç içerisinde kayalarda meydana gelen bozunma ile oldukça benzerlik göstermektedir. Doğal taşlardaki bozunmada, taşın bulunduğu çevrenin iklimsel özellikleri birinci derecede rol oynamaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. İklimsel faktörler ve yapı taşlarındaki bozunma ilişkisi (Fookes vd., 1971).

Sözmen (2000) tarafından da ifade edildiği gibi, Winkler (1997) bozunma tipinin, kayanın fiziksel ve kimyasal yapısı ile dış ve iç etkilerin cinsine bağlı olduğunu açıklamıştır. Doğal taşlardaki bozunma sonucunda, taşın görünümü, dayanımı, bütünlüğü, boyutları ve kimyasal davranışı değişmektedir. Doğal taşlarda bozunmaya neden olan fiziksel faktörlerin başında çözünebilen tuzlar gelmektedir.

3 MATERYAL VE METOT

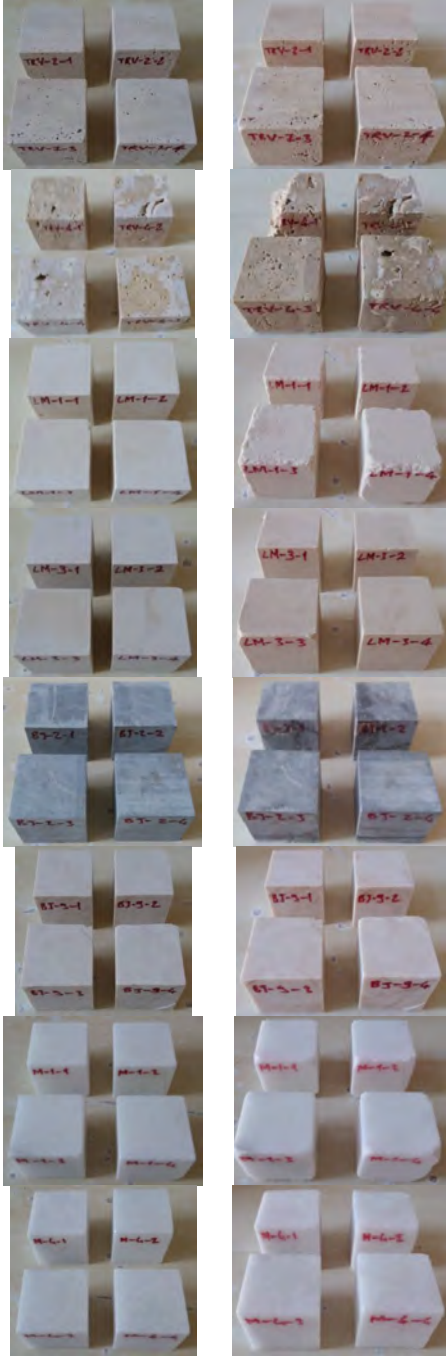
Bu çalışmada, Türkiye'nin farklı yerlerinden temin edilen 8 farklı doğal taş kullanılmıştır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan doğal taşlar.

Num. Kodu	Bölge	Jeolojik Köken
TRV-1	Denizli	Sedimanter
TRV-2	Denizli	Sedimanter
LM-1	Antalya	Sedimanter
LM-2	Antalya	Sedimanter
BJ-1	Isparta	Sedimanter
BJ-2	Burdur	Sedimanter
MR-1	Muğla	Metamorfik
MR-2	Balıkesir	Metamorfik

Temin edilen doğal taşlar Süleyman Demirel Üniversitesi Kazı Mekanığı ve Doğal Taşlar Teknolojisi Laboratuvarına getirilerek önce ilgili standartlar çerçevesinde fiziksel ve mekanik özellikleri belirlendikten sonra tuz kristallenmesine karşı direncin belirlenmesi amacıyla her bir kayaktan 4'er adet olmak üzere 50×50×50 mm boyutlarında prizmatik numuneler hazırlanmıştır.

Numuneler hazırlandıktan sonra orijinal haldeki fotoğrafları çekilmiştir. TS EN 12370'de belirtilen esaslara uygun şekilde tuz kristallenmesine direncin tayini deneyi 20 çevrim uygulanmıştır. Numunelerin, çevrimler başlamadan önce orijinal haldeki kuru ağırlıkları ve P-dalga hızları ölçülmüştür. Her 5 çevrimde numunelerin kuru ağırlıkları ve sismik hızları tekrar ölçülerek bu değerlerdeki değişimler takip edilmiş, fotoğrafları da çekilerek yüzeylerindeki makro boyuttaki değişimler görüntülenmiştir (Şekil 4). Böylelikle her kayacın makro ve mikro boyuttaki değişimleri belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada kullanılan kayaların dayanım değişimlerinin belirlenmesi amacıyla da çevrimler öncesi ve 20 çevrimin sonunda tek eksenli basınç dayanım deneyleri belirlenmiştir.



Şekil 4. Numunelerin orijinal (solda) ve 20 çevrim sonundaki (sağda) görüntüleri.

3.1 Fiziksel ve Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi

Çalışmada kullanılan doğal taşların fiziksel ve mekanik özellikleri, Süleyman Demirel Üniversitesi Doğal Taşlar Teknolojisi ve Kazı Mekanığı Laboratuvarında belirlenmiştir. Numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi için gerekli deneyler ilgili standartlar çerçevesinde yapılmıştır.

Gerçek yoğunluk, görünür yoğunluk, toplam ve görünür porozite tayini TS EN 1936'ya, atmosfer basıncında su emme tayini TS EN 13755'e, tek eksenli basınç dayanımı tayini TS EN 1926'ya, ses hızı ilerlemesinin tayini TS EN 14579'a göre yapılmıştır. Numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

3.2 Tuz Kristallenmesine Direncin Tayini

Çalışma kapsamında, TS EN 12370 standardı çerçevesinde tuz kristallenmesine karşı direncin tayini amacıyla kenar uzunlukları 50 mm olan küp numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler 24 saat 105°C sıcaklığındaki etüvde sabit kütleye gelinceye kadar kurutulmuştur. Daha sonra desikatöre alınıp soğumaları beklenmiştir. Soğuyan numunelerin tartımları alındıktan sonra hazırlanmış olan %14'lük sodyum sülfat dekahidrat ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) çözeltisi içine konularak 2 saat bekletilmiştir. 2 saatin sonunda etüve konularak kademeli olarak 105°C'ye ısıtılmış ve 20 saat etüvde bırakılmıştır. Sonra 2 saat oda sıcaklığında soğutulmuş ve 1 çevrim tamamlanmıştır. Çevrimler, numunelerin çözelti içine konmasıyla başlar, etüvde geçen süre ve oda sıcaklığında 2 saat bekleyerek soğumasıyla tamamlanmaktadır. Çevrimler sonunda numuneler 24 saat süreyle saf su içerisinde bekletilip suyla yıkanarak tekrar etüvde 24 saat süreyle kurumaya bırakılmıştır. Bu şekilde tuz çözeltisi numunelerden uzaklaştırılıncaya kadar devam edilerek son kurutma işleminden sonra tekrar kuru ağırlıklar alınmıştır. Sonuçlar, başlangıçtaki kuru ağırlığın yüzdesi olarak bağıl ağırlık farkı (ağırlık azalması) olarak ifade edilmiştir. P-dalga hız değişimlerinin belirlenmesinde

yine aynı hesaplama yöntemi kullanılmıştır. Çalışma kapsamında tuz kristallenme direncinin değişimini izlemek adına her 5 çevrim sonunda numunelerin kuru ağırlıkları

ve P-dalga hızları ölçülmüştür. Bu ölçüm sonuçları yukarıdaki formül kullanılarak yüzdesel değişim oranları olarak hesaplanmış ve Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 2. Çalışmada kullanılan doğal taşların fiziksel özellikleri.

Num. Kodu	d_0 (g/cm ³)	BHA (g/cm ³)	ASE (%)	GP (%)	TP (%)	V_p (m/s)	UCS (MPa)
TRV-1	2.683	2.470	1.154	2.847	7.94	5667	85.8
TRV-2	2.697	2.355	2.294	5.398	12.68	5078	51.6
LM-1	2.680	2.490	3.504	8.506	7.09	5084	73.4
LM-2	2.712	2.381	3.856	9.172	12.21	5436	97.2
BJ-1	2.739	2.709	0.061	0.166	1.10	6495	107.9
BJ-2	2.718	2.702	0.170	0.459	0.59	6483	125.5
MR-1	2.731	2.709	0.089	0.242	0.81	4339	53.1
MR-2	2.755	2.710	0.075	0.204	1.63	5191	51.1

do: Gerçek yoğunluk; BHA: Görünür yoğunluk; ASE: Ağırlıkça su emme; GP: Görünür porozite; TP: Toplam porozite; V_p : P-dalga hızı; UCS: Tek eksenli basınç dayanımı

Çizelge 3. Çevrimler sırasında ağırlık ve P-dalga hızı değişimleri.

Num. Kodu	Ağırlık azalması (%)					P-dalga hızı (V_p) azalması (%)				
	Orj.	5 çev.	10 çev.	15 çev.	20 çev.	Orj.	5 çev.	10 çev.	15 çev.	20 çev.
TRV-1-1		-0.05	0.69	0.80	1.16		0.46	3.68	4.70	6.69
TRV-1-2	0	-0.02	0.66	0.82	1.17	0	2.44	9.27	10.17	11.92
TRV-1-3		-0.02	0.52	0.62	1.00		2.63	9.45	9.45	10.35
TRV-1-4		-0.04	0.63	0.87	1.43		2.76	4.81	8.65	13.04
TRV-2-1		-0.85	-	-	-		3.54	-	-	-
TRV-2-2	0	-1.02	0.37	1.10	2.78	0	2.46	10.45	11.25	12.82
TRV-2-3		-0.20	1.43	1.87	3.67		2.76	2.76	3.71	5.57
TRV-2-4		-0.14	0.92	1.16	2.38		2.67	3.66	10.93	17.18
LM-1-1		-0.31	0.41	0.84	1.66		1.59	4.51	9.02	13.11
LM-1-2	0	-0.30	0.43	1.01	1.92	0	1.89	8.13	11.36	14.36
LM-1-3		-0.71	0.62	0.66	1.86		2.34	5.01	8.34	12.19
LM-1-4		-0.46	0.83	0.96	1.80		4.77	8.98	10.57	12.84
LM-2-1		-0.14	0.98	1.46	2.48		2.80	7.87	8.82	9.75
LM-2-2	0	-0.22	0.83	1.54	2.96	0	2.08	6.12	6.12	7.08
LM-2-3		-0.14	1.07	2.10	3.18		1.38	7.18	7.18	8.08
LM-2-4		-0.06	0.83	1.53	2.43		1.34	6.38	6.38	6.38
BJ-1-1		-0.02	0.02	0.02	0.11		1.82	4.30	6.66	10.00
BJ-1-2	0	0.00	0.05	0.06	0.16	0	1.85	4.27	5.44	7.69
BJ-1-3		-0.01	0.02	0.02	0.11		0.78	4.46	4.46	5.62
BJ-1-4		0.00	0.01	-	-		1.75	4.21	-	-
BJ-2-1		0.00	0.06	0.10	0.12		1.55	2.83	2.83	4.08
BJ-2-2	0	-0.01	0.06	0.06	0.08	0	0.44	1.75	1.75	3.03
BJ-2-3		-0.04	0.03	0.08	0.13		1.27	3.74	3.74	4.93
BJ-2-4		-0.05	0.02	0.09	0.12		0.65	3.20	3.20	3.20
M-1-1		-0.06	0.02	0.19	0.31		2.44	3.19	34.96	51.03
M-1-2	0	-0.11	0.03	0.10	0.20	0	2.11	6.92	44.34	60.30
M-1-3		-0.10	0.01	0.08	0.17		2.86	6.87	38.08	53.82
M-1-4		-0.08	0.03	0.18	0.32		2.45	6.45	34.03	49.27
M-2-1		-0.03	0.06	0.07	0.15		1.97	19.45	26.31	31.64
M-2-2	0	-0.02	0.05	0.06	0.16	0	2.02	19.06	21.12	31.56
M-2-3		-0.04	0.04	0.06	0.12		2.65	19.43	31.28	32.77
M-2-4		-0.11	0.01	0.03	0.14		1.70	11.28	18.67	29.28

Ayrıca çalışmada kullanılan kayaçların dayanım değişimlerinin belirlenmesi amacıyla da çevrimler öncesi ve 20 çevrimin sonunda tek eksenli basınç dayanım deneyleri yapılmış ve Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Orijinal ve çevrim sonunda ölçülen tek eksenli basınç dayanımı (UCS) değerleri.

Num. Kodu	UCS _{orj} MPa	UCS _{son} MPa	Değişim oranı %
TRV-1	85.8	72.9	15.0
TRV-2	51.6	42.4	18.0
LM-1	73.4	51.7	29.6
LM-2	97.2	78.9	18.8
BJ-1	107.9	90.3	16.3
BJ-2	125.5	111.4	11.2
MR-1	53.1	36.0	32.1
MR-2	51.1	34.8	31.9

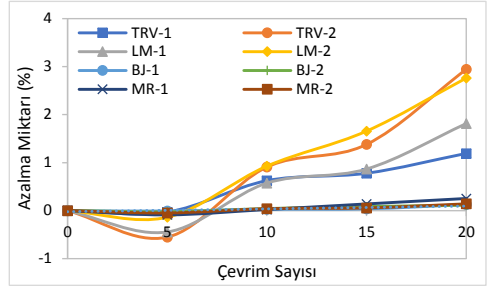
4 İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRMELER

Çalışmada kullanılan doğal taşların tuz kristallenmesine dirençlerini çevrim sayısına bağlı olarak incelemek amacıyla çevrim sayılarına bağlı olarak ağırlık azalması değişimleri ve *P*-dalga hızı azalması değişimleri Şekil 5 ve 6'da verilmiştir. Ayrıca numunelerin orijinal haldeki ve 20 çevrim sonundaki basınç dayanım değerleri Şekil 7'de verilmiştir.

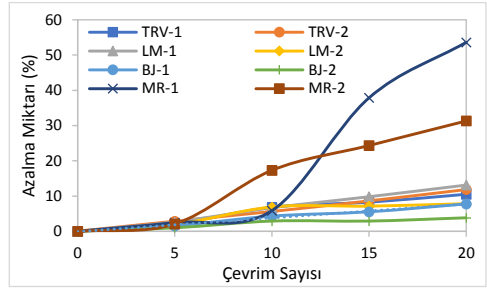
Şekil 5 incelendiğinde çevrim sayılarına bağlı olarak çalışmada kullanılan doğal taşların ağırlıklarında azalmalar meydana gelmiştir. En fazla ağırlık kaybının çalışmada kullanılan doğal taşlar içerisinde en büyük toplam gözenekliliğe sahip olan TRV-2 kodlu traverten numunesi ve LM-2 kodlu limra numunesinde meydana geldiği, en az ise çalışmada kullanılan doğal taşlar arasında en küçük toplam gözenekliliğe sahip olan BJ-1 ve BJ-2 kodlu bej numunelerinde meydana geldiği görülmüştür.

Şekil 6 incelendiğinde Şekil 5'te elde edilen sonuçlara benzer şekilde çevrim sayılarına bağlı olarak çalışmada kullanılan doğal taşların *P*-dalga hızlarında azalmalar olduğu belirlenmiştir. *P*-dalga hızlarındaki azalmanın en fazla MR-1 ve MR-2 kodlu mermerlerde olduğu, en az ise BJ-1 ve BJ-2 kodlu bej numunelerde olduğu belirlenmiştir.

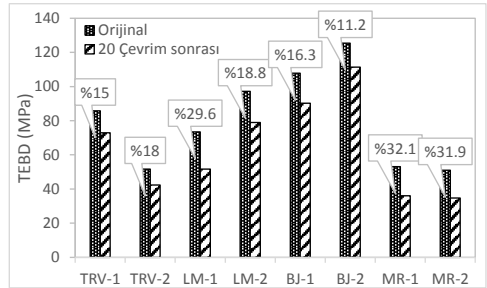
Şekil 7 incelendiğinde de benzer şekilde 20 çevrim sonunda elde edilen UCS değerlerinde orijinal UCS değerlerine göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. En fazla dayanım kaybının *P*-dalga hızlarındakine benzer şekilde MR-1 ve MR-2 kodlu mermerlerde, en az ise TRV-1 ve BJ-2 kodlu traverten ve bej numunelerinde olduğu görülmüştür.



Şekil 5. Çevrim sayısına bağlı olarak ağırlık azalması grafiği.



Şekil 6. Çevrim sayısına bağlı olarak *P*-dalga hızı azalması grafiği.



Şekil 7. Orijinal ve 20 çevrim sonucu ölçülen UCS değerleri ve % değişim değerleri.

Ayrıca çevrimler sırasında meydana gelen *P*-dalga hızları azalmalarının, ağırlık azalmalarına oranla daha fazla olduğu, tek eksenli basınç dayanımı azalmalarının da *P*-

dalga hızları azalmalarına oranla daha fazla olduğu belirlenmiştir. Tuz kristallenmesinin yarattığı tahribattan doğal taşların tek eksenli basınç dayanımı değerlerinin daha çok etkilendiği görülmüştür.

Çalışmada kullanılan doğal taşların tuz kristallenmesi çevrimlerinden ne kadar etkilendiğini belirlemek, diğer bir ifadeyle bozunma oranlarını belirlemek amacıyla Şekil 5 ve 6'da bulunan eğrilere lineer eğilim çizgisi eklenerek eğim değerleri belirlenmiştir (Çizelge 5).

Çizelge 5. Ağırlık ve *P*-dalga hız değerlerindeki değişimlerin eğim değerleri.

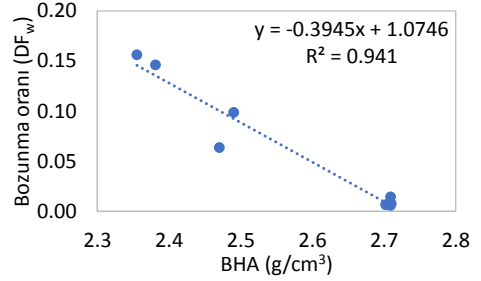
N.No	DF _w	DF _U
TRV-1	0.064	0.543
TRV-2	0.156	0.590
LM-1	0.099	0.669
LM-2	0.146	0.417
BJ-1	0.006	0.390
BJ-2	0.007	0.190
MR-1	0.015	2.852
MR-2	0.008	1.698

DF_w: Tuz kristallenmesi çevrimleri sonrası ağırlık değişimi için bozunma oranı; DF_U: Tuz kristallenmesi çevrimleri sonrası *P*-dalga hızı değişimi için bozunma oranı

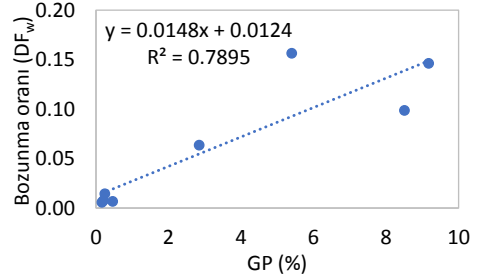
Çalışmada kullanılan doğal taşların tuz kristallenmesinin yarattığı tahribattan etkilenme dereceleri yani bozunma oranları (ağırlık ve *P*-dalga hızı azalma yüzdeleri eğimlerinden elde edilen) ile fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkileri incelemek amacıyla, DF_w ve DF_U değerleriyle fiziksel ve mekanik özelliklerin grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 8 ve 12).

Bu şekillerden elde edilen sonuçlar incelendiğinde DF_w ile BHA, TP ve GP arasında kuvvetli ilişkiler olduğu belirlenmiştir. DF_w ile ΔUCS arasında çok anlamlı bir ilişki olmamasına rağmen DF_U ile ΔUCS arasında anlamlı bir ilişki olduğu görülmüştür. Bunun sebebinin de ΔUCS ve *P*-dalga hızlarında gözenek oranıyla birlikte bir başka parametrenin daha, gözenek yapısının, şeklinin vb.'nin etkisinin olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca tuz kristallenmesine karşı gözenek oranının yüksek olduğu kayalarda ağırlık kaybına (bütünlük kaybına) sebep olurken (Şekil 8-10)

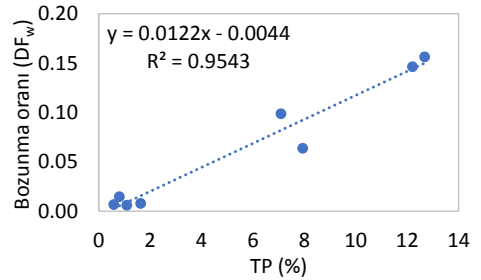
gözenekliliği düşük kayalarda dayanım düşmesine neden olduğu belirlenmiştir (Şekil 12). Bu durum, makro gözenekliliğe sahip travertenlerde tuz çözeltilisinin gözenekleri daha erken terk etmesi nedeniyle fiziksel çözünmeye (ağırlık kaybına) sebep olurken daha düşük gözenekli kılcak çatlağa sahip mermerlerde ise daha fazla dayanım kaybına neden olduğunu göstermektedir. DF_U ile BHA, TP ve GP arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır.



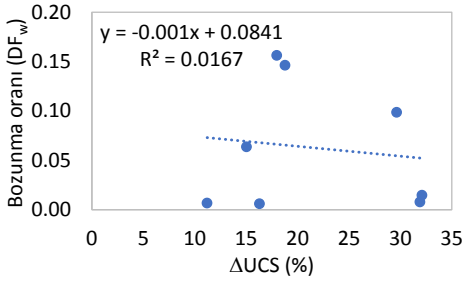
Şekil 8. Çevrimler sonrası DF_w değeri ile BHA değeri arasındaki ilişki.



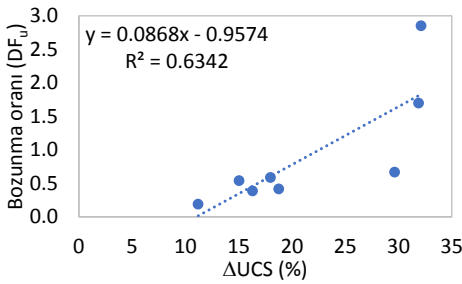
Şekil 9. Çevrimler sonrası DF_w değeri ile GP değeri arasındaki ilişki.



Şekil 10. Çevrimler sonrası DF_w değeri ile TP değeri arasındaki ilişki.



Şekil 11. Çevrimler sonrası DF_w değeri ile ΔUCS (%) değeri arasındaki ilişki.



Şekil 12. Çevrimler sonrası DF_u değeri ile ΔUCS (%) değeri arasındaki ilişki.

5 SONUÇLAR

Bu çalışmada dünyada ve ülkemizde özellikle büyük şehirlerdeki büyük inşaat projelerinde, iç ve dış mimaride, restorasyon ve konservasyon çalışmalarında yaygın olarak kullanılan doğal taşların kullanım ömürleri boyunca çeşitli sebeplerle maruz kaldıkları tuz kristallenmesinin yarattığı tahribata karşı fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimler ve bunlarla arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Bu amaçla temin edilen numunelere tuz kristallenmesine direncin tayini deneyi 20 çevrim uygulanmış ve her 5 çevrimde numunelerin kuru ağırlıkları ve sismik hızları tekrar ölçülerek bu değerlerdeki değişimler takip edilmiştir.

Çalışmada kullanılan tüm kayaların tuz kristallenmesine karşı ağırlık kaybı, P-dalga hızı azalması ve dayanım azalması şeklinde bozdukları görülmüştür.

En fazla ağırlık kaybının yüksek gözenekli kayalarda olurken dayanım kaybının ise daha düşük kayalarda olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Akın, M. and Özsan, A., 2011, Evaluation of the long-term durability of yellow travertine using accelerated weathering tests. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 70:101-114. DOI 10.1007/s10064-010-0287-x.
- Akın, M., 2008. Eski Pazar (Karabük) Travertenlerinin Bozunmasının Araştırılması. *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 2008, s. 263.
- Angeli, M., Hebert, R., Menendez, B., David, C. and Bigas, J.P., 2010, Influence of temperature and salt concentration on the salt weathering of a sedimentary stone with sodium sulphate. *Engineering Geology*, vol. 115, pp. 193-198.
- ANON 1995. The description and classification of weathered rocks for engineering purposes, Working Party Report. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, No. 28, pp. 207-242.
- Backstrom, A., Antikainen, J., Backers, T., Feng, X., Jing, L., Kobayashi, A., Koyama, T., Pan, P., Rinne, M., Shen, B. and Hudson, J.A., 2008, Numerical modelling of uniaxial compressive failure of granite with and without saline porewater. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 45, pp. 1126-1142.
- Benavente, D., Del Cura, M.A.G., Fort, R. and Ordóñez, S., 2004, Durability estimation of porous building stones from pore structure and strength, *Engineering Geology*, vol. 74, pp. 113-127.
- Fookes, P.G., Dearman, W.R. and Franklin, J.A. 1971. Some engineering aspects of rock weathering. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 4, pp. 139-185.
- Goudie, A.S., 1999, Experimental salt weathering of limestones in relation to rock properties. *Earth Surface Processes and Landforms*, 24, pp. 715-728.
- Ollier, C., 1984. *Weathering, Geomorphology Texts*. Ed. K.M. Clayton, Longman, London and New York, 270 p.
- Öcal, A.D., Dal, M., 2012. *Doğal Taşlardaki Bozunmalar, Mimarlık Vakfı İktisadi İşletmesi*, İstanbul, 128 s.
- Price, C.A., 1996, *Stone Conservation: an Overview of Current Research*, Research in Conservation, *The Getty Conservation Institute*, Los Angeles, 73 p.
- Sousa, L.M.O., Del Rio, L.M.S., Calleja, L., De Argandona, V.G.R. and Rey, A.R., 2005, Influence of microfractures and porosity on the physico-mechanical properties and weathering of ornamental granites. *Engineering Geology*, vol. 77, pp. 153-168.
- Sözmen, B. 2000. Investigation of deterioration mechanism of Yazılıkaya tuffs in Midas Monument, Eskisehir (Turkey). M.Sc. thesis (unpublished), METU, 163 p., Ankara.

- Topal, T. and Doyuran, V., 1998, Analyses of deterioration of the Cappadocian tuff, Turkey, *Environmental Geology*, 34 (1), pp. 5-20.
- Torraca, G., 1982, *Porous Building Materials: Materials Science for Architectural Conservation*, ICCROM, Rome, 145 s.
- TS EN 12370, 2001. Doğal taşlar - Deney metotları - Tuz kristallenmesine direncin tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 13755, 2014. Doğal taşlar - Deney yöntemleri - Atmosfer basıncında su emme tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 14579, 2006. Doğal taşlar - Deney yöntemleri - Ses hızı ilerlemesinin tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 1926, 2013. Doğal taşlar - Deney yöntemleri - Tek eksenli basınç dayanımı tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 1936, 2007. Doğal taşlar- Deney metotları- Gerçek yoğunluk, görünür yoğunluk, toplam ve açık gözeneklilik tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- Tuğrul, A. and Zarif, İ.H., 1999, Research on limestone decay in a polluting environment, İstanbul-Turkey. *Environmental Geology*, vol. 38(2), pp. 149-158.
- Winkler, E.M. 1997. Stone in architecture. 3rd Edition, Uni. of Notre Dame, 313 p., USA.
- Winkler, E.M., and Wilhelm, E.J., 1970. Saltburst by hydration pressures in architectural stone in urban atmosphere. Bulletin of the Geological Society of America, 81, pp. 567-572.
- Yavuz, A.B. and Topal, T., 2007, Thermal and salt crystallization effects on marble deterioration: Examples from Western Anatolia, Turkey. *Engineering Geology*, 90: pp. 30-40.
- Yu, S. and Oguchi, C.T., 2010, Role of pore size distribution in salt uptake, damage, and predicting salt susceptibility of eight types of Japanese building stones. *Engineering Geology*, 115:226–236. doi: 10.1016/j.enggeo.2009.05.007.

V

**DOĞAL TAŞ MEVZUATI, ÇEVRE ETKİLERİ VE ARTIKLARIN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

*NATURAL STONE LEGISLATION, ENVIRONMENTAL
EFFECTS AND EVALUATION OF WASTES*

Mermer Sektöründe UMREK Değerlemesi ve Diğer Yasal Gelişmeler

The Valuation of UMREK and Other Legal Development Reletad to Marble Sector

M. Topaloğlu

Özyeğin Üniversitesi/Topaloğlu Hukuk Bürosu

ÖZET Niteliği gereği oldukça yüksek miktarlarda sermaye ve yatırım gerektiren madencilik sektörünün finansmanı en önemli sorunlardan biridir. Bunun için uluslararası kabul görmüş ve tanınmış rezerv belirleme sisteminin kurulması ve kullanılması zorunludur. Maden Rezervlerini Uluslararası Standartlarını Belirleme Komitesi (CRIRSCO) çalışmalarına başlamış ve bu konuda şablon yayımlamıştır. Türkiye’de 2012 yılında CRIRSCO ile iyi niyet protokolü imzalanmıştır. 3213 sayılı Maden Kanunu’na Ek 14 madde olarak 7 Eylül 2016 tarihli Resmi Gazete’ de yayımlanan 6745 sayılı Kanun ile kısa adı UMREK olan Ulusal Maden Kaynak ve Rezerv Raporlama Komisyonu kurulmuştur. Ayrıca, Ulusal Maden Kaynak ve Rezerv Raporlama Komisyonu Hakkında Yönetmelik, 26 Temmuz 2017 tarihinde yürürlüğe girmiştir.

ABSTRACT The financing of mining sector that required huge amount of capital an investment according to the qualities is one of the significant problems thereof. Therefore, establishing and utilizing the reserve detecting system that gained acceptance and being well-known throughout the world is compulsory. Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards (CRIRSCO) has initiated their studies and published a scheme regarding this issue. Turkey signed intend letter with CRIRSCO in 2012. By the Law numbered 6745 promulgated in Official Gazette dated 7th September of 2016 as an additional article 14 to the Mining Law numbered 3213 the Commission of Reporting National Deposit and Reserve, UMREK, was established. On the other hand, Regulation on Commission of Reporting National Deposit and Reserve entered into force on 26.07.2017.

1 GİRİŞ

Niteliği gereği oldukça yüksek miktarlarda sermaye ve yatırım gerektiren madencilik sektörünün finansmanı en önemli sorunlardan biridir. Bunun için uluslararası kabul görmüş ve tanınmış rezerv belirleme sisteminin kurulması ve kullanılması zorunludur. Maden rezervlerinin veya maden şirketlerinin değerlemesini yapmak, maden fiyatlarının tavan yapıp birden düştüğü, cevherde arz fazlası ve cevher kıtlığına çok kısa sürelerde girildiği dünya maden piyasasında çok zordur. Böylesine oynak bir

piyasada ulusal bir maden rezervi belirleme standardı oluşturmak için çalışmalar ulusal ve uluslararası bazda yürütülmektedir. Maden şirketlerinin hisse senedi veya madencilik tahvil ihracı yoluyla halka arzında ve madencilik projelerinin kredilendirilmesinde maden değerlemesi son derece önemlidir. Bu nedenle sermaye piyasalarını düzenleyici otoriteler ve finansal kurumlar bir standart oluşturulmasında zorlayıcı ve tetikleyici faktör olmuşlardır.

Başlangıçta Uluslararası Finansal Raporlama Standartları (IFRS) ve

Gayrimenkul Değerleme standartlarından yararlanılmıştır. Maden rezervi ve maden şirketleri değerlemesinde maliyet, satış karşılaştırması ve gelir yöntemlerinden birisi kullanılmaktadır.

Maden değerlemesinde öncü ve örnek uygulama Avustralya'da ortaya çıkmıştır. Avustralya'da madencilikle ilgili meslek kuruluşları ve organizasyonlar ile borsa ve sermaye piyasası kurumları ortak bir çalışma yürüterek 1995 yılında yürürlüğe giren VALMIN Kodu olarak kısaltılan "Mineral ve Petrol Varlıkları ve Menkul Kıymetlerin Bağımsız Değerleme Raporları için Teknik Kıymet Takdiri Kodu" nu yürürlüğe koymuştur. VALMIN Kodu, 1997 ve 2005 yılında birtakım değişikliklere konu olarak son şeklini almıştır. Avustralya'da VALMIN Kodu, Şirketler Kanunu içinde düzenlenmiştir.

VALMIN Kodu, madencilikte gelişmiş birçok Anglo-Sakson Devletine de benzer düzenlemelere kaynaklık yapmıştır. Gerçekten de, VALMIN'den etkilenen Güney Afrika'da 2008 tarihli SAMVAL Kodu yürürlüğe konulmuştur.

Kanada'da 1999 tarihinde CIM Konseyi tarafından hazırlanan CIMVAL adlı standartlar, sermaye piyasası düzenleyici otoritesi ve borsa kurumları tarafından onaylanarak ikincil mevzuata dahil edilmiştir.

ABD'de ise Kongre, Değerleme Vakfına (*Appraisal Foundation*) değerlendirme ile ilgili standartları belirleme yetkisi vermiştir. Bunun üzerine Değerleme Vakfı, 1986-1987 yılında USPAP olarak kısaltılan "Profesyonel Değerleme Uygulamaları İçin Bir örnek Standartlar"ı yayımlamıştır. ABD'de madenler, taşınmazın bütünüyle parçası olarak görüldüğünden ve maden hakları taşınmaz mülkiyeti kapsamında sayıldığından, madencilikle ilgili değerlemelerde USPAP'ın 1 ve 2 nolu standartları kullanılmaktadır. Bu nedenle USPAP birçok yönden VALMIN'den farklı hükümler içermektedir. ABD'de ayrıca CRIRSCO'ya tabi Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. tarafından SME olarak bilinen işletme sonuçları, rezerv

ve kaynak raporlama sistemi ile ilgili rehber yayımlanmaktadır.

VALMIN benzeri bir uygulama Çin'de Hong Kong borsasında kullanılmak üzere hazırlandığı görülmektedir.

Yine Avustralya'da 1971 yılında maden rezervlerinin ve maden sahasındaki arama sonuçlarının kamusal olarak raporlanmasına ilişkin standart ve temel esasları belirleyen JORC adlı bir kod yayımlanmıştır. JORC Kodu, 1992, 1996, 1999 ve 2012 yılında revize edilerek son şeklini almıştır.

Avrupa'da Pan-European Reserves and Resources Reporting Committee (PERC), ulusal raporlama organizasyonu olarak maden rezerv raporlaması, standart ve rehberlerinin hazırlanması amacıyla bir kısım jeoloji ve maden mühendisleri tarafından kurulmuştur. Kar amacı gütmeyen bu kuruluşun merkezi Brüksel'dedir. PERC, sadece Avrupa Birliği'ne değil Avrupa'nın tamamına hizmet vermektedir.

1994 yılından itibaren uluslararası alanda da Maden Rezervlerini Uluslararası Standartlarını Belirleme Komitesi (CRIRSCO) çalışmalarına başlamıştır. Bu çalışmalar olumlu sonuç vermiş ve 1997 yılında Avustralya, Kanada, Güney Afrika, ABD ve İngiltere maden rezerv ve kaynaklarının raporlamasında uluslararası standarda bağlanması konusunda anlaşmaya varmışlardır. CRIRSCO'nun bu standartlarını şablon halinde yayımlamaktadır (<http://www.crirSCO.com/template.asp>).

Rusya'da kar amacı gütmeyen önde gelen madencilik şirketleri ve bilimsel araştırma kuruluşları oluşan 57 üyeli Yeraltı Kaynaklarını Araştırma Ulusal Derneği, CRIRSCO standartlarını esas alarak NAEN Kodu olarak kısaltılan raporlama standartlarının usul ve esaslarına ilişkin düzenlemeyi 2011 yılında hazırlamıştır.

2 UMREK İLE İLGİLİ YASAL DÜZENLEME

Türkiye'de 2012 yılında CRIRSCO ile iyi niyet protokolü imzalanmıştır. Daha sonra MİGEM, "Madencilik Akreditasyon Kanun Tasarısı Taslağı İle Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun Tasarısı Taslağı- MADAK adında bir çalışma

hazırlamıştır. Kamuoyunda özellikle özel sektör madencilik çevreleri tarafından tartışılan bu taslak yerine 3213 sayılı Maden Kanunu'na Ek 14 madde olarak 7 Eylül 2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan 6745 sayılı Kanun ile kısa adı UMREK olan Ulusal Maden Kaynak ve Rezerv Raporlama Komisyonu kurulmuştur. UMREK'le ilgili yasal düzenlemenin ardından, Ulusal Maden Kaynak ve Rezerv Raporlama Komisyonu Hakkında Yönetmelik, 26 Temmuz 2017 tarihinde yürürlüğe girmiştir.

3 UMREK'İN AMACI

UMREK Kurumunun web sayfasında amacı gayet başarılı bir şekilde açıklanmıştır Buna göre; “Madenlerin kaynak ve rezervleri ile kalitesinin belirlenmesi için, maden yatağı hakkında yeterli bilgilerin elde edilmesi gerekmektedir. Diğer bir deyişle, kaynak ve rezervler bu bilgilerin nitelik ve niceliklerinin yeterliliği ölçüsünde belirlenmekte ve sınıflandırılmaktadır. Bir maden sahasında yapılan arama çalışmaları ve buna bağlı yapılan değerlendirme çalışmaları sonucunda yatağın yalnız hacmi ve tonajı değil fiziksel, kimyasal, jeolojik, mineralojik, teknik, teknolojik ve ekonomik, yasal, çevresel ve sosyal tüm karakteristiklerinin ortaya çıkarılması için yapılan tüm çalışmaların kompozisyonu o yatağın kaynak/rezervinin belirlenmesine esastır. Madencilik sektörü büyük risk taşıyan bir sektördür. Bu riskin ana nedeni aramalar sonucunda ortaya çıkarılacak varlığın nicelik ve niteliklerinin tahmin edilmesindeki zorluklardır. Madencilikte büyük riskle birlikte yatırım tutarı da yüksektir. Bu riskin azaltılması, aramaların her aşamasında ve aramalardan sonra yapılacak bilimsel ve teknolojik çalışmalara bağlıdır. Maden arama, araştırma ve üretimi esnasında yapılan çalışmaların, üretilen verilerin uluslararası standartlara uygun, akredite laboratuvarlarda analiz ve testleri yapmış ve yetkin teknik elemanlar tarafından raporlanması bu çalışmaların açık, şeffaf ve güvenilir olması ile küreselleşen dünyada ve serbest piyasa ekonomisi koşullarında mühendisler, planlamacılar, madenciler, yatırımcılar ve finans kuruluşları arasında

görüş birliğini sağlanmaktadır. Uluslararası ticaretin ve madencilik yatırımlarının artması sebebiyle uluslararası kabul edilebilir bir rezerv/kaynak sınıflandırma sistemi oluşturma ihtiyacı doğmuştur. Dünyada halen farklı isim ve tanımlamalarla çok sayıda rezerv ve kaynak sınıflandırılmaları kullanılmaktadır (JORC, PERC vb.). Projeksiyonlar ve kalkınma planları güvenilir maden envanteri verileri üzerine yapılması durumunda ekonomide ve madencilikte sürdürülebilir planlama ve kalkınma sağlanabilir. Yatırımcılar, girişimciler ise yatırım risklerini kaynak güvenilirliğini esas alan sınıflandırmalar doğrultusunda yapmak ve belirlemek durumunda olacaklardır. Bu açıdan, yer kabuğunda doğal halde bulunan madenlerin tanımlanması ve sınıflandırılması önemlidir. Rapor etme standartları; borsa ve mali kuruluşlar tarafından, Maden Arama Sonuçları, Maden Kaynakları ve Rezervlerinin, üretimlerinin kamuoyuna rapor edilebilmesi için gerekli asgari standartlar ve bu konuda en iyi uygulamaları tanımlanmaktadır.

UMREK sisteminin kurulması ile;

Maden faaliyetleri sonucunda elde edilecek verilerin güvenilirliği, takibi, gelişmesi sağlanacaktır.

Yerli ve yabancı yatırımcılar güvenilir madencilik verileri üzerinde yatırımlarını yapabileceklerdir.

Doğal kaynaklarımız değerlendirilmesi, yönetilmesi, planlanması sağlanabilecektir.

Madencilik Sektöründe Doğru raporlama ortamını sağlamak ve geliştirmek, sektörde çalışan teknik personelin niteliklerini sınıflandırmak, eğitim ve gelişimi sağlanacaktır.”

4 UMREK'İN HUKUKİ VE İDARİ YAPISI

CRIRSCO ailesi kodlarını veya şablonunu (template) esas alarak bir rezerv kodu belirleyecek olan UMREK, bu şablonu kullanan diğer ülkelerdeki komisyon veya komitelerin aksine özel teşebbüs inisiyatifi değil Devlet tarafından kurulmuş kamusal bir yapıdadır. Ancak, Kanunda “UMREK'in teşkili, yönetimi ve çalışması ile üyelerin

atanmasında aranacak nitelikler, görev süresi ve üyeliğin sona ermesi ile ilgili usul ve esaslar” ı belirleme yetkisi Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığına verilmiştir. Bakanlığın esas itibarıyla UMREK komisyonunu üyelerini ve yönetimini kamu görevlilerinden oluşturması Kanun gereğidir. Nitekim UMREK Yönetmeliğinin 4. maddesinde Komisyon üyeleri, Devlet memuru olabilmek şartları taşımak kaydıyla jeoloji, maden ve ilgili diğer meslek grubu mühendislik bölümleri, iktisadi ve idari bilimler fakültesi ile işletme fakültesi, maliye, siyasal bilgiler, kamu yönetimi ve hukuk mezunlarından, mesleğinde en az on yıllık deneyim sahibi kişilerden atanacağı belirtilmiştir.

Komisyon üyeleri üç yıllık süreler için önerilen üyeler arasından; MİGEM ve MTA Genel Müdürlüklerinin her birinden önerilecek iki aday arasından seçilecek birer üyeden toplam iki üye, BDDK ve TBB tarafından önerilecek birer aday arasından seçilecek bir üye, SPK ve BİST tarafından önerilecek birer aday arasından seçilecek bir üye, Maden, Jeoloji, Jeofizik, Harita, Metalürji mühendisi olup Komisyona üye olmak isteyenlerin MİGEM’de oluşturulan yeterlilik ve seçim komitesine başvuru yapması halinde bu komite tarafından önerilecek meslek odasına kayıtlı dört aday arasından seçilecek iki üye, TOBB tarafından önerilecek iki aday arasından seçilecek bir üye olmak üzere Bakanın seçtiği ve atadığı toplam yedi üyeden oluşur.

UMREK’in mali işleri dahil her türlü sekretarya hizmetleri MİGEM tarafından yürütülecektir. UMREK üyelerine Bakanlar Kurulu tarafından belirlenecek huzur hakkı ödenecektir.

UMREK’in bir Devlet kurumu olan MİGEM sekretaryası altında faaliyet göstermesi, kamu kaynağı kullanması; teşkili, yönetimi ve çalışmasının yönetmelikle düzenlenmiş olması onun bir kamu kurumu niteliğinde olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla UMREK’in yapmış olduğu eylem ve işlemler idari niteliktedir ve idari yargı denetimine tabi olması gerekir.

5 UMREK’İN GÖREVLERİ

Maden Kanunu ek 14. Madde hükmünde UMREK’in görevleri sayılmıştır. UMREK Yönetmeliğinin 7.maddesinde de görev kapsamlarında bir açılım sağlanmıştır. Buna göre UMREK,

Madenlerin aranması, araştırılması ve üretilmesine yönelik, açık, güvenilir ve uygulanabilir kaynak ve rezerv bilgilerinin oluşturulması ile raporlama standartlarının finansman hususlarını da dikkate alarak belirlenmesini sağlamak,

Belirlenen raporlama standartlarını sürekli geliştirmek, güncelleştirmek, standartların uygulanmasına yönelik sistemleri kurmak ve bu sistemlerin uygulanmasını sağlamak,

Raporlama standartlarının uluslararası standartlara uygunluğunu/uyumluluğunu sağlamak,

Yetkin kişilerde aranan nitelikleri belirlemek ve yetkinlik/sertifikasyon belgesi vermek,

Yetkin kişilere eğitim vermek/verdirmek, gözetlemek, denetlemek, sicil puanı vermek ve bunların kayıtlarını tutmak,

Komisyona yapılan başvurular ile ilgili evrakları çalışma gruplarında veya alt birimlerde incelemek ve karara bağlamak,

UMREK ile ilgili sistem, politika, strateji ve hedefleri finansman ile ilgili hususları da dikkate alarak belirlemek, kurmak, geliştirmek ve uygulamak,

Yetkin kişilerin hazırladığı rapor/projeleri, gerekli hallerde incelemek/inceletmek ve bunun sonucunda gerçeğe aykırı rapor ve proje hazırladığı tespit edilen yetkin kişinin sertifikasını askıya almak/iptal etmek ve işlemleri için ilgili makamlara bilgi vermek,

İhtiyaç duyulması halinde çalışma gruplarına yardımcı olmak amacıyla alt komiteleri kurmak,

Uluslararası alanda kendi görev alanındaki kuruluşlara, derneklere ve komisyonlara üye olmak ve/veya bunlarla işbirliği yapmak,

Görev alanına giren konularda eğitim, araştırma ve yayın faaliyetlerinde bulunmak,

Komisyonun harcamaları konusunda MİGEM’e harcama planı sunmak,

İlgili mevzuat çalışmalarına katkı sağlamak, görüş vermek ve görüş oluşturmak,

İhtiyaç duyulan alanlarda kamu kurum ve kuruluşları ile gerçek ve tüzel kişilerden bilgi, belge ve görüş istemek,

Komisyon faaliyetlerinden elde edilen gelirler ile ilgili bedelleri belirlemek ve gerektiği durumlarda güncellemek,

Komisyonun idari, mali ve teknik yönden düzenli, verimli ve etkin faaliyette bulunabilmesi için gerekli tedbirleri almak, ilgili yönetmelik ve tebliğlerin yürürlüğe girmesini sağlamak,

Komisyon faaliyetlerinde görevlendirilecek personelin görevlendirme işlemleri hakkında karar almak,

Komisyonun çalışma konuları ile ilgili ihtiyaç duyulan alanlarda yönerge, kod gibi alt düzenleyici işlemler çıkarmak ile yetki ve görevlidir.

Kanunda UMREK'e bu sayılan görevleri yerine getirirken resmi ve özel kurum, kuruluş ve kişilerden belge, bilgi ve görüş isteme yetkisi tanınmıştır. Maden Kanunu Ek 14. maddesinde UMREK'in "bağımsız" olduğu açıkça vurgulanmıştır. Bunun anlamı, UMREK, merkezi idarenin hiyerarşisine tabi değildir. Maden İşleri Genel Müdüründen, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanından ve Başbakanın emir ve talimat alamaz. BDDK, SPK ve EPDK gibi fakat farklı bir tür bağımsız idari otoritedir.

6 SONUÇ VE ÖNERİLER

UMREK sistemi ile madencilik sisteminde, güvenilir, dengeli, uluslararası geçerli ve karşılaştırılabilir nitelikte raporlar hazırlanmasının önü açılacaktır. Nitekim SPK, sermaye piyasasında yapılacak değerlendirme hizmetlerinde; maden arama, maden kaynak ve maden rezerv tahmin sonuçlarının raporlanmasında, maden ruhsatının değerlendirilmesinde, maden kaynak ve maden rezervlerinin değerlendirilmesinde, UMREK tarafından yetkilendirilmiş kişiler tarafından hazırlanan raporları esas alacağını açıklamıştır. Bundan böyle SPK tarafından atılan bu yöndeki olumlu adımı bankaların, yerli ve yabancı diğer kuruluşlar tarafından da takip edileceği beklenmektedir.

UMREK, rezerv belirlemelere yönelik kod oluşturma çabalarını sürdürmektedir. Özellikle hazırlanan Taslak Kod'da

doğaltaşlara ayrı bir bölüm açılarak mermer sektörüyle ilgili uluslararası geçerliliği olan bir rezerv belirleme sisteminin oluşturulmasına öncülük edilecektir.

KAYNAKLAR

- Demirkıran, H.,2017. Ulusal Madenlerde Rezerv ve Kaynak Raporlama Komisyonu Çalıştay Notları, Mayeb, Ankara, 80 s.
- Özkan, Y.Z.,2017. Güvenilir Maden Kaynak ve Rezerv Tahminleri Arayışına Yönelik Bir Asırlık Arayış : Türkiye Tecrübesi, *Madencilik Türkiye*, Sayı:62, s.60-72.
- Topaloğlu,M.,2013.Madencilik Akreditasyon Kanun Taslağı – MADAK, *Türkiye Madenciler Derneği Sektörden Haberler Bülteni* ,Sayı:46, s.60-64.
- Topaloğlu, M., 2017. Ulusal Maden Kaynak ve Rezerv Raporlama Komisyonu – UMREK Yasal Olarak Yürürlüğe Girerken, *Türkiye Madenciler Derneği Sektörden Haberler Bülteni*, Sayı:65, s.64-68.

Use of Marble Waste in Coal Thermal Power Plants and Seeking Features

Kömür Termik Santrallerinde Mermer Atıklarının Kullanımı ve Aranan Özellikler

G. Ertuğrul

Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya

Y. Kasap

Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya

ABSTRACT Increasing the world population and changing our consumption habits, our decreasing natural resources must be evaluated in the most rational way. Marble industry in the years millions of tons of powdered required both the marble waste piece is revealed. Most of these wastes are used in agricultural land or in vacant land and the remaining ones are aggregate, cement, paint, paper industries etc. The evaluation of marble waste and its using in different areas are very important both in terms of environmental cleanup and country economy. Another important issue that interests the country's economy and the environment is the ability to produce the energy we need using domestic resources. An important part of the electricity production of our country is covered by coal power plants. To reduce the environmental effects of coal-fired power plants, measures such as increasing the chimney filter efficiency and covering the ash and slag from the power plant are required. In this study, it will be tried to give information about the properties of limestone which are required to remove the sulphide from the flue gas which is a different use area of marble waste.

ÖZET Dünya nüfusunun artışı ve tüketim alışkanlıklarımızın değişmesi ile orantılı olarak her geçen gün azalan doğal kaynaklarımızın en akılcı bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Mermer endüstrisinde de yılda milyonlarca ton gerek toz halde gerekse parçalı şekilde mermer atıkları açığa çıkmaktadır. Bu atıkların büyük bir kısmı tarım arazilerinde veya boş arazilerde depolanmakta geriye kalanları ise agregata, çimento, boya, kağıt vb. endüstrilerde kullanılmaktadır. Mermer atıklarının değerlendirilmesi ve farklı alanlarda kullanımının sağlanması, hem çevre temizliği hem de ülke ekonomisi açısından oldukça önemlidir. Ülke ekonomisi ve çevreyi ilgilendiren diğer bir önemli konu ise yerli kaynakları kullanarak ihtiyacımız olan enerjiyi üretebilmektir. Ülkemizin elektrik enerjisi üretiminin önemli bir kısmı kömür santralleri tarafından karşılanmaktadır. Kömür santrallerinin çevresel etkilerinin azaltılması için baca filtre veriminin artırılması ve santralden çıkan kül ve cürufun üzerlerinin kapatılması gibi önlemler gerekmektedir. Bu çalışmada mermer atıklarının farklı bir kullanım alanı olan baca gazından kükürdün giderilmesinde kireç taşlarında aranan özellikler hakkında bilgi verilmeye çalışılacaktır.

1 INTRODUCTION

In recent years there has been a significant reduction in natural resources as a result of the production made in order to meet the

needs of human beings with the increase in world population. Due to this decrease, the utilization of existing natural resources economically and efficiently without

harming the environment has gained importance.

Large quantities of waste are produced at the stage of block extraction of marble production, or during processing at the factory. The evaluation of the resulting wastes in different industries will provide economic benefits and will help to solve an environmental problem as well.

It is possible to use marble residues as the main raw material, additive or filler material in different industries. One of the usage areas is Thermal Power Plant Chimney Gas Treatment Plants.

the developing technology together with energy demand are increasing. In order to meet this demand, coal and lignite have been increasingly used in thermal power plants. The important point here is to design and use systems that meet your energy needs while minimizing environmental risks and harms.

In this study, the use of marble waste for the decomposition of greenhouse gases (such as CO_x , SO_x) and the properties required for limestone were investigated. Carbonate (such as CaCO_3 and MgCO_3) in the main raw material of the marble is an important material that can be used in the desulfurization process of SO_x gases, especially in the decomposition of gaseous combustion gases. The use of marble wastes for the decomposition of harmful gases in thermal power plants will provide both the assessment of wastes and the damage to the environment will be minimized during power generation.

2 MARBLE WASTES AND EVALUATION METHODS

Not selecting the geologic and crystal structure of the marble quarry produces large amounts of debris when sculpting the upper, lower and upper sections of the large and amorphous parts obtained in accordance with the tectonic structure of the quarries or sculpting the cut blocks in the mills. These wastes cause various negative effects on the environment. In marble quarries and factories, on average 40-60% of production is waste. If the annual production of 7

million tons of marble is considered in Turkey, the amount of marble waste is expressed in millions of tons (Akbulut ve Güler, 2003).

The availability of the waste generated the meaning remedy a problem from an environmental as well as earnings from the industrial point of view during the production of marble bears. Therefore, alternatives to marble waste assessment will provide resources to marble operators and the country's economy, as well as the environmental pollutants of these enterprises (Ceylan ve Mança, 2013).

If we can not evaluate these residues from the Marble Processing Facility, they will need to be covered and searched for other areas after they have been stockpiled in certain places and filled up with stock fields. Transportation costs up to these areas and stock area costs will increase marble costs. In addition, floods and winds and some of them will not be able to be transported to the periphery until these sites are covered. In this respect, it is necessary to save the expenses and to evaluate the increase and to seek solutions at this point in order to prevent damage to the environment. It would not be wrong to say that these dusts spreading around the area will not change the agricultural land, damage to forests and planted trees, (Shirazi, 2011; Anonymous, 2017a).

In our country, there are centers where intensive block production is carried out especially in Afyon, Burdur, Bursa, Isparta, Muğla, Eskişehir, Bilecik, Elazığ, Diyarbakır, Denizli and Antalya. Blocks and debris produced from the quarries are used as raw materials in the factories located in the same centers and marble and natural stone materials derived from the bazaar are located in the pasa areas in order to save the economy (Onur, 2012).

Wastes from quarry can be evaluated in the following ways;

- In all sizes, such as roads, ponds, dams, etc., as filling and infrastructure materials,
- By passing through crushers, as aggregate in concrete sector,

- As additive material in cement production. Materials derive from plants,
- The CaCO_3 -rich rocks are milled in microns and form micronized calcite,
- Paper Industry, in paper production, as filler and coating material,
- Resulting calcination of marble residual powders are gotten CaO Ceramic Industry
- Glaze Steril Industries creates a glassy structure by reducing the melting temperature 1280°C when marble residual powders are baked with pure feldspar. This property provides the use of marble dust residues in the glaze, glaze industry.
- Fine-size CaCO_3 is one of the most consumed the paint industry. However, in order for the marble dust residues to be used in paint production, the CaCO_3 content is min. 97%, average grain size of 0.77μ and maximum grain size of 44μ .
- CaCO_3 is one of the minerals Plastics Industry that started to be used as filling material since the 1970's to reduce the cost without lowering the quality, producers after the increase of plastic need in the world.
- Building Material Production, 10-12% marble dust is used in tile manufacturing. It is desirable that the size of the marble powder be less than 0.5 mm. In addition, blocks are obtained by using polyester instead of cement as binder and they are used as building material in Italian technology.
- Glass Industry uses CaO as raw material. Calcination of marble dust residues is evaluated in the glass industry by obtaining CaO .
- Metallurgy and Steel Production; In blast furnaces, CaCO_3 is used for cleaning of phosphorus and silica from steel, lowering of melting point of silica ore, and polishing of metals.
- Lime and Dolomitic Lime Production, resulting in the calcination of marble residual dust, lime and dolomitic lime can be obtained. In marble residual powders, lime is produced if the MgO content is less than 5%, and dolomitic lime production occurs if it is more than 5%.
 - Soda Production; Soda is produced by processing with CaCO_3 salt.
 - Refractory Brick Production; Marble dust wastes used in production, calcination in the brick process loses carbon dioxide and CaO forms. The CaO silica brick allows integration by lowering the melting temperature of silica grains.
 - Agriculture Sector; Calcium fertilizers are applied to soils showing acidic properties. The most preferred one in the production of these fertilizers is CaCO_3 .
 - Feed Industry; Marble dust wastes can be used in the manufacture of chicken feed.
 - Air Pollution; Can be used as filter material.
 - Joint Filling Material (Fuga) Production; It can be used to fill joints that occur after coating of floor and wall ceramics, natural and bulk stone materials (Onur, 2012).

3 ENVIRONMENT DAMAGE OF THERMAL POWER PLANTS AND MEASURES TO BE AVAILABLE

Thermal power plants are the systems that turn chemical energy into mechanical energy with various systems and mechanical energy, which is the end result of burning coal and derivative fuels in certain systems (Anonymous, 2017b).

Nowadays increasing need for energy, obtaining energy from fossil fuels is an inevitable and highly necessary method. It is also known that the thermal power plants in which coal and lignite are used are becoming increasingly widespread throughout the world. What is important here is to design and use systems with reduced environmental risks and harms to a minimum. We can list the benefits and losses of thermal power plants as follows:

- Its installation costs are very good for the investor.
- It can be installed wherever fuel can be transported.
- It is economic for poor quality lignite coal, coal dust and difficult-to-make fuel-oil.

The biggest disadvantage is that thermal power plants cause environmental problems. Water, air and soil quality in the surrounding area may be reduced if adequate measures are not taken. emitting SO_x and NO_x emissions pollute Atmospheric airs.

When the lignite-fueled thermal power plants polluting the world are investigated the following list can be reached;

- ABD, Gallagher, Indiana 600 Mwe
- Poland, Belchatow, 1090 Mwe,
- Australia, Hazelwood, 1600 MWe
- Greece, Agios Dimitrios, 1500 Mwe
- Greece, Kardias, 1250 Mwe
- Greece Megalopolis-A, 850 MWe
- Germany, Niederaussem, 3800 Mwe
- Germany, Janschwalde, 3000 Mwe
- Germany, Frimmersdorf 1187 Mwe
- Germany, Scholven 2300 Mwe
- Bulgaria, Maritza Iztok 1-2-3, 3000 Mwe

The Afşin-Elbistan-A coal power plant in our country is also listed in the top 100 in this list (Anonymous, 2017c).

the harmful gases emit from the thermal power plants are enable to minimize with the aid of the developing. The methods used to clean these gases and minimize their damage that is called flue gas treatment. More than two hundred processes have been developed in relation to flue gas (SO_x) desulphurization. Due to the fact that some of these more than two hundred processes have been left for economic and technical reasons, and some are processes that have not yet been put into practice (Anonymous, 2017d).

CO_2 removal systems can generally be examined in two groups, wet and dry systems. In wet systems, flue gas comes out of the system saturated with water vapor. In dry systems, SO_2 purification is achieved by gas-solid contact. A large number of processes proposed have found twenty

industrial application areas. It is also stated that up to twenty processes have been developed in industrial using (Anonymous, 2017a).

The most obvious and common of these methods is the use of wet limestone. Lime and SO_2 form a precipitate by entering the reaction. This prevents the release of harmful gases. Before the flue gas is released, the harmful gas content is absorbed by the lime with various filter systems. There are many methods similar to this, the same process can be done by soda. But lime is the most preferred material both in terms of availability and cost (Anonymous, 2017a).

4 FLUE GAS RELEASING IN POWER PLANTS PREVENTING MATERIALS

Over 200 chemical processes have been developed in order to purify flue gas from SO_2 gas. Different products have been used depending on these processes. However, some of these transactions have been abandoned due to technical and economic reasons. The other part has not been implemented as an experimental scale and remained at the stage of research and development. Desulfurization materials commonly used in the world include Calcium, Magnesium and Sodium and boron. Calcium compounds are important due to technical and economical factors. In addition, some researchers claim that polymer materials made from fly ash in coal can be used in desulphurisation. The technical characteristics of using the materials are important in the desulfurization process (Wang, et. al., 2004; Xiong, et al., 2016; Yeboah et. al., 2015).

Alkali (Na and NH_4) compounds including Na_2SO_3 (double alkali) Na_2CO_3 - NaHCO_3 (Trona) and NH_3 - NH_4 (single alkali) are used in flue gas desulfurization (FGD). In products containing only one alkali, NH_3 gas was introduced and techniques were developed to employ absorption liquids containing NH_4 ions. Systems made with this method cost more but do not generate solid waste. For products containing double alkali, the SO_2 gas is

absorbed in the aqueous treatment with sodium carbonate or NaHCO_3 . Since the solubility of sodium salts is much higher than that of Ca salts, all the products formed in the reactions in the wet treatment are in solution and the formation of solids is very low (Wang et al., 2004).

Magnesium compounds react with SO_2 gas and occur MgSO_3 MgSO_4 salts. This system increases costs because of excessive energy consumption (Wang et al., 2004).

Calcium compounds are similar in many ways to dry and wet processes in SO_2 gas desulphurisation. The reaction is convenient in terms of efficiency and process economy. In limestone process lime is used as reactive substance and lime is used in lime process. However, the use of limestone requires different feeding preparation equipment and other differences used in preparing lime muds (Wang et al., 2004).

In the use of boron compounds, Li et al., In 2010, studied SO_2 with sodium borohydride (NaBH_4) at 30 °C temperature, 1 minute reaction time and 59% in pyritic sulfur, 15% in organic sulfur, Up to 40.8% and showed a 3.4% to 6.9% increase in calorific value during this process. (Li et al., 2010). But The use of boron compounds is not often used, although it is successful in practice.

The desulphurization process also takes place with the new polymer material which is formed by the combination of the geopolymer materials and the coal waste ash. It was found that this material has a high alkalinity ratio due to the aluminium silicates and silicates, and it was found that the reaction with SO_2 was easy to enter (Yeboah et al., 2015).

Marble waste (powder) is occurred during the production of marble, the Chemical compositions of marble wastes are comparable with limestones. Therefore, the marble powder can be used instead of limestone flue gas desulfurization. In view of these, the marble powder can be alternative sorbent in flue gas desulfurization. Global stone industry production 2.5 tons of finished stone products, will produce 1 ton of stone waste

slurry. At present, Stone waste treatment and utilization of relatively low level, a large amount of cultivated land was occupied by Marble waste, so that water and air are polluted. Especially in the past 10 years, with the rapid development of stone production, the quantity of waste is increasing. Waste to treasure has become the top priority for environmental protection department. The main features of the marble waste powder are: first, the marble waste powder has a large specific surface area, can be better reaction with SO_2 ; Second some marble waste powder with high content of calcite, is conducive to the dissolution of marble; last, Marble has high whiteness, the gypsum produced by desulfurization has good white color, it is easy to recycle (Wang et al., 2017).

5 USING MARBLE WASTES IN COAL POWER PLANTS

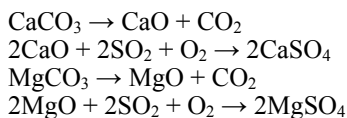
A great number of limestone is used for air pollution control process in thermal power plant. Most of these process are used SO_2 emissions control. But utilization of FGD gypsum rate is lower (Wang and Deng, 2015). In this reason, marble wastes are important for flue gas desulfurization.

The use of marble mud residue, which creates environmental pollution, in Thermal Power Plant Chimney Gas Treatment Plants is important both in reducing environmental impact and in providing an economic contribution without bringing new burdens to the environment (Anonymous, 2017a).

Some marbles contain over 95 % CaCO_3 . Such “chemical grade” materials are particularly suitable for lime production, flue gas desulfurisation and a range of other processes. The quantities involved, however, amount at most to a few percent of the total extracted. In general, limestones react readily with acids and are used for acid neutralisation. High calcium limestones react readily with dilute hydrochloric and nitric acids at ambient temperatures, whereas dolomite and dolomitic limestones only react readily when the dilute acid is heated. The

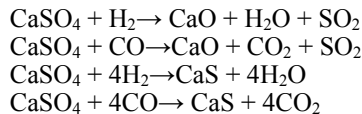
reaction of limestone with sulfurous acid (formed by the dissolution of SO_2 in air or water) is the basis of a flue gas desulfurisation process. The reactions with acids which form insoluble or sparingly soluble calcium salts (e.g., sulfurous, sulfuric, oxalic, hydrofluoric and phosphoric acids) are inhibited by the reaction product. Limestone (CaCO_3) is the most commonly compound used as adsorbent for desulfurization due to its availability and low cost. The byproducts are easily sold and the operating costs are minimized. Although lime (CaO) is more reactive with SO_2 , it is used only in specific situations because its production process (calcination) is energy intensive. (Oates, 1998; Manahan 2007; IEAGHG 2010; Souza, 2012).

Combustion in a fluidized bed has some particular benefits, including suitability for use with low-grade, high-ash coals and the lower bed temperatures compared to those in a conventional furnace. As a result of this lower temperature, the nitrogen oxide levels in the flue gas are reduced considerably. In addition, a reduction in sulfur dioxide emissions can also be achieved by mixing the coal with limestone (or dolomite). At the temperature of the bed, the carbonate is converted to the oxide, which reacts with any sulfur dioxide to give calcium (or magnesium) sulfate. (Speight, 2013).



Produced by wet limestone scrubbing. These latter species are contained in wet sludge having a high volume and a high content of salt-laden water. The mineral products of fluidized bed combustion, however, are quite dry and in a chemically refractory state, and therefore, disposal is much easier and less likely to result in pollution. The spent limestone from fluidized bed combustion may be regenerated, thereby reducing the overall requirement for lime and thereby decreasing the disposal problem. Regeneration is accomplished with a synthesis gas (consisting of a mixture of

hydrogen and carbon monoxide) to produce a concentrated stream of sulfur dioxide, which can be used to synthesize sulfuric acid to produce elemental sulfur (Speight, 2013; Makgato et al., 2017).

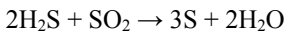


Excessively acidic precipitation is generally relatively easy to eliminate by removing combustion sources of acid. Since SO_2 and SO_3 are moderately the most common strong acid gases, they are easily removed by reaction with basic species in post-combustion deSO_x treatment systems. Apart from H_2S are removed by direct contact with an aqueous solution of limestone or lime these is sulfur dioxide, which forms sulfuric acid and nitrogen oxides, which produce nitric acid. The most common nitrogen oxide entering the atmosphere is nitric oxide, NO . Sulfur dioxide comes from sulfur in fuels, especially coal and, to a lesser extent, sulfur-containing fuel oils. Nitric oxide can come from nitrogen in fuels or by the reaction of molecular N_2 and O_2 under the high pressure and temperature conditions that occur in an internal combustion engine. The greenest remedy for acid precipitation from sulfur and nitrogen is to avoid using fossil fuels that contain these elements. Because it will likely be some time before that remedy is widely practiced, measures must be taken to eliminate these pollutants from the fuels, from the gaseous combustion products, or, in the case of nitrogen oxides, during the combustion process in the internal combustion engine. Significant progress has been made to remove sulfur from coal and fuel oil prior to combustion. About half of the sulfur in coal is in the form of mineral pyrite, FeS_2 , and the remainder of the sulfur is bound to the organic coal molecule. Various washing techniques are effective in removing pyrite from coal. Little can be done to reduce the amount of organically bound sulfur in coal except in cases where the coal is processed into a completely different fuel. Coal can be treated

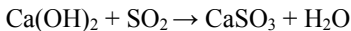
with hydrogen, steam, and oxygen to produce a combustible synthesis gas mixture of H_2 and CO . Coal gasification converts the sulfur in coal to hydrogen sulfide, H_2S , which is readily removed from the gas product. The technology for removing hydrogen sulfide from gas has long been practiced with “sour” natural gas containing a large fraction of H_2S . This is a very green process in that part of the hydrogen sulfide is burned (Oates, 1998; Manahan 2007; IEAGHG 2010; Souza, 2012; Zhang, 2013),

$$2H_2S + 3O_2 \rightarrow 2SO_2 + 2H_2O$$

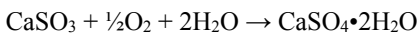
and the sulfur dioxide product is reacted with H_2S to generate elemental sulfur (the Claus reaction)



This process is the main source of commercial sulfur, one of the most widely used industrial raw materials, particularly for the production of sulfuric acid. The technology for removing sulfur dioxide from flue gas produced by combustion of sulfur-containing coal is widely practiced. The most common process for doing this is scrubbing of stack gas with basic materials. Slurries in water of lime, $Ca(OH)_2$, work well for this purpose (Oates, 1998; Manahan 2007; IEAGHG 2010; Souza, 2012; Zhang, 2013):



The calcium sulfite product can be oxidized to calcium sulfate,



Commercially, the most important application is the use of wet scrubbing with limestone for flue gas desulfurisation (FGD) at electricity generating stations. For example, a 2000MW station operating on a 2 % sulfur coal, at a 70 % load factor, requires about 300,000 tpa of limestone to remove 90 % of the oxides of sulfur. The majority of generating stations fitted with FGD use limestone, and about half of those oxidise the calcium sulfite produced to gypsum ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$). The production of calcium sulfate ($CaSO_4$) is greatly affected by temperature such that if the temperature

exceeds $985^\circ C - 1095^\circ C$ ($1800^\circ F - 2000^\circ F$), the reverse reaction will be dominant, leaving much of the sulfur dioxide unreacted. However, at lower temperatures, the retention of sulfur dioxide by the calcium carbonate is favored. For temperatures lower than $760^\circ C$ ($1400^\circ F$), several difficulties arise and the coal does not burn rapidly than the scavenging or retention of sulfur dioxide does not proceed very rapidly so heat transfer to the boiler tubes is markedly decreased. FGD is a chemical process to remove sulfur oxides from the flue gas at coal-burning power plants. Many methods have been developed to varying stages of applicability and the goal of these processes is to chemically combine the sulfur gases released in coal combustion by reacting them with a sorbent, such as limestone (calcium carbonate, $CaCO_3$), lime (calcium oxide, CaO), or ammonia. In the process, the flue gas emerges from the combustor/boiler and is contacted with the slurry of calcium salts; sulfur dioxide (SO_2) reacts with the calcium to form hydrous calcium sulfate ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$, gypsum) (Figure 1) (Oates, 1998; Manahan 2007; IEAGHG 2010; Souza, 2012; Speight, 2013; Swapan and Debnath, 2015; Makgato et. al., 2017).

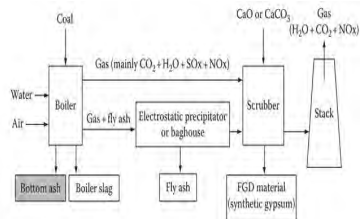


Figure 1. Process of FGD (Speight, 2013)

Figure 2 shows that FGD basic system. In this system a separate tank the produced sulfite was oxidized by the injection of air and the addition of iron and manganhydroxide. When this system first went into operation, the SO_2 emission close to the power plant increased because of the lack of thermal draft due to the temperature reduction of the flue gas entering the stack. Improvements on these early systems were

flue gas entering the stack. (Emsperger, 2003; Swapan and Debnath, 2015)

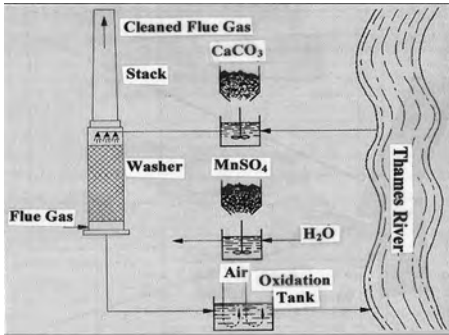


Figure 2. Basic FGD system (Emsperger, 2003)

Sulfur dioxide (SO_2) and trioxide (SO_3) are produced during the combustion process as a by-products and are present in the flue gas. They combine with moisture contained in the flue gas at a lower temperature to form sulfuric acid (H_2SO_4) and sulfurous acid (H_2SO_3). When the temperature of the flue gas falls below the H_2SO_4 dew point, drops of condensed H_2SO_4 are formed on the metal surface of air heaters and ducts exposed to the flue gas. Under these conditions, corrosion occurs because of the presence of a thin film of acidic electrolytes over the surface, giving rise to localized and uniform corrosion also known as acid dew point corrosion. It has been observed that long or extended shutdown of the unit may cause deposits of corrosion-aiding agents. Too much excess air assists formation of the SO_x ; in contrast, if the stoichiometric ratio is low, unburnt constituents also cause corrosion at waterwall surfaces. This is somewhat eliminated whenever the oxidizing atmosphere is maintained near waterwalls mainly used for delayed mixing (Throught Figure 3 and 4) Swapan and Debnath, 2015; Speight, 2013].

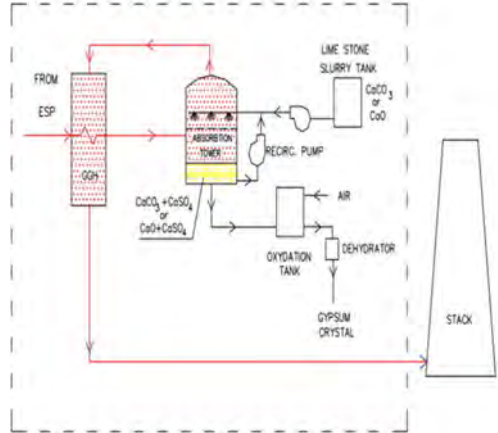


Figure 3. Schematic of FGD plants (Swapan and Debnath 2015)

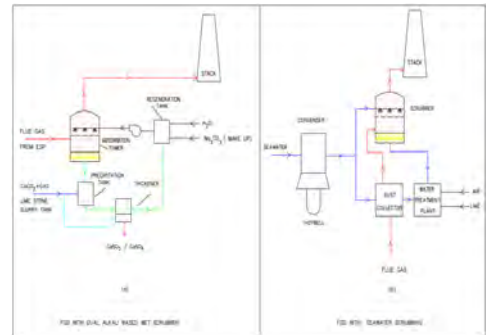
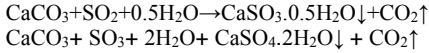


Figure 4. Schematic of FGD with dual alkali-based wet scrubber and seawater scrubbing (Swapan and Debnath 2015).

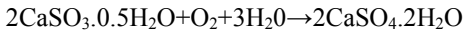
5.1 Using Wet Scrubbing for FGD

Wet scrubbing uses lime (CaO) or limestone slurries in a contacting system which is generally some form of spray tower through which the adsorbent is recycled. Since it is a water-based system, temperatures well below $100\text{ }^\circ\text{C}$ are reached as the gas approaches saturation. Reheating of the gas is necessary for discharge to the stack Coals typically contain 0.5 to 4 % by weight of sulfur in the form of iron sulfide (FeS_2), organic sulfur compounds and inorganic sulfates. Many other fuels contain significant amounts of sulfur (e.g., heavy fuel oil and PET coke). During combustion the sulfur is oxidised to sulfur dioxide, with smaller

amounts of sulfur trioxide also being produced. Sulfur dioxide is only moderately soluble in water. It dissolves more rapidly in a suspension of limestone. The reaction with limestone (Zhang, 2013; Oates, 1998;);



The mixture of calcium sulfite hemihydrate and calcium sulfate dihydrate (gypsum) comes out of solution as a finely divided precipitate. The product is not saleable and has to be disposed to tip. A further disadvantage of the process is that, because the crystallisation is not controlled, the fine particles form a thixotropic sludge which is difficult to de-water for disposal. In a development of the original process, which is widely used for new installations, the precipitated calcium sulfite is oxidised to gypsum by compressed air and the gypsum crystals are grown to a size which can readily be de-watered. The resulting product may be sold for the manufacture of gypsum plaster, or may be used for landfill (Zhang, 2013; Oates, 1998; Swapan and Debnath, 2015; Speight, 2013).



The key requirements are that the limestone should have an acceptable “reactivity” with respect to the reaction with sulfur dioxide and a high % CaCO_3 . The factors which determine the reactivity of the limestone are not fully understood, but include the magnesium content, the aluminium and fluoride contents, and the crystal structure. The rate of reaction also depends on the particle size of the limestone. Thus, while a lower reactivity can be offset by finer grinding, it raises both operating and capital costs (Zhang, 2013; Oates, 1998; Swapan and Debnath, 2015; Speight, 2013; Emsperger, 2003; Swapan and Debnath, 2015).

Wet limestone scrubbers account for roughly 80% of the current coalfired power plant desulfurization systems installed worldwide. They are installed downstream of the electrostatic precipitators to washout SO_2 using a limestone powder/water

suspension. Absorption and oxidation take place in the spray tower absorber. The flue gas moves in counter flow to the sprayed-in limestone suspension taken from the absorber sump. Proper spray geometry is essential to achieve a maximum SO_2 removal efficiency. Today, computer simulation is used to warrant optimal spray nozzle arrangements and best SO_2 removal results. As shown in Figure 5 the flue gas moves upward in the absorption zone where it is cleaned from SO_2 , water saturated, and cooled before it enters a stage demister (moisture separator). The moisture separation keeps the water droplet content and size in the flue gas small and consequently minimizes condensation effects and solid particle transfer into the flue gas discharge system. A recuperative flue gas reheater heats up the flue gas, avoiding corrosion and providing sufficient draft for the flue gas discharge through the stack. The neutralization of the absorbed gases from calcium sulfite to gypsum occurs in the absorption sump due to the injection of fresh limestone/water suspension and air as oxidizer (Emsperger, 2003; Oates, 1998; Swapan and Debnath, 2015; Speight, 2013). In Wet FGD the FG at the dew point is contacted in large vessels with a fine-grain aqueous slurry of grinded limestone containing calcium carbonate (CaCO_3) and magnesium carbonate (MgCO_3) with air injected in the bottom. In the Wet FGD SO_2 is the only component of FG which reacts with the slurry of limestone via (Rui, et. al., 2017).

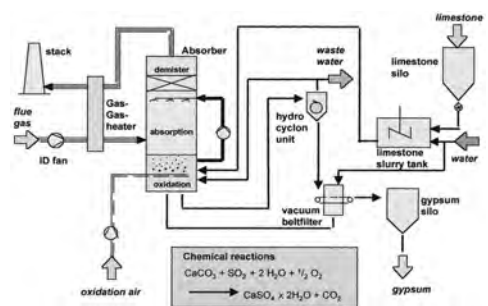


Figure 5. Wet Limestone Desulfurization System (Emsperger, 2003)

Based on experience, wet limestone scrubbers have been improved with regard to the materials used to avoid corrosion problems, but also system improvements have been made to minimize energy losses and provide a high-quality gypsum as a byproduct to be used in the construction industry (Zhang, 2013; Oates, 1998; Swapan and Debnath, 2015; Speight, 2013; Emsperger, 2003; Swapan and Debnath, 2015).

5.2 Using Dry Scrubbing for FGD

The reaction between sulfur dioxide and dry limestone is too slow to be of commercial interest. However, the reaction with quicklime is more rapid. Investigations have, therefore, been made into the in situ production of quicklime, by the injection of finely divided limestone powder into the boiler. Limestone specifications are shown Table 1 (Oates, 1998; Emsperger, 2003). A typical dry desulfurization system is the Limestone Injection into Furnace and Activation of unreacted Calcium oxide (LIFAC) process. This dry additive process is partially a primary measure, since the limestone is injected into the combustion chamber of the steam generator at a location in which the temperature level is about 1740 °F to 2100 °F (950 °C to 1150 °C) as illustrated in Figure 6. (Zhang, 2013; Oates, 1998; Swapan and Debnath, 2015; Speight, 2013; Emsperger, 2003; Swapan and Debnath, 2015).

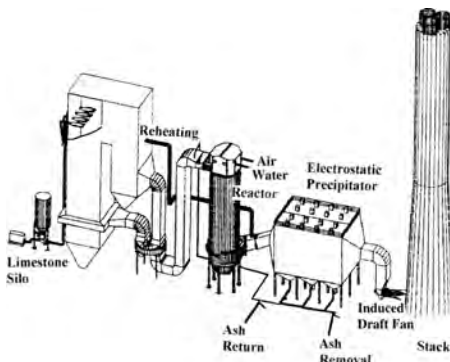
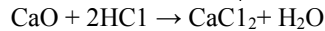
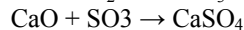
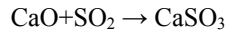


Figure 6. Dry Desulfurization System (Emsperger, 2003)

Table 1. A typical limestone specification for FGD (Oates, 1998)

Parameter	Necessity
CaCO ₃	≥ 53.2 %
CO ₂	≥ 41.8 %
Total Mg (As MgO)	≤ 0.5 %
Insoluble Si (As SiO ₂)	≤ 0.65 %
Insoluble Fe (As Fe ₂ O ₃)	≤ 0.25 %
Total Insolubles	≤ 1.0 %
Hardness (Bond Work Index)	≤ 10
Organic constituents	≤ 0.2 %
Whiteness (% absolute)	≥ 80
Chemical Oxygen Demand	≤ 150 mg/l

This consists of injecting very finely divided, ground calcium carbonate into the boiler at temperatures in excess of 900 °C. The quicklime so produced reacts with sulfur oxides to form calcium sulfite and sulfate and with hydrogen chloride to form calcium chloride (Zhang, 2013; Oates, 1998; Swapan and Debnath, 2015; Speight, 2013; Emsperger, 2003; Swapan and Debnath, 2015).



The dust (a mixture of CaO, CaCO₃, CaSO₃, CaSO₄, CaCl₂ and fly ash) is collected either in an electrostatic precipitator, or a bag filter. compares the use of finely ground limestone, with a mean particle size of 10 to 20µm, with that of hydrated lime (median particle size 2.5 to 4µm). To remove 60 % of the sulfur dioxide produced by burning bituminous coal containing 0.66 % 4 times the stoichiometric quantity of limestone needs to be added. This compares with 2 times the stoichiometric quantity of hydrated lime. comes to a similar conclusion, reporting that at a Ca + S stoichiometric ratio of 2.0, limestone calcines in about 150 mill sec. at 1200 °C and removes 30 to 40 % of the sulfur, compared with 50 to 80 % removal with hydrated lime. Although finely ground limestone costs less than hydrated lime per ton of sulfur removed, the latter has generally been favoured by operators of small to medium boilers, because of its greater reactivity and because it produces

about 40 % less residue than limestone (Zhang, 2013; Oates, 1998; Swapan and Debnath, 2015; Speight, 2013; Emsperger, 2003; Swapan and Debnath, 2015).

One of the large variety of semi-dry desulfurization systems is the spray absorption system illustrated in Figure 7.

The system is installed between the electrostatic precipitator and the power plant stack. The absorption substance of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ is injected into the flue gas producing as a final product a dry pourable matter, which is collected on the bottom of the spray absorber and in the subsequent baghouse filter. The SO_2 in the flue gas reacts with the $\text{Ca}(\text{OH})_2$ and oxygen in the flue gas to form a mixture of CaSO_3 , CaSO_4 , and water, which is then dried in the reactor of the spray absorber. A supply system provides CaO and water for the process and the end product is a deposable mixture of calcium sulfite and fly ash. Semi-dry desulfurization systems provide a removal efficiency of about 90% (Emsperger, 2003)

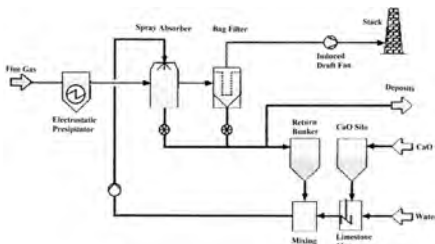


Figure 7. Semi-Dry Desulfurization System (Emsperger, 2003)

6 CHARACTERIZATION OF MARBLE WASTE IN SULFUR REACTION

There are some important research about marble (CaCO_3) waste of the particle size in the sulfur reaction rates (Jammulamadaka et. al., 2015; Altun, 2014; Altun, 2015). In a study of the sulfur reaction of the marble waste, five different marble waste samples taken from different parts of India were first subjected to TGA to determine porosity, porosity size distribution and surface area. Then the samples were analyzed in XRF and the chemical composition, petrographic

properties and mineral structure were examined. The particle size meter was then used to measure the particle size and three particle size fractions (20 + 25, 80 + 100 and 200 + 270 mesh size fractions) were created. Samples these part sizes (15 pieces) were reacted with SO_2 at 850 °C. The findings were compared with the marble wastes in the North America. It has been found that the reaction efficiency component spacing of Indian marble wastes is 53-75 μm and that of northern american marble waste component sizes is 710-850 μm (Jammulamadaka et. al., 2015).

In a survey conducted in Turkey, five different 150 μm marble samples in the mugged area were taken and subjected to XRF and XRD tests. As a result of these tests marble characters (such as mineral structure and chemical content) were determined. These samples were then reacted with SO_2 gas at 900 °C and gas emissions were examined and used a thermal analyzer an FTIR spectrometer. Dolomite (MgCO_3) in the marble contents showed a negative effect on the reactions. The reaction tendencies of the heated samples at 220, 260, 320, 520 °C were investigated and the highest reaction rate was obtained at 520 °C (Altun, 2014).

In a study on the effect of grain size on the reaction sensitivity, a study was carried out at different pH and temperature to evaluate the reactivity behavior and rates of 9 marble waste samples from the Mediterranean region. In the analysis, samples with particle sizes of -37, -44, -53 and -75 μm were reacted with SO_2 for a period of 15, 30, 50, 70, 100, 120 min after the chemical content of the samples below 150 μm was determined by XRF test. This reaction temperature was applied in combination at 25, 35, 45 and 55 °C and at pH 3, 4, 5, 6 and 7. It was found that the reaction rates of the samples below -37 μm were high and the reaction tendency increased after certain steps in some samples and the chemical changes in these processes (Altun, 2015).

7 SAMPLE APPLICATIONS

2X160 MW fluidized bed using in 18 Mart the thermal power plant characteristics thermal value; $2600 \pm 10\%$ kcal / kg, ash 32%, humidity 22%, sulfur 4%. The coal supplied from the open quarries of Çan the lignite plant is brought to the coal delivery point in the size of 0-1000 mm, the size is 0-300 mm in the first crusher, 0-30 mm in the second crusher and 0-10 mm in the third crusher and submitted.

The properties of the limestones used in the plant are as follows:

- % CaCO_3 : > 95 (weight)
- SiO_2 : % 0.56 (weight)
- Water Ratio: < 1 (weight)
- Structure: Amorphous, Reactive (min 95 g S / kg CaCO_3 According to API)
- Grain size: 0-700 micron (Anonim, 2017e).

"Flue Gas Sulfur Treatment Plant" was established in the thermal power plants existing in Muğla province and the operation was carried out. At the end of the feasibility studies on this facility, the wet limestone process, which cleans together with sulfur oxides and coke and works with at least 95% sulfur treatment yield.

1000 tons per day and 300,000 tons of limestone per year are provided by the quarry that is opened near the power plant. Due to the problems that arise during the removal of the stone quarry, the remaining rubble stones have been tried for a while and positive results have been taken from the marble quarry near the plant. (Anonymous, 2017a).

However, due to the reason that the tenderer is given according to this limestone castle, it was not accepted to bring the material from the marble quarry of the contractor firm and the "Crushing, Screening Facilities" was moved to the minaret of the limestone.

However, marble sludge from the existing "Marble quarries and Marble Processing Facilities" in this region carries the physical characteristics that enable the marble sludge to be used directly in the process without any

chemical or even crushing and milling (Anonymous, 2017a).

Coal; It contains 0,7% - 2,0% sulfur. Assuming 1% of the sulfur in the burned coal in the Gemlik thermal power plant is close to 100 tonnes of sulfur dioxide gas (SO_2) per day. In fluidized bed thermal power plants, it is said that most of the SO_2 (sulfur) formed during combustion is trapped by the limestone fed with coal into the combustion chamber without the need for an additional flue gas treatment plant. The limestone fed to the burner realize the desulphurisation reaction. For this reason, abundant amounts of limestone are also consumed in such plants. Limestone exceeding 100 tonnes per hour in Gemlik thermal power plant will be used and the annual requirement is calculated as 840.000 tons. It is also proposed that low combustion temperature (850 °C) in the fluidized bed combustion technology can be reduced to low levels by means of the gradual air supply technique, which is caused by the fuel nitrogen, which has lowered the nitrogen oxyntesis (thermal NO_x formation). However, this technology can never reset SO_2 and NO_x emissions and it does not interfere with the atmospheric release of these gases, which together with carbon monoxide contribute to climate change and global warming (Anonymous, 2017f).

8 CONCLUSIONS

Various materials can be used such as NaBH_4 and fly ash polymer for flue gas desulfurization. But, nowadays marble waste is the most economic and efficient in SO_2 reactions. In addition to marble wastes are more plentiful than other materials. chemical content, ambient temperature, grain size and pH is important role selection of marble waste in reaction efficiency.

Large amounts of debris are formed during the selection of the appropriate production method for the geological, tectonic and crystal structure of the marble quarry, or when the cut blocks are sized in the mills. The availability of these wastes means that there is an environmental

problem as well as industrial gains. Alternative solutions for the assessment of marble wastes will provide resources to marble operators and the country's economy as well as damage to the surrounding area.

One of the different uses of marble residues is Thermal Power Plant Chimney Gas Treatment Plants. Thermal power plants where coal and lignite are used are spreading due to the excess of solid fossil fuel resources in order to meet the increasing energy demand. The important point here is to design and use systems that meet your energy needs while minimizing environmental risks and harms.

In this study, the use of marble waste for the decomposition of greenhouse gases (such as CO_x, SO_x) and the properties required for limestone were investigated. In this context, we tried to give examples from some applications in our country.

REFERENCES

- Akbulut H., Güner C., 2003, Mermer Atıklarının Çevresel Etkileri ve Yol Katmanlarında Tekrar Kullanım İmkanları, *Türkiye IV. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Afyonkarahisar.
- Altun, N. E. (2014). Assessment of marble waste utilization as an alternative sorbent to limestone for SO₂ control. *Fuel Processing Technology*, 128, 461-470.
- Altun, N. E. (2015). Reactivity of marble wastes for potential utilization in wet flue gas desulfurization. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 52.
- Anonymous, 2017a, <http://www.muglahaber.com.tr/mermer-camurlarinin-termik-santralda-kullanilmasi/>
- Anonymous, 2017b, <http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/termik-santral-sistemleri/8763#ad-image-0>
- Anonymous, 2017c, <http://www.enerjigunlugu.net/icerik/3234/dunyan-in-en-kirli-termiksantralleri.html#WK7jzpW7rX4>
- Anonymous, 2017d, <http://www.muglahaber.com.tr/mermer-camurlarinin-termik-santralda-kullanilmasi/>
- Anonymous, 2017e, http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/b81c4484ebf263f_ek.pdf?tipi=2&turu=X&sube=0
- Anonymous, 2017f, <http://dogader.org/index.php/bilgi/246-gemlik-ve-termik-santral>
- Bilensoy, M., 2010, *Mermer Fabrikaları Toz Atıklarının Değerlendirilmesi*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Ceylan, H. ve Mança, Mermer Parça Atıklarının Beton Agregası Olarak Değerlendirilmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi*, 3, 2, 21-25, Isparta
- Emsperger, H. T. W., 2003. Clean And Efficient Coal-Fired Power Plants Development Toward Advanced Technologies, *ASME Press*, New York, 143 p.
- IEAGHG, 2010, Retrofitting CO₂ Capture to Existing Power Plants,
- IEAGHG (IEA Greenhouse Gas R&D Programme), Report 2011/2, May 2011.
- Jammulamadaka, H. S., Vuthaluru, H. B., French, D. H., & Pisupati, S. V. (2015). A study of Indian limestones for sulfur capture in FBC plants: Particle size sensitivity of sulfation behavior. *Fuel*, 161, 376-383.
- Li, Z., Sun, T. and Jia, J. 2010. An extremely rapid, convenient and mild coal desulfurization new process: Sodium borohydride reduction. *Fuel Processing Technology*, 91, 1162-1167.
- Makgato, S. S., & Chirwa, E. M. N. 2017. Waterberg coal characteristics and SO₂ minimum emissions standards in South African power plants. *Journal of Environmental Management*, 201, 294-302.
- Manahan, S. E., 2007. *Environmental Scienc and Technology A Sustainable Approach to Green Science and Technology (SECOND EDITION)*, CRC Press, Boca Raton, 646 p.
- Oates, J. A. H., 1998. *Lime and Limestone Chemistry and Technology, Production and Uses*, Wiley-VCH, Derbyshire-England, 455 p.
- Onur S., 2012, Mermer ve Doğal Taş İşletmelerinden Türeyen Artıkların Değerlendirilmesi, *Standard Ekonomik ve Teknik Dergi*, TSE, Yıl: 51, Sayı: 606, KASIM 2012.
- Rui de Paula, V., de Medeiros, J. L., Araújo, O. D. Q. F., de Andrade Cruz, M., Ribeiro, G. T., & de Oliveira, V. R. (2017). Fluidized bed treatment of residues of semi-dry flue gas desulfurization units of coal-fired power plants for conversion of sulfites to sulfates. *Energy Conversion and Management*, 143, 173-187.
- Shirazi, E. K., 2011, Reusing of stone waste in various industrial activities, *2nd International Conference on Environmental Science and Development*, IPCBEE vol.4, IACSIT Press, Singapore.
- Souza, G. F. M. D. (ed.), 2012. *Thermal Power Plant Performance Analysis*, Springer, London, 287 s.
- Speight, J. G., 2013. *The Chemistry and Technology of Coal (Third Edition)*, CRC Press, Boca Raton, 807 p.

- Speight, J. G., 2013. *Coal-Fired Power Generation Handbook*, Scrivener Publishing, Massachusetts, 736 p.
- Swapan B. and Debnath A. K., 2015. *Power Plant Instrumentation and Control Handbook A Guide to Thermal Power Plants*, Academic Press, London, 921 p.
- Xiong, T., Jiang, W., & Gao, W. 2016. Current status and prediction of major atmospheric emissions from coal-fired power plants in Shandong Province, China. *Atmospheric Environment*, 124, 46-52.
- Wang, X., and Deng, J. 2015. Advances in Utilization of Flue Gas Desulfurization Gypsum, *5th International Conference on Advanced Design and Manufacturing Engineering (ICADME 2015)*, 1207-1213 p., Shenzhen-China.
- Wang H. Z., Liao L. and Hu W. X. 2017. Research Progress of wet FGD process with waste marble, *6th International Conference on Energy, Environment and Sustainable Development (ICEESD 2017)*, 671-674 p., Zhuhai, China.
- Wang, L. K., Pereira, N. C., & Hung, Y. T. (Eds.). 2004. *Air pollution control engineering (Vol. 1)*, Totowa, NJ: Humana press. Totowa-New Jersey, 504p.
- Yeboah N. N. N., Ellison K. M., Minkara R. and Rhodes D. 2015. Treatment And Disposal Alternative For Flue Gas Desulfurization Wastewater, *World Of Coal Ash Conference 2015 (WOC/A)*, 1-13 p., Nashville TN, USA.
- Zhang D., (ed.) 2013. *Ultra-Supercritical Coal Power Plants Materials, Technologies And Optimisation*, Woodhead Publishing, Cambridge, 282 p.

Mermer Atıkları ve Pasalarının Değerlendirilmesi *Evaluation of Marble Waste and Markets*

R. Kocaman

MİGEM Strateji ve Koordinasyon Dairesi, Ankara

B. Kocaman

MİGEM Metalik Madenler ve Enerji Hammaddesi Dairesi, Ankara

S. Ateş, H. Toprak

Bartın Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bartın

ÖZET Günümüzde ülkemiz Mermer ve Doğal taş bakımından renk ve çeşitlilik bakımından zengin konumdadır. Bu sebeple mermer sektöründe dünyada söz sahibi bir ülke konumuna gelmiştir. Maden ihracatı bakımından da önemli bir girdi sağlamaktadır. Mermer üretimi iyi etüt edilip projelendirilmediği için ise sürekli kaynak kayıpları ve ekonomik zararlar olmaktadır. Bunların yanında çalışan ocaklarda kaynaklarımızda her geçen gün azalmaktadır. Ülkemize sağlayacağı yararlardan dolayı mermer üretimimizi en verimli şekilde yapmamız gerekir.

Bu çalışmada verimi düşük olan mermer işletmelerinde pasaların değerlendirilmesine dikkat çekilmeye çalışılarak mermer pasalarının mikron seviyede öğütülüp kompozit malzemede de kullanılması üzerinde durulacaktır. Mermer atıklarının değerlendirilmesi çevre açısından da önem arz etmesi sebebiyle çevreye olan zararda azaltılabilecektir.

ABSTRACT Today our country is rich in color and diversity in terms of Marble and Natural stone. For this reason, marble industry has become a country with a say in the world. The mine also provides an important input for exports. Since marble production is not well studied and projected, there are continuous resource losses and economic damages. In addition to these, in our working quarries, our resources are decreasing day by day. We need to make our marble production in the most efficient way because of the benefits it provides to our country.

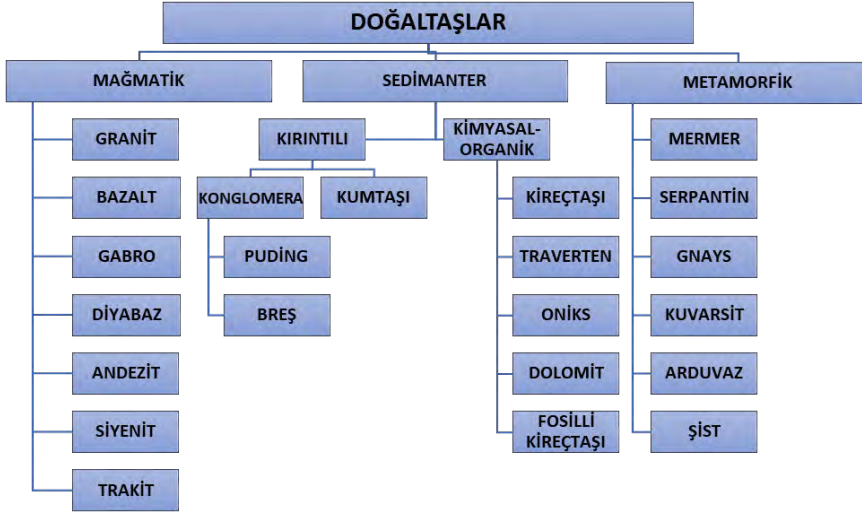
In this study, it will be tried to draw attention to the evaluation of passages in marble enterprises which are low in yield, and to use marble passages in micron level and to use them in comparative materials. The assessment of marble waste can also be reduced to environmental damage due to environmental considerations.

1 GİRİŞ

Genel olarak kalsit kristallerinden oluşan mermerin kimyasal bileşimi kalsiyum karbonat (CaCO_3) veya kalsiyum magnezyum karbonat dolomit (CaMgCO_3) olup, mermer kayaçları karbonatlı taşların doğada ısı ve basınç altında yeniden kristalleşmesiyle oluşmakta olduğu belirtilmiştir. Ticari anlamda ise, standartlara uygun blok verebilen, kesilip parlatılan ve

özellikleri itibarıyla kaplama taşı normlarına uygun olan her tür taş “mermer” olarak tanımlanmaktadır. Bu yüzden kısaca “doğal taş sektörü” olarak tanımlanan bu sektörde mermerin yanı sıra traverten ve oniks, renkli kalker ve dolomitler, granit grubu magmatik ve volkanik taşlar, kumtaşları ve konglomeralar gibi taş türleri de bulunmaktadır (Yüzer, 2003).

Çizelge1. Doğal Taşların sınıflandırılması



Doğal taşlar eski devirlerden günümüze gerek yapı sektöründe gerekse sanatta kullanılan en önemli malzeme olmuştur. Tarihsel süreç boyunca iç ve dış mekân mimarisi, inşaat, kaplama, döşeme, süsleme ve heykeltiricilikte kullanılan doğal taşlar, atmosfer şartlarına dayanıklılığı, işlenebilirliği ve geniş kullanım olanaklarıyla günümüz modern yapı sektörü için önem taşıdığı vurgulanmaktadır. Doğal taşın değeri son yıllarda dünya çapında ve özellikle Türkiye'de doğal taş sanayi ve ticaretinin yükselişine paralel olarak artmaktadır.

Mermer olarak kullanılacak niteliklerdeki kalker, dolomitik kalkerler ve kalkbreşler ise, genellikle Alp Kuşağında, bu kuşağın çevresindeki Mesozoik ve Tersiyer oluşumları içerisinde yer aldığı belirtilmiştir. Kalker ve dolomitik kalkerlerin bulunduğu yerler çok değişik jeolojik yapı gösterirler. Kalkbreşler ise tektonik zonlarda ve uygun sedimantolojik ortamlarda bulunur. Değişik yapı ve dokunun bulunması kalker oluşumu esasından kaynaklanmaktadır. Dünya üzerindeki mermer olarak kullanılacak önemli kalker oluşumlarının ayrıntılı durumları ve korelasyonları hakkında ayrıntılı araştırmalar bugüne kadar yapılamamıştır. Ancak, genel olarak makro düzeyde bilgi verebilmek açısından jeolojik

yapısına göre kısmen tahmini olarak değerlendirilebilir.

Dünyadaki doğal taş rezervleri incelendiğinde Portekiz, İspanya, İtalya, Yunanistan, Türkiye, İran ve Pakistan gibi ülkelerde karbonatlı kayaç rezervlerinin; Çin, Hindistan, Brezilya ve Rusya gibi ülkelerde ise işletilebilir sert kayaç (magmatik kayaç) rezervlerinin yoğun olduğu görülmektedir.

Dünya doğal taş ihracatında miktar olarak başı çeken ilk beş ülke Türkiye, İtalya, İspanya, Portekiz ve Çin olup, değer olarak en fazla payı alan ülkeler Türkiye, İtalya, Çin ve Hindistan'dır.

Dünya coğrafyasına baktığımız zaman petrografide mermer olarak adlandırılan kristalin kalkerler (mermerler), jeoloji ve jeomorfoloji terminolojisinde Alp Kuşağı, Ege Adaları, Anadolu Yarımadası, İran, Pakistan ve Hindistan'dan (Himalaya Yükseltisi) Çin'e kadar uzanan alanda bulunmaktadır. Değerlenen bu geniş alan jeoloji olarak hemen hemen aynı yapıya sahip bulunmaktadır. Ayrıca, metamorfik (başkalaşım) masifler içinde zuhur eden mermerler ve magmatik orijinli olan kayaçlar, Hersiniyen Orojenik kuşağına ait olan eski Kristalin Masiflerin (Kanada, İsveç, Anadolu, Urallar-Sibirya, Güney Afrika, Güney Amerika ve Avustralya)

bulunduğu yerlerde görülmektedir. (URL-1)

Ülkemizde doğal taş yatakları konusunda en zengin iller; Balıkesir, Afyon, Bilecik, Denizli, Eskişehir, Uşak, Muğla, Amasya, Tokat, Çanakkale, Elâzığ ve Diyarbakır'dır. Ancak, mermer rezervlerinin yaklaşık %74'ü beş ilde bulunmaktadır: Balıkesir (%36), Denizli (%12), Afyon (%12), Tokat (%8), ve Çanakkale (%5).

Türkiye'de üretilen ve uluslararası piyasada en tanınmış mermer çeşitleri, Süpren, Elâzığ Vişne, Akşehir Siyah,

Manyas Beyaz, Akşehir Siyah, Manyas Beyaz, Bilecik Bej, Kaplan Postu, Denizli Traverten, Ege Bordo, Milas Leylak, Gemlik Diyarbaz ve Afyon Şeker'dir.

Uzun yıllar ekonomimiz içindeki gerçek potansiyeline ulaşamamış olan doğal taş sektörümüz, 1985 yılında Maden Kanunu kapsamına alınması ile yeni bir döneme girmiştir. Sektör, bu tarihten sonra her geçen yıl bir önceki yıla göre biraz daha büyümüş ve bugün maden ihracatımız içinde ilk sıradaki yerini almıştır.

Çizelge 2. Türkiye'de doğal taş üretimi [URL-1]

	2011	2012	2013	2014	2015	
İgnimbrit	55.873	14275	29380	32.195	36.579	m ³
Mermer	4.086.222	4.488.947	4.255.545	4.220.564	5.618.435	m ³
Oniks	7.678	13.335	15.665	10.688	6.905	m ³
Traverten	1.685.049	797.915	713.697	812.840	1.239.369	m ³
Toplam	5.834.822	5.314.472	5.014.287	5.076.287	6.896.288	m ³
M ³ =2,7 Ton	15.754.019	14.349.074	13.538.575	13.705.974	18.619.978	m ³
Andezit	2.878.093	2.891.804	3.358.863	6.803.746	4.860.348	ton
Bazalt	18.656.135	19.300.297	23.422.845	21.966.172	22.710.931	ton
Granit	245.911	566.650	896.348	1.219.916	157.463	ton
Dekoratif taş + Mozaik + Kayrak vd.	651.932	296806	641.662	1.242.236	108.155	ton
Serpantin	2.514.601	1.025.427	14.701	13.112	138.454	ton
Yapıtışı	270.270	65.756	37.945	33.553	68.302	ton
Diyarbaz	293.77	94.835	335.958	226.939	331.027	ton
Gabro			252.463	255.070	198.947	ton
Toplam	25.510.719	24.241.571	288.960.785	31.760.744	28.573.627	ton
Genel Toplam	41.264.738	38.590.645	42.499.360	45.466.718	47.193.605	ton

Günümüzde klasik mermer üretim yöntemleri terk edilerek modern üretim yöntemlerine geçilmiştir. Mermer işleme kapasiteleri sürekli büyümekte, modern tesislerimizin sayısı sürekli olarak artmakta ve uzun yıllar blok mermer üzerine olan ihracatımız artık büyük oranda mamul hale getirilerek yapılmaktadır. Mermer sektöründe, 2.468 adet mermer işletme izni ruhsat sahası (mermer ocağı), küçük ve orta ölçekli yaklaşık 2.000 fabrika ve 9.000 atölyede bulunmakta ve yaklaşık 300.000 kişi istihdam edilmektedir. Üretimin tamamına yakın kısmı özel sektör tarafından yapılmaktadır. Türkiye'de 2015 yılında yaklaşık 18,6 milyon m³ doğal taş üretimi yapılmıştır.

Mermer, blok veya kesilmiş parlatılmış olarak ihraç edilmektedir. Doğal taş

ihracatında katma değeri en yüksek ürün, işlenmiş mermer ve işlenmiş travertendir. Sektörün ihracat potansiyeli, yatırımlara paralel olarak hızla gelişmektedir. 2003-2016 arasında doğal taş ihracatımız %333 artışla 1,5 milyon tondan 6,5 milyon tona yükselmiştir.

İhracat geliri ise 2014 yılında 2,1 milyar dolardan 2015 yılında 1,9 milyar dolara düşmüştür. 2013 yılı doğal taş ihracatının %53,7'sini işlenmiş ürünler oluşturmaktadır. İhracatın en önemli kısmını oluşturan işlenmiş mermer ve traverten ihracatında ilk sırada yer alan ülke ABD'dir. ABD'yi Suudi Arabistan, Irak takip etmektedir. Blok mermer ihracatında ise en önemli alıcı yine Çin Halk Cumhuriyeti'dir. Bu ülkeyi sırasıyla Hindistan ve Tayvan takip etmekte olduğu belirtilmiştir.

Dünya doğal taş ihracat sıralamasında daha birkaç yıl öncesine kadar sekizinci sırada yer alan Türkiye doğal taş sektörü, 2006 yılı itibari ile beşinci sıraya yükselmiştir. Özellikle mermer ve traverten ihracatında 2009 yılında da Çin, İtalya ve İspanya'yı geride bırakarak en fazla ihracat gerçekleştiren ülke olduğu belirtilmiştir. (URL-2)

Doğal taş ve mermer üretimlerimiz yanında mermer ocak işletmeciliği ve üretim tesislerinde ortaya çıkan parça ve toz boyutundaki atıkların miktarı yaklaşık %30'u toz atık olarak çıkmaktadır. Büyük oranlardaki bu atıkların geri kazanımı ve yeniden kullanımı hem çevrenin ve hem de doğal kaynakların korunması bakımından önem taşımaktadır (Ayhan vd., 2009'a atfen Demir vd., 2014). Mermerlerin kesiminde ortaya çıkan ince şlam boyutundaki parçacıklar başlangıçta ıslak olarak depo edilmekte veya doğrudan araziye bırakılmaktadır. Mermer atıkları, oluşum yerlerine göre ocakta oluşan ve fabrikada oluşan atıklar olarak, boyutlarına göre ise; molozlar, kapaklar, paledyenler ve tozlar olarak gruplandırılır. Mermer tozu, en küçük boyutlu mermer atıklarıdır. Mermer işleme tesislerinde blokların ve plakaların kesilmesi sırasında oluşan, öğütme işlemine tabi tutulmadan kolloidal yapıda bulunan ve büyük çoğunluğu da 250 µm'nin altında olan mermer tanecikleridir (Demir vd., 2014). Mermer tozu yer altı su yollarını bloke ettiğinden yeraltı su seviyesinin düşmesine; yeraltı suyuna karışan ince malzeme yeraltı su kalitesinin düşmesine ve çok ince bir yapıya sahip olan toz atıklar kuruduktan sonra havada uçarak insanlarda solunum yollarının tıkanmasına neden olmaktadır. Topraktaki gözenekleri tıkayarak toprağın havalanmasını önlemektedir (Demir vd., 2014).

2 MERMER ATIKLARI

Mermer işletmeciliğinde blok olarak mermerin ocaktan çıkarılması veya mermer fabrikalarında ürün haline dönüşmesi esnasında değişik boyutlarda gerek parça gerekse toz atıklar oluşmaktadır. Ocaklarda

kayaç yapısındaki süreksizlikler sebebi ile, kayacın uygun blok vermediği durumlarda da mermer atıkları (moloz) oluşmakta ve bu parçalar genellikle bir kullanım sahasında değerlendirilmesi düşünülmeyen veya nakliye masrafları dolayısıyla ocaklarda bırakılmaktadır (Yıldız,2004). Mermer fabrikalarında oluşan atıklar, boyutlarına göre sınıflandırılması ise

➤ İri boyutlu parça mermer atıkları (Boyutlar birkaç cm den birkaç metreye kadar çeşitli ebatlarda ve kübik, yuvarlak ve yassı şekillerde olabilmektedir),

➤ Colloidal yapıda, büyük miktarı 150 µm'nin altında ve maksimum boyutu 2 mm'ye ulaşabilen toz atıklar (Şentürk, 1996)

Atık mermer miktarı mermerin mineralojisine, mermer kayacının süreksizlik ve çatlak yapısına, ocaktan mermer üretimine ve mermer fabrikalarındaki ürün elde edilmesine bağlı olarak farklılıklar gösterir (Yıldız, 2008).

Mermer ocaklarında açığa çıkan ve boş arazilere dökülen, kum çakıl boyutundan iri bloklara kadar çok çeşitli boyutlarda olabilen parça atık malzemeler, çıkartılan kayaç kütlelerinin %40'ını oluşturmaktadır. Mermer fabrikalarında ise işlenen mermerlerin ortalama %30'unun toz olarak atıldığı hesaplanmıştır (Yıldız, 2008 ve Eski kaya, 1995). Mermer çamuru atığı ise toplam mermerin yaklaşık olarak %20'si oranındadır. Bu çamur yaklaşık 35%- 45% arasında su muhtevasına sahiptir (Vijayalakshmi, 2001; Yıldız, 2008).



Şekil 1. Mermer ocağından görünüm

3 MERMER PASALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

3.1 Mermer pasalarının değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalar

İnşaat Endüstrisinde geri dönüşüm ve hammadde kaynağı olarak farklı yapı malzemesi değerlendirilmesi üzerine Güre ve arkadaşları 2004 çalışmalarında mermer atıkları etkin bir şekilde inşaat sanayisinde değerlendirilerek ekonomik olarak geri kazanılmalı ve çevresel zararları azaltılmasına değinmişler, Ülkemizde beton kaplamaların yollarda henüz yaygın bir şekilde uygulama bulmamasına karşın, bu tür rijit kaplamaların kullanıldığı ülkelerde beton agrega geri dönüşüm (RCA) uygulamaları çok sık kullanılmakta olduğu, Elde edilen ekonomik kazanç ve hammadde miktarı düşünüldüğünde bu tür kaplamaların ülkemizde de kullanılmaya başlanmasıyla beton agrega geri dönüşümü gündemdeki konulardan biri olacağı şeklinde belirtilmiştir. Ünal A., ve Uygunoğlu 2004, çalışmalarında Afyon mermer tozu ve soma uçucu kül katkılı betonların donma – çözülme özellikleri ve ekonomik değerlendirilmesini araştırmışlardır. Karışımda mermer tozu veya uçucu kül kullanılması halinde betonun işlenebilme" özelliğinde olumsuz bir etki görülmemişlerdir.

- Beton üretiminde ince malzeme miktarının %10-15 oranında mermer tozu ile değiştirilmesi halinde dayanımda şahit numuneye göre önemli bir azalma görülmemekte olduğunu belirtmişlerdir.

Uçucu kül katkılı betonlarda ise bağlayıcının belirli kısmı uçucu kül ile değiştirilmesi halinde dayanımlarda bir değişiklik görülmemiş olduğunu belirtmişlerdir.

- Her iki serinin basınç dayanımları şahit numuneye göre incelendiğinde olumsuz etki mermer tozu katkılı betonlarda uçucu küllü betonlara göre daha fazla olduğunu gözlemlemişlerdir.

- Mermer tozu katkılı betonlarda dayanımlar azalırken görünen porozite ve difüzyon katsayıları artmış uçucu küllü

betonlarda ise bu ilişki tersine değişmiş olduğunu belirtmişlerdir.

- Donma çözülme etkisinde numunelerin elastisite modüllerindeki değişimleri, mermer tozu katkılı betonlarda azalma eğiliminde, uçucu küllü betonlarda ise artma eğiliminde olduğunu gözlemlemişlerdir.

Endüstriyel atıklar olarak isimlendirilen mermer tozu ve uçucu külün %10-15 oranlarında ayrı ayrı beton karışımlarında değerlendirilmesinin yanı sıra birlikte karışıma katılması ile de olumlu sonuçların alınacağı söylenebileceğini belirtmişlerdir. Böylece çevreye verdikleri zarar en aza indirilerek ekonomik yarar sağlanmış olunacağı vurgulamışlardır. Zorluer İ., ve Usta 2003 Çalışmalarında atık mermer tozunun Zemin iyileştirilmesinde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Zemin iyileştirmesinde deneylerle etkin karışımın hazırlanması gerektiğini vurgulamışlar, Mermer tozu bir atık olduğu için, zemin iyileştirmesinde kullanılması mermer tozundan kaynaklanan çevre kirliliğinin önlenmesi veya azaltılması yönünde katkı yaparken ekonomi de sağlayacağı vurgulanmışlardır. Akbulut., H. ve Güre 2006 çalışmalarında Atık mermerlerin asfalt kaplamalarında agrega olarak değerlendirilmesini araştırmışlardır. Agregalar ve sıcak karışımlar üzerinde yapılan deneyler sonucunda mermer' den üretilen agregaların şartname değerlerini sağladığı düşük ve orta trafik hacimli asfalt kaplamaların binder tabakalarında agrega olarak değerlendirilebileceğini belirtmişlerdir. Ünal., O, Kibirci 2001 çalışmalarında Mermer tozu atıklarının beton üretiminde kullanılmasını araştırmışlardır. Mermer tozlarının beton karışımında kullanılması beton kalitesinde olumsuz bir etki oluşturmadığı gözlemlemişlerdir. Bu açıdan bilhassa Afyon bölgesinde işleme sonucu açığa çıkan mermer atıkları diğer sanayilerde olduğu gibi hazır beton tesislerinde de ince malzeme olarak değerlendirilebileceği vurgulamışlardır. Ekonomiye katkısının yanında çevresel kirliliğinde azalmasına yarar sağlanabilir olduğuna değinmiştir.

Çavuş, Ş., U çalışmasında Mermer parça atıklarının taşkın koruma ve Akarsu Yatakları Islah yapılarında kullanımını araştırmıştır. Mermer parça atıkları taşkın koruma duvarları ile diğer taşkın yapılarında teknik ve ekonomik açıdan kullanılabilir olduğu belirtilmiştir. Ural, N., ve Yakşe çalışmalarında Atık mermer parçalarının yol temel malzemesi olarak değerlendirmesini araştırmışlardır. Deneylerde kullanılan mermer atıkları, Karayolları Teknik şartnamesinde belirtilen temel malzemesi gradasyonu aralıklarında hazırlanarak, şartnamede belirtilen fiziksel özellikleri taşıyıp taşımadıkları kontrol edilmiş. Mermer atıklarının Karayolları Teknik şartnamesinde belirtilen alt temel/temel malzemesi fiziksel özelliklerini sağladığı görüldüğü belirtilmiştir.

4. DENEYSSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmamızda numune olarak, mermer sektöründe yıllarca lokomotif görevi yapan Afyonkarahisar ili mermerlerinin işlendiği İscehisar'daki mermer fabrikası atıkları seçilmiştir.



Şekil 2. Mermer atık malzemesinden görünüm

2 adet 25 kg numune torbalara doldurulup Üniversite laboratuvarına götürülmüştür. İşlem prosesi olarak ilk önce bilyalı değirmende öğütülme işlemine tabii tutulmuştur.



Şekil 3. Kalorifer katı atığı (kömür cürufu) görünüm



Şekil 4. Bilyalı değirmenden görünüm

Öğütülen mermer atıkları 2. Aşama olarak boyutlandırma için sallantılı elekten geçirilmiştir. Eleme işlemi sonucu olarak 25, 49, 67, 80, 90 mikron numuneler hazırlanmış ve 25, 49µm arası (49-25 µm) olanlar kullanılmıştır.



Şekil 5. Malzemenin elekten elenmesinden görünüm

Kompozit malzemesi yapımı için hazırlanan Al 6061, Al₂O₃ alaşımı, SiC ve MgO ek olarak takviye amaçlı mermer tozları %1- %3 ve %5 oranlarında hazırlanan numunelerde kullanılarak özel döküm potasına konulmuştur. Kompozit üretim yöntemi olarak sıcak döküm yöntemi seçilmiştir.



Şekil 6. Özel potada ısıtılan malzemeden görünüm

Özel olarak hazırlanan döküm potasında + 8000 C kadar ısıtılarak malzemeler ve partiküler karıştırılarak kalıplara dökülüp deney numuneler hazırlanmıştır.

Çelik kalıp kullanılıp numune dökümü yapılarak başarılı şekilde kompozit malzeme dökümü yapılmıştır.



Şekil 7. Mermer atıkları kullanılarak gerçekleştirilmiş kompozit malzemeden görünüm

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemiz de hammaddeye ihtiyaç her geçen gün artmaya devam ettiği için atık malzemelerinde en iyi şekilde değerlendirilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır. Mermer atıkları daha çok inşaat sektöründe yol yapımında agrega üretiminde çimento üretiminde katkı malzemesi, asfalt kaplamasında beton yapımında zeminlerin iyileştirilmesi, yol temel malzemesi olarak kullanımının yanında farklı amaçla kullanılması ile ilgili çalışmalar da devam etliği görülmüştür. Mermer atıklarının değerlendirilmesi araştırılmasına dikkat çekerek kompozit malzeme yapımında hammadde girdisi olarak değerlendirilmesi düşünülmüş ve kompozit malzeme yapımında kullanılabilirliği sağlanmıştır. Bu çalışmada

mermer üretiminin çok önemli bir hammadde girdisi olduğuna dikkat çekilmeye çalışılarak mermer atıklarının da değerlendirildiği üzerinde durulmuştur. Ülkemiz için mermer çok önemli bir madendir ve önemli bir maden olmaya devam edeceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Akbulut, H., Gürer C., 2006, Atık Mermerlerin Asfalt Kaplamalarında Agregası Olarak Değerlendirilmesi, *İMO Teknik Dergisi*, 3943-3960, Yazı 261.
- Çavuş, Ş., U., 2015, Mermer parça atıklarının taşkın koruma ve Akarsu Yatakları İslah yapılarında kullanımını, AKÜ FEMÜBİD 15025603(s-19-28)
- Demir, İ., 2014, Mermer Tozunun Gaz beton Üretiminde Geri Dönüşüm Malzemesi Olarak Kullanıla Bilirliğinin Araştırılması, *ISEM2014* Adıyaman.
- Şentürk, A., Gündüz, L., Tosun, Y.İ., Saruışık, A., 1996. Mermer Teknolojisi. SDÜ Mühendislik Mimarlık Fak. Maden Mühendisliği Böl., 242s. Isparta
- Şentürk, A., Gündüz, L., Tosun, Y.İ., Saruışık, A., 1996. Mermer Teknolojisi. SDÜ Mühendislik-Mimarlık Fak. Maden Mühendisliği Böl., (s-242) Isparta
- Ural, N., ve Yakşe, G., 2015 Atık mermer parçalarının yol temel malzemesi olarak değerlendirmesi, *Bilecik Şeyh Edibali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Cilt:2 (s-2), Bilecik.*
- URL-1 <http://migemsavce:3838/yayinlar/yayin2/migemdogaltaş-mermer-mart.2015.pdf>
- URL-2, <http://www.enerji.gov.tr/TR/Sayfalar/Dogal-Taslar>,
- Ünal A., ve Uygunoğlu, T., 2004 Afyon mermer tozu ve soma uçucu kül katkılı betonların donma – çözülme özellikleri ve ekonomik değerlendirilmesi, *Endüstriyel Hammadde Sempozyumu*, İzmir
- Ünal, O., Kibici, A., 2001, Mermer tozu atıklarının beton üretiminde kullanılmasını araştırılması, *Türkiye III. Mermer Sempozyumu*, Bildiriler Kitabı Afyonkarahisar.
- Vijayalakshmi, V., Singh, S., Bhatnagar, D., 2001. Marble Slurry: A New Resource Material for Entrepreneurs” Science Tech Entrepreneur Project, 9, India.
- Yıldız, A., H., 2008. Mermer Toz Atıklarının Yol İnşaatında Değerlendirilmesi. Doktora tezi, SDÜ İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, Sayfa:172.
- Yüzer, E., 2003, *Dünden Bugüne Doğaltaş Kullanımı”, Doğaltaş ve Endüstrisi Kataloğu*, STONE 2003, YEM Yayını, İstanbul.
- Zorluer İ., ve Usta, M., 2003 Zeminlerin atık mermer tozu ile iyileştirilmesi, *Türkiye IV. Mermer Sempozyumu*, Bildiriler Kitabı Afyonkarahisar.

Ocaktan Fabrikaya Mermer İşlemede Oluşan Atıkların Geri Dönüşümü

Recycling of Marble Waste Generated During Processing from Quarry to Factory

A. Kızılay

Yoltaş Yol Sanayi ve Ticaret A.Ş., İstanbul

ÖZET Günümüzde özellikle talebin yüksek olduğu büyük yerleşim merkezlerinde kaliteli agrega temin etmek güçleşmektedir. Doğal rezervlerin gün geçtikçe azalmasının getirdiği fiyat artışları ve uzak mesafelerden malzeme temininin getirdiği nakliye masrafları agrega maliyetlerini arttırmaktadır. Diğer taraftan yurdumuz ekonomisinde önemli bir yeri olan mermer işlemede de zorunlu olarak çok miktarda atık oluşmaktadır. Bu nedenlerle, günümüzde her sektörde önem kazanan atık malzemelerin yeniden değerlendirilmesi konusu, mermer işleme sektörü açısından da önem kazanmaktadır. Buna ilişkin yeni hedefler ve stratejiler belirlenmesi gerekli ve yararlı olacaktır.

Mermer blokların ocaktan çıkarılması, fabrikalarda işlenmesi ve taşınması sırasında işlem gereği zorunlu olarak oluşan atıklar, agrega üretiminde kullanılan darbeli kırıcı ve eleklerden geçirilerek, inşaat sektöründe beton ve asfalt agregası, dolgu malzemesi ve zemin kaplaması olarak kullanılmaya hazır hale getirilerek değerlendirilebilir. Böylece hem doğal rezervler korunmuş olur, hem de atıkların stoklanmasının oluşturacağı çevre sorunu ortadan kalkar. Atık mermer geri dönüşümü, malzemenin yapısal açıdan homojen olması nedeni ile daha kolay ve ekonomik olacaktır.

ABSTRACT Scarce natural resources, reduced stockpile areas and the steadily increasing efforts to protect our environment made the application of purpose-related recycling conceptions necessary. Significant amounts of marble waste are arising during marble production, which is an important part of the Turkish economy. Due to this fact, it is necessary to recycle this marble waste as like the recycling of waste material in other sectors.

The use of highly sophisticated technologies allows the recycling of marble waste arising during cutting the blocks in quarries, during production of the finished products and on the transportation. Stationary or mobile crushing and screening plants can be used for the processing of marble waste. The final product can be used as aggregate for concrete or asphalt, filling material or plates for flooring, thus saves natural mineral deposits and protects the environment. The homogeneous consistence of marble waste will allow an easy and economically recycling process.

1 GİRİŞ

Günümüzde özellikle talebin yüksek olduğu büyük yerleşim merkezleri civarında kaliteli beton ve asfalt agregası temin etmek güçleşmektedir. Bir süredir uygulanan kentsel dönüşüm projeleri de ihtiyacı

önemli miktarda arttıracaktır. Doğal rezervlerin gün geçtikçe azalmasının getirdiği fiyat artışları yanında, uzak mesafelerden malzeme temininin getirdiği ek nakliye masrafları agrega maliyetlerini arttırmaktadır.

Diğer taraftan yurdumuz ekonomisinde önemli bir yeri olan mermer işlemede de zorunlu olarak çok miktarda atık oluşmaktadır Türkiye, yaklaşık 5,1 milyar m³ - 13,9 milyar ton muhtemel mermer rezervine sahiptir. Bu miktar tahmini dünya mermer rezervinin % 35-40 ı kadardır. Sektörde yaklaşık 1.500 adet doğal taş ocağı, fabrika ölçeğinde faaliyet gösteren yaklaşık 2.000 tesis, orta ve küçük ölçekli yaklaşık 9.000 atölye faaliyet göstermektedir. Türkiye’de yıllık doğal taş üretimi yaklaşık 11,5 milyon ton olup işleme tesislerinin toplam plaka üretim kapasitesi 6,5 milyon m² civarındadır.

Mermer ocaklarında ve işleme tesislerinde ortalama olarak üretimin % 40-60 ı atık olarak çıkmaktadır. Bu durumda mermer atıklarının miktarı milyon tonlara ulaşmaktadır. Bu atıkların kirlilik yükü fazla olmamakla birlikte genelde büyük hacimli atıklar olması nedeni ile atık sahalarında depolanmaları bir çevre sorunu oluşturmaktadır.

Bu nedenlerle, günümüzde her sektörde önem kazanan kullanılmış atık malzemelerin yeniden değerlendirilmesi (recycling – geri dönüşüm) konusu, mermer işleme sektörü açısından da önem kazanmaktadır. Buna ilişkin yeni hedefler ve stratejiler belirlenmesi gerekli ve şüphesiz yararlı olacaktır.

Mermer atıkları parça boyutu olarak işleme tesislerinden iki farklı ürün olarak çıkabilmektedir. Birinci ürün, iri boyutlu parça mermer atıkları, ikinci ürün ise koloidal yapıda büyük bir kısmı 150 mikronun altında olan, azami parça boyutu 2 mm ye kadar ulaşabilen, mermer tozu olarak tanımlanan kesim toz atığı havuz çöktelleridir. Bu atıklar inşaat sektöründe değişik alanlarda kullanılmaktadır. İri boyutlu parçalar genelde işlenmeden, atık boyutuna bağlı olarak baraj ve inşaatlarda dolgu malzemesi, paledyen-yer döşeme malzemesi, döşeme plağı agregası v.b. fazla teknik özellik gerektirmeyen alanlarda kullanılması yaygındır. Daha yaygın olan mermer tozu kullanım alanları: Ziraat, yem ve mineralli besinler, sıva katkı maddesi, şeker rafinasyonu ile çimento, alçı, kalsine

dolomit, cam, kağıt ve cüruf yapıcı malzeme üretimidir.

Ancak, mermer genelde kalker ve dolomit kalkerin metamorfizma olayı sonucunda yeniden kristalleşmesiyle meydana geldiği dikkate alınarak, beton ve asfalt agregası olarak da kullanılabilirliğinden hareketle bu konuda muhtelif çalışmalar yapılmıştır. Bunların büyük bir kısmı, toz mermer atıklarının kullanılmasına ilişkindir.

2 AMAÇ

Mermer blokların ocaktan çıkarılması, fabrikalarda işlenerek nihai ürün haline getirilmesi ve bunların taşınması sırasında işlem gereği zorunlu olarak oluşan atıklar, agrega üretiminde kullanılan çeneli ve darbeli kırıcı ve eleklerden geçirilip, inşaat sektöründe beton ve asfalt agregası olarak kullanılmaya hazır hale getirilerek değerlendirilebilir. Böylece hem doğal rezervler korunmuş olur, hem de atıkların uzun vadeli ve kalıcı olarak stoklanmasının oluşturacağı çevre sorunu ortadan kalkar.

Mermer geri dönüşümü, malzemenin hem boyut hem de yapısı açısından nispeten homojen olması nedeni ile daha kolay ve ekonomik olacaktır. Genellikle muhtelif sertlikte kireçtaşı olan mermer atıklarından elde edilecek homojen malzeme de, beton ve asfalt agregası olarak kullanıma son derece elverişli olacaktır.

3 YÖNTEM

3.1 Sabit Tesisler

Klasik geri dönüşüm, atık malzemelerin bir merkeze nakledilerek, burada kurulmuş bir sabit tesiste işlenerek değerlendirilmesi şeklinde gerçekleşmektedir. Geri dönüşüm tesislerinde, taş ocaklarında ve madenlerde kırma ve cevher hazırlama için kullanılan değişik büyüklükte ve kapasitede çeneli veya darbeli kırıcılar kullanılır. Kırılacak malzeme, kamyonlarla veya konveyör bantlarla bu tesise beslenir, kırılır ve elenerek ihtiyaca uygun şekilde sınıflandırılır.

3.1.1 Çeneli kırıcılar

Çeneli kırıcılar primer kırıcı olarak ön kırma işlemine uygundur. İşletme maliyeti düşük olan bu tip kırıcılardan elde edilen ürün genelde sekonder ve gerekirse bir sonraki aşamada tersiyer kırıcılarda kırılarak nihai ürün haline getirilir.

Taş ocaklarının aksine, mermer ocaklarında ve özellikle mermer işleme fabrikalarında ortaya çıkacak olan atıklar nispeten daha küçük boyutlu olacağından, sadece mermer atıklarını yeniden değerlendirmek amacı ile kurulacak tesislerde çeneli kırıcı kullanılmadan tek kademeli kırma sistemi de yeterli olabilir.

3.1.2 Darbeli kırıcılar

Darbeli kırıcılar genelde sekonder kırıcı olarak kullanılmakla birlikte, daha büyük malzeme beslemeye uygun primer-sekonder kullanıma uygun tipleri de geliştirilmiştir. Bu şekilde çok amaçlı kullanıma uygun, tek kademeli ekonomik sabit tesis kurmak mümkündür. Beslenen malzeme darbe ile kırıldığı için nihai ürün olarak kullanılmaya çok uygun, kübik ürün elde edilir.

3.1.3 Tersiyer kırıcılar

İnce malzeme ihtiyacı fazla ise, işletme maliyeti açısından ayrıca tersiyer kırıcı kullanılması daha uygun olacaktır. Bu amaçla yatay milli veya dik milli darbeli kırıcılar kullanılır. Besleme boyu, yukarıda bahsedilen kırıcı tiplerine göre daha küçük olan tersiyer kırıcılar 0/1, 0/2, 0/3, 0/4, 0/5 mm v.b. ince malzeme ve taş tozu elde etmek için tercih edilir.

Tersiyer kırıcı olarak bir alternatif de konik kırıcıdır. Özellikle çok sert ve aşındırıcı özellikli malzemelerde aşınmaları ve dolayısı ile işletme maliyeti açısından avantajlı olan konik kırıcıların ilk yatırım maliyeti yukarıda bahsi geçen kırıcı tiplerine oranla daha yüksektir. Geri dönüşüm tesislerinde genelde tercih edilmemektedir.

3.2 Mobil Tesisler

Yaygın olarak yapılan sabit tesis uygulamaları, bazı durumlarda ihtiyaçları, teknik veya ekonomik açıdan tam olarak karşılayamamaktadır. Cevher hazırlama makineleri sektörü, bu gerçekten hareketle, kırma ve eleme makinelerini mobil olarak üretmeye başlamıştır.

Yapılan AR-GE çalışmaları ve teknik geliştirmeler sonucunda, cevher hazırlama sektöründe yeni bir dönem açan gerçek anlamda mobil kırma, eleme ve kırma-eleme üniteleri üretilerek kullanıcıların hizmetine sunulmuştur. Bilindiği gibi, madenlerde ve taş ocaklarında kullanılan kırma ve eleme tesisleri geniş bir alana yayılmaktadır, ayrıca bunların ses ve toz emisyonu oldukça yüksektir. Geliştirilmiş tasarım ve modern teknoloji ile üretilen mobil kırma, eleme ve kırma-eleme üniteleri, tiplerine göre trafiğe çıkabilecek kompakt boyutlarda üretilmektedir. Ayrıca ses ve egzoz gazı emisyonu, alınan teknolojik önlemlerle asgariye indirilmiştir.

Mobil kırıcı üniteleri genelde bir şasi üzerine monte edilmiş besleme bunkeri, titreşimli besleyici, kırıcı ve ürün çıkış bandını içermektedir. Tiplerine göre, kırıcı öncesi ince veya kirli malzemeyi ayırmak için by-pass elek veya çıkış bandından sonra özellikle iri malzemenin kırıcıya geri beslenmesini sağlayan 1 veya 2 katlı elek içeren üniteler de mevcuttur. Sınıflandırılmış nihai ürün elde etmek isteniyorsa, 2 veya 3 katlı ayrı bir mobil elek ünitesi kullanılması hem ünite ağırlığı hem de eleme verimliliği açısından daha uygun ve ekonomik olacaktır.

3.2.1 Yarı mobil üniteler

Yarı mobil üniteler mobil çelik şasi üzerine monte edilmiş ünitelerdir. Tahrik sistemi olmadığından bir vinç yardımı ile kamyonu yüklenerek kullanım yerine taşınırlar. Bu nedenler, saha içinde fazla hareket gerektirmeyen uygulamalar için düşük maliyetli ekonomik bir çözüm oluştururlar.

3.2.2 Lastik tekerlekli üniteler

Lastik tekerlekli üniteler, bir veya birden fazla dingil üzerindeki çelik şasi üzerine monte edilmiş ünitelerdir. Özellikle mobil kırıcıların ilk dönemlerinde üretilmişlerdir. Kendinden tahrikli olmayan bu tür üniteler, gerektiği zaman bir çekici tarafından çekilerek nakledilebilir. Genelde kırıcının kullanım yerine taşınmasını kolaylaştıran bir uygulama olarak kullanılmış olup, bu tip üniteler daha sonra kullanım sırasında adeta sabit bir tesis haline dönüşmüştür ve mobil özelliklerini kaybetmişlerdir.

3.2.3 Paletli üniteler

Son aşamada mobil üniteler, diğer iş makinelerinde yaygın olarak kullanılan paletler üzerinde üretilmeye başlamıştır. Bu gelişme, gerçek anlamda bir mobiliteyi de beraberinde getirmiştir. Bu uygulama, ünitelerin ağırlığını ve maliyetini arttırmakla birlikte, üniteye entegre jeneratörlü tahrik sistemi, uygulama hızı ve kolaylığı sağlamıştır. Günümüzde ağırlıklı olarak bu tip mobil üniteler üretilmekte ve kullanılmaktadır. Bu ünitelerin ağırlıkları, tiplerine göre 10-15 tondan başlamakta, özel uygulamalarda ise 80-90 tona ulaşabilmektedir. Yaygın kullanılan tipler 30-40 ton ağırlığındadır. Kapasiteleri ise 50-500 ton/saat aralığındadır.

3.2.4 Tahrik sistemleri

Mobil kırıcılarda genelde 3 farklı tahrik sistemi uygulanmaktadır:

3.2.4.1 Doğrudan tahrik

Bu sistemde ünite üzerindeki jeneratör doğrudan kırıcıya bağlıdır. Sistemin avantajı, basit olmasıdır, ancak stabilite, ömür ve işletme maliyet açısından dezavantajlıdır.

3.2.4.2 Dizel-hidrolik tahrik

Bu sistemde ünite üzerinde ünite için elektrik üreten bir jeneratör bulunur.

Jeneratörün ürettiği mekanik enerji hidrolik olarak kırıcıya aktarılır. Bu aktarım bir tork çevirici veya hidrostatik şanzuman ile gerçekleşir. Sistemin verimliliği % 65-75 civarındadır. Avantajı, kırıcı devrinin kolay ayarlanabilirliği olmakla birlikte, işletme maliyeti ve güvenilirlik açılarından dezavantajlıdır. Ayrıca bu tip sistemlerde şebeke elektriğine başlanma olanağı da yoktur. Bu husus, işletme maliyetini arttıran bir unsurdur.

3.2.4.3 Dizel-elektrikli tahrik

Bu sistemde de ünite için elektrik üreten bir jeneratör mevcuttur. Jeneratörün ürettiği elektrik, kırıcıya kayış-kasnak sistemi ile bağlı olan elektrik motorunu besler. Verimlilik %75-85 civarındadır. Basit, stabil, güvenilir, fazla arıza çıkartmayan bir sistemdir. Dezavantajı, kırıcı devir sayısını değiştirmek için kasnak değişikliği veya özellikle büyük güçteki motorlarda maliyeti yüksek olan frekans konvertörü gerektirmesidir. İlk yatırım maliyeti, yukarıdaki diğer iki sisteme oranla biraz daha yüksek olmakla uzun vadede diğer sistemlere göre işletme maliyeti daha düşüktür. 300-330 ton/saat kapasiteli kırıcılı bir ünite 2.000 çalışma saatinde sağlanan yakıt tasarrufu, doğrudan tahrikli sisteme göre yaklaşık %50, dizel-hidrolik tahrikli sisteme göre % 70 dir. Bu sistemin bir önemli avantajı da, kullanılacak bir ek pano üzerinden elektrik şebekesine bağlanma olanağıdır.

4 UYGULAMA ÖNERİLERİ

Atık malzeme miktarı göz önüne alındığında, her mermer işletmesinin kendi geri dönüşüm tesisini kurması ekonomik olmayacaktır. Çünkü düşük kapasiteli bir kırma-eleme tesisinin yatırım maliyeti, yüksek kapasiteli tesisin yatırım maliyetine oranla daha yüksektir. Bir alternatif olarak, mermer işletmelerinin yoğun bulunduğu bölgelerde merkezi bir sabit geri dönüşüm tesisi kurulması daha akılcı bir çözüm olarak düşünülebilir. Bu geri dönüşüm merkezine getirilen atıklar, işletmeci

tarafından işlenerek geri dönüştürülür ve değerlendirilir. Bu sabit tesis, aynı zamanda beton, betonarme ve diğer inşaat molozu geri dönüşümü için kullanılmaya da uygundur. Çok amaçlı kullanılabilir.

Bu alternatifte, kurulacak olan sabit tesis doğal olarak karayolu nakliye maliyetleri dikkate alındığında ekonomik açıdan belli bir mesafeye kadar olan mermer ocakları ve işleme fabrikalarına hizmet verebilecektir. Buna karşı ikinci alternatif olarak kullanımları gittikçe yaygınlaşan mobil kırıcıların kullanılması söz konusu olabilir.

İhtiyaç duyulan işletmelere hizmet vermek üzere ocak ve fabrikalara gidecek bir mobil kırıcı kırma işlemini atık malzemenin olduğu yerde gerçekleştirebilir. Üzerinde geri dönüşüme uygun çeneli ve darbeli kırıcılar bulunan mobil kırma, eleme ve kombine kırma ve eleme üniteleri ile oluşan ve işletmelerde geçici olarak stoklanan mermer atıkları buldukları yerde kırılarak ve elenerek geri dönüştürülebilir. Bu konuda hizmet verecek bir işletmeci, atıkların olduğu işletmeleri belli bir program çerçevesinde ziyaret ederek mobil kırma veya kırma-eleme ünitesi ile geri dönüşümü gerçekleştirir.

4 SONUÇ

Ülkemizdeki mermer sektörünün hacmi dikkate alındığında, işleme sırasında zorunlu olarak ortaya çıkan mermer atıkları da kayda değer bir miktar oluşturmaktadır. Bu atıkların önemli bir kısmı, mermer işleme tesislerinde imalat sırasında oluşan, kesim atığı havuz çökeltileridir. Sektörde mermer tozu olarak tanımlanan bu atıkların ince agrega olarak kullanımına ilişkin yıllardan beri çok sayıda araştırma yapılmış olup, bu tür ince atıkların inşaat sektöründe, bunun yanında diğer endüstri dallarında da kullanımlarının uygun olduğu bilimsel olarak kanıtlanmıştır. Beton katkısı olarak kullanımlarının kısmen olumlu etkiler yaptığını gösteren araştırmalar mevcuttur.

Genelde, beton ve asfalt için iri agrega olarak kullanıma da çok uygun bir kalker türü olan iri atıkların kırılıp tasnif

edildikten sonra kullanımına ilişkin yapılmış çalışmalar nispeten daha azdır. İri mermer atıklarının da uygun sabit veya mobil tesislerde kırılması, elenerek sınıflandırılması ve bu şekilde ekonomiye geri kazandırılması ülke ekonomisi için büyük bir kazanç olacaktır. Bu işlem, teknik açıdan günümüzün gelişmiş makine-ekipman teknolojisi ve iyi bir organizasyonla gerçekleştirilebilir.

Yapılmış olan deneysel araştırma sonuçları, daha yaygın olarak kullanılan mermer tozunda olduğu gibi, kırılarak sınıflandırılmış iri mermer atıklarının hazır beton ve asfalt tesislerinde beton ve asfalt agregası olarak kullanılmasının teknik açıdan uygun olduğunu göstermiştir. Bu uygulamaları geliştirmek ve desteklemek amacıyla yeni çalışmaların yapılması yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Ünal, O., Kibici, Y., 2001. Mermer Tozu Atıklarının Beton Üretiminde Kullanılmasının Araştırılması. *Türkiye III. Mermer Sempozyumu (MERSEM 2001)*, Afyonkarahisar.
- Erdem, T., Özkul, U., 2012. Mermer Tozu Katkılarının Çimento Harcı Donma-Çözünme Özellikleri Üzerine Etkisi, *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, cilt 1, sayı 3, s. 86-91.
- Yıldız, H. A., 2008. Mermer Toz Atıklarının Yol İnşaatında Değerlendirilmesi, *Doktora Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*. Isparta.
- Ceylan, H., Mança, S., 2013. Mermer Parça Atıklarının Beton Agregası Olarak Değerlendirilmesi, *SDU Teknik Bilimler Dergisi*, cilt 3, sayı 2, s. 21-22.
- Sönmez, İ., 2015. İnşaat Atıklarının Asfaltta Geri Dönüşüm Malzemesi Olarak Kullanılması, *Demolition Conference*, İstanbul.
- T.C. Ekonomi Bakanlığı, 2016. *Sektör Raporları: Doğal Taş Sektörü*, s. 1-2.
- SBM Mineral Processing GmbH, 2017. *Ürün Katalogları ve Teknik Şartnameleri*. Avusturya.

Muğla ve Civarında İzlenen Mermer Atıklarının Mikronize Kalsit Olarak Kullanılma İmkânları

The Possibilities of Using Marble Wastes in Mugla and Surrounding Areas as Micronized Calcite

S. Gürsu

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kötekli-Muğla

ÖZET Muğla ve civarında işletilen mermer ocaklarının atıklarının, mikronize kalsit olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Kavaklıdere-Salkım, Kavaklıdere-Derebağ and Kavak-Elmacık bölgesinde işletilen mermer ocaklarının atıkları, mineralojik-petrografik ve X-ışını kırınım sonuçlarına göre kalsitçe zengin olup düşük oranda dolomit, kuvars ve muskovit mineralleri içerir. Yatağan-Merkez, Yatağan-Kaklık-Kozağaç bölgelerindeki atıklar ise kalsit ve az oranda kuvars minerallerinden oluşur. Kavaklıdere, Kavak ve Elmacık bölgelerinde mermer atıklarının dolomit %'si 0,18 ila 5,53 arasında değişirken, bu oran Kavaklıdere-Salkım'da 13,68 ila 52,85 arasındadır. Jura-Kretesa yaşlı mermer atıklarının izlendiği Yatağan-Kaklık-Kozağaç bölgelerinde, atıkların dolomit %'leri düşük olup % 0,60 ila 2,20 arasında değişir. Atıkların toplam demir ve silis içerikleri, Kavaklıdere-Derebağ, Kavak-Elmacık bölgelerinde % 0,04 ila 0,35 ve % 0,01 ila 1,38 arasında değişirken, Yatağan-Kaklık-Kozağaç bölgelerinde ise oldukça düşük değerler gözlenir (< % 0,16). Dolomit izlenen mermer atıklarında özgül ağırlık, beyazlık % ve yağ emme oranları 2,74 ila 2,77 gr/cm³, % 91,46 ila 94,51 ve 20 ila 21 arasında değişir. Bu değerler, yüksek kalsit içeren mermer atıklarında (> % 95) 2,71 ila 2,75 gr/cm³, % 83,21 ila 94,88 ve 16 ila 22 arasındadır. Kavaklıdere-Salkım, Kavaklıdere-Derebağ bölgesindeki mermer atıklarının % beyazlık değerleri düşük olup % 90'nın altındadır. Yatağan-Kaklık-Kozağaç bölgesindeki mermer atıklarının % beyazlık oranı daha yüksektir (% 92 - 95). Kalsitçe zengin örneklerin % 78,60 ile % 100'nin tane boyu 50 µm'dan, % 38,20 ila 66,80'nin tane boyu 10 µm'dan daha küçüktür. Kavaklıdere-Derebağ, Kavaklıdere-Salkım, Kavak ve Elmacık bölgelerinde yüzeylenen mermer atıkları, düşük beyazlık % ve yüksek dolomit (> % 3) içerikleri nedeniyle mikronize kalsit olarak kullanılmaya uygun değildir. Yatağan-Merkez, Yatağan-Kaklık and Yatağan-Kozağaç bölgelerindeki Jura/Kretase yaşlı mermer atıkları ise yüksek beyazlık % (> % 90), düşük demir içerikleri (< 0,05 %), düşük silis (< 0,05 %) ve yüksek kalsit içerikleri (> 98,50 %) nedeniyle mikronize kalsit üretiminde birincil alanlar olarak endüstriyel önem arz etmektedirler.

ABSTRACT The possibilities of the using marble wastes as micronized calcite have been investigated in the marble quarries in Muğla and surrounding areas. The mineralogical-petrographic and X-ray diffraction features of the marble wastes in Kavaklıdere-Salkım, Kavaklıdere-Derebağ and Kavak-Elmacık areas are mainly composed of calcite with low amount of the dolomite, quartz and muscovite. The marble wastes in Yatağan-Merkez, Yatağan-Kaklık-Kozağaç areas mainly made up of calcite and low amount of quartz minerals. The dolomite contents of the studied wastes in the Kavaklıdere, Kavak and Elmacık areas are in range from 0,18 to 5,53 % but very high in Kavaklıdere-Salkım area varying from 13,68 to

52,85 %. However, the dolomite contents of the Jurassic-Cretaceous marble wastes in Yatağan-Kaklık-Kozağaç are very low changing from 0,60 to 2,20 %. The total iron and silica contents of the studied wastes in Kavaklıdere-Derebağ, Kavak-Elmacık areas are in range from 0,04 to 0,35 % and 0,01 to 1,38 % but are very low (< 0,16 %) in Yatağan-Kaklık-Kozağaç areas. The specific gravity, whiteness % and oil absorption of the wastes having high dolomite contents are in range from 2,74 to 2,77 gr/cm³, 91,46 to 94,51 and 20 to 21. The rest having high calcite bearing wastes (> 95 %) vary from 2,71 to 2,75 g/cm³, 83,21 to 94,88 % and 16 to 22, respectively. The whiteness % of the wastes in Kavaklıdere-Salkım and Kavaklıdere-Derebağ are lower than 90 %. It is higher (92 % to 95) in Yatağan-Kaklık-Kozağaç areas. The 78,60 to 100 % of the grain size of the calcite-rich wastes are lower than 50 µm and their 38,20 to 66,80 % are below of 10 µm. The possibilities of using the marble wastes in Kavaklıdere-Derebağ, Kavaklıdere-Salkım, Kavak and Elmacık areas are not suitable as micronized calcite for having low whiteness % and high dolomite contents (> 3 %). Jurassic-Cretaceous marble wastes in Yatağan-Center, Yatağan-Karlık and Yatağan-Kozağaç areas present industrial importance for the micronized calcite production areas due to their high whiteness % (> 90 %), low total iron contents (< 0,05 %), low silica contents (< 0,05 %) and high calcite contents (> 98,5 %).

1. GİRİŞ

Muğla (Menderes Masifi) bölgesinde, Alpin metamorfizmaya bağlı olarak mermerleşmiş Geç Paleozoyik (Permiyen - Karbonifer), Erken Permiyen ve Mesozoyik (Jura-Kretase) yaşlı karbonatlar yüzeylenmektedir (Schuiling, 1962; Konak ve diğ., 1987; Dora ve diğ., 2001; Candan ve diğ., 2011).

Bölgede geniş alanlarda yüzlek veren platform tipi meta-karbonatlı kayalar içerisinde günümüzde yaklaşık 92 adet mermer ocağı, 85 adet mermer atölyesi işletilmektedir (Yavuz, 2005). Geç Paleozoyik (Permiyen - Karbonifer yaşlı) ve Jura-Kretase yaşlı mermerleşmiş seviyeler, Kavaklıdere ilçesinden Yatağan, Milas ve Selimiye ilçelerine doğru doğudan batıya doğru hiperbolik bir düzlem boyunca yayılım gösterir (MTA N19 ve N20 1/100.000 haritaları)

Geç Paleozoyik temelde yer alan mermer bantları, Muğla ilinin kuzeyinde Kavaklıdere ilçesinde yoğun olmak üzere, blok mermer üretimi yapılmaktadır (Yavuz, 2005). Permiyen - Karbonifer yaşlı mermerler, genellikle siyah ara katkılar içerir ve ticari olarak "Ayhan Siyahı" olarak adlandırılır.

Platform tipi karbonatlar içerisinde temelde gözlenen Jura-Kretase yaşlı mermer ocakları ise özellikle Yatağan, Milas ve

Selimiye ilçeleri civarında yayılım göstermektedir (MTA N19 ve N20 1/100.000 haritaları). Ticari olarak bu alanlarda "Milas Leylak", "Milas Bej", "Milas Damarlı", "Milas Sedef", "Milas Patlıcan", "Ayhan Beyaz", "Ayhan Limon" olarak tanımlanan mermerlerin işletildiğini belirtir (Yavuz, 2005).

Jura-Kretase yaşlı zımpara içeren mermer ocakları ise ticari olarak "Muğla Beyazı" ve "Muğla Grisi" olarak tanımlanmaktadır (Yavuz, 2005). Çalışma alanında farklı oluşum yaşına sahip mermer bantları üzerinde blok mermer üretimi yapılmaktadır.

Muğla bölgesinde ticari olarak işletilen mermer rezervi 400 milyon m³ olup, yıllık üretim 1.500 ton civarındadır (Öztürk, 2009). Ülkemizde blok mermer üretiminin yaklaşık % 15-20'si Muğla ve civarındaki işletmelerden üretilmekte olup, toplam mermer ihracatın ise % 40'ı bölgedeki işletmelerden karşılanmaktadır (Gürer ve Akbulut, 2005).

Bölgenin zengin mermer rezervi dikkate alındığı zaman, Muğla ve civarında işletilen mermer ocakların, ülkemizin en önemli blok mermer üretici olduğunu ortaya koymaktadır. Bölgede yüzeylenen farklı yaş dilinimindeki mermerler üzerinde en önemli problemlerden birini, blok mermer üretimi

oluşturmaktadır. Menderes Masifini etkileyen karmaşık jeolojik ve metamorfik süreçler ve Likya napların güneye doğru bindirmesine bağlı olarak gelişen tektonik hareketler, mermer oluşumunda etkin olmakla birlikte tektonik hareketler, mermer bantlarında etkin kırık ve çatlakların gelişmesine neden olmuştur (Okay, 1989; Collins ve diğ., 1997; Rimmelé ve diğ., 2003). Dolayısıyla, Geç Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı mermer oluşumlarında blok mermer üretimine engel olan kırıklı/çatlaklı yapıların gelişmesi, blok mermer üretiminin önemli ölçüde düşmesine neden olmaktadır. Genellikle mermer ocaklarında çıkarılan mermer bloklarının yaklaşık % 50'ye yakın kesimini atıkların oluştururken (Öztürk, 2009), atık oranı inceleme bölgesinde % 5 ila % 20 arasında değişmektedir. Bölgede genellikle ortalama % 5 - 10 arasında blok üretimi yapılırken, atık oranı % 90 - 95 civarında değerler taşımaktadır.

İşletmeler, düşük çaplı blok mermer üretiminden elde ettikleri geliri dikkate alarak, atık ürünler üzerinde genellikle herhangi bir işlem yürütmeyip, işletme alanında uygun görülen alanlarda pasa olarak yığılmaktadır. Ayrıca Muğla ve civarında yaklaşık 85 adet mermer atölyesi mevcut olup, blok mermerin işlenmesi esnasında da % 15-20 arasında ürün kayıplarının olduğu çeşitli araştırmalarca ortaya konmuştur. Bu çalışmanın amacı, bölgede blok mermer üretiminin yanı sıra atık olarak değerlendirilen pasalarında mikronize kalsit olarak kullanılabilirliğinin ve ekonomik değerinin araştırılmasıdır.

Blok mermer üretiminde blok çapı, kırık/çatlak hatlar, impuriteler ve homojen renk/doku daha etkin özellikler sunarken, mikronize kalsit üretiminde renk, kimyasal bileşim (ana element kimyası-ana oksitler) önem kazanır.

Bu çalışma kapsamında, Geç Paleozoyik (Permiyen - Karbonifer) ve Mesozoyik (Jura-Kretase) yaşlı mermer, atıklarının mikronize kalsit olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

1 GENEL JEOLOJİ

Muğla bölgesinde Kavaklıdere-Salkım, Kavaklıdere-Derebağ, Yatağan-Kavak-Elmacık, Yatağan-Merkez ve Yatağan-Karlık-Kozağaç olmak üzere beş ayrı bölgede yürütülmüştür.

1.1 Kavaklıdere - Salkım Bölgesi

Kavaklıdere-Salkım bölgesinde Jura-Kretese yaşlı platform tipi karbonatlarda işletilen dört mermer ocağı (K9, K11, K10 ve K8) ve Erken Permiyen yaşlı karbonatların gözlemlendiği K7 atıklarından rastgele seçilmiş örnekler alınmıştır. Bölgede temel istif, Karbonifer-Permiyen yaşlı mermer, kuvarsit, kuvars şist, fillit ardalamasından oluşan meta-silisiklastik ve meta-karbonatlar ile başlar ve Erken Permiyen yaşlı mermer, kuvarsit ve kuvars-şistler ile devam eder. İstif, üst Triyas yaşlı karasal çökeller ve uyumsuz olarak Jura-Kretase yaşlı meta-karbonatlar ile devam eder. Birim, orta Miyosen ve Pliosen yaşlı karasal istifler ve Kuvartern yaşlı birimler ile üzerlenir (MTA, N20 1/100.000 harita).

1.2 Kavaklıdere - Salkım

Kavaklıdere-Derebağ bölgesinde, Erken Paleozoyik (Permiyen-Karbonifer) yaşlı birimlerde gözlenen karbonatlarda mermer üretimi yapan ocakların atıklarından K20, K21, K19, K12, K17, K18, K16, K14, K15, K13 rastgele seçilmiş örnekler alınmıştır. Bölgede istif, temelde Prekambriyen yaşlı meta-magmatik bir istifle başlar, uyumsuz olarak Geç Paleozoyik (Permiyen-Karbonifer) yaşlı kuvarsit, mermeri kuvars-şist ile devam eder ve uyumsuz olarak mermer, kuvarsit ve kuvars şist ile üzerlenir. İstif, uyumsuz olarak Üst Triyas - Liyas yaşlı karasal birimler ile devam eder ve uyumsuz olarak Jura-Kretese yaşlı karbonatlar ile üzerlenir. İstif, uyumsuz olarak Orta Miyosen, Pliosen yaşlı karasal çökeller ve Kuvartern yaşlı birimler ile örütülür (MTA, N20 1/100.000 harita).

1.3 Yatağan-Kavak-Elmacık

Yatağan-Kavak-Elmacık bölgesinde Jura-Kretase yaşlı meta-karbonatların atıklarından K1, K2, K3, K5, K4, K6 ve K22 nolu rastgele seçilmiş örnekler alınmıştır. Bölgede istif, Erken Paleozoyik yaşlı kuvarsit, kuvars şist ve mermer ile başlar ve uyumsuz olarak Karbonifer-Permiyen yaşlı mermer, kuvarsit, kuvars şist ve fillitler ile devam eder ve Geç Permiyen yaşlı mermerle ile üzerlenir. Jura-Kretase yaşlı karbonatlar, temel birimleri uyumsuz olarak üzerler ve Üst Kretase yaşlı meta-bazik kayalar ile uyumsuz olarak örtülür. İstif, Üst Paleosen-Orta Eosen ve Pliosen yaşlı karasal çökeller ile devam eder ve Kuvarterner yaşlı birimler ile örtülür (MTA, N20 1/100.000 harita).

1.4 Yatağan-Merkez

Yatağan ilçesinin kuzey kesiminde Jura-Kretase yaşlı karbonatlarda işletilen mermer ocak atıklarından K25, K24 ve K23 nolu rastgele seçilmiş örnekler alınmıştır. Bölgedeki en yaşlı istif, Karbonifer-Permiyen yaşlı mermer, kuvarsit, kuvars şist, fillit ardalanması ile başlar ve uyumsuz olarak Erken Permiyen yaşlı mermer, kuvarsit, kuvars şist ile üzerlenir. İstif, uyumsuz olarak Jura-Kretase yaşlı karbonatlar ile devam eder. Üst Paleosen-Orta Eosen ve Pliosen yaşlı karasal istifler temel birimleri uyumsuz olarak üzerler ve Kuvarterner yaşlı birimler ile örtülür (MTA, N20 1/100.000 harita).

1.5 Yatağan-Kaklık-Kozağaç

Yatağan-Milas yolu güzergahında, Karlık-Kozağaç bölgesinde yüzeylenen Jura-Kretase yaşlı mermer atıklarından K28, K27, K30, K29, K26 nolu rastgele seçilmiş örnekler alınmıştır. Bölgedeki temel birimleri, Jura-Kretase yaşlı karbonatlar ile temsil eder ve uyumsuz olarak Kampaniyen-Maestrihtiyen yaşlı çörtlü kireçtaşları ile devam eder. İstif, uyumsuz olarak Üst Paleosen-Eosen ve Pliosen yaşlı karasal çökeller ile üzerlenir ve Kuvarterner yaşlı birimlerce örtülür (MTA, N19-N20 1/100.000 harita).

3 MATERİYAL

Çalışma kapsamında Geç Paleozoyik (Permiyen-Karbonifer), Erken Permiyen ve Jura-Kretase yaşlı karbonatlarda işletme yapan aktif ve terk edilmiş ocakların atık sahalarından toplam 28 adet örnek alınmıştır. Örneklerin, mineralojik/petrografik, X-ışını kırınım ve ana element jeokimyasal analizleri yapılmıştır. Ayrıca, tüm örneklerin teknolojik testleri (öğütülebilirlik testleri, tane boyu dağılımları, sertlik, beyazlık, yoğunluk, yağ emme) belirlenmiştir. Elde edilen verilere bağlı olarak, mermer atıklarının, mikronize kalsit olarak kullanılma imkânları ortaya konmuştur.

4 YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında elde edilen örneklerin ince kesitleri ve X-ışını kırınım analizleri, MTA Genel Müdürlüğü, Mineralojik - Petrografik Araştırmalar Koordinatörlüğünde yapılmıştır. X-ışını kırınım analizleri, Cu X-ışını tüplü Panalytical X'Pert Powder XRD cihazı ile 4 - 70 derece arasında gerçekleştirilmiştir. Beyazlık, gerçek yoğunluk, yağ emme ve lazerli tane dağılım testleri, MTA Genel Müdürlüğü Maden Analizleri ve Teknoloji Dairesi Seramik Laboratuvarında yürütülmüştür. Gerçek yoğunluk deneyi, "ASTM D5550-06 standartına göre yapılmış, gerçek yoğunluk değerleri, Accupyc 1330 He Piknometre cihazı kullanılarak elde edilmiştir. Yağ emme deneyi, TS 2583 EN ISO 787-5 standardına göre yapılmıştır. Beyazlık analizi, "Minolta Chroma Meter CR 300" cihazı kullanılarak yürütülmüştür. Verilen değerlerde, L: beyazlık değerini, a: 0'dan (+100)'e kırmızı; 0 dan (-100)'e yeşil renk değerini, b: 0'dan (+100)'e sarı; 0'dan (-100)'e mavi renk değerini, Y; yüzde beyazlık değerini ifade eder. Örnekler, Retsch marka laboratuvar ölçekli 50 mikron tane boyutunda kırıcı ile kuru öğütülmeye tabi tutulmuştur. Son ürünlerin, lazerli tane boyu dağılımları, kuru sistemde çalışan Malvern Mastersizer 2000 cihazı ile yapılmıştır. Örneklerin kimyasal analizleri, ICP-ES cihazı kullanılarak ACME Analitik Laboratuvarında (Kanada) yapılmıştır. Analiz

öncesi tüm örnekler, agat havanda öğütülmüş ve örnek hazırlamayı takiben öğütülmüş örnekler $\text{LiBO}_2/\text{LiB}_4\text{O}_7$ ile ergitilerek analize hazırlanmıştır.

2 BULGULAR

2.1 Mineralojik-Petrografik ve X-Işını Kırınım Analizleri

Örnekler, mineralojik - petrografik olarak, granoblastik dokuya sahiptir, Ana bileşenleri özşekilli-yarıözşekilli karbonat mineralleri oluşturmaktadır. Ana faz harici çok çok az oranda kuvars minerali izlenmektedir. Birincil veya çatlak dolgusu şeklinde gelişen demiroksit boyalamalarına ve çatlak dolgusu şeklinde gelişen diğer fazlar gözlenmemiştir. Örneklerin karbonat minerallerini saptamak amacıyla, tüm örnekler agat öğütücünde öğütülmüş ve X-ışını kırınım analizleri yapılmıştır. Tüm örneklerin X-ışını kırınım sonuçları ve belirlenen ana bileşenler Çizelge 1’de verilmiştir.

Alınan örneklerden onüç tanesinde, dolomit minerali belirlenmiş, on iki örnek ise kalsit ve çok az oranda kuvars mineralinden oluşmaktadır (Çizelge 1). Bir örnek (K7) ise dolomit mineralince zengin olup, kalsit minerali ile birliktelik sunar. İki örnekte ise çok çok az oranda muskovit minerali izlenmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Örneklerin X-ışını kırınım değerlendirme sonuçları.

Örnek Numarası	Ana Bileşenler
K1	Kalsit çok-en çok, Dolomit az-çok az, kuvars az-en az
K2	Kalsit çok-en çok, Dolomit az-çok az, kuvars az-en az
K3A	Kalsit çok-en çok, Dolomit az-en az, kuvars az-en az
K4	Kalsit çok-en çok, kuvars az-en az
K5	Kalsit çok-en çok, kuvars az-en az
K6	Kalsit çok-en çok, kuvars az-en az
K7	Dolomit çok, Kalsit az-orta
K8	Kalsit çok-en çok, Dolomit az, kuvars az-en az

K9	Kalsit çok-en çok, Dolomit az, kuvars az-en az, muskovit az-en az
K10	Kalsit çok-en çok, Dolomit az-çok az, kuvars az-en az
K11	Kalsit çok-en çok, kuvars az-en az
K12	Kalsit çok-en çok, Dolomit az-çok az, kuvars az-en az
K13	Kalsit çok-en çok, kuvars az-en az
K15	Kalsit çok-en çok, Dolomit az-çok az, kuvars az-en az
K17	Kalsit çok-en çok, kuvars az-çok az
K18	Kalsit çok-en çok, Dolomit az-çok az, kuvars az-en az
K19	Kalsit çok-en çok, kuvars az-en az
K20	Kalsit çok-en çok, Dolomit az-çok az, kuvars az-en az
K21	Kalsit çok-en çok, Dolomit az-çok az, kuvars az-en az, muskovit az-çok çok az
K22	Kalsit çok-en çok, kuvars az-en az
K23	Kalsit çok-en çok, Dolomit az-çok az, kuvars az-en az
K24	Kalsit çok-en çok, kuvars az-en az
K24B	Kalsit çok-en çok, kuvars az-en az
K25	Kalsit çok-en çok, kuvars az-en az
K26	Kalsit çok-en çok, Dolomit az-çok az, kuvars az-en az
K27	Kalsit çok-en çok, kuvars az-en az
K28	Kalsit çok-en çok, kuvars az-en az, muskovit? Az-çok çok az
K30	Kalsit çok-en çok, kuvars az-çok çok az

2.2 Kimyasal Analizler

Örneklerin ana-minor element içerikleri ve kalsit-dolomit %'lerinin belirlenmesi amacıyla, jeokimyasal analizleri yapılmıştır.

Örneklerin kimyasal analizlerinde, CaO değerleri % 52,17 ila % 57,02 arasında (K7 örneği hariç: % 42,73), MgO ise % 0,04 ila % 3,58 arasında (K7 örneği hariç: 11,47 %), SiO_2 ise % 0,01 ila % 10,74 arasında (K13 örneğinde ise % 1,38) değişir (Çizelge 2). Al_2O_3 %, genellikle % 0,01 in altında olmakla beraber, bazı örneklerde % 0,15 ila % 0,33 arasında değişmektedir (Çizelge 2). Fe_2O_3 değerleri ise genellikle 0,04 %'nin altında olmakla beraber, % 0,07 ila % 0,35 arasında değişir (Çizelge 2). Na_2O , K_2O ,

TiO₂, P₂O₅, MnO değerleri ise 0,01 %'nin altında ve Cr₂O₃ değerleri ise 0,002 %'den düşüktür (Çizelge 2).

Örneklerin ateşte kayıpları, % 42,70 ila % 45,20 arasında değişir. Analiz sonuçları, Çizelge 2'de verilmiştir. Karbonat minerallerinin yüzde oranları, kimyasal analizlerde saptanan MgO %'si kullanılarak hesaplanmıştır (Çizelge 2). Bu verilere göre, K7 örneğinde karbonatların % 52,84'ni dolomit, % 47,15'ni kalsit oluşturmaktadır (Çizelge 2). K8, K9, K10 örneklerinde ise dolomit oranları % 15,80, % 16,49, % 13,68 olarak belirlenmiştir (Çizelge 2). K6, K22, K24A, K25 ve K28 örneklerinde, dolomit içeriği % 1'in altındadır (Çizelge 2).

2.3 Lazerli Tane Dağılımı Analizi

Örneklerin kaba kırmaları, çekiçli kırıcıda yapılmış, öğütmeleri ise Reitsch marka laboratuvar tipi 0.5 mm çaplı diskli öğütücü kullanılarak yürütülmüştür. Laboratuvar çaplı kırıcı/öğütücü kullanılarak elde edilen örneklerin tane boyları, lazerli tane dağılımı Malvern Mastersizer 2000 kullanılarak MTA Genel Müdürlüğü MAT Dairesi, Seramik Laboratuvarında belirlenmiştir. Ayrıca yaklaşık 30 kg örnek üzerinde Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümünde Cevher Hazırlama Laboratuvarı'nda "Bond Öğütülebilirlik Değeri" saptanmıştır.

Çizelge 3'de örneklerin en küçük tane boyutu, en büyük tane boyutu, ortalama tane boyutu, 10 µm altı, 25 µm altı, 25-50 µm arası, 50 µm altı ve 50 µm üstü % değerleri verilmiştir. Örneklerin laboratuvar ortamda yürütülen 0,5 mm elek çaplı kırıcı ile kırılmaları sonucu, ortalama tane boyları

genel olarak 45 µm'nun altındadır (Çizelge 3). Kalsitçe zengin ve az dolomit içeren örneklerde (< % 5), 50 µm'in altındaki örnekler, hacimsel olarak tüm miktarın % 78 ila % 100'ünü oluşturmaktadır. 25-50 µm arasında ise hacimsel olarak ise % 5 ila % 21 arasında, 25 µm'dan düşük tane boyutu ise hacimsel olarak, % 65 ila % 95 arasında değişmektedir. Dolomitçe zengin örneklerde (K7, K8, K9 ve K10 > %10) ortalama tane boyutu 17-45 µm arasında değişmektedir. 50 µm'nin altındaki taneler, tüm tanelerin hacimsel olarak %73 ila 91'ini, 25-50 µm arası tanelerin %10 ila % 19'ını, 25 µm'in altındaki tanelerin ise % 56 ila % 78'inin oluşturmaktadır (Çizelge 3). Laboratuvar tipi kısa süreli öğütmeye bağlı olarak dolomitçe zengin örneklerin (dolomit oranı % 10'dan fazla) 10 µm'dan düşük tane boyutu oranı hacimsel olarak % 36,95 ila % 56,56 arasında değişmektedir (Çizelge 3). Kalsit mineralince zengin örneklerde ise (dolomit oranı % 5'den az) 10 µm'dan küçük tane boyutu hacimsel olarak toplam örneğin % 38,23 ila % 66,79'unu oluşturmaktadır (Çizelge 3).

Tüm örneklerden oluşturulan yaklaşık 30 kg'lık örnekler üzerinde Bond iş indeksi çalışması yapılmış ve "Bond Öğütülebilirlik Değeri" 3.46 olarak belirlenmiştir. Çalışılan örneklerin öğütülebilirlik değeri, mikronize kalsit üretiminin yoğunlukla yapıldığı kalkerli kayalar ile benzer değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Bu veriler, Muğla bölgesindeki mermer atıklarından mikronize kalsit üretimi için ekstra enerji sarfiyatına gerek olmadığına işaret eder.

Çizelge 2. Çalışma kapsamında alınan örneklerin kimyasal analiz sonuçları (Koyu kısımlar %10'dan fazla dolomit içeren örnekleri işaret etmektedir).

Örnek Numarası	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cr ₂ O ₃	Ateşte Kayıp	Dolomit (%)
K1	0,09	0,01	0,35	1,09	55,07	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,003	43,3	5,02
K3	0,03	0,01	0,13	0,52	56,18	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002	43,1	2,39
K3A	0,59	0,33	0,32	0,50	55,06	0,01	0,03	0,03	0,01	0,01	0,002	43,1	2,30
K4	0,04	0,01	0,10	0,54	56,03	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,002	43,2	2,48
K5	0,03	0,01	0,04	0,25	56,67	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002	43,0	1,15
K6	0,04	0,01	0,04	0,14	56,81	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002	43,0	0,64
K7	0,09	0,02	0,28	11,47	42,73	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,002	45,2	52,85
K8	0,07	0,01	0,52	3,47	52,17	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,002	43,6	15,99
K9	0,18	0,15	0,09	3,58	51,73	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002	44,1	16,49
K10	0,07	0,01	0,10	2,97	53,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002	43,8	13,68
K11	0,14	0,01	0,06	0,50	56,10	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002	43,1	2,30
K12	0,04	0,01	0,09	0,70	55,85	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002	43,3	3,22
K13	1,38	0,01	0,04	0,58	55,22	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,002	42,7	2,67
K15	0,22	0,01	0,05	0,70	55,96	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002	43,0	3,22
K16	0,74	0,33	0,31	1,20	53,72	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,002	43,5	5,53
K17	0,30	0,01	0,07	0,62	55,68	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002	43,3	2,85
K18	0,01	0,01	0,06	0,61	56,21	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002	43,1	2,81
K19	0,30	0,03	0,09	0,25	56,28	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002	43,0	1,15
K20	0,01	0,01	0,04	0,89	55,98	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002	43,0	4,10
K21	0,43	0,17	0,30	0,90	54,68	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002	43,4	4,14
K22	0,01	0,01	0,07	0,04	57,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002	42,9	0,18
K23	0,05	0,01	0,04	0,33	56,40	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002	43,2	1,52
K24A	0,01	0,01	0,04	0,12	57,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002	42,9	0,55
K25	0,01	0,01	0,04	0,14	57,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002	42,8	0,64
K26	0,08	0,01	0,04	0,45	56,46	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002	43,0	2,07
K27	0,16	0,01	0,13	0,34	56,35	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002	43,0	1,56
K28	0,01	0,01	0,04	0,13	56,94	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002	42,9	0,60
K30	0,03	0,01	0,04	0,48	56,36	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002	43,1	2,21

Çizelge 3. Öğütülmüş örneklerin tane boyutu dağılım değerleri (Koyu kısımlar %10'dan fazla dolomit içeren örnekleri işaret etmektedir).

Örnek Numarası	En düşük tane boyutu (µm)	En büyük tane boyutu (µm)	Ortalama tane boyutu (µm)	Tane boyutu 10 µm altı %	Tane boyutu 25 µm altı %	Tane boyutu 25-50 µm %	Tane boyutu 50 µm altı %	Tane boyutu 50 µm üstü %
K1	0,39	40,24	9,10	61,35	94,84	5,16	100,00	0
K3	0,39	251,11	29,42	38,23	70,62	21,53	92,15	7,85
K4	0,39	120,72	14,76	52,47	82,38	13,82	96,20	3,80
K5	0,36	196,71	22,56	47,03	68,93	16,59	85,52	14,48
K6	0,31	196,71	23,99	44,24	65,79	16,92	82,71	17,29
K7	0,31	522,30	35,83	36,95	56,83	19,31	76,14	23,86
K8	0,35	136,40	17,29	52,56	77,62	13,26	90,88	9,12
K9	0,35	222,25	28,66	44,31	70,95	10,76	81,71	18,29
K10	0,31	362,15	45,18	39,65	59,13	14,24	73,37	26,63
K11	0,35	174,11	20,34	47,99	75,09	14,25	89,34	10,66
K12	0,35	462,28	42,61	39,61	66,77	11,81	78,58	21,42
K13	0,39	196,71	20,20	48,94	77,32	12,82	90,14	9,86
K14	0,35	222,25	27,67	40,77	70,56	12,59	83,15	16,85
K16-3	0,35	196,71	23,99	44,66	70,18	15,89	86,07	13,93
K17	0,31	120,72	13,47	59,59	82,93	12,76	95,69	4,31
K16-5	0,35	251,11	21,32	49,65	75,07	14,76	89,83	10,17
K18	0,31	320,54	28,87	47,38	68,71	14,34	83,05	16,95
K19	0,31	196,71	24,48	48,23	71,26	12,19	83,45	16,55
K20	0,35	283,70	23,69	50,87	74,49	14,91	89,40	10,60
K21	0,35	222,25	24,25	48,54	69,71	15,57	85,28	14,72
K22	0,35	106,85	15,00	53,84	79,54	15,46	95,00	5,00
K23	0,31	174,11	21,98	46,86	72,66	15,28	87,94	12,06
K24	0,35	196,71	18,21	51,84	80,59	11,14	91,73	8,27
K25	0,31	106,85	12,06	54,10	89,79	7,58	97,37	2,63
K26	0,31	65,58	10,16	66,79	92,88	6,62	99,50	0,50
K27	0,31	106,85	12,96	56,74	86,46	9,15	95,61	4,39
K28	0,31	136,39	16,63	53,76	81,56	11,55	93,11	6,89
K30	0,35	222,25	30,29	41,85	63,69	14,15	77,84	22,16

2.4 Gerçek Yoğunluk, Yağ Emme ve Beyazlık Testleri

Mikronize kalsit üretiminde, kalsit mineralinin “Gerçek Yoğunluk (g/cm³)”, “Yağ Emme (ml/100 g)” ve “Beyazlık” testleri önemli parametredir. Gerçek yoğunluk deneyi, ASTM D5550-06” standardına göre, yağ emme deneyi, TS2583 standardına göre, beyazlık testleri ise “Minolta Chroma Meter CR300” cihazıyla

yapılmış, analizlere ilişkin yöntemler, metot kısmında verilmiştir.

Örneklerin gerçek yoğunluk, yağ emme ve beyazlık testleri Çizelge 4’de verilmiştir. Dolomit oranı % 10’dan fazla olan örneklerde (K7, K8, K9 ve K10), gerçek yoğunluk 2,74 ila 2,77 g/cm³ arasında, yağ emme değerleri 20 ila 21 (mm/100 g) arasında, beyaz renk değeri ve yüzde beyazlık değerleri 91,46 ila 94,52 ve % 79,52 ila % 86,51 arasında değişmektedir (Çizelge 4). Dolomit içeriğin % 10’dan fazla

olduğu örneklerde, yüzde beyazlık değeri % 90'ın altındadır (Çizelge 4).

Kalsitçe zengin olan örneklerde ve dolomit içeriğinin % 5'den düşük olduğu örneklerde, gerçek yoğunluk, yağ emme ve beyazlık değerleri 2,71 ila 2,75 g/cm³, 16-22 mm/100 g, 93,10 ila 97,98 ile % 83,21 ila % 94,88 arasında değişmektedir (Çizelge 4). Kavaklıdere-Derebağ ve Kavaklıdere - Salkım bölgesindeki işletmelerden alınan örneklerin yüzde beyazlık testleri ve beyazlık değerleri genellikle % 90'ın altındadır (Çizelge 4). Yatağan-Merkez'de işletilen ocaklarda ise yüzde beyazlık değerleri 90'dan fazladır. Yatağan-Kaklık-Kozağaç bölgesinde ise yüzde beyazlık değeri % 92'nin üstündedir (Çizelge 4). Tüm örneklerin, gerçek yoğunluk ve yağ emme değerleri benzer değerlerle sunmaktadır (Çizelge 4).

3 TARTIŞMA VE SONUÇ

Muğla Bölgesinde işletilen mermer ocakları, Kavaklıdere (Merkez, Derebağ, Salkım), Yatağan (Merkez, Kavak, Elmacık) ve Karlık-Kozağaç bölgelerinde yüzeylenir. Bölgedeki ocakların, blok mermer üretim yüzdelerinin düşük olması nedeniyle, mermer atıkları işletme alanına, ormana ve ana/ara yollara yakın alanlarda bilinçsizce depolanmaktadır.

Çalışma bölgesinde Kavaklıdere-Derebağ, Salkım ve Merkez'de işletilen mermer ocaklarının test sonuçlarına göre; Salkım bölgesinde Erken Permiyen yaşlı mermer ocağı atıkları dolomit mineralince zengindir. Bölgede dolomit %'sinin 50'den fazla olması nedeniyle ilgili sahalar, mikronize kalsit üretim açısından uygun özellikler taşımamaktadır. Benzer olarak Kavaklıdere bölgesinde Jura-Kretesa yaşlı mermerler üzerinde üretim yapan ocaklardan alınan K8

ve K10 nolu atıkların dolomit içerikleri de % 13 ila % 16 arasındadır. Kavaklıdere-Merkez'de üretim yapan ocakların atıkları da (K9) dolomit açısından zengindir (% 17). Fe₂O₃ oranları, bu sahalarda düşük olmasına rağmen (% 0,09 ila % 0,52), dolomit içeriklerinin yüksekliği nedeniyle (< % 13) beyazlık % değerleri % 79,52 ila % 87,79 arasındadır. Örneklerin gerçek yoğunluk değerleri 2.74 ila 2.77 gr/cm³ ve yağ emme değerleri ise 20 ila 21 (mm/100 g) arasındadır. Öğütülmeye bağlı olarak 50 µm altı tane oranı, hacimsel olarak % 73,37 ila % 90,88, 10 µm altı ise % 39,65 ila % 52,56 arasında değişmektedir. Ancak, örneklerdeki yüksek dolomit içeriği, nispeten yüksek gerçek yoğunluk ve düşük beyazlık % nedeniyle, bu alanda işletilen ocaklarının atıklarının, mikronize kalsit üretimi için ekonomik olmadığını gösterir.

Kavaklıdere-Merkez'de üretim yapan ocaktan alınan K11 nolu atık örneğinin dolomit oranı % 2,30 arasında olup, kalsit içeriği yüksektir (% 97). Örneklerde Fe₂O₃ oranı % 0,06 oranındadır. Gerçek yoğunluk, yağ emme oranları ise 2.73 gr/cm³ ve 20 (mm/100 g) olarak saptanmıştır. Ancak örneklerin beyaz renk değeri 94.37, yüzde beyazlık değeri ise 86.15 olarak saptanmıştır. Kalsit içeriğinin yüksekliğine rağmen, yüzde beyazlık değerinin % 90'ın altında olması, ana kaya ve atıkların mikronize kalsit üretiminde kullanımına engel oluşturmaktadır. Bu alandaki atıkların Fe₂O₃ değerlerinin son derece düşük olmasına rağmen, % beyazlık değerinin düşüklüğü atıklarda seçimli örnekleme ile beyazlık değerinin yükselmesine imkân vermemektedir. Benzer durum, Kavaklıdere-Derebağ'da işletilen mermer ocaklarında da gözlenir.

Çizelge 4. Örneklerin gerçek yoğunluk, yağ emme ve beyazlık analiz verileri (Koyu kısımlar %10'dan fazla dolomit içeren örnekleri işaret etmektedir).

Örnek Numarası	Gerçek Yoğunluk (g/cm ³)	Yağ Emme (mm/100 g)	Beyazlık			
			L	a	b	Y
K1	2,73	21	95,48	+0,61	+3,57	88,76
K3	2,75	19	93,10	+1,43	+5,86	83,21
K4	2,72	21	95,51	+1,01	+4,69	88,83
K5	2,71	21	95,56	+0,39	+3,90	88,98
K6	2,72	22	95,27	+0,83	+5,82	88,27
K7	2,77	20	94,52	+0,74	+2,02	86,51
K8	2,75	21	94,45	+0,63	+1,84	86,34
K9	2,75	20	91,46	+1,19	+7,90	79,52
K10	2,74	20	95,07	+0,48	+4,45	87,79
K11	2,73	20	94,37	+0,38	+4,66	86,15
K12	2,72	20	95,50	+0,33	+2,39	88,82
K13	2,72	20	96,02	+0,37	+3,60	90,07
K14	2,72	22	96,26	+0,46	+3,15	90,71
K15	2,72	14	94,82	+0,40	+2,36	87,21
K16-3	2,73	18	95,24	+0,46	+3,78	88,20
K17	2,72	16	96,46	+0,37	+3,26	91,17
K18	2,73	20	95,97	+0,25	+2,75	89,94
K19	2,73	20	96,77	+0,35	+2,67	91,88
K20	2,72	20	95,50	+0,23	+1,82	82,29
K21	2,73	18	94,06	-0,07	+1,10	85,41
K22	2,72	18	97,71	+0,25	+1,52	94,20
K23	2,72	18	95,57	+0,59	+3,38	88,98
K24	2,72	20	97,13	+0,15	+2,33	92,76
K25	2,71	19	97,50	+0,11	+1,72	93,69
K26	2,71	19	96,89	+0,04	+2,16	92,17
K27	2,72	19	97,80	+0,16	+2,09	94,41
K28	2,72	19	97,98	+0,06	+1,55	94,88
K30	2,72	19	96,87	+0,06	+2,93	92,13

Kavaklıdere-Derebağ bölgesinde üretim yapan mermer ocaklarından alınan örnekler, % 1 ila 6 arasında dolomit içermektedir. Fe₂O₃ oranları % 0,25 ila % 1,20 arasında SiO₂ içerikleri ise % 0,01 ila 1,38 arasında değişir. Gerçek yoğunluk ve yağ emme değerleri 2,72-2,73 gr/cm³ ile 14-22 mm/100 g. arasındadır. Örneklerin yüzde beyazlık değerleri, % 88,82 ila 91,88 arasındadır. Bu alandaki işletilen mermer ocaklarından sadece K13, K14, K17 ve K19 ocaklarındaki atıklarda, yüzde beyazlık değeri % 90,00'nin üstündedir. Bu ocaklarda dolomit içeriği % 1,15 ila % 2,85 arasında, Fe₂O₃ oranı 0,09 ila 0,06 arasında, SiO₂ değeri ise 0,30 ila 1,38

arasında değişmektedir. K13 nolu örneğin SiO₂ %'si ve dolomit içeriği bölgedeki diğer atıklara nazaran belirgin yüksektir.

Beyazlık değeri, beyazlık yüzdesi, gerçek yoğunluk ve yağ emme değerleri, K19 sahasındaki ana kaya ve atıktan alınan örneklerin, mikronize kalsit üretiminde daha uygun olduğu ortaya koymaktadır. Ancak K13, K14 ve K17 ocaklarının atıklarının Fe₂O₃ değerinin düşük olması (% < 0,09), dolomit içeriğinin % 3'den az olması ve beyaz renk değerinin 96, beyazlık yüzde değerinin 90'dan büyük olması nedeniyle mikronize kalsit üretiminde kısmen değerlendirilebileceği göstermektedir.

Laboratuvar çaplı kırıcı ile yapılan öğütme testinde, örneklerin ortalama tane boyutu 13 ila 24 µm arasında değişmekte, hacimsel olarak toplam tanelerin % 83 - 95'i 50 µm altında ve % 40 ila 60'nın tane boyutu 10 µm altındadır. Bu veriler, mikronize kalsit üretiminde laboratuvar ölçekte kırma ve öğütme ile, mikronize kalsit üretiminin az enerji harcayarak mümkün olabileceğini gösterir.

Kavaklıdere-Derebağ bölgesinde işletilen ocaklardan, mikronize kalsit için en uygun atıklar, K13, K14, K17 ve K19 atık sahalarıdır. Ancak, bu sahalarda mikronize kalsit üretim yatırımı öncesi atıklarda detaylı örnekleme, jeokimyasal analiz ve pilot çapta örnekleme, kırma-öğütme ve "Bond İş Endeksi" çalışmaları yapmak gerekir.

Yatağan-Kavaklı-Elmacık bölgesinde Jura-Kretase yaşlı mermerler içerisinde ocaklarının atıklarının dolomit içeriği, K1, K3 ve K4 örneklerinde % 2,30 ila % 5,20 arasındadır. K5 ve K6 örneklerinde ise dolomit %'si 0,64 ila 1,15 arasında değişir. Atıkların Fe₂O₃ ve SiO₂ değerleri 0,04 ila 0,35 ve 0,01 ila 0,09 arasında değişir. En düşük Fe₂O₃ değeri (< % 0.04) K5 ve K6 ocaklarından alınan atıklarda saptanmıştır. Bu sahalardaki atıkların, SiO₂ değerleri de % 0,03'den düşüktür.

Bölgede ticari mikronize kalsit üretimi yapan K22 nolu örneğin dolomit % 0,18, Fe₂O₃ % 0.07 olup, diğer tüm ana oksit değerleri (SiO₂, Al₂O₃, Na₂O, K₂O, MnO, TiO₂, P₂O₅, Cr₂O₃) % 0.01'in altındadır. Ticari mikronize kalsit üretim yapılan bu alanda elde edilen jeokimyasal veriler, bu çalışma kapsamında temel değerler olarak değerlendirilmiştir. Örneklerin gerçek yoğunluk, yağ emme, beyazlık değeri ve yüzde beyazlık değerleri, 2,72 gr/cm³, 18 mm/100 g, 97,71 ve % 94,20 olarak belirlenmiştir.

Yatağan - Kavaklı - Elmacık yöresinde işletilen diğer ocakların atıklarının gerçek yoğunluk, yağ emme, beyazlık değerleri ve yüzde beyazlık değerleri, 2.72-2.73 gr/cm³, 21-22 mm/100 g, 95,27 - 95,56 ve % 88.27-88.98 arasında değişir.

Teknolojik test sonuçları, K22 sahasının atıkları dışında, blok mermer üretimi yapan

K1, K5, K4 ve K6 ocaklarından alınan atıklarının, mikronize kalsit olarak değerlendirilmesi mümkün gözükmemektedir. K22 nolu atığın öğütülebilirlik testlerine bağlı olarak, % 95'i hacimsel olarak 50 µm altı, % 53,84'ü ise 10 µm altındadır. Bu sonuçlar da, diğer sahaların tane boyut değerlendirilmesinde temel veri olarak kullanılmıştır.

Yatağan-Merkez'de blok mermer üretimi yapan K24, K25 ve K23 sahalarının atıklarının dolomit %'si 0,55 ila 1,52 arasında, Fe₂O₃ değerleri % 0.04 civarında, diğer ana oksit elementleri ise (SiO₂, Al₂O₃, Na₂O, K₂O, MnO, TiO₂, P₂O₅, Cr₂O₃) %0.01 ve altındadır. İlgili örneklerin teknolojik test sonuçlarına göre gerçek yoğunluk, yağ emme, beyazlık değerleri ve beyazlık yüzde değerleri 2.71 - 2.72 gr/cm³, 18-20 mm/100 g, 97,13-97,57 ve % 88,89 - 97,26 arasında değişir. Bu veriler, K24 ve K25 atıklarının mikronize kalsit üretiminde değerlendirilebileceğini gösterir.

Laboratuvar çaplı kırma-öğütme testleri sonucu hacimsel olarak örneklerin % 97,37'si 50 µm altı, % 54,10'u ise 10 µm altındadır. Bu veriler, ilgili örneklerin laboratuvar çaplı kırma-öğütmesiyle, mikronize kalsit üretimi için gerekli tane boyutuna inilebileceğini göstermektedir. Yatağan-Karlık-Kozağaç bölgesinde Jura-Kretase yaşlı mermerlerde aktif ve inaktif üretim yapan K28, K27, K29, K30 ve K26'nın atık sahalarının dolomit % 0.64 ila 2.21, Fe₂O₃ %'si 0.04 - 0.13, SiO₂ % 0.01 ila % 0.16 arasında değişir ve diğer ana oksit % ise (Al₂O₃, Na₂O, K₂O, MnO, TiO₂, P₂O₅, Cr₂O₃) 0.01'den daha düşüktür.

Yatağan-Karlık-Kozağaç bölgesinde mermer ocaklarının atıklarının gerçek yoğunluk, yağ emme, beyazlık değerleri ve yüzde beyazlık değerleri 2.71 ila 2.72, 19, 96.87 ila 97.98 ve 92.13 ila 94.88 arasında değişir.

K28 nolu atık sahası bölgede mikronize kalsit üretimi yapan K22 sahasının kimyasal değerlerine benzer, ancak atıkların beyazlık değeri ve beyazlık yüzde oranı belirgin olarak daha yüksektir. Bölgedeki diğer mermer sahaların atıklarının (K26, K27, K29 ve K30) dolomit içeriği ve Fe₂O₃ içeriği %

2,21 ve % 0.13'den düşüktür. Atıkların dolomit içeriğinin kısmi yüksekliğine rağmen, düşük Fe₂O₃ içeriği nedeniyle beyazlık değerleri ve beyazlık yüzde oranları yüksektir. Bulgar, bu alandaki atıkların mikronize kalsit üretiminde değerlendirilebileceğini gösterir.

Yatağan-Karlık-Kozağaç bölgesindeki atıkların laboratuvar ölçekli kırma-öğütülmesi sonucu, ürünlerin % 93 - 99,50'nin tane boyutu 50 µm'nun altı, % 53 ila % 66'nın tane boyutu ise 10 µm'nin altındadır. Ancak K27 atık sahasında ürünlerin % 78'ini 50 µm altı, 10 mikron altı oranı ise % 41.85 olarak belirlenmiştir. Bu bölgede mikronize kalsit üretiminde en önemli sahaları K28 ve K27 nolu atıklar oluşturur.

Bu çalışma ile yürütülen teknolojik testler ve kimyasal analizlere bağlı olarak, Kavaklıdere-Derebağ'daki K13, K14 ve K19, Yatağan'daki K24 ve K25 ve Yatağan-Kozağaç-Kaklık bölgesindeki K26, K27, K28, K29 ve K30 no sahalalarının mermer atıklarının, mikronize kalsit üretiminde önemli sahalara olduğunu ortaya konmuştur.

Bu çalışma kapsamında, Muğla ve civarında mikronize kalsit üretimi açısından önemli atıkların, Kavaklıdere bölgesine nazaran Yatağan-Merkez ve Yatağan-Karlık-Kozağaç bölgelerinde izlendiği belirlenmiştir. Elde edilen teknolojik testler ve "Bond İş Endeksi" değerlerine göre, mikronize kalsit üretiminde kristalize mermer sahalalarının atıklarının da kullanılabileceğini gösterir. Yatağan-Merkez ve Yatağan-Karlık-Kozağaç bölgesinde mikronize kalsit üretimi, Bodrum-Güllük limanının bölgeye yakın olması nedeniyle mermer atıkların mikronize kalsit olarak üretilmesi öncelikli alanlar olarak düşünülmelidir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (Proje No:12/55) projesi kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Candan, O., Koralay, E., Akal, C., Kaya, O., Oberhansli, R., Dora, O.Ö., Konak, N., Chen, F., 2011. Supra-Pan-African unconformity between core and cover series of the Menderes Massif / Turkey and its geological implications, *Precambrian Research*, 184 (1-4), s. 1-23
- Collins, A.S., Robertson, A.H.F., 1997. Lycian melange, southwestern Turkey: An emplaced Late Cretaceous accretionary complex, *Geology*, 25(3), s. 255-258.
- Dora, O.Ö., Candan, O., Kaya, O., Koralay, E., Dürr, S., 2001. Revision of the so-called "leptite gneisses" in the Menderes Massif: A supracrustal metasedimentary origin, *International Journal of Earth Sciences* 89(4), s. 836-851.
- Gürer, C., Akbulut, H., 2005. Mermer atıklarının çevresel etkileri ve yol katmanlarında kullanarak faydalanma ve atık azaltma imkanları, *Türkiye IV. Mermer Sempozyumu*, s. 371-378, Afyon.
- Konak, N., Akdeniz, N., Öztürk, E.M., 1987. Geology of the south of Menderes Massif, I.G.C.P. Project No: 5, Correlation of Variscan and pre-Variscan events of the Alpine Mediterranean mountain belt, *Mineral Research and Exploration Institute o Turkey*, s. 42-53.
- MTA 1/100.000 ölçekli N19 ve N20 paftaları dijital görüntüleri, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara
- Okay, A., 1989. Geology of the Menderes Massif and the Lycian nappes, south of Denizli, Western Taurides, *Mineral Research and Exploration Bulletin*, 109, s. 37-51.
- Öztürk, M., 2009. Mermer kesiminden kaynaklanan çevre kirliliği, *TBMM Çevre Komisyonu Raporu*, s. 1-22.
- Rimmele, G., Jolivet, L., Oberhansli, R., Goffe, B., 2003. Deformation history of the high-pressure Lycian Nappes and implications for tectonic evolution of SW Turkey, *Tectonics*, 22, s. 1-21.
- Schulling, R.D., 1962. On petrology, age and structure of the Menderes migmatite complex (SW Turkey), *Mineral Research and Exploration Bulletin*, 58, s. 71-84.
- Yavuz, A.B., 2005. Muğla yöresi mermer ocaklarında üretilen mermer blok boyutlarının değerlendirilmesi, *DEU Müh. Fak. Fen ve Müh. Dergisi*, 7(2), s. 1-19.

Mermer Üretiminde Ortaya Çıkan Atık Malzemenin Çimento İçerisinde Doğal Puzolan İle Birlikte Kullanılmasının Çimento Üzerindeki Etkileri

The Effects of Utilization of Waste Material Generated During Marble Production with Natural Puzzolana Within Cement

A.V. Korkmaz

Çimsa Çimento Sanayi A.Ş., Afyon

ÖZET Çimento dünyada en çok tüketilen malzemelerden birisi olup, yapı sektörünün temel bileşenidir. Çimento üretimi yoğun enerji gerektiren bir süreçtir. Bu nedenle son yıllarda çimento klinkerine öğütme aşamasında çeşitli katkı malzemeleri eklenmektedir. Bu tez çalışmasında, mermer üretiminde ortaya çıkan katı atıkların çimento içerisinde doğal puzolan ile birlikte katkı maddesi olarak değerlendirilmesi ele alınmıştır. Çimento üretim maliyetlerini düşürmeye yönelik ve mermer endüstri atıklarının çevreye verdiği zararı önlemek amacıyla bir araştırma yapılmıştır.

Bu amaç doğrultusunda mermer atığı katkılı çimentolar ve doğal puzolan katkılı çimentolar üretilmiştir. Üretilen çimentoların yoğunluk, çimento inceliği, priz süreleri, su içeriği, hacim genleşmesi, 1, 2, 7 ve 28, günlük ortalama basınç dayanımları deneyleri yapılmıştır. Üretilen katkılı çimentoların fiziksel ve kimyasal özellikleri portland çimentosuyla karşılaştırılmıştır. Elde edilen deneysel veriler ışığında söz konusu mermer atığı ve doğal puzolanın çimentoda katkı malzemesi olarak kullanılmaya uygun oldukları belirlenmiştir.

ABSTRACT Cement, which is one of the world's most widely consumed materials, is a core component of the construction sector. Day by day, the necessity for consuming the cement is increasing depends on the growing population and construction industry. Cement production is a process that requires intense energy. For this reason, in recent years, various additives are added to the cement clinker in grinding stage. In this study, Utilization of marble wastes which are generated during marble production as an additive with natural puzzolana within cement was discussed. This study was carried out to find out the possibilities of reduction of cement production costs and minimizing the impact of marble industry wastes on environment.

For this purpose, marble waste blended cements and natural puzzolana blended cements were produced. Density, cement fineness, setting times, water content, volume expansion, 1, 2, 7 and 28 days of average compressive strength tests of the produced cement were carried out. Physical and chemical properties of the produced blended cements were compared with Portland cement. In the light of obtained experimental data, it was determined that blended cements can be produced by 20 % marble waste with 20 % natural puzzolana replacement by clinker.

1 GİRİŞ

Çimentolar hem havada hem de suda sertleşebilmeleri nedeniyle hidrolik özeliğe sahip güçlü bağlayıcılardır. Betonun ana malzemesi olan çimentonun taşıdığı özellikler beton kalitesi ve performansı üzerinde önemli rol oynar. Portland çimento klinkerinin olağan üretim yönteminde, kalker ve silis içerikli hammaddeler uygun oranlarda karıştırılıp öğütüldükten sonra döner fırında 1450 °C sıcaklıkta pişirilerek klinker elde edilmektedir. Çimento üretiminin en maliyetli kısmı ise klinker üretimidir. Klinker üretimi için yüksek enerji gerekliliği çevresel ve ekonomik açıdan önemli sorunlara neden olmaktadır (Postacıoğlu, 1986).

Endüstriyel açıdan bakıldığında dünyada yılda üretilen çimento miktarının 2010 yılında 2.8 milyar ton/yıl olması beklenmektedir (Topçu ve Karakurt, 2007). Dünyada çimento üretiminin neredeyse yarısını gerçekleştiren Çin'i sırasıyla Hindistan, ABD ve Japonya izlemektedir. Çimento üretiminde ilk onda bulunan ülkemizin çimento üretim kapasitesi 2007 yılında yaklaşık 81.5 milyon ton değerine ulaşmıştır. Dünyadaki bu üretim ve tüketim artışıyla birlikte çimento endüstrisinin çevreye verdiği zararda artmaktadır. Klinker üretimi sırasında kalsinasyon ve yanma sonucu ortaya çıkan zararlı CO₂ gazları en önemli çevre problemlerinden birisidir (Canpolat vd., 2004). Günümüzde CO₂ gazlarının % 5'i çimento endüstrisi tarafından doğaya bırakılmaktadır (The Freedomia Group, 2006). Bu tip çevresel olumsuzlukların önüne geçmek için çimento üretiminde klinker kullanımının olabildiğince azaltılması gerekmektedir buda şuan alternatif katkı maddeleri ile sağlanabilmektedir.

Mineral katkı çimentolar çevresel kazanımların dışında sürdürülebilir beton teknolojisi açısından da önemli etkilere sahiptir (Collepari, 2006).

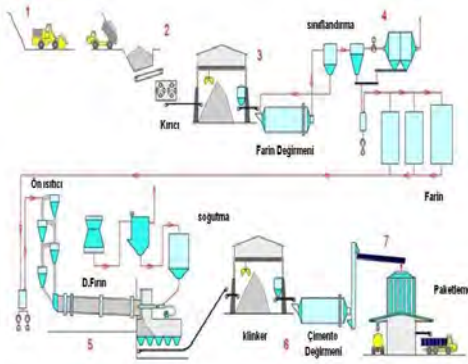
Çimento üretiminde kullanılan katkılar, hidratasyon sonucu ortaya çıkan Ca(OH)₂ yi bağlayarak hem dayanıma katkıda bulunur hem de betondaki dayanıklılık sorunlarını önlerler (Poon vd., 1999). Betonun çevre koşullarına dayanıklı olarak üretilmesiyle

inşa edilen yapı, planlanan hizmet ömrü boyunca sorunsuz olarak kullanılabilir (Massazza, 1997; Monterio vd., 1997).

Günümüz çimento endüstrisinde hem maliyet hemde çevreye verilen zararların azaltılması amacıyla mineral katkı çimentoların kullanımının yaygınlaştırılması öncelikler arasındadır. Çimentolarda klinker kullanımı azaltılarak bunun yerine doğal puzolan yada endüstriyel atıkların kullanımı ile TS EN 197-1 (2002) standardında belirtilen CEM II, CEM III, CEM IV ve CEM V tipi çimentoların üretimi olasıdır.

1.1 Çimento Üretim Yöntemi

Çimento başlıca silisyum, kalsiyum, alüminyum ve demir oksitlerini ihtiva eden hammaddeleri karıştırılarak sinterleşme sıcaklığına kadar pişirilmesi ile elde edilen "klinkerin" bir veya daha fazla cins katkı maddesi (alçıtaşı, tras, cüruf vb.) ile öğütülmesi suretiyle elde edilen bir hidrolik bağlayıcıdır. Hidrolik bağlayıcı maddeler, su ile reaksiyonu sonucu sert bir kütle oluşturduktan sonra su içerisinde dağılmayan, sertliğini ve mukavemetini muhafaza eden veya artıran bağlayıcı maddelerdir. Çimento üretiminde kullanılan ana hammaddeler jeolojide sedimenter kayalar olarak bilinen kireçtaşı, kil ve marndır. Klinker üretiminin ana komponentleri olan CaO için kalker (kireçtaşı); SiO₂, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ için de kil mineralleri temel kaynaklardır. Marn gibi bu dört oksiti bünyesinde bulunduran diğer malzemeler de çimento hammaddesi olarak kullanılmaktadır. Çimento üretiminin genel akım şeması Şekil 1.1'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1 Çimento üretim yönteminin genel akım şeması (Kandemir,1993)

Şekil 1.1' den takip edileceği üzere, çimento üretiminde kullanılan hammaddeler, hammadde ocaklarından genellikle sert oldukları için patlayıcı maddeler yardımıyla çıkarılır ve yükleyici iş makineleri ile nakil araçlarına yüklenerek kırılmak üzere konkasörlere taşınır (1). Hammaddeler, konkasörlerde kırıldıktan sonra stokholde stoklanır (2). Gezer vinçler yardımıyla stokholden alınan hammaddeler belli oranlarda karıştırılarak farin değirmenlerine alınarak öğütülürler (3). "Farin" adını alan karışım pişirilmek üzere hazır olarak farin stoklarında stoklanır (4). Ön ısıtıcılardan geçirilerek döner fırına sevk edilen farin yaklaşık 1400-1450 derece sıcaklıkta pişirilir (5). Döner fırından klinker olarak çıkan yarı mamül ürün soğutucuda soğutulur klinker stokholünde stoklanır. Alçıtaşı ve üretilecek çimento cinsine uygun katkılarla (Cüruf, kül vb. gibi) çimento değirmenlerinde öğütülür (6). Çimento cinslerine göre ayrı ayrı silolarda stoklanan çimento, torbalı ve dökme çimento olarak satışa sunulur (7). Genel olarak çimento üretiminde, maliyetin % 9'u hammadde, %21'i elektrik, %38'i yakıt, %9'u işçilik ve %7'si amortismandır. Geri kalan maliyetler ise %16'lık paya sahip olup, diğer sabit giderleri oluşturmaktadır (Kandemir,1993 ve Kaplan vd., 1995).

1.2 Puzolanlar ve Katkılı Çimentolar

Çimento endüstrisinin, dünyada atmosfere bırakılan toplam CO₂ miktarının tek başına % 5'ini bırakması önemli bir çevre sorunudur.

Son yıllarda çevre bilincinin gelişimi ve küresel ısınma tehlikesi çimento endüstrisinde klinker yerine alternatif malzemelerin kullanımını gündeme getirmiştir. Çimentonun keşfedilmesinden önce bağlayıcı madde olarak kullanılan doğal puzolanlar ve endüstriyel gelişimle birlikte yan ürün olarak ortaya çıkan yapay puzolanlar, son yıllarda çimento endüstrisinde katkı malzemesi olarak yaygın şekilde kullanılarak katkı çimento üretimi yaygınlaşmıştır. Avrupa'da beton üretiminde oldukça yaygın olarak kullanılan katkı çimentolar ne yazık ki Türk inşaat ve hazır beton endüstrisi tarafından gereken ilgiyi görememektedir.

Puzolanların çimento ve betonda kullanımı ile kolay işlenebilme, hidrasyon ısısında azalma, kimyasal etkilere karşı dayanıklılık ve özellikle ileri yaş beton dayanımında artış gibi teknik avantajlara ek olarak öğütme ve ısı enerjilerinden de ekonomi sağlanmaktadır (Shi ve Day, 2001). Doğal kaynakların ve çevrenin korunması sağlanmakta ve ürün maliyeti azalmaktadır. Ayrıca bu şekilde bazı endüstriyel atıklardan da yararlanılmaktadır. Puzolanların birkaçını birlikte kullanarak etkileri en uygun hale getirmek olasıdır. Tek bir puzolan katkı yada birden fazla katkı bileşeninin kullanıldığı katkı çimento üretimine önem verilmelidir (Massazza, 1993).

Puzolanların çimento ve betonda kullanımı ile kolay işlenebilme, hidrasyon ısısında azalma, kimyasal etkilere karşı dayanıklılık ve özellikle ileri yaş beton dayanımında artış gibi teknik avantajlara ek olarak öğütme ve ısı enerjilerinden de ekonomi sağlanmaktadır (Shi and Day, 2001).

Doğal kaynakların ve çevrenin korunması sağlanmakta ve ürün maliyeti azalmaktadır. Ayrıca bu şekilde bazı endüstriyel atıklardan da yararlanılmaktadır. Puzolanların birkaçını birlikte kullanarak etkileri en uygun hale getirmek olasıdır. Tek bir puzolan katkı yada birden fazla katkı bileşeninin kullanıldığı katkı çimento üretimine önem verilmelidir (Massazza, 1993).

1.2.1 Doğal puzolanlar

Genellikle doğal puzolanlar ülkemizde tras adıyla bilinmektedir. Ancak doğal puzolanlar kaynak ve yapısına göre farklı gruplarda sınıflandırılmaktadır. Doğal puzolanlar çeşitli sınıflandırmalara göre değerlendirilmektedir. Ancak en yaygın kabul gören sınıflandırma Massazza tarafından yapılan sınıflandırmadır (Hewlett, 1998).

Piroklastik kayalar volkanik patlamalar sonucu atmosfere atılan erimiş magma parçacıklarından oluşur. Patlama sırasındaki ani basınç düşüşü sıvı magma içerisinde çözünmüş olan gazların ortaya çıkmasına neden olur. Çıkan gazların geride bıraktıkları boşluklar nedeniyle katılaştıran parçacıklarda mikro ve makro boyutta boşluklu yapı görülür. Katılaştıran parçacıkların atmosferde aniden soğuması nedeniyle oluşan camsı faz, volkanik kökenli kayalara puzolanik özellik kazandırır (Erdoğu vd., 2003).

Klastik kayalar, kil ve diatomitli toprakların tortullaşmasıyla oluşan puzolanik malzemelerdir. Killer volkanik kayaların değişiminden oluşurken, diatomitli topraklar mikroorganizmaların silisli iskeletlerinin tatlı su yada deniz suyunda katmanlaşmasıyla oluşur. Her iki malzeme farklı kökenlerine karşılık suda birikir, dolayısıyla bu malzemeler doğada bir arada karışık bulunurlar. Yüksek oranda amorf silis içermesi ve yüksek özgül yüzeye sahip olmalarından dolayı diatomitli topraklar kirece karşı ileri derecede reaktiftir (Erdoğan, 1997; Erdoğu vd., 2003). Karışık kökenli kayalar (hibrit kayalar) ise birden çok şekilde oluşmuş puzolanları bir arada bulunduran mineral malzemelerden oluşmaktadır. Bu kapsama giren doğal puzolan yataklarında piroklastik, tortul ve organik kaynaklı yapılar katmanlar şeklinde bir arada olabilirler.

1.2.2 Trash Çimentonun Avantajları

- Hidrasyon ısısını azaltır.
- Çatlama karşı betonun direncini artırır.
- Su geçirmezliği artırır.
- Alkali-agrega reaksiyonu nedeni ile oluşan genleşmeyi önler.
- Sülfatlı topraklara ve sulara karşı betonun direncini artırır.

•Deniz suyuna karşı betonun direncini artırır.

•Karbonatlaşmaya karşı betonun dayanıklılığını artırır.

Betonun geçirgenliğini azaltmak suretiyle betonarme demirini korozyondan korur (Anonim).

1.3 Mermer Madenciliği

Günümüzde mermer kullanım alanlarının çoğalması ile mermere olan talep gittikçe artmıştır. Mermer üretimi, genel madencilik sektörü içinde önemli bir yere ulaşmıştır. Özellikle son dönemde ülkemizde mermer sektörüne yapılan yatırımlar, uygulamaya başlanan modern ocak üretim yöntemleri ve teknolojinin ocaklarda yaygınlaştırılması sayesinde mermer üretiminde büyük artış kaydedilmiştir. Türkiye’de Afyonkarahisar, Muğla, Eskişehir, Marmara adası, Diyarbakır, Adıyaman, Çanakkale, Elazığ, Burdur, Amasya, Sivas ve Isparta gibi şehirlerimiz ve çevrelerinde mermer üretimleri yoğun şekilde devam etmektedir (Kun, 2013).



Şekil 1.2 Türkiye mermer haritası

İnsanoğlunun tarih sahnesinde ortaya çıkışı ile beraber madencilik başlamıştır. İnsan, yaşamı için gerekli beslenme, barınma, yaşam kalitesi gibi yaşamsal faaliyetlerini sürdürülebilmesi için çevre ile barışık halde olmalıdır. Madencilik ve çevre birbirine tercih edilmemesi gereken iki ana önemli değerdir. Bu iki temel değere eşit önem verilerek ve uyum içinde kalınarak faaliyet gösterilmelidir. Birinin diğerine tercih edilmesi, insan yaşam sisteminin dengesinin bozulması demektir (Kulaksız vd., 2001).

Ülkemizde son yıllarda giderek artan mermer üretimi ve buna dayalı olarak mermer

tesislerinde yaşanan artış, beraberinde bazı olumsuz tepkiler de getirmiştir. Bunun nedenlerinin başında, mermer ocakları ve çevresinin fiziksel olarak geçici bozulması ve üretim miktarının artması sonucu daha fazla oluşan, blok mermer amaçlı değerlendirilemeyen ve değişik ebattaki mermer artıkları gelmektedir. Mermer artıkları; mermer ocağında blok üretimi sırasında oluşan artıklar ile kullanılacak alana göre fabrikada işleme sırasında ortaya çıkan artıklar olarak ele alınabilmektedir. Mermer ocağında oluşan artıkların miktarının blok üretimine oranla daha fazla olmasının sebebi, mermer ocaklarının jeolojik yapısından kaynaklanan süreksizlikler ve ilgili birimin yapısının başta planlanmamasından kaynaklanmaktadır. Üretim ve işleme sırasında ortaya çıkan bu artıklar değişik endüstriyel alanlarda değerlendirilebilen hammadde/girdi olduğundan genel anlamdaki “atık” kapsamında değerlendirilmemelidir (Anonim).

1.3.1 Mermer Ocaklarının Çevresel Etkileri

Mermer üretimi dünya genelinde açık ve yer altı üretim yöntemi ile yapılmakta olup, yer altı işletmeciliği, çevreye etkisinin daha az olması ve görsel kirlilik oluşturmamasına rağmen ülkemizde tercih edilmeyip açık ocak işletmeciliği yapılmaktadır.

Mermer ocağı basamak faaliyetleri ile, ocak alanı hem yatay hem de düşey olarak genişlemekte ve blok üretimi arttıkça ocak alanının boşluk hacmi de artmaktadır. Üretilen mermer blokları nedeniyle oluşan bu çukurluklar, doğal topografya üzerinde en fazla değişikliğe neden olan faktörlerin başında gelmektedir. Mermer işletmeciliğinin ekonomik açısından temelini oluşturan mermer bloklarının üretimi, öncelikle topografyada meydana gelebilecek değişikliklere, diğer bir deyişle görsel kirlilik ve fiziksel değişikliğe neden olmaktadır. Bunun yanında, ülkemizde mermer ocaklarında genel olarak blok veriminin çok düşük olması nedeniyle büyük miktarlarda atık oluşmaktadır (Bilgin ve Koç, 2013).

Blok alınmasında jeolojik yapı olarak mermer yatağındaki kırık, çatlak ve eklem

sistemleri en önemli husus olup, bunun dışında, blok veriminin düşmesinde, hatalı ocak yeri seçimi ve plansız üretimin de etkili olduğu bilinmektedir. Üretim sonucu açığa çıkan artıkların gelişigüzel çevreye atılması nedeniyle, artık yığınlarının kayması şeklinde meydana gelebilecek tehlikeli durumlar söz konusu olmaktadır. Ayrıca üretimin artması ile artan artık miktarı nedeniyle, daha fazla depolama alanı ihtiyacı doğmakta ve orman, mera ya da tarım arazi kullanımı da artabilmektedir. Üretim sonucu ortaya çıkan artıkların başka endüstriyel alanlarda değerlendirmeye alınmaması da, uzun yıllar sonucu biriken bu artıkları, görüntü kirliliği açısından yapay artık dağları olarak karşımıza çıkarmaktadır.

Mermer ocaklarında, görüntü kirliliği, artık sorunu dışında önemli diğer çevresel etkilerden biri de üretim esnasında ortaya çıkan tozun çevreye verdiği etkidir. Ayrıca, mermer ocaklarında, kayacın türüne göre gerekli tedbirler alınmaz ise yer altı suyunun kirlenmesi, gürültü kirliliği, kazılan üst toprağın ayrı bir yerde düzenli olarak depolanmaması nedeniyle oluşan toprak kaybı/ tahribatı gibi etkilerde meydana gelebilmektedir (Bilgin ve Koç, 2013).

1.3.2 Mermer Artıkları

Mermer üretimi sonucunda ortaya çıkan artıklar, genel olarak boyutuna ve yerine göre ikiye ayırabilmektedir. Boyutuna göre, parça (moloz) ve toz artıklar olarak iki farklı şekilde ele alınabilmektedir. Parça olarak çıkan artıklar, genellikle moloz olarak adlandırılan, ticari olarak blok olarak değerlendirilemeyen ve belirli geometrik bir şekli olmayan iri-ufaklı parçalardır. Toz artıklar ise, geçirildikleri işlemde sonra ortaya çıkan tozlar ve arama veya üretim sırasında yapılan kazı ya da taşıma gibi işlemler sonucu kayaç ve kayaç parçacıklarının ezilmesi sonucu oluşan tozlardır.

Mermer ocaklarında oluşan artıklar, dünya genelinde etkisiz atık (inert) olarak değerlendirilmektedir. Ancak, bu artıklar, etkisiz atık olma özelliğine rağmen mermer sektörünün en önemli sorunlarından birisidir. Bu sorunun temelinde, halkın bilgilendirme eksikliği ve bu artıkların değerlendirilmeden

yıllarca ocak sahalarında bekletilerek yapay artık dağlarının oluşması gibi hususlar yatmaktadır. Bu artıkların değerlendirilmesi memesi çok fazla ekonomik kayba neden olmaktadır. Oysa bu parça ve toz artıkları birçok alanda değerlendirilebilmektedir. Mermer üretimi ve mermerin işlenme sürecinde açığa çıkan parça mermer artıkları, belirli bir boyuta kırılarak ya da bazı işlemlerden geçirilerek farklı endüstriyel alanlarda kullanılabilir. Bu alanlar, mineral sıva yapımı, palladyen yer döşeme, mozaik döşeme, ekşitilmiş parça döşeme, yapay döşeme, agrega (mıcır) üretimi ve metalürji sanayi gibi alanlardır. Toz mermer artıklar ise, çimento, seramik, kâğıt, soda, cam, boya, plastik sanayilerinde, kireç, çelik ve refrakter tuğla üretimi yapımında ve tarım sektöründe kullanılabilir.



Şekil 1.3 Mermer atıklarının görüntüsü

Mermer artıklarının değerlendirilmesi için son yıllarda bilim dünyasında ve endüstri-sanayi dallarında önemli çalışmalar yapılmış, ilgili mevzuatta da değişikliklere gidilmiştir. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Karayolları Genel Müdürlüğü, Devlet Hava Meydanları İşletmesi gibi birçok kamu kurumunun projelerinde, agrega ve dolgu gibi inşaat ürünü ihtiyacında bu artıkların değerlendirilmesi yoluna gidilmektedir. Bu artıkların değerlendirilmesi ile, başta agrega ihtiyacı olmak üzere diğer kullanım alanlarında da yeni ocakların açılmasının önüne geçilerek ekonomiye ve çevreye

olumlu katkıda bulunmaktadır. (Bilgin ve Koç, 2013).

2. MATERYAL VE METOT

2.1 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler

Çimento karışımlarının hazırlanmasında Portland çimentosu klinkeri, alçıtaşı (Sivas/Yıldızeli), mermer fabrikası atığı (Tokat/Turhal), doğal puzzolan (Sivas/Yıldızeli), standart kum ve şebeke suyu kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan kum standart kumdur. Kimyasal madde olarak dilyum tetraborat (merck), lityum iyodür (merck), etilen glikol (merck), HCl (merck) $Ca(OH)_2$ ve $CaCO_3$ kullanılmıştır. Gerek kimyasal deney sonuçları gerekse mekanik dayanım, malzemenin ilgili standarda (TS 25) öngörülen sınırların üzerinde uygunluk gösterdiğini kanıtlamaktadır.

2.1.1 Portland çimentosu klinkeri

Çalışmalarda kullanılan Portland çimentosu klinkeri, Tokat Adoçim San. ve Tic. A.Ş. fabrikasından temin edilmiş olup XRF; (Atomika teknik panalytical axios modeli) metoduyla kimyasal analizi yapılarak deneylerde bu klinker kullanılmıştır. Kullanılan klinkerin özgül kütlesi $3,17 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Klinker numunesinin kimyasal analiz sonucu Çizelge 2.1' de verilmiştir.

2.1.2 Alçıtaşı

Kullanılan alçıtaşı Adoçim Çimento San. ve Tic. A.Ş. Tokat fabrikasından temin edilmiş olup, kimyasal analizi yapılarak (XRF cihazı ile) kristal suyu miktarı belirlenmiştir. Alçıtaşı numunesinin kimyasal analiz sonucu Çizelge 2.2' de verilmiştir.

2.1.3 Doğal Puzzolan

Kullanılan doğal puzzolan malzemesi Sivas/Yıldızeli'nde bulunan tras ocaklarından sağlanmıştır. Deneylerde kullanılan doğal puzzolanın kimyasal ve fiziksel analizleri yapılarak özellikleri belirlenmiştir. Doğal puzzolan numunesinin kimyasal ve fiziksel analiz sonucu Çizelge 2.3' de verilmiştir.

2.1.4 Mermer Atığı

Kullanılan mermer atığı katkısı Tokat/Turhal mermer fabrikalarına ait ocakların atık sahalarından sağlanmıştır. Deneylerde kullanılan mermer atığının kimyasal ve fiziksel analizleri yapılarak özellikleri belirlenmiştir. Mermer atığı numunesinin kimyasal ve fiziksel analiz sonucu Çizelge 2.4' de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Klinker numunesi kimyasal ve fiziksel analiz sonucu tablosu

Klinker	TS10156
SiO ₂	21,19
Al ₂ O ₃	5,04
Fe ₂ O ₃	3,83
CaO	66,58
MgO	1,35
Na ₂ O	0,38
K ₂ O	0,71
SO ₃	0,61
KK	0,28
Fiziksel Özellikler	
40µ elekte kalan	20,5
90 µm elekte kalan	1,7
200 µm elekte kalan	0,2
Özgül ağırlık (g/cm ³)	3,18
Çimento Dayanımları	
2 günlük dayanım	21,8
7 günlük dayanım	40,6
28 günlük dayanım	47,1

Çizelge 2.2 Alçıtaşı numunesi kimyasal ve fiziksel analiz sonucu tablosu

Alçıtaşı	%
SiO ₂	0,7
Al ₂ O ₃	0,32
Fe ₂ O ₃	0,13
CaO	32,61
MgO	0,73
Na ₂ O	0
K ₂ O	0,03
SO ₃	42,95
KK	22,53
Blaine (cm ² /gr)	10120

Çizelge 2.3 Doğal puzolan numunesi kimyasal ve fiziksel analiz sonucu tablosu

	Doğal Puzolan	TS 10156
SiO ₂	54,22	-
Al ₂ O ₃	19,32	-
Fe ₂ O ₃	8,13	-
CaO	7,33	-
MgO	2,61	< 5,0
Na ₂ O	0,42	< 3,50
K ₂ O	1,57	-
SO ₃	0,36	-
KK	4,96	-
Fiziksel Özellikler		
S+A+F	81,67	-
Puzolanik Aktivite (N/mm ²)	6,4	<14,0
Rutubet	1,3	< 1,0
Özgül ağırlık (g/cm ³)	2,19	-

Çizelge 2.4 Mermer atık numunesinin kimyasal ve fiziksel analiz sonucu tablosu

Kimyasal Analiz	Numune Adı
(Bileşenler)	Mermer Atığı (% Ağırlıkça)
SiO ₂	1,33
Al ₂ O ₃	0,38
Fe ₂ O ₃	0,22
CaO	55,17
MgO	0,29
Na ₂ O	0,02
K ₂ O	0,13
SO ₃	0,04
KK	42,42
Fiziksel Özellikler	
Blaine(Yüzey alanı)	14620
Öğütme Zamanı (dakika)	42
40 µ elek üstü	12,7
90 µ elek üstü	0,2
200 µ elek üstü	0,1

2.2. Çimentoların harç üretimi kür koşulları ve kodları

On iki farklı tipte harçlar ile çimento üretilmiştir. Harçlar TSE 24' e göre 4*4*16 cm lik kalıplarda 1 gün bekletilmiş ve 27 gün su içinde tutulmuştur. Harçlar oluştururken tüm harçlarda % 5 alçıtaşı kullanılmıştır.

Çizelge 2.5 Mermer atığı katkılı çimentolar ve kodları

Çimentonun cinsi	Çimentonun kodu
Portland çimentosu	PÇ
% 5 Mermer atığı	MAKÇ-5
% 10 Mermer atığı	MAKÇ-10
% 15 Mermer atığı	MAKÇ-15
% 20 Mermer atığı	MAKÇ-20

Çizelge 2.6 Doğal puzolan katkılı çimentolar ve kodları

Çimentonun cinsi	Çimentonun kodu
Portland çimentosu	PÇ
% 5 Doğal puzolan	DPKÇ-5
% 10 Doğal puzolan	DPKÇ-10
% 15 Doğal puzolan	DPKÇ-15
% 20 Doğal puzolan	DPKÇ-20

Çizelge 2.7 Mermer atığı ve doğal puzolan katkılı çimentolar ve kodları

Çimentonun cinsi	Çimentonun kodu
Portland çimentosu	PÇ
% 5 Mermer atığı;	MADPKÇ-5
% 5 Doğal puzolan	
% 10 Mermer atığı;	MADPKÇ-10
% 5 Doğal puzolan	
% 15 Mermer atığı;	MADPKÇ-15
% 5 Doğal puzolan	
% 20 Mermer atığı;	MADPKÇ-20
% 5 Doğal puzolan	

Çizelge 2.8 Mermer atığı katkılı çimento fiziksel analiz sonucu tablosu

Çimento	İncelik %			Özgül Yüzey (cm ² /gr)
	45 µelek üstü	90 µelek üstü	200 µelek üstü	
MAKÇ-5	4,5	0,5	0	3171
MAKÇ-10	5,6	0,6	0,1	3488
MAKÇ-15	9,6	1,3	0,2	4061
MAKÇ-20	10,2	1,6	0,2	4310

Çizelge 2.9 Doğal puzolan katkılı çimentolar fiziksel analiz sonucu tablosu

Çimento	İncelik %			Özgül Yüzey (cm ² /gr)
	45 µelek üstü	90 µelek üstü	200 µelek üstü	
DPKÇ-5	5,6	0,5	0	3771
DPKÇ-10	7,0	0,6	0	4195
DPKÇ-15	8,4	0,9	0,1	4482
DPKÇ-20	9,6	1,4	0,1	4653

Çizelge 2.10 Mermer atığı ve doğal puzolan katkılı çimentolar fiziksel analiz sonucu tablosu

Çimento	İncelik %			Özgül Yüzey (cm ² /gr)
	45 µelek üstü	90 µelek üstü	200 µelek üstü	
MADZKÇ-5	6,2	0,6	0	4068
MADZKÇ-10	7,0	0,7	0,1	4195
MADZKÇ-15	9,7	0,9	0,1	4310
MADZKÇ-20	10,2	1,2	0,2	4514

Çizelge 2.11 Mermer atığı katkılı çimentolar priz süreleri tablosu

Çimento	Normal Kıvam Suyu (%)	Priz Süresi (dakika: saniye)	
		Priz Başlangıcı	Priz Sonu
MAKÇ-5	28,5	150	230
MAKÇ-10	29,5	165	235
MAKÇ-15	31,0	175	260
MAKÇ-20	31,5	190	270

Çizelge 2.12 Doğal puzolan katkılı çimentolar priz süreleri tablosu

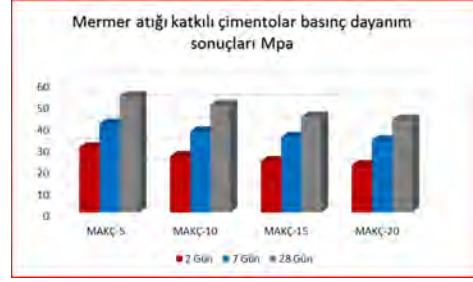
Çimento	Normal Kıvam Suyu (%)	Priz Süresi (dakika: saniye)	
		Priz Başlangıcı	Priz Sonu
DZKÇ-5	29,5	170	270
DZKÇ-10	31,5	175	300
DZKÇ-15	32	210	305
DZKÇ-20	32,5	220	315

Çizelge 2.13 Mermer atığı ve doğal puzolan katkılı çimentolar priz süreleri tablosu

Çimento	Normal Kıvam Suyu (%)	Priz Süresi (dakika: saniye)	
		Priz Başlangıcı	Priz Sonu
MADZKÇ-5	35,0	175	270
MAKÇ-10	38,0	190	260
MAKÇ-15	40	220	310
MAKÇ-20	41,0	230	315

Çizelge 2.14 Mermer atığı katkılı çimentolar basınç dayanımı tablosu

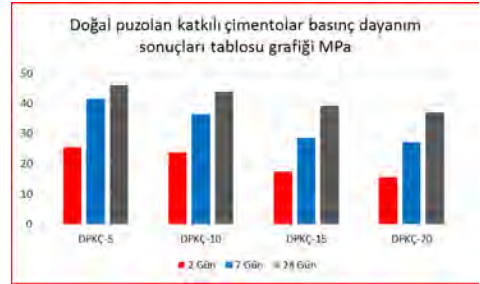
Çimento	Basınç Dayanımı (N/mm ²)		
	2 Gün	7 Gün	28 Gün
MAKÇ-5	29,9	40,9	53,4
MAKÇ-10	25,9	37,3	49,5
MAKÇ-15	23,6	34,7	44,1
MAKÇ-20	21,7	33,2	42,6



Şekil 2.1 Mermer atığı katkılı çimentolar basınç dayanım eğrisi

Çizelge 2.15 Doğal puzolan katkılı çimentolar basınç dayanımı tablosu

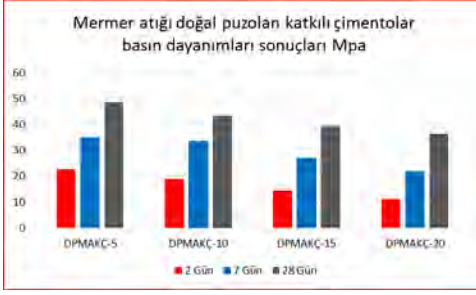
Çimento	Basınç Dayanımı (N/mm ²)		
	2 Gün	7 Gün	28 Gün
DZKÇ-5	25,5	41,5	46,1
DZKÇ-10	23,9	36,4	43,9
DZKÇ-15	17,5	28,5	39,3
DZKÇ-20	15,7	27	36,9



Şekil 2.2 Doğal puzolan katkılı çimentolar basınç dayanım eğrisi

Çizelge 2.16 Mermer atığı ve doğal puzolan katkılı çimentolar basınç dayanımı tablosu

Çimento	Basınç Dayanımı (N/mm ²)		
	2 Gün	7 Gün	28 Gün
DPMKÇ-5	22,7	35,1	48,7
DPMKÇ-10	19,1	33,6	43,4
DPMKÇ-15	14,6	27,1	39,3
DPMKÇ-20	11,2	21,8	36,4



Şekil 2.3 Doğal puzolan ve mermer atığı katkılı çimentolar basınç dayanım eğrisi eğrisi

3. SONUÇLAR

Mermer atıklarının ve doğal puzolanın kimyasal analiz sonuçları incelendiğinde içerdikleri MgO, Al₂O₃, SiO₂, CaO, Fe₂O₃, SO₃, K₂O gibi oksitlerin aynı zamanda çimentonun ve çimento üretiminde kullanılan diğer katkı maddelerinin de bileşimini oluşturduğu gözlenmektedir. Bu bileşenlerin Portland çimentosuna ilave edildiğinde kalite değerlerinin azaldığı ancak sınır değerleri aşmadığı görülmüştür. Aynı şekilde klinker ve alçıtaşı kimyasal analiz sonuçlarının da verilen standartlara uygun olduğu saptanmıştır.

Portland Çimentosu klinkeri ile birlikte öğütülen atıkların katkı oranına paralel olarak (özellikle yüzeyleri) ve portland çimentosuna nazaran ihtiyaç gösterdikleri su miktarı artmıştır. Artan su miktarına bağlı olarak da çimento karışımlarının priz süreleri gecikmiştir. Fakat bütün bu artış ve gecikmeler standartlarda verilen sınır değerler arasındadır. Hazırlanan çimentoların özgül ağırlık ve elek analizi sonuçları da Türk standartlarına uygunluk göstermektedir.

Mermer atığı katkılı çimento (MAKÇ) ve doğal puzolan katkılı çimento (DPKÇ) karışımlarının mukavemet sonuçlarına bakıldığında mermer atığı katkı oranı ve doğal puzolan katkı oranı arttıkça dayanımın azaldığı görülmüştür. Eğer gerekli miktar % 20 mermer atığı ve % 20 puzolan hammadde katkılı çimento ayarlamaları yapılırsa mermer atığı katkısının ve doğal puzolana katkısının katkılı çimentolarda etkin olabileceği görülebilir. Ayrıca mermer atıkları kullanıldığında çevreye verdikleri zararlar

önlenecek ve ekonomimize yeniden kazandırılmış olacaktır.

Hazırlanan çimento karışımlarının mukavemetleri kontrol numunesinden daha düşük çıkmıştır. Ancak sonuçlar TS’de verilen sınır değerler arasındadır. Mukavemet sonuçları öğütme süresi açısından değerlendirildiğinde normal Portland Çimentosu klinkerine göre daha kolay öğütüldüğünden öğütme süresi ve enerji tüketimi açısından tasarruf sağlayacağı açıktır.

Bu çalışma kapsamında elde edilen önemli sonuç, çimento katkı malzemesi olarak kullanılan doğal puzolan ve mermer atıkları ile üretilen katkılı çimentolar sayesinde, üretilmesi pahalıya mal olan bir yarı mamul olan klinkerin çimento içindeki oranının azaltılmasına bağlı olarak ekonomik açıdan avantaj sağlanabileceğidir. Bunun yanı sıra klinker üretimi için gerekli yakıttan da tasarruf sağlanacağı için CO₂ salınımı azaltılarak çevrenin korunmasına katkıda bulunmuş olunacaktır. En önemli konulardan bir diğeri ise bölgedeki doğal puzolan ve mermer atıklarının çok önemli bir sanayi kolunda değerlendirilebileceğinin tespit edilmiş olunmasıdır.

KAYNAKLAR

- Anonim, TS 687 Çimento Kimyasal Analiz Metodları
- Bilgin, Ö., Koç, E., 2013. Mermer Madencilğinde Çevresel Etkiler, Madencilik Türkiye Dergisi, sayı 28, 68-79.
- Collepardi, M., 2006, The new concrete, Grafiche Tintoretto, Italy, 421 p.
- Erdoğan, T.Y., 1997, Admixtures for concrete, ODTU Geliştirme Vakfı Yayını, 188 p.
- Erdoğan, K., Tokyay, M. ve Türker, P., 2003, Traslar ve traslı çimentolar, Araştırmaların Gözden Geçirilmesi ve Durum Değerlendirmesi Raporu, TÇMB Yayını, No. Y99.2, Ankara, 61 s.
- Hewlett, P.C., Lea’s chemistry of cement and concrete, John Wiley and Sons Inc, 4th Edition, New York, 1092 p.
- Kulaksız, S., Güney, M.A., Güngör, N., Büyükgenç, M., 2001. Madencilik Faaliyetleri Sonucu Topografik Yapısı Bozulan Alanların Doğaya Yeniden Kazandırılmasına Yönelik Uygulamalar Hakkında Rapor ve Öneriler, 39., Ankara. (yayılanmamış)
- Kun, N., 2013. Mermer Jeolojisi ve Teknolojisi (genişletilmiş 2. Baskı), 222 s., İzmir.

- Massazza, F., 1993, Pozzolan cements, Cement and Concrete Composites, 15, 185-214.
- Massazza, F., 1997, Pozzolans and durability of concrete, 1. International Symposium on Mineral Admixtures in Cement, İstanbul, 1-22.
- Monterio, P.J.M., Wang, K., Sposito, G. and Santos, M.C., 1997, Influence of mineral admixtures on the alkali-aggregate reaction, Cement and Concrete Research, 27, 1899-1909.
- Postacıoğlu, B., 1986, Beton-bağlayıcı maddeler, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, Cilt 1, 175 s.
- Shi, C., 2001, An overview on the activation of reactivity of natural pozzolans, Canadian Journal of Civil Engineering, 28, 778-786.

Doğaltaş Üretimi ve Su İlişkisi *Natural Stone Production and Water Interaction*

M. Mutlutürk

Süleyman Demirel Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta

ÖZET Su insan vücudu için vazgeçilmez bir bileşen olduğu gibi, insan yaşamının da önemli bir parçasını oluşturmaktadır. İnsan yaşamında beslenme amaçlı tahıl, meyve, sebze ve et gibi gıda ürünlerinin üretiminde olduğu kadar her türlü endüstriyel üretimde de suya ihtiyaç duyulmaktadır. Doğaltaş üretiminde de aramadan başlayıp mamul halde kullanıma sunuluncaya kadar değişik aşamalarda değişik miktarlarda su gerekmektedir. Mamul madde içinde yer almayan, ancak doğaltaş üretiminin değişik aşamalarında kullanılan su bu araştırmanın ana konusunu oluşturmaktadır.

Günümüzde bir ürünün üretiminden kullanımına kadar geçen süreçte ihtiyacı olan su miktarına Sanal Su adı verilmektedir. Gıda sektöründe oldukça yaygın olan bu konuda doğaltaş sektöründe herhangi bir araştırma bulunmamaktadır ve doğaltaş ocağının kullandığı su miktarının nihai ürün üzerindeki payı ise belirsizdir.

Yapılan çalışmada, doğaltaş ocağında aynada delik delme, kesme, blok boyutuna getirme aşamaları ile fabrikada plaka haline getirme, parlatma, boyutlandırma ve diğer işlemlerin uygulanması sırasında kullanılan su miktarları ölçülmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak bir birim boyutlandırılmış ve mamul hale getirilmiş doğaltaşın elde edilebilmesi için gerekli olan Sanal Su miktarı hesaplanmıştır.

ABSTRACT Water is a main component of the human body as well as a part of the human life. Water is needed in the production of industrial products as well as in the production of food products such as cereals, fruits, vegetables and meat for nutrition. Water is used in various stages from the beginning to the use in the finished product steps in the natural stone production. The main subject of this investigation is used water in the end product of natural stone of several steps of production.

Today, the amount of water needed in the process from the production of a product to its use is called as Virtual Water. There is no research in the natural stone sector, which is quite common in the food sector, and the share of the amount of water used by the natural stone quarry on the final product is uncertain.

In this study, has been tried to measure the amount of water used during drilling, cutting and making marketable size in the natural stone quarry and sizing, polishing and other operations of natural stones in the factory. As a result of this study, the amount of Virtual Water required to obtain marketable sized of natural stones was calculated.

1 GİRİŞ

Dünya nüfusundaki artış ve bu artışa bağlı her türlü tarımsal ve endüstriyel üretim ile kullanma ve içme gibi yaşamsal ihtiyaçlar için kullanılan tatlı su gereksinimi giderek artmaktadır. Ve kullanılan su miktarı ile doğal ortamda depolanan su miktarı arasındaki dengenin bozulması, buna bağlı olarak tatlı su rezervlerimizin giderek azalması, su ile ilgili görüşlerimizi, kullanım yöntemlerimizi ve politikalarımızı yeniden gözden geçirmemiz gereğini ortaya çıkarmaktadır. J. A. Allan (1993), suyun sadece anlık ihtiyaçlarda kullanılan bir meta olmadığı, suyun sadece insanların içtiğinde ya da kullandığında değil diğer bütün tüketim alanlarında da su kullandığını iddia etmiş ve “Sanal Su” kavramını ortaya atmıştır. Sanal Su kavramı suyun ticaretinin direkt yollardan değil, ticari ürünler ile dolaylı yollardan yapılabileceğini, suyun gizli bir ticaretinin olduğunu ortaya koymaktadır. Bu anlamda ülkeler arasındaki küresel ticarete su politikası ve idaresi açısından yeni bir dönem yaşanmaktadır (Anaç vd., 2011; Şahin, 2016).

Sanal su ile birlikte kullanılan ve toplamda aynı miktarların ifade edildiği “Su Ayak İzi” kavramı ise Hoekstra ve Hung (2001) tarafından ortaya konmuş ve bir ürünün üretilmesinde tüketilmesinde kullanılan temiz su miktarına dikkat çekmek amacıyla taşımaktadır. Su ayak izi kavramının sanal sudan temel farkı, sistemden kullanılan su yerine doğrudan ve dolaylı kullanılan toplam su miktarını analiz etmesidir. Su ayak izi, bir hizmet, ürün, birey için kullanılan tatlı suyu “Mavi Su”, yağmur suyunu “Yeşil Su” ve kirlilik yükünün yok edilmesi için kullanılan suyu da “Gri Su” olarak sınıflandırmaktadır.

Sanal Su kavramı çerçevesinde yapılan çalışmalar nerede ise tamamen tarımsal ürünleri kapsamaktadır. Bunun temel nedeni yeryüzündeki tatlı su kaynaklarının ortalama %70 gibi oldukça büyük bir kısmının tarımsal ürünlerin üretiminde kullanılmasıdır. Endüstriyel ürünlerin üretiminde sanal su kullanımı ortalama %22, evsel kullanımda ise %8’dir (Aytemiz ve

Diler, 2015). Madencilik faaliyetlerinde sanal su kullanımı % 3 olarak ifade edilse de bu rakamların içinde doğaltaş üretiminin hangi ölçülerde yer aldığı konusunda ulusal ve uluslararası kaynaklarda herhangi bir bilgi bulunmamaktadır. Diğer taraftan, doğaltaş üretimi ile ilgili birim üretimde kullanılan su miktarı konusunda oldukça büyük bir belirsizlik bulunmaktadır.

Diğer taraftan, Su Ayak İzi kapsamında su kullanımını değerlendirdiğimizde, “Yeşil Su” yağış ve buharlaşma ile tarımsal ürünlerin üretiminde etkili olan suyu ifade etmektedir ve tamamen tarımsal üretimi ilgilendiren bu suyun doğaltaş üretiminde herhangi bir etkisi bulunmamaktadır. Dolayısı ile doğaltaş sektöründe tamamen temiz tatlı su “Mavi Su” kullanılmaktadır. Ancak, fabrikada yapılan üretimde kullanılan suyun büyük bölümü geri kazanımla tekrar kullanılmakta ve bu anlamda kullanılan su ise “Gri Su” tanımına girmektedir.

Bu çalışmada, gerek ocakta üretimde gerekse fabrikada kullanılan taşın mineralojik yapısı, blok durumu ve diğer mühendislik özelliklerinin su kullanımında etken olabileceği düşüncesi ile Isparta, Burdur ve Antalya bölgesi benzer nitelikli bej renkli doğaltaşlar değerlendirme kapsamına alınmıştır. Çalışma arazi ve büro incelemeleri şeklinde iki aşamalı olarak yürütülmüştür. Arazi çalışmalarında ocaklarda kesim çalışmaları izlenmiş ve su kullanımı ölçümleri yapılmıştır. Fabrikalarda ocaklardan gelen blokların pazarlanabilir mamul hale getirilinceye kadar geçirdiği bütün aşamalar izlenmiş ve gerekli ölçümler yapılmıştır. Ocak ve fabrika sorumlu mühendislerinden de bilgiler alındıktan sonra bu bilgiler değişik firmalar ve ürettikleri mermer makinalarına ait katalog ve internet sitelerindeki bilgiler ile birlikte incelenerek ilk üretimden son kullanım yerine getirilinceye kadar kullanılan su miktar ve nitelik açısından hesaplanmaya çalışılmıştır.

2 DOĞALTAŞ ÜRETİMİ VE SU

2.1 Ocakta Blok Üretimi ve Su Kullanımı

Kademelendirilmiş bir doğaltaş ocağında yapılan işlemler sırası ile a) Delici ile yatay ve düşey deliklerin delinmesi, b) Elmas tel kesme makinesi ile mermer bloğun kesilmesi, c) Kesilen bloğun ana kütleden ayrılıp devrilmesi işlemi, d) Devrilen bloğun, daha küçük boyutlara ayrılması (sayalama) işlemi, e) Mermer blokların stoklanmasıdır (Onargan vd., 2005). Sadece bazı ocaklarda jeolojik ve ekonomik koşulların uygun olması halinde kollu kesici makineler kullanılmaktadır ve çok yaygın kullanımı olmayan kollu kesici makineler jeolojik koşullara göre sulu ya da susuz kesim yapmaktadır. Bu işlemler arasında yaygın su kullanımı, tel kesme ve blok boyutlarının pazarlanabilir ebatlara getirilmesi (sayalama) sırasında ve delik delme sırasında su kullanılmamaktadır.

Mermer bloğun kesilmesi işleminde kullanılan tel kesme makineleri değişik boyut ve özelliklerdedir. Değişik kaynaklarda, ortalama elmas tel kesme makineleri kesim hızı 5-20 m²/saat su sarfiyatı ise 100-120 litre/saat aralığında verilmektedir ancak yaptığımız gözlemler sonucu kesimin başlaması ve sonlanması arasında arıza, ek yapma ve benzeri işlemlerden dolayı kesim için ortalama %40 daha fazla zaman harcanmaktadır. Dolayısı ile su ile ilgili hesaplamalarda kesime başlanması ve sonlanması arasında geçen sürede harcanan su miktarı dikkate alınmıştır.

Benzer durum blokların boyutlandırılması (sayalama) işlemi için de geçerlidir. Değişik kaynaklarda, ortalama sayalama makineleri kesim hızı 2-12 m²/saat su sarfiyatı ise 50-60 litre/saat aralığında verilmektedir. Sayalama işleminde su kullanımı kaynaklarda verilen rakamların 200-250 litre/saat gibi oldukça üzerinde olduğu gibi ortalama %40 bir zaman artışı da gözlenmektedir. Ancak sayalama işleminde en büyük belirsizlik bir bloğun kaç yüzeyinin kesildiğidir. En az üç yüzeyi kesildiği gibi bu sayı altı yüzeye de çıkmaktadır.

Birim pazarlanabilir blok üretimi için harcanan su miktarı hesaplamalarında, Ocakta üretim yapılan aynada ana kütleden ayrılıp devrilen bloğun tamamından pazarlanabilir nitelikte blok elde edilememektedir. Bir miktar kayıp bloğun devrilmesi sırasında, bir kısım kayıp da sayalama sırasında olmaktadır. Bloğun devrilmesi sırasındaki kayıpların ortalama %70, sayalama sırasında ise %35 civarında olduğu gözlenmiştir. Ayrıca kusurlu olan ve kaliteye bağlı seçimle taşların ayrılması ile ayrı bir kayıp da yaşanmaktadır, ancak her koşulda kesim yapıldığı, su harcandığı dikkate alınmıştır.

Değişik ocaklarda yaptığımız gözlem, ölçüm ve firmalara ait kataloglarda yer alan bilgileri kullanarak yaptığımız hesaplamalara göre kaliteye bağlı seçimden bağımsız 1 m³ pazarlanabilir blok üretimi için harcanan su miktarı 630 litredir. Bu değer moloz adı verilen ve katrakta kesilmeyip S/T ile işlenen daha küçük boyutlu olan 1 m³ bloklar için harcanan su miktarı 380 litredir.

2.2 Fabrikada Plaka-Ebatlı Üretim ve Su Kullanımı

Fabrikada plaka ve ebatlı üretimin ilk basamağı ocaktan gelen blokların boyutlarına göre katrak ya da S/T adı verilen makineler ile ihtiyaca yönelik olarak değişik ebatlarda plaka ya da strip şeklinde kesilmesidir (Şekil 1). Bu ilk kesim işleminden sonra doğaltaşın pazarlanabilir özellikte piyasaya arz edilmesi değişik şekillerde olmaktadır. İlk olarak doğaltaşın yapısından kaynaklanan epoksi gerektiren ve epoksi gerektirmeyen ayrımının yapılmasıdır. Özellikle bej renkli doğaltaşlar (Burdur, Isparta gibi) kırıklı yapılarından dolayı file ve epoksi gibi sağlamlaştırma işlemleri gerektirmektedir. Kristal yapıları daha sağlam olan doğaltaşlar (Muğla, Uşak, Afyon gibi) epoksi işlemi gerektirmeden de pazarlanabilmektedir. Hangi grupta olursa olsun Katrak ya da S/T'den çıkan plaka ve stripler olduğu şekli ile pazarlanabildiği gibi değişik uygulamalar yapılarak, değişik ebatlara getirilerek de pazarlanabilmektedir.

Genel fabrika aşamaları Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4’de verilmiştir ve şekillerde su kullanım aşamaları mavi renkli gösterilmiştir.



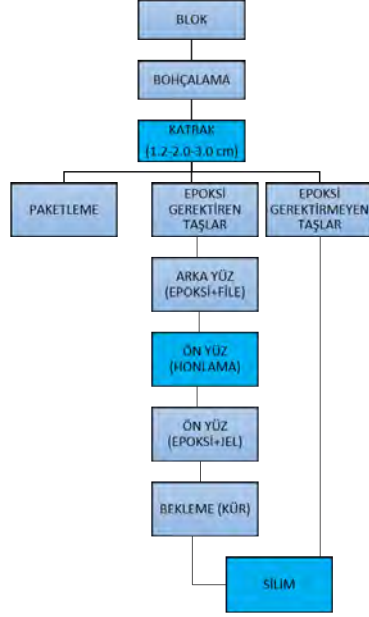
Şekil 1. Ocaktan gelen blokların fabrika üretim aşamaları

Fabrika işlem aşamalarına baktığımızda su kullanan katrak ve S/T makinaları dışında honlama makinaları, plaka ve fayans silim makinaları, yarma makinaları, köprü kesme ve ebatlama makinaları ile alternatif yüzey işlemleri yapan makinaları karşımıza çıkmaktadır. Bütün makinaların hızları ve su tüketimleri üreten firma ve modele göre farklılık göstermektedir. Ayrıca aynı makinanın farklı fiziksel özellikteki taşlar için uyguladığı hızlar farklı olmaktadır. Ancak su miktarının nerede ise taşın boyutlarından ve özelliklerinden bağımsız olarak her zaman yaklaşık aynı miktarlarda kullanıldığı gözlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında Isparta, Burdur ve Antalya bölgesinde faaliyet gösteren fabrikalarda yapılan gözlem ve ölçümler ile üretici firmalara ait katalog verileri kullanılarak hesaplanan makinalara ait ortalama su kullanım değerleri aşağıda verilmiştir.

Katrak; Ocaktan ebatlanmış halde gelen blokların kesildiği çoklu kesiciler olan katraklar, 2 ve 3 cm kalınlığında plaka kesmektedir. Çok yaygın olmasa da son zamanlarda 1.2 cm kalınlığında kesim de yapılmaktadır. Genel kesim hızları 120-300 mm/dakika olan bu makinelerde blokların başlangıç ve son kısımları ile arada kalan kısımlarının kesiminde farklı hızlar kullanılmaktadır. Su kullanımı 800-1000

lt/dakika arasındadır ve uygulamada taşın ebatlarından bağımsız her zaman ortalama aynı miktar su kullanılmaktadır. 2 cm lik taşlar için ortalama 2.133 litre/m², 3 cm lik taşlar için ortalama 3.048 litre/m² su kullanılmaktadır. Bu değer bir fabrika için ortalama 2.650 litre/m² olarak belirlenmiştir.

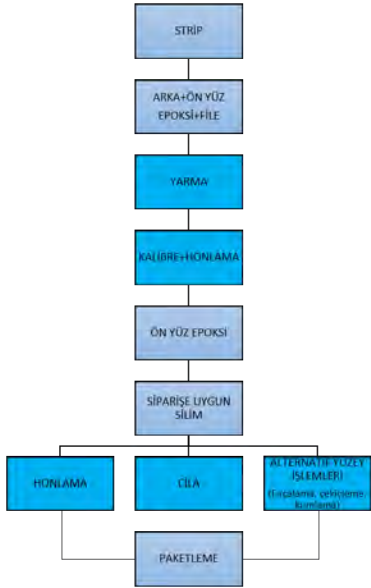


Şekil 2. Fabrikada plaka işlem 1. aşama

S/T; Genellikle net ölçüler taşımayan ve moloz olarak adlandırılan bloklar S/T makinaları ile kesilir. Fayans hatlarında kullanılan bu makinalarda bölge taşlarının özelliklerine bağlı olarak çapları 100-180 cm arasında değişen bir düşey ve daha küçük çaplı bir yatay testere kullanılır. Bloklardan 3.4-5.0-7.0 cm kalınlıklarda strip adı verilen serbest boya sahip kesim yapılır. Ortalama 150-200 litre/dakika su kullanılan bu makinaların ortalama kesim hızı 8.1-8.8 m²/saattir. Verimleri oldukça düşük olan S/T'lerin taş kalınlığından bağımsız ortalama su tüketimi 875 litre/m² olarak ölçülmüştür.



Şekil 3. Fabrikada plaka işlem 2. aşama



Şekil 4. Fabrikada strip işlem aşamaları

Kalibre, honlama, , cila, plaka ve fayans silim; Silim hatları plaka ve ya daha küçük ebatlı taşlarda yüzey işlemlerinin yapıldığı makinalardır. Kalibre ile kalınlıklardaki hatalar giderilmekte, honlama ile kaba silim yapmakta, cila işleminde ise yüzey nerede

ise pürüzsüz hale getirilmektedir. Makinalar arasındaki fark kullanılan aşındırıcı özelliği ve sayısından kaynaklanmaktadır. Bu makinaların su tüketimi aşındırıcı sayısına bağlı olarak 120-620 litre/dakika arasında değişmektedir. Plaka hatlarında ortalama su tüketimi honlamada 1.500 litre/m², cilada ise 2.200 litre/m² olarak belirlenmiştir. Fayans hattında ortalama su tüketimi ise honlamada 1.100 litre/m², cilada 1.500 litre/m² dir.

Yarma; S/T makinalarından gelen farklı kalınlığındaki stripler, yarma makinalarında ikiye ayrılarak daha düşük kalınlıklara getirilirler. Bu işlemden önce ve sonra taş sağlanlaştırılır, ayrıca kalibre işlemi ile de kalınlık daha düzgün hale getirilir. Yarma makinasında ortalama su tüketimi 480 litre/m² ölçülmüştür.

Köprü kesme ve ebatlama; Köprü kesme makinaları plakaları değişik amaçlar için ebatlandırmada kullanılan makinalardır. Blokların ocakta sayılanması sırasında istenilen ebatlarda kesmesi bu makinaların yükünü önemli ölçüde azaltmaktadır. Köprü kesme makinalarının ortalama kesim hızları 200-900 mm/dakika su tüketimleri de 150-250 litre/dakika arasında değişmektedir. Yaptığımız gözlemler köprü kesme makinalarının ortalama su tüketiminin 280 litre/m² olduğunu göstermektedir.

Ebatlama, fayans hatlarında kullanılan ve birden fazla kesicinin kullanıldığı “çoklu ebatlama” olarak bilinen makinalarda yapılmaktadır. Bu makinalarda aynı anda birden fazla kesici kullanılarak istenilen ebatlarda iki aşamalı enden ve boydan ayrı ayrı kesim yapılabilmektedir. 30x60, 60x60 cm gibi ebatlarda kesimlerin yapıldığı bu makinaların ortalama kesim hızları 200-900 mm/dakika su tüketimleri de 60-200 litre/dakika arasında değişmektedir. Çoklu ebatlama makinalarında su tüketimlerinin değişken olduğu gözlenmiştir, ancak çoklu kesme makinalarının ebat ve bıçak sayısından bağımsız ortalama su tüketiminin 110 litre/m² olduğu hesaplanmıştır.

Alternatif yüzey işlemleri; Fabrikalarda alternatif yüzey işlemleri, fırçalama (yüzey eskitme), kumlama (yüzeyi ince pürüzlü hale getirme), çekicileme (yüzeyi kaba pürüzlü hale getirme), kenar-köşe kırma, damlalık

gibi oldukça çeşitlidir. Hatta CNC makinaları ile yapılan desen ve heykel uygulamaları da alternatif işlemler arasındadır. Bu alternatif işlemlerin her biri kendisine özgün olduğu ve çok fazla yaygınlık da taşımadığı için su tüketimi açısından değerlendirme dışında tutulmuştur. Ancak fabrikalarda yaptığımız gözlemlere göre diğer işlemler kapsamında birim metrekare maliyet üzerinde ortalama 5 litre/m² etkisi olabileceği öngörülmüştür.

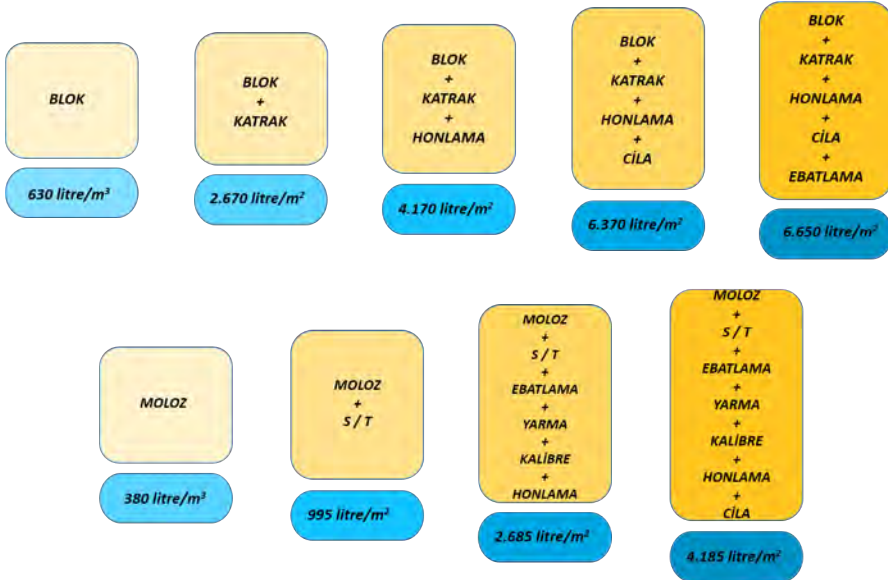
3 SANAL SU VE SU AYAK İZİ

Bir ürünün üretiminden pazara sunuluncaya kadar geçen süreç içinde harcanan suyun miktarının bir ölçüsü olan sanal su ve su ayak izi ile ilgili yapılmış olan bu çalışma bir ilk niteliğindedir. Yapılan hesaplama ve değerlendirmelerde oldukça geniş bir yelpazeye sahip olan doğaltaş sektöründe Isparta-Burdur-Antalya bölgesinde çıkarılan ve fabrikalarda değerlendirilen bej renkli

taşlar ele alınmıştır. Kendi içinde herhangi renk, desen, kalite ayrımı yapılmaksızın ocak ve fabrikalardaki üretim aşamaları ve buna bağlı genel su tüketimleri dikkate alınmıştır. Ocaklarda nispeten benzer yöntemler kullanılmakta, fabrikalarda ise oldukça değişik üretim bantları, değişik makinaları kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında benzer nitelikteki üretimler ele alınarak hesaplamalarda bu farklılıklar mümkün olduğu kadar optimize edilmeye çalışılmıştır.

Hesaplamalarda ocak ve fabrika üretimlerinde, çalışanların ve işletmenin günlük kullanımları, çevre sulama gibi diğer kullanımlar için harcanan su miktarları ile sistem kayıplarının etkileri dikkate alınmıştır.

Yapılan hesaplamada pazarlamada üretim satışı aralığında blok plaka üretiminde 5, moloz ebatlı üretiminde 4 sınıf ayrılmış sanal su miktarları bu sınıflara göre ayrı ayrı belirlenmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Doğaltaş üretim aşamalarında kullanılan su miktarları

Çizelge 1. Blok ve Plaka üretimi Sanal Su ve Su Ayak İzi Miktarları

PAZARLANAN ÜRÜN	SANAL SU (Litre)	SU AYAK İZİ (Litre)	
		MAVİ SU	GRİ SU
Ham Blok (m ³)	630	630	-
Katrak Plaka (m ²)	2.670	534	2.136
Katrak Plaka Honlu (m ²)	4.170	834	3.336
Katrak Plaka Cilalı (m ²)	6.370	1.274	5.096
Katrak Plaka Cilalı Ebatlı (m ²)	6.650	1.330	5.320

Çizelge 2. Moloz ve Strip üretimi, Sanal Su ve Su Ayak İzi Miktarları

PAZARLANAN ÜRÜN	SANAL SU (Litre)	SU AYAK İZİ (Litre)	
		MAVİ SU	GRİ SU
Ham Moloz (m ³)	380	380	-
S/T Strip (m ²)	995	199	796
S/T Honlu Ebatlı (m ²)	2.685	537	2.148
S/T Cilalı Ebatlı (m ²)	4.185	837	3.348

Doğaltaş üretiminde yeşil su kullanılmamakta, ocaklarda tamamen mavi su ve fabrikalarda mavi su ile bütün işletmelerde bulunan geri kazanım tesislerinden elde edilen gri su kullanılmaktadır.

Fabrikalarda üretim aşamalarında su sadece taş kesimi ve silim işlemlerinde kullanılmakta, herhangi bir kimyasal süreç içinden geçmemektedir. Bu nedenle fabrikalarda kimyasal olarak kirlenmemiş, içinde herhangi bir organik kalıntı da olmayan artık su, fabrika içinde bulunan arıtma tesislerinde çöktürme yöntemi ile askıda maddelerden kurtarılarak yeniden kullanılmaktadır.

Gri su, siyah su, az kirlenmiş gri su ve çok kirlenmiş gri su olarak sınıflandırılmaktadır (Üstün ve Tırpancı, 2015). Bu tanıma göre, doğaltaş sektöründe fabrikalarda kullanılan, içinde askıda maddeden başka herhangi bir kimyasal madde bulunmayan su az kirlenmiş gri su tanımı içinde kalmaktadır. Doğaltaş fabrikalarının bu şekildeki suyun ortalama % 80'i geri kazanılmaktadır. Suyun geride kalan kısmı kesilen taşlardan arıtılan çamur içinde tutulmaktadır.

Gri ve mavi su kullanımında bazı alanlarda belirsizlikler gözlenmektedir. Örneğin cila hatlarında tamamen mavi su kullanılırken, katrak hattında gri su kullanılmaktadır. Ayrıca arıtma sisteminden eksilen su da sürekli takviye edilmektedir. Bu nedenle

yapılan değerlendirmede toplamda üretim için gereksinim duyulan suyun belli bir kısmının gri su olarak üretimde kullanıldığı dikkate alınmıştır.

Yapılan çalışma ile ocakta blok ve moloz, fabrikada plaka ve fayans üretimi için hesaplanmış olan Sanal Su ve Su Ayak İzi miktarları Çizelge 1 ve Çizelge 2'de verilmiştir.

4 TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Doğaltaş kullanımı mimari çalışmaların vazgeçilmez bir unsurudur ve Türkiye'nin 2003-2016 yılları arasında doğaltaş ihracatı 1.5 milyon tondan 6.5 milyon tona yükselerek dünya pazarında önemli bir yere sahip olduğumuzu göstermektedir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı web sayfası). Ticaretimizde böyle bir önemli yeri olan doğaltaş ile ilgili ilk kez yapılan Sanal su ve Su Ayak İzinin hesaplanmasına yönelik çalışma ile ocaktan fabrikaya üretimin her aşamasındaki su tüketimleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Uzun bir zaman sürecindeki Isparta, Burdur, Antalya bölgelerindeki ocaklar ve fabrikalarda yapılan gözlem ve ölçümler, ocaklar ve fabrikalarda çalışan mühendislerden alınan bilgiler ve firmalara ait katalog bilgileri kullanılarak yapılan bu çalışma üretim-pazarlama aralığında kalan ortalama sonuçları yansıtmaktadır. Bölgesel

ve daha dar alanlarda, doğaltaş çeşitliliğini de dikkate alarak yapılacak daha ayrıntılı çalışmalarla daha hassas sonuçlar elde edilebilecektir.

Günümüzde sadece tarımsal ürünler için oldukça ayrıntılı bir şekilde çalışılan Sanal su ve Su Ayak İzi kavramlarının madenciliğin ve mühendislik çalışmalarının diğer ilgi alanlarında da ele alınması bütün dünyada geleceğin önemli bir problemi olan su kaynaklarının verimli kullanımı ve uluslararası sanal su ticareti açısından önem taşımaktadır. Ayrıca bu çalışmaların sürdürülmesi yaptığımız üretim faaliyetlerinin su kullanımı ve çevre ilişkilerinin toplum tarafından daha doğru algılanmasına da yardımcı olacaktır.

5 KATKI BELİRTME

Bu makale uzun bir zaman sürecinde yaptığımız sayısız çalışmalar sırasında yaptığımız gözlemler ile elde etmiş olduğumuz veriler yardımı ile hazırlanmıştır. Bütün bu çalışmalar sırasında bilgi, deneyim ve yardımlarını esirgemeyen, üretim bilgilerini açık bir şekilde paylaşan isimlerini sayamayacağım çok sayıda firma ve bu firmalarda çalışan meslektaşlarımıza katkılarından dolayı teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- Allan J.A. 1994. Overall Perspectives on Countries and Regions. In P. Rogers and P. Lydon, eds. *Water in the Arab World: Perspectives and Prognoses*. Cambridge, Massachusetts, USA: Harvard University Press: p.65–100.
- Anaç S. Özçakal E. Mangü G.A., 2011. Sanal su Kavramı ve Su Yönetiminde Önemi. *Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 48 (2), s.159-161.
- Aytemiz L. Diler Ö., 2015. Sanal Su Ekonomisi. *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırma Dergisi*, 4 (2), s.376-389.
- Hoekstra, A.Y., Hung, P.Q., 2002. Virtual Water Trade: A Quantification of Virtual Water Flows Between Nations in Relation to International Crop Trade, Value of Water Research Report Series No:11, UNESCO-IHE, Delft, The Netherland, Pages 116.
- Onargan T. Köse H. Deliormanlı H., 2005. Mermer. *TMMOB Maden Mühendisler Odası Yayını*, No.95. 3254 s., Ankara.

Şahin B., 2016. Küresel Bir Sorun:Su Kıtlığı ve Sanal Su Ticareti. *Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*, 110 s., Çorum.

Üstüner G., 2015. Gri Suyun Artıtımı ve Yeniden Kullanımı. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 20 (2): s.119-139.

WWF.2014, Türkiye'nin Su Ayak İzi Raporu Su, Üretim ve Uluslararası Ticaret İlişkisi. Kaynak: <http://www.wwf.org.tr/?2720>.

VI

DÜNYA VE TÜRKİYE DOĞAL TAŞ POTANSİYELİ VE EKONOMİSİ
NATURAL STONE POTENTIAL AND ECONOMY OF TURKEY AND
WORLD

Isparta Açısı İçinde Yer Alan Mermer Yataklarının Jeolojik Konumu, Dağılımı ve Oluşum Şekilleri

Geological Setting, Distribution and Formation Types of Marble Deposits in Isparta Angle SW-Turkey

F. Yağmurlu, M. Şentürk

Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

ÖZET Isparta Açısı, Batı Torosları oluşturan Mesozoyik yaşlı karbonat kuşağının, Eosen döneminden buyana, Antalya Körfezi kuzeyinde bükülmesi ve rotasyonu sonucu oluşmuştur. K-G uzanımlı Eğirdir-Kovada çöküntüsü, Isparta Açısını doğu ve batı kanat olmak üzere iki farklı bölgeye ayırır. Isparta Açısının batı bölümünde yer alan otokton konumlu karbonat kayalar Beydağları platformu, doğu kanadını oluşturan Mesozoyik yaşlı otokton istif ise Akseki-Anamas karbonat platformu olarak tanımlanmıştır. Antalya, Likya ve Beyşehir-Hoyran-Hadım naplarından oluşan allokton konumlu ofiyolitik kaya toplulukları, bölgedeki otokton karbonat platformlarını bindirmeli bir dokanakla üzerler. Burdur, Isparta, Antalya, ve Beyşehir yörelerinde halen işletilen, açık ve koyu bej ile emperator olarak tanımlanan mermer yataklarının büyük bölümü, Isparta Açısı olarak bilinen coğrafi bölgenin içinde ve yakın çevresinde yer alır.

Isparta Açısı ve yakın çevresinde yer alan mermer yataklarını, otokton ve allokton olmak üzere, başlıca iki grup içinde toplamak mümkündür. Otokton mermer yatakları içeren Akseki-Anamas platformu ile Beydağları platformu, büyük bölümü ile, bölgede Mesozoyik dönemi boyunca varlığını sürdüren Tetis okyonusunun şelf düzlükleri üzerinde çökelmiş karbonat kaya istiflerinden yapılıdır. Isparta Açısının doğu ve kanatları üzerinde yer alan otokton bej ve emperator özelliğine sahip mermer yatakları, genellikle kalın katmanlı, geniş yayımlı ve çok büyük rezerve sahip, sığ şelf ortamında gelişmiş kireçtaşı, dolomitli kireçtaşı ve dolomitlerden oluşur. Başlıca resifal arakatıklar ile lapyra ve erime boşluklarından oluşan karstik yapılar, otokton kireçtaşı istifi içinde yaygın olarak bulunur. Isparta Açısını etkileyen kompresyon kuvvetlerine bağlı olarak, otokton kireçtaşları içinde gelişen çok katlı bindirmeler ve bunlarla ilgili kırık sistemleri, bölgedeki otokton mermer üretimini ve blok verimini doğrudan etkileyen faktörlerin başında gelmektedir.

ABSTRACT The Isparta Angle is formed due to result of the bending and rotation of the Mesozoic carbonate belt of the Western Taurus to the north of the Gulf of Antalya since Eocene period. North-South trending Eğirdir-Kovada depression separates the Isparta Angle into two different regions, East and West sides. The Beydağları autochthonous carbonate platform located in the western part of Isparta Angle, whereas the Akseki-Anamas Mesozoic carbonate platform located in the eastern side. The allochthonous ophiolitic rock assemblages of Antalya, Lycia and Beyşehir-Hoyran nappe are overlies with a tectonic contact on the autochthonous carbonate platforms in the region. Most of the marble deposits which are still operating in Burdur, Isparta, Antalya, and Beyşehir regions and defined as light and dark beige and emperor are located in and adjacent regions of Isparta Angle.

It is possible to collect the marble deposits in Isparta Angle and its vicinity in two main groups, namely autochthonous and allochthonous. The Akseki-Anamas and Beydağları platforms consist mainly of autochthonous marble and carbonate rock sequence deposited on

the shelf plains of the Tethian Ocean, which continues its existence during the Mesozoic period in the region. Marble deposits with an autochthonous beige and emperor feature on the eastern and western wings of the Isparta Angle are composed of limestone, dolomitic limestone and dolomites which are generally thick-bedded, broadly distributed and with very large reservoirs and developed in a shallow shelf environment. The reefal intercalations and well developed karstic structures, mainly composed of lapyas and melting cavities, are common in the autochthonous limestone sequence. Depending on the compression forces affecting the Isparta Angle, the imbricated overthrusts and their associated fracture systems in the otokton limestones are the leading factors directly affecting the production of autochthonous marble and block yield in the region

1 GİRİŞ

Dünyanın en zengin doğal taş oluşumlarının bulunduğu Alp-Himalaya kuşağı içinde yer alan Türkiye, çok çeşitli ve büyük miktarda mermer rezervine sahiptir. Bunun yanı sıra, Türkiye sahip olduğu bilgi birikimi ve üretim teknolojisi ile dünyanın en önemli doğal taş üreticileri arasında yer almaktadır.

GB-Anadolu ve Isparta Açısı olarak bilinen bölge, Batı Toroslarda Mesozoyik dönemine ait karbonat kayaların en yaygın olduğu bölgelerin başında gelir.

Bu çalışmada GB-Anadolu'da Isparta Açısı içinde yer alan otokton ve allokton mermer yataklarının jeolojik konumları ve ayırtman özellikleri irdelenecektir. otokton mermer kavramı, bu çalışmada yer değiştirmemiş platform tipi karbonat kayalar ve bunlara eşlik eden resifal oluşuklar için kullanılmıştır.

Bu çalışmada oldukça sık olarak geçen allokton mermer kavramı, birikim alanı içinde yer değiştirmiş ve derin denizel tortullar içinde gömülü olan kireçtaşı blokları (ve/veya olistolitler) için kullanılmıştır.

Isparta Açısı ve yakın çevresinde yer alan allokton konumlu açık bej mermer yatakları, bölgede daha çok ofiyolitik nap sistemleri içinde yer almaktadır. Bölgedeki ofiyolitik naplar, Geç Kretase-Geç Eosen döneminde kapanan Tetis okyonusuna ait okyonusal kabuk dilimlerinin ve bunlara eşlik eden denizel tortulların yöredeki otokton platformlar üzerine bindirmesi sonucu oluşmuşlardır. Burdur, Antalya ve Beyşehir yörelerinde yer alan açık bej mermer yatakları genellikle ofiyolitler içinde gömülü

olan kireçtaşı olistolitlerden oluşmaktadır. Birbirlerinden bağımsız renk ve doku özelliği gösteren olistolitlerin, Geç Kretase-Erken Paleosen döneminden bu yana, ofiyolitik bir matriks içinde gömülü olarak kalmış olması, bu mermerlerin tektonizmanın yanı sıra, yüzey koşullarından olumsuz biçimde etkilenmelerini engellemiştir. Bu nedenle, ofiyolitik matriks içinde gömülü olarak bulunan allokton mermerler çoğu yerde masif ve seyrek çatlaklı bir özellik kazanmışlardır.

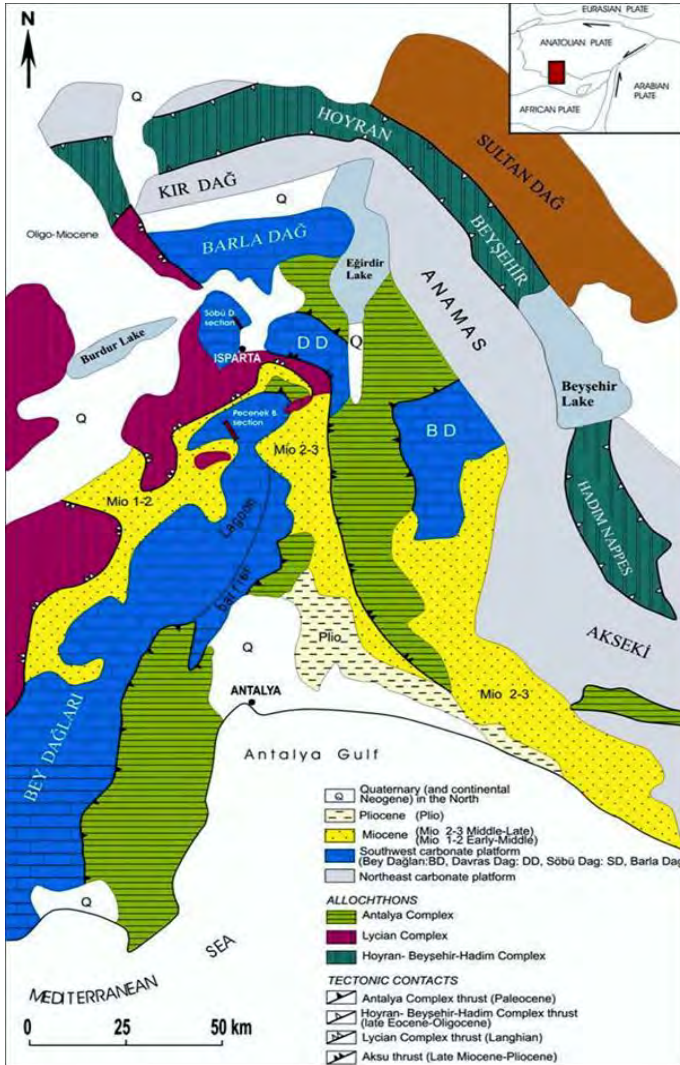
Ofiyolitik matriks ile çevrelenen kireçtaşı olistolitlerinin dış kısımlarında, ofiyolitlerden türemiş mangan ve hematit kalıntılarının kireçtaşı dokusu içinde yersel olarak bulunabilmesi, allokton mermer üretimini ve kalitesini olumsuz olarak etkileyen en önemli faktörlerdir.

2 ISPARTA AÇISI VE BÖLGESEL JEOLOJİ

GB- Anadolu'da Isparta Açısı olarak bilinen coğrafik bölge, ana çizgilerde batıdan Burdur-Fethiye fay zonu, doğudan ise Akşehir-Sultandağ fayı tarafından sınırlanır. Simetrik bir çöküntü alanı özelliği gösteren K-G uzanımlı Eğirdir-Kovada grabeni, Isparta Açısını iki farklı bölgeye ayırır. Eğirdir-Kovada grabeninin batısında yeralan ve büyük bölümü ile karbonat kayalardan oluşan Mesozoyik istifi, önceki araştırmacılar tarafından (Poisson (1977), Gutnic (1977), Dumont (1976), Monod (1977), Özgül (1976), Marcoux (1970), Demirtaşlı (1979), Koçyiğit (1983), Poisson ve diğ.,1984, Şenel 1984, Yağmurlu ve diğ. (1995) , Bozcu ve Yağmurlu (2001), Poisson ve diğ. (2003),

Beydağları otoktonu; doğu bölümünde yayılım gösteren otokton karbonatlar ise, Akseki-Anamas istifi olarak adlandırılmıştır (Şekil 1). Isparta Açısı ve yakın çevresinde yeralan allokton kaya toplulukları, bileşimi, konumu, yerleşim yaşları ve kökenleri gözetilerek, başlıca üç grup içinde toplanmıştır (Poisson vd., 1984; Şenel, 1984; Robertson ve Woodcock, 1984). Bunlar batıdan doğuya doğru Likya, Antalya ve

Beşehir-Hoyran-Hadım naplarıdır. Isparta Açısının batı kanadı üzerine gelen Likya napları ile doğu kanadını üzerleyen Beşehir-Hoyran napları için Orta-Geç Eosen, ile Geç Miyosen yerleşim yaşı öngörülmesine karşın, Antalya naplarının yerleşimi için Geç Kretase-Erken Paleosen yaşı uygun görülmüştür (Şenel, 1984; Dilek ve Rowland, 1993; Glover ve Robertson, 1998).



Şekil 1: Çalışma alanının yerbulduru haritası ve Isparta Bölümü'nün jeotektonik konumu (Poisson vd. 2003'ten değiştirilmiştir.)

Diğer taraftan, bölgede çalışan araştırmacıların büyük bölümü, Isparta Açısının şimdiki konumunu neotektonik dönemde kazanmış olduğu konusunda görüşbirliği içinde bulunmaktadır. Bunlardan Kissel ve Poisson (1986) ile Piper ve diğ. (2002), paleomanyetik verilere dayanarak, Isparta Açısını batı kanadını oluşturan Beydağları karbonat masifinin Miyosen dönemi boyunca saat dönüşünün tersi yönde yaklaşık 35-40 derecelik bir rotasyona uğramış olabileceğini belirtirler. Aynı araştırmacılara göre, Isparta Açısının doğu kanadı ise, Eosen döneminden bu yana saat dönüş yönünde olmak üzere 45 derecelik bir rotasyona uğramıştır.

Isparta Açısını oluşturan doğu ve batı kanatların birbirlerinin tersi yöndeki rotasyonları, Isparta Açısının apeks bölgesinde D-B yönlü tansiyon kuvvetlerinin ortaya çıkmasına ve bu nedenle K-G uzanımlı Eğirdir-Kovada grabeninin oluşmasına neden olmuştur (Yağmurlu ve Şentürk, 2005). Diğer taraftan doğu kanad üzerindeki rotasyonun Geç Pliyosenden sonra da devam etmesi, günümüzde halen aktifliğini koruyan Aksu bindirmesinin yanı sıra, doğu kanat üzerinde gelişmiş çok katlı bindirme sistemlerinin meydana gelmesine neden olmuştur.

3 ISPARTA AÇISI İÇİNDE YERALAN KAYA BİRİMLERİ

Isparta Açısı içinde ve yakın çevresinde yer alan kaya birimlerini, otokton ve allohton olmak üzere, ana çizgilerde iki grup içinde toplamak mümkündür.

3.1 Otokton Kaya Birimleri

Isparta Açısı içinde, mermer yatağı olarak değerlendirilebilecek, Mesozoyik dönemine ait otokton karbonat kaya birimleri, Beydağları platformu ile Akseki-Anamas platformu üzerinde yer almaktadır.

3.1.1 Beydağları Bölgesi (Isparta Açısının Batı Kanadı)

Isparta Açısının batı bölümünü oluşturan Beydağları bölgesinde, yaşları Triyas ile Geç

Kretase arasında değişen ve başlıca neritik ve pelajik karbonatlardan oluşan kalın bir otokton karbonat serisi yer alır. Bu bölgede yeralan Mesozoyik karbonat istifinin alt bölümünde Paleozoyik yaşlı kırıntılı ve karbonatlı kayalardan oluşan bir tortul istif yer almaktadır. Beydağları bölgesine ait bileşik otokton istif (Demirtaşlı,1977; Poisson, 1977; Monod; 1977; Gutnic, 1977 ve Şenel, 1984) Şekil 2'de verilmiştir. Buna göre, istifin en alt bölümünde yeralan, Silüriyen ve Ordovisiyen yaşlı metasedimenter kayalar, yörenin en eski kaya birimlerini oluşturur. Bunların üzerine gelen Geç Paleozoyik yaşlı tortullar egemen olarak kaba ve ince taneli kırıntılı tortullardan ve bunlara eşlik eden siyah şeyl, bitümlü şeyl ve kömür düzeylerinden oluşur.

Beydağları Mesozoyik istifinin en alt bölümünde Erken Triyas yaşlı Kesmeköprü Formasyonuna ait killi kireçtaşı, marn ve yersel jipsli olabilen çamurtaşları yer alır. Bu birimin üzerine gelen Erken Triyas yaşlı Dipoyraz Dolomitleri, egemen olarak beyazımsı, orta ile kalın katmanlı şekerimsi dokulu kristalin dolomitlerden yapılıdır. Bölgede Dipoyraz Dolomitlerini uyumlu olarak üstleyen Orta Triyas yaşlı Kasımlar Formasyonu, egemen olarak koyu grimsi ile siyahımsı arasında değişen organik maddece zengin şeyl, kumtaşı ve yersel resifal kireçtaşı bileşenlerinden oluşur. Beydağları bölgesinde 600 m kalınlık sunan Kasımlar Formasyonuna ait tortul istif, doğuya doğru giderek kalınlaşarak, Eğirdir'in güneyinde 1000 metreye dek ulaşır.

Kasımlar Formasyonunun üzerine gelen Geç Triyas-Erken Jura yaşlı Kuyubaşı Dolomitleri, büyük bölümüyle, açık-orta bejimsi, orta ile kalın katmanlı ve yersel masif yapıları dolomit ve dolomitli kireçtaşlarından oluşur. Birim, Erken-Geç Jura yaşlı Davras Formasyonuna ait bitümlü killi kireçtaşları ile pelletli ve dolomitli kireçtaşlarından oluşan oldukça kalın bir karbonat istifi tarafından uyumlu olarak üstlenir. Beydağları bölgesinde geniş yayılım gösteren Beydağları Formasyonu, Erken-Geç Kretase arasında değişen ve kalınlığı 1000 metreyi geçen, açık ile orta grimsi olabilen pelajik ve neritik

kireçtaşlarından oluşur. Beydağları Formasyonunu meydana getiren karbonat istif, alttan üste doğru, egemen olarak kalın katmanlı ve yersel masif yapılu Rudist'li kireçtaşları ile bunlar üzerine gelen

Globotruncana'lı ince katmanlı pelajik kireçtaşları ve bunlara eşlik eden şeyl ara katmanlarından yapıldır.

YAŞ	KAYA BİRİMLERİ	KALINLIK (m.)	LİTOLOJİ ÖZELLİKLERİ
KRETASE GEÇ TRİYAS- ERKEN JURA	BEYDAĞLARI FORMASYONU	1000	İnce katmanlı Globotruncana'lı pelajik kireçtaşları, kalın katmanlı Rudist'li kireçtaşları ile dolomitli kireçtaşlarından oluşur.
JURA GEÇ ERK. ERKEN JURA	DAVRAS FORMASYONU	1250	Alttan üste doğru kalın katmanlı pelletli kireçtaşı, dolomit, dolomitli kireçtaşı ile en üst bölümde yeraları bitümlü killi kireçtaşlarından oluşur.
GEÇ TRİYAS ERKEN JURA	KUYUBAŞI DOLOMITİ	800	Orta ile kalın katmanlı ve yaygın çatlak ve kristal arası gözeneklidir.
ORTA TRİYAS	KASIMLAR FORMASYONU	600	Koyu grimsi ile siyahımsı arasında değişen ve yer yer organik maddece zengin olabilen şeyl, kumtaşı ve killi kireçtaşı bileşenlerinin yanısıra, resifal kireçtaşı arakatkılarından oluşur.
ERKEN TRİYAS	DİPOYRAZ DOLOMITLERİ	550	Beyazımsı, orta ile kalın katmanlı, sucrozic poroziteli, petrolü dolomit.
ERKEN TRİYAS	KESMEKÖPRÜ FORMASYONU	500	Killi kireçtaşı, mam ve yersel jipsli çamurtaşlarından oluşur.
ERKEN-ORTA-GEÇ PERMIYEN	DİNEK FORMASYONU	600	Alttan üste başlıca siyahımsı şeyl ve mikritik kireçtaşı aralanmsı, çörtlü kireçtaşı ve bitümlü şeyl aralanması ile en üstte dolomit ve dolomitli kireçtaşlarından oluşur.
KARBONIFER-ERKEN PERMIYEN	PAMUCAKYAYLA FORMASYONU	400	Orta ile kalın çapraz katmanlı, kaba taneli kumtaşları ile üst bölümünde şeyl, çamurtaşı ve kömür düzeylerinden oluşur.
DEVONİYEN	HOCANINSUYU FORMASYONU	275	Kırmızımsı kumtaşı ve silttaşı aralanması ile, buna eşlik eden jipsli çamurtaşlarından oluşur.
SİLURİYEN	SAPANDERE FORMASYONU	125	Siyahımsı şeyl ve bitümlü şeyl aralanmasından yapılabilecek, en alt bölümde Graptolit'li şeyller yer alır.
OROMİSİYEN	SARIYERDERE FORMASYONU	400	İnce katmanlı, laminalı, şeyl ve serizitli sileylardan oluşur.

Şekil 2: Isparta Açısının batı kanadını oluşturan Beydağları platformunun genelleştirilmiş stratigrafisi (Demirtaşlı, 1979; Şenel, 1984; Poisson ve diğ., 1984; Bozcu ve Yağmurlu, 2001).

3.1.2 Akseki-Anamas Bölgesi

Isparta Açısının doğu bölümünü oluşturan Akseki Anamas istifi, Beydağları istifi ile bazı benzerlikler taşımaya karşın, yanal yöndeki fasiyes değişimlerine bağlı olarak, önemli sayılabilecek farklılıklar gösterir (Şekil 3). Akseki-Anamas bölgesinde Ordovisiyen yaşlı meta sedimenter kayalar (Kocaosman metamorfikleri) üzerine uyumsuz olarak gelen ve Erken Triyas'tan

Geç Kretase'ye dek tüm birimleri eksiksiz içeren Mesozoyik istifi, egemen olarak neritik ve pelajik karbonatlar ile denizel ve karasal ortamda gelişmiş kırıntılı tortullardan oluşur.

Akseki-Anamas Mesozoyik istifinin alt bölümünde yer alan Orta Triyas yaşlı Kasımlar Formasyonu, Erken Triyas yaşlı Hacıilyas Formasyonu ile Orta Triyas yaşlı Köseköy Formasyonlarını uyumlu olarak

üstler. Yöredeki kalınlığı 1000 metreye ulaşan Kasımlar Formasyonu, egemen bileşeni olan organik maddece zengin karbonlu şeyl ve bitümlü kireçtaşları nedeniyle, bölgenin en kolay tanınabilen kaya birimini oluşturur. Kasımlar Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelen Geç Triyas yaşlı Menteşe Dolomitleri, büyük bölümüyle orta ile koyu grimsi, kalın

katmanlı, yersel masif yapılı ve bol çatlaklı dolomitik kireçtaşları ile dolomitlerden yapıldır. Menteşe dolomitlerine ait ince kesitlerde, kristal-arası gözeneklilik yanısıra, kovuk ve çatlak gözenekliliğinin egemen olarak geliştiği ve gözeneklerin bölümsel olarak hidrokarbon ile doldurulmuş olduğu gözlenir.

YAŞ	KAYA BİRİMLERİ	KALINLIK (m.)	LİTOLOJİ ÖZELLİKLERİ
ORTA EÖSEN	GÜMÜŞDAMLAR FORMASYONU	300	Türbiditik kökenli kumtaşı, çamurtaşı araldanması ile bunlara eşlik eden kireçtaşı arakatıklarından oluşur.
GEÇ PERİTAŞE (ORTA EÖSEN)	SEYRANDAĞI KİREÇTAŞI	1000	Orta ile koyu grimsi, orta ile kalın düzenli katmanlı, yersel resifal özellikli, yaygın Rudist'li kireçtaşlarından oluşur.
ERKEN KRETASE	AKSEKİ KİREÇTAŞI	1000	Orta ile açık grimsi, düzenli katmanlı, yersel çört arakatıklı, algal bileşenlerce zengin kireçtaşlarından oluşur.
GEÇ JURA	AKKUYU FORMASYONU	250	Orta ile koyu grimsi mikritlik kireçtaşları ile yersel dolomit ve bitümlü şeyl arakatıklarından oluşur.
ORTA JURA	HENDOS DOLOMITLERİ	500	Açık-koyu kahve, yersel siyahımsı, orta ile kalın katmanlı ve yoğun bitümlü dolomitlerden oluşur.
ORTA JURA	PİSARÇUKURU KİREÇTAŞI	500	Açık grimsi, orta ile kalın katmanlı ve yersel dolomitleşmiş kireçtaşlarından oluşur.
ERKEN JURA (Lijyas)	ÖZÜMDERE FORMASYONU	600	Kırmızımsı kumtaşı, çakıltaşı ve yersel kireçtaşları ile linyit arakatıklarından oluşur.
GEÇ TRIYAS	LEYLEK KİREÇTAŞI	400	Açık-orta grimsi, orta ile kalın katmanlı, yersel masif görünümlü ve çört arakatıklı, alt ve orta bölümlerinde megalodon, mercan ve alg içeren kireçtaşlarından oluşur.
GEÇ TRIYAS	MENTEŞE DOLOMITLERİ	150	Orta ile açık grimsi, belirsiz katmanlı, bitümlü ve kırılmalı yapıda dolomitik kireçtaşları ve dolomitlerden oluşur.
TRİYAS (ORTA, GEÇ)	KASIMLAR FORMASYONU	1000	Karbonlu şeyl, ince taneli kumtaşı ve bitümlü kireçtaşlarından oluşur.
ORTA TRIYAS	KÖSEKÖY FORMASYONU	200	Kötü boylanmış çakıltaşı ile eşlik eden kumtaşı ve çamurtaşı ara düzeylerinden oluşur.
ERKEN TRIYAS	HACILYAS FORMASYONU	300	Dolomitik kireçtaşı ile kilitli ara düzeylerinden oluşur.
ERKEN TRIYAS	KOCAOSMAN METAMORFİKLERİ	—	Sleyt, fillit, kuvarsit ve yersel metakonglomera bileşenlerinden oluşur.

Şekil 3: Isparta Açısının batı kanadını oluşturan Akseki-Anamas platformunun genelleştirilmiş stratigrafi istifi (Demirtaşlı, 1979; Şenel, 1984; Poisson ve diğ., 1984; Bozcu ve Yağmurlu, 2001).

Akseki-Anamas bölgesinde Mentеше Dolomitleri üzerine gelen Geç Triyas yaşlı Leylek Kireçtaşları, çoğunlukla açık bej renkli ve grimsi, kalın katmanlı yaygın olarak Megalodont, mercan ve algal bileşenler içeren neritik kireçtaşlarından yapıldır. Tipik kesitleri Anamas Dağı bölgesinin Köklü ve Çayır Yaylası Mevkiilerinde yeralan Erken Jura yaşlı Üzümdere Formasyonu, egemen olarak karasal ve sığ denizel kökenli olabilen kırıntılı ve karbonatlı tortul bileşenlerinden yapıldır. Yersel gözlenen kömür oluşukları ile Megalodont'lu neritik kireçtaşı ara düzeyleri, Üzümlü Formasyonunun karasal tortul istifi içinde olağan olarak gözlenir.

Üzümlü Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelen Orta Jura yaşlı Pisarcukuru kireçtaşları, egemen olarak orta ile kalın katmanlı, yersel masif yapıları dolomitleşmiş kireçtaşlarından yapıldır.

Pisarcukuru Kireçtaşı üzerine gelen Orta Jura yaşlı Hendos Dolomitleri, çoğunlukla koyu kahverengi ve siyahımsı renkli, orta ila kalın, yersel masif yapıları ve yoğun bitümlüdür. Hendos dolomitlerine ait ince kesitlerde, tüm kristal arası gözeneklerinin yanı sıra, kovuk ve çatlak gözeneklerinin tümüyle bitüm ile doldurulmuş olduğu gözlenir.

Hendos dolomitleri üzerine uyumlu olarak gelen Geç Jura yaşlı Akkuyu Formasyonu, egemen olarak orta ile koyu grimsi mikritik kireçtaşları ile yersel dolomit ve bitümlü şeyl arakatkılarından oluşur.

Anamas-Akseki bölgesinde Akkuyu Formasyonu üzerine gelen ve toplam kalınlığı 2000 metreye ulaşan Kretase yaşlı sürekli karbonat istifi, alttan üste doğru Akseki ve Seyrandağı Kireçtaşı birimleri şeklinde iki farklı birime ayrılmıştır. Bu kireçtaşı birimleri, yersel olarak Orta Eosen yaşlı türbiditik tortullar içeren Gümüşdamla Formasyonu tarafından uyumsuz olarak üstlenir.

3.2 Allohton Kaya Birimleri

3.2.1 Antalya Napları

Şekil 1'de verilen bölgesel jeoloji haritasında görüldüğü gibi, Antalya napları

olarak tanımlanan allohton kaya topluluğu (Poisson, 1984; Şenel, 1984; Robertson ve Woodcock, 1984), Beydağları platformu üzerine, doğuda ise Akseki-Anamas platformu üzerine bindirmeli bir dokanakla oturur. Karmaşık iç yapı özelliğine sahip olan Antalya napları büyük bölümü ile derin denizel ortamda çökelmiş pelajik tortulların yanı sıra bunlara eşlik eden ofiyolitik bileşenlerden yapıldır. Egemen olarak dolomitik kireçtaşı ve kireçtaşlarından oluşan karbonat kaya blokları (ve/veya olistolitleri) Antalya napları içinde olağan olarak bulunur.

Boyutları birkaç metre ile birkaç kilometre arasında değişen, Antalya napları içindeki kireçtaşı olistolitlerine ait tipik görünüler en iyi biçimde Eğirdir göneyi ile, Serik'in kuzeyinde kalan alanlarında ve Antalya-Doyran-Geyikbayırı bölgesinde gözlenir. Belirtilen bu bölgelerde yer alan açık bej renkli kireçtaşı olistolitlerinin büyük bölümü üzerinde günümüzde halen mermer üretimi yapılmaktadır.

3.2.2 Likya Napları

Güneyde Beydağları platformu, kuzeyde ise Menderes masifi üzerine bindirmeli bir dokanakla gelen karmaşık iç yapıya sahip allohton kaya topluluğu önceki araştırmacılar (Poisson, 1984; Şenel, 1984; Robertson ve Woodcock, 1984) tarafından Likya napları olarak tanımlanmıştır (Bkz.Şekil 1). Genellikle karmaşık iç yapı özelliğine sahip olan Likya naplarına ait kaya birimleri, büyük bölümü ile ofiyolitik bileşenlerden ve bunlara eşlik eden türbiditikler ile pelajik tortullardan yapıldır. Egemen olarak dolomitik kireçtaşı, kireçtaşı ve çörtlü kireçtaşlarından oluşan karbonat kaya blokları (ve/veya olistolitleri) Likya napları içinde olağan olarak bulunur.

Likya napları içinde ofiyolitik ve türbiditik bir matriks içinde gömülü olarak bulunan ve boyutları birkaç metre ile birkaç kilometre arasında değişen kireçtaşı olistolitlerine ait tipik görünüler, en iyi biçimde Burdur göneyi ile, Karamanlı ve Tefenni çevresinde kalan alanların yanı sıra, Korkuteli ve Elmalı bölgesinde gözlenir. Belirtilen bu bölgelerde yer alan açık –orta

bej renkli kireçtaşı olistolitlerinin büyük bölümü üzerinde günümüzde halen mermer üretimi yapılmaktadır.

3.2.3 Beyşehir-Hoyran-Hadım Napları

Akseki-Anamas platformunu bindirmeli bir dokanakra üstleyen karmaşık içyapıya sahip alloktan kaya topluluğu önceki araştırmacılar (Poisson, 1984; Şenel, 1984; Robertson ve Woodcock, 1984) tarafından Beyşehir-Hoyran-Hadım napları olarak tanımlanmıştır (Bkz.Şekil 1). Beyşehir-Hoyran-Hadım naplarına ait kaya birimleri, büyük bölümü ile ofiyolitik bileşenlerden ve bunlara eşlik eden türbiditler ile pelajik tortullardan yapıldır. Büyük bölümü ile dolomitik kireçtaşı ve kireçtaşlarından oluşan karbonat kaya blokları (ve/veya olistolitleri), Isparta Açısı içindeki diğer naplarda olduğu gibi, Beyşehir-Hoyran-Hadım napları içinde de olağan olarak bulunur.

Beyşehir-Hoyran-Hadım napları napları içinde ofiyolitik ve türbiditik bir matris içinde gömülü olarak bulunan ve boyutları birkaç metre ile birkaç kilometre arasında değişen kireçtaşı olistolitlerine ait tipik

görünürler, en iyi biçimde Hadım, Seydişehir, Beyşehir ve Şarkikaraağaç çevresinde bölgesinde gözlenir. Belirtilen bu bölgelerde yer alan açık-orta bej renkli kireçtaşı olistolitlerinin büyük bölümü üzerinde günümüzde halen mermer üretimi yapılmaktadır.

4 MERMER YATAKLARININ OLUŞUMU

4.1 Otokton Mermer Yatakları

GB-Anadolu'da yer alan otokton mermer yatakları, Triyas-Geç Kratase döneminde varlığını sürdürmüş olan Tetis Okyanusu'nun sığ sayılabilecek şelf düzlüklerinde (ve/veya kıta sahanlığı bölgesi) gelişen karbonat çökelinin yanı sıra, bunlara eşlik eden resifal bölgelerde meydana gelmiştir.

Şekil 4'de verilen Jura dönemine (150 milyon yıl önce) ait paleocoğrafya haritasına göre, Akdeniz ve çevresi, Anadolu'da dahil olmak üzere, Triyas-Kretase devri boyunca tümüyle Neotetis Okyanusu'nun etki alanı içinde bulunmaktadır.



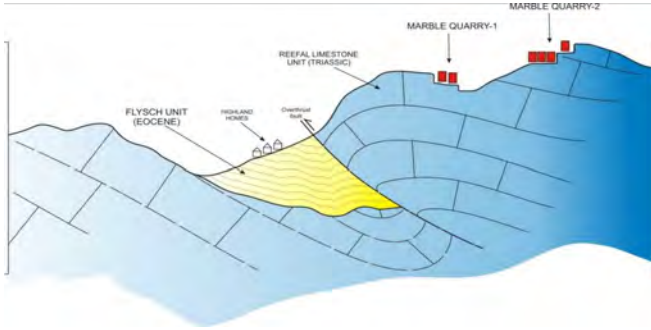
Şekil 4: Türkiye ve Akdeniz çevresinin Jura dönemine ait (150 milyon yıl önce) paleocoğrafya haritası. Beyazımsı ve açık mavimsi alanlar Neotetis okyanusunda karbonat kaya çökelinin geliştiği sığ self bölgelerini yansıtır (<https://deephimemaps.com/>).

Kuzeyde Avrasya, güneyde ise Gondvana olarak adlandırılan büyük kara parçaları arasında yer alan Neotetis okyanusunun derin kısımlarında Triyas-Kretase dönemi boyunca pelajik tortullar ve bunlara eşlik eden ofiyolitik bileşimli kaya toplulukları oluşmuştur. Buna karşın, Neotetis Okyanusu'nun sığ şelf düzlüklerinde, Afrika'nın kuzeyinde ve Toros Dağ kuşağı içinde geniş yayılım gösteren platform tipi kalın karbonat kayalar (Beydağları kireçtaşları ve Akseki-Anamas karbonat platformu) çökelmiştir.

Geç Kretase-Paleosen döneminde Tetis Okyanusu kapanmaya başlayarak, giderek küçülmüş ve Akdeniz ortaya çıkmıştır. Geç Miyosen döneminde ise Akdeniz'in Basra Körfezi ile olan bağlantısı kesilerek, tamamen kapalı bir iç denize dönüşmüştür.

GB-Anadolu'da yer alan allokon nap sistemleri, Geç Kretase-Paleosen döneminde Neotetis okyanusu ve buna eşlik eden kolların kapanması ve ortaya çıkan okyanusal kabuk dilimlerinin karbonat platformlar üzerine bindirmesi sonucunda oluşmuştur.

Isparta Açısı içinde bulunan otokton mermer yatakları, kalın katmanlı ve masif yapısının yanı sıra yanal yönde süreklilik gösteren bir örnek litolojik özelliği ile karakterize olmuştur. Yersel olarak onlarca metre kalınlığa ulaşan resifal arakatıklar ve karstik lapyza izleri, GB-Anadolu'da bulunan otokton mermer yataklarında yaygın gözlenen diğer önemli özelliklerdir (Şekil 5 ve 6).



Şekil 5: Akseki-Anamas platformu üzerinde Gündoğmuş yöresinde yer alan otokton-paraotokton konumlu bir mermer yatağının ölçeksiz şematik enine kesiti.



Şekil 6: Akseki-Anamas platformu üzerinde yer alan kalın katmanlı ve masif yapıya Jura yaşlı otokton mermerler ve bunların üzerinde gelişen karstik lapyza izleri (Yer: Isparta-Kesme batısı).

Isparta Açısının batı kanadını oluşturan Beydağları istifi içinde bulunan Kuyubaşı dolomitleri ile bunları üstleyen Davraz ve Beydağları formasyonları içinde otokton mermer üretimine elverişli alanlar bulunmaktadır. Nitekim Bucak güneyinde Kuyubaşı dolomitleri içinde açılmış çok sayıda açık bej mermer ocağı bulunmaktadır.

Diğer taraftan Isparta Açısının doğu kanadını oluşturan Akseki-Anamas istifi içinde Mentеше dolomitleri, Leylek kireçtaşı, Pisarçukuru, Akseki ve Seyrandağı formasyonları, otokton mermer üretimi için elverişli alanlar kapsamaktadır. Anamas Dağı, Derebucak ve Akseki yöresinde Mentеше dolomitleri ile bunu üstleyen leylek kireçtaşları içinde açılmış çok sayıda açık bej mermer ocağı bulunmaktadır.

4.2 Allohton Mermer Yatakları

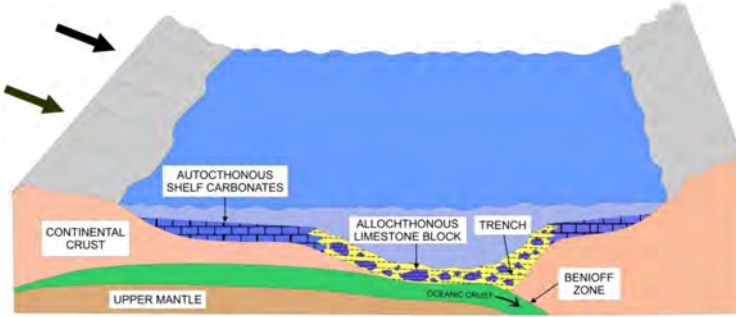
GB-Anadolu'da yer alan allohton mermer yatakları, Tetis okyanusunun kapanması sırasında, şelf düzlüğünde oluşan karbonat

platformunun parçalanması ve ortaya çıkan blokların derin deniz tortulları içine gömülmesi sonucu oluşmuşlardır (Şekil 7).

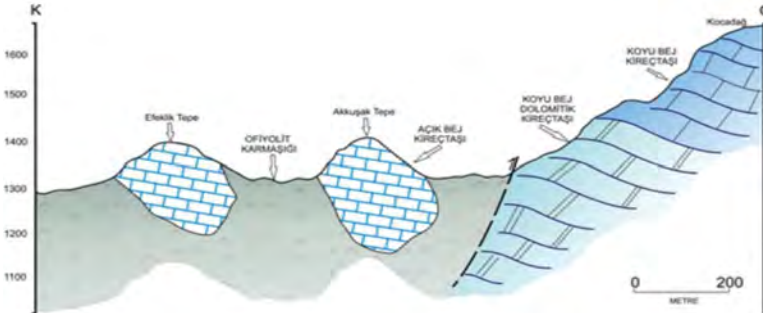
Yitim zonunda oluşan yığışım prizması, ofiyolitik ve türbiditik matris içinde olistolitlerin gömülü olarak bulunduğu karmaşık yapıya bir kaya topluluğunu yansıtır.

Yitim zonunda, yığışım prizması bölgesinde oluşan melanj özelliğine sahip karmaşık kaya topluluğu, kıta-kıta çarpışması sonucu, bindirme faylarının etkisiyle kıtasal kabuk üzerine itilerek yerleşir.

Isparta Açısı ve GB-Anadolu'da yer alan allohton mermer yatakları büyük bölümü ile karmaşık içyapı özelliği gösteren allohton nap sistemleri içinde bulunur. Daha çok ofiyolitik ve türbiditik bir matris içinde birbirinden bağımsız bloklar şeklinde gömülü olan allohton mermer bloklarının boyutları ve renkleri arasında büyük farklılıklar gözlenir (Şekil 8).



Şekil 7: Çoğunlukla ofiyolitik ve türbiditik bir matris içinde gömülü olarak bulunan allohton mermer bloklarının (ve/veya olistolitlerinin) oluşumunu gösteren şematik blok diyagramı.



Şekil 8: Antalya napları içinde ofiyolitik matris içinde gömülü olarak bulunan allohton mermer bloklarının (ve/veya olistolitlerin) jeolojik konumunu gösteren enine kesit (Eğirdir güneyi).

5 TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Isparta Açısı içinde bulunan otokton mermerler daha çok kıta sahanlığı benzeri denizel ortamlarda ve resifal bölgelerde çökeltmiş olan kireçtaşı, dolomit ve dolomitik kireçtaşı bileşimli karbonat kayalardan oluşmuştur. Akseki-Anamas ve Beydağları platformlarını oluşturan otokton mermerler büyük bölümü ile, yanal yönde süreklilik gösteren kalın katmanlı, masif yapıları ve dokusal açıdan homojen sayılabilecek özellikler gösterir.

Egemen olarak açık-orta bej ile grimsi renklere olabildiği otokton mermerler, altlayan ve üstleyen birimlerden ayrılabilen, bağımsız kaya birimi oluştururlar. Çok katlı bindirme fayları ve bunlara eşlik eden makaslama fay ve eklemleri ile lapyalı ve dolin gibi erime boşlukları ile simgelenen karstik yapılar, otokton mermerler içinde çok yaygındır. Dolomitik arakatkılar ve biyoherm benzeri resifal oluşumlar bölgede otokton mermerler için olağandır. Isparta Açısı içinde Akseki-Anamas ve Beydağları yöresinde geniş yayılım gösteren ve kalınlığı yüzlerce metreye ulaşan otokton mermerler, bölgede dev boyutlu büyük rezervler oluşturur.

Isparta Açısı ve çevresinde yer alan ofiyolitik nap sistemleri içinde birbirinden bağımsız bloklar ve olistolitler şeklinde bulunabilen çok sayıda allokton mermer kütleleri yer alır. Bölgedeki allokton mermerler, genellikle karbonat kayalardan oluşan kıta sahanlığının Geç-Kretase-Orta Eosen döneminde parçalanması sonucu oluşan blokların derin denizel tortullar içinde gömülmesi ile meydana gelmiş olmalıdır. Bölgedeki allokton mermer oluşukları çoğunlukla kalın katmanlı ve masif yapıları olup, orta ile açık bej ve koyu gri ile kahve arasında değişen renklere sahiptir. Allokton naplar içinde birbirinden bağımsız olarak bulunan her bir blok farklı renkler gösterebilir. Genellikle ofiyolitik ve türbiditik bir matriks içinde gömülü olarak bulunan allokton mermer oluşukları içinde daha çok makaslama ve tansiyon eklem sistemleri yaygın olarak gelişmiştir. Lapyalı ve dolin benzeri erime boşluklarından oluşan

karstik yapılar daha çok allokton bloğun yüzeyleyen üst bölümünde yaygındır. Dolomit ve resifal kireçtaşından oluşan arakatkılar allokton mermerlerde seyrek olarak görülür.

Tüm bunların yanı sıra, Isparta Açısı içinde allokton nap sistemleri içinde bulunan allokton mermer oluşuklarının rezervleri blok boyutu ile sınırlıdır. Ancak nap sistemleri içinde boyutları bazı durumlarda birkaç kilometreye ulaşan allokton mermer oluşuklarında milyar tona ulaşan dev rezervler söz konusu olabilir.

KAYNAKLAR

- Bozcu, A. ve Yağmurlu, F., 2001. Correlation of sedimentary units in the Western Taurides from the point of petroleum geology. 4 th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology, Isparta, Turkey, Proceedings, pp. 139-148.
- Demirtaşlı, E., 1977. Petroleum potential of the Taurus Belt. Turkish Petroleum Congress, pp.55-61.
- Demirtaşlı, E., 1979. Batı Toroslarda Akseki bölgesinin petrol potansiyeli. Jeoloji Müh.Odası, 1. Bilimsel ve Teknik Kongresi, Jeoloji Müh.Odası, Bildiriler, Ankara.
- Dilek, Y., and Rowland, J., 1993. Evolution of conjugate passive magrin pairs in Mesozoic southern Turkey: Tectonics, v. 12, p. 954-970.
- Dumont, J.F. 1976. Etudes géologiques dans les Taurides occidentales: les formations paléozoïques et mésozoïques de la coupole de Karacahisar (province d'Isparta, Turquie). Thèse de 3è Cycle, Univ. Paris-Sud, Orsay, 213p (unpubl.).
- Glover, C. and Robertson, A.H.F. 1998. Neogene intersection of the Aegean and Cyprus arcs: extensional and strike-slip faulting in the Isparta Angle, SW Turkey. Tectonophysics, 298, 103-132.
- Gutnic, M. 1977. (works from 1964 up to 1971 presented by O.Monod). Géologie du Taurus Pisidien au nord d'Isparta (Turquie). Travaux du Laboratoire de Géologie Historique, Univ. Paris-Sud, Orsay, 130p.
- Kissel, C., and Poisson, A. 1986. Etude paléomagnétique préliminaire des formations néogènes du bassin d'Antalya (Taurides occidentales, Turquie). Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris, 302,10, 711-716.
- Koçyiğit, A., 1983. Hoyran gölü (Isparta bükümü) dolayının tektoniği. TJK.Bült., 26/1, 1-10.
- Marcoux, J. 1970. Age carmien des termes effusifs du cortege ophiolitique des nappes d'Antalya (Taurus lycien oriental, Turquie). Comptes

- Rendus de l'Académie des Sciences, Paris, 271, 285-287.
- Monod, O. 1977. Recherches géologiques dans le Taurus occidental au sud de Beysehir (Turquie). Thèse de Doctorat d'Etat, Univ. Paris-Sud Orsay (unpubl.)
- Özgül, N., 1976. Torosların bazı temel jeoloji özellikleri. Bull. Geol. Soc. Turkey, 19, 65-78.
- Piper, J. D. A., Gürsoy, H., Tatar, O., 2002. Palaeomagnetic evidence for the Gondwanian origin of the Taurides and rotation of the Isparta Angle, southern Turkey. Geol J 37 (4): 317-336.
- Poisson, A. 1977. Recherches géologiques dans les Taurides Occidentales (Turquie). These Doctorat d'Etat. Univ. Paris-Sud Orsay, 795pp.
- Poisson, A. 1984. The extension of the Ionian trough into southwestern Turkey. . In: Dixon, J.E. and Robertson, A.H.F. (eds). The geological evolution of the Eastern Mediterranean. Geol. Soc. London Spec. Publ. 17, 241-250.
- Poisson, A., Akay, E., Dumont, J.F. and Uysal, S. 1984. The Isparta Angle : a Mesozoic paleorift in the Western Taurides. In: Tekeli, O. and Göncüoğlu, C. (eds). Proceed. Symp. on the Geology of the Taurus Belt. Spec. Publ. MTA, Ankara, 11-26.
- Poisson, A., Yağmurlu, F., Bozcu, M. and Şentürk, M., 2003. New insights on the tectonic setting and evolution around the apex of the Isparta Angle (SW Turkey): Geol. J. 38: 257-282
- Robertson, A.H.F. and Woodcock, N.H 1984. The SW segment of the Antalya complex, Turkey, as a Tethyan Mesozoic-Tertiary continental margin. In: Dixon, J.E. and Robertson, A.H.F. (eds). The geological evolution of the Eastern Mediterranean. Geological Society London Spec. Publ. 17, 251-271.
- Şenel, M., 1984. Discussion of the Antalya nappes. In Geology of Taurus belt (edited by O. Tekeli, M.C. Göncüoğlu), Proceedings, 41-51
- Yağmurlu, F., Savaşçın, Y. and Ergun, M., 1995, Relation of alkaline volcanism and active tectonism within the evolution of Isparta Bend, SW-Turkey: International Earth Sciences Colloquium on Aegean Regions 9-14 October 1995 Güllük, İzmir-Turkey, Abstracts, p.58.
- Yağmurlu, F. ve Şentürk, M., 2005. Güneybatı Anadolu'nun Güncel Tektonik Yapısı. Türkiye Kuvaterner Sempozyumu V, İTÜ Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, 02-03 Haziran 2005, s.55-61, İstanbul.

Bazaltların Yapıtaşı Olarak Kullanılabilirliğinin Konfokal Raman Spektroskopisi (KRS) ile İncelenmesi: Çiçekhane Tepe Bazaltı, Kırşehir, İç Anadolu

Investigation of Usage of Basalts as Building Stone Using Confocal Raman Spectroscopy (CRS): Çiçekhane Hill, Kırşehir, Central Anatolia

Kıymet DENİZ

Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara

Yusuf Kağan KADIOĞLU

Ankara Üniversitesi, Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM), Ankara

Tamer KORALAY

Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Denizli

ÖZET Bazalt bileşimindeki volkanik kayalar son zamanlarda hazır beton agregası ve hızlı tren hatlarının yapımında balast malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bu tür kayalar ülkemizde geniş alanlarda gözlenmelerine rağmen her bazalt sahip olduğu farklı mineral ve kimyasal bileşimden dolayı bahsi geçen alanlarda kullanılamamaktadır. Bu çalışma kapsamında Kırşehir ilinin kuzeyinde Çiçekhane Tepe’de gözlenen alkalin bileşimdeki bazaltların yapıtaşı olarak kullanılabilirliğini belirlemek üzere çalışmalar yapılmıştır. Bu kapsamda kayaların mineralojik bileşimleri Konfokal Raman Spektrometresi (KRS) kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca çalışma alanını oluşturan birimlerin jeolojik, mineralojik, petrografik ve jeokimyasal özelliklerinden de yararlanılmıştır.

Yapılan incelemeler sonucunda Çiçekhane Tepe bazaltlarında gözlenen piroksen ve labrador minerallerinin bozunma göstermedikleri, sırasıyla 321–388 cm^{-1} , 528–555 cm^{-1} , 665 cm^{-1} , 854 cm^{-1} , 1010–1041 cm^{-1} ve 442–531 cm^{-1} , 768–819 cm^{-1} aralığında Raman kayma değerlerine sahip oldukları belirlenmiştir. Ayrıca yapılan fiziksel ve kimyasal analizlerden elde edilen verilere göre de (birim hacim ağırlığı 2.74 gr/cm^3 , su emme oranı 0.15, porozite 0.16, nemlilik 0.20, doluluk oranı 99.5, aşınma kaybı % 11.1) bu kayaların yapıtaşı olarak kullanılabilmesi belirlenmiştir. Sonuç olarak elde edilen analiz sonuçları, Çiçekhane Tepe’nin İç Anadolu Bölgesi’ndeki birçok yerleşim yerine yakın olması, rezervi ve kırılma koşullarının da uygun olması nedeniyle Çiçekhane Tepe bazaltlarının yapıtaşı olarak kullanıma uygun olduğu ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Bazalt, balast, Raman konfokal, yapıtaşı.

ABSTRACT Basaltic volcanic rocks are recently being used as ballast in ready-mix concrete and high-speed train rail lines. Even basaltic rocks are found in many areas within Turkey, not all basalts are suitable for ballast due to their different mineralogical and chemical compositions. This study is conducted on alkaline basaltic rocks in Çiçekhane Hill, north of Kırşehir. Within the scope of study, mineralogical compositions are investigated and specified using Confocal Raman Spectroscopy (CRS) method to determine their usability as building stone and ballast. Also geological, mineralogical, petrographical and geochemical data of Çiçekhane Hill basalts are evaluated together with CRS data to obtain precise results.

According to CRS studies, pyroxene and labradorite do not show any alteration and have Raman shift values ranging between 321–388 cm^{-1} , 528–555 cm^{-1} , 665 cm^{-1} , 854 cm^{-1} , 1010–

1041 cm⁻¹ and 442–531cm⁻¹, 768–819 cm⁻¹. Also it has been determined that iekkhane Hill basalts can be used as a building stone according to their physical and chemical properties (unit volume of weight 2.74 gr/cm³, water absorption by weight 0.15, porosity 0.16, humidity 0.20, compactness ratio 99.5, abrasion loss % 11.1). Additionally, location of iekkhane Hill basalts are very close to many nearby settlements in Central Anatolia, also their reserve and breakage properties makes them suitable for using as building stone and balast.

Keywords: Basalt, ballast, Raman confocal, building stone.

1 GİRİŞ

Doğal taşlar gemişten günümüze yıllardır yapıtaşı olarak pek ok alanda kullanılmaktadır. lkemiz jeolojik yapısı itibariyle doğal taş eşidi (mermer, kalker, oniks, traverten, konglomera, breş, granit, siyenit, gabro, diyorit, diyabaz, serpantin, ignimbirit, andezit, bazalt vb.) ve rezervleri bakımından zengin bir potansiyele sahiptir (Tuncay 2016, www.enerji.gov.tr). Rezervi yüksek olan doğal taşlar sırasıyla mermer (4 milyar m³), traverten (2.8 milyar m³) ve granittir (1 milyar m³) (www.enerji.gov.tr). Magmatik kayalar ülkemizde geniş alanlarda yayılım sergilemektedirler. Özellikle volkanik kayalar ülkemizde yayılım açısından çok geniş alanları kaplamaktadır ve yapıtaşı (döşeme taşı, kaplama taşı, balast vb.) olarak uzun yıllardır kullanılmaktadırlar. Bazalt bileşimindeki volkanik kayalar son yıllarda hazır beton agregası ve hızlı tren hatlarının yapımında balast malzemesi olarak kullanılmaktadır. Fakat her bazalt bahsi geçen alanlarda balast malzemesi olarak kullanılamamaktadır. Sert mermerler grubunda yer alan bu tür kayaların mineralojik, petrografik, jeokimyasal ve mekanik özelliklerinin kullanılma yeri ve amacına yönelik belirlenmesi ekonomiye kazandırılması açısından oldukça önem arz etmektedir. Bu kayaların yapıtaşı olarak kullanımında fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesine yönelik yapılmış pek çok çalışma bulunmaktadır (Akdaş vd. 2001, Koca vd. 2001, Kuşcu ve Yıldız 2001, Türkmen ve Kun 2001, Uz vd. 2001, Kibici 2003a, Kibici 2003b, Kolaylı vd. 2003, zkahraman ve Bolatturk 2003, zkahraman ve Işık 2003, Alemdağ ve Gürocak 2006, Koçak 2011, Kaputoğlu 2013, Koralay vd. 2014, Tuncay vd. 2016). Ergül (2009) ise poroziteye bağlı su

içeriğinin kayanın fizikomekanik özelliklerine etkisini araştırmıştır. Yapıtaşlarındaki alterasyonlara yönelik sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır (Binol 2005).

Magmatik kayalarda yapılan çalışmaların büyük bir kısmı çoğunlukla volkanik ve piroklastik kayalar üzerinde yapılmıştır. Tüflerin içyapıda bazaltların ise dış yapıda daha çok kullanıldığı belirtilmiştir (Kaygısız 2010). Özellikle bazalt bileşimindeki volkanik kayaların yayılımları ülkemizde oldukça fazla olması nedeniyle bu kayaların yapıtaşı olarak kullanıma uygunluğu araştırılmıştır. Trakya–Tekirdağ, Osmaniye–Toprakkale ve Niğe civarındaki bazaltlarının oldukça kaliteli oldukları ve beton yapımında kullanımlarının uygun olduğunu tespit edilmiştir (Uz 1999, Yaşar ve Erdoğan 2001, Korkanç ve Tuğrul 2003, Aral 2004). Toprakkale bazaltlarının ayrıca kırmataş (agrega), yapı ve kaplama sektöründe, dekoratif malzeme olarak kullanıma da uygun olduğu belirtilmiştir (Yaşar ve Erdoğan 2001, Keskin ve Kılıç 2003). Hatay–Erzin civarında yüzeyleyen bazaltların kırmataş (agrega) olarak kullanımının uygun olduğu tespit edilmiştir (Keskin ve Kılıç 2003). Karacadağ Bazaltları (Diyarbakır) mermer olabilme potansiyeline sahiptir (Uz vd. 2001, Yıldız vd. 2008). orlu–Tekirdağ’da bulunan Karatepe bazaltlarının beton agregası, dolgu malzemesi, yol yapı malzemesi, köprü ve menfez inşaatlarında, gölet, baraj, dalga kıran gibi yapılarda, balast ve parke taşı olarak kullanımda mühendislik özelliklerinin yeterli nitelik ve niceliğine sahip olduğu ortaya koyulmuştur (Aral 2004). Yumurtalık (Adana) olivin bazaltının (alkalen) liman dolgu ve rip–rap malzemesi olarak kullanıma uygun olduğu belirtmişlerdir (Acar vd. 2004). Yavuzeli (Gaziantep) civarındaki

bazaltlar birim hacim ağırlığına göre geçiş malzemesi olarak tanımlamış, hafif yapı elemanı ve döşeme taşı niteliği taşıdığı belirtilmiştir (Dikeç 2010). Erkiilet, Develi ve İncesu civarındaki bazaltlar yüksek basınç dayanımlı, oldukça sert, yarı ağır yapı taşı malzeme sınıfında yer alan yapı taşı olarak tanımlamıştır, birçok parametrede standart değerler ile uyumlu olduklarını ifade edilmiştir (Koçak 2011).

Bazalt türü kayaların yapıtaşı olarak kullanımlarına ilişkin çok sayıda çalışma olmasına rağmen hızlı tren hatlarında balast malzemesi olabilmelerine ilişkin çalışmalar sınırlıdır (Koralay vd. 2014).

Ülkemizde bilinen bazı doğal taş reticileri Diyarbakır, Van, Trabzon, Bitlis, İzmir, Tokat, nye, Elazığ, Gaziantep, Kastamonu, Kahramanmaraş, Kayseri, Sivas, Trakya, şanlıurfa, Manisa, Osmaniye, Toprakkale, Hatay, Adana, Kızılcahamam, Ankara, Samsun'da yer almaktadır (Koçak 2011). Doğal taş üretimi ülkemizde yıldan yıla artmaktadır. Bazaltın 2004 yılındaki üretimi 28.555 m³, 2005 yılında 749.589 m³, 2006 yılında 2.909.031 m³, 2007 yılında 4.914.124 m³, 2008 yılında 8.448.618 m³, 2011 yılında 18.656.135 ton, 2012 yılında 19.300.297 ton, 2013 yılında 23.422.845 ton, 2014 yılında 21.966.172 ton, 2015 yılında da 22.710.931 ton olup aynı zamanda bu yıllarda en çok üretilen kayayı oluşturmaktadır (www.enerji.gov.tr). Dolayısıyla retimi yıldan yıla artan bazaltların artan talebine ışık tutabilmek amacıyla yeni ve uygun yatalara dikkat çekmek, bu yatakların özelliklerinin ortaya konularak hangi alanda kullanımının uygun olduğunun açıklanması gerekmektedir. Bu alışma bahsedilen amaçlara yönelik olarak hazırlanmıştır.

1.1 Amaç

Çalışma kapsamında özellikle son yıllarda hazır beton agregası ve hızlı tren hatlarının yapımında balast malzemesi olarak bazalt bileşimindeki kayaların kullanılabilmeleri için fiziksel ve kimyasal hangi özelliklere sahip olmaları gerektiğinin belirlenmesi ve içekhane Tepe bazaltının yapıtaşı olarak

kullanılabilirliği ve işletmeye uygunluğu belirlenmeye çalışılmıştır.

1.2 Yöntem

Bu alışma sırasıyla arazi çalışması, laboratuvar çalışması ve elde edilen verilerin değerlendirilmesi şeklinde üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Arazi alışması sırasında Kırşehir İ32 d2 paftasında alkali bazaltların jeolojik haritalaması yapılmıştır. Çalışma alanında bulunan bazalt kayalarının makroskobik incelemeleri yapılmış ve karakteristik özelliklerinin fotoğrafları çekilmiştir. Laboratuvar alışması kapsamında mineraloji, petrografi, Konfokal Raman Spektroskopisi (KRS), jeokimya ve bazı fiziko–mekanik test çalışmaları yapılmıştır. Arazi alışması sırasında toplanan örneklerden ince kesit yapılarak ayrıntılı mineralojik ve petrografik incelemeler mikroskop altında yapılmıştır. İnceleme neticesinde bazalt bileşimindeki kayaların mikroskobik dokusal özellikleri, mineralojik bileşimleri ve bozunma türleri belirlenmiştir. KRS alışmaları Thermo marka DXR model cihazda 780 nm lazer kullanılarak yapılmıştır. Bu incelemeler sonucunda belirlenen taze örnekler rnekler Retsch Marka otomatik taş kırıcıda kırılmış ve sonrasında Fritsch marka otomatik öğütücüde Tungsten Karbid değerirmen kullanılarak ğtlmştir. 4 g öğütülmüş örnek 0.9 g bağlayıcı malzeme (Wachs) ile karıştırılıp, hidrolik pres altında sıkıştırılarak pres–pastil (toz pellet) halinde kimyasal analize hazır hale getirilmiştir. Jeokimyasal analizler Spectro marka X–Lab 2000 model Polarize Enerji Dispersif X–Işınları Floresans Spektrometresi (PEDXRF)'nde yapılmıştır. İncelenen örneklerin bazı fiziko–mekanik özelliklerini belirlemeye yönelik deneyler de yapılmıştır. Bahsi geçen tüm analizlerin yapımında Ankara Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM) laboratuvarları kullanılmıştır. Arazi ve laboratuvar çalışmaları sonucunda elde edilen tüm veri ve bilgiler birlikte değerlendirilerek yorumlanmış, içekhane Tepe bazaltlarının yapıtaşı olarak kullanılabilirliği belirlenmeye çalışılmıştır.

2 ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ

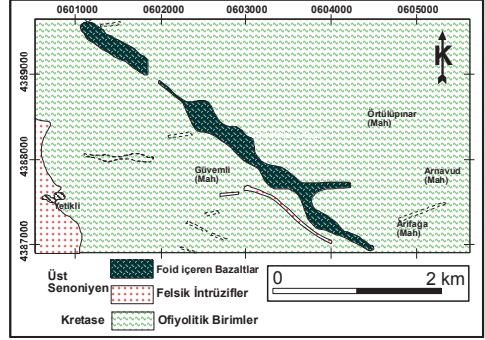
Çalışma alanı, kuzeyde İzmir – Ankara – Erzincan Kenet Zonu (İAEKZ), batıda İç Toros Kenet Zonu (İTKZ) veya Tuz Gölü Fayı (TGF) ve doğuda Ecemiş Fay Zonu (EFZ) ile sınırlanan, İç Anadolu'daki Ankara, Sivas ve Niğde yerleşim merkezleri arasında kalan kalan kabaca üçgen biçimindeki İAKK'nın (Göncüoğlu vd. 1991, Akıman vd. 1993, Kadioğlu vd. 2003, Kadioğlu vd. 2006) kuzey bölümünde, Kırşehir ilinin yaklaşık 66 km kuzey–kuzeydoğusunda yer almaktadır (Şekil 1).

Kırkkale ile Yozgat illerinin arasında, Kırşehir'in Akçakent, Kösefakılı ve Çiçekdağ kasabalarının civarındaki ofiyolitik ve magmatik (plütonik, damar, volkanik) kayaların tamamı Akçakent Magmatik Karmaşığı (AMK) olarak adlandırılmıştır (Şekil 1) (Deniz 2016). AMK yaklaşık 750 km²'lik bir alanda yüzlek vererek İAKK'nın kuzey bölümünde yer alan en geniş yayılıma sahip magmatik kaya topluluklarından birini temsil etmektedir.



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası (AMK: Akçakent Magmatik Karmaşığı)

Bazalt bileşimindeki kayalar KB–GB doğrultulu olarak yerleşmiş ve özellikle diyabaz-bazalt bileşimindeki ofiyolitik melanjı dayklar şeklinde kesmektedirler (Şekil 2).



Şekil 2. Çiçekhane Tepe bazaltının jeolojik haritası (Deniz ve Kadioğlu 2012)

3 BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Mineraloji ve Petrografi

Çiçekhane Tepe bazaltı afanitik dokuludur (Şekil 3b). Taze olan örneklerde piroksen mineralleri gözle ayırt edilebilmektedir. Mikroskobik olarak hipohiyalin dokuludurlar (Şekil 3c). Hamur malzemesinin içerisinde plajiyoklaz, piroksen, amfibol ve az oranda opak mineral fenokristalleri içermektedir.



Şekil 3. (a) Çiçekhane Tepe bazaltının arazi (b) el örneğindeki ve (c) mikroskoptaki mikro görünümü

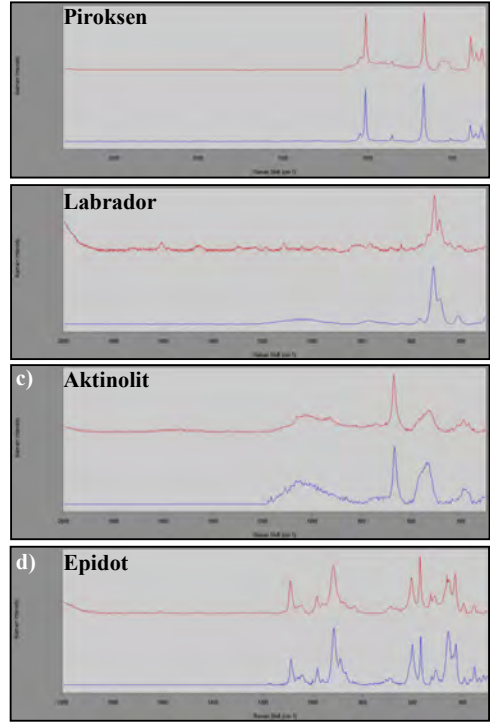
Bazalt bileşimindeki kayaların hazır beton agregası ve hızlı tren hatlarının yapımında balast malzemesi olarak kullanılabilimleri için alkali feldispat minerallerince (sanidin) yoksun olmaları, amfibol minerallerinin oranının piroksen minerallerinin oranından az olması ve demir oksit minerallerini içermemesi gerekmektedir. Bunların yanı sıra kaya içerisinde ikincil olarak oluşan amorf silika bulunmaması gerekmektedir. İkincil minerallerin oranı % 5'i geçmemelidir. Bu bilgiler ışığında; Çiçekhane Tepe bazaltı mineralojik olarak hazır betonda agrega ve hızlı tren hatlarının yapımında ise balast malzemesi olarak kullanıma uygun gözükmektedir.

3.1.1 KRS çalışmaları

Hem kaya içerisindeki mafik minerallerde hem de hamur malzemesinde mikroskopta tespit edilemeyecek boyuttaki ve kolay tanımlanmayan alterasyon ürünlerini belirleyebilmek amacıyla KRS analizleri yapılmıştır. Labrador mineralleri 442–531 cm^{-1} , 768–819 cm^{-1} değerlerinde, piroksen mineralleri ise 321–388 cm^{-1} , 528–555 cm^{-1} , 665 cm^{-1} , 854 cm^{-1} , 1010–1041 cm^{-1} Raman kaymalarına sahiptir (Şekil 4a, 4b). Piroksen minerallerinin bazılarında uralitleşme sonucu oluşmuş aktinolit mineralleri ve ayrıca ikincil epidot oluşumları tespit edilmiştir (Şekil 4c, 4d). Dolayısıyla bu kayaların yer yer bozunma gösterdikleri söylenebilir.

3.2 Fiziko–Mekanik Özellikler

Çiçekhane Tepe bazaltlarının fiziko–mekanik özelliklerini belirlemeye yönelik olarak birim hacim ağırlık, su emme, porozite, nemlilik, doluluk oranı ve aşınma kaybı gibi test ve deneyler yapılmıştır. Sonuçlar Çizelge 1'de verilmiştir. Buna göre Çiçekhane Tepe bazaltının birim hacim ağırlığı 2.74 g/cm^3 , su emme oranı 0.15, porozitesi 0.16, nemliliği 0.20, doluluk oranı 99.5, aşınma kaybı % 11.1 ve basınç–eğilme dirençleri sırasıyla 1.72 ve 214 kgf/cm^2 olarak belirlenmiştir (Çizelge 1). Kayaların çekme dayanımı ise 13.75 Mpa olarak ölçülmüştür (Çizelge 1).



Şekil 4. (a) Piroksen, (b) labrador, (c) aktinolit ve (d) epidot minerallerinin Raman kaymaları ve referans spektrumları (kırmızı renkli Raman kayması ölçülen spektruma, mavi renkli Raman kayması ise referans pike aittir)

Çizelge 1. Çiçekhane Tepe bazaltının fiziksel ve mekanik özellikleri

Özellik	Değer
Birim Hacim Ağırlığı (g/cm^3)	2.74
Kuru Birim Ağırlığı (g/cm^3)	2.72
Basınç Direnci (kgf/cm^2)	1.72
Eğilme Direnci (kgf/cm^2)	214
Çekme Dayanımı (Mpa)	13.75
Porozite (%)	0.16
Ağırlıkça Su Emme (%)	0.15
Nemlilik	0.20
Doluluk Oranı	99.5
Aşınma Kaybı (1000 devir, %)	11.1
Ortalama Böhme Yüzeysel Aşınma Kaybı ($\text{cm}^3/50\text{cm}^2$)	0.25
Don Kaybı (MgSO_3)(%)	9.1

3.2.1 Fiziksel Özellikler

Çiçekhane Tepe bazaltı el örneğinde koyu yeşil renklidir (Şekil 3a, 3b). Sertliği Mohs sertlik ölçeğine göre 6.5 iken Schmidt çekicine göre 76'dır. Yoğunluğu 2.73 g/cm³'tür ve TS 2513'e göre istenen değere (>2.55 g/cm³) sahiptir.

Schmidt çekicine göre kaya sertliği sınıflamasına (Çizelge 2) bakıldığında Çiçekhane Tepe bazaltının çok sert sınıfına girdiği görülmektedir.

Çizelge 2. Schmidt çekicine göre kaya sertliğinin sınıflandırılması (Ulusay 1997)

Schmidt Çekici Değeri	Sınıflama
0-10	Yumuşak
10-20	Az Yumuşak
20-40	Az Sert
40-50	Sert
50-60	Oldukça Sert
>60	Çok Sert

Kayaların gözenekliliklerinin (porozite) düşük olması nedeniyle yüzey sertlikleri ve dayanımları da daha yüksek olmaktadır. Gözenekliliğin düşük olması kayanın su emme özelliğinin de düşük olmasına neden olmaktadır. Ayrıca kayanın su emme oranının düşük olması hamur ve fenokristallerde killeşme gözlenmemesinde bir diğer etkili faktördür. TS 2513'e göre kayaların su emme değerinin %1.8'den küçük, porozitelerinin de %2'den küçük (TS1910'a göre) olması istenmektedir. Buna göre Çiçekhane Tepe bazaltı istenilen değerlere uygun ve çok kompakt bir yapıya sahiptir (Çizelge 3).

Çizelge 3. Kayaların poroziteye göre sınıflandırılması (Tarhan 1989)

Kaya Sınıfı	Porozite (%)
Çok Kompakt	< 1
Az Boşluklu	1-2.5
Orta Boşluklu	2.5-5
Oldukça Boşluklu	5-10
Çok Boşluklu	10-15
Çok Fazla Boşluklu	> 20

Çiçekhane Tepe bazaltının yapılan deneyler sonucunda ağırlıkça su emme değerlerinin % 0.15 olduğu belirlenmiştir (Çizelge 1). Kaplama taşı olarak kullanılacak doğal taşların sahip olmaları gereken sınır ağırlıkça su emme değeri (TS 1910) 0.75'den küçük olmalıdır. Buna karşılık TS 2513'e göre kayaların doğal yapı taşı olarak kullanılabilmesi için sahip olması gereken ağırlıkça su emme sınır değeri 1.8'den küçük olması istenmektedir. Çiçekhane Tepe bazaltı her iki sınır değerinde altında olduğu için kullanımları uygundur.

Kayaların kuru birim hacim ağırlıklarına göre sınıflamaları Çizelge 4'de görülmektedir. Bu sınıflamaya göre Çiçekhane Tepe bazaltının kuru birim hacim ağırlığı 2.72 g/cm³ (Çizelge 2) olmasıyla yüksek sınıfa girmektedir. Kaplama taşı ve doğal yapı taşı olarak kullanılan doğal kayaların sahip olmaları gereken birim hacim ağırlığı sınır değeri 2.55'ten büyük (TS 1910 ve TS 2513) olması beklenmektedir. Buna göre çalışılan bazaltların kaplama ve doğal yapı taşı olarak kullanımları uygun gözükmektedir.

Çizelge 4. Kayaların kuru birim hacim ağırlıklarına göre sınıflamaları IAEG (Anonim 1979)

Kaya Sınıfı	Kuru Birim Hacim Ağırlık (g/cm ³)
Çok Düşük	< 1.8
Düşük	1.8-2.2
Orta	2.2-2.55
Yüksek	2.55-2.75
Çok Yüksek	> 2.75

Birim hacim ağırlığı baz alınarak yapılan kullanılabilirlik sınıflaması Çizelge 5'de görülmektedir. Buna göre çalışılan bazalt bileşimindeki kayalar yarı ağır yapı malzemeleri sınıfında yer almaktadır. TSE 2513'e göre bu sınıfta yer alan bir kayanın taban döşemesinde ve dış cephe kaplamasında kullanılabileceği belirtilmektedir.

Çizelge 5. Birim hacim ağırlığı baz alınarak yapılan kullanılabilirlik sınıflaması (Cormon 1973)

Birim Hacim Ağırlığı (g/cm ³)	Malzeme Sınıfı
3.0	Ağır yapı malzemeleri
2.5	Yarı ağır yapı malzemeleri
2.3	Normal yapı malzemeleri
1.8	Geçiş Malzemeleri
0.5	Hafif yapı malzemeleri
	Çok hafif yapı malzemeleri

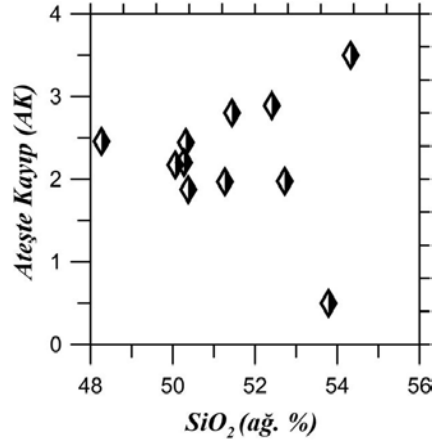
3.2.2 Mekanik özellikler

TS 1910'a göre eğilme direncinin 60 kgf/cm²'den büyük olması gerekmektedir ve Çiçekhane Tepe bazaltının istenilen değere sahip olduğu görülmektedir (Çizelge 1).

Böhme yüzeysel aşınma kaybı verisi olması gereken sınır değerinin (<15 cm³/50cm²) (TS 1910'a göre) altındadır (Çizelge 1). Bu sınır değeri kaplama taşı için 15 döşeme taşı için 10'dur (TS 2513'e göre). Çiçekhane Tepe bazaltı hem kaplama hemde döşeme taşı olarak kullanılabilir.

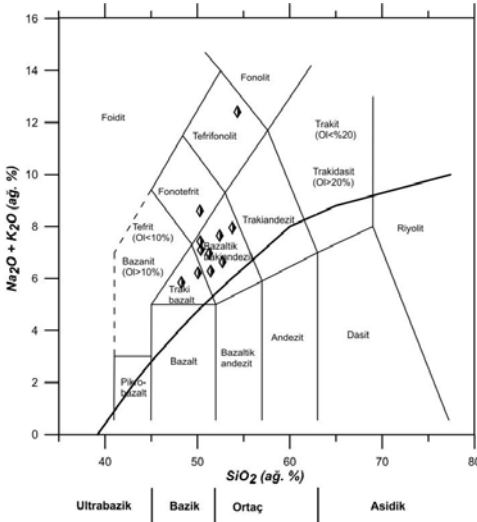
3.3 Kimyasal Özellikler

Çiçekhane Tepe bazaltlarının jeokimyasal sonuçlarına bakıldığında SiO₂ içeriklerinin %48.27–54.33 (ortalama %51.37, n:11), K₂O içeriklerinin %0.16–8.86 (ortalama %4.18, n:11), Na₂O içeriklerinin ise %1.13–6.12 (ortalama %3.46, n:11) arasında değiştiği görülmektedir. Al₂O₃ içeriği %11.81–18.90 (ortalama %14.07, n:11), CaO miktarı %4.11–10.82 (ortalama %6.49, n:11) ve Fe₂O₃ miktarı %3.91–13.40 (ortalama %10.47, n:11) arasındadır. Amfibol, piroksen, ilmenit ve magnetit mineral içeriklerinin artmasına bağlı olarak Fe₂O₃ değeri de yükselmektedir. Hesaplanan ateşte kayıp değerleri %0.50–3.50 (ortalama %2.21, n:11) arasındadır ve balast malzemesi olarak kullanılacak malzemeler için kabul edilen üst limitin (Ateşte Kayıp (AK) ≤ %5) altında olduğu görülmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Silikaya karşı ateşte kayıp (%) değişim diyagramı

Hazır beton ve hızlı tren hatlarının yapımında balast malzemesi olarak kullanılacak kayanın toplam SiO₂ içeriğinin %45–52 arasında, alkali (Na₂O+K₂O) içeriğinin ise %4'ten küçük olması gerekmektedir (Şekil 6). Çiçekhane Tepe bazaltının toplam silika içeriği balast malzemesi olabilmesi için uygundur. Çiçekhane Tepe bazaltlarının toplam alkali miktarı %5.85–12.41 (ortalama %7.79, n:11) arasında değişmektedir (Şekil 6). Kayalardaki toplam alkali miktarının yüksek olması alkali-silika reaksiyonundan ziyade alkalin karakterde olmalarından kaynaklanmaktadır. Bu kayalar derinden gelen manto kaynaklı ürünleri temsil ettiklerinden toplam alkali element içerikleri yüksektir.



Şekil 6. Bazaltların toplam alkali ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$)–silika (SiO_2) diyagramındaki konumu (Le Maitre vd. 2001, Alkalen–Subalkalen ayırım çizgisi Irvine ve Baragar (1971)’den alınmıştır)

3.3.1 Ayrışma İndeksi

Kimyasal analiz sonuçları kullanılarak örneklerde etkili olan günlenme ve/veya bozunma sürecini belirleyebilmek ve miktarını ortaya koyabilmek amaçlı Ruxton Oranı (R), Parker Günlenme İndeksi (WIP), Günlenme Ürünü İndeksi (PWI), Bozunmanın Kimyasal İndeksi (CIA), Günlenmenin Kimyasal İndeksi (CIW), Vogt Kalıntı İndeksi (V) ve Bozunmanın Plajiyoklaz İndeksi (PIA) Çizelge 6’daki formüller kullanılarak hesaplanmış ve elde edilen değerler aynı çizelgede belirtilen optimum değerler kullanılarak yorumlanmıştır (Ruxton 1968, Parker 1970, Roaldset 1972, Nesbitt ve Young 1982, Harnois ve Moore 1988, Fedo vd. 1996, Sourı vd. 2006, Fiantis vd. 2010). Hesaplanan değerler Çizelge 7’de verilmiştir.

Çizelge 6. Günlenme ve bozunma indeksleri hesaplama formülleri ve değerlendirme kriterleri (Fiantis vd. 2010)

İndeks	Formül	Optimum Taze Değer	Optimum Günlenmiş Değer
R	$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	10	0
WIP	$(100)[(2\text{Na}_2\text{O}/0.35)+(2\text{K}_2\text{O}/0.25)+(\text{CaO}/0.7)]$	>100	0
PWI	$[\text{SiO}_2/(\text{TiO}_2+\text{FeO}+\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3)]\times 100$	>50	0
V	$(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{K}_2\text{O})/(\text{MgO}+\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O})$	>1	Sonsuz
CIA	$(100)[(\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3+\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})]$	≤50	100
CIW	$(100)[(\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3+\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O})]$	≤50	100
PIA	$(100)[(\text{Al}_2\text{O}_3-\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3+\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})]$	≤50	100

Çizelge 7. Bazaltların hesaplanmış günlenme ve bozunma indeksleri

Örnek No	R	WIP	PWI	V	CIA	CIW	PIA
B-1	4	6742	65	1	52	61	52
B-2	4	6823	67	1	47	54	46
B-3	4	7554	66	1	50	60	49
B-4	4	6218	65	1	52	59	52
B-5	4	5019	65	1	58	58	58
B-6	4	6294	68	1	49	56	48
B-7	4	6699	67	1	52	59	52
B-8	4	6933	69	1	45	54	42
B-9	4	6993	68	1	41	50	37
B-10	3	9941	70	3	53	70	55
B-11	3	6655	67	1	53	62	54

Ruxton Oranı (R) basit bir günlenme indeksi olup daha çok asidik ve ortaç kayalarda kullanılmaktadır (Fiantis vd. 2010). Çalışma alanında bulunan bazaltik bileşimdeki kayaların hesaplanan R değerlerinin 4 civarında olduğu görülmektedir (Çizelge 7). Değerlerin belirtilen optimum taze ve altere değerlerin arasında yer aldığı görülmekte ve kayaların kısmen altere oldukları söylenebilir (Çizelge 6, 7).

Parker Günlenme İndeksi (WIP) asidik, ortaç ve bazik bileşimli kayalarda günlenme sırasında neredeyse sabit kalan seskioksitlerden ziyade özellikle en hareketli ana alkali elementlerin (Na, K, Mg, Ca) miktarları dikkate alınarak hesaplanmıştır (Fiantis vd. 2010). Oksijen ile bağ yapmış

Na, K, Mg, Ca gibi elementlerin günlenme esnasında hareketliliklerine yönelik hesaplanan WIP değerleri çalışma alanındaki alkalen bazalt bileşimindeki kayalarda oldukça yüksektir (izelge 7). Çizelge 7’de de görüldüğü üzere 100’den büyük olan değerler taze olarak nitelendirilmektedir. Buna göre örneklerdeki alkali elementlerin hareketliliğinin söz konusu olmadığı söylenebilir.

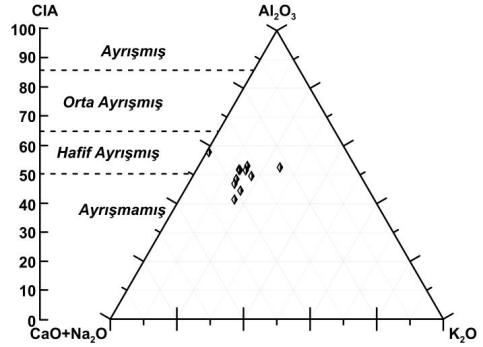
Günlenme rn İndeksi (PWI) ise daha çok günlenme neticesinde ortaya çıkan ürünün tespiti yönelik kullanılmıştır (Fiantis vd. 2010). PWI değerlerinin 50’den büyük olması durumunda kayaların altere olmadığı belirtilmiştir. Çizelge 7’e göre çalışma alanındaki tüm örneklerin hesaplanan PWI değerlerinin taze örnekler için belirtilen değerden büyük olduğu görülmektedir.

Vogt Kalıntı İndeksi (V) daha çok kil minerallerini içeren sedimanter kayalarda kullanılmaktadır. Çalışma alanındaki kayalarda ise günlenme ve/veya bozunma sonucunda oluşmuş kil minerallerine yaklaşımda bulunmak amacıyla bu değerler hesap edilmiştir. Hesaplanan V değerlerinin alkalen bazalt bileşimindeki kayalarda sınır değerde olduğu izelge 7’de görülmektedir. Bu durum günlenme ve/veya bozunma sonucunda kil minerallerinin meydana gelmediği şeklinde yorumlanabilir.

Bozunmanın Kimyasal İndeksi (CIA) feldispatların kil minerallerine dönüşüm derecesini ölçmek amaçlı kullanılmaktadır (Nesbitt ve Young 1982, Fiantis vd. 2010). Çalışma alanındaki kayaların hesaplanan CIA değerleri 41 ila 58 arasındadır (izelge 7). CIA değerlerinin 50’den kk olduğu bazaltlarda kil minerallerinin oluşumu söz konusu görülmemektedir.

Plajiyoklaz Bozunma İndeksi (PIA) ise CIW’e alternatif olarak hesaplanmıştır. Silikat kayalarında yaygın olan plajiyoklaz mineralleri diğer minerallere göre hızlı bir şekilde bozunmaktadır (Fiantis vd. 2010). Dolayısıyla plajiyoklaz minerallerinin bozunma durumları hakkında yaklaşımda bulunabilmek amacıyla PIA kullanılmıştır. Optimum gnlenmiş değerin 100 olduğu ve taze örneklerdeki değerin 50’den kk olması gerekliliği düşünüldüğünde alkalen

bazalt kayalarında bozunma söz konusu değildir (izelge 7).



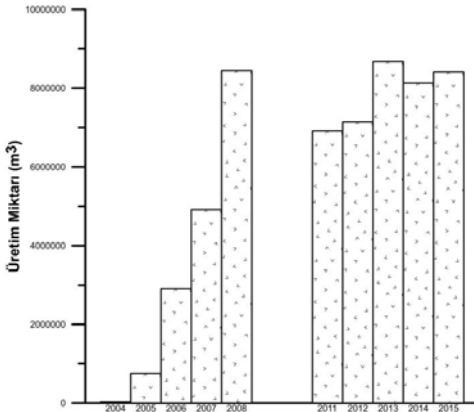
Şekil 7. Kayaların CaO+Na₂O–Al₂O₃–K₂O diyagramındaki konumları (Shao vd. 2012’den değiştirilerek alınmıştır)

CaO+Na₂O–Al₂O₃–K₂O gen diyagramında rnekler CIA değerlerine göre ayrışmamış taze kaya ile hafif ayrışmış kaya ayrım çizgisi üzerine düştüğü görülmektedir (Şekil 7).

Günlenmenin Kimyasal İndeksi (CIW) CIA ile benzer olup hesaplamalarda K₂O değerini gözardı etmektedir. CIW değerleri kayalarda taze kaya için belirtilen değere çok yakındır (izelge 6, 7). Buna göre bu kayalardaki feldispat minerallerinin (kristalit ve mikrolit) günlenme sonucu kısmen kil minerallerine dönüştükleri söylenebilir.

4 SONUÇLAR

Bazaltlar son yıllarda çok farklı amaçlarla doğal taş olarak kullanılmaktadır. Dolayısıyla artan talebi karşılamak amacıyla üretimi yıldan yıla artış göstermektedir (Şekil 7). Özellikle 2007 yılından sonra üretimde ciddi bir artış görülmektedir (Şekil 7). Artan bu ihtiyaı karşılayabilmek amacıyla ayrıntılı jeolojik, petrografik, jeokimyasal ve tüm fiziksel analizler yapılarak yeni kaynakların belirlenmesi gerekmektedir.



Şekil 7. Bazalt üretim miktarının yıllara göre değişim diyagramı (Veriler www.enerji.gov.tr adresinden alınmıştır)

Çiçekhane Tepe bazaltının az oranda alterasyon göstermesi ve amorf silika minerallerini (opal, kalsedon, tridimit) içermemesi nedeniyle özellikle hazır beton hazırlanmasında agrega ürünü ve hızlı tren hatlarının yapımında balast malzemesi olarak kullanımının uygun olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bulunduğu yer itibarıyla İç Anadolu Bölgesi'ndeki birçok yerleşim yerine yakın olması, demir yolu hatlarına yakın olması, rezervi ve kırılma koşullarının da uygun olması nedeniyle işletmeye oldukça uygun gözükmektedir. Ayrıca ağır yapı malzemeleri sınıfında yer aldığından ve tüm fiziko-mekanik özellikleri istenilen değerlerde olmasıyla taban döşemesi ve dış cephe kaplamasında da kullanıma uygun görülmektedir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma Kalkınma Bakanlığı (2012K120440) projesi ve Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) (13L4343001 ve 17B0443003) kapsamında kısmen desteklenmiştir. Bildirinin hazırlanmasında görüş ve önerileriyle destek veren Arş. Gör. Cumhuriyet ÖZCAN KILIÇ'a teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

- Acar A., Tağa H., Dinçer İ., 2004. Liman dolgusunda kullanılacak PliyoKuvaterner bazaltların (Yumurtalık-Adana) fiziko-mekanik özelliklerinin incelenmesi, *KAYAMEK 2004-VII. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu*, s.77-84, Sivas.
- Akdaş, H., Bozkurt, M. R., Dıkduran, T., 2001. Çan Taşı-Desenli Yapıtışı, *Türkiye III. Mermer Sempozyumu (MERSEM 2001) Bildiriler Kitabı*, s.153-162, Afyon.
- Akıman, O., Erler, A., Gönçüoğlu, M. C., Güleç, N., Güven, A., Türel, T. K., ve Kadioğlu, Y. K. 1993. Geohemical Characteristics Of Granitoids along the Western Margin Of The Central Anatolian Crystalline Complex and Their Tectonic Implications. *Geological Journal*, 28, 371-382.
- Alemdağ .S, Gürocak .Z., 2006. Atasu (Trabzon) Baraj Yerindeki Bazaltların Taşıma Gücü, *Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi*, s 385-395, Elazığ.
- Anon, 1979., Classification of rocks and soils for engineering geological mapping. Part 1. Rock and soil materials. *Bull Int Assoc Eng Geol.* 19, 364-371.
- Aral, F., 2004. Karatepe Bazaltlarının (Çorlu-Tekirdağ) Yapı Malzemesi Olarak Kullanılabilirliği, *İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi*, s.69-74.
- Binol, S., 2005. Doğal Yapıtışlarında Alterasyon: Eflatunpinat Hitit Anıtında ve Kızılören Hanında (Konya) Yapıtışı Alterasyonu Örnekleri. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, s. 60.
- Cormon P., 1973. Beton de Granulats Legers, Edition Eyrolles, Paris.
- Deniz, K. ve Kadioğlu, Y.K., Lössit ve Pseudolössit İçeren Bazaltların Kökeni ve İç Anadolu'daki Önemi: Çiçekdağ, Kırşehir, Türkiye, Uluslararası Katılımlı V. Ulusal Jeokimya Sempozyumu Bildiri Özleri Kitabı, 128-129, 2012.
- Deniz, K. 2016. Akçakent (Kırşehir) Foid İçerikli Magmatik Kayaların Zamansal ve Mekânsal Konumu. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, s. 273.
- Dikeç, A. 2010. Kahramanmaraş'ta Yapıtışı Olarak Kullanılan Kayaçların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, s. 109.
- Ergül, A., 2009. Afyonkarahisar'da Yapıtışı Olarak Kullanılan Tüflerdeki Poroziteye Bağlı Su İçeriğinin Fizikomekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, s. 152.
- Fedo, C. M., Nesbitt, H. W., Young, G. M. 1995. Unraveling the Effects of Potassium

- Metasomatism in Sedimentary Rocks and Paleosols, with Implications for Paleoweathering Conditions and Provenance. *Geology* 23, 921–924.
- Fiantis, D., Nelson, M., Shamsuddin, J., Goh, T. B., Van Ranst, E. 2010. Determination of the Geochemical Weathering Indices and Trace Elements Content of New Volcanic Ash Deposits from Mt. Talang (West Sumatra) Indonesia. *Eurasian Soil Science* 43-13, 1477–1485.
- Göncüoğlu, M. C., Toprak, V., Kuşcu, İ., Erler, A. ve Olgun, E. 1991. Orta Anadolu Masifinin Batı Bölümünün Jeolojisi, Bölüm 1-Güney Kesim: Tpa0 Rapor No. 2909, 140 s., yayınlanmamış.
- Harnois L. ve Moore, J. M. 1988. Geochemistry and Origin of the Ore Chimney Formation: a Transported Paleoregolith in the Grenville Province of Southeastern Ontario, Canada. *Chem. Geol.* 69, 267–289.
- Irvine, T. N. and Baragar, W. R. A. 1971., A Guide to the Chemical Classification of the Common Volcanic Rocks, *Canadian J. Earth Sci.*, 8, s.523-548.
- Kadıoğlu, Y.K., Dilek, Y., Güleç, N. and Foland, K.A. 2003. Tectonomagmatic Evolution of Bimodal Plutons in the Central Anatolian Crystalline Complex, Turkey, *The Journal of Geology*, 111, p. 671-690.
- Kadıoğlu, Y. K., Dilek, Y. and Foland, K. A. 2006. Slab break-off and syncollisional origin of the Late Cretaceous magmatism in the Central Anatolian crystalline kompleks, *Geological Society of America*, special paper 409, p.381-415.
- Kaputoğlu, S. 2013. Buca Yeşil Andezitlerinin Jeolojisi, Malzeme Özellikleri ve Durabilitesinin Araştırılması. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, s. 129.
- Kaygısız, H. 2010. Kayseri Yöresindeki Yapıtaşlarının Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, s. 88.
- Keskin Ö., Kılıç A., 2003. Doğu Akdeniz Yöresi Bazaltlarının Kırmataş Olarak Değerlendirilme Olanakları, *III Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, s.152-157, Ç.Ü.
- Kibici, Y., 2003a. Asit Magmatik Kayaçların Mineralojisi-Petrografisi ve Doğaltaş Sektöründe İsimlendirmedeki Önemi, *Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (MERSEM 2003) Bildiri Kitabı*, s.505–523.
- Kibici, Y., 2003b. Bazik ve Ultrabazik Kayaçların Mineralojisi-Petrografisi ve Doğaltaş Sektöründe İsimlendirmedeki Önemi, *Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (MERSEM 2003) Bildiri Kitabı*, s.525–544.
- Koçak, E., 2011. Kayseri Bazaltının Yapı Taşı Olarak Kullanım Olanaklarının Araştırılması. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, s. 76.
- Kolaylı, H., Arslan, M., Yalçınalp, B., Tüdeş, Ş., Alp, İ., 2003. İspir-Çamlıkaya (Erzurum) Papatya Desenli Diyoritlerinin "Mermer" Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, *Türkiye III. Mermer Sempozyumu (MERSEM 2003) Bildiri Kitabı*, s.269–276.
- Koca, Y. M., Yavuz, A. B., Kınçal, C., 2001. Andezitlerin Dış Mekan Kaplama Taşı Olarak Kullanımında Bergama Örneği, *Türkiye III. Mermer Sempozyumu (MERSEM 2001) Bildiri Kitabı*, s.99–112, Afyon.
- Koralay, T., Çobanoğlu, İ., Demir, M. 2014. Ofiyolitler İçerisindeki Gabro Dayklarının Balast Malzemesi Olarak Kullanılabilirliği: İnceler (Bozkurt-Denizli) Örneği, *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17, 2, 32–48.
- Korkaç M., Tuğrul A., 2001. Niğde Yöresi Bazaltlarının Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği, 2. *Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, İstanbul Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Kuşcu, M. ve Yıldız, A., 2001. Ayazini (Afyon) Tüflerinin Yapıtışı Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, *Türkiye III. Mermer Sempozyumu (MERSEM 2001) Bildiri Kitabı*, s.85–98, Afyon.
- Le Maitre, R.W., Streckeisen, A., Zanettin, B., Le Bas, M.J., Bonin, B., Bateman, P., Bellieni, G., Dudek, A., Efremova, S., Keller, J., Lameyre, J., Sabine, P.A., Schmid, R., Sorensen, H., Woolley, A.R., 2001. *Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms*, Cambridge University Press. 236p.
- Nesbitt, H. W. ve Young, G. M., 1982. Early Proterozoic Climates and Plate Motions Inferred from Major Element Chemistry of Lutites. *Nature*, s.299.
- Özkahraman H. T. ve Bolattürk, A., 2003. Bina Yapımında Köyke Taşı (Kaynaklanmış Tüf) Kullanılmasının Enerji Tasarrufundaki Önemi, *Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (MERSEM 2003) Bildiri Kitabı*, s.49–60.
- Özkahraman H. T. ve Işık, E. C., 2003. Isparta Kaynaklanmış Tüflerinin Kaplama Taşı Olarak Kullanılmasının Önemi ve Uygun Yapıştırma Harcı Üretimi, *Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (MERSEM 2003) Bildiri Kitabı*, s.201–211.
- Parker, A., 1970. An index of weathering for silicate rocks; *Geological Magazine*, 107, s.501-504.
- Roaldset, E., 1972. Mineralogy and Geochemistry of Quaternary Clays in the Numedal Area, South ern Norway. *Norsk. Geolisk. Tidsskrift.* 52, s.335–369.
- Ruxton, B. P., 1968. Measures of the Degree of Chemical Weathering of Rocks, *J. Geol.* 76, s.518–527.
- Shao, J., Yang, S. and Li, C., 2012. Chemical indices (CIA and WIP) as proxies for integrated chemical weathering in China: Inferences from analysis of

- fluvial sediments, *Sedimentary Geology*, 265, 266; s.110-120.
- Souri, T., Watanabe, M., Sakagami, K. 2006. Contribution of Parker and Product Indexes to Evaluate Weathering Condition of Yellow Brown Forest Soils in Japan. *Geoderma* 130, 346–355.
- Tarhan F., 1989. Mühendislik Jeolojisi Prensipleri. *Genel Yayın No:145*, KTÜ, Trabzon.
- Tuncay, E. B., Dedeoğlu, D., Yağmurlu, F., 2016. Altıntaş Köyü (Uşak) Kuzeyindeki Andezitik Kayaçların Kaplama ve Döşeme Taşı Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7, 1, s. 75-83.
- Türkmen, F. ve Kun, N., 2001. İzmir İli Volkanitlerinin Doğaltaş Sektöründeki Yeri, *Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (MERSEM 2001) Bildiri Kitabı*, s.9–15, Afyon.
- TS 2513, 1977. Doğal Yapı Taşları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS 1910, 1977. Kaplama Olarak Kullanılan Doğal Taşlar, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS 2513, 1977. Doğal Yapı Taşları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- Ulusay R., 1997. Kaya Mekaniği Laboratuvar Deneyleri, Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Uygulamalı Jeoloji Ana Bilim Dalı, Ankara.
- Uz B., 1999. Bazaltların Kırmataş Yönünden Değerlendirilmesi Trakya - Tekirdağ Bölgesi Bazaltları Örneği, 2. *Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, s. 1-12, İ.T.Ü., İstanbul.
- Uz, B., Esenli, V., Yavuz, O., Manav, H., Bacak, G., 2001. Sert Mermer Grubuna Bir Örneğ; Karacadağ (Diyarbakır) Bazaltlarının ‘Mermer’ Açısından İncelenmesi, *Türkiye III. Mermer Sempozyumu (MERSEM 2001) Bildiri Kitabı*, s.9–15, Afyon.
- Yaşar E., Erdoğan Y., 2001. Toprakkale Bazaltının Doğal Taş Endüstrisindeki Yeri, 4. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, s. 87-96, Ç.Ü.
- www.enerji.gov.tr. Doğal Taş Üretim. 18 Aralık 2010.
- www.enerji.gov.tr. Doğal Taş Üretim. 22 Temmuz 2017.

Volkanik Kökenli Kayaların Yapı Taşı Olarak Kullanılabilirliği: Ankara Civarı Volkanik Kaya Örnekleri, Türkiye

Usability of the Volcanic Nature Rocks as a Building Stone: Examples of Volcanic Rocks in the vicinity of Ankara Volcanics, Türkiye

Buse Gamze Çelikaş

Ankara Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara

Yusuf Kağan Kadioğlu

Ankara Üniversitesi, Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi, Ankara

Mustafa Fener, Kıymet Deniz

Ankara Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara

ÖZET Ülkemizde bazalt, andezitik bazalt, andezit ve piroklastik (tüf, ignimbirit) gibi volkanik kökenli kayalar geniş yayılım göstermeleri nedeniyle bu kayaların yapı taşı olarak kullanımı da son yıllarda artmıştır. Bu çalışmada özellikle Ankara civarında yüzlek veren farklı bileşimdeki kayaların yapı taşı, kaplama taşı, agrega ve balast olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

İgnimbirit, andezit, bazalt ve andezitik bazalt bileşimindeki kayaların tek eksenli sıkışma dayanımları sırasıyla, 37–43 Mpa, 70–73 Mpa, 112–123 Mpa ve 140–280 Mpa bulunmuştur. Buna göre; kayalar üzerinde yapılan tek eksenli sıkışma dayanımının oranı, hamur malzemesi ve iri kristal oranı ile ilişkili olduğu ve bununla birlikte kayanın içerisindeki sert özellikteki minerallerin oranının dayanım özelliklerinde etkili olabileceği tespit edilmiştir. TS standartlarına göre ignimbirit dışındaki kayalar doğal yapı taşı olarak kullanılabilir gözükmektedir. İgnimbiritlerin dayanımları andezit ve bazalt bileşimindeki kayalar gibi fazla olmamasından agrega veya balast malzemesi olarak kullanımları uygun değildir. Bazalt ve andezitik bazaltlar cephe kaplaması, parke taşı, yapı taşı, taban döşemesi, dolgu malzemesi ve beton üretiminde kullanıma uygundur.

ABSTRACT The volcanic rocks such as basalt, andesitic basalt, andesite and pyroclastic (ignimbrite) have been widely used as a building stone in our country in recent years because of their exposure over large areas. In this study, rocks of different composition which have outcrops especially around Ankara were investigated their usability as building stone, covering stone, aggregate and ballast.

The ratio of uniaxial compressive strength of ignimbrite, andesite, basalt and andesitic basaltic rocks are determined 37–43 Mpa, 70–73 Mpa, 112–123 Mpa and 140–280 Mpa, respectively. Accordingly, the ratio of uniaxial compressive strength on the rocks is related with the ratio of the matrix and the coarse crystal and in addition to this it has been determined that the ratio of the hard minerals in the rock may be effective in the durability properties of rocks. According to the TS standards, all the rocks except ignimbrites are seems to be used as a natural building stone. It is not appropriate to use aggregates or ballast materials because ignimbrites's strengths are not higher than rocks which are in the composition of andesite and basalt. Basalt and andesitic basalts are suitable for facade cladding, cobblestone, building stone, flooring, filling material and concrete production.

1 GİRİŞ

Ülkemizde magmatik kayalar içerisinde volkanik (andezit, bazaltik andezit, bazalt, andezitik bazalt vb.) ve piroklastik (ignimbirit, tüf) kayaların geniş yayılımlar göstermeleri nedeniyle plütonik (granit, gabbro, diyabaz, serpantin vb.) kayalara göre yapı taşı ve agrega ürünü olarak kullanımını arttırmaktadır. Bahsi geçen kayaların son beş yıldaki üretim miktarları Çizelge 1’de görülmektedir. Genel olarak bütün doğal kayaların üretimi artmıştır fakat özellikle volkanik ve piroklastik kayaların üretim miktarları diğerlerine göre daha fazladır (Çizelge 1, Şekil 1). Buna göre volkanik kökenli kayaların son beş yıllık üretimi %54, plütonik kayaların %7 ve sedimanter (karbonat, oniks, traverten) kayaların üretim oranı ise %39 oranlarında artmıştır (Şekil 1).

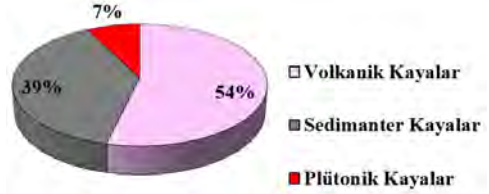
Çizelge 1. 2011–2015 Yılları Doğal Taş Üretimi (www.enerji.gov.tr)

Kaya Türü	Üretim Miktarı (m ³)				
	2011	2012	2013	2014	2015
İgnimbirit	55.873	14.275	29.380	32.195	36.579
Karbonatlı Kayalar	4.086.222	4.488.947	4.255.545	4.220.564	5.613.435
Oniks	7.678	13.335	15.665	10.688	6.905
Traverten	1.685.049	797.915	713.697	812.840	1.239.369
Üretim Miktarı (ton)					
Andezit	2.878.093	2.891.804	3.358.863	6.803.746	4.860.348
Bazalt	18.656.135	19.300.297	23.422.845	21.966.172	22.710.931
Granit	245.911	566.650	896.348	1.219.916	157.463
Gabbro			252.463	255.070	198.947
Diyabaz	293.777	94.835	335.958	226.939	331.027
Serpantin	2.514.601	1.025.427	14.701	13.112	138.454

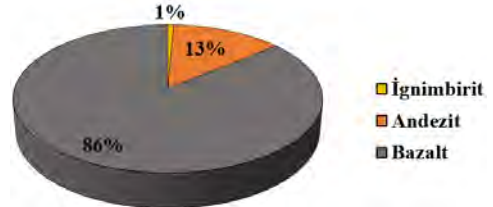
Volkanik ve piroklastik kayaların son beş yıllık üretimi diğer kayalara göre oldukça yüksektir (Çizelge 1, Şekil 1). Bu kayaların kendi içerisindeki dağılımına bakıldığında ise en çok üretimi yapılan kayayı bazalt (%86) temsil ederken, bunu sırasıyla andezit (%13) ve ignimbirit (%1) izlemektedir (Şekil 2).

Bu kayaların üretiminin bu kadar fazla yapılmasının bir diğer nedeni de ülkemizde çok farklı yerlerde geniş yayılımlara sahip olmalarıdır. Dolayısıyla üretimi bu denli çok yapılan ve ülkemizde geniş yayılıma sahip olan bu kayaların doğal yapı taşı olarak

kullanım alanları ve fiziko–mekanik özelliklerinin uygunluğunun araştırılması önem arz etmektedir. Ankara civarında da geniş yayılımlara sahip olan bu kayaların yapı taşı olarak kullanımları bu çalışmada incelenmiştir.



Şekil 1. Volkanik, plütonik ve sedimanter kayaların son beş yıllık üretimini gösteren dağılım diyagramı



Şekil 2. Volkanik ve piroklastik kayaların son beş yıllık üretimini gösteren dağılım diyagramı

1.1 Önceki Çalışmalar

Plütonik, volkanik ve piroklastik kayaların doğal taş ve/veya yapı taşı olarak kullanımına yönelik pek çok çalışma yapılmıştır (Koca vd. 2001, Kuşçu ve Yıldız 2001, Türkmen ve Kun 2001, Kibici 2003a, 2003b, Kolaylı vd. 2003, Özkahraman ve Bolattürk 2003, Özkahraman ve Işık 2003, Akbulut 2005, Korkanç 2007, Ergül 2009, Şengün 2009, Tekin 2009, Dikeç 2010, Kaygısız 2010, Bacak vd. 2011, Koçak 2011, Kaputoğlu 2013, Koralay vd. 2011, Koralay vd. 2014, Ündül vd. 2014, Tuncay vd. 2016).

Akbulut (2005), Ankara taşı olarak adlandırılan Gölbaşı ve Çubuk taş ocaklarından çıkartılan andezitlerin jeolojik, jeomekanik özelliklerinin ve bunların boyutlu taş olarak kullanılabilirliği üzerine incelemeler yapmıştır. Söz konusu

andezitlerin boyutlu taş olarak kullanılabilirliklerini incelemiştir. Gölbaşı ve Çubuk andezitlerinin gözenekli bir yapıya sahip olduğunu, Çubuk civarına ait andezitlerin biraz daha kompakt ancak dayanım değerinin Gölbaşı'ndan alınan örneklerden daha düşük olduğu ve Ankara andezitlerinin oldukça kırıklı ve çatlaklı bir yapıya sahip olduğuna değinilmiştir.

Öngörüş vd. (2005), İstanbul civarındaki Paleozoik yaşlı kayaların çok sayıda andezitik dayk, sil ve ufak sokulumlar tarafından kesildiğini belirtmişler ve bu kayaları incelemiştir. Andezitik bileşimdeki kayaların içerisindeki plajioklad, hornblend ve ojit kristallerinin granular mikrolitik bir hamurda fenokristal olarak yer aldığı belirtilmiştir. Dayklardaki plajiokladlarda serisitleşme ve hornblendlerin çoğunun da klorit tarafından ornatıldığı belirtilmiştir.

Korkanç (2007), Nevşehir dolayında geniş alanlarda yüzeylenen Kavak ignimbiritlerinde incelemeler yapmış, iyi kaynaşmamış ignimbirit olduğunu, opak mineral, ince taneli kaya parçası içeriği ile matriks oranı tane oranından yüksek olan örneklerin porozitesinin daha düşük yoğunluklarının ve basınç dayanımlarının da nispeten daha yüksek değerler gösterdiklerini söylemiştir.

Şengün vd. (2009), Isparta yöresinde bulunan ocaklardan üretilen magmatik kökenli bazı doğal taşların kesilebilirliklerini incelemiştir ve bu amaçla traki-andezit, trakit, bazalt ve ignimbirit örneklerinde çalışmalar yapmışlardır. Kayaların kesilme işlemlerinde fiziksel özelliklerinden gözeneklilik derecesi ve sertliği, mekanik özelliklerinden ise kayaların basınç dayanımının etkin rol oynadığını söylemişlerdir.

Tekin (2009) Çanakkale-Çan taşının özelliklerini incelemiştir. Kayanın iyi nitelikte bir yapı taşı olduğu, desenli yapıda olmasının tercih edilebilirliğine etki ettiğini belirtmiştir.

Bacak vd. (2011), Zonguldak batısı, Kozlu-Karadeniz Ereğlisi ve Ormanlı arasında kalan bölgede yayılım sunan Üst Kretase yaşlı volkanitlerin endüstriyel

hammadde olarak kullanılabilirliklerini araştırmışlardır. Andezit, bazaltik andezit, traki-andezit olarak tanımlanan bu volkanitlerin yol üst yapı malzemesi olarak ve betonarme yapılarda, köprülerde, temel duvarlarında kullanılabilir özellikte olduğu söylenmiştir.

Kibici vd. (2012), Afyon'un kuzeyinde yer alan volkanik kayaların ise ağırlıklı olarak trakiandezit, andezit ve bazalttan oluştuğunu belirtmişlerdir.

Kaputoğlu (2013) İzmir (Buca) yeşil andezitlerinin jeolojisini, malzeme özelliklerini ve duraylılıklarını araştırmışlardır. Buca yeşil renkli andezitleri mineralojik ve kimyasal kompozisyonuna bağlı olarak trakiandezit olarak tanımlanmıştır. Kayaların doğal yapıtaşı olarak kullanılabilirliği açısından, TSE standartlarında öngörülen sınır değerlere büyük oranda uygun olduğu belirlenmiştir. Yapılan mekanik deneylere göre 'donma-çözünmeye karşı düşük dayanıklı', suya doygun-kuru tek eksenli basınç direnci oranı, slake ve statik dayanım indeksi dayanım değerlendirme yöntemlerine göre de 'yüksek dayanımlı' kayalar grubunda yer aldığını söylemişlerdir.

Ündül vd. (2014), Çanakkale civarındaki volkanik kayalarda incelemeler yapmışlardır. Tek eksenli sıkışma dayanımının ve kırılma başlangıcının hamur malzemesi ile iri kristal oranı ve biyotit iri kristalleri tarafından kontrol edildiğini ortaya koymuşlardır.

Tuncay vd. (2016) Uşak civarındaki andezitik kayaların kaplama taşı olarak kullanımlarının uygun olduğunu belirtmişlerdir.

1.2 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı; volkanik ve piroklastik kayaların (andezitler, bazaltlar ve ignimbiritler) mineralojik, petrografik ve kimyasal bileşimlerini belirlemek, dayanımlarını tespit etmek ve kalite karşılaştırması yapmaktır. Çalışma sırasında Ankara civarındaki volkanik kayalardan yeterli kaya örnekleri toplanarak bu kayaların kalite farklılıkları ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Bu çalışma ile bu volkanik kayaların fiziksel, kimyasal özellikleri ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen tüm bulgular ışığında kayaların kalite farklılıkları karşılaştırılmış, kalite farklılıklarının nedenlerinin neler olabileceği irdelenerek bu kayaların yapı taşı olarak kullanılabilirlikleri ortaya konulmaya çalışılmıştır.

2 MATERYAL VE YÖNTEM

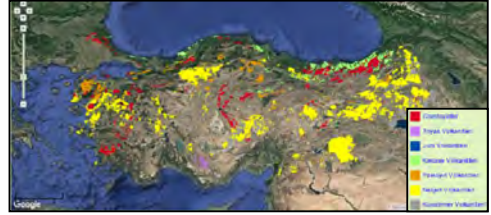
Arazi çalışması kapsamında uygun görülen lokasyonlardan alınan örneklerin ince kesitleri, mineralojik ve petrografik incelemeleri ve jeokimyasal analizleri Ankara Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM) laboratuvarlarında, mekanik testler ise Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Zemin-Kaya Mekanığı Laboratuvarında bulunan cihazlar kullanılarak yapılmıştır. Farklı bileşimdeki volkanik ve piroklastik kayaların ince kesitleri yapılmış, bu kayaların mineralojik bileşimleri, dokusal özellikleri belirlenmiştir. Öğütülüp, toz pelletleri hazırlanan örneklerin X-Işınları Floresans Spektrometresi (XRF) yöntemi kullanılarak kimyasal bileşimleri tespit edilmiştir. İncelenen örneklerin fiziksel özellikleri, suya doygunlukları, dayanımları, mekanik ve elastik özelliklerini ortaya koyabilmek amacıyla çeşitli analizler yapılmıştır. Öncelikle araziden alınan blok boyutlu örneklerden karot alınmıştır. Kayaların su içerikleri ISRM (1981) ve CANMET (1977), yoğunluk-birim hacim ağırlıkları ISRM (1981), görünür gözeneklilik (porozite) ve boşluk oranları (suya doyurma yöntemi) ISRM (1981), ağırlıkça ve hacimce su emme deneyi RILEM (1980) ve TSE (1978), tek eksenli basınç dayanımları Karpuz (1986) tarafından belirtilen hususlar dikkate alınarak belirlenmiştir.

Arazi ve laboratuvar çalışmaları sonucunda elde edilen tüm veri ve bilgiler birlikte değerlendirilerek yorumlanmış, volkanik kayaların yapıtaşı olarak kullanılabilirliğini özellikle mineralojik bileşim ve dokusal anlamda etkileyen nedenler ortaya konulmaya çalışılmıştır.

3 JEOLJİ

3.1 Volkanik Kayaların Türkiye'deki Dağılımı

Volkanik kayalar Türkiye'de geniş yayılımlara sahiptirler. Volkanik kayalar özellikle Doğu Anadolu Bölgesi'nde çok geniş alanlarda yüzlek vermektedir (Şekil 3). Batı Anadolu ve İç Anadolu Bölgesi'nde de dikkate değer yayılımlara sahiptirler (Şekil 3)



Şekil 3. Google haritası üzerinde Türkiye magmatik kayalarının dağılımının genel görünümü (MTA, Yerbilimleri Portalı, Akbaş vd.)

3.2 Çalışma Alanının Jeolojisi

Ankara'nın jeolojisine bakıldığında temelde Triyas yaşlı Dikmen metagrovakları yer almaktadır. Tetis okyanus kalıntısına bağlı ofiyolitik birimler ilin kuzey ve doğu bölümlerinde yüzlek vermektedir (Kadioğlu vd. 2010). Ankara'nın kuzey, doğu ve güney bölümü genel olarak volkanik kayalar ile örtülmektedir. Volkanitler başlıca andezit ve daha az oranda bazalt ve dasit bileşimindeki kayalardan oluşmaktadır. Bütün volkanik kayaların üzerine volkanik kayaların ayrışma ürünü olan Ankara kili gelmektedir. Ankara'nın güney bölümünde volkanik ve gölsel çökelimler yüzlek vermektedir. Ankara volkanik kayaları içerisinde en fazla yayılım gösteren andezitler daha çok içermiş olduğu volkanik hamurun bozuşmasından dolayı pembe renge dönüşmektedir. Andezitler pembemsi renginden dolayı daha çok tercih edilmekte ve ülke genelinde yapı taşı olarak da kullanılmalarından dolayı "Ankara Taşı" olarak da anılmaktadır. Bu bağlamda Roma devrinden itibaren pek çok tarihi binaların ana yapı taşları pembe renkli andezitlerden yapılmıştır. Buna Türkiye

Millet Meclisi ve Ankara Üniversitesi Dil Tarih Coğrafya, Hukuk ve Fen Fakülteleri de girmektedir.



- Alüvyon (Kuvaterner)
- Volkanik ve kireçtaşı (Kretase)
- Ankara volkanitleri (Miyosen)
- Ankara sedimanları (Pliyosen)
- Dikmen Metakumtaşları (Jura)

Şekil 4. Ankara çevresinin jeoloji haritası (Kadıoğlu vd. 2010'dan değiştirilerek alınmıştır)

4 BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Mineralojik ve Petrografik Veriler

Kayaların bileşimini oluşturan minerallerin sahip oldukları sertlik ve yoğunluk değerleri kayacın dayanımını etkilemektedir. Çalışma kapsamında incelenen kayaların bileşimini oluşturan minerallerin sertlik ve yoğunluk değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Kayacın sahip olduğu fenokristallerin, sertliği ne kadar fazla ise kayacın dayanımı da o oranda artmaktadır. Bütün bunlar göz önüne alındığında kayaların dayanım özellikleri kullanım alanlarını etkilediğinden, kayaların içerisinde dağılım gösteren fenokristallerin miktarı, bileşimi ve sertlik değerleri de kullanım alanlarını tespit etmede önemli kriterlerdendir. Fenokristallerin yanısıra, aynı zamanda kayacın sahip olduğu hamur malzemesinin içeriği, miktarı ve hamur malzemesi fenokristal oranı da kayacın dayanımını etkilemektedir. Kaya içerisinde, sertliği yüksek olan minerallerin hamur malzemesine göre oranı arttığında kayacın

dayanımı artmakta aynı şekilde sertliği düşük olan minerallerin oranının hamur malzemesine göre oranı arttığında kayacın dayanımı düşebilmektedir. Kayacın dayanım değerlerini belirleyen bütün bu içyapı özellikleri kayacın kullanım alanları hakkında da belirleyici faktörlerdendir. Ancak kayaların gözenekleri ve su emme özellikleri arttıkça atmosferik koşullar altında daha kolay bozulmaktadır. Bu nedenle volkanik kayalar içerisinde andezitlerin su emme ve gözenek oranları fazla olmalarından dolayı dasit ve bazaltlara göre daha az dayanım özelliği sergilemektedirler.

Çizelge 2. Kaya oluşturan minerallerin sertlik ve yoğunluk değerleri (Yeniyoğlu 2009)

Mineral Adı	Sertlik	Yoğunluk (g/cm ³)
Olivin	6.5–7.0	3.22–4.39
Pijonit	6.0	3.3–3.46
Diyopsit	5.6	3.2–3.3
Ojit	5–5.6	3.2–3.6
Tremolit	5.0–6.0	2.99–3.2
Aktinolit	5.5–6.0	3.0–3.3
Biyotit	2.0–3.0	2.7–3.3
Sandın	6.0	2.56–2.62
Plajyoklaz	6.0–6.5	2.62–2.76

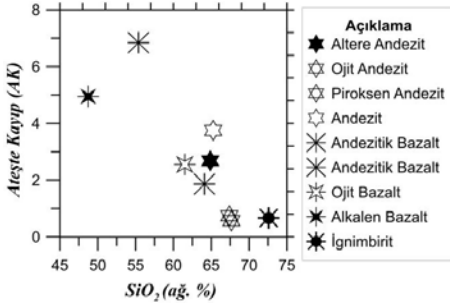
Çalışma kapsamında incelenen kayaların mineralojik ve petrografik özellikleri Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. İncelenen örneklerin mineralojik ve petrografik özellikleri

Kesit No	Genel Doku	Özel Doku	Mineralojik Bileşim	Bozunma	Kaya Adı
1	Hipohyalin	Zonlu Doku, Kümelili Doku	Sandın, plajyoklaz, amfibol, piroksen, andezit kaya parçası	Opasitleşme, Opaklaşma	İyi Kaynaşmış İgnimbirit
7	Hipohyalin		Piroksen, olivin yer yer tremolit aktinolit	Karbonatlaşma, İddingsitleşme, Uralitleşme	Alkalin Bazalt
8	Hyalopilitik Porfirik Doku	Zonlu, Poikilitik Doku	Opak Min., oligoklaz, andezin, biyotit, piroksen tremolit, aktinolit	Uralitleşme, Opasitleşme	Andezit
9	Hyalopilitik Porfirik Doku	Glomeroporfirik Doku	Piroksen, plajyoklaz, andezin, oligoklaz	Uralitleşme, Siilsleşme	Piroksen Andezit
10	Hipohyalin Porfirik Doku	Glomeroporfirik Doku	Ojit, piroksen, tremolit, aktinolit	Uralitleşme, Killeşme, Opasitleşme, Opaklaşma	Ojit Bazalt
11	Hyalopilitik Porfirik Doku	Glomeroporfirik Doku	Oligoklaz, andezin, biyotit, amfibol, labrador, sandın, manyetit, opak min.	Opasitleşme, Killeşme	Andezitik Bazalt
12	Hyalopilitik Porfirik Doku	Zonlu Doku	Oligoklaz, andezin, amfibol	Siilsleşme, Opasitleşme, Killeşme, Karbonatlaşma	Opasitleşmiş Siilsleşmiş Andezit
13	Hyalopilitik Porfirik Doku	Dentritik, Glomeroporfirik, Zonlu Doku	Oligoklaz, andezin, ojit	Killeşme	Ojit Andezit
14	Hipohyalin Porfirik Doku	Glomeroporfirik Doku	Plajyoklaz, piroksen, amfibol, biyotit	Killeşme, Opasitleşme, Karbonatlaşma	Andezitik Bazalt

4.2 Jeokimyasal Veriler

İncelenen örneklerin jeokimyasal analiz sonuçları Çizelge 4'te verilmiştir. Örneklerin biri hariç diğerlerinin Ateşte Kayıp (AK) değerleri beşten küçüktür. Dolayısıyla örneklerin kısmen altere oldukları söylenebilir (Şekil 5).



Şekil 5. SiO₂'e karşı AK değişim diyagramı

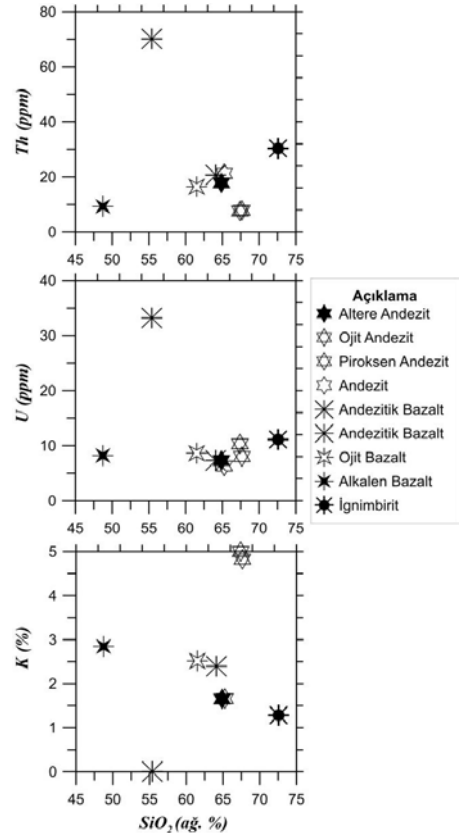
SiO₂ içerikleri 48–72 arasında değişmektedir. En düşük silisyum içeriği alkalen bazalt bileşimindeki kaya örneğinde gözükmektedir. Silika içeriğine göre bu kaya bazik bir magmadan türemişken diğer kayalar asidik magmanın katılması sonucu oluşmuşlardır.

Çizelge 4. Örneklerin jeokimyasal analiz sonuçları

Element	Ölçü	1	7	8	9	10	11	12	13	14
Na ₂ O	%	4.90	4.94	3.01	3.82	2.45	3.07	3.38	3.95	4.53
MgO	%	0.23	1.90	3.02	1.12	2.06	1.84	2.12	1.08	0.71
Al ₂ O ₃	%	14.04	15.05	13.46	14.06	14.45	14.25	14.60	13.78	17.65
SiO ₂	%	72.58	48.74	65.25	67.39	61.51	64.09	64.87	67.65	55.39
P ₂ O ₅	%	0.05	1.20	0.17	0.25	0.81	0.33	0.17	0.24	0.29
SO ₃	%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
Cl	%	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
K ₂ O	%	4.31	1.55	3.42	2.00	6.02	3.03	2.89	1.99	5.81
CaO	%	0.87	12.86	3.40	5.18	4.35	5.15	4.53	5.19	4.72
TiO ₂	%	0.26	1.44	0.43	0.68	1.01	0.68	0.54	0.66	0.23
V ₂ O ₅	%	0.01	0.03	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02
Cr ₂ O ₃	%	0.00	0.02	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
MnO	%	0.05	0.10	0.08	0.08	0.08	0.11	0.07	0.07	0.10
Fe ₂ O ₃	%	1.73	8.02	4.14	4.71	4.75	5.47	4.22	4.62	3.62
AK	%	0.66	4.95	3.75	0.74	2.55	1.86	2.68	0.57	6.84
Co	ppm	17.80	34.90	27.70	33.20	33.70	55.70	53.20	42.00	21.30
Ni	ppm	4.10	62.70	4.40	27.30	13.10	9.50	11.00	28.60	10.00
Cu	ppm	0.80	32.00	2.90	11.60	9.40	14.50	5.70	12.30	12.60
Zn	ppm	40.30	72.20	36.50	40.00	53.90	49.70	49.40	38.70	52.60
Rb	ppm	154.30	15.50	118.30	45.90	208.70	90.20	124.20	46.40	122.40
Sr	ppm	75.10	1465.00	497.20	310.80	810.30	1062.00	312.10	308.90	5017.00
Y	ppm	46.30	24.00	16.80	22.00	18.10	21.90	22.30	20.40	22.20
Zr	ppm	361.20	270.00	163.70	191.30	510.00	179.10	184.00	197.60	689.00
Nb	ppm	21.10	41.30	19.00	3.20	26.90	11.70	15.10	10.00	69.10
Mo	ppm	4.70	3.90	4.30	4.00	4.60	3.30	2.80	3.10	9.50
Cd	ppm	0.80	0.90	0.70	0.80	0.90	0.90	0.80	0.80	1.30
Su	ppm	0.90	1.60	2.30	0.90	4.90	2.30	1.10	0.90	3.60
Sb	ppm	1.50	0.90	0.80	0.80	1.00	0.80	0.90	0.80	1.20
Cs	ppm	3.60	3.90	3.80	3.40	4.10	3.80	3.70	3.50	5.00
Ba	ppm	596.10	1160.00	863.00	371.40	1461.00	1103.00	809.40	363.20	4788.00
La	ppm	43.70	70.30	39.80	24.90	49.20	35.50	28.90	7.40	243.20
Ce	ppm	89.70	141.30	78.60	48.60	111.30	78.60	69.00	38.50	411.10
Hf	ppm	8.50	3.70	3.90	2.30	11.50	2.50	2.50	2.90	7.50
Ta	ppm	3.60	4.00	2.30	2.70	2.80	2.80	4.70	2.60	6.00
Hg	ppm	0.60	1.40	1.00	1.50	1.10	1.20	1.30	1.30	1.20
Pb	ppm	16.80	17.40	21.20	6.20	24.50	16.00	28.70	6.40	63.60
Th	ppm	30.30	9.30	21.20	7.60	16.40	20.70	17.80	7.80	70.10
U	ppm	11.10	8.20	6.30	10.30	8.60	7.30	7.30	8.00	33.20

Ana elementler dışında eser elementlerinde kaya içerisindeki bollukları oldukça önem arz etmektedir. Çünkü bazı elementlerin doğal radyoaktif özellikleri bulunmaktadır. Bu bağlamda kayaların silikaya karşı Th, U ve K değişim diyagramları çizilmiştir (Şekil 6). Buna göre silikanın artmasına bağlı olarak Th ve U konsantrasyonları da artmaktadır.

Asidik volkanitler için Th, U ve K elementleri için sınır değerleri sırasıyla 1.1–41.0 ppm, 0.8–16.4 ppm ve % 1.0–6.2'dir (Uyanık ve Akkurt 2009). Bazik volkanitlerdeki Th sınır değeri 0.05–8.8 ppm, U için 0.03–3.3 ppm ve K için ise % 0.06–2.4 arasındadır (Uyanık ve Akkurt 2009). Uyanık ve Akkurt (2009)'un belirlemiş olduğu sınır değerlerin içerisinde yer almaktadır.



Şekil 6. SiO₂'e karşı radyoelementlerin (Th, U, K) değişim diyagramı

4.3 Mekanik Analiz Verileri

Örneklerle ait fiziko–mekanik özellikler Çizelge 5’te verilmiştir. Schmidt çekicine göre kaya sertliği sınıflamasına (Ulusay 1997) bakıldığında 1 numaralı ignimbirit örneğinin az yumuşak sınıfına girdiği görülmektedir. 12 ve 14 numaralı örneklerin Schmidt çekicine göre sertlikleri 40 ila 50 arasında olduğundan sert kaya grubunda yer almaktadır. Diğer örnekler ise az sert kaya grubunda yer almaktadır.

İgnimbirit, bazalt ve andezit örneklerinde yapılan incelemelerde kayaların gözeneklilik değerleri de hesaplanmıştır. Kayaların gözenekliliğe göre sınıflandırılmaları Çizelge 6’da verilmiştir. İgnimbirit örneğinin gözenekliliği % 26 bulunmuştur ve buna göre çok fazla boşluklu kaya sınıfında yer almaktadır (Çizelge 5–6) (Tarhan 1989). Dolayısıyla bu kayalar gözeneklilikleri yüksek olmaları nedeniyle iyi derecede ısı ve ses yalıtımına sahip binaların yapımında yapıtaşı olarak tercih edilmektedirler. Bazalt örneklerinin ise gözeneklilikleri % 1–10 arasında değişmektedir (Çizelge 5). Alkali bazalt örneğinde bu değer en düşük (% 1) iken ojit bazalt ve andezitik bazalt örneklerinde yüksektir (Çizelge 5). Alkali bazalt örneği az boşluklu kaya sınıfında yer almaktadır (Çizelge 6). Ojit bazalt olarak tanımlanan örnek %7–10 arasındaki gözeneklilik değeri ile oldukça boşluklu kaya sınıfında bunun yanı sıra andezitik bazalt örnekleri orta boşluklu ve oldukça boşluklu kaya sınıfında değerlendirilebilir (Çizelge 6).

Analiz sonuçlarına göre ignimbiritin dayanımının bazalt ve andezite göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. İgnimbiritlerin schmidt çekici değerleri 15–20, tek eksenli sıkışma dayanım değerleri ise 37–43 Mpa dir (Çizelge 5). Andezitlerin schmidt çekici değerleri 30–35, tek eksenli sıkışma dayanımları 70–73 Mpa olarak belirlenmiştir (Çizelge 5). Bazaltlar ise schmidt sertlikleri 28–32, tek eksenli sıkışma dayanımları ise 112–123 Mpa’dır (Çizelge 5). Andezitik bazaltların ise schmidt sertlikleri 37–45 ve tek eksenli sıkışma dayanımı ise 140–280 Mpa olarak tespit edilmiştir (Çizelge 5). İgnimbiritler ve

andezitler düşük dirençli kaya sınıfında yer alırken bazaltlar yüksek ve çok yüksek dirençli kaya sınıfında yer aldığı söylenebilir (Çizelge 7).

Çizelge 5. Örneklerin fiziko–mekanik özellikleri

Numune NO	Ağırlık (gr)	Yükseklik (mm)	Çap (mm)	Kuru ağırlık (gr)	Yapı ağırlık (gr)	Schmidt Çekici	Tek eksenli basınç dayanımı (Mpa)	Kuru birim hacim ağırlık (gr/cm ³)	Gözeneklilik (%)	Su emme (%)	Hacim (cm ³)
1-3	477	131	54	476	554	131/44/14	43	1.6	26	16	302
1-4	478	130	54	477	556	20/20/21	37	1.6	26	17	301
1-5	469	131	55	466	550	19/14/16	38	1.5	26	17	311
7-1	370	95	43	369	370	30/31/30	119	2.7	1	0.4	138
7-2	374	95	43	372	374	29/30/31	85	2.7	1	1	138
7-3	374	95	43	373	373	32/31/28	28	2.7	1	0.5	138
8-1	674	132	54	672	694	35/26/24	72	2.2	7	3	307
8-2	697	130	54	678	700	33/34/33	75	2.2	7	3	304
8-4	679	130	54	677	699	33/33/34	73	2.2	7	3	301
9-1	647	130	55	649	668	33/33/33	85	2.4	9	3	307
9-5	624	129	54	618	651	29/33/33	101	2.1	11	5	300
9-6	645	131	55	639	668	30/27/32	66	2.1	9	4	307
10-1	664	131	55	656	678	32/32/32	55	2.1	7	3	306
10-7	663	131	54	655	684	34/32/30	123	2.2	9	4	304
10-9	656	130	55	649	679	28/32/31	113	2.1	10	5	304
11-4	727	131	54	724	745	33/37/38	140	2.4	7	3	299
11-7	725	130	54	722	743	38/37/30	140	2.4	7	3	304
11-11	739	131	54	727	748	33/33/30	143	2.4	7	3	306
12-3	719	131	55	715	724	42/45/40	125	2.3	3	1	311
12-5	705	131	55	700	715	44/32/40	127	2.3	5	2	310
12-6	728	131	55	724	734	42/32/41	109	2.4	3	1	307
13-7	630	131	54	630	649	33/30/38	71	2.3	9	3	297
13-6	635	121	54	635	653	37/35/30	66	2.3	7	3	276
13-1	639	130	54	639	656	34/34/30	101	2.3	6	3	276
14-1	708	130	54	706	713	39/44/43	280	2.3	2	1	301
14-7	714	131	54	711	719	44/45/44	185	2.4	3	1	301
14-1	707	130	54	705	713	43/44/42	70	2.3	3	1	301

Çizelge 6. Kayaların gözenekliliğe göre sınıflandırılması (Tarhan 1989)

Kaya Sınıfı	Gözeneklilik (%)
Çok Kompakt	<1
Az Boşluklu	1 – 2.5
Orta Boşluklu	2.5 – 5
Oldukça Boşluklu	5 – 10
Çok Boşluklu	10 – 15
Çok Fazla Boşluklu	> 20

Çizelge 7. Tek eksenli basınç dayanımına göre kayaların sınıflandırılması (Dere ve Miller 1966)

Kaya Sınıfı	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (Mpa)
Çok düşük dirençli	<25
Düşük dirençli	25–50
Orta dirençli	50–100
Yüksek dirençli	100–200
Çok yüksek dirençli	>200

İgnimbirit, andezit ve bazalt örnekleri birim hacim ağırlığı ve tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri ile yapı taşı sınıfı ve kullanılabilirliği değerlendirilmiştir (Çizelge 8) (TS 2513). İgnimbiritler kuru birim hacim ağırlıklarına göre hafif, andezitler ve bazaltlar normal, alkali bazaltlar ise ağır yapı taşı sınıfında yer almaktadır (Çizelge 8). Birim hacim ağırlığına göre hafif yapı taşı

grubunda yer alan kayaların taban döşemesinde kullanımları uygun gözükmemektedir. Normal yapı taşı sınıfında yer alan andezit ve bazaltların birim hacim ağırlıklarına göre taban döşemelerinde kullanımları pek uygun olmayıp iç cephe kaplamasında kullanılmalarının uygun olduğu söylenebilir. Ağır yapı taşı sınıfında yer alan alkalin bazaltlar taban döşemesinde ve dış cephe kaplamasında kullanılabilir (TS 2513, Koçak 2011).

Çizelge 8. Yapıtaşı sınıflaması (TS 2513)

Yapı Sınıfı	Taşı	Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)	En Düşük Tek Eksenli Basınç Dayanımı (Mpa)
Çok Hafif		<1.5	4.90
Hafif		1.5–2.0	24.52
Normal		2.0–2.5	39.23
Ağır Yapı Taşı		>2.5	>39.23

TS 2513'e göre doğal yapı taşı olacak kayalarda tek eksenli basınç dayanımı minimum 50 Mpa olmalıdır. Buna göre ignimbirit dışındaki kayaların hepsinin doğal yapı taşı olarak kullanılabilir olduğu söylenebilir. Andezitlerin doğal yapı taşı olarak kullanılabilmesi için sahip olmaları gereken tek eksenli basınç direnci döşeme taşı için >98.07 Mpa, kaplama taşı için ise >54.84 Mpa olmalıdır (TS 10835). İncelenen andezitlerin kaplama taşı olarak kullanımları uygundur.

5 SONUÇLAR

Yapılan tüm çalışmalar sonucunda elde edilen veriler, kayaların dayanım özelliklerinin mineralojik, petrografik ve fiziksel özellikleri ile yakından ilişkili olduğunu göstermektedir. Elde edilen dayanım özellikleri mineralojik, petrografik veriler ile birlikte değerlendirildiğinde tek eksenli sıkışma dayanımının hamur malzemesi ve iri kristal (fenokristal) oranı ile ilişkili olduğu ve minerallerin sertliklerinin dayanım özellikleri üzerinde etkili olabileceği tespit edilmiştir.

Ankara civarındaki ignimbiritler gözenekliliği % 26, tek eksenli sıkışma dayanımı ise 37–43 Mpa arasında

değişmektedir (Çizelge 5). Bu verilere göre çok fazla boşluklu ve düşük dirençli kaya sınıfında yer alan ignimbiritlerin zemin malzemesi yerine daha çok ısı ve ses yalıtımına sahip binaların yapımında yapıtaşı olarak kullanımları uygun görülmektedir.

Bununla birlikte Ankara civarında bulunan andezitlerin bazaltlara göre gözenek ve su emme özellikleri fazla olmalarından dolayı daha az dayanımlıdırlar ve kolay deforme olabilmektedirler. Bu nedenle dayanım açısından bazaltların dayanım testleri daha fazla çıkmakta ve andezitlere göre tercih edilebilmektedir.

TS 2513'e göre birim hacim ağırlıklarına göre normal yapı taşı olarak sınıflandırdığımız andezit ve bazaltların taban döşemelerinde kullanımları pek uygun olmayıp iç cephe kaplamasında kullanılmalarının uygun olduğu söylenebilir. Fakat Ankara civarındaki bazaltların dayanımı ve sertliği diğer kayalara göre daha yüksek olması nedeniyle taban döşemesi ve kaplama taşı olarak kullanılabilirliği TS standartlarına göre uygun gözükmemektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Kalkınma Bakanlığı 2012K120440 numaralı proje ile desteklenmiştir. Metnin hazırlanmasında mekanik analizler ve ilgili hesaplamalarda katkıda bulunan Jeoloji Mühendisi Deniz YILMAZ'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Akbaş, B., Akdeniz, N., Aksay, A., Altun, İ., Balcı, V., Bilginer, E., Bilgiç, T., Duru, M., Ercan, T., Gedik, İ., Günay, Y., Güven, İ.H., Hakyemez, H. Y., Konak, N., Papak, İ., Pehlivan, Ş., Sevin, M., Şenel, M., Tarhan, N., Turhan, N., Türkecan, A., Ülu, Ü., Uğuz, M. F., Yurtsever, A. Vd. Türkiye Jeoloji Haritası Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara, Türkiye.
- Akbulut, B., 2005. Gölbaşı ve Çubuk (Ankara) Andezitlerinin Boyutlu Taş Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Mühendislik Tezi, s74.
- Bacak, G., Yılmaz, S.A., 2011. Karadeniz Ereğli (Zonguldak) Andezitlerinin Petrografik-Jeokimyasal Özellikleri ve Endüstriyel

- Kullanılabilirliği, *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 1; s.23–36.
- Dere, B., Miller, N., 1966. Tek Eksenli Basınç Direncine Göre Kayaların Sınıflandırılması. *Ankara MTA Rapor No: 2352*. 32.
- Dikeç, A. 2010. Kahramanmaraş'ta Yapıtısı Olarak Kullanılan Kayaçların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Kahramanmaraş Sütcü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, s. 109.
- Ergül, A., 2009. Afyonkarahisar'da Yapıtısı Olarak Kullanılan Tüflerdeki Poroziteye Bağlı Su İçeriğinin Fizikomekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, s. 152.
- Kadıoğlu, Y.K., Üstündağ, Z., Solak, A.O., Karabıyıkoglu, G. 2010. Sources of Environmental Pollution in Ankara (Turkey): Geochemistry and Traffic Effects—PEDXRF Applications. *Spectroscopy Letters*, 43, p.247–257.
- Kaputoğlu, S. 2013. Buca Yeşil Andezitlerinin Jeolojisi, Malzeme Özellikleri ve Durabilitesinin Araştırılması. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, s. 129.
- Kaygısız, H. 2010. Kayseri Yöresindeki Yapıtışlarının Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, s. 88.
- Koca, M.Y., Yavuz, A.D., Kincal, C., 2001. Andezitlerin Dış Mekan Kaplama Taşı Olarak Kullanımında Bergama Örneği, *Türkiye III. Mermer Sempozyumu (MERSEM 2001)* Bildiri Kitabı, s.99–112, Afyon.
- Koçak, E., 2011. Kayseri Bazaltının Yapı Taşı Olarak Kullanım Olanaklarının Araştırılması. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, s. 76.
- Kolaylı, H., Arslan, M., Yalçınalp, B., Tüdeş, Ş., Alp, İ., 2003. İspir –Çamlıkaya (Erzurum) Papatya Desenli Diyoritlerin 'Mermer' Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, *Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (MERSEM 2003)* Bildiri Kitabı, s.269–276, Afyon.
- Koralay, T., Özkul, M., Kumsar, H., Pektaş, H. 2011. The effect of welding degree on geotechnical properties of an ignimbrite flow unit: The Bitlis castle case (eastern Turkey). *Environmental Earth Sciences*. 64, 3, p.869-881.
- Koralay, T., Çobanoğlu, İ., Demir, M. 2014. Ofiyolitler İçerisindeki Gabro Dayklarının Balast Malzemesi Olarak Kullanılabilirliği: İnceler (Bozkurt-Denizli) Örneği, *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17, 2, 32–48.
- Kibici, Y., 2003a. Bazik ve Ultrabazik Kayaçların Mineralojisi-Petrografisi ve Doğaltaş Sektöründe İsimlendirmedeki Önemi. *Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (MERSEM 2003)* Bildiri Kitabı, s.525–544, Afyon.
- Kibici, Y., 2003b. Asit Magmatik Kayaçların Mineralojisi-Petrografisi ve Doğaltaş Sektöründe İsimlendirmedeki Önemi. *Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (MERSEM 2003)* Bildiri Kitabı, s.505–523, Afyon.
- Kibici, Y., Dinç, D., Uçar, A., 2012. Afyonkarahisar Yöresi Volkanik Kayaçlarının Mineralojik ve Petrografik Özellikleri. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 29, p.1302-3055.
- Korkaç, M., 2007. İgnimbiritlerin Jeomekanik Özelliklerinin Yapı Taşı Olarak Kullanımına Etkisi: Nevşehir Taşı, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 1–31.
- Kuşçu, M. ve Yıldız, A., 2001. Ayazini (Afyon) Tüflerinin Yapı Taşı Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, *Türkiye III. Mermer Sempozyumu (MERSEM 2001)* Bildiri Kitabı, s.99–112, Afyon.
- Öcal, A. ve Dal, M., 2012. Doğal Taşlardaki Bozunmalar, Mimarlık Vakfı İktisadi İşletmesi
- Özgörüç, Z., Okay, A.I., 2005. İstanbul Bölgesindeki Andezitik Dayklarının Konumları: Kretasede Gerilme Dağılımına Bir Yaklaşım. *MTA Dergisi* 130, p.17-27.
- Özkahraman, H.T. ve Bolattürk, A., 2003. Bina Yapımında Köyke Taşı (Kaynaklanmış Tüf) Kullanılmasının Enerji Tasarrufundaki Önemi, *Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (MERSEM 2003)* Bildiri Kitabı, s.49–60, Afyon.
- Özkahraman, H.T. ve Işık, E.C., 2003. Isparta Kaynaklanmış Tüflerin Kaplama Taşı Olarak Kullanılmasının Önemi ve Uygun Yapıtıştırma Harcı Üretimi, *Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (MERSEM 2003)* Bildiri Kitabı, s.201–211, Afyon.
- Şengün, N., Altındağ, R., Koççaz, C. E., 2009. Isparta Yöresinde Bulunan Bazı Magmatik Kökenli Kayaçların Kesilebilirlik Analizi, DEÜ Mühendislik Fakültesi, *Fen ve Mühendislik Dergisi*, 11, 31, p.22-31.
- Tarhan, F., 1989. Mühendislik Jeolojisi Prensipleri. *Genel Yayın No:145, KTÜ*, Trabzon.
- Tekin, İ. 2009. Çan Taşı Ekonomisi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, s. 184.
- Tuncay, E. B., Dedeoğlu, D., Yağmurlu, F., 2016. Altıntaş Köyü (Uşak) Kuzeyindeki Andezitik Kayaçların Kaplama ve Döşeme Taşı Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7, 1, s. 75-83.
- Türkmen, F ve Kun, N., 2001. İzmir İli Volkanitlerinin Doğaltaş Sektöründeki Yeri, *Türkiye III. Mermer Sempozyumu (MERSEM 2001)* Bildiri Kitabı, s.9–15, Afyon.
- TS 2513, 1977. Doğal Yapı Taşları. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara (in Turkish) 6 p
- TS 10835, 1993. Doğal Yapı Taşları - Deney Metodları. Andezitlerin yapı ve kaplama taşı olarak kullanımı. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- Ulusay R., 1997. Kaya Mekanığı Laboratuvar Deneyleri, Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Uygulamalı Jeoloji Ana Bilim Dalı, Ankara.

- Uyanık, N.A. ve Akkurt, İ., 2009. Alkali Volkanitler Yönünden Zengin Olan Isparta-Çünür Tepesinde Doğal Radyoaktivite Tayini. AKÜ Fen Bilimleri Dergisi, 2:35-42.
- Ündül, Ö., Aysal, N., Amann, F., Plötze, M., 2014. Andezitik Kayaçların Dayanım Özelliklerine İç Yapının Etkisi, *KAYAMEK 2014-XI. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu* Bildiri Kitabı, s.201-211, Afyonkarahisar.
- Yeniyol, M., 2009. Mineraloji. Dilek Ofset Matbaacılık, 2. Baskı, İstanbul, s.332.
- www.enerji.gov.tr. Doğal Taş Üretim. 22 Temmuz 2017.
- <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/>
- http://kisi.deu.edu.tr/halit.yazici/YM2/YM-II%234_AGREGALAR-2.pdf, s.24.
- <http://kitaplar.ankara.edu.tr/dosyalar/pdf/677.pdf>, s.3-4.
- http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduler_pdf/%C3%96zg%C3%BCI%20A%C4%9F%C4%B1ri%C4%B1k%20Ve%20C4%B0nce%20Madde%20Oran%C4%B1.pdf, s.14-15.

Kırklareli – Demirköy Çevresinde Yüzeyleyen İntrüzif Kayaların Doğaltaş Olarak Kullanılabilirliği, KB Türkiye

Utilization of the Intrusive Rocks Outcropped Around Kırklareli-Demirköy As Natural Stone, NW Turkey

Ezgi ULUSOY

Maden Tetkik Arama (MTA) Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara

Yusuf Kağan KADIOĞLU

Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara

Ankara Üniversitesi, Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM), Ankara

ÖZET Magmatik kayalar, güzel görünümü, dayanıklı olması, cila – parlatma kabul eden yapısının iyi ve blok veriminin yüksek olması nedeniyle kaplama ve döşeme için tercih edilebilir doğaltaş grubuna girmektedir. Magmanın soğuma koşulları ve içerdiği mineraller, bu kayalarda doku ve renk çeşitliliğine yol açar. Türkiye bu tür kayalar ile oldukça geniş rezerve sahiptir.

KB Türkiye’de yer alan Istranca Masifine ait metamorfik birimler Üst Kretase yaşlı, çeşitli mineral bileşimi, renk ve dokusal özelliklerde intrüziflerle kesilmektedir. Bu çalışmada Masifin doğu bölümünden, Demirköy ilçesi çevresinde yüzeyleneniki granitoid mostrası ve bir gabro mostrası olmak üzere üç farklı intrüzif grubundan örnekleme yapılmıştır: (1) ‘Balaban yeşili’, ‘Kırklareli yeşili’ olarak yapı sektöründe isimlendirilmiş, yoğun epidotlaşmaya bağlı yeşil rengi ile tipik İkiztepe Granitoidi; Demirköy çevresinde gözlenen Demirköy İntrüzif Kütleleri içinde geniş yayılım sergileyen; (2) orta kristalin, gri renkli monzogranit, (3) incekrystalin, yeşilimsi koyu gri-siyah renkli gabro bileşimli kayalardan örnekler derlenmiştir. Bu örneklere ait petrografik, jeokimyasal ve fiziko-mekanik özellikler, üç kaya grubunun da iç dış kaplamalarda doğaltaş olarak kullanıma elverişli olduğunu ortaya koymaktadır.

ABSTRACT The aesthetic appearance, durability, polishing ability structure and high block efficiency magmatic rocks are preferable natural stone for covering and flooring. Magmas cooling conditions and their mineral compositions lead to the diversity of texture and colour in these rocks.

Metamorphic units of Strandja Massif located on NW of Turkey, cut by Upper Cretaceous intrusive with various composition, texture and colour. In this study sampling was done from three intrusive rock group at the eastern part of Massif, around Demirköy village: (1) İkiztepe granitoid named as “Balaban green” and “Kırklareli green” in the building sector. The intense of epidotization within these rocks cause to appear as green colour, the other two samples from Demirköy Intrusive body (2) monzogranite with medium grain size, grey in colour, (3) gabbro with fine grain size has greenish dark grey to black in colour. The petrographic, geochemical and physico-mechanical properties of these rocks reveal that they have ability to be used as a natural stone for indoor and outdoor covering – flooring.

1 GİRİŞ

Doğaltaş, gemişten günümüze tm zamanlarda eşitli alanlarda kullanılmıştır. Kullanımındaki yaygınlık nedeniyle gerek i gerekse dış pazarda talepte devamlılık sz konusudur. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı verilerine göre ülkemizde, 1 milyar m³  granit olmak üzere, toplam 7.8 milyar m³ doğaltaş rezervi olup bunun da dünya doğaltaş rezervinin %40 nı oluşturduğu belirtilmektedir (ETKB, 2017). Magmatik derinlik kayası olan granitler, dış kaplama ve yer döşemelerinde tercih edilen doğaltaş grubudur. Yapı sektöründe yaygın olarak kullanılan granit, asidik bileşimli olup iyi cila alması, renk çekiciliği, dayanıklılığı ve sağlamlığı sayesinde "Sert Mermer Grubu" içinde yer alan farklı bileşim ve kökenli mermerlere oranla daha fazla tercih edilmektedir.

Bu alışma, Kırklareli ilinin Demirköy iesi çevresinde yüzeyleyen, kaplama ve döşeme taşı olarak kullanım potansiyeline sahip kayaçların, fiziko - mekanik özellikleriyle ilgili veriler sunmaktadır (şekil 1).



şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası

2 ÇALIşMA ALANININ JEOLJİSİ

KB Türkiye'de yer alan Istranca Masifi, Mesozoyik ncesi kristalen karmaşıktan oluşan bir temel ve üzerine gelen Triyas – Jura yaşlı düşük dereceli metamorfik kayalardan oluşmaktadır (Aydın Y. 1982, 1988; Ayhan vd 1972; Cağlayan ve Yurtsever, 1998; Okay vd 1995, 1996; Okay ve Tüysüz, 1999; Yurtsever vd, 1993). Masif, Geç Kretase süresince çeşitli

kompozisyonlardaki intrüzifler ile kesilmekte olup doğu bölümde yer alan ve en geniş alan kaplayan kütle; Demirköy Intrzif Kütlesi olarak tanımlanmıştır (Aykol, 1979; Aykol ve Tokel, 1991; Iğdırve Acar, 1978; Ulusoy, 2012; şmezsoy, 1982).

Bunun yanında birbirinden farklı zaman aralığında sokulum yapan ikinci ayrı bir kütle İiztepe Granitoyidi olarak tanımlanmıştır (Iğdır ve Acar, 1978; şmezsoy, 1982)



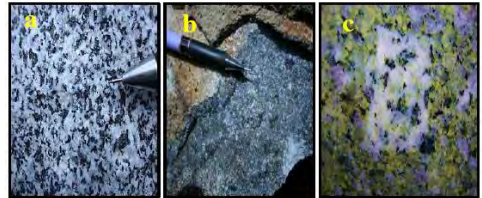
şekil 2. Çalışma alanında yer alan intrüzif kayaların dağılımlı (Taralı alan çalışma alanını göstermektedir).

3 ARAşTIRMA BULGULARI

3.1 Arazi Gözlemleri

Bölgede gri renkli ve yeşil – yeşilimsi gri renkli olmak üzere iki farklı magmatik kaya grubu ayıklanmıştır.

Koyu gri renkli intrüzif kayalar Demirköy Intrzif Kütlesi ve yeşil - yeşilimsi gri renkli intrüzif kayalar ise İiztepe Granitoyidi şeklinde adlandırılmıştır. Demirköy granit, granodiyorit, diyorit ve gabro bileşiminden oluşurken, İiztepe Granitoyidi ise granodiyorit ve monzodiyorit bileşimindedir.



şekil 3. Çalışma alanında yer alan (a) Demirköy monzogranit, (b) Demirköy gabro, (c) İiztepe granodiyorit İiztepe Granitoyidi; Demirköy Intrzif Kütlesi tarafından kesilmiş, lokal yayımlımlı,

orta taneli, kataklastik dokulu ve yoğun epidotlaşmanın gözlenmesi ile karakteristiktir (Şekil 3).

Anklav içeriklerine göre Demirköy İntrüzif Kütlesine ait kayalar İkiztepe Granitoidine göre oldukça yoğun diyorit-kuvars diyorit bileşimli mafik magmatik anklav (MME) içermektedir.

Anklavlar doğaltaş endüstrisinde istenmeyen oluşuklar olup “kist”, “kanser”, “hare” gibi terimlerle anılmaktadır. Demirköy monzogranit içinde yer alan anklavlar endüstriyel anlamda bir dezavantaj teşkil eder. İkiztepe Granitoidi içindeki süreksizlikler boyunca gözlenen kuvars damarı ve epidot segregasyonları hem estetik anlamda hemde işletme açısından dezavantaj oluşturmaktadır. Ayrıca İkiztepe Granitoidi içinde yer alan ince taneli piritlerden kaynaklı zaman içinde kaya yüzeyinde oksitlenme meydana gelebilmektedir.

3.2 Mineraloji – Petrografi

Çalışma konusunu oluşturan kaya türlerine ilişkin petrografik tanımlamalar Tablo 1’de verilmiştir.

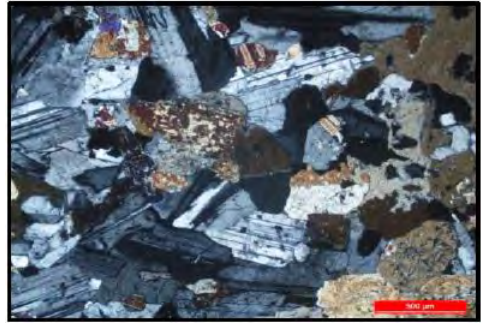
Tablo 1. Kaya türlerinin petrografik karakteristikleri

	Demirköy Monzogranit	Demirköy Gabro	İkiztepe Granodiyorit
Doku	Holokristalin hipidiyomorf taneli	Holokristalin hipidiyomorf taneli – yer yer pegmatitik	Kalıntı doku – yer yer porfirik
Ana Mineral İçeriği	Plajiyoklaz, ortoklaz, kuvars, hornblend, biyotit, opak min.	Plajiyoklaz, klinopirosken, hornblend, opak min.	Plajiyoklaz, ortoklaz, mikroklin, biyotit, hornblend, opak min.
Tali Mineral İçeriği	Titanit, apatit, rutil, zirkon		Titanit, pirit, ortit, apatit, rutil, zirkon
Bozunma	Killeşme, kloritleşme, serisitileşme	Magmasal uralitleşme, sossuritleşme	Epidotlaşma, kloritleşme, karbonatlaşma, sersitileşme, killeşme

Demirköy monzograniti, eş taneli kristallerden oluşmakta olup feldispatları kısmen serisitileşmiş ve killeşmiş; mafik mineralleri ise kısmen kloritleşmiştir (Şekil 5).

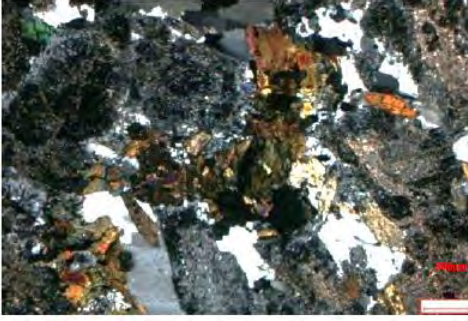


Şekil 4. Demirköy monzograniti genel dokusuna ait XPL görüntüsü



Şekil 5. Demirköy gabrosu genel dokusuna ait XPL görüntüsü

Her iki kaya grubunda yersel olarak tektonik etkiler gözlenirken İkiztepe Granitoidi kayalarında tektonizma etkisi belirgin ve olağandır. Kısmen yönlenme kazanmış kalıntı doku gösteren İkiztepe Granodiyoritinde yoğun epidot yığışmaları kayaca karakteristiği olan fıstık yeşili rengini kazandırmaktadır (Şekil 6). Feldispatlarda yoğun serisitileşme ve killeşme hakimdir. Kayaç içindeki süreksizlikler boyunca epidot yığışmalar ve kuvars damarları söz konusudur. Mafik minerallerde karbonatlaşma, kloritleşme ve epidotlaşma belirgindir. Diğer iki kaya grubuna oranla bol ve iri taneli titanit kristali içermektedir.



Şekil 6. Demirköy gabrosu genel dokusuna ait XPL görüntüsü

3.3 Jeokimya

Kayaçların, ortalama anaoksit analiz değerleri Tablo 2’ de verilmiştir. SiO₂ içerikleri benzer şekilde felsik karakterli Demirköy ve İkiztepe Granitoidinde % 60 – 66 civarında gözlenirken mafik karakterli Demirköy gabrosu %45 – 50 aralığında yer alır. Ateşte kayıp değerleri % 0.3 - 1.5 arasında gözlenmiş olup analiz edilen kayalarda genel olarak bozunma ve alterasyon etkisi gözlenmemektedir. Al₂O₃ içeriği % 15 – 22 arasında ve Fe₂O₃ % 3 – 10 aralığında değişmektedir.

Tablo 2. Çalışma kapsamındaki kayaçların ortalama anaoksit değerleri

	Demirköy Granitoidi	Demirköy Gabro	İkiztepe Granitoidi
Na ₂ O	3,67	3,15	4,0
MgO	2,04	3,45	1,7
Al ₂ O ₃	15,31	21,94	15,7
SiO ₂	67,23	49,80	66,0
P ₂ O ₅	0,13	0,08	0,2
K ₂ O	5,43	0,93	3,4
CaO	2,53	10,18	3,4
TiO ₂	0,36	0,5	0,5
MnO	0,03	0,14	0,1
Fe ₂ O ₃	2,21	7,22	3,1
LOI	0,4	0,5	1,50

Tüm kayalar subalkalen alana düşmektedir. İki granitoid kaya grubu da kalkalkalen, peralumina - metaluminalı özellikler sergilemekteyken gabro kayası ise toleyitik

alana düşmektedir. Kayalar genel olarak, kabuksal etkileşimli volkanik adayı kökenli kayaları temsil etmektedir.

3.4 Fiziko-mekanik özellikler

Kayalara ait belirlenen fiziko-mekanik özellikler Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Çalışma kapsamındaki kayaçların fiziko-mekanik özellikleri

Özellik/ ÖrnekAdı	Demirköy Granitoid	Demirköy Gabro	İkiztepe Granitoid	
Sertlik Hardness	Mohs	3	3	6.5
	Schmidt	74	75	71
Yoğunluk Saturated Unit Weight (g/cm ³)	2.68	2.71	2.69	
Birim Hacim Ağırlığı Unit Volume Weight (g/cm ³)	2.72	2.73	2.70	
Kuru Birim Ağırlığı Dry Unit Weight (g/cm ³)	2.69	2.72	2.69	
Tek Eksenli Basınç Direnci Compressive Strength (kgf/cm ²)	1.565	1.620	1.550	
Eğilme Direnci (kgf/cm ²)	220	218	224	
Porozite Porosity (%)	0.24	0.18	0.25	
Ağırlıkça su emme Water Absorption by Weight (%)	0.23	0.17	0.20	
Nemlilik Humidity (%)	0.21	0.21	0.23	
Renk Color	Gri	Yeşilmsi sıvah	Yeşil	
Doluluk Oranı Ratio Fulness (%)	98.99	99.00	98.90	
Aşınma Kaybı 1000devir (%)	20.87	16.20	19.20	
Donma Dayamlıklık (MgSO ₃) (%)	13.13	10.12	14.11	
Kenar, Köşve Cila alma	Çokiyi	Çokiyi	Çokiyi	
Makro Görünümü				
Kullanım Alanı	Dış ve iç mekan kaplamaları	Dış ve iç mekan kaplamaları	Dış ve iç mekan kaplamaları	
KayaçAdı	Monzogranit	Gabro	Epidotlaşmış granit	

Kayaçların yoğunluğu 2.68 – 2.72 arasında değişirken 2.70 – 2.73 arasında değişen birim hacime sahiptir.

Sert doğal taşlar grubunda yer alan her üç kaya grubu basınç direnci açısından da oldukça güçlü kaya grubu içinde yer almaktadır. Eğilme direnci değerleri yakın

olup 218 – 224kgf/cm² arasında değişmektedir. Porozite, ağırlıkça su emme ve nemlilik oranı düşüktür. Doluluk oranı kaya grupları arasında 98.90 – 99 arasında değişmektedir. Aşınmaya karşı gabro kayası en dirençliyen genel olarak hepsi direnç göstermektedir. Donma dayanaklılığı %10.12 – 14.11 arasında değişmektedir. Tüm kayalar çok iyi derecede kenar, köşe ve cila alma özelliğine sahiptir.

Fiziko-mekanik özellikleri açısından değerlendirildiğinde üç kaya grubu da dış ve iç mekan kaplamalarında kullanıma uygundur.

4 SONUÇLAR

Bu çalışmada KB Türkiye’de Kırklareli ili Demirköy ilçesi çevresinde magmatik sokulum kayalarının mermer sektöründe kullanılabilirliğini ortaya koymak üzere yapılmıştır.

Çalışma sonucunda renk, doku ve yapısal konum açısından 3 farklı kaya grubu belirlenmiştir. Bunlar gri renkli ince dokulu Demirköy Granitoyidi, koyu gri renkli ince dokulu Demirköy Gabrosu ve fıstık yeşili renkli orta kristalin İkiztepe Granitoyidi şeklinde adlandırılmıştır. Her 3 kaya grubu fiziksel ve mekanik test sonuçlarına göre iç ve dış mekanlarda kaplama ve dekoratif amaçlı kullanılabilirliklerini göstermektedir.

Demirköy Granitoyidi başlıca kuvars ve feldispat içermesinden dolayı kaya gri renkli olup az oranda anklav içermesinden dolayı ise homojen sayılabilecek bir doku özelliğine sahiptir. Kaya içerisinde ikincil mineral olan ve daha çok %1 altında gözlenen klorit, epidot ve kalsitin makroskobik ölçekte kayanın renk ve de dokusal özelliğini etkilemediği gözlenmiştir. Demirköy Granitoyidi içerdiği kimyasal bileşiminden dolayı kalkalkalen magmatik karakterlidir. FeS ve FeOOH ihtiva eden mineral içermemesinden dolayı kayada paslanma ve paslanmaya neden olan ikincil bir bileşim içermediği ortaya konulmuştur. Kayanın toplam anaokisit değerlerine bakıldığında taze, daha çok birincil minerallerden

oluştugu ve ateşte zayıf miktarının düşük olduğu belirlenmiştir.

İkinci grubu oluşturan gabroyik kayalar ise koyu gri-siyah renkli, başlıca piroksen, amfibol ve labrador-bitovnit minerallerinden oluşmasından dolayı kaya koyu renk tonuna sahiptir. Amfiboller mikroskop altında çok az oranda kloritleşme, piroksenler ise yine az oranda uralitleşme göstermelerine rağmen bunlar kayanın koyu renk tonunda bir değişime neden olmamıştır. Bununla birlikte kayanın içermiş olduğu feldispatların taze görünümlelerinden dolayı iyi derecede cila tutma özelliği kazanmalarına neden olmuştur. Gabrolar içermiş olduğu kimyasal bileşiminden dolayı toleyitik magma karakterlidir. Bununla birlikte ateşte zayıf miktarının düşük olması killeşme, karbonatlaşma ve epidotlaşma gibi bozuşmaların oldukça az olmasından kaynaklanmaktadır. Pirit ve hidrobiyotit gibi FeS ve FeOOH minerallerinin olmayışı nedeniyle kayalarda paslanmaya neden olan bir unsur görülmemektedir.

Çalışma sahasının en ilginç kayasını oluşturan İkiztepe Granitoyidi; fıstık yeşili renkli ve heterojen görünümlüdür. İkiztepe granitoyidi ana minerallerinin (kuvars, ortoklaz, plajiyoklaz, amfibol, biyotit) yanında epidot, ikincil olarak en az %10 oranında kaya içerisinde gözlenmektedir. Fıstık yeşili renginde olan epidotlar kimi yerde plajiyoklaz ve amfibollerin bozuşmasıyla ornatlama yoluyla yer aldığı kimi yerde ise kırık çatlaklar boyunca kılcak damarlar şeklinde gelişen çatlakların doldurulmasıyla kristalleştikleri görülmektedir. Her iki durumda da kayaya fıstık yeşil rengi vermekte ve heterojen bir doku özelliği de kazandırmaktadır. İkiztepe Granitoyidinin kimyasal bileşimi kalkalkalen magma karakterli ve kabuk kökenli plütonik bir kayayı temsil etmektedir. İçermiş olduğu epidot minerallerinden dolayı diğer gruplardaki kayalara göre ateşte zayıf miktarı %1 üzerinde gözlenmektedir. Bu granitte % CaO değerinin yüksek oluşu yine içermiş olduğu fazla orandaki epidottan kaynaklanmıştır. Epidotlar, gerek minerallerin ornatlanması gerekse kırık çatlakların içerisini boşluksuz olarak

doldurmasıyla iyi derecede cila alma ve dekoratif görünümlü özelliktedir.

Yapılan jeolojik ve derin yapısal incelemelerine göre en az %25 oranında bir verim sergiledikleri ve üretimde rezerv sorunları olmadıkları belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Aydın Y. 1982. Yıldız Dağları (Istranca) Masifi'nin jeolojisi. Docentlik tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 106 s.
- Aydın Y. 1988. Yıldız Dağları Masifi'nin Jeolojisi. Selcuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi., 2, 61-74.
- Ayhan A., Dincel A. ve Tuğrul Y. 1972. Istranca Masifinin (Yıldız Dağları) jeolojisi: MTA Derleme No. 5130
- Aykol, A. 1979. Kırklareli-Derekoy sokulumunun petrolojisi ve jeokimyası: İTUMaden Fakültesi Docentlik Tezi, 180 s.
- Aykol, A. ve Tokel, S. 1991. The geochemistry and tectonic setting of the Demirkoy Pluton of the Srednogorie – Istranca granitoid chain, NW Turkey, Mineralogical Magazine, 55 (379), 249-256.
- Cağlayan, M.A. ve Yurtsever, A. 1998. Burgaz-A3, Edirne-B2 ve B3; Burgaz-A4 ve Kırklareli-B4; Kırklareli-B5 ve B6; Kırklareli-C6 Paftaları, 1:100 000 ölçekli acınsama nitelikli Türkiye jeoloji Haritaları, No: 20, 21, 22, 23. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2017. <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Dogal-Taslar>
- Iğdır, İ. ve Acar, H.B. 1978. Kırklareli – Demirkoy (Sivriler – İkiztepe – Korutepe -Şukrupaşa) jeolojisine ait rapor. MTA Corlu Bolgesi Derleme No. 168
- Okay, A.I., Tuysuz, O., Akyuz, H.S., 1995. Istranca Masifi'nin batı kesiminin jeolojisi ve tektoniği. 108 s., TPAO Arama Grubu Rapor No. 3521.
- Okay, A. I., Satır, M., Maluski, H., Siyako, M., Metzger, R. ve Akyuz, H.S. 1996. Paleo-and Neo-Tethyan events in northwest Turkey: Geological and geochronological Constraints. Yin, A. ve Harrison, T.M., eds. Tectonic Evolution of Asia: 420-441.
- Okay, A. I. ve Tuysuz, O. 1999. Tethyan sutures of northern Turkey. In: Durand, B., Jolivet, L., Horvath, F. Serrane, M (ed). The Mediterranean Basins Tertiary Extension within the Alpine Orogene. Geological Society, London, Special Publications, 156, 475-515.
- Okay A. and Yurtsever, A. 2006. Istranca masifinin metamorfik kaya birimleri ile metamorfizma sonrası Kretase kaya birimleri. Trakya Bolgesi Litostratigrafi birimleri, stratigrafi komitesi litostratigrafi birimleri serisi -2, MTA Genel Müdürlüğü yayımları, s. 1 – 41.
- Ulusoy E. 2012. Demirköy (Kırklareli) intrüzif kayaçlarının jeolojisi ve petrolojisi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enst. 135
- Uşumezsoy, Ş., 1982. Istranca masifinin petrojenetik evrimi, İst. Univ. Yerbilimleri Fak. Doktora tezi. 94 s.

Yurtsever, A., İmik, M., Özcan, İ., Arda, A. ve Cağlayan, M. A. 1993. Yıldız Dağları (Istranca Masifi) nin Jeolojisi. MTA Genel Müdürlüğü, Rapor No. 9929

Yeniceköy, Sefaköy, Uyuzhamamı ve Hamamköy (Emet-Hisarçık/Kütahya-Türkiye) Yöresindeki Travertenlerin Mineralojik ve Petrografik Özellikleri

Mineralogical, and petrographical properties of the travertines at the Yeniceköy, Sefaköy, Uyuzhamamı, and Hamamköy (Emet - Hisarçık / Kütahya-Turkey)

Y. Kibici, M. Demirbilek, G. Yanık, C. Özkul, H. Karakuş, İ. Aksoy, E. Zengin, R.U. Acar

Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kütahya

ÖZET Emet (Kütahya) yöresindeki Neojen yaşlı sedimanlar Neojen öncesi temel kayalar üzerinde uyumsuz olarak uzanır. Teras malzemeleri, traverten ve alüvyondan oluşan Kuvaterner yaşlı birimler Neojen sedimanlarını diskordan olarak örter. Emet bölgesindeki traverten oluşumları yatay konumda ve çoğunlukla tabakalı yapıdadır. İnceleme alanının kuzeyinde, Boyut ve Beştaş ocak işletmelerinin tabanında yer alan yatay konumlu travertenler yanal geçişlidir. İnceleme alanındaki krem, sarımsı kahve, kırmızı-sarı, pembemsi ve kirli sarı renkli traverten oluşumları Emet ve Hisarçık arasında bor işletmelerinin üst seviyelerinde yaygındır. Emet basenindeki tüm travertenlerde kalsit egemen mineral olarak bulunur. Dolomit, nadir olarak bulunur. Traverten katışıksız ve ince taneli olduğunda beyaz renkli olmasına karşın, içerdikleri safsızlıklardan dolayı da kahverenginden sarıya kadar renkli olabilir. Altere olmuş travertenlerin XRD analizlerinde; dikit, hektorit, montmorillonit ve illit saptanmıştır. İlave olarak; kuvars, albit ve mika mineralleri (biyotit, serisit), demir mineralleri (limonit, hematit, götit), rutil, silvin, fluorit tanımlanan kil minerallerinin dışında belirlenen diğer minerallerdir.

ABSTRACT Emet (Kütahya) Neogene basin is related to the Tavşanlı - Afyon zone. The Neogene lacustrine sediments unconformably overlie the Pre-Neogene basement complex. Quaternary aged units consisting of terrace materials, travertine and alluvium discordantly cover the Neogene sediments. Travertine sequences are formed mostly of horizontally bedded travertine at the Emet area,. The horizontally bedded travertines at the basement pass gradually, north of the present area, in the Boyut and Beştaş travertine quarries. Travertine occurrences area are widespread between Emet and Hisarçık. The upper levels of borate sequences have cream, yellowish brown, red-yellow, pinky and dirty yellow colored travertine. Calcite is the dominant mineral found at all travertines in the Emet Basin. Dolomite is rarely found in travertine. When pure and fine, travertine is white, however it is brown to yellow due to impurities. Dickite, hectorite, montmorillonite, and illite are the clay minerals that are detected in the X-ray diffraction pattern of the alteration samples. In addition, quartz, albite, and mica minerals (biotite and sericite), iron minerals (limonite, hematite and goethite), rutile, silvite and fluorite were also identified as non-clay minerals.

1. GİRİŞ

İnceleme alanının yeri, Kütahya ili sınırları içerisinde bulunan inceleme alanı; 1/25.000 ölçekli Kütahya J₂₂ - A₂ ve Kütahya J₂₂ - A₃ paftalarında yer alan Emet ilçesi ve civarındadır.

İnceleme sahası oldukça engebeli olup Emet ilçesinde rakım 850 metre civarındadır. Yaklaşık K-G doğrultusunda bir ova şeklinde uzanan inceleme alanı batı ve güneyden yüksek tepelerle çevrilmiştir. Doğudan batıya

ve kuzeyden güneye doğru dereceli olarak yükselerek engebeli bir topografya kazanmaktadır.

Emet-Hisarçık (Kütahya) arasında yer alan ve Emet grabenini sınırlayan yaklaşık K-G doğrultulu fayların kenar kısımları jeotermal enerji ve traverten oluşumu açısından önemi çok büyüktür. Kütahya ili içindeki jeotermal sahaların dağılımı dikkate alındığında, bu sahaların Simav, Kütahya ve Emet grabenlerinde yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 1).

Yüksek sıcaklıklı Eynal, Naşa, Çitgöl ve Abide sahaları Simav Grabeni'nde yer alırken Kütahya ve Emet grabenlerinde göreceli olarak daha düşük sıcaklıklı sahalar bulunmaktadır. Bölgedeki sıcak su alanlarına bağlı olarak ta, özellikle Emet grabeninde önemli derecede traverten oluşumları da yer almaktadır. Özellikle Emet baseninin yaklaşık kuzey kesiminde önemli sayılabilecek ve halen işletilen düzeyde traverten oluşumları yer alır. Bu çalışmada; Bilimsel Araştırma Projesi (BAP, 2012-10) kapsamında inceleme alanındaki travertenlerin oluşumu, mineralojik ve petrografik özellikleri detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1 Materyal

Emet (Kütahya) grabeni/baseni içinde batıda, yaklaşık K-G doğrultulu kenar fayı boyunca yer alan ve termal kaynakların oluşumuyla ilişkili tufaların ve özellikle travertenlerin oluşumlarına ilişkin mineralojik ve petrografik araştırmalar çalışmanın temelini oluşturur. İnceleme alanında, Kütahya ili sınırları içerisindeki Emet - Hisarçık ilçelerini birbirine bağlayan karayolu güzergahına yakın 15 km. lik hat boyunca yaklaşık 60 km² lik bir alanı kapsamaktadır. Bu alanda 1/25.000 ölçekli jeolojik haritanın revize edilmesi ve bu harita üzerinde yer alan inceleme alanından alınan yaklaşık 100 adet traverten örneğinin mikroskobik incelemeleri araştırmanın amacı kapsamındadır.

2.2 Yöntem

Bu araştırma; literatür incelemesi, arazi çalışması, laboratuvar çalışması (mineralojik

ve petrografik incelemeler), yorumlama ve proje yazımı olmak üzere başlıca 4 bölümde gerçekleştirilmiştir.

2.2.1 Literatür araştırması

Bildiri metnine konu olan inceleme alanı ve yakın çevresi ile ilgili olarak daha önce gerçekleştirilmiş olan araştırmaların ayrıntılı literatür taraması yapılarak bildirinin kaynaklarının yazılmasında yararlanılmıştır.

2.2.2 Saha çalışmaları

İnceleme alanında yaklaşık 60 km² lik alanda kısmi olarak jeolojik harita çalışmaları gerçekleştirilmiş ve özellikle bölgede yayılım gösteren Neojen sedimanları ile yine bölgede etkin olan magmatizma (*plütonizma* ve *volkanizma*) ve Kuvaterner (özellikle traverten) birimlerinin litolojik, yapısal ve ortamsal özellikleri incelenmiş, birbirleriyle olan dokanak ilişkileri araştırılmıştır. Özellikle de; 5 ayrı lokasyonda yer alan travertenlerden sistematik örnekleme yapılmıştır.

2.2.3 Laboratuvar çalışmaları

Traverten oluşumlarının yüzeylendiği alanlardan sistematik olarak alınan örneklerin mineralojik ve petrografik incelemeleri sonucu yapısal ve dokusal özellikleri Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü araştırma laboratuvarında bulunan *Nicon Eclipse LV 100 POL* marka polarizan mikroskopta gerçekleştirilmiş olup, gerekli görülen ince kesit örnekleri fotoğraflanmıştır.

2.2.4 Yorumlama ve bildiri yazılımı

Bu aşamada, önceki çalışmalar esas alınarak daha önceki çalışmalarda yapılmış jeoloji haritaları çok az değişiklikle yeniden hazırlanmıştır. Arazi çalışmaları sırasında elde edilen veriler ile laboratuvarlarda sağlanan çıktılar beraberce yorumlanmış, açıklayıcı şekil, arazi fotoğrafları ve mikroskop resimleri ile desteklenmiştir.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

3.1 Travertenlerin Oluşumu ve Kökeni

İnceleme alanındaki traverten oluşumunda beyaz, krem, sarı, turuncu, kırmızı ve kahverenkli ince mikritik ve kalın sparitik laminalı seviyelerin araldanması ile oluşan stalagmitik doku ve bantlı yapı gelişimi mevsimsel değişimleri işaret etmektedir. Pentecost (2005) yaptığı çalışmasında da traverten oluşumlarındaki laminalı seviyelerin mevsimsel çökelimleri işaret ettiğini belirtmiştir. Araştırmacı laminalı traverten oluşumlarındaki mikritik karbonat düzeylerinin bahar ve yaz mevsimlerinde, sparitik seviyelerin ise kış döneminde oluştuğunu ifade etmiştir. Buna göre, bölge yapılan saha gözlemleri ve petrografik incelemeler ile belirlenen mikritik, asikuler liflerin izlendiği seviyeler bahar veya yaz mevsiminde oluşmuştur. Buna karşın, sparit ve spar kalsit kristalleri ise kış mevsiminde çökelmişlerdir (Kökçü, 2007).

Traverten oluşumunda belirlenen asikuler lifsi, prizmatik kalsit kristallerinin tane şekli, boyutu ve çökelim miktarı; çökelim esnasındaki su sıcaklığı, çözelti içerisindeki kalsiyum, karbondioksit oranı, hidrostatik basınç, topoğrafya, mikroorganizma etkinliği ve iklim koşulları ile kontrol edilmiştir Holland & Malinin (1979).

İnceleme alanındaki traverten oluşumunda mikroorganizmalar fotosentez yoluyla ortamdaki CO₂ i tüketmekte dolayısıyla su basıncını düşürmektedir. Bu durum aynı

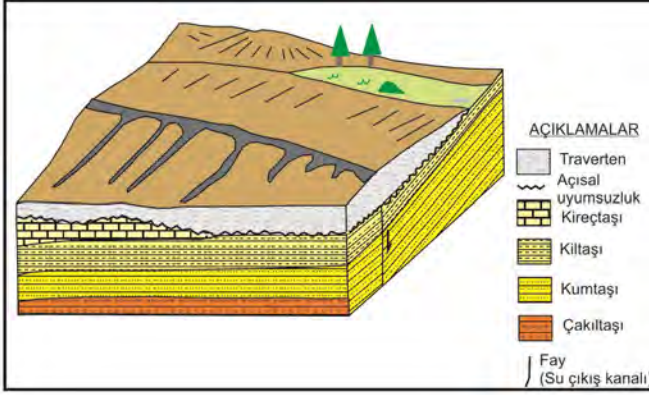
zamanda ortamın pH ını düşürerek bazik olmasını sağlamakta ve bunun sonucunda da CaCO₃ çökmesine neden olmaktadır. Ayrıca mikroorganizmalar doğrudan CaCO₃ üreterek parçaları birbirine tutturma işlevi de görürler. Mikroorganizmalar (bakteriler), CaCO₃ çökelimine doğrudan yada kırıntıları birbirine tutturarak veya ortamdaki CO₂ i kullanıp pH'ı düşürerek katkıda bulunur (Kökçü, 2007).

İnceleme alanımızdaki traverten oluşumunda belirlenen çalı tipindeki kristal gelişimi de biyojenik faaliyetin bir sonucudur. Ayrıca, bu tür kristal gelişimi sıcak su kaynaklı traverten oluşumlarını işaret etmektedir (Atabey, 2003). Bölgede traverten oluşumunun yaygın olduğu travertenler için gerekli iyonlar; fay ve çatlaklar boyunca yükselen ve temele ait karbonatlı kayalardan sağlanan kalsiyumca zengin sıcak su kaynaklarından sağlanmıştır.

İnceleme alanındaki travertenlerin kuzeyden güneye doğru gençleşmesiyle birlikte, yapı ve dokusunda da önemli değişiklikler oluşmaktadır. Tabaka tipi travertenleri oluşturan kaynak suları, genellikle yüksek debiye sahip kalsiyum bikarbonatlı sulardır. Kaynaktan çıkan sular yataya yakın veya yatay konumdaki topografya üzerinde geniş olarak yayılır ve yatay olarak çökeler. Böylelikle çökelimler düzgün bir şekilde tabaka oluşturur (*Şekil 2 ve Şekil 3*).



Şekil 1. İnceleme alanının yer buldurular haritası (Karakuş vd., 2013)



Şekil 2. Emet Travertenlerinin morfolojik sınıflandırması (Kibici, 2012)

3.2 Genel Jeoloji

İnceleme alanı içinde yer alan Emet (Kütahya) Neojen baseni Ege Bölgesi'nin doğu kısmında bulunur. K-G doğrultusunda uzanan Emet Baseni graben şeklinde olup, Batı Anadolu'daki Neojen basenlerine çok benzerlik göstermektedir. İnceleme alanında Emet'in güneyinde Emet grabeni boyunca uzanan 5 ayrı lokasyonda yüzeylenen travertenlerin (K-G doğrultusunda; Boyut Mermer sahası - Beştaş Mermer sahası - Yeniceköy - Hamamköy - Sefaköy) yakınında bulunan fay ile sıcak su kaynaklarının (Termal suların) bulunuşu da bu görüşü desteklemektedir (Şekil 4). Bu basende

oldukça geniş alanlarda sedimanter birimler yer alır. Basenle ilişkili graben sistemine bağlı K-G doğrultulu Emet fayı boyunca değişik periyotlarda traverten ve tufa oluşumları ayrılanmaktadır (Şekil 5).

İnceleme alanının batı ve güney kesiminde mostra veren Paleozoyik yaşlı temel kayaları Akdeniz & Konak (1979) tarafından çalışılmış ve ayrılanmıştır. Değişik yaş ve litolojilerle temsil edilen bu birimler, çalışma konusu dışında kaldıkları için kendi içlerinde ayrılanmamış, genel özellikleri saptanmıştır. Paleozoyik yaşlı birimler; Kürtköyü ve Yeniköy formasyonları tarafından açılal

diskordansla aşmayla örtülmektedir (Üstün, 2008).

Mesozoyik yaşlı birimler; tabanda çok düşük dereceli metamorfizma etkisi taşıyan silttaşı- şeyl - kireçtaşı ile başlayan ve dolomitize kireçtaşı- kireçtaşı seviyeleriyle devam eden, ayrışma yüzeyi gri - krem - grimsi beyaz renkli, taze kırık yüzeyi gri renkli Budağan kireçtaşı ile temsil edilir. Silttaşı- şeyl düzeyleri, kahvems krem renkli ve ince yapraklanmalıdır. Birim, Erken Miyosen yaşlı Kürtköyü ve Yeniköy formasyonları tarafından açılı diskordansla örtülmektedir.

İnceleme alanında, Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı birimleri açısız uyumsuzlukla örten Senozoyik; Tersiyer yaşlı intrüzyonlar, volkanik kayalar, karasal çökeller ve Kuvaterner yaşlı kırıntılılar ile temsil edilmiştir. Karasal ve görsel fasiyelerde gözlenen Neojen çökelleri geniş temel dağ kütleleri ile birbirinden ayrılmış veya sınırlı ilişkili Neojen öncesi topoğrafya ve yapısal çukurluklarda çökelmişlerdir (Gün vd., 1979). Küçük çökelim çanaklarının uzanımı temel dağ kütlelerinin uzanımına bağlıdır. Bölgede alan içerisinde geniş temel dağ kütleleri ile birbirinden kısmen ayrılmış bir çok küçük havza yer almaktadır (Akbulut vd., 1985).

İnceleme alanında Geç - Erken Miyosen ile Erken - Orta Miyosen zaman aralığında oluşan sedimanter ve volkanik kayaç birimleri yer alır. Literatürde Neojen dönemindeki magmatik evrim, Neojen plütonizması ve Neojen volkanizması olarak tanımlanmıştır (Üstün, 2008). İnceleme alanında yer alan Neojen öncesi temel birimleri üzerine açılı uyumsuz olarak gelen ve Neojen istifinin tabanında oluşan alüvyal birimler Kürtköyü Formasyonu olarak belirtilmiştir. Bu formasyon ilk kez Ercan vd. (1978) tarafından adlandırılmıştır. Ercan vd. (1978), Kürtköyü formasyonu için Erken Miyosen yaşını belirlemişlerdir. Gün ve diğ. (1979), birimin karşılığı olan detritiklerin Orta Miyosen yaşında olduğunu ön görmüşlerdir. Akdeniz ve Konak (1979), Günay vd. (1986), Kürtköyü formasyonunun yaşını, yaptıkları bölgesel korelasyonlara göre, Erken (?) - Orta Miyosen olarak ileri sürmüşlerdir.

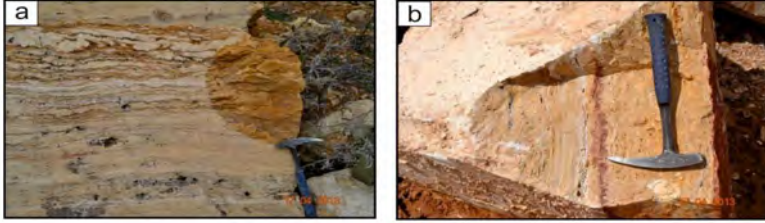
Yeniköy formasyonu; Kürtköyü formasyonunu oluşturan alüvyon yelpazesi çökellerini, uyumlu ve geçişli bir dokanakla üstler. İnceleme alanında en geniş yayılıma sahip olan Yeniköy formasyonu'na ait görsel çökellerin içinde ve üzerinde yer alan ve değişik lavlardan oluşan volkanik kayalarla temsil edilen Akdağ volkanitleri geniş bir yayılım sunmaktadır. Birimin adı, Akdeniz ve Konak (1979) tarafından verilmiştir. Bazaltlarla ilişkin olarak bölgede yapılan eski çalışmalarda Akdağ volkanitlerinin içinde yer aldığı görsel istif için kabul edilen yaşlara göre; Orta Miyosen ile Geç Miyosen aralığında değişen yaşlar öngörülmüştür (Üstün, 2008). Yeniköy formasyonu alüvyal Kızılyar formasyonu tarafından uyumsuzlukla örtülür. Bu formasyon Erken Miyosen birimleri üzerine uyumsuzlukla gelir. Formasyon adı ilk kez Yüküncü (2007) tarafından kullanılmıştır.

Kuvaterner yaşlı travertenler; kahverengi, dalgalı kaba lamine, boşluklu, kalın katmanlı kireçtaşlarıdır. İçlerinde bitki sapları, kum ve küçük çakıl içerikleri olağandır. Pliosen volkanizması sonrası havzada oluşan çatlaklardan sızan sıcak sular travertenleri oluşturmuşlardır (İlhan, 2006. Üstün, 2008). Günümüzde de oluşumları yer yer devam eden bu travertenlerin oluşumuna neden olan termal kaynaklar Sefaköy, Uyuzhamamı ve Hamamköy'de aktif halde bulunmaktadır. İnceleme alanı içindeki jeotermal sahalar ile bu sistemlere bağlı olarak oluşan traverten sahaları KB-GD uzanımlı Akşehir-Simav Fay Zonu'na (ASFS) ait yapısal unsurlar denetiminde gelişmiştir.

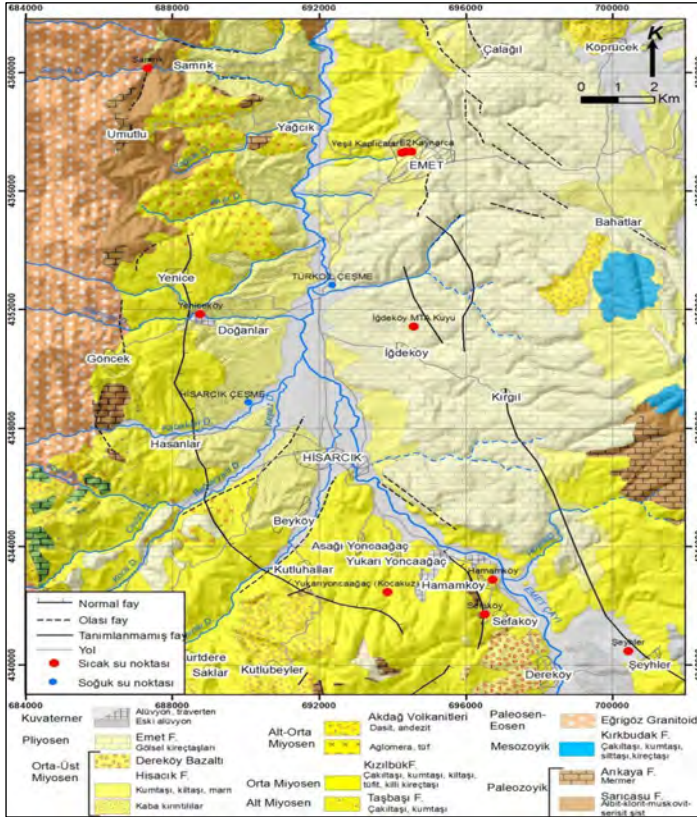
Emet basenindeki travertenler, K-G fay hattı boyunca, kuzeyden güneye doğru; Boyut - Beştaş - Yeniceköy - Sefaköy ve Uyuzhamamı şeklinde 5 ayrı lokasyonda oluşmaktadır. Emet fayı yaklaşık 15 Km. uzunluğundadır. Boyut ve Beştaş traverten açık ocaklarında kalınlık 25 metre ila 60 metre arasındadır. Hem Yeniceköy hem de Sefaköy yöresinde güncel traverten oluşumları bulunmaktadır. Bazı kesimlerinde özellikle Hisarçık kuzeyinde bol pizolit ve onkolit oluşumları ile bitki sap - dal kaplamaları gözlenmektedir (Şekil 5)

İnceleme alanında mostra veren travertenler, genelde grimsi sarı - kahvemsı sarı renge sahiptir. Bu traverten oluşumlarında farklı renk ve kalınlıklarda ve de ince karbonat laminasyonları şeklinde izlenmektedir (Şekil 3). Günümüzde terk edilmiş durumda olan

Beştaş ocağı ile halen aktif durumda olan Boyut traverten ocakları yer almaktadır (Şekil 6). Akarsu yataklarının içerisinde kalan blok, çakıl, kum, silt ve kilden oluşmuş sedimanlardan oluşan *aluyyon birimi* günümüzde de meydana gelmektedir.



Şekil 3. Emet baseninde Boyut traverten ocağında tabaka tipi travertenler (Kibici, 2012)
a. Tabaka tipi traverten (*breşik*) b. Tabaka tipi traverten (*masif*)



Şekil 4. Emet ve Hisarcık ilçeleri içindeki jeotermal alanlar ve bölgenin jeoloji haritası
(MTA 1/100.000 ölçekli Kütahya J22 jeoloji haritasından alınmıştır)

3.3. Emet – Hisarçık Yöresi Travertenlerin Petrografik Özellikleri

Travertenlerin petrografik özelliklerini belirlemek amacıyla sistematik olarak derlenen traverten örneklerine ait ince kesitler Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü araştırma laboratuvarında bulunan Nicon Eclipse LV 100 POL marka polarizan mikroskopta incelenmiş ve fotoğraflanarak farklı koşul ve zaman dilimi içinde oluşan travertenlerin mineralojik bileşimleri ve petrografik olarak da dokusal özellikleri ortaya konmuştur. Pizomikrit travertenlerde düzensiz boşluklar, onkoidal yapılar ve pizolitik taneler oluşur.

Bununla birlikte, inceleme alanındaki traverten oluşumunda farklı renk ve kalınlıklarda belirlenen ve ince karbonat laminasyonları şeklinde izlenen seviyelerin stalagmitik dokuyu oluşturdukları mikroskobik incelemelerde belirlenmiştir (Şekil 7. c, d). Traverten ince kesitlerinde onkoidal yapılarla, kısmen pizolitik taneler görülür (Şekil 7. e, f).

İnceleme alanındaki traverten oluşumunda farklı renk ve kalınlıklarda belirlenen ve ince karbonat laminasyonları şeklinde izlenen seviyelerin stalagmitik dokuyu oluşturdukları mikroskobik incelemelerde belirlenmiştir.



Şekil 5. Emet / Hisarçık yolu üzerinde güncel tufa ve travertenler



Şekil 6. Boyut / Hürok Traverten ocağının genel görünüşü ve çıkarılan bloklar

Stalagmitik doku; genellikle mağaralarda oluşan ikincil mineral oluşumlarında izlenen doku olarak belirtilir (Braithwaite 1979, Pentecost 2005). Bazı çalışmalarda stalagmitik doku eş anlamı olarak speleothem olarak da adlandırılır.

Frisia vd. (2000, 2002), Pentecost (2005), Atabey (2003) yaptığı çalışmasında çalı benzeri kristallerin sıcak su kaynaklı travertenler oluşumları içinde üç tipte olduğunu ifade etmiştir. Bunlar; 1- bakteriyel çalılar, 2- kristal çalıları, 3- ışnsal kristal çalılarıdır. Bakteriyel çalılar düzensiz morfolojiye sahip olup kristalli yapı göstermezler. Kristallerde bakteriyel kökenlilere benzer ancak tamamen kristaldendirler. Işnsal kristal kabuk paralelden yelpaze şekline kadar değişir (Şekil 7. c, d, Şekil 11. a, b).

Kaba kalsit spar taneli olur. Yaygın olarak bakteriyel çalılardan büyüktür. Kaba spar içinde küçük mikrit bantları şeklindedir. İnceleme alanımızdaki traverten oluşumunda bu çalı tiplerinden bakteriyel çalılar, kristal çalı tipi gözlenmiştir. Işnsal çalılar gözlenmemektedir. Çökeltme yüzeyine dik gelişen, sedir ağacını andıran, lifsi kristalin kabuk yapısı gözlenmiştir (Şekil 7. c, d). Aynı kayaç dizileri içindeki biyojenik faaliyet altındaki çalılardır (Atabey 2003). Çalı benzeri formlar kristal özelliği göstermektedir. Yaprakları daha düz ve uzunlamasına gelişmiştir (Şekil 8. a, b, c, d). Santimetre ölçeğinde olan sparit kısımlar değişik oranda demir içerebilirler (Şekil 7. e, f, Şekil 8. e, f, Şekil 9. c, d, Şekil 12. c, d, e, f).

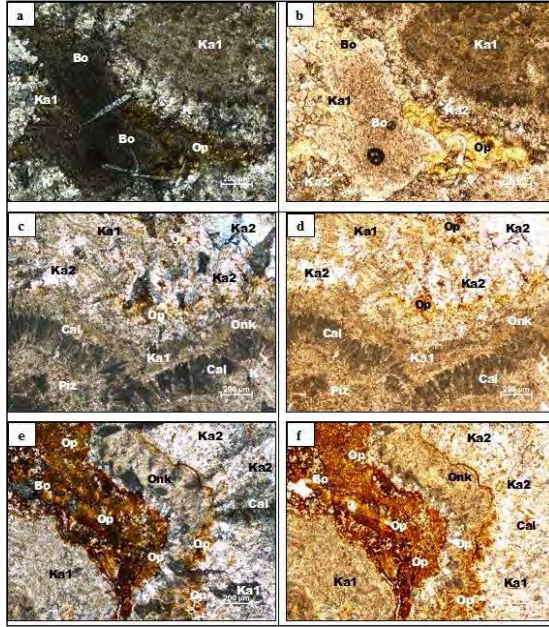
Traverten ince kesitlerinin çoğunda yukarı doğru genişleyen koyu renkli, mikritik çalı şekillerinin arasındaki boşluklar ikincil spari kalsitle doldurulmuştur (Şekil. 8, 11, 12).

Buna karşın bazı ince kesitlerde ise koyu renkli mikritik zeminler içerisinde adacıklar veya yamalar şeklinde benekli bir doku oluşturur.

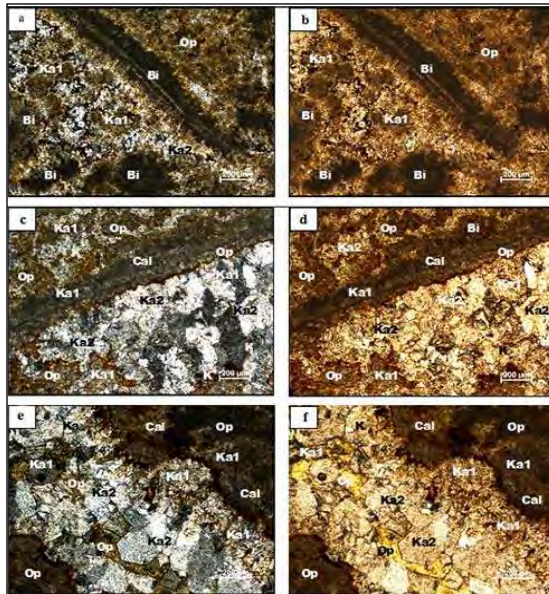
Benekli doku sunan çalı travertenleri içerisinde masif ve gevşek yapıları mikrit ayrılmıştır. Mikroskopik görüntülerde mikritik bölümler genellikle koyu renkli ve milimetre ölçeğindedir. Bu koyu renkli mikritik laminalar içinde yer yer erime boşlukları gelişmiştir (Şekil 11. c, d, Şekil 12. a, b).

Çökeltme yüzeyine dik gelişmiş, sedir ağacını andıran lifsi kristalin kabuk yapısının mikroskop görüntüsü söz konusudur. Çalı şekillerinin sıkı paketlenmiş durumlarda tümüyle pıhtılı yapıyı oluşturan mikritik alanlar görülür. Çalı tipi traverten, düşey yönde aşağıdan yukarı genişleyen, dendritik ya da çalı/bodur bitki şeklinde büyüme özelliği gösteren oluşumlardır. Alttan ve üstten daha koyu renkli mikritik ara seviyelerle sınırlanır. Dendritik sınırlar cyanobacteria (fotosentez yapabilen bakteriler) ile ilişkilendirilir (Şekil 12. c, d). Tümüyle öz şekilsiz olup bir kaç mikron boyunda mikritik tanelerden meydana gelmişlerdir. Chafetz ve Folk'a göre (1984) çalı düzeyleri bakterilerin çiçeklendiği, büyüdüğü bahar ve yaz dönemlerini, buna karşılık mikritik düzeyler ise büyümenin durduğu kış dönemlerini temsil eder. Bakteriyel kökenli çalı travertenleri günlük sıcaklık değerlerinin üzerinde ısınmış suların çökeltmiştir.

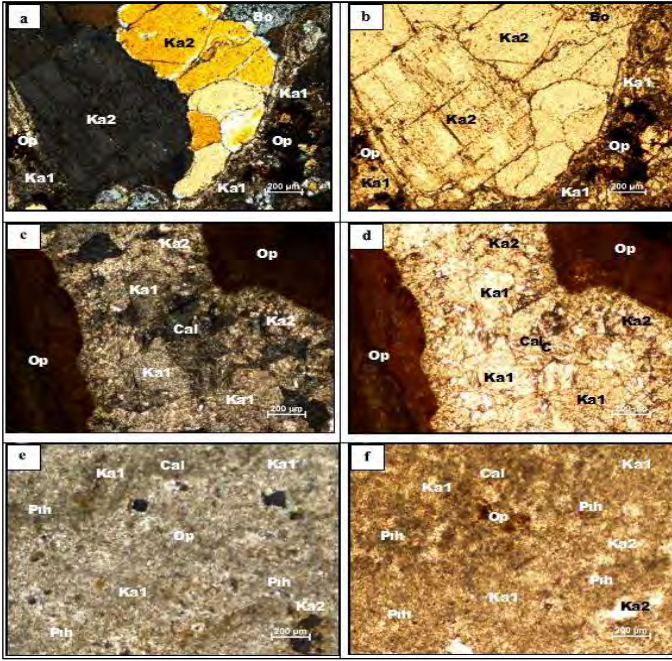
Uyuzhamamı Sefaköy ve yakın çevresinde oluşan travertenlerine ait örneklerin mikroskopik incelemelerinde; birincil kalsit (mikrit), ikincil kalsit (sparit), bitki kalıntısı, pıhtı dokusu içeriği ve diğer travertenlere göre oldukça boşluklu olan yapısı ayırtmandır (Şekil 13. a, b, c, d, e, f).



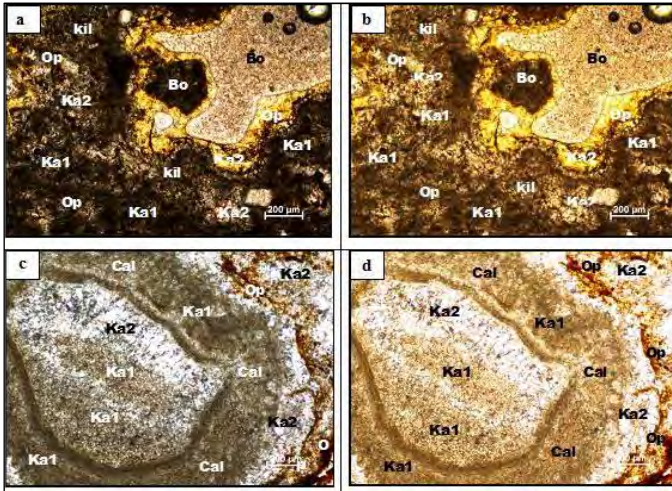
Şekil 7. Boyut 7 (a, b), Boyut 8.1 (c, d), Boyut 8.2 (e, f) nolu Traverten Örneklerinin Polarizan Mikroskopta Görünüşü



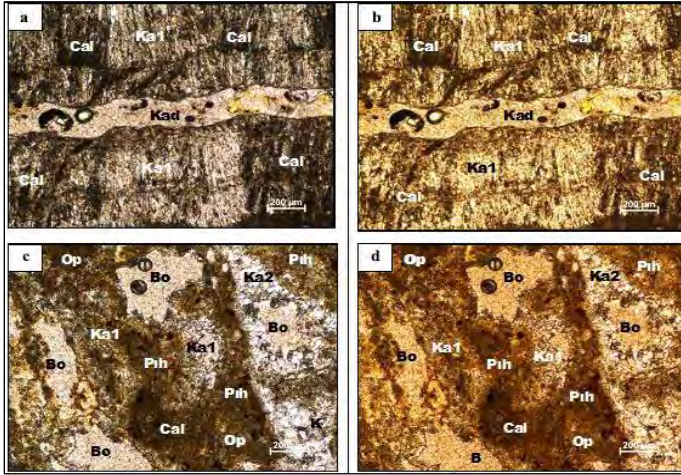
Şekil 8. Boyut 12 (a, b), Boyut 13 (c, d), Boyut 14 (e, f) nolu Traverten Örneklerinin Polarizan Mikroskopta Görünüşü



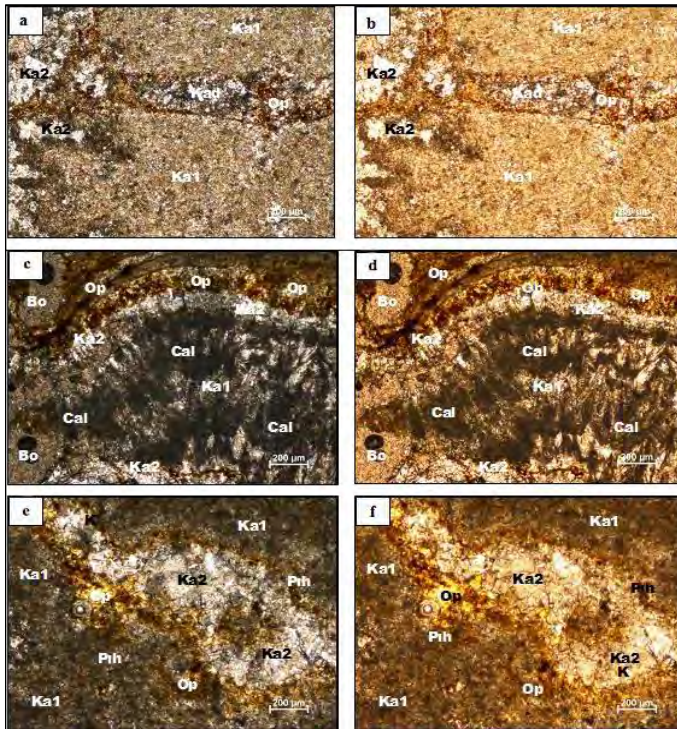
Şekil 9. Beştaş 1 (a, b), Beştaş 3 (c, d), Beştaş 4 (e, f) nolu Traverten Örneklerinin Polarizan Mikroskopta Görünüşü



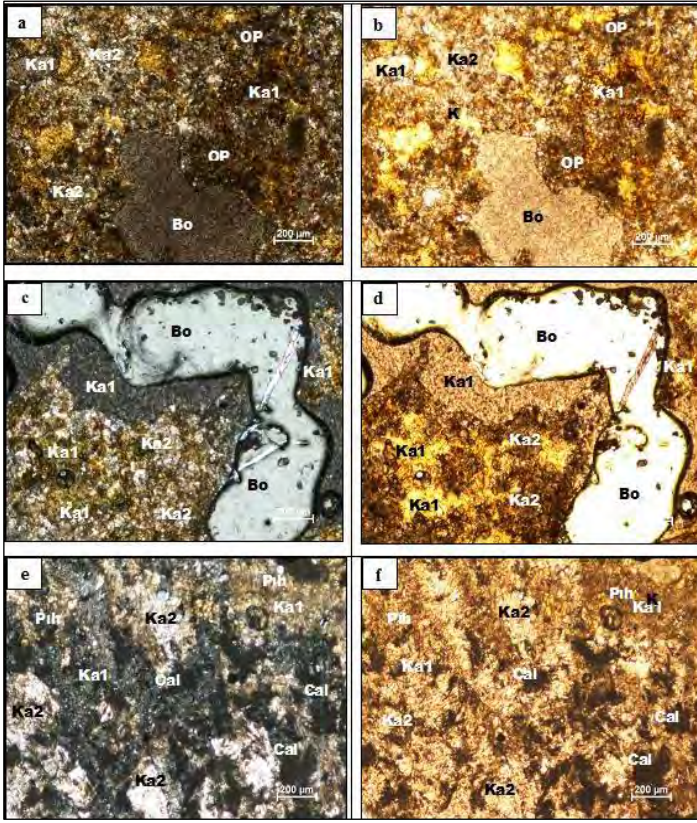
Şekil 10. Yeniceköy 5 (a, b), Yeniceköy 6 (c, d) nolu Traverten Örneklerinin Polarizan Mikroskopta Görünüşü



Şekil 11. Yeniceköy 12 (a, b), Yeniceköy 13 (c, d) nolu Traverten Örneklerinin Polarizan Mikroskopta Görünüşü



Şekil 12. Yeniceköy 14 A (a, b), Yeniceköy 14 B (c, d, e, f) nolu Traverten Örneklerinin Polarizan Mikroskopta Görünüşü



Şekil 13. Uyuz hamamı 2 (a, b), Uyuz hamamı 3 (c, d), Uyuz hamamı 4 (e, f) nolu Traverten Örneklerinin Polarizan Mikroskopta Görünüşü

Şekil. 7, 8, 9, 10, 11, 12 ve 13 'deki mikroskop tanımlamaları

Ka1: Birincil kalsit (mikrit), **Ka2:** İkincil kalsit (sparit), **Cal:** Çalı tipi- bitki kalıntıları, **Bi:** Bitki kalıntıları **Op:** Opak mineral, **Pih:** Pith docusu, **Piz:** Pizolitik taneler, **Onk:** Onkoidal yapı, **kil:** Kil mineralleri, **Kad:** Kalsit dolgusu, **Bo:** Boşluk

4. SONUÇLAR

- İnceleme alanında, K-G doğrultulu Emet fayı boyunca traverten ve tufa oluşumları görülmektedir. Traverten oluşumu, Emet fayı ile oluşan çatlaklardan çıkan termal sular ile ilişkili olarak gelişir. Emet - Hisarcık ilçelerini birbirine bağlayan karayolu güzergahına yakın 15 km. lik hat boyunca yaklaşık 60 km² lik alanı kapsamaktadır.
- İnceleme alanındaki travertenler kuzeyden güneye doğru gençleşmesiyle birlikte, yapı

ve dokusunda önemli değişiklikler oluşmaktadır.

- İnceleme alanında tabaka tipi travertenler yavaş bir çökeltme ile kırık ve çatlaklar içerisinde ince ve farklı renkli bantlı bir yapı şeklinde oluşur. Morfolojik olarak tabaka tipi travertenler bantlı yapıdadır.
- Boyut ve Beştaş ocak işletmelerinin tabanında yer alan yatay konumlu travertenler yanal geçişlidir. Bu bölgede traverten kalınlığı 25-60 m. arasındadır.
- İnceleme alanındaki travertenlerin mineralojik ve petrografik özellikleri göz

önüne alındığında traverten oluşumunda bakteriyel çalılar, kristal çalı tipi gözlenmiştir. İşnsal çalılar gözlenmemektedir.

- İnceleme alanından alınan traverten ince kesitlerinin çoğunda yukarı doğru genişleyen koyu renkli, mikritik çalı şekillerinin arasındaki boşluklar ikinci spari-kalsitle doldurulmuştur. Buna karşın bazı ince kesitlerde ise koyu renkli mikritik zeminler içerisinde adacıklar veya yamalar şeklinde benekli bir doku oluşturur.
- Travertenlerin çoğu kaba kalsit spar taneli olup yaygın olarak bakteriyel çalılardan büyüktür.
- Kaba spar içinde küçük mikrit bantları da oluşmaktadır.
- Demir içeren örnekler renklenme bakımından da diğerlerine göre farklılık göstermekte, sarı - kırmızı - kırmızı/sarı - kırmızı kahverengi tonlarda bir renk kazanmaktadır. Bu görüntüler özellikle Beştaş ve Boyut Mermer ocaklarında, işletme aynalarında, izlenebilmektedir.
- Travertenin oluşum zamanı ve süreci ile bu koşullardan fiziksel olarak farklı şekilde etkilenebilir. Bu nedenle tabandaki travertenlerin tabanda yer alanlara göre daha boşluklu, dolayısıyla porozitesi ve boşluk oranı daha yüksektir.

5. KAYNAKLAR

- Akdeniz, N. ve Konak, N., 1979. Simav-Emet-Dursunbey-Demirci Yörelere Jeolojisi. *MTA Raporu No. 6547*, 108 sayfa, Ankara.
- Atabey, E., 2003. *Tıfa ve Traverten*, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, No: 75, 106 s. Ankara.
- Braithwaite, C.J.R., 1979. Crystal Textures of Recent Fluvial Pisolites and Laminated Crystalline Crusts in Dyfed, South Wales. *J. Sed. Petrol.*, 49, 181-194.
- Chafetz, H. S. & Folk, R. L., 1984. Travertines, Depositional Morphology and the Bacterially Constructed Constituents. *Journal of Sedimentary Petrology*, 54, 289-316.
- Doğan, N., 2015. Emet-Hisarçık (Kütahya) Yöresi Travertenlerinin Jeolojisi, Petrografisi ve Jeokimyası, *DPÜ, Fen Bilimleri Ens. Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*, 311 sayfa, Kütahya, (yayımlanmamış).
- Frisia, S., Borsato, A., Fairchild, I.J. and McDermott, F. 2000. Calcite Fabrics, Growth Mechanism and Environment of Formation in Speleothems from the Italian Alps and Southwestern Ireland. *Journal of Sedimentary Research*, Vol:70, No:5, 1183-1196.
- Frisia, S. Borsato, A. Fairchild, I. J. Mc Dermott, F. & Selmo, E.M., 2002. Aragonite Calcite Relationships in Speleothems (Grotte de clamouse, France): Environment, Fabrics and Carbonate Geochemistry. *Journal of Sedimentary Research*, Vol:72, No:5, 687-699.
- Guo, L. & Riding, R., 1998. Hot Spring Travertine Facies and Sequence Late Pleistocene, Rapolano Terme, *Sedimentology*, 45, 163-180, Italy.
- Gün, H. Akdeniz, N. & Günay, E., 1979. Gediz ve Emet Güneyi Neojen Havzalarının Jeolojisi ve Yaş Sorunları, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, Sayı: 8, ss: 3-13, Ankara.
- Helvacı, C., 1986. Emet borat yataklarının kökeni ve jeokimyası, *Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Seri A-Yerbilimleri - C: 3, s. 1, 49-73*.
- Holland, H.D. & Malinin, S.D. 1979. The solubility and Occurrence of Non-Ore Minerals, In: H.L. Hubbard, D.A., 1985, Annotated Bibliography of the Valley and Ridge Travertine Marl deposits of Virginia. *Virginia Minerals*, 31, 9-12.
- İlhan, A., 2006. Emet ve Hisarçık (Kütahya) Cıvırı Bor Yataklarının mineralojik ve Jeokimyasal İncelemesi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens. Jeoloji Müh. Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, (Yayımlanmamış).
- Kalafatçıoğlu, A., 1964. Balıkesir-Kütahya Arasındaki Bölgenin Jeolojisi, *M.T.A. Enstitüsü Raporu No: 282*, Ankara. (yayımlanmamış).
- Karakuş, H., 2013. Kütahya İl Sınırları İçindeki Jeotermal Alanların Jeokimyasal ve İzotopik Yöntemlerle Değerlendirilmesi, *Dumlupınar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri, Proje No 2012-7*, 46 sayfa, Kütahya, (yayımlanmamış).
- Kibici, Y., 2012. Emet (Kütahya) Travertenlerinin Mineralojik, Petrografik ve Jeokimyasal Özelliklerinin Araştırılması ve Fizikomekanik Özellikleri İle İlişkisi, *Dumlupınar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (BAP, 2012-10)*, 136 sayfa, Kütahya. (yayımlanmamış).
- Koçyiğit, A., Bozkurt, E., Kaymakçı, N., Şaroğlu, F., 2002. 3 Şubat 2002 Çay (Afyon) depreminin kaynağı ve ağır hasarın nedenleri: Akşehir Fay Zonu (Jeolojik Ön Rapor), *ODTÜ Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Tektonik Araştırma Birimi*, Ankara,
- Kökçü, M., 2007. Melikşah Kuzeyi (Ankara-Çubuk) Pliyosen Yaşlı Yapı Taşlarının Petrografik ve

- Mineralojik Özellikleri, *Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens. Jeoloji Müh. Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*, Ankara, (Yayınlanmamış).
- Okay, A., 2011. Tavşanlı Zonu: Anadolid-Torid bloku'nun dalma-batmaya uğramış kuzey ucu, *MTA Dergisi*, 142, 195-226, Ankara.
- Özburan, M., 2009. Kütahya ve Çevresinin Neotektonik İncelemesi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, "Doktora tezi"*, Kocaeli, (Yayınlanmamış).
- Özkul, C., 2008. Emet (Kütahya) Neojen Havzası Bor Prospeksiyonu: Hedef Sapmada Jeokimyasal Yöntem Geliştirme, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, Kocaeli, (Yayınlanmamış).
- Özkul, M., Alçiçek, M. C., Heybeli, H., Semiz, B., Erten, H., 2001. Denizli Sıcak su Travertenlerinin Depolanma Özellikleri ve Mermercilik Açısından Değerlendirilmesi, *Türkiye III. Mermer Sempozyumu "Mersem 2001" Bildiriler Kitabı*, ss: 57-72, Afyon.
- Özkul, M., Varol, B., Alçiçek, M.C., 2002. Denizli Travertenlerinin Petrografik Özellikleri ve Depolanma Ortamları, *MTA Dergisi*, Sayı: 125, ss: 13-29, Ankara.
- Pentecost, A., 1990. The formation of Travertines Shrub: Mammoth Hot Spring, Wyoming. *Geol. Mag.*, (127), 159-168.
- Pentecost, A., 2005. Travertine, *Springer, ISBN-10 1-4020-3523-3 ISBN-13 978-1-4020-3523-4*, London, United Kingdom.
- Pentecost, A., 2005. Travertine. *Kluwer Academic Pub., Science & Technology*, 445p.
- Polat, S., 2011. Türkiye'de Traverten Oluşumu, Yayılış Alanı ve Korunması, *Marmara Coğrafya Dergisi*, sayı: 23, ss: 389 - 428, İstanbul.
- Üstün, H., 2008. Hisarcık (Emet-Kütahya) Güneyinin Neojen Stratigrafisi, *Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Jeoloji Müh. Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*, Adana, (Yayınlanmamış).
- Yüküncü, M., 2007. Hisarcık (Kütahya) Çevresindeki Neojen Birimlerinin Stratigrafisi, Mineralojisi, Petrografisi ve Jeokimyası, *Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens. Yüksek Lisans Tezi*, İzmir, (Yayınlanmamış).

Milas Akbük Ege Bordo Mermerlerinin Etüt ve Değerlendirilmesi

Measurement and Evaluation of Milas Akbük Aegean Claret-Red Marbles

B. UZ

İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul

T. D. YILDIZ

İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Akbük – Ege Bordo Mermerleri, büyük ölçekte kuzey ve güney kesimlerinde bulunan beyaz mermerlerle birlikte kendi içinde 30 - 50 metrelik girift zonlar halinde bulunur. Göktepe – Çamtepe ve devamındaki mermerler gri-beyaz ve bordo renkli mermerler şeklinde görülür. Tabakalaşma birkaç desimetreden 1,5 - 2 metreye kadar değişmekte olup, yapısal olarak düzenli bir çatlak sistemine sahiptir. Teknolojik özellikleri açısından, Ege Bordo; yüksek dirençli çok kompakt bir malzeme olarak sınıflandırılabilir.

Ege Bordo Mermerleri % 70 - 80 kalsit, % 5 - 25 kuvars + Feldspat ve % 2 - 5 oranında demiroksit içermektedir. Bu bileşime sahip Akbük Bordo Mermerler 3 - 7,5 m³ boyutlu üretime uygun çatlak sistemlerine sahiptir. İnceleme alanı ve çevresinde Ege Bordo Mermerlerle birlikte, özellikle kuvarşca zengin mercer veya band yapıları şeklinde çört süreksizliklerinin bulunması bordo mermerlerinin üretiminde kesme ve blok verimini olumsuz yönde etkilemektedir. Ancak, kuvars ve feldspat içeriğiyle orta sert mermer sınıfına giren söz konusu bordo mermerler, pozitif laboratuvar testleri sonucunda, özel tel kesme ve cila kullanılmak suretiyle blok üretimi, plaka üretimi ve cilalanmasına uygunluk göstermektedir.

ABSTRACT Akbük - Aegean Claret - Red Marbles are found within the entrance zones of 30 - 50 meters in size together with white marbles on the northern and southern parts of large scale. The marbles, in Göktepe – Çamtepe and follow up, are seen as gray-white and claret red colored marbles. Stratification ranges from a few decimeters to 1.5 - 2 meters and has a structurally regular crack system. In terms of technological features, Aegean Claret-red; it can be classified as a very compact material with high resistance.

Aegean Claret-red marble is composed of 70 - 80% calcite, 5 - 25% quartz + feldspar and 2 - 5% opaque iron oxide (hematite, limonite). These Akbük Claret - red marbles have 3 - 7.5 m³ size suitable crack systems. Especially the presence of chert discontinuities under quartz-rich lens or band structures affects the cutting and block yield in the production of burgundy marbles negatively. However, the red marbles entering the middle hard marble class with quartz and feldspar contents are suitable for block and plate production, polishing by using special wire cutting and polishing as a result of positive laboratory tests.

1 GİRİŞ

İnceleme alanı; Muğla Milas'a bağlı Didim-Akbük civarında, Akbük yerleşim merkezinin yaklaşık 2 km kuzeydoğusunda

yer alan Çamtepe-Göktepe arasında 208 hektarlık bir alan kapsamaktadır. Bu alan 1/25000 ölçekli Aydın N 18-b3 paftası

içerisinde kalan bu alan, koordinatları ile birlikte aşağıda verilmiştir (Çiz 1) ve (Şek. 1).

Çizelge 1. Çalışma alanı koordinatları

Koordinat No	Y	X
1	38250	39000
2	38500	40500
3	39900	40500
4	39900	39250
5	39716	39500
6	39634	39506
7	39632	39422
8	39696	39449
9	39712	39468
10	39716	39500
11	39900	39250
12	38250	39000



Şekil 1. Çalışma sahasını kapsayan topoğrafik harita

Bu saha, inceleme alanı yer bulduru haritasında kırmızı çerçeve ile gösterilmiştir (Şek. 2).



Şekil 2. İnceleme alanı yer bulduru haritası

Söz konusu Akbuk mermer sahası ve Çamtepe – Göktepe’yi içine alan dağlık kesim ve devamında Akbuk Körfezi ve yerleşim alanları aşağıda görülmektedir (Şek. 3).



Şekil 3. İnceleme alanı ve çevresi

Bu çalışmada bu alanda bulunan, “Ege bordo” olarak bilinen kırmızı-kahve renkli mermerin yerinde (arazide) jeolojik ve mermer etüt incelemeleri ve değerlendirme çalışmaları gerçekleştirilmiş ve 1/5000 ölçekli jeolojik haritası ve bu haritalara bağlı olarak kesitler çizilmiştir.

Saha çalışmaları, jeolojik gözlemler, örneklerin alımı, fotoğraflarla çeşitli özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca daha önce açılmış ocaklarda çatlaklık, süreksizlikler (damar dolgu, çörtlü zonlar, bandlar veya mercekle) renk değişimleri izlenmiş, farklılıklar belirlenmiştir. Laboratuvarda yapılan incelemeler ise mineralojik-petrografik analiz, teknolojik testler, kesme cila deneyleri ve kimyasal analizden oluşmaktadır.

2 İNCELEME ALANI JEOLJİSİ

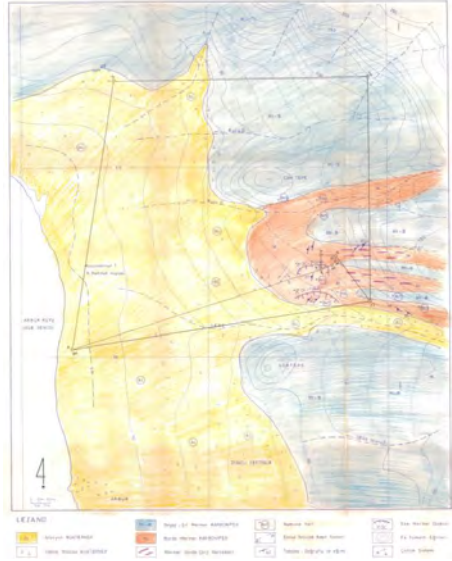
Ege Bölgesinde Menderes masifinde ve bunu güneyden kuşatan Bafa – Milas Denizli Karbonifer yaşlı mermerler renkleri itibariyle;

- Muğla-Yatağan beyaz mermerleri ve
- Milas – Ege Bordo mermerleri olarak ayrılırlar.

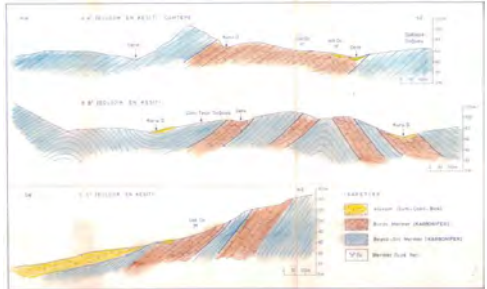
Bölgesel ölçekte Menderes Masifinde, orta kısmında gnays ve metamorfik seriler ve bunu kuşatan dış kuşak içinde mermerler çoğunlukla yer almaktadır (Karbonifer ve Mesozyok yaşlıdır).

Bu büyük kristalini ve metamorfik Menderes masifini kuzeyden ve güneyden çevreleyen ofiyolitli zonlar yer almaktadır. İnceleme alanı, Akbük Bordo Mermer sahası, önceleri varlığı keşfedilen “Ege Bordo Mermer”i benzeri, “Bafa Gölü – Milas – Denizli” hattı boyunca farklı bir zon halinde devam eden Karbonifer yaşlı Menderes masifini güneyden kuşatan bir zon şeklindedir.

İnceleme alanı ve çevresi, Milas – Akbük Göktepe – Çamtepe ve devamındaki mermer sahasında; öncelikle bordo – kırmızı renkli mermerler, bunların kuzey ile güney kesimlerinde bunlarla uyumlu konumda yer alan beyaz – gri mermerler ve bunları kısmen örten Kuvaterner yaşlı alüvyonel kum-çakıl malzeme yer alır. Dolayısıyla inceleme alanı içine alan mermerler esasen “mikaşist - mermer” zonu içindedir. İnceleme alanı ve çevresinde bordo mermerler beyaz gri mermerler ile ardışık “BB” kesitinde kıvrımlı bir yapı içinde antiklinal (kubbe sırt) yapıları gösterirler. Akbük Didim (Milas – Muğla) Çamtepe – Göktepe arası mevki inceleme sahası ve civarının jeolojik haritası (Şek. 4) ve enine kesitleri (Şek. 5) aşağıda görülmektedir.



Şekil 4. İnceleme sahası civarının jeolojik haritası



Şekil 5. Jeolojik enine kesitleri

İnceleme alanının çok az kesimi “Bordo mermer”dir (Çamtepe güneyi). Diğer kesimler beyaz renkli mermerler olarak, batı kesimi ise (kuvaterner yaşlı) alüvyonel kum-çakıl malzeme, çökeller yer alır. “Bordo mermerler” beyaz (bazan açık gri – beyaz) mermerlerle belirli bir aralıkta, yaklaşık 500 - 600 m’lik bir zon içinde girift yani iç içe konumdadır. (Milas –Kılınagıl’da ise daha dar bir alandadır. Burada bordo mermerler dere – vadi boyunca sıkışmış 50 - 60 m’lik zon içinde yer almaktadır).

Sonuçta, Akbük mermer sahası içinde var olan bordo mermerlerin, incelenen ~ 1,8 km²lik sahanın yaklaşık ¼’ünü kaplayan (43

hektarlık) kesiminde yüzeylendiği görülmektedir. Bordo mermerlerle yan yana bulunan beyaz-gri mermerler ise sahanın yarısından fazlasını, ~ 103 hektarlık kısmını oluşturmaktadır. Sahanın geri kalan kesimi jeolojik haritada sarı ile boyanan ~ 36 hektarlık kum-çakıl alüvyonel genç dere malzemeleriyle dolgulanmıştır.

3 MERMER ETÜT VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Mermer konusunda öncelikli 2 ana özellik vardır. Bunlardan birisi sahanın istenilen ölçütlerde blok verebilmesi, diğeri ise bu bloğun çeşitli şekillerde plaka halinde keşilebilme özelliğidir (Onargan vd., 2006).

Bu bölümde bunlardan ilki farklı açılardan değerlendirilmiştir. İnceleme sahası içinde yüzey veren bordo mermer (jeolojik haritada izleneceği üzere), beyaz gri mermerlerle grift konumunda olup daha az yüzlek verirler. Çamtepe’de mermer sahası içinde, taban alt kotlarında, alüvyon içinde yüzlek veren mermer bloklar görülmektedir (Şek. 6).



Şekil 6. Çamtepe’de yüzey veren mermerler

Şekil 4’de izleneceği üzere, saha içinde 2 ocak yeri, biri alüvyon seviyesinde (kum – malzeme ocağı şeklindedir), ikincisi ise gerçek mermer üretimi amaçlı açılmış üst ocak mevcuttur. Ocaktan mermer blok üretilmiş, daha sonra bırakılmıştır. Burada, blok hacmi 3 m³, 5 m³ ve 7,5 m³’e kadar değişen üretilmiş bloklar tespit edilmiştir. Saha içinde açılan 2 no’lu ocaktan üretilen “blok mermerler” ve devamında mostraları ile yerinde çatlaksız bloklar aşağıda görülmektedir (Şek. 7).



Şekil 7. Blok mermer - mostraları

İnceleme alanında blok verimliliğini yükselten pozitif veriler şöyle sıralanabilir:

- Yerinde masif, çatlaksız, düzenli “blok” yapıların varlığı (Şek. 8),
- Ocak No 2’de ikinci kademedeki düzgün + çatlaksız masif seviyenin çıkması (Şek. 9),
- Ocaktan üretilmiş blok mermerlerin varlığı (Şek. 10),
- Tabakalaşma (yerinde) 1,5 m veya daha fazla kalınlıklar göstermektedir (Şek. 10).

Mermer sahası içinde temel seviyede örtü alüvyon altında yüzey veren yerinde bloklar ve tabakalaşma (Şek. 8) ve ilk blok mermer üretim deneme ocağı içinde 2. kademe taban seviyesinden masif düzgün yapılar (Şek. 9) görülmektedir.



Şekil 8. Yüzey veren bloklar – tabakalaşma



Şekil 9. Taban seviyesinden düzgün yapılar

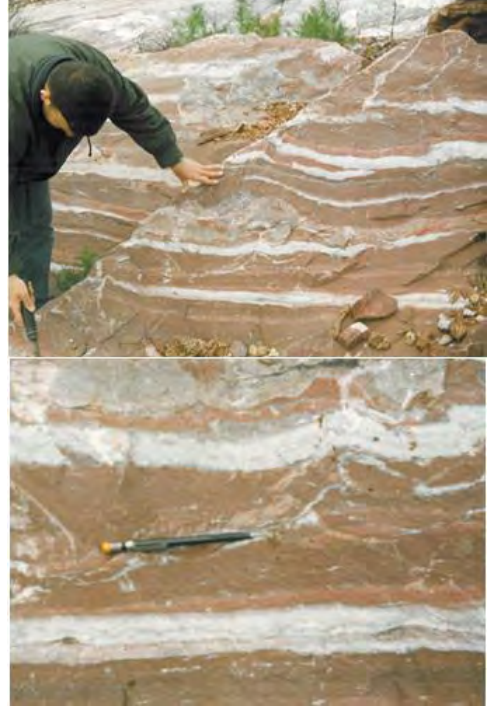
Bordo mermerlerin, bazan beyaz aralıklarla “laminalı” ince bantlı yapılarla birlikte bulunması, saha içerisinde ocaktan çıkarılmış blok yüzeyi ve kesitinde görülmektedir (Şek. 10).



Şekil 10. Blok yüzeyi ve büyüklüğü

İnceleme alanında blok verimliliğini düşüren olumsuz veriler şöyle sıralanabilir:

- "Bordo mermerler" arasında silisli – çörtlü seviyelerin (süreksizliklerin) yer alması, blok verimini olumsuz yönde etkileyecektir. Bu süreksizliğin derine doğru devam edip etmediği kontrol edilmelidir. – Şekil 4’de kırmızı ince merceksel yapılar altında gösterilen, belli yerlerde band veya merceksel veyahut da yumrular halinde silisli “çört”lere rastlanır. Aşağıda; mermer sahası içinde ocak içi bloklarda, kahverengi ve arada beyaz bandlı yüzeyler, arada çört bandları veya mercekler görülmektedir (Şek. 11).



Şekil 11. Mermerde çört bandları

Şekil 4’de gösterilen, bordo mermerlerle girift konumda yer alan beyaz – gri mermerlerin varlığı mevcut rezervi (azaltıcı) olumsuz yönde etkileyecek önemli bir faktör olarak dikkate alınmalıdır. Zira, bordo mermerler içinde yer alan beyaz mermerlere ait bandlı ve merceksel ara zonlar, bordo mermerlerde “homojen yapı”nın bozulmasına neden olmaktadır. Aşağıda; (üstte) deneme mermer ocak içinde aynada 1. Kademedeki çörtlü ince seviyeler, (altta) ise kahve renkli mermer blok ve içinde beyaz mercekler görülmektedir (Şek. 12).



Şekil 12. Çörtlü seviyeler, beyaz mercekler

Bordo mermerlerin beyaz – gri mermerlere geçişleri dereceli olup bazan 1-2 m’de belirgin ve net biçimde izlenebilmektedir. Bu durum; ilk ocak yeri doğu kesiminde alüvyona paralel devam eden mermerlerin çörtlerle birlikte, yer yer kahve renkten gri beyaza geçişleriyle aşağıda görülmektedir (Şekil 13).

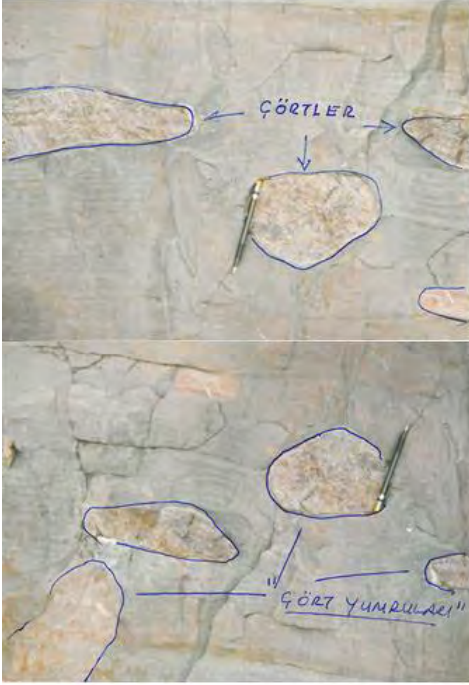


Şekil 13. Bordo mermerlerin beyaz – gri mermerlere geçişleri

Aynı mermer sahası içinde ve ocak yeri doğu kesiminde kahve renkli mermer seviyeleri arasında yer alan çörtlü seviyeler (Şek. 14) ve bu çörtlü yapıların merçekselyumru şekilleri (Şek. 15) ise aşağıda verilmiştir.



Şekil 14. Mermer sahası içinde ve ocak yeri doğu kesiminde çörtlü seviyeler



Şekil 15. Mermerler arasında çörtlü yapılar

Bordo mermerler değişken kalınlıklarda; yüzeyde 10 - 30 cm, alta doğru 1 - 1,5 m'lik tabakalı bir yapı gösterir (Şekil 11).

Yapısal olarak, 3 - 7,5 m³ boyutlu blok üretimine uygun düzenli bir çatlak sistemine sahiptir. Mermerlerde çatlaklık değişken olup, yüzeyde birbirine dik konumlu sık çatlaklar, aşağı doğru giderek kaybolmaktadır. Nitekim yüzeyde tabakalı, çatlaklı, kırıklı yapılar gösteren "bordo mermer"ler (Şek. 13 ve 14), ocak tabanlarındaki yapılarla yer değiştirmektedir (Şek. 9 ve 16).



Şekil 16. Ocak tabanı ve yüzeyi

Bu şekilde, sahada ilk mermer ocağı içinde 1. kademede yer alan düzgün yüzeyler ve renkleri görülmektedir.

4 LABORATUVAR İNCELEMELERİ

Muhtemelen veya kabaca blok alabilme ile kesin plaka ve kenar kesme analizleri olumlu sonuç verdiği takdirde kayacın cinsi için petrografik analiz yapılır (Onargan vd., 2006). Bu yönelimle Akbük Bordo mermer sahasında yapılan jeolojik ve mermer etüt saha çalışmaları sürecinde gerekli olan noktalarda (ocak yerleri veya kontaklarda mermer değişim yerlerinde) laboratuvar incelemeleri amaçlı çeşitli boyutta mermer örnekleri alınmıştır.

Petrografik inceleme için 8 adet örnek yanı sıra Milas Kalınağıl Köyü bordo mermer ocağından bir örnek ve Akbük sahasındaki ocaklardan "kesme - cila" deneyleri için ek örnekler alınmıştır.

Laboratuvar incelemeleri, 3 farklı laboratuvar ile mermer fabrikalarında yapılan kesme - cila deneylerinden oluşur. Bunlar:

- Fabrika kesme - cila testleri,
- Teknolojik deneyler,
- Petrografik analizler,
- Kimyasal analizler.

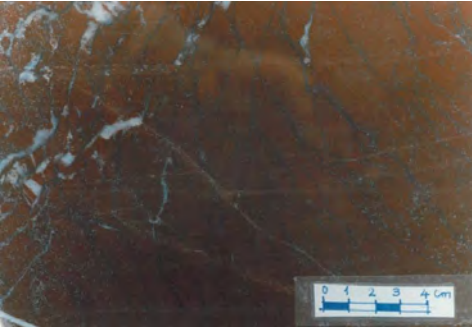
4.1 Kesme ve Cila Testleri

Mermer fabrikasında S/T testeresi (bıçağı) ile kesim yapılmıştır. Adını, ilk üretimi yapan Fransız S/T firmasından alan makine ülkemizde de bu isimle adlandırılmaktadır. S/T'ler fayans hattı için gerekli olan levhaların üretimi için kullanılmaktadır. S/T'de kesim, çevirici bir kuvvet tarafından dairesel hareket verilen birbirine dik konumlu iki diskin mermer bloğunu keserek plaka haline getirilmesi esasına dayanmaktadır (Onargan vd., 2006). Mermer fabrikasında yapılan kesme - cila test sonuçları aşağıda verilmiştir (Çiz. 2).

Çizelge 2. Kesme - cila test sonuçları

1. Örnek	2. Örnek	3. Örnek
-S/T ile kesmede çatlama-patlama olmamıştır.	-60 cm plaka 30 saniyede kesildi.	-Kopma olmadı.
- 50 cm plaka 20 saniyede kesildi.	-Kopma izlenmedi.	-Kuarslı damarlar
	-Düzdün kesme elde edildi.	ST bıçağını zorladı.

Sonuç olarak, 17 - 18 amperlik sarfedilen güç ile gerçekleştirilen kesme ve (özel) cila testi sonucunda iyi bir kesme görülmüş ve 50 - 60 cm plakaların 20 - 30 saniyede (hızda) kopma olmadan kesildiği görülmüştür. Bu test sonucu elde edilen 20 x 60 cm, 20 x 40 cm'lik küçük örnek plaka, aşağıda verilen kesilmiş ve parlatılmış mermer örneğinde görüldüğü üzere, bordo renkli olup, yer yer kuvarslı beyaz damarlar ve dolgulu çatlaklar içermektedir (Şek. 17).



Şekil 17. Kesilmiş ve parlatılmış mermer

4.2 Teknolojik Deneyler

Akbük bordo mermerlerinin teknolojik özellikleri aşağıda verilmiştir (Çiz. 3).

Çizelge 3. Mermerlerin teknolojik özellikleri

Doğal birim hacim ağırlığı	2,826 gr/cm ³
Kuru birim hacim ağırlığı	2,825 gr/cm ³
Suya doygun birim hacim ağırlığı	2,827 gr/cm ³
Ağırlıkça su emme	% 0,1
Porozite	% 0,2
Tek eksenli basınç dayanımı	376-400 kg/cm ²

Bu verilere göre kayaç, yüksek dirençli çok sıkı malzeme olarak değerlendirilebilir.

4.3 Petrografik İnceleme

Mohs skalasına göre belirlenen sertlik değeri, mermerin kesilebilirliği ve işlenebilirliğinin yanı sıra cila alma kapasitesini etkileyen bir özelliktir. Örneğin (6 - 7 Mohs) sert mermer grubuna giren kayalar zor kesilebilmekte ve yüksek kesim ile cila maliyetleri gibi olumsuz özelliklerine karşılık, düzdün yüzeyli plakalar elde edilmesi ve iyi cila kabul edilmemesi gibi avantajlar taşıyabilmektedir (Onargan vd., 2006). İnceleme alanı mermerlerinin sertliği 7 Mohs'tur. Bu sertlik değeriyle belirtilen avantaj ve dezavantajları taşımaktadır.

Mikroskop altında bordo mermer, kristalin ince - orta taneli, bazan eş taneli veya farklı taneli bir doku gösterir. Bazan hafif yönelme izlerine dokuda rastlanmıştır.

Petrografik yönden kristalin doku içinde kalsit ile birlikte yer alan kuvars + feldspat, mineral ve özellikleri açısından kalsitten çok farklı kimyasal ve fiziksel özellikler gösterir. Bu kuvars ve feldspatlar esasen bu mermerlerin tabanında yer alan metamorfik kayalardan (mikaşistlerden) kaynaklanmaktadır. Diğer yönden kalsit kristalleri içinde yer alan kuvars ve feldspatlar serpiştirilmiş halde (dağınık kümeler halinde) yer alırlar.

Böylece fiziksel ve kimyasal özellikleri farklı kuvars + feldspat mineralleri kalsitlerle iç içe, sıkı bir doku oluşturmuştur. Bu suretle söz konusu mermerin plaka halinde kesilmesi durumunda yer yer kesici zorlanacaktır.

Bunların dışında arazide rastlanan band veya mercek şeklinde yer alan çörtler ise esasen % 90 kuvarstan oluşmaktadır. Böyle bir süreksizliğin mermer içinde yer alması, bordo mermerlerin blok çıkarımı, kesimi ve işlenmesi gibi durumlarda olumsuzluklar yaratabilecektir. Blok üretiminde çörtlü zonlardan uzaklaşılması ve dikkat edilmesi gerekir.

Toplam 8 adet örnek üzerinde yapılan analizlerde bordo mermerlerin kalsit, kuvars, feldspat ve opak mineraller içerdiği ortaya

çıkmıştır. Alınan numune yerleri Şekil 18’de gösterilmiştir. İnceleme alanına ait mineralojik – petrografik değerlendirme ise aşağıda verilmiştir (Çiz. 4).

Çizelge 4. Mineralojik–petrografik sonuçlar

Örnek No	Yeri	Mineral Bileşim	%	Özellikler
1	1. Ocak Çamtepe- Göktepe arası	Kalsit	73	Kuvarso- feldspatlı
		Kuvars	20	Bordo
		Feldspat	5	mermer
2	2. Ocak içi bandlı mermer	Opak	2	70 Kuvarso- feldspatlı
		Kalsit	70	Bordo mermer
3	Çamtepe güneyi	Kuvars+Feldspat	25	99 Yönlü, Şisti
		Opak	0,5	Beyaz mermer
4	Çamtepe eteği	Kuvars	96	Kırmızı çört
		Opak	4	Bordo, kuvarslı
5	Çamtepe eteği	Kalsit	93	mermer
		Kuvars+Feldspat	5	mermer
7	Çamtepe Güneyi Dereboyu	Opak	2	91 Kalsitli çört
		Kuvars	91	80 Kuvarslı- feldspatlı
		Kalsit	7	Bordo mermer
8	2. Ocak	Kuvars+Feldspat	15	Opak
		Opak	5	55 Kuvarso- feldspatlı
		Kalsit	55	10 Dolomit 15 metmorfik 10 bordo mermer
M	Milas- Kalınağıl	Dolomit	10	
		Kuvars	15	
		Plajyoklas	10	
		Mika	10	

- Mineral bileşimi; % 70 - 80 oranında değişen kalsit, % 5 - 25 oranında kuvars + feldspat, % 2 - 5 oranında ise opak mineral – demiroksit (limonit – hematit) içermektedir. Kayaç “kuvarso-feldspatik mermer”dir.

Günümüzde özel tel kesimi ile blok üretimi yapılan Milas Kalınağıl bordo mermer ocağı örneği ise mikroskopik yönden % 55 kalsit ile birlikte % 10 dolomit içermektedir. Ayrıca karbonatlı minerallerle birlikte % 25 oranında kuvars + feldspat ve ayrıca % 10 mika (serizit, biotit, muskovit) içerir. Dokusal olarak mikroskop altında Akbük bordo mermere oranla çok farklılıklar gösterir.

Zira, Milas – Kalınağıl bordo mermeri, (ince-orta-iri) farklı taneli kataklastik yönlü bir doku gösterir. Kuvars kristalleri belirli zonlar boyunca yoğunlaşmaktadır. İnce iğnecikler halinde yer alan mika grubu mineraller kuvars ve feldspatlarla birlikte yer alırlar. Bu özellikleriyle Milas bordo mermerleri, Akbük bordo mermerlerinden daha sert, zor kesilen ve rijit bir yapı gösterir.

4.4 Kimyasal Analiz

İnceleme alanında 4 adet örnek üzerinde kimyasal analiz yapılmıştır. 1 ve 3 no’lu analizler doğal örnekler, 2 ve 4 no’lu analizler ise pişmiş örnekler üzerinde yapılmıştır. Diğer yandan 1 ve 2 no’lu analizler “Bordo mermer”, 3 ve 4 no’lu analizler ise “beyaz mermer” örnekleri üzerinde yapılmıştır. Kimyasal analiz sonuçları aşağıda verilmiştir (Çiz. 5).

Çizelge 5. Kimyasal analiz sonuçları

Oksit element	Bordo No 2: 2.Ocak	Mermer içi	Beyaz No 3: Çamtepe	Mermer güneyi
SiO ₂	3,24	5,39	1,2	1,32
Al ₂ O ₃	1,40	2,33	0,5	0,61
Fe ₂ O ₃	0,70	1,16	0,15	0,17
CaO	54,2	90,18 (CaCO ₃)	63,1	69,57 (CaCO ₃)
MgO	-	-	-	-
Na ₂ O + K ₂ O	0,56	0,94	25,74	28,33
Ateş Zayıyatı	39,9	-	9,16	-

Çizelgedeki değerler şöyle değerlendirilebilir:

- “Bordo mermer” (beyaz mermere oranla) demirce 5 defa daha zengin, silişe 3 kat daha zengin, alüminyumca ise 3 defa daha zengin olup, alkalilerce ise beyaz mermere oranla çok fakirdir. Her iki tür mermerde de MgO’ye rastlanmamıştır.

- Mineralojik bileşimde rastlanan kuvars, kimyasal analizde SiO₂ oranı olarak yansımaktadır. Bordo mermerler, beyaz – gri mermerlere oranla daha fazla SiO₂ içerirler

(% 3 - 5). Benzer olarak daha fazla Al_2O_3 (Alüminyum) içermektedir. CaO (kalsiyum) oranı ise bordo mermerde beyaz mermere oranla daha azdır (% 54,2 < % 63,1). (Sodyum-Potasyum) Alkaliler de, bordo mermerde beyaz mermerlere oranla çok düşüktür (Bordo mermerde % 0,56 - 0,94, Beyaz mermerde % 25 - 28).

- Bordo mermerlerdeki ($Fe_2O_3 + Al_2O_3$) toplamı % 2 - 3,5 arasında değişmektedir. Bu miktardaki hematit-limonit bileşimli demir + alüminyum mermere renk veren bir konuma sahiptir.

Tüm bu verilerle Akbük mermer sahası içinde yer alan bordo mermerler, hemen kontağında yer alan iç içe bulunan beyaz-gri mermerlerden çok farklı mineral bileşimine sahip olduğunu göstermektedir.

5 REZERV & İŞLETİLEBİLİRLİK & OCAK YERİ SEÇİMİ

5.1 Rezerv

Şekil 3'de gösterilen bordo mermerlerin ruhsat alanı içinde kalan kısmının rezervi sayısallaştırıcı (dijitayzır) aracılığıyla, bilgisayar destekli hesaplanmıştır.

Burada ikincil (tali) olarak dikkate alınabilecek henüz tam etüt ve değerlendirilmesi yapılmamış beyaz-gri mermerler zaman içinde ele alınabilecek ikincil mermer (malzeme) rezervi olarak göz önüne alınmalıdır.

Tüm alanı (-1, 2, 3, 13, 1 kapalı poligon, alanı) 1 824 020 m² olan inceleme alanında, bordo mermer alanı 430 277 m² olarak bulunmuştur. Bordo mermer alanı içinde yer alan silisli çört zonu ise 102 874 m² olarak saptanmıştır. İşletilebilir net (~ % 30'luk blok malzeme dışında) bordo mermer ilk 25 m ocak derinliği için, $R_1 = 5\,740\,125\,m^3$ hesaplanmıştır. Ocak derinliğinin 50 metreye inilmesi halinde, R_2 (Rezerv miktarı) = 16 371 500 m³'dür. Ancak bu derinliklerde işletme blok kaybı % 10 civarında olacaktır. Buna göre 50 m derinlikte $R_2 = 14\,735\,350\,m^3$ üretilebilir rezerv tespit edilmiştir (3 - 10 m³ veya daha büyük bloklar için rezervedir).

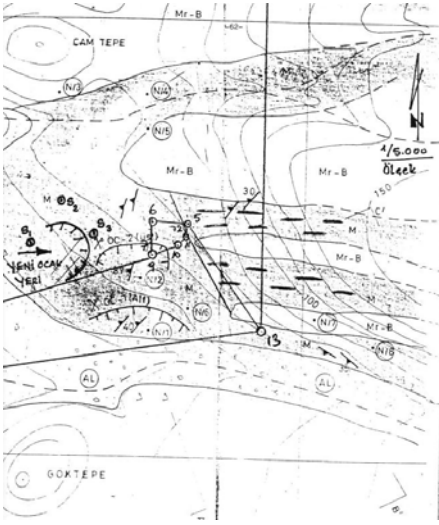
Ayrıca inceleme alanı içinde ve 1. ocak yerinde kısmen üretilmiş olan dere kum-çakıl malzeme, çevrede hızla gelişen yapılaşma için çok önemli, değerli ve dikkate alınabilecek, değerlendirilmesi gereken "inşaat yapı malzemesi" olarak bulunmaktadır.

5.2 Ocak Yeri Seçimi

Görünür (işletilebilir) rezervi saptanmış olan bir mermer yatağında yapılacak ilk iş üretime başlanacak olan ocak yerinin seçimidir (Onargan vd., 2006). Ocak yeri seçimi için dikkat edilecek hususlar şunlardır:

- Uygun mermer rezervinin var olması,
- Uygun blok üretimi için masif yapıların var olması,
- Uygun çatlak sistemi,
- Ocak açımı ve kademeler oluşturulabilmesinde uygun şev yüksekliği için uygun topoğrafyanın varlığı,
- Laboratuvar testlerinin plaka mermer üretimi için uygun koşullarda olması.

Mevcut mermer ruhsat alanı içinde bordo mermerler içinde 1 ve 2 no'lu ocak yerleri, 1. alt ocak bir kum-çakıl malzeme ocağı şeklinde, ikincisi ise çok önceleri denenmiş bir "mermer blok üretim" ocağı olarak görülmektedir. Aşağıda, inceleme alanı - yeni ocak yeri ve sondaj yerleri görülmektedir (Şek. 18).



Şekil 18. İnceleme alanı – yeni ocak yeri ve sondaj yerleri

Geçmişte, deneme Ocak 2’de yeterli blok mermer üretimi ve hedefinin alınamamasının nedeni, ocak yerinin seçimi ve yönündeki yanlışlıktır. Bu nedenle mermer inceleme sahasında mevcut mermer rezervi ve koşulları göz önüne alınmalıdır.

Tabii mermer ocağının mermer yatağındaki en kalın yerden başlayarak açılması gerekmektedir. Ayrıca ayna ne kadar uzun olur ve blok alınabilecek yapı karşıya alınırsa o kadar kolay blok çıkarılır (Onargan vd., 2006).

Ocak yeri seçimi için jeolojik, topoğrafik koşulların çok uygun olduğu kesim, mevcut Ocak 2 civarında görülmektedir. Bu durum ayrıca CC jeolojik enine kesitinde de açık bir biçimde görülmektedir (Şekil 5).

Mermerlerde tabaka eğimi kuzey batıya doğrudur. Bu nedenle ocak ağzının (sarı renkli) alüvyon tarafından, batıdan başlanarak girilmesi, uygun topoğrafyada kademeler verilmesi (Şekil 4) ilk bakışta pratik olarak en uygun seçenektir.

Hali hazır mermer etüt çalışması, bir bakıma sadece yüzeyde yapılan, ayrıca iki ocakta inilen düşey seviyelerde (kademede) yapılmıştır.

Bu nedenle, yüzeyde ve ocaklarda izlenen bordo mermer içinde ince laminalı seviyeler halinde, bazan bandlar şeklinde beyaz ara girdilerin, ayrıca ocaklarda ve doğu kesiminde bordo mermerlerin içinde yer alan raidolaritli süreksizliklerin tabanda nasıl devam ettikleri bilinmemektedir. Bordo mermerin bu süreksizliklerle homojenitesinin (sadeliğinin) bozulması dikkate alınarak, yer yer bordo içinde beyazlıklar şeklinde beliren bu seviyelerin ocak açılımı öncesi bilinmesi ocağa yapılacak yatırımlar açısından çok önemlidir. Çörtlerin çok yaygın olduğu doğu kesimi işletme için şimdilik uygun kabul edilmiştir.

Ancak sahanın tümünde bir veya birkaç noktadan açılacak 30 - 40 m’lik karotlu sondajlar ile durum tespit edilmelidir. Böylece hem açılacak ocaktaki blok verimini, hem de renk değişimleri ve süreksizliklerin nasıl devam edip etmediği ortaya konulacaktır.

Bu suretle ocak yerinin bilinçli açılabilmesi için 3 noktada 40 – 50 m’lik 3 adet sondaj yapılması uygun olacaktır.

6 SONUÇ

182 hektarlık toplam inceleme alanında, bordo mermer alanı 43 hektar, silisli çört zonu ise 103 hektar olarak saptanmıştır. Kalan 36 hektarlık kısım ise inşaat yapı malzemesi olarak değerlendirilebilecek kumçakıl alüvyonel dere malzemesidir.

İnceleme alanında bordo mermer rezervi ilk 25 m ocak derinliği için, R_1 (Rezerv miktarı) = 5740125 m³ olarak hesaplanmıştır. Ocak derinliğinin 50 metreye inilmesi halinde ise, % 10 civarında blok kaybı dikkate alındığında, $R_2 = 14\ 735\ 350$ m³’dür. Bu rezerv değerleri 3 - 10 m³ veya daha büyük bloklar için bulunan değerlerdir. İnceleme alanında bordo mermerlerle birlikte, özellikle kuvarsça zengin çört süreksizliklerinin bulunması bordo mermerlerinin üretiminde kesme ve blok verimini olumsuz yönde etkileyecektir.

Bordo mermerler mineral bileşimleri açısından % 70 - 80 kalsit, % 5 - 25 kuvars +

Feldspat ve % 2 - 5 oranında ise opak mineral demiroksit içermektedir.

İnceleme alanından alınan bordo mermer örnekleri kimyasal olarak; % 3 - 5 civarında kuvars ve % 0,5 - 28 arasında alkali toplam vermiştir. Buradan mermerin içermiş olduğu kuvars ve feldspat kristallerinin belirli aralıklarla kümelenmiş ince kristaller halinde oldukları belirlenmiştir.

Kimyasal analizlere göre, bordo mermerler beyaz türe oranla; demirce 5 kat, alüminyum ve silisçe 3 kat daha zengin olup, alkalilerce ise beyaz mermere oranla çok fakirdir. Bu durum Akbük mermer sahası içinde yer alan bordo mermerlerin, hemen kantağında yer alan iç içe bulunan beyaz-gri mermerlerden çok farklı mineral bileşimine sahip olduğunu göstermektedir.

Bordo mermerlerin tek eksenli basınç dayanımı $\sim 400 \text{ kg / cm}^2$ olarak bulunmuştur. Ayrıca mermer fabrikasında yapılan kesme – cila deneyleri olumlu sonuç vermiştir. İyi kesme ve mükemmel cila kabul eden örnekler “kaliteli mermer” özellikleri göstermiştir.

Nitekim mermerin içermiş olduğu kuvars + feldspat kristalleri, kesilme esnasında testereyi zorlamakta, fakat çatlama-patlama neden olmamaktadır. Buradan, mermerdeki dokusal özelliğın çok uygun olduğu, yani kalsitlerle kuvars ve feldspatların kristalin yapı içinde, uyum içinde oldukları sonucu çıkmaktadır.

Dolayısıyla, kuvars ve feldspat içeriğı nedeniyle orta sert mermer sınıfına giren söz konusu *bordo mermerler*, pozitif laboratuvar test ve deneyler sonucunda, özel tel kesme, özel ST, özel cila kullanılmak suretiyle blok üretimi, plaka üretimi ve cilalanmasına uygunluk göstermektedir.

KAYNAKLAR

- Onargan, T., Köse, H. ve Deliormanlı, A.H., (2006). Mermer. TMMOB Maden Mühendisleri Odası, 4. Baskı, Ankara, 324 s.

Bursa – Doğanalan – Körekem Civarında Mermer Oluşturan Kireçtaşlarının Etüt ve Değerlendirilmesi

Measurement and Evaluation of Marble-forming Limestones around Bursa - Doğanalan – Körekem

B. Uz

İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul

T. D. Yıldız

İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET İnceleme alanı, Bursa - Mustafakemalpaşa arası bölgede, Söğütalan civarında Doğanalan Körekem köyleri arasında yaklaşık 16 km² lik bir alanı kapsamaktadır. Bölgede yer alan kireçtaşları mermer – bloктаş oluşturma açısından önemli olup, yörede bilinen yaklaşık 50 – 100 civarında mermer üretim ocağı bulunmaktadır.

Yöredeki mermerler blok verimi ve üretim özellikleri bakımından yüksek avantajlara sahiptir. Burada renk ve (kesme, cila kabul özellikleriyle) albeni açısından yöreye özgü bej ve kahverengi mermerler yanı sıra, tektonik zonlarda oluşmuş olan bej – kahve karışımının ilginç bileşiminden bir üçüncü tür mermer, “empredor”, üretilmektedir.

İnceleme alanında üretim yapan mermer ocaklarından alınan beş adet örnek üzerinde fiziko-mekanik testler yapılmıştır. Bu deneylerden alınan sonuçlara göre özgül ağırlık (2,71 gr / cm³), porozite (~ 1,1 - 2,9), su emme oranı (% 0,12 - 0,19) gibi değerler oldukça uygun özelliktedir. Tek eksenli basınç dayanımı deneylerinde bir örnek 1000 kg/cm² üzerinde çıkarken, diğerlerinde ~ 880 - 910 kg/cm² sonuçları elde edilmiştir. Buna göre yörede üretilen mermerlerin çok dayanımlı, kompakt, masif kayac grubuna ait olduğu saptanmıştır.

ABSTRACT The survey area covers an area of 16 km² between Doganalan and Körekem villages in Söğütalan, in Mustafakemalpaşa region in Bursa. The limestones in the region are important for the formation of marble - blockstone. There are about 50 - 100 marble production quarries known in the region.

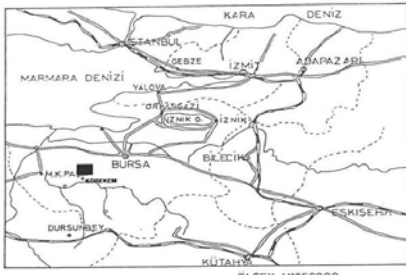
The marbles in the region have high advantages in terms of block yield and production characteristics. Here, a third type of marble, the "empredor", is produced from the interesting combination of beige and brown blend that has formed in the tectonic zones, as well as local beige and brown marbles in terms of color and appeal (with cutting, lacquer acceptance).

Physico-mechanical tests were carried out on five samples taken from the marble quarries in the study area. Values such as specific gravity (2.71 gr / cm³), porosity (~ 1.1 - 2.9) and water absorption rate (0.12 - 0.19%) are quite suitable according to the results obtained from these experiments. In the uniaxial compressive strength tests, one sample exceeded 1000 kg / cm², while the other resulted in ~ 880 - 910 kg / cm². According to this, it was determined that the marbles produced in the region belong to a very strong, compact, massive rock group.

1 GİRİŞ

16 km² lik bir alana tekabül eden çalışma alanı, Bursa Doğanalan Köyü ve Körekem

yöresinde bulunmaktadır. Çalışma alanının yer bulduru haritası aşağıda görülmektedir (Şek. 1).



LEJAND

Şekil 1. İnceleme alanı yer bulduru haritası

Çalışma alanının sınırları; kuzeydoğuda Doğanalan Köyü, Pınarlı Tepe; batıda Gelinçalı mevki; kuzeyde Bekarpanarı mevki ve güneyde Körekem yöresini içine almaktadır.

Nilüfer ilçesini geçtikten sonra Bursa anayoldan sola dönülerek takip edilecek yoldan çalışma alanına rahatlıkla ulaşılabilmektedir. Kullanılan yol büyük ölçüde asfalttır.

Bu alandaki mermer yataklarının mineralojik ve petrografik özelliklerinin incelenmesi amacıyla öncelikle, 1/25000 ölçekli jeoloji haritasından ve Bursa H 21 – d3 paftasından yararlanılarak arazi çalışması yapılmış, sahada yer alan jeolojik birimler saptanmış, birimlerin birbiriyle ilişkisi incelenerek çalışma alanının jeolojik haritası hazırlanmıştır.

Çalışma alanından alınan numuneler öncelikle makroskopik olarak incelenmiş, daha sonra bu numunelerden ince kesitler hazırlanmış ve buna göre mikroskobik incelemelerde bulunulmuştur. Ayrıca mermer ocaklarından alınan numuneler üzerinde deneyler yapılmış ve sonucunda mermerlerin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir.

Bu çalışmada söz konusu laboratuvar ve deney sonuçları da dikkate alınarak, mermer işletilebilecek uygun yer seçimi konusunda değerlendirmeler yapılmıştır.

2 BÖLGESEL JEOLJİ VE İNCELEME ALANI JEOLJİSİ

2.1 Bölgesel Jeoloji

Çalışılan alanda yaşlıdan gence doğru Jura yaşlı Bayırköy formasyonu ve Bilecik Kireçtaşı, Miyosen yaşlı Yolçatı formasyonu bulunmaktadır (Şek. 2) olup bu formasyonlar aşağıda ayrı ayrı ele alınmıştır.

ZAMAN	DEVİR	FORMASYON	SEMBOLO	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
SENEZOİK	NEOJEN	YOLÇATI FORMASYONU	Ty		Taban konglomerası (kaba kum, marn, kil ve silt ardalınamalı)
	ORTA MIYÖSEN				Üskükdans
MESOZOİK	ERKEN JURA	BAYIRKÖY FORMASYONU	Jk+e		Kireçtaşı, beyaz, krem, açık gri renkli (sert, kırılğan özellikli, yer yer karstik boşluklu)
	ERKEN KRETASE	BİLECİK FORMASYONU	J		Kumtaşı, kırıli sarı-kahverengi, kabadokulu, bazen çakıllı

Şekil 2. Çalışma alanının bölgesel ölçekteki stratigrafisi

Bayırköy Formasyonu

Bayırköy Formasyonu, kaba dokulu, sert, dayanımlı ve çoğunlukla kötü boylanmış kumtaşı görünümünde olup, rengi genellikle kırıli sarı – kahve arasında değişmektedir. Yer yer kırmızı – yeşil renklere rastlanılmaktadır.

Erken Jura yaşlı Bayırköy Formasyonu üzerine, mostra veren sığ denizel kireçtaşları gelmektedir. Bayırköy Formasyonunun kalınlığı yer yer 500 metreye (m) kadar ulaşmaktadır.

Taban konglomerası kuvars ve granit çakıllardan oluşmakta olup bu birim tavanına doğru yeşilimsi, sarımsı, beyazımsı olan çakılların boyu küçülmektedir. Taban

konglomerası üzerine ise dayanımlı ve kötü boylanmış kumtaşları gelmektedir. Yüzeyle bozuşmuş olan kumtaşlarının üst seviyelerinde ise ince bir şekilde çamurtaşı ve silttaşı düzeyleri yer almaktadır.

Temel birimlerin üzerine transgresyonla yerleşen Bayırköy Formasyonuna ait kırıntılı çökeldimden uyumlu olarak beyaz, krem, açık gri renkli, kırılğan özellikli, Orta Jura – Erken Kretase yaşlı Bilecik Kireçtaşına geçilmektedir (Granit ve Tintant, 1960) ve (Genç, 1986).

Bilecik Kireçtaşı

Bu birim altta grimsi, beyaz renkli, kalın tabakalı fosilli, yumru veya çakıllı *kireçtaşı* olarak başlayıp üste doğru 250 m kalınlıkta, beyaz pembe renkli, düzgün tabakalı, çok seyrek fosilli, ince kristalli, kırılğan olduğu belirtilmiştir (Eroskay, 1965).

Birim; beyaz, krem, açık gri, ayrıışmış; oksitli yüzeyi ise sarı renkli, orta – kalın tabakalı ve yerel olarak masif görünümlüdür. Pürüzlü, kırıklı, çatlaklı, ikincil olarak gelişmiş kil ve kalsit dolgululu olan Bilecik Kireçtaşı, üst kesimlere doğru orta – kalın, seyrek olarak da ince katmanlıdır. Belirgin çatlakların yer aldığı birimde, yüzeydeki kırık sistemlerine bağlı olarak yer yer mağaralar ve çukurluklar oluşmuştur. Genelde mikritik dokuda *kireçtaşlarından* oluşan kalsit dolgululu Bilecik Kireçtaşı homojen bir karbonat istifidir. Bakırköy Formasyonu ile Bilecik Kireçtaşı arasındaki dokanak uyumludur (Saner, 1980), (Yılmaz, 1981) ve (Genç, 1986).

Yolçatı Formasyonu

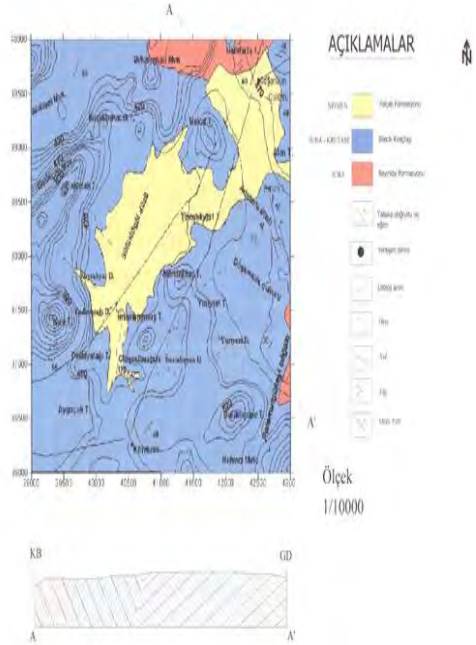
Bursa'nın doğusunda mostra veren genç karasal çökeller (Orta Miyosen – Pliyosen) Yolçatı Formasyonu olarak adlandırılmaktadır (Dar Mühendislik, 1998). Bu birim, az eğimli ya da yataya yakın bir tabakalanma gösterir.

Batı ve Kuzeybatı Anadolu'da geniş alanlara yayılan Yolçatı Formasyonu'nun üst kesimlerinde Pliyosen fosillerine rastlanılmıştır. Bu nedenlerle bu kırıntılı çökellerin yaş aralığı olarak Orta Miyosen –

Pliyosen olarak kabul edilmiştir (Ercan vd., 1990).

2.2 İnceleme Alanı Jeolojisi

İnceleme alanında üç farklı jeolojik birim yer almaktadır. Bunlar temelden itibaren bölgesel ölçekte stratigrafik olarak Bayırköy Formasyonu, kumtaşı, kaba çakıllı, üstte uyumlu olarak Bilecik Kireçtaşı birimine geçmektedir. Doğanalan ve Köreke civarının jeolojik haritası ve enine kesiti aşağıda görülmektedir (Şek. 3).



Şekil 3. Jeolojik harita ve enine kesiti

İnceleme alanında en yaşlı birim Bayırköy formasyonudur. Bu birim daha çok dere vadileri ile yamaçlarda mostra vermektedir. İnceleme alanının kuzeyinde Bekarınarı mevkiinin kuzeydoğusu ve civarında ve aynı zamanda Palamutgükeyi Boğazı civarında yüzeylenmektedir. Bu birimi oluşturan kayalar; mostralarda ince tabakalı, sarı – kahverengi, kötü bir şistoziteye sahip olup, yüzeyde kısmen ayrışma şekilleri gösterir. Şistozite genelde KD doğrultulu ve güney doğuya 60° eğimlidir. Özellikle Doğanalan köyü kuzeybatısında Ballıtarla Tepe Tek

Mezarlık civarında böyledir ve kıvrımlı – yapraklı (şisti) yapılar göstermektedir. Burada kıvrım eksenini KD – GD yönündedir.

İnceleme alanında, esas inceleme konusunu oluşturan, mermer oluşturan bloktaşlarının tabanında yer alan *kireçtaşları*; litolojik – stratigrafik olarak Bayırköy Formasyonu adı altında tanımlanan, yüzeyde makroskobik yönden kahve – sarımsı – yeşil karışımı tonlarda ince tabakalı ve yapraklı yapılar gösterir ve çoğunlukla yüzeyde etkin bir ayrışma gösterir. Bu nedenle limonitik, sarımsı kahve, bazen toz halinde kalıntılar içerir.

Bayırköy Formasyonu, inceleme alanının Doğanalan Köyü kuzey kesiminde yüzey verir, morfolojik olarak vadi ve eteklerde yüzeylenir. Bu formasyon üzerine gelen *kireçtaşları*, mermer oluşturan formasyon olup; bölgesel ölçekte, önceki çalışmalarda Bilecik Formasyonu olarak tanımlanmıştır.

Bayırköy Formasyonu olarak tanımlanmış kuvars – feldspatik çift mikali şistler, KD – GB doğrultularda ve Ballıtarla Tepe’de, Güneydoğuya 60° ile eğimli yönelimler gösterir. Aynı yörede kıvrımlanmalar gösteren serinin kıvrımlanma eksenini ise KD – GB yönelimlidir.

İnceleme konusunu oluşturan Bilecik *kireçtaşları* mermer oluşturan ve bloktaş üretimi yapılan formasyon olup, bu birim çalışma alanında oldukça geniş bir yüzeyi kapsamaktadır. Doğanalan Köyü Pıynarlı Tepe Bilecik *kireçtaşları* aşağıda görülmektedir (Şek. 4).



Şekil 4. Pıynarlı Tepe Bilecik Kireçtaşı

Bilecik kireçtaşları genelde morfolojik olarak tepe ve sırtlarda olup, özellikle tabanında yer alan Bayırköy formasyonu ile uyumlu konumdadır. *Kireçtaşlarında* ölçülen tabaka doğrultuları KD – GB yönündedir.

Kireçtaşları, Ballıtarla Tepe, Bekar Tepe, Küçükbakacak Tepe, Alabacı mevkii, Gelinçalı mevkii, Çavdar Sırtı, Kale Tepe, Dedeyatağı Tepe, Aygırçalı Tepe, Köreke Köyü civarı, İmambuymuş Tepe, Yurtyeri Tepe, Mersinlitaş Tepe, Balaklıgüme Tepe ve Döşemelik gibi kesimlerde sırt ve tepeleri oluşturmaktadır. Ayrıca *kireçtaşları* yüzeyde atmosferik etkenlerden doğan aşınma yapıları gösterir.

Daha önceden yapılan diğer bölgesel ölçeklerdeki çalışmalarda “Bilecik *Kireçtaşları*” bölgede oldukça yaygın olup, bugün için bloktaş üretim alanlarını oluşturmaktadır.

Şekil 3’den de izlenebileceği üzere, *kireçtaşları* özellikle devamlı olmak üzere tepe ve sırtlarda, bazan ara vadilerde de yüzeylenmektedir (Şek. 5).



Şekil 5. Ballıtarla Tepe eteği, damarlı gri *kireçtaşları*

Tabakalaşma, Doğanalan Köyü Çalüstü Tepe’de D-B yönlü, bazan da KB–GD yönlü olup 35-45° eğimler gösterirler.

Bu kesimde -aşağıda görüleceği üzere- 3- 5 cm kalınlığında ve birkaç metre

uzunluğunda, kahve renkli çörtlü zonlar da içermektedir (Şek. 6).



Şekil 6. Bilecik Formasyonu kireçtaşları içerisindeki çörtlü zonlar

Şekil 4, 5 ve 6’da izlenebileceği üzere, tabakalı olan bu *kireçtaşları* yüzeyde çatlak sistemleriyle kesilmiştir. Kireçtaşları yüzeyde grimsi mavi veya kahve tonlarında, kırıldığında ise beyaz – bej, ince taneli masif bir görüntü sergiler.

İnceleme alanında en üst seviyeyi ise “Dar Mühendislik” tarafından adlandırılan Yolçatı Formasyonu oluşturmaktadır. Bu formasyon; blok ve çakıl taşı şeklindeki bir taban konglomerası üzerinde kaba kum, kil, silt ardalı seviyeler içermekte olup, inceleme sahasında Doğanalan Köyü’nün güneybatısına doğru, Tümsekyurt Tepe ve Sülüklügöl Düzü civarında yüzeylenmektedir. Bu kesimlerde tabakalanma yataya yakındır. Geniş düzlükler oluşturmaktadır.

3 DOĞANALAN – KÖREKEM CİVARI MERMER OLUŞUMLARI

İnceleme alanını içine alan Bursa – Mustafakemalpaşa arasında yüzey veren “Bilecik Kireçtaşları” bloктаş (mermer) sektörünün 20 yılı aşkın süredir dikkatini

çekmiş önemli bir mermer üretim bölgesi olarak tanınmaktadır.

Bu yörede değişik renk ve özellikte bloктаş – mermer üretimi, özellikle, bej – kahve, bej – kahve tektonik karışımı (Empredor) ve beyaz renklerde (Mustafakemalpaşa – Devecikonağı yöresine doğru beyaz renkli bloктаş varlığı ve üretimine karşın, Bursa Söğütalan yöresinde bej – kahve ve bunların karışımları şeklindedir. Bu geniş mermer bloктаş bölgesinde 20 yıl öncesine kadar toplam 10-15 ocak üretimi varken, bugün bu rakam en az 5 - 10 kat artmıştır.

İnceleme alanı Doğanalan Köyü – KörekeM arası yaklaşık 16 km²lik alan içinde bilinen 2 ocak yeri bulunmaktadır. Bunlar Pıynarlı Tepe ve civarında yer alırlar. Pıynarlı Tepe ve Adatarla düzü arasında açılmış olan ocağın önemli bir fay zonu içerisinde bulunması nedeniyle, üretilen bloктаş mermer bloklarından verimli plaka mermer üretilmediği için terk edilmiştir.

Diğer mermer ocağı ise Pıynarlı Tepe güneyinde yer almaktadır. Son dönemde bloктаş üretilen ocakta üretim başarılı bir şekilde sürdürülmektedir.

Ayrıca KörekeM güneyinde, inceleme alanı dışında bloктаş üretimlerini sürdüren en az 10 adet üretim ocağı bulunmaktadır.

İnceleme alanında bugün için işletilmeyen fakat işletilebilecek özelliklerdeki yerler de mevcuttur. İnceleme alanının ~ % 75’inin Bilecik Formasyonu *kireçtaşları* olduğu düşünülürse, yörede oldukça çok sayıda işletilebilecek sahalar olduğu görülmektedir (Şek. 3).

3.1 Doğanalan Köyü Pıynarlı Tepe’de İşletilen Mermer Ocağı

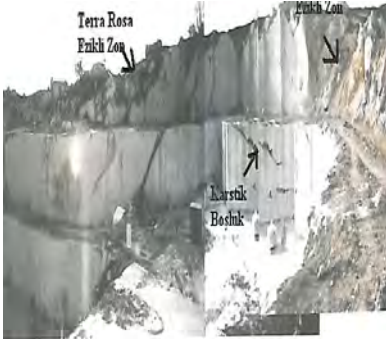
Bloктаş – mermer üretimi amaçlı açılmış ocak, Şekil 3’de izleneceği üzere, Doğanalan Köyü Pıynarlı Tepe’nin güneyinde, yaklaşık olarak faylı – kırıklı zonun bitiminde (batısında) kalmaktadır.

Bloктаş üretim ocağı yaklaşık 15 yıldan bu yana aralıksız üretimini sürdürmektedir. Ocak halihazırda 3 kademedan oluşmaktadır (Şek. 7).



Şekil 7. Pınarlı Tepe güneyi - mermer ocağı

Aynanın en üst kademesi yüzeysel Terra Rossa topraklı ezikli, kırıklı, atmosferik ayrışım izleri taşıyan zon olup, yaklaşık 1-2 metre kalınlığındadır (Şek. 8).

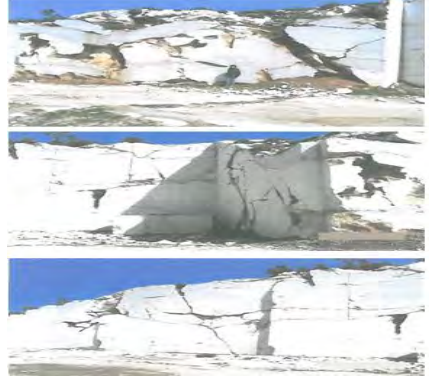


Şekil 8. Aynada karstik boşluklar-ezikli zon

Şekil 7 ve Şekil 8'de görüleceği üzere, söz konusu kırık – fay zonunun etkileri ocak aynasında belirgin biçimde yer almaktadır. Ayrıca faylı-kırıklı-ezikli zonlar ocak içine kadar devam etmektedir. Buradan hareketle, ocak içinde devam etmekte olan bu zonlar daha önce tanımlanan Pınarlı Tepe fay – kırık zonunun izleridir. Her ne kadar blok üretimi istenilen düzeyde yapılmış olsa da, kırılanma, eziklenme, faylanma nedeniyle ilk 2 yılda dahi ~ % 10 - 20 blok verimi gerçekleşmiştir.

3.2 Pınarlı Tepe – Adatarla Arası Terk Edilmiş Mermer Ocağı

Bu kesim Şekil 3'de tespit edildiği üzere tektonik yönden oldukça ezikli kırıklı bir özelliğe sahiptir. Bu durum aşağıda görülmektedir (Şek. 9).



Şekil 9. Pınarlı Tepe – Adatarla arasındaki terk edilmiş mermer ocağı

Görüldüğü üzere ocak sadece tek kademedan oluşmaktadır. Ocak aynalarında ayırık boşluklu, çatlaklı bir yapı mevcuttur (Şek. 10).



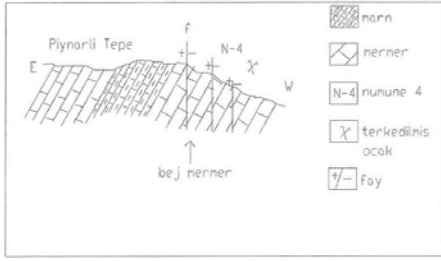
Şekil 10. Terk edilmiş mermer ocağındaki çatlak sistemleri

Burada deneme amaçlı bloktaş – mermer üretilmiş olup, bunlar daha sonra (plaka haline getirilen) katarlarda fabrikada kesme işlemlerinde kolayca kopma, parçalanma ve dağılma gibi sonuçlar vermiştir. Bu nedenle

ocak bugün tamamıyla terk edilmiş durumdadır.

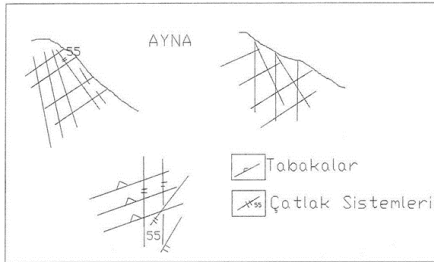
Burada ocak içinde üretilmiş bloklar, faylı – kırıklı zonunda bulunmaları nedeniyle aynadan ayrılmış olmalarına rağmen, bekleme anında kendiliğinden parçalanmıştır. Bu durum bölgedeki kayacın “stres” altında olduğunu, serbest hale getirildiğinde bu “stres”li kayacın bu etkiden kurtulma tepkisi (yani basıncın ortadan kalkması) sonucunda kendiliğinden parçalanma ve dağılma noktasına geldiğini göstermektedir.

Pıynarlı Tepe – Adatarla arasındaki terk edilmiş bu ocağın Numune 4’ün (N/4) mineralojik ve petrografik incelenmesi ayrıntılı olarak Bölüm 3.4.4’de verilmiştir. Aşağıda N/4’ün alındığı yeri gösteren D-B enine jeolojik kesit görülmektedir (Şek. 11).



Şekil 11. N/4’ün alındığı yeri gösteren D-B enine jeolojik kesit

Pıynarlı Tepe – Adatarla arası, terk edilmiş mermer ocağındaki mermerlerin çatlak sistemleri ise aşağıdaki verilmiştir (Şek. 12).



Şekil 12. Mermerlerin çatlak sistemleri

Bu mermerlerin çatlak aralığı 50 - 60 cm. arasındadır. Çatlak sistemleri kesiştiği için bu ocak blok vermemektedir. Bu yüzden terk edilmiştir.

3.3 Köreke Cıvarı Mermer Ocakları

İnceleme sahasının dışında kalan, Köreke civarında yer alan ocaklarda “yumurta” olarak tanımlanan yaklaşık 300 m çapında küresel veya oval şekilli, tektonik sıkışma sonucu oluşmuş, sade, üniform ve daha yoğun özellikteki bloklar mermerleri bulunmaktadır.

3.4 Doğanalan – Köreke Mermer Yataklarının Mineralojik ve Petrografik İncelemesi

Çalışma sahasında, mermerlerden mineralojik ve petrografik inceleme amaçlı alınan numunelerden toplam 5 tanesinin (N/1, N/2, N/3, N/4 ve N/5) ince kesitleri hazırlanmıştır.

Yapılan makroskopik incelemelerde kayaların renk, yapı, doku, sertlik, cila kabul ve kesme gibi özellikleri belirlenmiştir.

Bu işlemlere uygun ve ayrıca renk ve desen büyüklüklerini gösterebilecek şekilde, yani genellikle 40 cm x 50 cm x 40 cm’lik boyutlardan büyük blok örnekleri almak gerekmektedir (Onargan vd., 2006). Kayacın; pürüzlülüğünün giderilmesini ve cilalanmasını ne derecede kabul ettiği ya da kesme özelliğini belirlemek için numuneler 0,5 cm’lik plakalar haline getirilmiş, kenar köşe koptularının izlenip izlenmediği yönündeki çalışmalar ise ocak yerinde yapılmıştır.

Mikroskopik araştırmalarda ise dokusal özellikler, mineralojik özellikleri, mineral bileşimleri, boyutları ve kayaların diğer özellikleri belirlenmiştir. Mikroskop çalışması sonucunda ince kesitlerden mikroskopik fotoğraflar çekilmiştir.

İnceleme alanından alınan numunelerin mineralojik ve petrografik özellikleri aşağıda başlıklar halinde verilmiştir.

Numune No 1: Pıynarlı Tepe, Mermer Ocağı Cıvarı

Makroskopik inceleme

Çizelge 1. N/1 makroskopik özellikler

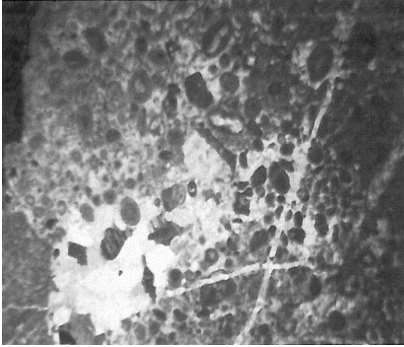
Renk	Beyaz tonlarında
Yapı / Doku	Masif, kırıklı, ezikli, taneler belirgin değil
Ayrışım	Yüzeysel düzlemlerde izlenir.
Sertlik	3 Mohs
Kesme özelliği	Kötü
Cila kabul	Orta – kötü
Asitle reaksiyon	% 10'luk HCl seyreltik asitte hızlı köpürme izlenir.

Kayaç, taşıdığı bu özellikler ile karbonat grubuna ait olup, kalsit, dolomit ve aragonit içermektedir.

Mikroskopik inceleme

- Doku: Mikritik, kriptokristalli, bol fosilli (biyomikritik) ve bol oranda demir içerir. Ayrıca açık çatlak ve boşluklar içerir ve ikincil kalsit damar dolgulara rastlanır. Fosiller çoğunlukla rekristalize olmuştur (mikrotanelidir).

- Tane boyutu: Mikritik kalsit 30 - 40 mikron; ince kristalize kalsit 0,02 – 0,05 mm'dir. N/1'in mikroskopik fotoğrafı (Büyütme x 120) aşağıda görülmektedir (Şek. 13).



Şekil 13. N/1'in mikroskopik görünümü

Mineral bileşimleri - modal oranlar

Çizelge 2. N/1'e ait mineral bileşim ve modal oran

Mineral Türü	Modal oran (%)	Özellikler
Kalsit (Mikritik)	67-70	Opak (demirli) impürütelerle iç içedir. Bol fosil içerir. Damar ve fosillerde ikincil kristalleşme sonucu ince kristalin kalsitler oluşmuştur. Kayaçta tüm yüzeyi kapsar, mikritik kalsitlerle iç içedir. Limonit - Hematit bileşimlidir.
Kalsit (Rekristalize)	15-16	
Opak (İmpürite)	15-17	

Bu bileşimlere sahip N/1 kayaç adı: "Bol demirli – fosilli (biyomikritik) kırıklanmış kireçtaşı"dır.

Numune No.2: Ballıtarla Tepe

Makroskopik inceleme

Çizelge 3. N/2 makroskopik inceleme

Renk	Bol kalsit (beyaz) damarlı grimsi tonlardadır.
Yapı / Doku	Masif, kompakt, bir yönlendirme ve yapraklanma yoktur.
Ayrışım	Yüzeysel kahve tonlarında
Sertlik	3 - 3,5 Mohs
Kesme özelliği	0,5 cm'lik plaka kesiminde kenar – köşe kopma izlenmez.
Cila kabul	Çok iyi
Asitle reaksiyon	% 10'luk HCl'de hızlı köpürme izlenir.

Kayaç bu özelliği ile karbonat grubuna ait olup, kalsit, dolomit, aragonit içermektedir.

Mikroskopik inceleme

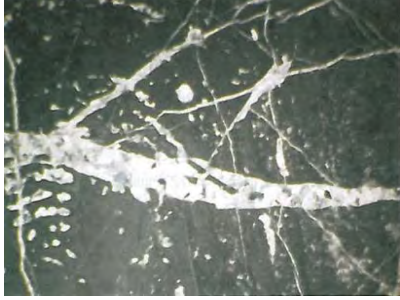
- Doku: İri taneli, kristalin, granüler doku içinde farklı boyutta iri – orta taneli kalsit kristalleri, ikizlenme ve dilinimler gösterir. Kalsit kristalleri çoğunlukla berrak, şeffaf, bazan klivajlar boyunca opak, ince, demirli mineraller (hematit, limonit) içerir.

Doku, ikincil olarak kalsit damarları ile kesilmiştir. Bunlar muhtemelen hidrotermal

evre ürünü olup, beraberinde opak (demirli) mineral getirimleri sağlar. Ayrıca iri kalsit kristalleri içinde daha küçük boyutlu kalsit kapanımları bulunmaktadır.

- Tane boyutu: Kalsit 0,45 mm – 1,2 mm ve 4,5 mm'dir.

Ballıtarla Tepe'den alınan N/2'nin (gri kireçtaşı) mikroskopik fotoğrafı (Büyütme x 120) aşağıda görülmektedir (Şek. 14).



Şekil 14. N/2'nin mikroskopik görünümü

Mineral bileşimleri - modal oranlar

Çizelge 4. N/2'ye ait mineral bileşimi ve modal oran

Mineral Türü	Modal oran (%)	Özellikler
Kalsit	80	Kristalin, ikizli, bazan opak, impürite içerir. Farklı taneli, çoğunlukla iri kristallidir. Dilinim - ikizlenme gösterir.
Kalsit (İkincil)	10	Damar dolgusu halinde kristalli ve berraktır.
Opak (İmpürite)	10	Muhtemelen ikincil kalsitlerle beraber gelişmiş olan limonit-hematit bileşimli opaklar, kristal içlerine veya damarların kenarlarına yerleşmişlerdir.

Bu bileşimlere sahip N/2 kayaç adı: (demir içerikli) "Mermer"dir.

Numune No.3: Pıynarlı Tepe, Mermer ocağı

Makroskopik inceleme

Çizelge 5. N/3 makroskopik inceleme

Renk	Beyazımsı tonlarda
Yapı / Doku	Sparitik, bol kalsit damarlı, masif, kompakt. Yönlenme ve yapraklanma izlenmez.
Ayrışım	Rastlanmadı
Sertlik	3 - 3,5 mohs
Kesme özelliği	0,5 cm'lik plaka kesiminde, kenar-köşe kopma izlenmez.
Cila kabul	iyi - çok iyi
Asitle reaksiyon	% 10'luk (HCl) seyreltik asitte hızlı köpürme izlenir.

Kayaç bu özellikleri ile karbonat grubuna ait olup, kalsit, dolomit ve aragonit içermektedir.

Mikroskopik inceleme

- Doku: Bol opaklı oolitle, ikincil kalsit damarlarıyla kesilmiş doku içinde kalsit kristalleri kristalindir ve farklı tane boyutludur. Bu ikincil kalsitler ikizlenme ve dilinim gösterir. Örnek kayaç, kalsit açısından yarı mikritik – yarı sparitik özelliktedir. Az oranda kavkı parçaları izlenir.

Mikritik (mikrotaneli) kalsitler, opak oolitler ile iç içedir. Bunları ince – orta taneli kristalin kalsitler çevreler. Demirli oolitlerin içi kısımlarında bazan kalsit bulunmaktadır. Bazan bu demirli oolitler haleli yapılar sunarlar ve bileşimlerinde hematit ve limonit bulunmaktadır.

-Tane boyutu: Mikritik kalsit: 30 – 40 mikron; kristalin kalsit: 0,25 mm – 0,4 mm; demirli oolitler: 0,25 mm – 0,6 mm.

Mineral bileşimleri - modal oranlar

Çizelge 6. N/3'e ait mineral bileşimleri ve modal oranlar

Mineral Türü	Modal oran (%)	Özellikler
Kalsit	80	Kristalin, ikizli, bazan opak, impürite (kirlilik) içerir. Farklı taneli, çoğunlukla iri kristallidir. Dilinim – ikizlenme gösterir.
Kalsit (İkincil)	10	Damar dolgusu halinde kristalli ve berraktır. Muhtemelen ikincil kalsitlerle beraber gelişmiş olan limonit – hematit bileşimli opaklar, kristal içlerine veya damarların
Opak (impürite)	10	

kenarlarına yerleşmişlerdir.

Bu bileşimlere sahip N/3 kayaç adı: “Az fosilli, bol opak demir oolitle, yarı mikritik yarı sparitik yarı kristalin kireçtaşı”dır.

Numune No.4: Pıynarlı Tepe – Adatarla arası terk edilmiş ocak içi

Makroskopik inceleme

Çizelge 7. N/4 makroskopik özellikler

Renk	Bej tonlarında
Yapı / Doku	Bol kalsit damarlı, masif.
Ayrışım	İzlenmedi
Sertlik	3 - 3,5 Mohs
Kesme özelliği	0,5 cm’lik ince plaka kesiminde kenar-köşe kopma izlenmiştir.
Cila kabul	İyi
Asitle reaksiyon	10’luk (HCl) seyreltik asitte hızlı köpürme izlenir.

Kayaç bu özelliği ile karbonat grubuna ait olup, kalsit, dolomit ve aragonit içermektedir.

Mikroskopik inceleme

- Doku: Az oranda fosil kalıntıları içeren boyomikritik kriptokristalli kalsitlerden oluşan doku içinde, aragonit oluşumlu zonlar ve bol oranda kristalin ikincil kalsit dolgulu damarlarla, opaklaşmış geniş alanlara rastlanır. Mikritik kalsitli zonlar çoğunlukla opaklaşmış kahve – gri tonlarda izlenir. Mikritik zonlarda opak mineral oluşumlarıyla oolitik dokular gelişmiştir. Kristalin kalsitlerde ikiz ve dilinim özellikleri izlenir.

- Tane boyutu: Mikritik kalsitler: 30 – 40 mikron; kristalin kalsit: 0,3 mm – 0,15 mm arasındadır.

N/4’ün mikroskopik fotoğrafı (Büyütme x 120) aşağıda görülmektedir (Şek. 15).



Şekil 15. N/4’ün mikroskopik görünümü

Mineral bileşimleri - modal oranlar

Çizelge 8. N/4’e ait mineral bileşimleri ve modal oranlar

Mineral Türü	Modal oran (%)	Özellikler
Kalsit (Mikritik)	55 - 60	Çoğunlukla opak (demir oksit) ile iç içedir. Kriptokristalli esas kayaç yapıcı mineraldir. Fosil kalıntıları izlenir.
Kalsit (Kristalin)	25 - 30	İkincil oluşumlu, damar ve boşluklarda yaygın, ikizlenme ve dilinim özellikleri gösterir.
Opak (demir oksit)	10 - 20	Kayaçta yaygın olarak rastlanan mikritik kalsitlerle iç içedir. Hematit bileşimlidir (koyu kahverengi bazan gri – kahve tonlarındadır).

Bu bileşimlere sahip N/4 kayaç adı: “Az fosil içerikli, bol opaklı yarı mikritik yarı rekristalize kireçtaşı”dır.

Numune No.5: Bekarpınarı mevkii

Makroskopik inceleme

Çizelge 9. N/5 makroskopik özellikler

Renk	Sarı – koyu kahverengi tonlarında.
Yapı /	Masif, ezikli, az dayanımlı

Doku	özelliktir. İnce tabakalı ve kötü yapraklanma gösterir.
Ayrışım	Yüzeysel ayrışım gösterir.
Sertlik	4 - 4,5 Mohs
Kesme özelliği	-
Cila kabul	-
Asitle reaksiyon	% 10'luk seyreltik HCl ile reaksiyonda, çok az oranda köpürme izlenir.

Mikroskopik inceleme

- Doku: Çok ince taneli, ayrıışmış yapraklar gösteren opak mineraller belirli düzlemler boyunca yönlenmiştir. Bunlar mercek yapıları altında ve muskovit, serisit mercekli mineralleriyle beraber yönlenmeler gösterir. Bu yapılaşma özellikleriyle yönlenme, şistozite gösterir. Ayrıca ince taneli matris içinde çok ince iğnecikler şeklinde klorit, serisit ve beraberinde kuvars içermektedir. Eser oranda da kalsit ve mika içermektedir.

Mineral bileşimleri - modal oranlar

Çizelge 10. N/5'e ait mineral bileşimleri ve modal oranlar

Mineral Türü	Modal oran (%)	Özellikler
Kuvars	36-46	Çok ince taneli, klorit, serisitle beraber
Biotit	15-17	Mercek şekilli
Muskovit + Serisit	20-22	Muskovitler, biotitlerle beraber
Klorit	3-4	Az oranda
Kalsit	4-5	Az oranda, ara boşluklarda
Opak	15-16	Bol oranda

Bu bileşimlere sahip N/5 kayaç adı: "Ayrıışmış kuvars – biotit – muskovit – serisitli şist"tir.

4 MERMER TEKNOLOJİLERİ

Bir taş eğer çeşitli boyutlarda, incelikte ve yönlere kesilmiyorsa o taş ne kadar beğeni kazanırsa kazansın *mermer* olarak bir değeri olamaz. Ayrıca plaka haline getirilen bu taşların kenar ve köşeleri de düzgün olarak kesilebilmelidir (Onargan vd, 2006). Mermer

ocaklarında bloктаş üretimi ya elle ve ilkel aletlerle ya da mekanik ve özel çıkarma yöntemleriyle sağlanmaktadır. Ayrıntılı bilgi için bakınız (Onargan vd., 2006) ve (Kulaksız, 2007).

Pynarlı Tepe'deki inceleme alanının içerisinde bulunan mermer ocağında mekanik üretim yapılmaktadır. Blok çıkarmada kullanılan yöntem elmas tel kesme yöntemidir.

Söz konusu ocaktan elmas tel kesme sistemiyle yaklaşık olarak 8 - 10 m'lik kademedan çatlıksız biçimde istenilen blok boyutu elde edilmektedir. Toplam blok boyutu 40 m³ civarındadır. Bu bütün bloklar daha sonradan ikincil tel kesmelerle 2 x 2 x 2,5 metre boyutlarda (yaklaşık 8 - 10 m³lük) taşınabilir hale getirilmektedir. Üretilen bloктаşların tümü, saf, sade veya üniform olmayıp (demirli, ince çatlak gibi) küçük arızalar izlenebilmektedir.

4.1 Ocaklardan Alınan Örneklerle Yapılan Fiziko – Mekanik Testler

Sahadan alınan numunelerin sertliklerinin 3 - 4,5 Mohs arasında olduğu tespit edilmiştir. Bu değerler yöredeki bu mermerlerin "yumuşak mermer" olduğunu göstermektedir.

Mohs skalasına göre belirlenen sertlik değeri mermerin kesilebilirliği ve işlenebilirliğinin yanı sıra cila alma kapasitesini etkileyen bir özelliktir. Örneğin sert mermer grubuna (6 - 7 Mohs) giren kayalar zor kesilebilmekte ve yüksek kesim ile cila maliyetleri gibi olumsuz özelliklerine karşılık, düzgün yüzeyli plakalar elde edilmesi ve iyi cila kabul edilmesi gibi avantajlar taşıyabilmektedir (Onargan vd., 2006). İnceleme alanı mermerlerinin ise kesimi kolay olacaktır. Diğer yandan aşağıda belirtilen özelliklerine göre farklı değerlendirmeler yapılabilecektir.

İnceleme sahasındaki ocaklardan alınan bu örnekler 6 x 8 x 6 cm ebadına getirilerek fiziko – mekanik deneyler için hazırlanmıştır. Bu örneklerin birim ağırlık, özgül ağırlık, porozite, su emme, basınç dayanımı gibi özelliklerini belirlemek amacıyla 4 adet numuneye (2'si açık bej renkte A-1 ve A-2, diğer 2'si koyu bej renkte K-1 ve K-2) çeşitli testler yapılmıştır.

Çizelge 11. Fiziko – mekanik test sonuçları

Numuneler	A-1	K-1	A-2	K-2
Havada ağırlık (gr)	789,4	790,8	775,5	793
Kuru ağırlık (gr)	789,2	790,5	775,3	792,8
Yaş ağırlık (gr)	790,3	792	776,2	793,5
Su emme (%)	0,14	0,19	0,12	0,12
Birim hacim ağırlığı	2,67	2,66	2,63	2,68
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	2,71	2,71	2,71	2,71
*Porozite (P) (%)	1,5	1,8	2,9	1,1
Basınç dayanımı (kg/cm ²)	910	880	910	>1000

*(Birim hacim ağırlık) / (özümlü ağırlık) = Kompozite = K,P = 1 – K

Bu deneylerden alınan sonuçlara göre; özgül ağırlık (2,71 gr/cm³)'dir.

Mermerin birim hacim ağırlığının bilinmesi özellikle yüklemelerde kullanılan sapan halatlarının kalınlıklarının ve nakliye ücretlerinin hesaplanmasında faydalıdır (Onargan vd., 2006).

Porozite (~ 1,1 - 2,9), su emme oranı (% 0,12 - 0,19)'dur. Bu değerler de oldukça uygundur.

Tek eksenli basınç dayanımı deneylerinde bir örnek 1000 kg/cm² üzerinde çıkarken, diğerleri ~ 880 - 910 kg/cm² sonuçları elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre yörede üretilen mermerlerin çok dayanımlı, kompakt, masif kayaç grubuna ait olduğu ortaya çıkmıştır.

4.2 İnceleme Alanında İşletme Açmaya Müsait Alanların Belirlenmesi

Ocak yeri seçimi için, öncelikle işletilebilir rezerv bulunması gerekir. Bunun yanı sıra blok alınmayan ve alterasyon zonunun etkili olduğu kısım miktarı, alınabilir blok boyutu, durumu ve imkanları da göz önünde bulundurulmalıdır. İşletme için gerekli elektrik, su ve diğer ikmal durumları ile morfolojik yapı da dikkate alınmalıdır. Bu koşullar sağlandıktan sonra mermer yatağının en elverişli bulunan konumunda ocak yeri seçilmiştir.

İnceleme alanında ise bugün işletilmeyen ama yukarıda belirtilen şartlara uygun çok sayıda yer bulunmaktadır. Doğanalan Köyü güneybatısındaki Bekar Tepe, Bakacak Tepe ve Küçükbakacak Tepe civarında muhtemel

ocak oluşturabilecek alanlar olup, bu konuda ayrıntılı çalışmalar yapılmalıdır. İnceleme alanının güneyine doğru Helvacı mevki, Balaklıgüne Tepe, Yurtyeri ve Mersinlitaş Tepe ve Döşemelik çukurunda da bloktaş üretimine yönelik benzer ayrıntılı çalışmaların yapılması dikkate alınabilir. Kale Tepe, Dedeyatağı Tepe, Aygırçalı Tepe (Körekem'in kuzeybatısı), bu kesimlerde de yakın gelecekte ocak açılması beklenmelidir.

5 SONUÇ

İnceleme alanının jeolojik haritasında da görüleceği üzere mermer oluşturan kireçtaşlarını örten neojen çökelleri ~ % 20 ve mermerlerin tabanında yer alan şisti özellikteki Bayırköy Formasyonu ~ % 5 olmak kaydıyla, geriye kalan ~ (% 75'lik) tüm alanı kireçtaşları oluşturmaktadır.

Ocaktan alınan Numune No. 1 ve 3'ün incelenmesi sonucunda buradaki mermerlerin beyaz, masif, mikroskop altında mikritik, bol fosilli, bol demir içerikli ve ikincil kalsit damar dolguları içerdiği gözlenmiştir. Kayaç "biyomikritik rekristalize kireçtaşı" olarak tanımlanmıştır. Nitekim bu tür bölgeye ait mermerler bej veya kahve mermer olarak bilinmektedir.

Yörede üretim yapılan mermer ocaklarından alınan beş adet örnek üzerinde fiziko-mekanik testler yapılmıştır. Bu deneylerden alınan sonuçlara göre özgül ağırlık (2,71 gr/cm³), porozite (~ 1,1 - 2,9), su emme oranı (% 0,12 - 0,19) gibi değerler mermer-bloktaş üretimi için oldukça uygun özelliktedir. Tek eksenli basınç dayanımı deneylerinde bir örnek 1000 kg/cm² üzerinde çıkarken, diğerlerinde ~ 880 - 910 kg/cm² sonuçları elde edilmiştir. Buna göre yörede üretilen mermerlerin çok dayanımlı, kompakt, masif kayaç grubuna ait olduğu saptanmıştır.

Yörede bugün için bilinen iki adet bloktaş üretim ocaklarından Adatarla düzü kesiminde yer alan tektonik kırıntılı zondaki ocak üretimi durmuştur. Aynı yörede fakat kırıklı zonun güneybatı kesiminde yer alan Pınarlı Tepe'deki mermer ocağı gerek üretim gerekse de blok verimliliği açısından

başarılı bir biçimde işletilmektedir. Diğer taraftan çalışma alanının güneyinde yer alan KörekeM civarındaki kesimde Doğu - Batı zonu boyunca inceleme sahasının dışında yaklaşık 10 adetin üzerinde ocak bulunmaktadır.

İnceleme alanında bugün işletilmeyen ancak çalışmada belirtilen şartlara uygun çok sayıda yer bulunmaktadır. Muhtemel ocak oluşturabilecek bu alanlarla ilgili ayrıntılı çalışmalar yapılmalıdır.

Bu veriler ve değerlendirmelerle inceleme alanı ve civarında belirlenen işletme açmaya müsait alanlarda ekonomik fizibilite çalışmaları yapılmalı ve söz konusu mermerler ülkemize kazandırılmalıdır.

Yılmaz, Y., (1981). Sakarya Kıtası Güney Kenarının Tektonik Evrimi, *İ.Ü. Yer bilimleri*, Sayı 1, s.33-52.

<http://www.bursa.gov.tr/>

<http://www.mta.gov.tr/v3.0/>

KAYNAKLAR

- Dar Mühendislik, (1998). Bursa Çevreyolu Kesimi Kesin Proje Jeoteknik Raporu, Kısım II. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü, s.
- Ercan, T., Ergül, E., Akçören, F., Çetin, A., Granit, S. ve Asutay, J., (1990). Balıkesir – Bandırma Arasının Jeolojisi, Tersiyer Volkanizmasının Petrojeolojisi ve Bölgesel Yayılımı, *MTA Dergisi*, Cilt 110, s.113-130.
- Eroskay, S. O., (1965). Paşalar Boğazı – GölpaZarı Sahasının Jeolojisi, *İ.Ü. Fen Fakültesi Mecmuası*, Seri: B, Cilt: 30, Sayı: 3-4, s.135-170.
- Genç, Ş., (1986). Geology of The Region Between Uludağ and The İznik Lake, *MTA Enstitüsü yayını*, s.19-25
- Granit, T. ve Tintant, H., (1960). Observation Preliminaries Sur le Jurasique de la Region Bilecik (Turque), *C.R.Acad.Sci.Paris*, Cilt 251, s.1801-1803.
- Kulaksız, S., (2012). Doğal Taş (Mermer) Maden İşletmeciliği ve İşletme Teknolojileri. 3. Baskı, Ankara, 636 s.
- Onargan, T., Köse, H. ve Deliormanlı, A.H., (2006). Mermer. TMMOB Maden Mühendisleri Odası, 4. Baskı, Ankara, 324 s.
- Saner, S., (1980). Mudurnu – Göynük Havzasının Jura ve Sonrası Çökelim Nitelikleriyle Paleografik Yorumlanması, *TJK Bülteni*, C.23, s.39-52.
- Uz, B., (1991). Marmosan Mustafakemalpaşa Sincansarnıç Sahasının Etüt ve Değerlendirilmesi. *İTÜ Maden Fakültesi YBYK Raporu*, s. 55-96.
- Uz, B., (1991). Mermerlerde Petrografik Analiz, *Mermer Dergisi*, sayı 19, s.44-47.

Skill Development Training in Stone Sector in India

K. Vikram Rostagi

Stone Technology Centre Group of Companies and Editor, Stone Panorama, Jaipur, India

ABSTRACT India ranks fourth in export of stones. So far import of marble blocks was restricted, but now import is allowed freely under Open General License. It has resulted in sizeable import of Turkish marble. The author earlier conducted training in stone sector in Gujarat for five years. He also conducted courses on granite quarrying and processing for Nigerians and marble quarrying for Afghanis. He prepared Detailed Project Reports for setting up a Centre for Development of Stones in Jaipur and a Marble Technical University in a SAARC country. The Government Industrial Training Institute, Amer close to Jaipur has been assigned to the author to upgrade the existing courses and introduce stone related courses. One year to three and five year courses shall be planned leading to setting up a Skill University in Stone Technology. Turkish companies can collaborate with Indians for setting up warehouses for blocks; processing of blocks in India and sale of finished products in India and abroad. Collaborative efforts in training in India can also be explored. This blue print on implementation would provide Skilled Manpower to Indian and Middle-East companies.

1 BACKGROUND

There are 4,000 marble mines and 1,400 marble processing factories with gangsaws, block cutters, associated polishing lines etc. A large number of granite mines and processing factories are in operation in Andhra Pradesh, Tamil Nadu and Karnataka. A large number of small edge-cutting and polishing machines in each city are functioning which provide cut-to-size tiles in assorted sizes as well as countertops for kitchens, vanity tops and other applications.

Most of the stone working machines have been developed in India except robotic machines, 4 and 5 axis machines, laser machines, granite gangsaws and complete plant for making engineered stones. These stone working machines are still imported from Italy and China. Plant and machinery for making engineered stone is mainly supplied by Italian and Chinese companies.

While most of the diamond tool and polishing brick making plants are made indigenously, still some of the companies are importing German and Chinese made machines for making diamond tools.

2 STATUS OF STONE TRAINING IN INDIA

In spite of the above facts, no stone related courses have been approved by National Council for Vocational Training (NCVT) or by any of state level Councils for Vocational Training (SCVTs) in India with the result that regular training courses are not being conducted. However, at present a four month course on "Stone Sculpting", another four month course on "Machines for Stone Craft" and a one year course on "Stone Enterprise Development" (all the three courses approved by GCVT) are being conducted in state owned Stone Artisan Park

Training Institute (SAPTI) in Ambaji, Gujarat, as an exception. The author had earlier conducted these training courses in stone sector in Gujarat for five years.

He also conducted short-duration courses on granite quarrying and processing for Nigerians and marble quarrying for Afghans. He prepared Detailed Project Reports for setting up a Centre for Development of Stones in Jaipur and a Marble Technical University in a SAARC country.

Recently, Stone Technology Centre (Training Division), Jaipur, in association with IMM Carrara, Italy, had conducted a course on granite and marble mining and processing in Carrara, Italy, from 9th June to 20th June, 2017 for Indian engineers, businessmen and entrepreneurs. The participants in this training course were satisfied with the course content and opined that the course was very useful for them.

3 TRAINING IN STONE SECTOR IN INDIA

Stone Technology Centre (Training Division) [STC(TD)], a subsidiary concern

Table 1.

Name of Centre	Course	Students Enrolled	Employed/Self Employed
SAPTI, Ambaji	Stone Sculpting	220	211
	Machines for Stone Craft	140	130
	Stone Enterprise Development	120	90
SAPTI, Dhrangadhra	Stone Sculpting	128	72
	Machines for Stone Craft	203	152
	Stone Enterprise Development	108	58
Total of Ambaji & Dhrangadhra		919	713
Percentage of Students employed/self-employed			77.6%

These two institutions became important in vocational skill development training in stone sector within a period of 2½ years and secured the first National Excellence Award announced by the Planning Commission of India in association with ASSOCHAM under Vocational & Skills Training – “Best Government Initiative”, a remarkable achievement only because of the efforts put in by K. Vikram Rastogi and STC(TD).

of Stone Technology Centre Group is mainly involved in conducting vocational skill development training courses in stone sector. It conducted different vocational training courses at two state of art institutes – Stone Artisan Park Training Institutes (SAPTIS.) set up by Government of Gujarat at Ambaji and Dhrangadhra in Gujarat as Training Service Provider for almost five years (1-7). These courses were mainly meant for unemployed youths of rural and tribal belts and other marginalized sections of the society and for finding them employment soon after their training. The courses conducted were four month course on Stone Sculpting, four month course on Machines for Stone Craft and one year course on Stone Enterprise Development (8-15). The responsibility included finding suitable and eligible candidates for these courses, recruitment and enrolment of students, imparting successful training to the students and then finding them employment soon after training including one year handholding. Details of students trained and employment are given in Table 1.

STC(TD) conducted a training course on granite quarrying and processing for Nigerian nationals at Jaipur.

STC(TD) also conducted a training course on marble quarrying for Afghani nationals in Ambaji.

A Project for Study and Development of Improved Tool Kits for Stone Craft Artisans of Varanasi, Uttar Pradesh, was completed for National Centre for Design and Product Development, New Delhi, an Enterprise of Government of India (Ministry of Textiles).

Government of Rajasthan has allotted Government ITI, Amer (near Jaipur City) to Stone Technology Centre (Training Division) under Institute Managing Committee (IMC) to run various training courses including the existing courses with full autonomy. K. Vikram Rastogi, President of STC Group is the Chairman of IMC. STC(TD) is planning to conduct various courses relating to stone and construction in the GITI, Campus, Amer very soon.

4 PROPOSED TRAINING COURSES

Looking to the requirement of trained manpower for various sections of stone industry specially for imported machines in India, a large number of courses of short duration are being proposed. Some of these are:

- Stone Sculpting
- Stone Working Machines
- Marble Quarry Operator
- Granite Quarry Operator
- Painting on Marble Artefacts
- Making of Mosaics
- Machine Operators for JCB, Earth Moving Machines, Water Jet Cutting Machines, Robotic Machines, Four & Five Axis Machines, Marble and Granite Countertops making; machine operators for making Engineered Stone etc.

In addition to the above, the following courses, which are ancillary to stone working are also proposed to be conducted:

- Design of Kitchen Countertops
- Waste Reduction
- Waste Utilization
- Reduction in Air-pollution
- Safety and Environment Protection

Cement & stone buildings, monuments including historical monuments, temples etc. need cleaning and treatment, preservation and restoration work. Importance of getting trained workers in this field is increasing and, therefore, the following courses are being proposed:

- Cleaning and treatment of floors and walls
- Preservation and Restoration of monuments

For promotion of stone and stone artefacts in the country and its utility in domestic market so as to popularize increased use of stones, the following two courses shall also be organized:

- Marketing of stone and stone products
- Export of stones

Stone Technology Centre (Training Division) is presently involved in preparing course content, likely duration of short-duration courses; hours of teaching; requirement of equipment, tools and other consumables; qualification and experience of the trainers and eligibility criteria for the students, batch strength of courses etc. for a number of short-duration courses. They are also suggesting two-month apprenticeship training in a factory or workshop followed by class room teaching so that the theoretical knowledge gained by the students during class room teaching may be fully utilized to gain practical knowledge. Wherever possible Indian and foreign machine and stone manufacturers are being involved so that trained manpower may be made available to them for operation of their machines in India.

5 PROPOSED SKILL UNIVERSITY IN STONE TECHNOLOGY

While Rajasthan is dominated with marble, granite is in abundance in Andhra Pradesh, Tamil Nadu and Karnataka. Limestone (kotahstone) mining and processing is carried out in Ramganjmandi, Kota and Jaisalmer in Rajasthan as also in Cuddappa. Slate is quarried and processed in Rajasthan, Haryana and Himachal Pradesh. 95% of sandstone production – beige, pink, red and yellow – is from Rajasthan. Sandstone tiles have been used for flooring, wall cladding as also in making of temples in India and abroad.

In addition to the requirement of a large number of trained manpower for mining, processing, marketing and exports in India, trained workforce – stone masons, sculptors, laying and fixing operators would get gainful employment in UAE, Kuwait, Qatar, Saudi Arabia etc.

There had been recession during the past, but things are improving now with crude oil touching US\$ 55 per barrel from US\$ 29 per barrel last year.

In view of the above, a full fledged Skill University in Stone Technology in the country is proposed to be set up in Jaipur.

Campus: Minimum 2,00,000 sqm of land near Jaipur City shall be provided by the Government free of charge. Civil structure consisting of class rooms, smart class rooms, seminar rooms, conference rooms, faculty rooms, laboratories, hostels for students, auditorium etc. shall be constructed. A separate audio visual room with a seating capacity of 60 students would also be constructed. A separate Administrative Block shall be built up so as to accommodate administrative officers and staff, employment cell, visitors room, reception etc., besides a production centre where a large number of machines shall be installed so that students can learn operation and maintenance of these machines as well as get trained on the working of the machines. This would be a production-cum-training centre so that items manufactured can be sold or else job work from the industry undertaken.

Other civil structures would include residences for Vice Chancellor, faculty members, guest house, room for watch and ward etc. Initially the University would enroll 1,500 students in one year. It would subsequently increase to 5,000 a year after five years of commencement of the University.

This University shall be set up in Public Private Partnership.

6 PROPOSED COURSES

6.1 Short-term Courses

Short-term courses for new entrants: A variety of stone related courses of short duration ranging from one month to four months followed by two months apprenticeship training shall be conducted. Since these courses would be conducted for the first time in the country, efforts would be made to get candidates sponsored by mining

and processing industry in India so that after successful completion of the course, students can be employed. Wide publicity shall be given to these courses so as to enroll as many students as possible in different skills.

Short duration course of two months on Fair Participation both domestic as well as foreign fairs would be conducted. Aspects related to existing markets, products, variety of stones etc. shall be explained to them. Printing of stationery and brochure, possible markets, payment terms, etc. would be included in the curriculum. Two months apprenticeship training is considered a must for such students.

Refresher courses for existing operators: A helper working on a machine becomes an operator in about five years time after he has worked on a machine under the supervision of an operator. Such operators, who are presently operating Indian and imported machines have limited knowledge. All aspects about machines related to production, safety, power consumption, reduction in waste, air-pollution and water pollution hazards, as also latest trends etc. shall be explained to them. It is hoped that such courses would provide up-gradation of the skills of the existing operators in the country.

Normally these courses would be residential of 3 to 5 days. These would be conducted on stone quarrying, stone processing and heavy earth moving machinery. In addition to the above, courses on engineered stones, water jet cutting machine, 4 & 5 axis machines, robotic machines, traditional machines, CNC machines etc. shall also be conducted.

6.2 Long-term Courses

Certificate Courses: Our vision is to conduct certificate courses of one and two years with six-month apprenticeship training so that these courses become equivalent to the industrial training courses being conducted by National Council for Vocational Training. These pass outs can then operate various machines. These courses would be conducted for operation of machines.

Diploma Courses: The following courses of three-year duration with one-year apprenticeship training in stone sector would be conducted:

- Diploma in Stone Mining
- Diploma in Stone Processing
- Diploma in Domestic Marketing of Stones
- Diploma in International Marketing of Stones

First year of these courses would be more or less similar which would provide technical and commercial knowledge to the students in a variety of stones and general information regarding types of stone, finishes, applications, cost of production etc.

A Diploma Course of one year with six month apprenticeship training shall be conducted on reduction of waste and utilization of waste. This subject is of vital importance as heaps of waste from quarrying and processing including slurry available in abundance is causing pollution hazard. Use of waste into utility items would be important.

Degree Courses: A five-year degree course for the students who have passed 10+2 exam in science/arts/commerce stream shall be conducted. One-year apprenticeship training in industry would be compulsory. These degree courses would be in:

- Degree in Stone Mining
- Degree in Stone Processing
- Degree in Domestic and International Marketing of Stones

7 OTHER ACTIVITIES

In order to develop expertise in all aspects of stone and to make this University a Centre of Excellence, the following activities shall also be carried out:-

Consultancy: Feasibility studies, market surveys, potential surveys, export market surveys shall be prepared. Detailed project reports for setting up quarrying & processing and warehouse facility shall also be conducted. Besides regular technical consultants, financial consultants shall also be kept to provide technical, commercial and marketing consultancy not only in India, but also abroad.

Research & Development: Research and development activities in specified areas shall be carried out where students from different streams – civil engineering, Master of Business Administration (MBA), economics shall conduct research for their Ph.D work. Research conducted would be industry oriented so that the outcome of research is useful to the industry.

Conferences & Seminars: Initially two seminars of one day each – Innovations in Stone Technology and Marketing of Stones shall be conducted in Jaipur. These seminars would also be conducted in Chennai, Hyderabad, Mumbai, Bangalore, Delhi and Udaipur.

National organizations like Federation of Indian Granite and Stone Industry (FIGSI), Bangalore; Centre for Development of Stones (CDOS), Jaipur and Indian Monument Manufacturers Association (IMMA), Chennai would be associated.

Stone Display Centre: Panels with their names, colour, location etc. shall be installed where stones of all varieties shall be displayed. Visits of school children shall also be organized so that they may be exposed to types of stone being produced and their applications. A dark room with audio-visual set up shall also be provided where different films – stone and varieties, stone applications, stone and architecture, stone and heritage, stone and sculpting shall be screened for school going students. Other specialized films shall be screened for the trainees.

8 COLLABORATION WITH TURKEY

Turkey has more than 400 varieties of marble. Some of the machines made in Turkey can be exported to Indian entrepreneurs. At present maximum import of marble blocks under Open General License (OGL) is taking place from Turkey. The import would increase in years to come.

Turkish Stone Associations: IMMIB, AGEAN Exporters Association, West Mediterranean Exporters' Association and others including a number of large quarry

owners, processors and exporters can set up a custom bonded warehouse in the proposed University Campus. A separate Display Centre for Turkish materials can also be set up.

An Architects Conclave: It can be organised twice a year where architects, builders and actual users would be invited. This can jointly be managed by one of the representatives of Turkish Companies as well as our representative. While some sales can be effected from there, orders can also be booked on existing variety of marble blocks. At present most of the marble is imported in Rajasthan and hence there is a significant importance of such a stone warehouse.

Turkish machine manufacturers can also organize training courses for operation of their machines in the proposed campus.

This University can sign Memorandum of Understandings (MoUs) with corresponding Turkish University / Training Institutes / Organizations / Companies for:

- Organizing training in India and/or Turkey;
- Exchange of English speaking faculty periodically on mutually agreed terms and conditions;
- Undertaking a joint research programme for reduction of waste from marble quarrying and processing plant including slurry and outcome offered to Turkish companies for commercial exploitation;
- Organizing a joint training programme involving Indian and Turkish experts for the benefit of international students from countries of Middle-East and Africa to start with;
- Promoting Turkish stone with architects, builders, contractors in its standard forms – slabs and tiles including special items, like columns, pillars, inlay work, overlay work, mosaic etc.;
- Even production of some of these items can be taken up in the University so as to provide skill development training along with apprenticeship training on making of such artefacts. These artefacts can also be sold to the consumers;

- Machines manufactured by Turkish companies as well as special tools and consumables can also be promoted from the University; and
- An Information Centre on products manufactured in Turkey can be opened which could provide all commercial and technical information of such products including distribution of leaflets etc. to mining and processing industry.

9 CONCLUSION

Stone industry is one of the biggest industries – mining, processing, marketing and exports – in India. This natural resource based industry is fast developing in India meeting the requirement of consumers. Infrastructure development is a priority for the Government of India and, therefore, a large quantity of stone shall be used in airports, railway stations, metros and building up of smart cities, state capitals, commercial complexes, malls, residential buildings etc. This growing demand of stone would require skilled workers at all levels including supervisory and managerial. Export of stone would also increase and, therefore, trained staff shall also be required for this purpose.

There would be greater emphasis on reduction in power consumption, increased productivity, reduction of waste as well as converting waste in to wealth in years to come. This Skill University would help in making products competitive in the international market.

Setting up of a full fledged University would take almost 5 years but activities would start from second year. Adequate revenue model shall be devised so that the University is able to run of its own.

The University would be proposed in PPP mode with Government of Rajasthan wherein land would be provided free of cost and sizeable seed capital given for setting up the University. Big industrial houses would invest in building, plant and machinery, furniture and fixtures and other assets. Certificates to the students, who have successfully undergone short-term and long term training courses with apprenticeship

training shall be issued by the University. In future skilled workers will get jobs when they have this certification from the University. This would be the first and only University in skilling in stone sector in India.

- of Traditional Art, , Indian Stone, December 2013, pp 69-70.
15. Anon; Developing Skilled Manpower in Stone Sector, , Stone Panorama, July-September, 2017, pp 40.

REFERENCES

1. Anon; Stone Artisan Park Training Institute- Working for Enterprise Development and Employment Generation, Stone Panorama, January, 2013, pp 78-79.
2. Anon; Stone Artisan Park Training Institute (SAPTI), Catalyst for Building Tomorrow's Entrepreneur Today, Stone Panorama, April, 2013, pp 64-65.
3. Anon; Interactive Session between Government, Industry & Stone Technology Centre (Training Division) [TSP] at Stone Artisan Park Training Institute, Ambaji, Stone Panorama, July-September, 2013, pp 75.
4. Anon; A Complete Training Institute with A Noble Mission, Stone Panorama, October-December, 2013, pp 73.
5. Anon; Stone Artisan Park Training Institute – working for Enterprise Development and Employment Generation, Architecture & Interiors Panorama, January, 2013, pp 55-56.
6. Anon; Stone Artisan Park Training Institute (SAPTI) – Catalyst for Building Tomorrow's Entrepreneur Today; Architecture & Interiors Panorama, April, 2013, pp 55-56.
7. Anon; Stone Artisan Park Training – A Noble & Best Initiative for Revival of Traditional Art, Architecture & Interiors Panorama, October-December 2013, pp 56.
8. Anon; Revival of Centuries Old Stone Art by SAPTI, Construction Patrika, March-April, 2013, pp 6.
9. Anon; Special Attempt by SAPTI for Employment After Training, Construction Patrika, May-June, 2013, pp 6.
10. Anon; Both SAPTI's Attempting from Training To Employment, Construction Patrika, July-August, 2013, pp 6.
11. Anon; A Complete Training Institute with A Noble Mission, Construction Patrika, September-October, 2013, pp 28-29.
12. Anon; SAPTI: Un'ottima e nobile iniziativa per ridare vita all'arte tradizionale, Marmomacchine, agosto 2013, pp 74-84.
13. Anon; L'Inde développe ses formations aux métiers de la pierre, , Pierreactual, 9/2013, pp 82.
14. Anon; Stone Artisan Park Training Institutes (SAPTI) – A Noble & Best Initiative for Revival

İgnimbritin (Ahlat Taşı) Yapı Taşı Olarak Kullanımının Değerlendirilmesi

Determination of the Usability of Ignimbrite (Ahlat Stone) as Building Stone

Ö. Kılıç, E. Kahraman, A. M. Kılıç

Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana

ÖZET Doğal taşlar inşaat sektöründe özellikle iç-dış duvar kaplamalarında, merdivenlerde, havuzlarda, kaldırımlarda ve döşemelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapı taşları elde edilmişlerine, mineralojik yapılarına, oluşumlarına, işleniş şekillerine, mekanik ve fiziksel özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır. Çalışma kapsamında Bitlis bölgesinde bulunan ahlat taşlarının mekanik, fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri incelenmiştir. Bu özelliklerin belirlenmesi için hazırlanan numunelere basınç dayanımı, eğilme dayanımı, darbe dayanımı, aşınma dayanımı, don sonrası eğilme dayanımı, su emme ve birim hacim ağırlık deneyleri uygulanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda ahlat taşının yapı taşı olarak nerelerde kullanılması gerektiği belirlenmiştir.

ABSTRACT Natural stones are extensively being used as construction materials such as interior and exterior wall coverings, staircases, pools, pavements and flooring. Structural stones are classified according to its production, mineralogical structures, formations, shape, mechanical and physical properties. In this study; mechanical, physical, chemical and mineralogical properties of the Ahlat stones at Bitlis region have been investigated. In this study, uniaxial compressive strength, flexural strength, water absorption, unit volume weight, impact strength, abrasion resistance and flexural strength value after frost were found. As a result of these experiments, it has been determined where Ahlat Stone should be used as building stone.

1 GİRİŞ

İgnimbrit (ahlat taşı) ülkemiz mimarisinde önemli bir yere sahiptir. Geçmişte çeşitli tarihi yapılarda yaygın olarak kullanılmıştır. Tarihi eserler özellikle cami, mezar gibi

yapılarda çokça kullanılmıştır. Bitlis Ahlat'a bulunan Selçuklu Mezarlığı ve diğer mimari yapılar incelendiğinde, İgnimbrit'in dekoratif desen çalışmalarına ne kadar elverişli olduğu görülmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Selçuklu mimarisinden ignimbrit örnekleri

İğnimbrit günümüzde de cami mimarisinde, evlerde iç dekorasyon süslemelerinde, dış cephe kaplamada ve çeşme tasarımı gibi pek çok yapıda yaygın kullanım alanı bulmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Günümüz mimarisinden iğnimbrit örnekleri

İğnimbrit yapısı itibariyle volkanik olduğundan oldukça hafiftir. Taşın yapısındaki bu hafifliğe karşılık, basınç dayanımı yüksektir. Siyah, gri, kahverengi gibi farklı renklerde bulunmaktadır. Taşın çeşitli renklerde olması, mimaride süslemede çokça kullanılmasına neden olmaktadır. Hafif olduğu için taşın işlenmesi oldukça kolaydır. İğnimbrit, toprak altından çıkarıldıklarında kısmen yumuşak olup, açık hava etkisiyle sertleşmektedir. Yumuşak haldeki İğnimbrite el veya makine ile istenilen şekiller kolayca verilebilmektedir. (Çelebi, 2001).

Yapı taşları, elde edilişlerine, mineralojik yapılarına, oluşumlarına, işleniş şekillerine, mekanik ve fiziksel özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır. Kullanım amaçlarına bağlı olarak genellikle, taşların mekanik ve fiziksel özellikleri ön plana çıkmaktadır Şimşek ve diğ., 2004). Güleç (1980) kayaçların basınç dayanımı ve Tarhan (1996)'da kayaçların boşluk oranlarına (porozitesine) göre sınıflandırmalarını yapmıştır Çizelge 1 ve Çizelge 2'de bu sınıflamalar verilmektedir.

Çizelge 1. Kayaçların basınç dayanımına göre sınıflandırılması (Güleç, 1980)

Basınç dayanımına göre sınıflandırma	
14-28 MPa	Çok düşük dirençli
28-56 MPa	Düşük dirençli
56-112,5 MPa	Orta dirençli
112,5-225 MPa	Yüksek dirençli

Çizelge 2. Kayaçların boşluk oranlarına göre sınıflandırılması (Tarhan, 1996)

Boşluk oranına göre sınıflandırma	
% 1-2,5	Az boşluklu
% 2,5-5	Orta boşluklu
% 5-10	Oldukça boşluklu
% 10-20	Çok boşluklu
< % 20	Çok fazla Boşluklu

Bu araştırmada, Bitlis-Ahlat yöresinde bulunan iğnimbritlerin (ahlat taşı) kimyasal içeriği, bazı mekanik ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2 MATERYAL VE METOT

2.1 Materyal

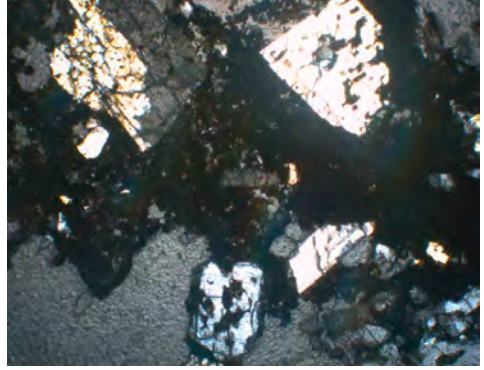
İğnimbrit numuneleri, Bitlis'in Ahlat ilçesi Ovakışla ve Kuru çayır bölgelerinde üretimde bulunan ocaklardan elde edilmiştir Blok halinde çıkarılan kayaçların koyu ve açık kahverengi olarak görülmektedir. Ocaktan getirilen bloklar, Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği numune hazırlama laboratuvarında sulu kesim ile, TS EN 1469 (2015)'de belirtilen boyutlarda numuneler üretilmiştir.



Şekil 2. Farklı renklerde İğnimbrit örnekleri

2.2 Metot

Örnekler üzerinde, TS EN 1469 “Doğal taş mamulleri- Kaplamada kullanılan plâkalar - Özellikler” ve TS EN 1467 “Doğal taşlar - Ham bloklar - Özellikler” standartlarında önerilen deneylerden, birim hacim ağırlık, hacimce su emme basınç dayanımı, eğilme dayanımı, darbe dayanımı ve don sonrası eğilme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları ilgili standarda göre değerlendirilmiştir. Ayrıca numunelerin kimyasal ve mineralojik içeriği de belirlenmiştir.



Şekil 3. Örneğin mikroskop görüntüsü (Çift nikel/ x40)

3 ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1 Kimyasal İçerik

Kimya laboratuvarımızda kimyasal analize uygun şekilde öğütülen numune, Panalytical marka X-Ray Fluorescence (XRF) cihazı ile analize tabi tutulmuş ve numunelerin kimyasal içeriği Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. İgnimbritin kimyasal içeriği

Element	%
SiO ₂	72,40
Al ₂ O ₃	13,85
Na ₂ O	2,32
CaO	0,46
Fe ₂ O ₃	3,85
K ₂ O	4,71
TiO ₂	0,50
MgO	0,21
Diğer	0,20
Kızdırma kaybı (%)	1,50

3.2 Petrografik ve Mineralojik Analiz

Numunemizin petrografik ve mineralojik incelemelerine göre; kayaç fenokristal feldspat, plajiyoklas, biyotit, az oranda amfibol, piroksen minerallerinden oluşmaktadır. Ayrışma oldukça etkin olup, kayacı oluşturan mineral sınırlarında daha da belirgin gözlenmektedir (Şekil 3).

Fenokristalen piroksen mineralleri kataklastik dokulu, yarı özşekillidir. Yer yer boşluklarda demir alterasyon zonları mevcuttur (Şekil 3).

3.3 Birim Hacim Ağırlık

Uygun boyutlarda beş adet deney numunesi hazırlanmıştır ve standartta belirlenen koşullar uygulanarak birim hacim ağırlık değerleri belirlenmiştir (Çizelge 4). Bu özelliği incelendiğinde taşın gözenekli bir yapıya sahip olduğu söylenebilir. TS-EN 1469 (2015)’da kaplama taşları için bir sınır değeri verilmemiştir.

Çizelge 4. İgnimbritin birim hacim ağırlığı

Numune	Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)
1	1,472
2	1,436
3	1,455
4	1,426
5	1,461
Ortalama	1,450 ± 0,019

3.4 Ağırlıkça Su Emme Oranı

Numuneler üzerinde ağırlıkça su emme deneyi yapılmış ve sonuçlar Çizelge 5’de verilmiştir. Doğal yapı taşlarında, TS EN 1467’de belirtildiği üzere ağırlıkça su emme oranı % 7,5’den az olmalıdır. İgnimbrit örneğinin su emme oranlarının çok yüksek

olması, kayacın geçirgen bir yapıya sahip olduğunu gösterir.

Çizelge 5. İgnimbritin su emme oranı

Numune	Su Emme Oranı (%)
1	21,186
2	21,152
3	21,627
4	21,012
5	20,866
Ortalama	21,168 ± 0,296

3.5 Porozite

Deney numunelerinden standarda uygun ölçülere sahip örnekler hazırlanmıştır ve örneklerin poroziteleri belirlenmiştir (Çizelge 6). Ortalama porozite değeri % 30'dur. Bu değer Tarhan (1996) sınıflamasına göre çok fazla boşluklu kaya sınıfındadır.

Çizelge 6. İgnimbritin ağırlıkça porozite oranı

Numune	Porozite (%)
1	31,183
2	30,376
3	31,461
4	29,970
5	30,479
Ortalama	30,694 ± 0,612

3.6 Tek Eksenli Basınç Dayanımı

İgnimbritin basınç dayanımı deneyi etüv kuru numunelere uygulanmıştır. Standarda uygun ölçülere sahip örnekler hazırlanmıştır. Örnekler ELE marka elektronik hidrolik pres yardımı ile basınca maruz bırakılmış ve örnekler üzerinde gerçekleştirilen deney sonuçları Çizelge 7'de sunulmuştur. Güleç (1980) sınıflamasına göre ortalama basınç mukavemeti değeri olan 12,25 MPa çok düşük dirençli kaya sınıfındadır.

Çizelge 7. İgnimbritin basınç dayanımı değeri

Numune	Tek Eksenli Basınç Dayanımı Değeri (MPa)
1	12,43
2	12,02
3	12,31
4	12,18
5	12,26
6	12,1
7	12,46
Ortalama	12,25± 0,16

3.7 Don Öncesi ve Sonrası Eğilme Dayanımı

İgnimbritin etüv kuru ve don sonrası olmak üzere iki aşama halinde eğilme dayanımına maruz bırakılmıştır.

Dona dayanım deney aşamaları TS EN 12371 (2010) ve TS EN 12372 (2013)'e göre yapılmıştır. Etüv kuru eğilme dayanımı ortalaması 1,74 MPa iken don sonrası eğilme dayanımı ortalaması 1,40 MPa'dır. Don sonrası dayanım değerinde % 19,54 azalma olduğu görülmüştür (Çizelge 8).

Çizelge 8. İgnimbritin don öncesi ve don sonrası eğilme dayanımı

Numune	Eğilme Dayanımı (MPa)	
	Don öncesi	Don sonrası
1	1,53	1,37
2	1,66	1,46
3	1,88	1,72
4	2,04	1,76
5	1,58	1,45
6	1,48	1,21
7	2,11	1,70
8	1,82	1,69
9	1,58	1,45
10	1,66	1,37
Ortalama	1,74±0,22	1,40±0,13
Don sonrası kayıp (%)		19,54

3.8 Darbe Dayanımı

4x4x4 cm boyutlarında hazırlanan numuneler darbe dayanımına maruz

bırakılmıştır ve darbe dayanım değeri ortalaması N.mm/mm³ olarak bulunmuştur.

4 SONUÇLAR

Kaplama olarak kullanılan kayaçların fiziksel ve mekanik özelliği sınır değerleri TS EN 1467 ve TS EN 1467'de verilmemiştir. Elde edilen sonuçlar kıyaslandığında;

- Ortalama birim hacim ağırlık değeri 1,450 gr/cm³'tür. Bu değer numunemizin boşluklu olduğunu desteklemektedir.
- İgnimbritin ortalama ağırlıkça su emme oranına bakıldığında % 21,168 > % 0,75 olduğundan ağırlıkça su emme oranının da çok yüksek olduğu görülmüştür.
- İgnimbritin porozite değeri % 30,694 bu açıdan da incelenen örnek Tarhan sınıflamasına göre çok fazla boşluklu kaya sınıfındadır.
- Tek eksenli basınç dayanımı incelendiğinde Güleç (1980) tarafından yapılan sınıflamaya göre çok düşük dirençli kaya sınıfında olduğu görülmüştür.
- Eğilme dayanımı değeri incelendiğinde eğilme dayanımının çok düşük olduğu görülmektedir.
- Don sonrası dayanımda dazalması ise %19,5'dir. Bu değerde oldukça yüksektir.

İncelenen örneğin yüksek porozitesi, düşük basınç dayanımı, yüksek su emme değerleri, don sonrası dayanımındaki kayıp etkin bir değerlendirme ölçütü olarak kullanılabilir. Eski mimariler incelendiğinde; nemli ve don olaylarının olduğu yerlerde taşlardaki en önemli bozulmalar taşın yapısında pulsu döküntüler şeklindedir. Bu nedenle özellikle dış cephe mimarisi için kullanılan yerlerde nem ve don olayları göz önünde tutulmalıdır. Donma olaylarının etkin olduğu bölgelerde özellikle iç cephe kaplamasında kullanılarak su ile teması önlenmelidir.

Farklı renklerde olmasından dolayı desen çalışması içeren mimari yapılarda iç mekan, dış cephe, merdiven, yer döşemesi, korkuluk, havuz kenarları, kemer, sütun, şömine, cami ve balkonlarda kullanılabilirler. Ayrıca peyzaj ve restorasyon çalışmalarında da

değerlendirilebilir. Kayacın kullanılmasında tek dikkat edilmesi gereken konu en başta belirtildiği gibi don ve nemli mevsim koşullarına sahip bölgelerde su ile temasını önlemektir.

KAYNAKLAR

- Çelebi, C., 2001. Yaşayan Kültür Ahlat, Kültür Bakanlığı Yayınları: 2711, Kültür Bakanlığı HAGEM, Ankara.
- Güleç, K., Mühendislikte Jeoloji (2. Baskı), Sakarya D.M.M. Akademisi Yayınları No:4, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul (1980).
- Şimşek, O., & Erdal, M., 2004. Investigation of some mechanical and physical properties of the Ahlat stone (İgnimbrite). Gazi University Journal of Science, 17(4), 71-78.
- Tarhan, F., 1996. Mühendislik Jeolojisi Prensipleri, K.T.Ü. Mimarlık-Mühendislik Fakültesi, Trabzon.
- TS EN 1467, 16.04.2014, Doğal taşlar-Ham bloklar - Özellikler Ankara
- TS EN 1469, 30.04.2015, Doğal taş mamulleri - Kaplamada kullanılan plâkalar - Özellikler Ankara.
- TS EN 12371, 27.06.2010, Doğal Taşlar - Deney Metotları - Dona Dayanım Tayini, Ankara.
- TS EN 12372, 09.10.2013, Doğal taşlar - Deney yöntemleri - Yoğun yük altında eğilme dayanım tayini, Ankara.

Silifke (Mersin) Yöresi Mermer Oluşumlarının Değerlendirilmesi

The Evaluation of Silifke (Mersin) Region Marble Formations

Ö. Kılıç, E. Kahraman, A. M. Kılıç

Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, Adana

ÖZET Mermer ocak işletmeciliğinde amaç, mermer fabrikaları ve piyasanın istediği boyutlarda kırıksız, çatlaksız, rengi ve dokusu talep gören ve albenisi yüksek istenilen özellikleri süreklilik arz eden iri bloklar çıkarabilmektir.

Mermerin genel özellikleri içerisinde bloğun nihai ürün verimi ve ekonomikliği önemlidir. Bir bloğu değerlendirirken mermer cinsinin genel özellikleri ve nihai ürün pazar özellikleri göz önünde bulundurulur ve blok kalite kontrolü yapılır. Bu konuda değerlendirilmesi gereken son aşama, aynı çevrede ve hatta aynı ocakta üretim yapılan farklı aynalara ait blokların kalite kontrolüdür. Süreksizlikler, renk, homojenite, kristal özellikleri, blok verimi gibi parametreler ocağın, aynadan aynaya farklılık gösterir. Başta renk olmak üzere bloğun tümü, olabildiğince ocağın genel özelliklerini yansıtacak şekilde benzer jeolojik, fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olmalıdır.

Yapılan çalışma kapsamında Silifke İlçesi (Mersin) sınırları içerisinde oluşmuş mermerlerin mermer olarak üretilebilme potansiyelleri incelenmiştir.

ABSTRACT The aim of the marble quarry operation is to produce large blocks which are without crack, without fracture, size demanded by marble factories and market, high allure, supply of continuity, have a requested texture.

Within the general characteristics of the marble is significant that final product yield of block and economically. When evaluating a block, general characteristics of marble and final product yield of block are considered and block quality control is performed. The last step that should be considered in this regard, to control the quality of the block in different faces in the same environment and even in the same quarry. Parameters such as discontinuities, color, homogeneity, crystal properties, block yield differ from the quarry to quarry, from face to face. Especially with to be color, all of the block should have similar geological, physical and chemical properties as possible to reflect the general characteristics of the quarry.

Within the scope of the study; potential be produced as marble of marbles which was formed within the borders of Silifke Region (Mersin) were investigated.

1 GİRİŞ

Bilimsel anlamda mermer, kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşlarının sıcaklık ve basınç altında başkalaşıma uğrayarak yeniden kristallenmesi ile oluşan metamorfik bir kayadır (Bektaş,2014). Kimyasal bileşiminde büyük oranda kalsiyum karbonat, magnezyum karbonatın yanı sıra silisyum dioksit ile değişik metal oksitleri ve silikat mineralleri bulunur. Mermer, saf

kalsiyum karbonat bileşiminde olduğu zaman beyaz ve yarı saydamdır.

Endüstriyel anlamda mermer ise, blok verebilen, kesilip cilalandığında parlayabilen, dayanıklı ve güzel görünümlü her türden taşların (tortul, magmatik, metamorfik) bütünü için kullanılan bir terimdir. Bu tanıma göre kalker, traverten, kumtaşı gibi tortul; gnays, mermer, kuvarsit gibi metamorfik; granit, siyenit, serpantin gibi magmatik taşlar da mermer olarak

isimlendirilmektedir. ‘Boyutlandırılmış blok taş’ tanımı günümüzde mermer olarak kullanılan ve jeolojik kökenleri oldukça farklı olan doğal taşlar arasındaki karmaşayı önlemek için kullanılmaktadır. Mermer ve doğal taş ülkemiz madencilik sektöründe önemli yere sahiptir.

Bir doğal taş yatağının ocak olarak işletilmesine karar verebilmek için birçok değişik parametreyi değerlendirmek gerekir. Bunlardan en önemlisi blok verme potansiyeli, pazarda değerini artıracak renk ve desen albenisine sahip olması ve yatırım yapılabilecek boyutlarda rezerve sahip olmasıdır. Ayrıca, renk ve desen özelliğinin rezervin işletilmesi süresince de çok fazla değişmemesi, süreklilik arz etmesi gerekmektedir. Bu nedenle, yatırım kararı verilirken işletilmesi düşünülen ocağın durumu, kullanılacak makina-donanım vb. özellikleri göz önüne alınarak bir verim değeri oluşturulmalı ve blokların işleme süreci için de benzer verim/kayıp oranı değerlendirmesi yapılarak ekonomik hesaplamalar yapılmalıdır.

Mermer türü, yöre, ocak ve ayna koşulları dikkate alınarak yapılacak renk değerlendirmesinde, blok renginin, ocağın genel renk yapısında olması istenir. Renk değerlendirmesi, diğer parametrelerden farklı olarak pazar özelliklerine ve uluslararası talep durumuna göre yapılır. Günümüzde çoğunlukla talep edilen mermer renkleri, açık renklerdir. Renklenmenin sade

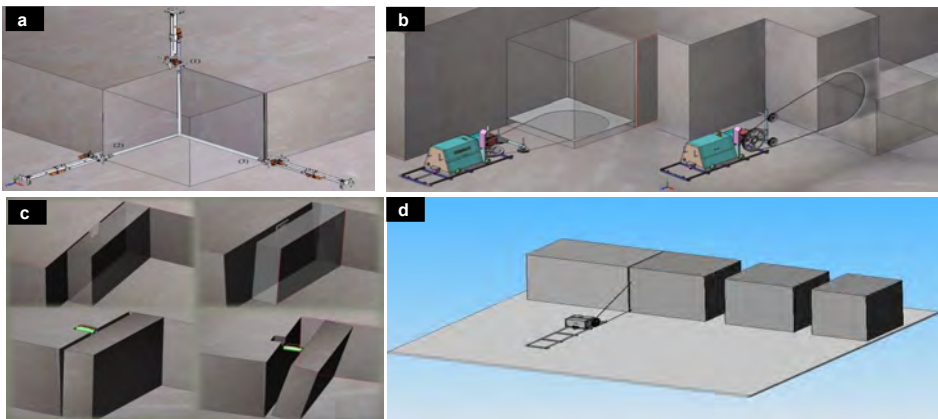
ve mümkün olduğunca az sayıda renk çeşidi ve tonlarından oluşmuş olması istenir. Başta renk olmak üzere bloğun tümü, olabildiğince ocağın genel özelliklerini yansıtacak şekilde benzer jeolojik, fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olmalıdır. Mermerlerde çatlak ve gözeneklilik de istenmeyen unsurdur. Buna karşılık çatlaksız bej (mikritik mermer) de bulmak olanaksızdır.

2 MERMER İŞLETMECİLİĞİ

Açık ocak şeklinde işletilecek mermer ocaklarında uygulanan başlıca üretim yöntemleri konvansiyonel üretim (oluk-kanal açma ve delik delme-üçlü kama) ve mekanik üretim (helezon tel kesme, elmas tel kesme, zincirli kesicilerle kesme, elmas disk kesicilerle kesme, termal şok ile üretim, hidrolik kesme (basıncılı su), laser ile kesme ve karma üretim) olarak sayılabilmektedir (Aktaş, 2012).

Günümüzde hızla kullanımı artan ve yaygın olan yöntem elmas tel ile kesmedir (Şekil 1).

Son yıllarda jetbelt olarak da bilinen potkabaç türü kollu kesicilerin kullanımı artmaktadır (Şekil 2). Bunun yanı sıra termal şok, İtalya’da denenmekte ve hidrolik kesme ile laser teknolojisinden de bu alanda faydalanılma çalışmaları sürmektedir.



Şekil 1. Elmas tel kesim yöntemi ile mermer üretimi (a. Delik delme, b. Elmas tel ile kesim, c. Blok devirme, d. Blok küçültme)



Şekil 2. Kollu zincirli kesme yöntemi ile mermer üretimi

2.1 Mermer Blok Kalite Kontrolünde Temel Konular

Mermer cinsinin genel karakteristik özelliklerine göre blok kalite kontrolü yapılmaktadır. Gerçek (metamorfik) mermerlerde çatlak ve gözeneklilik istenmeyen unsurdur. Buna karşılık çatlaksız bej (mikritik mermer) de bulmak olanaksızdır. Travertenlerde ise gözeneklilik karakteristik bir özelliktir. Genel olarak, onikslerde büyük ebatlarda blok üretimi jeolojik özellikleri nedeniyle çok sınırlıdır. Mermerin genel özellikleri içerisinde bloğun nihai ürün verimi ve ekonomikliği önemlidir. Bu ve benzer nedenlerdir ki, bir bloğu değerlendirirken mermer cinsinin genel özellikleri ve nihai ürün pazar özellikleri göz önünde bulundurulur ve ona göre blok kalite kontrolü yapılır (Karaca,2003).

Blok kalite kontrolünde ikinci değerlendirme adımı, ocağın genel jeolojik özelliklerinin değerlendirilmesidir. Ocağın jeolojik özelliklerinin değerlendirilmesinde mermerin mevcut pazar payı ve mermere olan talep önemlidir. Bloğun temiz olması, kırık-çatlak ve yabancı eleman içermemesi, kesme makinalarının kapasitesini tam dolduracak ölçülerde olması idealdir. Bu konuda değerlendirilmesi gereken son aşama, aynı çevrede ve hatta aynı ocakta üretim yapılan farklı aynalara ait blokların kalite kontrolüdür. Süreksizlikler, renk,

homojenite, kristal özellikleri, blok verimi gibi parametreler ocaktan ocağa, aynadan aynaya farklılık gösterir (Karaca,2003).

Blok kalite kontrolünde ocağın jeolojik yapısı önemlidir. Çatlaklı ve kırıklı bir ocakta, büyük ebatlarda sağlam blok elde edilme oranı çok düşüktür. Bu nedenle, blok seçimi yapılırken ocağın jeolojik parametreleri ve genel durumu göz önünde bulundurulmalıdır. Blok kalite kontrolünde ocak ve ayna özelliklerinin değerlendirilmesi aşamasında mermerin pazar durumu ile mermerin nihai ürün verimi ve nihai kârlılığı önemlidir.

Süreksizlikler blok kalite kontrolünde son derece önemlidir. Genel olarak, süreksizliklerle kırık, çatlak, fissür ve mikrofissür şeklinde karşılaşılır.

Bloklarda ise, gözlem koşulları ve bloğa olan temel etkileri nedeniyle kırık ve çatlaklar daha önemlidir. Kırık ve çatlakların dolgu durumuna bakılır. Kırık ve çatlakların açıklık değeri ve süreksizliklerin dolgu içeriği, blok kalite kontrolünde son derece önemlidir.

Blok kalite kontrolünde süreksizlikleri dolduran dolgu malzemesine, dolgunun bağlayıcılık derecesine, dolgu mineral özelliklerine, dolgu ve dolgu boyunca etkin renklenme durumuna bakılır. Düşük bağlayıcılık özelliğinde olan dolgular

süreksizlik kavramı içerisinde değerlendirilir.

Düşük bağlayıcılık özelliğine sahip dolgu malzemelerinin her ne kadar tam bir bağlayıcılık özelliği olmasa da, içerdiği minerallerin içinde bulunduğu mermerden daha sert olması ya da talk, klorit, şist gibi mineraller içermesi proses aşamasında sorunlara, önemli ölçüde verim düşüşüne ve maliyetlerin artmasına neden olmaktadır. Dolgunun neden olduğu renklenmenin, bloğun genel renk yapısı içerisinde kaybolması, öne çıkmaması istenir. Bloklarda süreksizlikler ve bağlayıcılığı düşük dolgular istenilmez. Blok kalite kontrolünde süreksizliklerin dağılımına, blok işleme planlamasına göre süreksizliklerin yatayla yaptıkları açı veya açılara, süreksizlikler arası mesafeye ve süreksizliklerin boyutuna bakılır (Çetin, 2003).

Blok kalite kontrolünde önemli bir parametre de renktir. Mermer türü, yöre, ocak ve ayna koşulları dikkate alınarak yapılacak renk değerlendirmesinde, blok renginin, ocağın genel renk yapısında olması istenir. Renk değerlendirmesi, diğer parametrelerden farklı olarak pazar özelliklerine ve uluslararası talep durumuna göre yapılır. Günümüzde çoğunlukla talep edilen mermer renkleri, açık renklerdir. Renklenmenin sade ve mümkün olduğunca az sayıda renk çeşidi ve tonlarından oluşmuş olması istenir.

Blok kalite kontrolünde önemli olan bir başka konu, yabancı elemanlardır. Mermer cinsinin genel jeolojik özellikleri dışında mermer içerisinde bulunan ve üretimin herhangi bir aşamasında verim ve kapasite düşüşüne, maliyet artırıcı ya da kullanım aşamasında farklı sorunlara neden olan sert veya yumuşak mineraller, jeolojik süreçten kaynaklanan arıza olarak adlandırılan materyal ve diğer tüm malzemeler mermer için yabancı eleman olarak tanımlanır. Farklı mermer cinslerinin jeolojik özelliklerine göre farklı şekillerde mermer içerisinde bulunabilen pirit, arsenopirit, manyetit, hematit, epidot, feldspat, kuvars, dolomit, talk, şist, klorit, kil, çört, zımpara taşı ve fosiller karşılaşılan önemli yabancı

elemanlardır. Kil ara yüzeyleri ve dolguları mikritik mermer ve travertenler için önemlidir. Killer ve talk gibi mineraller kesme ve işleme aparatlarını sıvayarak neden oldukları sorunların yanı sıra, mermerin kullanımı sırasında buldukları ortamdan zamanla uzaklaşmaları ile de sorun oluşturur. Farklı demir mineralleri kesme ve işleme zorluklarının yanı sıra doğada veya kullanım aşamasında mermerin paslanmasına, bozuşmasına neden olabilir.

Blok homojenliği, mermer ile makina-ekipmanlar ve maliyetler arasındaki ilişki kadar, ürünün devamlılığı ve termin açısından da son derece önemlidir. Blokların, doğal yapı içerisinde olabildiğince benzer özelliklerde (mermer için sınırlı bir kavram olmak üzere homojen) olması istenir. Başta renk olmak üzere bloğun tümü, olabildiğince ocağın genel özelliklerini yansıtacak şekilde benzer jeolojik, fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olmalıdır.

Blok kalite kontrolünde ocak için son aşama, alıcı için ise ilk değerlendirme parametreleri, blok ölçüleri ve düzgün yüzeyliliğidir. Ocaklarda, genellikle süreksizliklerin durumuna, renk ve tonaj sınırlamasına göre blok ebatlaması ve ayırımı; kalite kontrolü yapılır. Ocaklarda süreksizlikler ile renk ayırımına bağlı olarak mümkün olduğunca büyük ebatlı bloklar oluşturulur. Büyük boyutlarda blok düşüncesi bazen, başta süreksizlik ve renk gibi çok önemli kalite kontrol parametrelerinin göz ardı edilmesine, saklanmasına neden olabilir. Ayrıca, toz ve çamurlaşma sonucu, özellikle geleneksel yöntemlerle üretilmiş ve üzerinde delici uç izleri olan bloklarda süreksizlikler ve renk tam olarak gözlenemez. Blok kalite kontrolünde ve satın almada, olanaklar ölçüsünde bloğun altı yüzeyinin de görülmesi gerekir. Bloğun, renk ve süreksizliklerin belirginleşmesi için ayırım ve yükleme öncesi yıkanması yararlı olur.

2.2 Doğaltaş Yatırımlarında Önemli Özellikler

Doğaltaş yatırımı yapılması düşünüldüğü durumlarda yatırım kararı aşamasında

değerlendirilmesi gereken bazı önemli parametreler Çizelge 1'de kısaca belirtilmiştir (Akkoyun ve Çetin, 2007).

Çizelge 1. Doğaltaş yatırım kararına etki eden özellikler

Maden Yatağı Özellikleri	<ul style="list-style-type: none"> • Rezerv Miktarı • Blok Kalite Oranları • Jeolojik Koşullar
Madencilik Özellikleri	<ul style="list-style-type: none"> • Blok Çıkarma Verimi • Blok İşleme Verimi
Ekonomik Özellikler	<ul style="list-style-type: none"> • Blok Çıkarma Maliyetleri • Nakliye Maliyetleri • Blok İşleme Maliyetleri • Sabit Maliyetler • Pazarlama Maliyetleri • Satış Fiyatları • İndirgeme Oranı

Bir doğaltaş ocağından sürekli olarak aynı özelliklere sahip bloklar elde etmek çoğunlukla mümkün değildir. Mermer yataklarının oluşmasında önemli bir jeolojik unsur olan bölgesel başkalaşımdan (metamorfizma) farklı oranlarda etkilenen değişik derinlikteki bloklarda sertlik, renk ve fosil içeriği gibi özelliklerde farklılıklar gözlenebilir. Ayrıca, yüzeye yakın bloklarda atmosferik koşullardan kaynaklanan bozulmaların neden olduğu fiziksel özellik farklılıklarına rastlanır. Fay ve diğer süreksizlikler, üretilen blokların boyutlarını doğrudan etkilerler. Bunun sonucunda da üretilen bloklar birkaç kalite sınıfına ayrılarak değerlendirilir. Blok kaliteleri, boyut, renk ve desen içeriği, çatlak, fosil ve diğer bazı özelliklere bağlıdır.

Yatırımın değerlendirilmesinde bir diğer husus ise ocak verimidir. Ocak verimi, kabaca, işlenebilir/satılabilir blok hacminin kazısı yapılan toplam hacme oranı ile bulunmaktadır.

Mermer üretiminde büyük blokların aynadan kesilmesinin ardından sayalama (ana bloğun küçük bloklara ayrılması) işlemi gerçekleştirilir. Renk ve desen homojenliği ile süreksizliklerin durumuna göre sayalama sırasında da bir miktar kayıp meydana gelmektedir. Kazı verimi aynı ocaktaki farklı kalitedeki bloklar için de ayrı ayrı hesaplanabilir.

Doğaltaş ürünleri, endüstrinin diğer birçok ürününden farklı olarak renk-desen albenisi gibi estetik gerekçelerle satın alındıkları için, pazarda yer bulmaları, tanınmaları için belirli bir süre geçmesi gerekmekte ve bu süre içinde de belirli bir pazarlama maliyetine ihtiyaç duyulmaktadır. Yatırım yapılması düşünülen doğaltaş, pazarda önceden bilinmeyen bir taş ise, bu tanınma zamanı ve pazarlama maliyeti de bir miktar artmaktadır.

Yatırım kararı düşünüldüğünde değerlendirilmesi gereken bir diğer parametre de satış fiyatlarıdır. Ham blok satış fiyatlarından işlenmiş ürünlerinin her bir kalitedeki iç pazardaki ve dış pazardaki satış fiyatları yatırım kararı için önemli bir hesaplama ve karar aracıdır.

3 SİLİFKE (MERSİN) YÖRESİ MERMER OLUŞUMLARI

Mermer ocak işletmeciliğinde amaç, mermer fabrikaları ve piyasanın istediği boyutlarda kırksız, çatlaksız, rengi ve dokusu talep gören ve albenisi yüksek istenilen özellikleri süreklilik arz eden bloklar çıkarmaktır.

Yapılan çalışma kapsamında Mersin İli, Silifke İlçesi sınırları içerisinde yer alan mermer sahalarından ekonomik verim alınabilecek kalitede blok elde edilebilirliği ve elde edilebilecek bu blokların kalite uygunlunun belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır (Şekil 3-4).

İncelenen mermer sahaları Mersin İli, Silifke İlçesi sınırları içerisinde olup Mersin Limanına uzaklıkları ise yaklaşık 100 km'dir. İncelenen mermer sahaları beyaz renkli, yer yer renk değişimleri gösteren, orta-kalın tabakalı, mercanlı, Mesozoyik yaşlı (kaynak) kireçtaşlarından oluşmaktadır. Bölgede tektonizmayı ve yakın civarda oluşmuş mermer varlıklarının kırık çatlak sistemlerini ve dokusunu etkileyen Zindanderesi Fayı mevcuttur. Bölge Bakanlar Kurulunun 18.04.1996 gün ve 96/8109 sayılı kararı ile kabul edilen deprem haritasına göre, 4. derecede tehlikeli deprem bölgesi kuşağında yer almaktadır.



Şekil 3. Mermer sahasının genel görünümü



Şekil 4. Mermer sahasında atmosfere mazruz kalmış yüzeyler

3.1 Mermer Sahalarında Gerçekleştirilen İncelemeler

Mermer oluşumlarının olduğu bölgelerde yapılan incelemelerde mermerlerin açık renkli olması nedeniyle; ilk etapta piyasadan talep göreceği düşünülmüştür. Ancak, yapılan incelemelerde bazı kısımlarda renk homojenitesi olmadığı mermerlerde hakim olan bej rengin açık pembe renge kadar değişen bir dalgalanma sunduğu görülmüştür (Şekil 5-9). Ayrıca incelenen örneklerde bol fosil kalıntıları mevcuttur. Bu durumda mermerin dayanımını olumsuz yönde

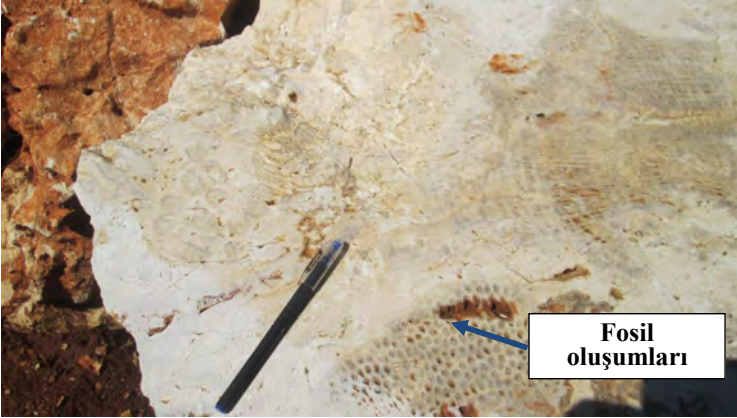
etkilemekte ve renk dalgalanmasına sebebiyet vermektedir.

Mermerlerin olduğu bölgede Zindanderesi Fayı bulunması nedeniyle mermerlerin bol kırıklı çatlaklı yapıda olduğu yapılan saha incelemeleri ile belirlenmiştir.

Kırık çatlaklar ikincil olarak oluşmuş iri kristalli kalsitler ve demirli bileşikler tarafından doldurulmuştur. Bu tip oluşumlar mermer homojenitesini olumsuz yönde etkilemekte ve mermerin kalitesini düşürmektedir (Şekil 10-14).



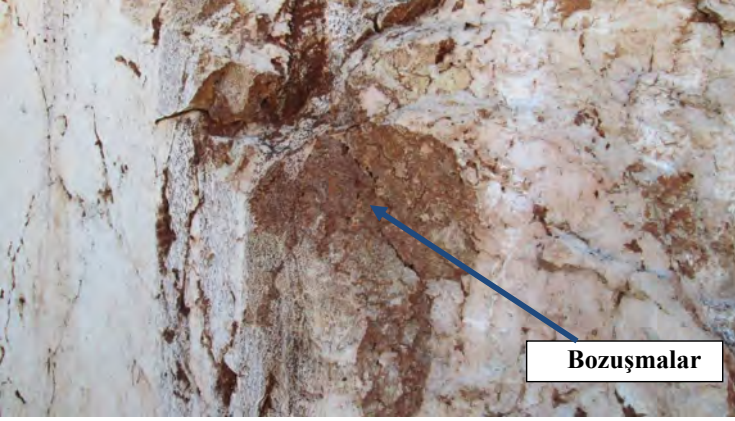
Şekil 5. Mermer yüzeylerinde gözlenen çatlak oluşumları



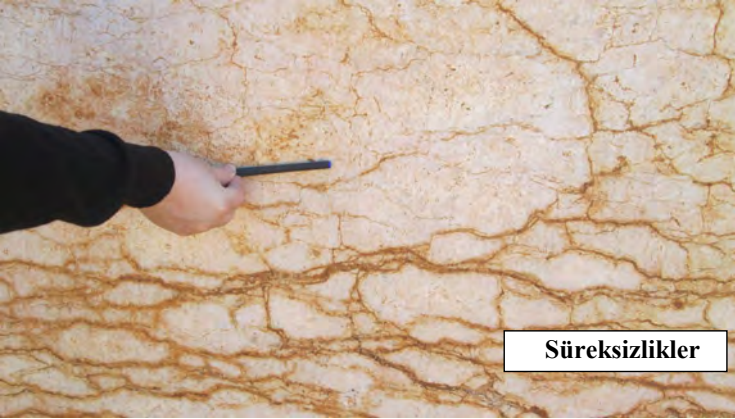
Şekil 6. Mermerler üzerinde gözlenen fosil oluşumları



Şekil 7. Kesilmiş yüzeylerde ikincil oluşumların incelenmesi



Şekil 8. Mermer yüzeylerindeki bozuşmalar



Şekil 9. Mermer yüzeylerindeki süreksizlikler



Şekil 10. Yüzeylerde gözlenen iri çatlak oluşumları



Şekil 11. Sahada gözlemlenen süreksizlikler



Şekil 12. Süreksizlik sistemleri



Şekil 13. Yüzeylerdeki ikincil oluşum dolguları ve çatlaklar



Şekil 14. Yüzeylerde gözlenen bozuşmalar

Bir ileriki aşamada yapılacak sondajlarla derinlere doğru gidildikçe mermer devamlılığı, kırık çatlak sistemleri ve renk değişimler hakkında daha detaylı bilgi sahibi olunabilecektir.

Yapılan saha incelemeleri sonucunda sahalardan yapılacak mermer blok üretimi sırasında kırık çatlakların fazla olmasından dolayı blokların kırılacağı, blok zayıflığının fazla olacağı ve blok veriminin oldukça düşük olacağı öngörülmüştür.

4. SONUÇ

İncelenen mermer oluşumlarında mermer rengi homojenlik arz etmeyip renk dalgalanmaları sunarak devam etmiştir ve kırık çatlak sistemleri oldukça yoğun bir şekilde gözlenmiştir. Bölgede şu an mermer üretimi yapılan sahalarda blok verimi yaklaşık %5-10 olacak şekilde mermer üretimi yapılmakta ve şartlar üretim yönünde zorlanmaya çalışılmaktadır. Ön prospeksiyon ve bölgede işletmeye açılmış mermer sahalarında üretilen blok verimi göz önüne alındığında incelenen mermer özellikleri üretilenler ile hemen hemen benzer özellikler taşıdığı görülmüştür.

Mersin İli, Silifke İlçesi sınırları içerisinde yer alan mermer sahalarında yapılan ön incelemeler ve gözlemler neticesinde incelenen sahada blok veriminin mermerin kırıklı-çatlaklı yapıda olmasından dolayı çok düşük olacağı, mermerin renk dalgalanmaları

sunması nedeniyle sahalardan mermer üretimi yapılmasının bugünkü şartlarda verimli ve aynı zamanda ekonomik açıdan karlı ve uygun olmayacağı kanısı oluşmuştur. Çalışma da sadece arazi çalışmaları yapılmış olup tam bir değerlendirmenin yapılması için fiziko mekanik özelliklerin de belirlenmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Akkoyun, Ö., Çetin, E. (2007). Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 12(2), s.61-70.
- Aktaş, Ö., 2012. Elmas tel kesme ile mermer işletmeciliğinde elmas tellerin kesim performanslarının araştırılması Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 59 s.
- Bektaş, C., 2014. Burdur Ekonomisinin Can Damarı Mermer mi?. Ayrıntı Dergisi, 2(15).
- Çetin, T., (2003), Türkiye Mermer Potansiyel, Üretimi ve İhrazatı, G.Ü., Gazi Eğitim Fak.Dergisi, Cilt:23, Sayı:3 Ankara.
- Karaca, Z., (2003), Mermer Blok Kalite Kontrolü, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (Mersin'2003) Bildiriler Kitabı, s. 597-503.

Farklı Jeolojik Yaşlı Afyonkarahisar Volkanitlerinin Doğaltaş Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması

Investigation of The Usability of Different Geologically Aged Afyonkarahisar Volcanites As Natural Stone

M. Kuşcu

Süleyman Demirel Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta

A. Yıldız, M. Bağcı

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar

ÖZET Afyonkarahisar ilinde farklı jeolojik dönemlerde oluşmuş volkanik kayaların mineralojik-petrografik, jeokimyasal ve fiziko mekanik özellikleri yardımıyla doğaltaş olarak kullanılabilirliğinin araştırılması, çalışmanın amacını oluşturmuştur. Bu çalışmada, kuzey volkanitlerinden iki örnek (Konarı ve Ağın) ve güney volkanitlerinden ise 1 örnek (Köprülü) kullanılmıştır. Örneklerin mineralojik-petrografik özelliklerinin belirlenmesi için polarizan mikroskop ve x-ışınları kırınımı (XRD) yöntemleri yapılmıştır. Ayrıca, TS EN standartlarına uygun olarak, birim hacim ağırlık, su emme (%), porozite (%), basınç mukavemeti (MPa) ve aşınma deneyleri ($\text{cm}^3/50\text{cm}^2$) gibi fiziksel ve mekanik testler uygulanarak, örneklerin doğaltaş olarak kullanım performansları belirlenmiştir. Su emme değerleri %1.36 – %21.80; basma dayanımları 9.61 MPa – 75.50 MPa; aşınma kaybı oranları $6.44 \text{ cm}^3/50\text{cm}^2$ – $24.12 \text{ cm}^3/50\text{cm}^2$ ve don sonrası ağırlık kaybı değerleri ise %0.28 – %0.44 arasında değişim göstermektedir. Fiziksel ve mekanik test sonuçları, kuzey volkaniklerinin doğaltaş olarak kullanılabilir olacak özelliklere sahip olduğunu gösterirken, hidrotermal alterasyon nedeniyle güney volkanitlerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimler volkanitlerin doğaltaş olarak kullanımını olumsuz olarak etkilemiştir.

ABSTRACT The purpose of the study is to investigate the usability of volcanic rocks formed in different geological periods in Afyonkarahisar province as natural stone with the help of mineralogical-petrographic, geochemical and physico-mechanical properties. In this study, two samples from the northern volcanics (Konarı ve Ağın) and one sample from the southern volcanics (Köprülü) were used. Polarizing microscope and x-ray diffraction (XRD) methods were used to determine the mineralogical-petrographic properties of the samples. In addition, physical and mechanical tests such as unit volume weight, water absorption (%), porosity (%), compressive strength (MPa) and abrasion tests ($\text{cm}^3/50\text{cm}^2$) were applied in accordance with TS EN standards. Water absorption values vary between 1.36%-21.80%; compressive strengths are 9.61 MPa-75.50 MPa; wear loss rates $6.44 \text{ cm}^3/50\text{cm}^2$ - $24.12 \text{ cm}^3/50\text{cm}^2$ and post-frost weight loss values vary between 0.28% and 0.44%. Physical and mechanical test results show that the northern volcanics have features that can be used as natural stones and on the other hand, the changes in the physical and mechanical properties of southern volcanics due to hydrothermal alteration adversely affect the use of volcanics as natural stones.

1. GİRİŞ

Sert mermer grubu içinde yer alan andezitler; traki-andezit, bazalt, diyabaz ve granit gibi magmatik kökenli diğer kayalarla birlikte binaların dış ve iç cephe kaplamaları ve döşemelerinde ve heykeltıraşlık gibi geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Ayrıca yüksek sertlik ve dayanıklılık gibi özellikleri nedeniyle kaldırım ve bordür taşı yapımında da kullanılmaktadırlar (Kuşcu, 2001; Köse ve Onargan, 1992). Andezitler benzer mineralojik ve petrografik bileşim ve farklı yapı ve doku özellikleri gösteren diyorit-diyoritporfir-andezit ailesi içerisinde yer alırlar ve mineralojik bileşimlerinde plajyoklas, amfibol, piroksen ve az oranlarda alkali feldspat, biyotit, magnetit ve olivin mineralleri bulunur (Williams vd., 1982; Erkan, 1999; Uz, 1992). Riyolitik, andezitik, traki-andezitik ve bazaltik bileşimli volkanizma ürünleri Afyon ve çevresinde geniş yayılım gösterirler. Bölgede, söz konusu volkanik kayalar içerisinde işletilen pek çok doğaltaş ocağı mevcuttur (Kuşcu vd., 1999; Kuşcu ve Yıldız, 2001; Kuşcu vd., 2003). Ağın Dağı, Köprülü ve Konarı'da işletilen ocaklar Afyonkarahisar'da işletilen en önemli ocaklardan bazılarıdır (Şekil 1).

Bu çalışma kapsamında, Afyonkarahisar ilinde farklı jeolojik dönemlerde oluşmuş volkanik kayaların mineralojik-petrografik, jeokimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri yardımıyla doğaltaş olarak kullanılabilirliğinin araştırılması amacıyla yapılmıştır

2. JEOLOJİ

2.1. Afyonkarahisar Kuzeyindeki Andezitlerin Jeolojik Özellikleri

İnceleme alanının da içerisinde bulunduğu Kuzeybatı Anadolu Bölgesi, Ketin (1966)'a göre kısmen Pontidlerin en güney kenarı ile kısmen Anatolidlerin en kuzey kenarını kapsamaktadır. Okay (1984)'e göre Afyon zonu içerisinde yer alan bölge, Miyosenden itibaren şiddetli bir volkanizmanın etkisi altında kalmıştır. Başlangıçta asidik, daha sonra ortaç ve bunların ardalanması şeklinde olan volkanizma, giderek bazik bir karakter

kazanmış ve en son olarak da Kula tipi alkali volkanitler oluşmuştur (Ercan vd., 1985). Ağın Dağı ve yakın çevresinde yayılım sunan Ağın Andeziti ve Konarı Köyü ve çevresinde bulunan Konarı Andezitleri kuzey volkanitlerini oluşturmaktadır.

Ağın Andeziti, gri, pembe ve kırmızımsı bir renge sahiptir. Birimdeki söz konusu renk değişimi yanal yönde çok belirgindir. Renk değişimine bağlı olarak birim, gri, pembe ve kırmızı şeklinde 3 ayrı zona ayrılmaktadır (Şekil 2a, b). Bu zonların dokanakları ile birim içerisindeki egemen çatlak doğrultuları büyük oranda paraleldir. Arazide renk değişimi ile belirgin olan değişik andezit zonları mineralojik, kimyasal ve fiziko-mekanik özellikleriyle de birbirinden farklı özelliklere sahiptir.

Konarı andezitleri; orta-üst miyosen yaşlı volkanik birim metamorfik kayaların üzerine uyumsuzlukla yerleşmiştir. Volkanik kayalar altta beyaz, krem renkli tüf ve üstte ise siyahımsı, grimsi ve bordo renkli traki-andezitik bileşimli volkanik kayalardan oluşmaktadır (Şekil 2c, d). Genelde trakit dokunun gözlemlendiği birimde yanal ve düşey yönde litolojik olarak değişiklikler gözlenmiştir. Birim Konarı köyüne yakın bölgelerde koyu gri ve bordo renkli olup, içerisinde yoğun soğuma çatlakları bulunmaktadır.

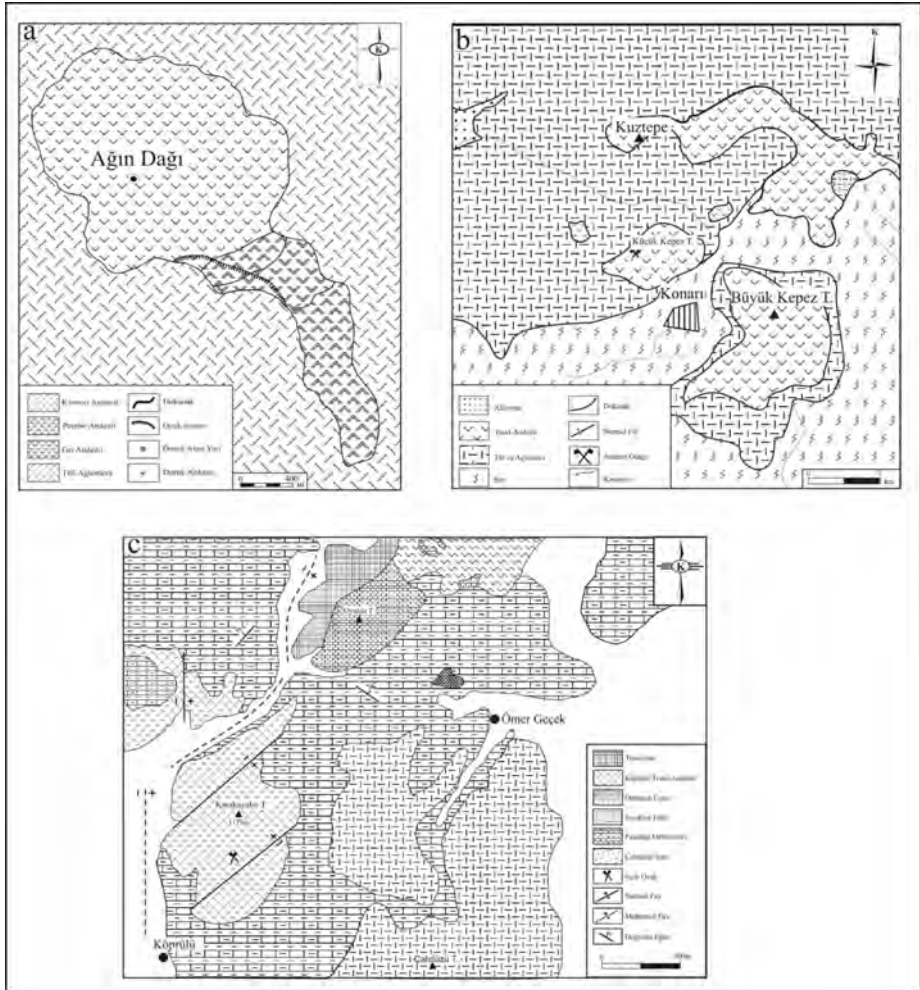
İnceleme alanının batısına doğru ise siyah renkli olan birim içinde soğuma çatlakları oranı koyu gri, bordo renkli birime göre daha az olup ayrıca yine aynı birime göre sertliği daha fazladır. Konarı traki-andezitlerinin taban seviyelerinde renk çoğunlukla bordo olmasına karşın çatlak düzlemlerinin yoğun olduğu kesimlerde bu düzlemlere paralel olarak gri renkli seviyeler de birim içerisinde gözlenmiştir.

2.2. Afyonkarahisar Güneyindeki Andezitlerin Jeolojik Özellikleri

İnceleme alanının temelinde Paleozoyik yaşlı Afyon metamorfikleri yer almaktadır. Formasyon Çobanlar metamorfik şisti ve Paşadağ mermerlerinin ardalanmasından oluşmuştur. Metin vd. (1987). Çobanlar şistinin değişik seviyelerinde birimin şistozite düzlemleriyle uyumlu olarak ve merceksi

şekilli Paşadağ mermerleri görülmektedir. Afyon metamorfitleri üzerine diskordans olarak Orta – Üst Miyosen yaşlı Gebeceler formasyonu gelmektedir. Seydiler tüfü ve Özburun üyelerinin yanıl ve düşey yönde arılanmasından meydana gelen formasyon inceleme alanında geniş alanlar kaplamaktadır. Bölgedeki volkanizmanın en son aşamasını Köprülü trakiandeziti

karakterize etmektedir. Birim, mor, kırmızı ve koyu gri renkli görünümü, akıntı yapısı, tablamsı konumu ile arazide kolay tanınmaktadır. Birimin kalınlığı 80 - 100 m arasında değişim sunmaktadır. İnceleme alanındaki en genç birim traverten ve alüvyondur. Her iki birim de halen oluşumunu sürdürmektedir.



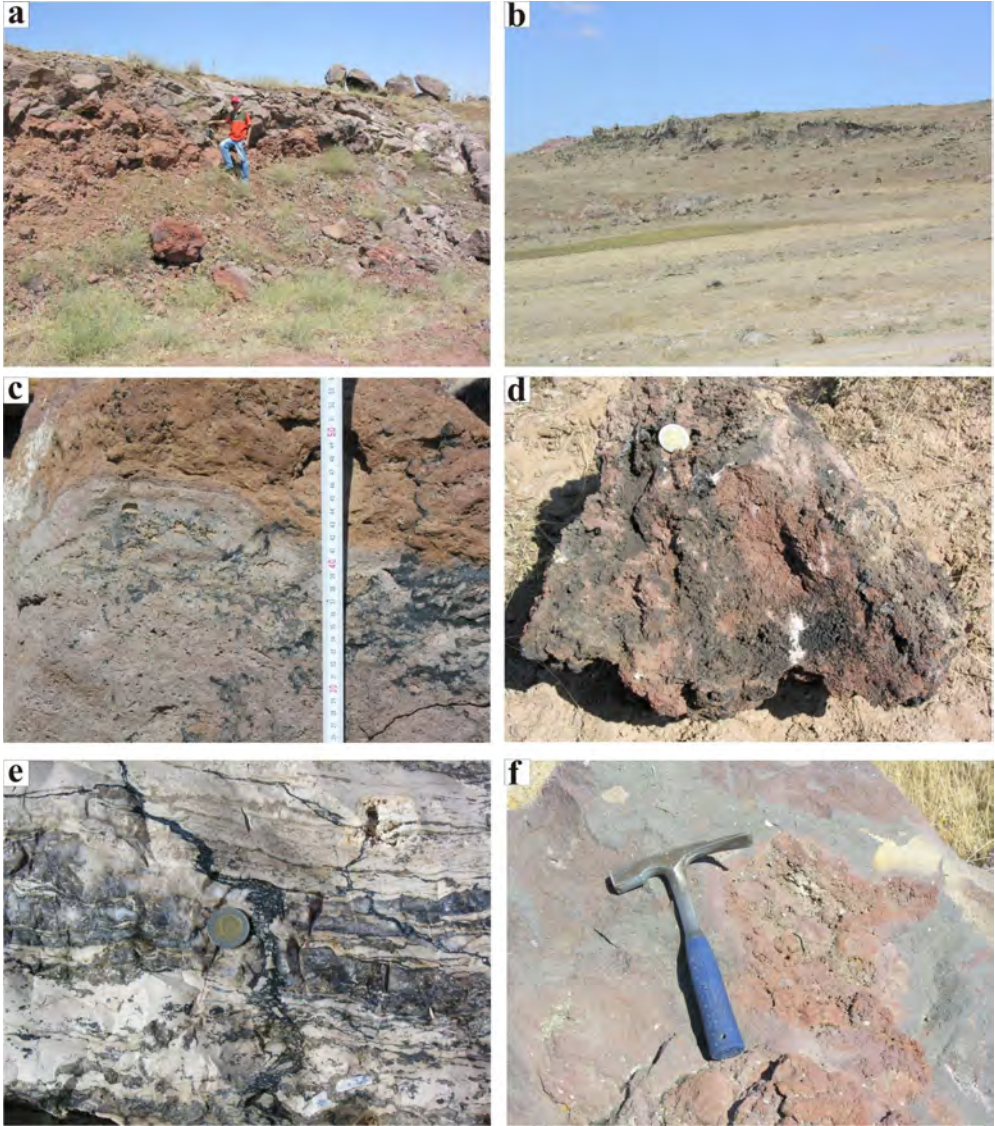
Şekil 1. (a) Ağın Dağı bölgesinin jeoloji haritası (Yıldız vd., 2003). (b) Konarı ve dolayının detay jeolojisi haritası (Kuşcu vd., 2006). (c) Köprülü Köyü ve çevresinin jeolojisi haritası (Yıldız vd., 2010).



Şekil 2. Ağın andezitleri içinde açılmış Doğaltaş ocağı (a), Ağın andezitlerinde gözlenen kırık ve çatlaklar (b), Konarı Köyü ve çevresinde gözlenen taban kesimlerde riyoitik tuf ve daha üst seviyelerde andezitler arasındaki dokanak ilişkisi (c), Konarı Andezitleri içinde açılmış doğaltaş ocağı içinde gözlenen soğuma çatlakları (d).

Köprülü traki-andeziti; Çoğunluğu tektonik kökenli olan çatlaklar ve bunlarla son derece uyumlu doğrultuya sahip faylarla ilişkili olarak değişik alterasyon zonları oluşmuştur. Bu zonlar ayrılmamış traki-andezitik zonu, ayrılmış zonu, demirli zonu ve demir ve manganlı zonu olarak ayırt edilmiştir (Yıldız vd., 2010). **Ayrılmamış trakiandezit zonu:** Alterasyondan etkilenmemiş kayacı temsil eden bu zonu, genellikle gri renkli olup, karmaşık ilişkili olarak koyu ve açık gri renkli seviyeler belirlenmiştir (Şekil 3a, b). **Ayrılmış zonu:** Bölgedeki alterasyonun başlangıç aşamasını karakterize eden bu zonda birimin rengi alterasyonun etkisiyle açılmıştır. Ayrıca alterasyonun en büyük etkisi hornblend ve piroksen gibi koyu renkli minerallerde görülmüş olup, bunun sonucunda söz konusu mineraller dış çeperlerden itibaren ayrılarak açık sarımsı bir renk kazanmıştır (Şekil 3 e, f).

Demirli zonu: Bu zonda çatlak ve gözenekler boyunca kayaya demir eriyikler yoğun bir şekilde nüfuz ederek hornblend ve piroksen mineralleriyle kayacın matrisi alterasyona uğramıştır. Akma yapısının belirgin olduğu bu seviyede, fenokristaller ve soğuma boşlukları kayadaki akma yapısına uyumlu bir şekilde dağılım sunmaktadırlar (Yıldız vd., 2010). **Demir ve manganlı zonu:** Bölgedeki alterasyonun en ileri aşamasını karakterize eden bu seviyede gözenek oranı oldukça artarak ana kayaya dokusu büyük oranda kaybolmuş ve birim cüruf görünümü kazanmıştır (Şekil 3c, d). Bölgedeki aktif jeotermal sularla ilişkili olarak meydana geldiği düşünülen alterasyon sonucunda doğaltaş olarak işletilen volkanik kayalar alterasyona uğrayarak doğaltaş olarak kullanımı için gerekli fiziksel ve mekanik özelliklerin değişmesine neden olmuştur.



Şekil 3. Köprülü köyü ve çevresinde yayılım sunan ve traki andezitlerde gözlenen alterasyon (a); Volkanik kayalarla kumtaşı-kiltaşı-Marn ve Diyotomit gibi birimlerden oluşan Neojen birimlerinin sınır ilişkisi (b), Mangan ve Demirli suların etkisiyle ayrışmaya uğramış traki andezit (c,d), Silisçe zengin suların oluşturduğu opal seviyeleri (d), Kayaç içindeki çatlak ve gözenekler boyunca kayaca demir eriyiklerin yoğun bir şekilde nüfuz ederek kayacı ayrışmaya uğratması (e).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

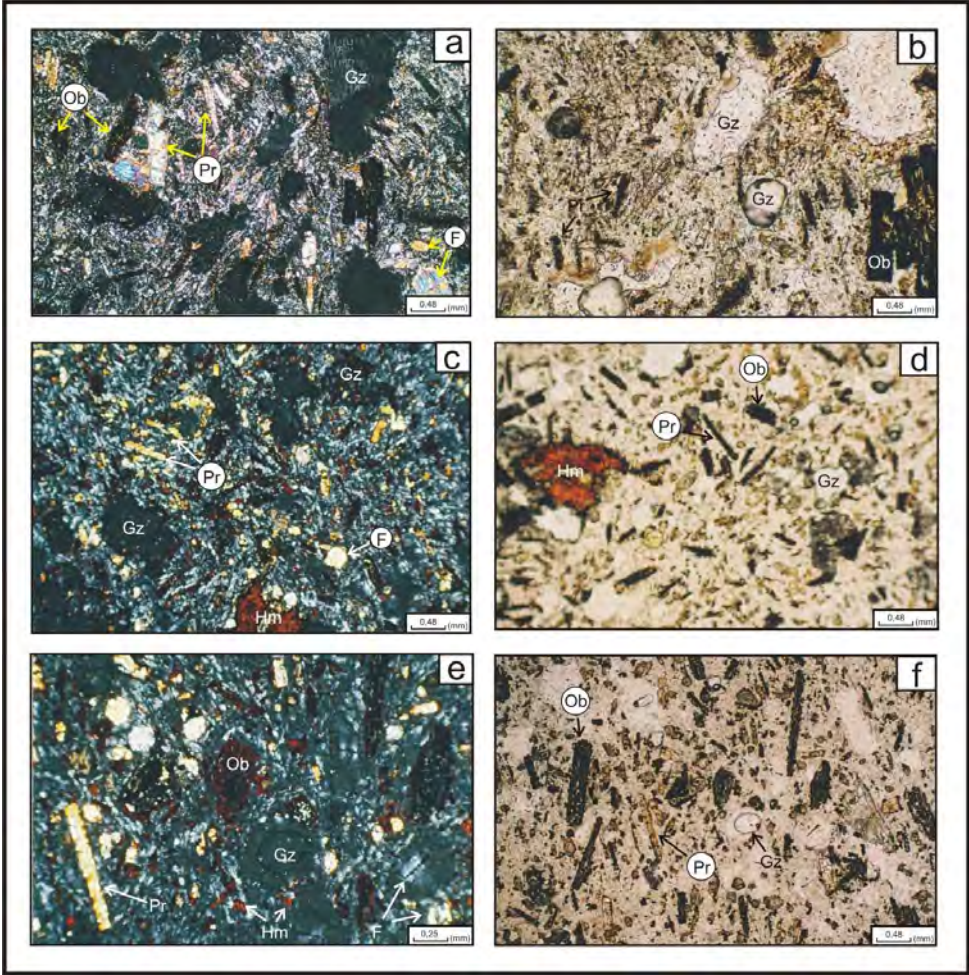
Arazi çalışmaları sırasında belirgin sınırlarla ve değişik bozuşma dereceleriyle birbirinden ayırt edilen farklı yapıdaki Konarı, Ağın ve Köğrülü volkanitlerinden örnekler alınmıştır. Örnekleme her zonu karakterize edecek şekilde ve ocak yüzeyinden yapılmıştır. Değişik fiziksel özelliklerdeki alterasyon zonlarının çeşitli mineralojik özelliklerinin belirlenebilmesi için örnekler X-ışınları difraktometresi incelemeleri yapılmıştır. X-ışınları incelemeleri XRD analizleri A.K.Ü. Teknoloji Uygulama Araştırma Merkezi (TUAM)'nde Shimadzu XRD-6000 model X-ışını difraktometre cihazı (Ni filtreli, CuK α radyasyonlu) kullanılarak yapılmıştır. Yarı-kantitatif X-ışınları analizi Gündoğdu, (1982), Biscaye, (1965) ve Johns vd.,(1954) tarafından belirtilen çalışmalara göre yapılmıştır. Volkanik kayaların çeşitli mineralojik özelliklerin ortaya çıkarılması amacıyla örneklerin polarizan mikroskop incelemeleri yapılmıştır. Polarizan mikroskop incelemeleri, A.K.Ü. Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde, Leica marka polarizan mikroskopta gerçekleştirilmiştir. Doğaltaşların kullanım alanlarının belirlenmesinde büyük önem taşıyan fiziko-mekanik testler Türk Standartları Enstitüsü (TSE)'nin 699 nolu standardına göre yapılmış ve deney sonuçlarının yorumlanmasında TSE'nin 2513 nolu standardından yararlanılmıştır. Deneyler A.K.Ü. Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (TUAM)'nde gerçekleştirilmiştir.

4. BULGULAR

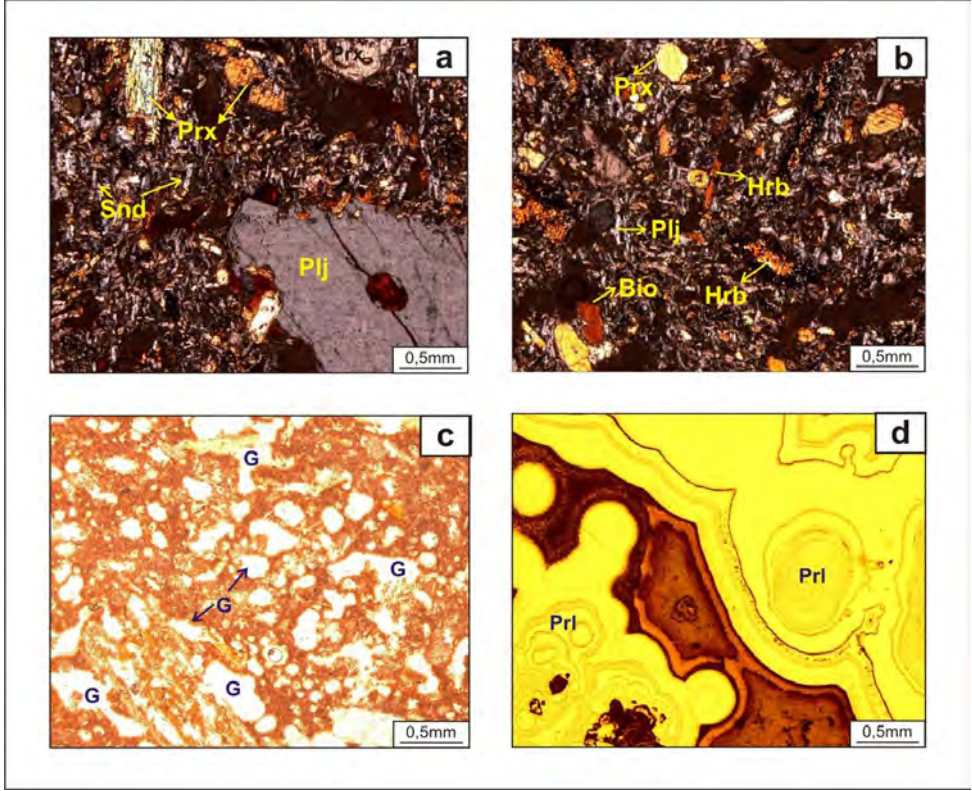
4.1. Mineralojik-Petrografik İncelemeler

Farklı renkteki Ağın Andezitlerde, plajiyoklas ve piroksen mikrolitleri ve camdan oluşan bir matriks içerisinde piroksen, plajiyoklas ve

biyotit fenokristalleri ile az oranda manyetit mineralleri belirlenmiştir. Matrikste akma dokusu da yaygındır. Bazı bölgelerde piroksenlerde kümeleşme gözlenmektedir. Biyotitler kahverengimsi pleokroizmasıyla karakteristik olup, dilinimleri ve kenarları boyunca alterasyona uğramışlardır. Alterasyonun şiddeti, gri renkli andezitlerde düşük oranlarda iken pembe ve kırmızı renkli andezitlerde ise daha yüksektir. Birimde yaygın bir şekilde gözlenen gözeneklilik, pembe ve gri renkli andezitlere göre kırmızı renkli andezitlerde daha yoğundur. Konarı andezitlerinin gerek bordo ve gri renkli ve gerekse siyah seviyede feldispat (plajiyoklas ve sanidin) mikrolitlerinden oluşmuş bir hamur içerisinde piroksen ve biyotit minerallerinin yaygın bir biçimde yer aldığı gözlenmiştir (Şekil 4a,b). Mikroskobik incelemelerde özellikle bordo renkli seviyelerden alınan örneklerde yoğun bir biçimde hematit minerallerinin varlığı da saptanmıştır. Mikroskobik incelemeler sonucunda kayacın trakitik bileşimli olduğu sonucuna varılmıştır. Köprülü traki andezitlerinde ise, alterasyondan etkilenmemiş doğaltaş örneklerinde feldispat mikrolitlerinden oluşan matrikste en önemli fenokristal plajiyoklas ve sanidindir. Kayaçtaki diğer fenokristalleri bolluk sırasına göre piroksen ve biyotitler oluşturmaktadır (Şekil 4c,d). Ayrıca değişik oranlarda opak mineralin gözlemlendiği kayaçta traki-andezitik doku belirgindir. Ayrışmış doğaltaş örneklerinde alterasyonun etkisiyle biyotitler kenarlardan itibaren opasitleşmiş, piroksenlerde ise yer yer ayrışmalar görülmüştür. Ayrıca alterasyonla ilişkili olarak kayaçtaki gözenek oranı ve boyutları artmış ve opak mineraller ise yoğunlaşmıştır. Alterasyonun ilerleyen aşamasını karakterize eden demir ve manganlı zonda gözeneklerde ikincil olarak piroluzit, götit, limonit ve kolloform dokulu hematit mineralleri oluşmuştur.



Şekil 4.(a): Gri renkli traki-andezitik birimde feldispat mikrolitlerinden oluşan hamur içinde özşekilli piroksen kristalleri, (b): Gri renkli traki-andezitin görüntüsü, (c): Bozmuş traki-andezitik birimdeki camsı matriks içerisinde feldispat, hematit mineralleri ve yoğun gözenekler, (d): Bozmuş traki-andezitik birimin görüntüsü, (e): Siyah renkli traki-andezitik birimdeki feldispat mikrolitlerinden meydana gelmiş hamur içerisinde özşekilli, yarı özşekilli piroksen kristalleri, (f): Siyah renkli traki-andezitik birimin görüntüsü. *Piroksen: (Pr)*, *Opaşitlenmiş Biyotit: (Op)*, *Hematit: (Hm)*, *Feldispat (F)*, *Gözenekler (G)* *Fenokristal (F)*.

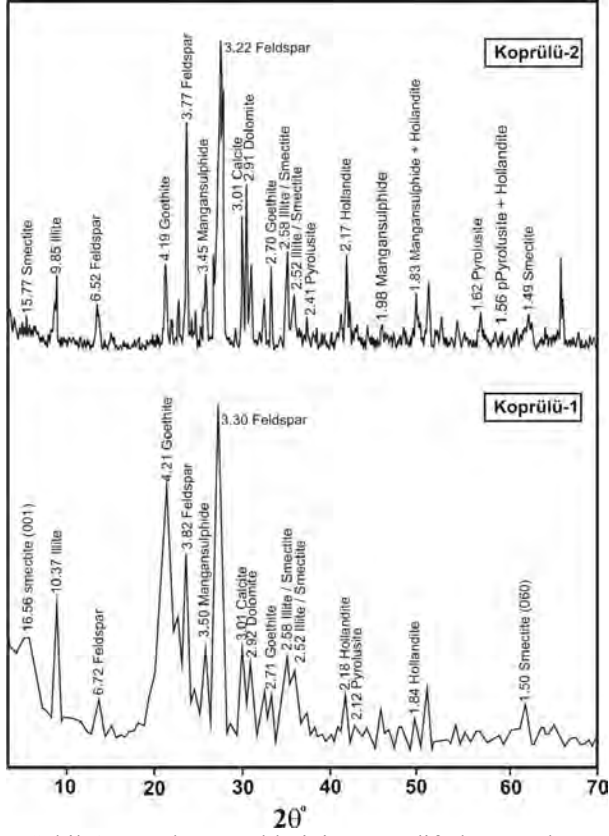


Şekil 5. Köprülü Andezitlerine ait polarizan mikroskop görüntüleri. *Plajioklas: (Plj), Sanidin: (Snd), Piroksen: (Prx), Hornblend: (Hrb), Biyotit (Bio), Pirozulit: (Prl) ve Gözenek (G).*

XRD incelemelerinde traki-andezit bileşimli taze doğaltaş örneklerinde başlıca mineralin feldspat olduğu belirlenmiştir. Bu minerale yer yer biyotit/illit, amfibol ve az oranda götüt minerali eşlik etmektedir (Şekil 6). Bölgede aktif jeotermal sularla ilişkili olarak meydana gelen hidrotermal alterasyonla ilişkili olarak kayada simektit, kaolinit gibi alterasyon mineralleriyle kalsit, dolomit, götüt,

mangansülfid, piroluzit ve höllandit gibi ikincil mineraller oluşmuştur.

Bu minerallerin oranları yardımıyla inceleme alanındaki doğaltaşların alterasyon indeksleri belirlenmiştir. Alterasyonun ilerleyen aşamalarını karakterize eden demirli zonla, demir ve manganlı zonda simektit minerallerinin varlığı belirgin olup, ayrıca bu zonlarda alterasyon indisi 45'e ulaşmıştır.



Şekil 6. Doğaltaş örneklerinin XRD difraktoğramları.

4.3. Traki-andezitlerin Fiziko-Mekanik Özellikleri

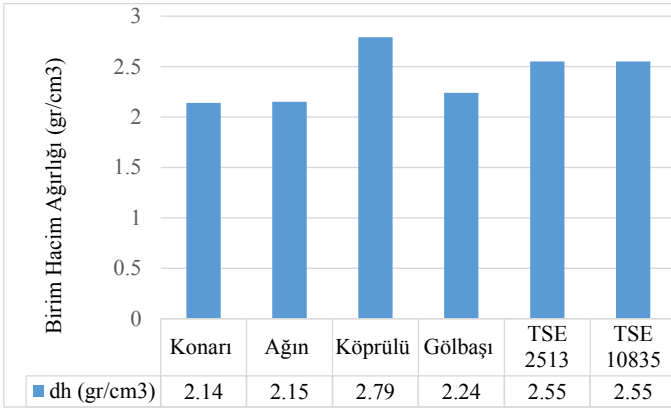
Andezitlerinin değişik kullanım alanlarındaki performansını belirlemek, değişik renkler sunan andezit türlerini fiziko-mekanik özellikler açısından karşılaştırmak ve kimyasal, mineralojik ve fiziko-mekanik özellikler arasındaki ilişkileri ortaya koyabilmek amacıyla bölgeden toplanan değişik renkli andezit örneklerine çeşitli fiziko mekanik deneyler yapılmıştır. Bu deneylere ait sonuçlar Tablo 2 de

verilmiştir. Hacim kütlesi ($dh \text{ gr/cm}^3$) deneyi, andezitlere uygulanan testlerden birisidir. Doğaltaşların nakliye maliyetlerinin hesaplanmasında büyük önem taşıyan hacim kütlesi, andezit örneklerinde $2,14 \text{ gr/cm}^3$ - $2,24 \text{ gr/cm}^3$ arasında değişmektedir (Şekil 8). Görünür porozite ($Pg \%$) Konarı andezitlerinde bu değer $\%8,02$ iken Köprülü örneğinde $\% 8,98$ 'ye yükselmiştir (Tablo 2). Örneklerin kaynar suda kütlece su emme değerleri ($Sk\%$) Ağın andezit örneğinde en düşük değer $\% 3,73$ olarak belirlenmiştir (Şekil 9).

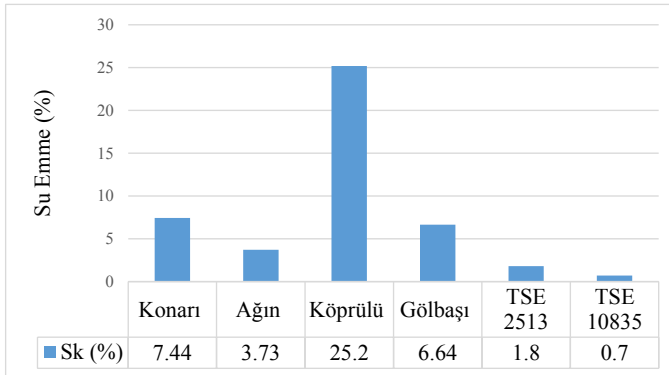
Tablo 2. Andezit örneklerine ait Fiziko mekanik Deney Sonuçları.

Lokasyon	dh (gr/cm ³)	Sk (%)	Pg (%)	Dk(%)	fb(MPa)	fdb(MPa)
Konarı	2,14	7,44	8,02	0,44	68,08	64,77
Ağın	2,15	3,73	8,02	0,31	57,27	54,56
Köprülü	2,79	25,2	8,98	0,04	52,62	48,6
Gölbaşı	2,24	6,64	9,51	-	23,7	-
TSE	>2,55 (2513)	<1,80 (2513)	-	<1,00 (10835)	a:>65,00 (10835)	-
	>2,55 (10835)	<0,70 (10835)			b:>120,00 (10835)	

dh : Andezitin Hacim Kütleli, (gr/cm³);Sk: Kaynar Suda Kütlece Su Emme Oranı (m/m, %);Pg: Görünen porozite, (%); Dk : Don Kaybı, (%);fb : Andezitin Basınç Mukavemeti, (MPa); fdb : Andezitin Don Sonu Basınç Mukavemeti, (MPa); a : Yol parkesi, kaldırım taşı ve yaya trafiğinin yoğun olduğu yerler; b : Kaplama ve dekoratif amaçlı kullanımlar. (Yener, 2000; İMMİB, 2001; Koca vd., 2001; TSE-2513; TSE-10835).



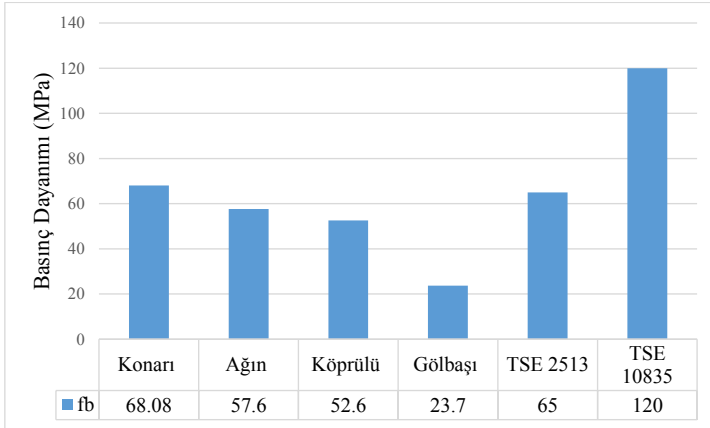
Şekil 8. Andezitlerinin birim hacim ağırlık değerlerinin değişik andezit türleri ve standart değerlerle karşılaştırılması.



Şekil 9. Andezitlerinin kaynar suda su emme değerlerinin değişik andezit türleri ve standart değerlerle karşılaştırılması.

Doğaltaşların basınç mukavemeti, kayacın kristal durumuna, poroziteye, kimyasal bileşime ve yabancı madde içeriğine göre değişim sunmaktadır (DPT, 1995; Köse ve Onargan, 1992; Bozkurt, 1989). Basınç mukavemeti, doğal taşların kullanım yerlerinin belirlenmesinde büyük önem taşımaktadır. Kaplama ve dekoratif amaçlı kullanımlarda düşük mukavemetli (a) 65MPa olan ve güzel görünümlü doğaltaşlar tercih edilirken, yol parkesi, kaldırım taşı ve yaya trafiğinin yoğun olduğu yerlerde yüksek mukavemetli (b) 120 MPa olan doğaltaşlar kullanılmaktadır (TSE-10835, TsprEN-1341). Andezit örneklerinden elde edilen mukavemet değerleri incelendiğinde, basınç dayanım değerleri 52,62 MPa ile 68,08 MPa arasında olduğu bulunmuştur. Buna göre Konarı andezitlerinin dayanım değerlerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Tablo 2; Şekil 10).

Doğaltaşın kullanılacağı yapının bulunduğu iklim koşullarının kayaç üzerinde değişiklik meydana getirip getirmediği, değişiklik varsa kayacın yapıdaki fonksiyonuna zarar getirebilecek boyutlarda olup olmadığının tespit edilmesi, Tabii Don Tesirlerine Dayanıklılık Deneyi yapılarak tespit edilir. Ayrıca doğaltaşın yapıdaki kullanım yerinin belirlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır (DPT, 1995; Köse ve Onargan, 1992; Bozkurt, 1989). Andezit örneklerine uygulanan tabii don tesirlerine dayanıklılık deneyi sonucunda örneklerde gözle görülebilecek şekilde değişiklikler meydana gelmediği görülmüştür. Bu durum, don kaybı (Dk) ve don tesiri sebebiyle basınç mukavemetinde meydana gelen azalma (Δf) değerlerine de yansımıştır. Deneyler sonuçları incelendiğinde örneklerin Dk değerlerinin TSE-10835'e göre uygun olduğu ve %1'in altında kaldığı görülmüştür (Tablo 2).



Şekil 10. Andezitlerinin basınç mukavemeti değerlerinin değişik andezit türleri ve standart değerlerle karşılaştırılması.

5. SONUÇLAR

Bölgede etkili olan volkanizmanın son aşamasında oluşan andezit türündeki volkanik kayalar yaklaşık 60m ile 80 m arasında kalınlıkları değişmektedir. Ağın bölgesindeki andezitlerde yanal yönde gri, pembe ve

kırmızı olmak üzere 3 ayrı zon ayrırt edilmiştir. Konarı bölgesi andezit örneklerinde feldispat mikrolitlerinden oluşan bir hamur içerisinde piroksen ve biyotit fenokristalleri belirlenmiştir. Ayrıca bordo renkli seviyelerde yoğun bir biçimde hematit mineralleri gözlenmiştir. Köprülü bölgesinde

ise ilerleyen alterasyona bağlı olarak bölgedeki andezitlerin gözenekli bir yapı kazandığını, dayanımlarının ise önemli oranda düştüğünü göstermiştir. Mikroskobik incelemelerde andezitlerde, plajioklas ve piroksen mikrolitleri ve camdan oluşan bir matris içerisinde piroksen, plajioklas ve biyotit fenokristalleri ve az oranda manyetit mineralleri belirlenmiştir. Andezitik bileşimli kayadaki renk değişimi, biyotitlerdeki alterasyon ve mikrolit boyutundaki piroksen mineralinin miktarından kaynaklanmaktadır. Andezit örneklerini Winchester and Floyd, (1977)'e ait $\text{SiO}_2\text{-Zr/TiO}_2$ diyagramına yerleştirilmesi sonucunda kayaların andezitik bileşimli olduğu belirlenmiştir. Fiziko-mekanik test sonuçlarına göre, örneklerde kaynar suda su emme %3,73 - %25,2 görünen porozite %8,02-%8,98, basınç mukavemeti 52,62MPa-68,08 MPa, don sonrası basınç mukavemeti 48,6 MPa- 64,77 MPa ve aşınma kaybı oranları $19\text{cm}^3/50\text{cm}^2$ - $24,12\text{cm}^3/50\text{cm}^2$ arasında değişmektedir. Arazi incelemeleri, eklemlerin durumu, blok alımı ile fiziko-mekanik ve teknolojik testlere göre farklı renkler sunan andezitin döşeme kaplaması, kaldırım taşı, dekorasyon ve duvar kaplamalarında kullanılabilir özelliklere sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, çalışmanın yürütülmesinde gerekli olan örneklerin temin edilmesi ve işletmelerinde bilimsel bir çalışmanın yapılabilmesi için desteğini esirgemeyen Yörükbeyi Doğaltaş ve Kanatoğlu Doğaltaş Tic. San. Ltd. Şti. İşletmelerinin değerli personellerine teşekkür ederler.

KAYNAKÇA

D.P.T., 1995, Çimento Hammaddeleri Ve Yapı Malzemeleri, C: 3, Mermer, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, 98s, Ankara.

Ercan,T., Satır,M., Kreuzer., Türkecan, A., Günay, E., Çevikbaş, A., Ateş, M. ve Can, B., 1985. Batı Anadolu Senozoyik Volkanitlerine Ait Yeni Kimyasal, İzotopik ve Radyometrik Verilerin

Yorumu, T.J.K. Kurultayı Bülteni, 28/2, 121-136, Ankara.

Erkan, Y., 1999. Magmatik Petrografi, Hacettepe Üniversitesi, Müh. Fak. Yay. No: 40, 99-100, Ankara.

İMMİB, 2001. Türkiye Doğal Taş Envanteri, İstanbul.

Ketin, İ., 1966. Anadolu'nun tektonik birlikleri, M.T.A. Dergisi, 66, 20-33, Ankara.

Koca, M.Y., Yavuz, B ve Kıncal, C., 2001. Andezitlerin Dış Mekan Kaplama Taşı Olarak Kullanımında Bergama Örneği, Türkiye III. Mermer Sempozyumu, 99-112, Afyon.

Köse, H. ve Onargan, T., 1992. Mermer: Üretimi, Kesme Teknolojisi, Ekonomisi, D.E.Ü. Müh. Mim. Fak. Yay. No: 220, İzmir.

Kuşcu, M., Yıldız, A. ve Bağcı M., 1999. Köprülü Traki-Andezitin Jeolojisi ve Yapı Taşı Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, 11. Mühendislik Haftası Yerbilimleri Semp., Isparta.

Kuşcu, M., 2001. Endüstriyel Kayaçlar ve Mineraller, S.D.Ü. Yay. No: 10, 73-94, Isparta.

Kuşcu, M., ve Yıldız, A., 2001. Ayazini (Afyon) Tüflerinin Yapı Taşı Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Türkiye III. Mermer Semp. 85-98, Afyon.

Kuşcu M Yıldız A Bağcı M., 2003. Investigation of Ağın andesite as a building stone (İscehisar-Afyon, W-Turkey). International Symposium on Industrial Minerals and Building Stones. pp 243-253, İstanbul, Turkey

Kuşcu, M.,Yıldız, A., Bağcı, M., 2006. Konarı (İscehisar-Afyon) Traki-Andezitlerinin yapıtaşı olarak kullanılabilirliğini araştırılması, Türkiye V. Mermer Sempozyumu (MERSEM -2006), S: (281-290), 2006, Afyonkarahisar.

Leat, PT., Jackson, SE., Thorpe, RS., Stillman, CJ, 1986. Geochemistry of bimodal basalt-subalkaline/peralkaline rhyolite provinces within the Southern British Caledonides. Journal of the Geological Society, 143: pp 259-273.

Metin, S., Genç, Ş. ve Bulut, V., 1987. Afyon ve Yakın Dolayının Jeolojisi, M.T.A. Rapor No: 8103, Ankara.

Okay, A. I, 1984. Kuzeybatı Anadolu'da Yer Alan Metamorfik Kuşaklar. Ketin Sempozyumu, 82-94, Ankara.

Onargan, T., 1992. Technical and Economic Evaluation of Kırka Borax Deposit, in Turkey, M.S. Thesis, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, İzmir-Turkey.

- Pearce, J.A., Harris, N.B., Tindle, A.G., 1984. Trace elements discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25: pp 956-83.
- TSE-699, 1987. Doğal Yapı Taşlarına Uygulanan Test Yöntemleri: Türk Standartları Enstitüsü Yayını, 82s, Ankara.
- TSE-2513, 1977. Doğal Yapı Taşları: Türk Standartları Enstitüsü Yayını, 5s, Ankara.
- TSE-10835, 1993. Andezit-Yapı ve Kaplama Taşı Olarak Kullanılan: Türk Standartları Enstitüsü Yayını, 8s, Ankara.
- TSE-2809, prEN-1342, 1996. Parke Taşları-Doğal Taştan-Dış Kaplamalar İçin-Özellikler: Türk Standartları Enstitüsü Yayını, 9s, Ankara.
- Uz, B., 1992. Maden ve Jeoloji Mühendisliğinde Petrografi Prensipleri, 336s, İstanbul.
- Williams, H., Turner, F.J. and Gilbert, C.M., 1982. *Petrography: An Introduction To The Study Of Rocks In Thin Section*, Second Edition, 193-215.
- Winchester, J.A. and Floyd, P.A., 1977. Geochemical Discrimination of Different Magma Series and Their Different İation Products Using İmmobile Elements. *Chemical Geology*, 20, 325-343.
- Yener, L., 2000. Andezit Üretimi ve Kullanımı Artıyor, *Mermer&Doğaltaş Sektörünün Dergisi*, S: 24, Syf: 118-120, İzmir.
- Yıldız, A., Bağcı, M., ve Kibici, Y., 2003. Seydiler ve Bayat (Afyon) yörelerindeki yarı kıymetli süstaşlarının Jeolojisi, I. Gemoloji Sempozyumu 5-8 Mart 2003, s.60-75, Ankara.
- Yıldız, A., Kuscu, M., Dumlupınar, İ., Arıtan, A.E., and Bağcı, M., 2010. The determination of the mineralogical alteration index and the investigation of the efficiency of the hydrothermal alteration on physico-mechanical properties in volcanic rocks from Köprülü, Afyonkarahisar, W Turkey, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 69, 51-61.

Türkiye Bazaltlarının Endüstriyel Kayaç Olarak Kullanımı Ve Değerlendirmesi

The Usage And Evaluation of Basaltic Rocks of Turkey As an Industrial Natural Rock

S. Kulaksız

Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara

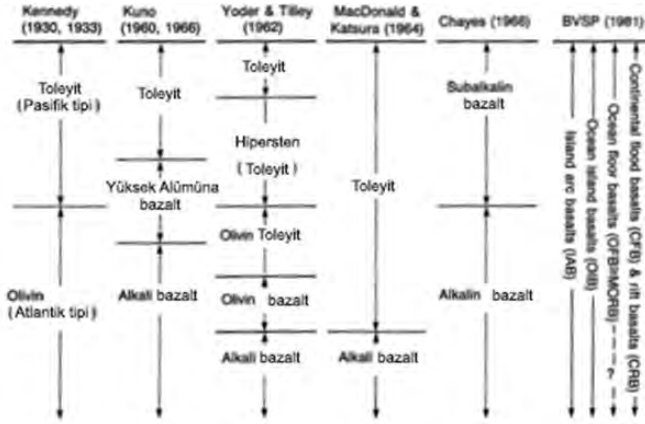
ÖZET Türkiye’de sert doğal taş üretiminde bazalt ilk sırada bulunmaktadır. Kıрма taş olarak temel kullanımı demiryolu balastı, asfaltlama malzemesi, sıva ve sert taş (mermer-granit) üretimi başlıcalarıdır. Ticari olarak siyah granit adı ile mermerdir. Modern anlamda ise yüksek yoğunluklu agrega olarak nükleer reaktörlerin betonarme kalkanında kullanılmaktadır. Bazaltların kullanım alanları kayacın petrografik olarak yapı ve dokusuna mineralojik ve kimyasal bileşimine bağlı olarak değişim gösterir. Türkiye’de potansiyeli yüksek endüstriyel bazalt sahaları ise, Bayburt – Erzurum (Çorum Vadisi) , Nevşehir – Aksaray – Karaman, Uşak – Kula, Bolu – Kıbrısık – Seben, Diyarbakır yöresi, Kızılcahamam – Beypazarı ve Kayseri bunlara göre rezervi küçük ana fay ve bindirme zonlarında görülen münferit bazalt sahaları. Bu sahalar doğal taş (mermer) üretimi dışında da ısı izolasyonu malzemesi üretimi için de büyük rezervlere sahip bulunmaktadır. Bu bildiri de Türkiye doğal taşı bazaltın potansiyeli, üretimi ve olası yatırım bölgeleri hakkında bilgileri sunulmaktadır.

ABSTRACT Basalt is the top of production as an industrial hard rock in Turkey. The main usage fields are railroad ballast, roofing heat isolation, lightweight concrete materials, coating Wall and, decorative natural marble. Modern application of basalt is for high density aggregate in concrete shields of nuclear power plant reactor. Basalt as a natural stone is called black granite. The usage of basalt fields are depend on rock structure and texture, chemical and mineralogical composition changes. Highest potential basalts areas are Bayburt – Erzurum (Çorum Valley) , Nevşehir – Aksaray – Karaman, Uşak – Kula, Bolu – Kıbrısık – Seben, Diyarbakır region, Ankara – Kızılcahamam – Beypazarı and Kayseri. According to these fields are the others are small scale and mostly depend on main fault zones. These basalt fields are suitable outside of marble, heat isolation raw materials production. In these paper, Turkish basalt potential, production probable industrial investment regions knowledge are given and discussed.

1 GİRİŞ

Yer küre üzerinde en çok ve sıkça rastlanan volkanik kayalardan bir tanesi de bazalt olup, koyu renkli, ince taneli, feldispat ağırlıklı mineraller ile birlikte kalsiyumca zengin piroksen (ojit), piroksen, olivin, değişik oksit mineralleri (titan, magnetit,

ilmenit) şeklinde bulunur. Kimyasal olarak %45-52 SiO₂ içerir. Mineralojik bileşimine göre değişik bazalt tipleri bulunmaktadır. Alkali-Silika yüzdelere göre alkanin ve toleitik bazaltla ayırım yaparken, değişik petrografların yaptığı çalışmanın özeti Şekil 1’de verilmiştir (Raymond, 2002).



Şekil 1. Değişik araştırmacılara göre bazalt tiplerinin eşdeğerleri, BVSP = Bazaltik volkanizm çalışması, MORB = Midocean Bazalt (Raymond, 2002)

Çizelge 1. Bazaltik kayaların kimyasal analizleri (C.I.W.P. Normuna göre)

	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	43.25*	47.58	48.75	49.20	50.45	51.95
TiO ₂	4.12	2.81	2.57	2.03	2.18	1.15
Al ₂ O ₃	14.43	13.50	15.49	16.00	14.06	18.03
Fe ₂ O ₃	0.70	3.18	3.26	2.72	4.75	4.97
FeO	10.92	9.74	8.05	7.77	6.91	5.20
MnO	0.15	0.19	0.17	0.18	0.16	0.12
MgO	11.68	9.24	7.03	6.44	7.83	5.32
CaO	11.22	9.92	9.92	20.46	10.50	8.70
Na ₂ O	2.49	2.58	2.76	3.01	3.41	3.35
K ₂ O	0.83	0.54	0.51	0.14	0.30	0.98
P ₂ O ₅	0.57	0.40	0.34	0.23	0.23	0.31
H ₂ O	0.08	0.21	1.52	1.65	0.99	—
Other	0.33	0.09	0.05	—	—	0.71
Total	100.54	99.78	98.92	99.92	100.87	100.62
CIPW Norms^b						
q	—	—	—	0.08	4.50	3.05
or	4.90	3.20	3.01	0.84	1.67	5.97
ab	7.58	21.88	23.34	25.49	20.44	26.32
an	29.74	21.71	28.38	29.96	26.69	31.27
ac	—	—	—	—	—	—
or	7.32	—	—	—	—	—
di	22.52	18.49	15.64	16.61	18.31	8.21
by	—	12.00	16.04	16.97	16.06	13.60
ol	22.49	9.50	2.68	—	—	—
trt	1.02	4.62	4.72	3.94	5.96	7.20
z	7.83	5.38	2.97	3.85	4.10	2.19
km	—	—	—	—	—	—
en	—	0.06	—	—	—	—
ap	0.74	0.55	0.57	0.54	0.67	0.57
Other	0.43	0.05	1.57	1.65	0.99	0.71
Total	100.57	99.81	98.92	99.92	100.89	100.62

Source:

1. Pacific alkali olivine basalt from 1750°C lava flow, Haleakala Volcano, Maui, Hawaii. Analyzed by G. Koyen (Enzels and Murray, 1963). Norm by L. A. Raymond.

2. Alkali olivine basalt, sample K1 P4-1, East Mokuia Volcano, Hawaii. Analyzed by C. Smith and R. L. Batill (Enzels, 1963).

3. Tholeiite (high Mg Pinnac Group-type), Calabazas River basalt, Sample CP-1 (BVSP, 1981, p. 82). Norm by L. A. Raymond.

4. "Olivine Tholeiite" (MORB) sample AD-2, Atlantic Ocean (A. E. J. Engel, Engel and Hovance, 1982). Norm by L. Raymond.

5. Tholeiite from Kilauea Cone, Mauna Loa, Hawaii. Analyzed by A. A. MacDonnell (1965, p. 498).

6. Tholeiite from continental arc, Laguna del Maule Volcanics, Chile. Sample LM-7 (F. A. Frey et al., 1984). Norm by Divso Wenz.

*Values in weight percent.

Majör element analizine göre bazalt tiplerinin adları Çizelge 1'de verilmiştir

(Raymond, 2002). Bazaltların kökenel sınıflamasını da burada tartışmadan

endüstriyel kayaç olarak bazaltların yapı, doku ve mineralojik bileşimi kullanım kıstaslarını oluşturmaktadır.

Bazaltlar volkanik yapı olarak, lapiller, volkanik bombalar, volkan konileri, bazalt

lav platoları, bazaltik sütunlar, bazaltik cürufklar şeklinde yeryüzünde görülürler. Ülkemizde değişik yörelerdeki bazalt oluşumları Şekil 2' de verilmektedir.



Şekil. 2 Değişik bazalt yapıları.

Ayrıca bazaltlar, masif tabakalı ve sütünsal yapılar gösterirler. Soğuma esnasındaki koşullara bağlı olarak gözenekli yapılı bazalt ve bazaltik cürufklar şeklinde bulunurlar.

2 KULLANIM ALANLARI VE ÖZELLİKLERİ

Bazalt, kuvars içermemesine (nadiren veya çok az içermesine) rağmen çok sert kayaç

olup, granit ve kumtaşı benzeri kayalara göre makinalarda (abrasif) aşındırıcılığı düşüktür. Diğer kırma taşlara göre daha dayanıklı ve dirençlidir. Çok küçük kristalin olup, tıknaz bir kayaç olduğundan, yüzey koşullarında bozunmaya karşı daha dayanıklıdır. İzolasyonda süreklilik ve kalıcılık özelliğine sahiptir (Şekil 3-6).



Şekil 3. Aksaray yöresi bazaltik cürufur



Şekil 4. Kula volkan bacası bazaltik lav akıntıları ve cürufur



Şekil 5. Boyabat sütunsal bazaltlar



Şekil 6. Çoruh Vadisi (Bayburt-Erzurum) masif bazaltlar

Kullanım alanları olarak;

- Mermer (siyah granit) ve dekoratif kaplama, küp taş, parke, (Şekil 7)
- Balast olarak demiryollarında,
- Kırma taş olarak betonda,
- Binalarda yapı taşı,
- Otoyollarda asfalt malzemesi (yoğun kış koşullarında kısmen buzlanmayı önler),
- Çatı ısı izolasyonunda doğal olarak bazaltik cürufur,
- Bazaltik cürufurun (gözenekli bazalt) kaba ve ince sıvada kullanımı,
- Hafif beton elemanlarının üretimi
- Kaya yünü üretiminde
- Çimento sektöründe tras olarak kullanımı

Bazaltik kayaların masiflik ve gözeneklilik yapısı kullanım alanlarını belirlemektedir. Gözenekli bazaltlar çatı izolasyonunda, sıvada ($1,1-1,5 \text{ g/cm}^3$), hafif beton yapı elemanları sanayinde kullanılmaktadır. Bazaltik lav akıntılarının akma yönü ve soğuma koşullarına göre poligonal kesitli sütunsal yapılar, akıntı durumuna göre tabakalı veya masif görünümlü kanyon ve tepeler oluştururlar.



Şekil 7. Erzurum'da bazalttan yapılmış bir Osmanlı Konağı.

Kullanım alanlarına göre öngörülen standartlar (T.S.E., B.S., DIN, vs.) değişim göstermektedir.

Doğal taşların mineralojik-petrografik, fiziko-mekanik, teknolojik özellikleri ile tanımlanan bir kalitesi bulunmaktadır. Her kullanım alanının da doğal taşlardan ulusal ve uluslararası standartlarda tanımlanan beklentisi vardır.

Ekonomik faktörler ise arz-talep durumuna göre standartlar, (mineraloji-petrografi fiziko-mekanik özellikler) pazarlara taşıma mesafesi ve ucuz taşımacılıktır. Uzun mesafelere taşıma ekonomik değildir. Altere bazaltlar tras malzemesi olarak kullanılmaktadır.



Şekil 8. Beynam altere bazalt tras ocağı.

3 DOĞALTAŞ ÜRETİM TEKNOLOJİLERİ

Endüstriyel bir kayaç olan bazalt, kullanım alanlarına göre üretim teknolojileri değişim göstermektedir (Şekil 9-11). Kayacın masiflik, çatlak sistemleri, akma yapısı da etken faktördür.

Kırma taş ve dolgu kütlesi olarak kullanımında genel olarak klasik madencilik yöntemi olan delme – patlatma kullanılmaktadır. Amaca göre malzeme boyutları elde etmek için, delik geometrisi ve delikler arası mesafeler değişim göstermektedir. Bunun yanı sıra çok çatlaklı altere bazaltlarda kırma – sökme aparatları ile kazı gerçekleştirilmektedir.

Doğaltaş bazalt blok üretiminde, masiflik akma dolgu tabakalı yataklarda çok sık kullanılanlar ise;

- Aralıksız delik delme ile doğaltaş kesim/üretim yöntemi
- Delik delme + patlayıcılar ile üretim
- Delik delme + hidrolik kaya ayırıcılar
- Delik delme + çakma kamalar
- Delik delme + genleşen kimyasallar
- Kırıcı – sökücü ile üretim
- Tel kesme
- Alev ve su demeti ile kesim

Ülkemizde genelde bazalt kütlesinin soğuma çatlakları ve süreksizliklerine bağlı olarak kırıcı – sökücü hidrolik ekskavatör aparatları ile düzensiz blok üretimi yapılmaktadır. Üretim yöntem ve teknolojisi şekilde verilmektedir.

Bunun yanı sıra delik delme + çakmalar ile blok kesimi (Şekil 9) yapılarak üretim de yapılmaktadır.

Son zamanlarda elmas tel kesme ile blok üretimi de kullanılmaya başlanmıştır (Şekil 10).



Şekil 9. Delik delme ve çakma kamalar ile bazalt doğaltaş blok üretimi



Şekil 10. Bazalt blok üretiminde tel kesme



Şekil 11. Süreksizliklerden yararlanarak hidrolik kırıcı ve sökücüler ile bazalt blok üretimi

4 TÜRKİYE BAZALT SAHALARI VE ÜRETİM

Ülkemizin büyük bazalt sahaları tektonik olarak ana fay zonları (Kuzey Anadolu Fayı, Kuzeydoğu Anadolu Fayı, Ecemiş Fayı vs.) bölgelerinde:

- Bayburt-Erzurum Bölgesi (Çoruh Vadisi)
- Nevşehir-Aksaray-Karaman Bölgesi
- Bolu-Kırıbrıcık-Seban
- Ankara-Kızılcahamam(Galatya Bölgesi)-Beypazarı Bölgesi
- Diyarbakır Bölgesi
- Ordu Bölgesi-Rize Bölgesi
- Kayseri Bölgesi
- Kars Bölgesi-Ağrı Bölgesi

gibi büyük alanları kaplamaktadır. İller bazında dağılımı ise Türkiye’de ve Dünyada Madencilik web sayfasında görülmektedir (Tunç, 2016).

Çizelge 2’de MİGEM verilerine göre yıllar itibarıyla (2010-2015) üretim değerleri

verilmiştir. Çizelge 3'te ise gerçek anlamda blok bazalt üretimi bir alt tabloda düzeltilerek verilmiştir. Toplam bazalt

üretiminin ise 2015 yılı için 22.710.931 ton olması gerekir.

Çizelge 2. 2010-2015 Yılları bazalt blok ve bazalt mıcır üretimleri (MİGEM)

2010-2015 YILLARI DOĞAL TAŞ ÜRETİMLERİ								
Sıra no:	Maden Adı	Üretim Miktarı						Birim
		2010	2011	2012	2013	2014	2015	
1	Bazalt	20.320.391	18.656.135	19.300.297	23.422.845	21.966.172	4.715.579	ton

2010-2015 YILLARI ÇİMENTO VE İNŞAAT HAMMADDELERİ ÜRETİMİ								
Sıra no:	Maden Adı	Üretim						Birim
		2010	2011	2012	2013	2014	2015	
1	Bazalt (mıcır)	19.141.898	17.478.386	15.242.065	19.661.753	20.261.692	17.995.352	ton

Çizelge 3. Yazar tarafından düzeltilmiş bazalt blok üretimleri (2010-2015)

2010-2015 Yılları Blok Üretimi						
Üretim (Ton)						
Maden Adı	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Bazalt Blok	1.178.493	1.177.749	4.058.232	3.761.092	1.704.480	4.715.579

Türkiye genelinde hemen hemen her ilde bazaltik volkanik oluşumlar bulunmakla beraber büyük sanayi bölgeleri olacak bölgeler yukarıda verilmiştir.

Ülkemizde sert doğal taş üretiminde bazaltların kullanımı daha da teşvik edilerek yapılmalıdır. Çünkü ısı tasarrufu açısından önemli bir kaynaktır. Özellikle belediyelerimiz tarafından kaldırım, bordür ve parke kullanımında tercih nedeni olmalıdır. Mutfak tezgâhlarında asit ve baza karşı dayanıklıdır.

Taş yünü üretimi teşvik edilerek enerji tasarrufu, uzun ömürlü oluşu nedeniyle petrol türevi köpükler yerine tercih edilmesi için gerekli teşvik-destek ve yasal düzenlemeler yapılmalıdır. Türkiye sadece hafif beton elemanı açısından Uşak bölgesi bazalt cürüfları kullanılmaktadır. Dere kumu yerine bazaltik cürüfların kullanımı ile ısı tasarrufu sağlanırken binaya binen yük azaltılmaktadır. Diğer yönden derelerin doğal olarak korunması çevre açısından da önemlidir. T.S.E. standartlarına göre yapılan araştırmalarda olumlu sonuçlar pilot çapta elde edilmiştir. Çatı izolasyonu kullanımında ise 3-5 °C bir ısı tasarrufu sağlanmakta, 3-4 yılda kendinin amorti ederken yangına karşı dayanıklılığı bulunmaktadır

5 SONUÇ VE ÖNERİLER

- Ülkemiz enerji kaynakları açısından fakir bir ülke olduğundan, ısı tasarrufu ve döviz kaynaklarının israf edilmemesi açısından bazalt ve bazaltik ürün üretimini teşvik edilerek kullanımlarını sağlamak,
- Taş yünü üretim sanayi yaygınlaştırılarak teşvik edilmelidir,
- Mermer olarak iç mekanlarda kullanımı özendirilmelidir.

KAYNAKLAR

- Atasoy, K., 2003., Kula (Manisa) yöresi bazaltlı cürüflarının çatı izolasyon malzemesi olarak değerlendirilmesi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi. 180 s.
- Bates, R.L., 1969., Geology of Industrial Rocks and Minerals, 459.s Dover Rubl. New York U.S.A.
- Gündüz, L. 1998., Pomza Teknolojisi C.1,2. Isparta Kulaksız, S, 1999., Yapılarda Yalıtımlı Hafif Yapı Malzemesi Kullanımının Enerji Tasarrufu Açısından Önemi. M.T.A. 102-110 Bildiri Kitabı, Ed. A.Bülbül, N.Coşar, N.Şener
- Kulaksız, S; Bayhan. H. Ayder, Erkan 2006. Aksaray-Nevşehir-Karaman Bölgesi Bazaltik Cürüfların İncelenmesi. Hacettepe Üniversitesi Araştırma ve Geliştirme Fonu 50. s. Yayımlanmamış Rapor.
- Kulaksız, S: 2007 Aksaray-Nevşehir-Karaman Bölgesi Bazaltik Cürüfların Doğal Yalıtım

Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi 6. Uluslararası Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu TMMOB Maden Müh. Odası Bildiri Kitabı.

Raymond, L.A.; 202. Petrology The Study of Igneous, Sdimentary and Metamorphic Rocks, 720 s.

Tunç M. Dünyada ve Türkiye de Madencilik Bazalt.

Blok ve İşlenmiş Mermer Fiyatının Önemi: Antalya, Burdur, Isparta Örneği

The Importance on Prices of Block Marble and Processed Marble: Antalya, Burdur, Isparta Sample

M. Gürhan Yalçın

Akdeniz Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Antalya

Özgür Aktürk

Akdeniz Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Antalya

ÖZET Dünya mermer sektöründe yaşanan önemli sorunlar, ülkemiz mermer sektöründe yaşanan sektör sorunları ile aynı özellikler gösterir. Mermerciliğe olan talebin artışı, mermercilik sektöründeki sorunların artmasına sebep olmaktadır. Bu alanda tüketimin artışı, standartlara uygun mermer rezervlerinin tükenmesi korkusunu beraberinde getirmektedir. Özellikle, blok ve işlenmiş mermerin önem dereceleri tartışılır hale gelmiştir. Bu nedenle, blok mermer satışları ile işlenmiş mermer satışlarında, ülke politikasının belirlenmesi önemlidir.

Ülkemiz 2014 yılı ihracat verilerine göre, ham mermer yüzde 70,2 oranında ve satış bedeli 975.959.000 dolar. Aynı yıl, işlenmiş mermer yüzde 29,8 oranında ve satış bedeli 1.073.306.000 dolar olarak hesaplanmıştır. Ülkemizde, ihracat verilerine göre ham mermer ve işlenmiş mermer satış bedelleri arasında ciddi fark olduğu düşünülmüştür.

1 ton blok satış bedelinin yaklaşık 300 \$ (dolar) ve işlenmiş mermer metrekaresinin yaklaşık 65-70\$'lık fiyatlara satılabilmesi durumunda, ihracat yüzde değerleri ile satış bedellerinin doğrusal orantılı olabileceği düşünülmüştür.

ABSTRACT The major problems experienced in the world marble sector are the same as the problems experienced in our country marble sector. The increase in demand for mining has caused problems in the marble sector. The increase in the consumption of this area causes the fear that the marble reserves in accordance with the standards will be exhausted. In particular, the importance of block and processed marble has become debatable. For this reason, it is important to specify the country policy in marble sales of block marble and processed marble. According to our country export data in 2014, raw marble sales was 70,2% and sales price was 975.959.000 dollars. In the same year, processed marble sales was calculated as 29,8% and the sale price was 1.073.306.000 dollars. It is thought that there is a serious difference between the sales prices of raw marble and processed marble according to the export data of our country. It is also thought that the export percentage values and the sales prices may be linearly proportional if the sales price of 1 ton block is about 300 dollars and the processed marble can be sold at about 65-70 \$ for per square meter.

1 GİRİŞ

Mermer ile ilgili ithalat ve ihracat bedelleri, ülke ekonomisi için oldukça önemlidir. Satış politikalarının oluşturulması ve satış sorunlarının giderilmesi için birçok kamu kurum ve kuruluşları bulunmaktadır. İhracat birlikleri ve dernekler bunların en önemli kuruluşlarıdır. Her bölgeye ait mermer birlikleri ve dernekler kendi fiziki ve yapısal özelliklerini belirleyerek, mermer işletmelerini bir araya getirmektedir. Dernek ve birlikler, bir araya getirdikleri işletmelerin yurt içi ve yurt dışında temsilini en iyi şekilde yapmaya ve sorunlarını çözmeye çalışmaktadır.

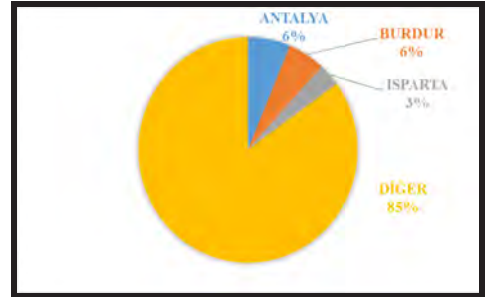
Çalışma konusuna uygun çalışma alanı, Antalya, Burdur ve Isparta illerini kapsamaktadır. Batı Akdeniz bölgesinde yer alan iller, Karayolları 13. Bölge Müdürlüğü sınırları içerisindeki karayolları ağı ile birbirlerine bağlanmaktadır (Şekil 1). İncelemeye konu olan illerimizde diğer bölgelerde olduğu gibi ihracat birliği (BAİB: Batı Akdeniz İhracat Birliği) ve bazı mermer dernekleri yer almaktadır. Bölgede ürün çeşitliliği, kıyılara yakınlıktan dolayı nakliye imkânı gibi avantajlardan dolayı mermercilik faaliyetleri artış göstermektedir. Bölge, ülke mermer rezervleri ve ihracat oranları ile önemini sürekli artırmaktadır.



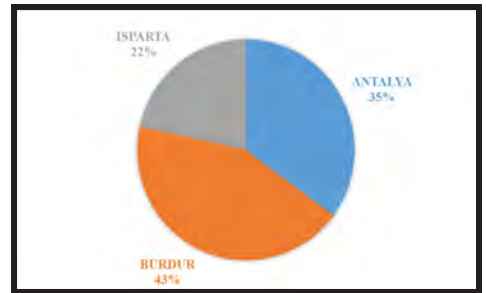
Şekil 1. İnceleme alanı: Antalya, Burdur ve Isparta illeri Bulduru Haritası

İncelemeye konu olan, Antalya, Burdur ve Isparta illeri mermer ihracatı ile önemli bir seviye ye ulaşmış olup (Şekil 2; Tablo 1) diğer bölgelerde oluşan ilgili sorunlar, genel anlamda yer alan sorunlar ile aynıdır. Her alanda, mermercilik sektörü ile ilgili

yapılacak bilimsel çalışmaların önemi yüksektir. Bu nedenle, Antalya, Burdur ve Isparta illerinde ihracat oranlarında kısmen farklılıklar olmasına karşın (Şekil 3), bu illerdeki mermer ihracat sorunlarından birini çalışmak gerekliliği meydana gelmiştir. Özellikle, Antalya, Burdur ve Isparta illeri blok mermer satışları ile işlenmiş mermer ihracatında satış bedelleri ile bu satış bedellerine karşılık gelen satış oranlarının incelenmesine çalışılmıştır. Bu her iki oran arasındaki uyum/uyumsuzluk çıkarılmaya çalışılmış ve bu sonuçlar ile ilgili önerilerde bulunulmuştur.



Şekil 2. Türkiye Geneli İller Bazında Madencilik Ürünleri Yontulmaya ve İnşaat Elverişli Mermer, Traverten, Oniks, Granit ve Diğer Doğaltaş Değer (FOB-USD) Bazında İhracat Raporu (BAİB, 2014)



Şekil 3. Batı Akdeniz Bölgesi illerinde Madencilik Ürünleri Yontulmaya ve İnşaat Elverişli Mermer, Traverten, Oniks, Granit ve Diğer Doğaltaş Değer (FOB-USD) Bazında İhracat Raporu (01.01.2015-30.09.2015; ilk 9 aylık) (BAİB, 2015)

2 BLOK VE İŞLENMİŞ MERMER

Endüstriyel özellikler dikkate alındığında parlatılabilen tüm kayalar, mermer olarak tanımlanmaktadır. Bu kayalar, kristalin kalker, kalker, traverten, traverten oluşumlu kalker, kumtaşı, konglomera, breş ve magmatik kökenli kayalar ve blok veren diğer kayalar olarak sıralanabilir. Blok mermer, taşın cinsine bakılmaksızın uygun ebatlarda blok vermesiyle tanımlanır. İşlenmiş mermer ise doğal yollarla elde edilen ve mermer olarak tanımlanan kayaların, istenilen boyut ve özelliklere endüstriyel olarak getirilmesiyle oluşan ürünlere verilen genel isimdir.

Tablo 1. Batı Akdeniz Bölgesi illerinde Madencilik Ürünleri Yontulmaya ve İnşaata Elverişli Mermer, Traverten, Oniks, Granit ve Diğer Doğaltaş ihracat raporu (01.01.2014-30.09.2014/01.01.2015-30.09.2015; ilk 9 aylık) (BAİB, 2015)

01.01.2014 - 30.09.2014		
İL	KG MİKTAR	FOB USD
BURDUR	289.014.533,45	87.993.327,66
ANTALYA	367.459.301,63	104.668.045,13
ISPARTA	177.712.781,44	53.164.693,29
TOPLAM	834.186.616,52	245.826.066,08

01.01.2015 - 30.09.2015		
İL	KG MİKTAR	FOB USD
BURDUR	333.976.402,62	99.215.166,44
ANTALYA	296.338.904,89	80.248.805,01
ISPARTA	153.829.632,10	49.542.755,30
TOPLAM	784.144.939,61	229.006.726,75

DEĞİŞİM		
İL	KG MİKTAR	FOB USD
BURDUR	15,56%	12,75%
ANTALYA	-19,35%	-23,33%
ISPARTA	-13,44%	-6,81%
TOPLAM	-6,38%	-7,34%

2.1 Blok ve İşlenmiş Mermer Satış Bedellerinin Önemi

İnceleme alanı içerisinde blok ve işlenmiş mermer satışları, her bölgede olduğu gibi yapılmakta ve profesyonel satış stratejileri uygulanmaktadır. Ticari satış stratejileri,

ihracat gelirlerinin artırılması için uygulanması gerekli yöntemlerdir. Uluslararası ticari ilişkinin kurulmasında zorunlu olan bu yöntemlerin ürün satışında önemli bir artışını sağlayabileceği söylenebilir.

Birlikleri temsil eden bölgelerin tamamında, ihracat verileri incelendiğinde bir takım sayısal uyum veya farklılıklar göze çarpabilir. Özellikle, blok ve işlenmiş mermer satış bedelleri arasında, anlamlı ve olması gereken sayısal farkların olması gerekir. Çünkü bu veriler, sektörün ihracat sorunlarından bazılarını ortaya çıkarması açısından önemlidir.

2.2 İşlenmiş Mermerin Birim Bedeli ve Fire

İşlenmiş mermer elde edilişi sırasında, blok kesimi sırasında firenin daha fazla olduğu ve ürün birim fiyatını etkilediği söylenebilir. Ekonomik avantaj yakalamak için, ihtiyaca uygun olarak istenen ürünün elde edilmesi sırasında oluşan firenin bedelini, fiyatlandırmaya dahil etmek gerekir. Çünkü açığa çıkan ve moloz olarak tanımlanan bu artıkların satışları gerçekleşmediğinde, birim fiyat bedeline etkisi olumsuz olmaktadır.

Özellikle, bu açığa çıkan malzemeyi atık veya artık olarak tanımlamak çok önemlidir. Şayet, bu fireler atık olarak tanımlanıyorsa bunların işlenmiş mermer fiyat bedeline etkisi, olumsuz olacaktır.

Gerçekte, bu firenin artık olarak tanımlandığı durumlarda ve bunların satışları mümkün olduğu durumlarda, birim fiyatları olumlu artırıcı bir durum oluşturduğu söylenebilir.

2.3 Blok ve İşlenmiş Mermerin Birim Bedelinin Hesaplanması

Gerek blok ve gerekse işlenmiş mermerin satış şekli arasındaki açığın, fazla olmayacağı düşünülmektedir. Bu nedenle, her iki ihracat bedelinin birbirine yakın olacağı da söylenebilir. Firmalar tarafından beyan edilen bedeller dikkate alındığında ve işlenmiş mermer göre genel anlamda olması gereken 1 ton blok satışının bedeli yaklaşık

300 \$ (dolar) olarak alınabilir (Yalçın ve diğ. 2015; Yalçın ve diğ., 2016).

Kısaca, bu durumu daha anlaşılır olması için bir örnek üzerinde ifade etmek gerekir.

Antalya, Isparta ve Burdur örneğine bakılacak olursa (Yalçın ve diğ. 2015; Yalçın ve diğ., 2016);

1 ton blok satışı = yaklaşık olarak 300 \$ (dolar) kabul edilebilir. Uygulamada genel olarak, **1 ton bloktan 2 cm kalınlığında kullanılabilir olarak 10 m²lik işlenmiş mermer** çıkarılmaktadır.

Günümüz koşullarında, **1 m² nin işlenmiş mermer haline geçme maliyeti, yaklaşık olarak 17-25 \$** olmaktadır. Hesaplama sırasında maliyeti etkileyecek tüm masraflar dikkate alınmıştır. Bu kapsamda, **10 m² (1 ton) işlenmiş mermerin işleme maliyeti 250 \$** olacaktır.

Ancak, mermerin işleme maliyeti görünür şekliyle hesaplanmışken, ham blok bedelini de maliyetin içerisinde dikkate almak gerekir. Belirtilmiş olduğumuz blok bedeli aslında, yaklaşık satış bedeli olarak alınmıştır. Bu bedeli, kendi ocakları bulunan firma sahipleri çok daha aşağı seviyelerde tutabilir. Ancak, bu doğru bir hesaplama şekli olarak kabul edilmemelidir. Hesaplama, 1 ton blok satış bedeli hesaplamaya dahil edilmelidir.

Bu nedenle, **10 m²lik işlenmiş mermerin satış bedeli, 300 \$ (1 ton blok satış bedeli)+ 250 \$ (1 ton bloktan 2 cm kalınlığı maliyet) = 550 \$** şeklinde hesaplanarak ortalama **550 \$** olacaktır.

Bu aşamada, iki bedel satış bedeline dahil edilmiş olup bunlar, 1 ton blok satış bedeli ile 1 ton bloktan 2 cm kalınlığında oluşan maliyet şeklinde söylenebilir. Bu durumda, 1 ton bloktan 2 cm kalınlığı maliyet bedeli ile ürün satmak karlı olmayacaktır. Bu nedenle, bu maliyetin üstünde, kar ekleyerek yeni bir bedel oluşturulmalıdır.

2.4 Blok ve İşlenmiş Mermerin Birim Bedelinin Uygulamadaki Örneği

Blok ve İşlenmiş Mermerin Birim Bedelinin Uygulamadaki örneğini kısaca şu şekilde açıklayabiliriz; Yukarıda anlatılan hesaplamalar neticesinde 10 m²lik işlenmiş

mermerin toplam maliyeti 550 \$ olarak kabul edersek bu durumda 10 metrekare mermer için **metrekare başına 55 \$ maliyet** oluşturmuş oluruz.

Ancak, inceleme alanında firmaların genel olarak uyguladığı fiyat birim maliyet sınırında kalmıştır. Kısaca, **cilalı 2'lik plaka için satış fiyatı olarak metrekaresi 50-55 \$** dır. Ayrıca **ebatlı üretim durumlarında metrekare fiyatı 40-45 \$** şeklindedir (Yalçın ve diğ. 2015; Yalçın ve diğ., 2016). Uygulamada yer alan bu birim fiyatlar ile kar etmek çok zordur. İşlenmiş mermer, maliyet hesapları ve blok satışına göre zarar etmektedir. Kar etmek ancak uygun koşullarda gerçekleşir. **İşlenmiş mermerin yüksek fiyatlara satılması ve bloğun fabrikaya girmeden düşük bedellere mal edilmesi durumunda**, beklenti karşılanmış olur. Ancak, her firma için bunun sağlanması mümkün olmayabilir.

2.5 İşlenmiş Mermerin Birim Bedeli Ne Olmalıdır?

Özellikle, sektörde 55 \$ lık maliyetli işlenmiş mermerin, **65-70 \$ lık fiyatlara satılması kar beklentisini** artırabilir (Yalçın ve diğ. 2015; Yalçın ve diğ., 2016).

Ya da bir farklı söyleyiş ile işlenmiş mermerin metrekaresi **65-70 \$'lık fiyatlara satılabilmesi durumunda, 300 \$'lık 1 ton blok satışı kar etmektedir.**

Mermercilik sektöründe firmaların kar etmeleri için en önemli hususlardan birisi de, **blok olarak değerlendirilemeyen ürünlerin, yani moloz tipli taşların işlenmesidir.** Bu nedenle, ekonomik değeri olmayan **moloz tipli** doğaltaşların işlenmesi esas alınmalı, değerlendirilmeli ve ülke ekonomisine kazandırılmalıdır.

2.6 Blok ve İşlenmiş Mermer İhracat Oranları ve Karşılaştırmalar

Uluslararası alanda markalaşmış blok satışı için örnek olarak, İspanya'daki "Crema Marfil" ve İtalya'daki "Botochino" ocakları verilebilir. Bu işletmeler yüksek tonajlarda (yaklaşık %70) blok satmaktadır (Yalçın ve diğ. 2015; Yalçın ve diğ., 2016). Sadece bu

iki markanın, yıllık blok satışları önemli düzeydedir. Bu örnekler, doğru markalaşma ve uygun stratejiler ile dünya pazarı içerisinde önemli bir yer edinmiştir.

2014 yılında, İtalya, İspanya ve Türkiye'nin ham mermer (kod numaraları: 251511,12 ve 20) ihracat oranı ton bazında sırasıyla %67, %75,8 ve %70,2 şeklindedir. Ayrıca aynı yıl, işlenmiş mermer (kod numaraları: 680221 ve 91) oranları sırasıyla %33, %24,2 ve %29,8 şeklindedir (Tablo 2) (Yalçın ve diğ. 2015; Yalçın ve diğ., 2016). İtalya, İspanya ve Türkiye'nin, 2010 yılından 2014 yılına kadar ihracat miktarları ton bazında genel anlamda benzer dağılım oranları göstermektedir. Dünya mermercilik sektöründe önemli bir yeri olan İtalya ve İspanya'nın, blok ve işlenmiş mermer ihracatı Türkiye ile benzer özellikler göstermektedir.

Tablo 2. İtalya, İspanya ve Türkiye'nin Ham ve İşlenmiş Mermer Karşılaştırmaları (www.trademapp.org)

İtalya	2010		2011	
	Ton	\$ (1000)	Ton	\$ (1000)
Ham Mermer	1.318.727	344.005	1.288.076	401.152
İşlenmiş Mermer	629.493	765.234	641.702	843.860
Genel Toplam	1.948.220	1.109.239	1.929.778	1.245.012
% Ham Mermer	67,7	31,0	66,7	32,2
% İşlenmiş Mermer	32,3	69,0	33,3	67,8
İspanya	2010		2011	
	Ton	\$ (1000)	Ton	\$ (1000)
Ham Mermer	1.113.905	267.857	1.338.257	311.947
İşlenmiş Mermer	294.789	215.113	306.908	245.798
Genel Toplam	1.408.694	482.970	1.645.165	557.745
% Ham Mermer	79,1	55,5	81,3	55,9
% İşlenmiş Mermer	20,9	44,5	18,7	44,1
Türkiye	2010		2011	
	Ton	\$ (1000)	Ton	\$ (1000)
Ham Mermer	4.680.796	726.516	4.868.796	770.259
İşlenmiş Mermer	1.589.446	771.581	1.684.465	813.730
Genel Toplam	6.270.242	1.498.097	6.553.261	1.583.989
% Ham Mermer	74,7	48,5	74,3	48,6
% İşlenmiş Mermer	25,3	51,5	25,7	51,4

2012		2013		2014	
Ton	\$ (1000)	Ton	\$ (1000)	Ton	\$ (1000)
1.381.524	396.025	1.415.667	439.464	1.373.066	439.487
681.426	931.028	699.398	1.067.194	674.890	1.118.846
2.062.950	1.327.053	2.115.065	1.506.658	2.047.956	1.558.333
67,0	29,8	66,9	29,2	67,0	28,2
33,0	70,2	33,1	70,8	33,0	71,8
2012		2013		2014	
Ton	\$ (1000)	Ton	\$ (1000)	Ton	\$ (1000)
1.361.392	312.360	1.343.270	333.967	1.041.418	272.762
327.697	249.027	346.656	267.139	333.203	256.951
1.689.089	561.387	1.689.926	601.106	1.374.621	529.713
80,6	55,6	79,5	55,6	75,8	51,5
19,4	44,4	20,5	44,4	24,2	48,5
2012		2013		2014	
Ton	\$ (1000)	Ton	\$ (1000)	Ton	\$ (1000)
5.226.888	928.251	5.704.376	1.120.397	4.897.548	975.959
1.851.173	899.473	2.019.411	1.018.230	2.081.338	1.073.306
7.078.061	1.827.724	7.723.787	2.138.627	6.978.886	2.049.265
73,8	50,8	73,9	52,4	70,2	47,6
26,2	49,2	26,1	47,6	29,8	52,4

Ancak, aynı ülkeler arasında 2010 yılından 2014 yılına kadar ihracat miktarlarındaki benzer değişim oranlarını, dolar bazındaki değişim oranlarında görememekteyiz. İtalya, İspanya ve Türkiye'nin ihracat bedelleri dolar bazında sırasıyla %28,2, %51,5 ve %47,6 şeklindedir. Ayrıca aynı yıl, işlenmiş mermer bedelleri sırasıyla %71,8, %48,5 ve %52,4 şeklindedir (Yalçın ve diğ. 2015; Yalçın ve diğ., 2016).

İtalya, 2010 ile 2014 yılları arasında işlenmiş mermer ve ham mermer oranlarında ki seyrini korumuştur. Ayrıca, satış bedelleri benzer değişimler göstermiştir. İşlenmiş mermer oranları düşük (beş yıllık %33) olmasına karşın, bunların satış bedeli daha yüksek (beş yıllık %69,92) olmuştur.

İspanya, 2010 ile 2014 yılları arasında işlenmiş mermer ve ham mermer oranlarında ki seyrini aynı şekilde kendi politikasına göre korumuştur. İşlenmiş mermer oranları düşük (beş yıllık %20,74) olmasına karşın, bunların satış bedeli kısmen yüksek (beş yıllık %45,18) olmuştur.

Türkiye, 2010 ile 2014 yılları arasında

işlenmiş mermer ve ham mermer oranlarında ki seyrini korumuştur. İşlenmiş mermer oranları düşük (beş yıllık %26,62) olmasına karşın, bunların satış bedeli kısmen yüksek (beş yıllık %50,42) olmuştur.

3 TARTIŞMA VE SONUÇLAR

İtalya'nın işlenmiş mermer satışının ham mermere göre daha az olmasına karşın, oluşturulan politika ile işlenmiş miktarın %33 oranında ve satış bedelinin dolar bazında % 69,92 seviyelere ulaştığı görülmüştür. İtalya'nın işlenmiş mermere önem verdiği anlaşılmıştır. Bununla birlikte, İspanya'nın blok satışa daha önem verdiği görülmektedir. Ancak, İspanya'nın işlenmiş mermerin %20,74 seviyesindeki satış miktarı, dolar bazında %45,18 seviyelerine çıkmıştır. Her iki ülke kendi alanlarında, özellikle gerek ham mermer satışından ve gerekse işlenmiş mermerden kar edebilmiş ve bunun göstergelerini ihracat oranlarına taşımışlardır.

Türkiye'nin İşlenmiş mermer oranı %26,62 ve satış bedeli %50,42 olmuştur. Türkiye, ihracat miktarları ile genel anlamda İtalya ve İspanya ile uyum gösterse de, satış bedellerindeki oranın daha düşük kaldığı anlaşılmıştır.

Ayrıca, her iki ülke içerisinde blok ihracatı ile öne çıkarak marka olmayı başarmış firmalar (İspanya'daki Crema Marfil ve İtalya'daki Botochino Ocakları) bulunmaktadır.

Firmalar, 1 ton blok satışını 300 \$'seviyesinin altında tutmamalı, işlenmiş mermerin bedelini yaklaşık olarak 65-70 \$ lık fiyatlara çekmeleri gerektiğini unutmamalıdır. Ayrıca, mermer sektöründe ekonomik konjektörü takip ederek kendini güncelleştirmeli, birlik ve mesleki derneklerin profesyonel desteklerini almalıdır. Milli politikalar ile maliyet hesaplarını gözden geçirmeli, kayıt dışı satış ve düşük bedel gösterimin önüne geçilmesi gerektiğini bilmeli ve bu sayede kar beklentisini artırarak ihracat oranlarını, benzeri ülkeler seviyesine geçirmelidir.

Ekonomik değeri olmayan veya blok olarak değerlendirilemeyen moloz tipli doğaltaşların işlenmesi esas alınmalı,

değerlendirilmeli ve ülke ekonomisine kazandırılmalıdır.

Tüm bu veriler altında, Türkiye'nin ham mermer ve işlenmiş mermer ile ilgili ihracat politikalarının gözden geçirilmesi uygun olacaktır.

Türkiye'nin bulundurduğu mermer rezervleri ve bu alanda yapılacak daha verimli çalışmalar ile ülke ihracat bedellerindeki oranı artırabileceği ön görülmüştür.

4 TEŞEKKÜR

TR61/15/DFD/0009 referans numaralı "*Batı Akdeniz Mermer Sektörünün Güncel Durumu ve Gelecek Projeksiyonu*" Projesi 2015 yılı Doğrudan Faaliyet Mali Destek Programı ile Batı Akdeniz Kalkınma Ajansı (BAKA) tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- BAİB, 2014-2015, Batı Akdeniz İhracatçılar Birliği Genel Sekreterliği Raporları
Yalçın M.G., Aktürk O., Paksu E., Batı Akdeniz Mermer Sektörünün Güncel Durumu ve Gelecek Projeksiyonu, BAİB, Batı Akdeniz İhracatçılar Birliği, Antalya, 2015, p 164
Yalçın M.G., Aktürk O., Paksu E., "The Contribution of West Mediterranean Cities (Antalya, Isparta and Burdur) to Turkey's Natural Stones-Marble Export", International Multidisciplinary Scientific GeoConference (SGEM2016), Albena, Bulgaristan, 28 Haziran - 7 Temmuz 2016, vol.1, no.2, pp.875-880
www.trademap.org, Trade statistics for international business development

Yolcular, Mutki ve Maden Kireçtaşlarının (Bitlis) Mermer İşletmeciliği Açısından Değerlendirilmesi *The Evaluation of Marble Operation of Yolcular, Mutki and Maden Limestone (Bitlis)*

Y. Leventeli

Akdeniz Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Antalya

H. A. Nefeslioğlu

Akdeniz Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Antalya

A. E. Göksu

Bitlis Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, Bitlis

ÖZET Mermer sektörü ülke ekonomisinde önemli bir yer tutmakta ve maden ihracatında ilk sırayı almaktadır. Üretimin büyük bir bölümü özel sektör tarafından yapılmaktadır. Üretim amacına göre farklı boyutlarda alınan mermer, yapı taşı olarak alındığına mümkün olduğu kadar geniş aralıklarda ve büyük blok boyutlarında olması istenir. Bu nedenle kayaların blok boyutunun bilinmesi üretim ve işletim açısından önemlidir.

Bitlis'in güneyinde yer alan çalışma alanında farklı yaş ve özellikte birçok kireçtaşı yüzlek vermektedir. Artan talep ve yapılan hukuki düzenlemelere rağmen bu bölgede herhangi bir işletmenin olmaması üzerine, bölgede potansiyel taş ocakları araştırılmıştır. Birimlerin mühendislik özellikleri belirlendikten sonra, süreksizlik analizleri ile blok boyutu belirleme çalışmaları yapılmıştır. Blok boyutunu etkileyen süreksizlik yönelimi, aralığı ile devamlılığı dikkate alınarak, hacimsel eklem sayıları belirlenmiştir. Birimler hacimsel eklem sayılarına göre "parçalanmış" ve "küçük bloklu" olarak sınıflandırılmıştır. Çalışmanın bitiminde söz konusu kireçtaşlarının blok boyutu açısından mermer üretimine uygun olmadığı sonucuna varılmıştır.

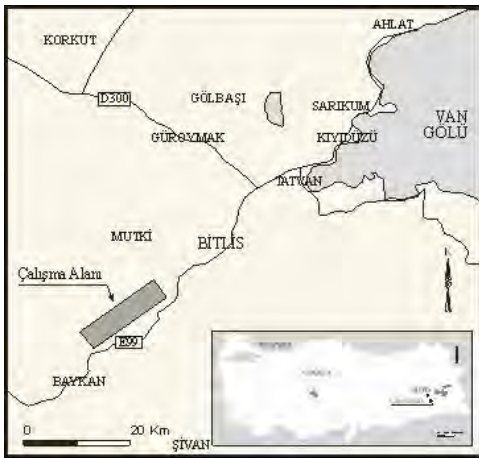
ABSTRACT The marble sector occupies an important place in the country's economy and the mining exports takes the first place. Most of the production is done by the private sector. Marble taken in different sizes according to the purpose of production is requested to be as large as possible and in large block sizes as it is taken as building stone. For this reason, it is important to know the block size of the rocks in terms of production and operation.

Many limestones with different ages and characteristics outcrop in the study area which is located south of Bitlis. Potential quarries in the area have been investigated, due to the absence of any quarry in this area despite increased demand and legal regulations. After the engineering properties of the units have been determined, block size determination studies have been carried out with discontinuity analysis. The number of volumetric joints is determined considering the discontinuity orientation, spacing and persistence affecting the block size. Units are classified as "fragmented" and "small-block" according to their volumetric joint numbers. At the end of the work, it was concluded that the limestones were not suitable for marble production in terms of block size.

1 GİRİŞ

Ülkemizde inşaat sektöründe artan ihtiyaç doğrultusunda taş ocağı işletmeciliği de artmıştır. Bununla birlikte her malzemenin, kullanılacağı amaca göre belirli miktarda ve nitelikte olması gerekmektedir. Bu nedenle, kayacın rengi, sertliği, mineral yapısı, dokusu, tane boyu, gözenekliliği, dayanımı, delinebilme – kazılabilme – parlatılabilme gibi fiziksel, mekanik ve teknolojik özellikleri oldukça önemlidir. Bunların yanı sıra, kaya kalitesini etkileyen önemli bir parametre de “blok boyutu”dur (Nefeslioğlu vd. 2006). Özellikle mermercilik sektöründe, blok boyutunun mümkün olduğunca büyük olması tercih edilir. Süreksizlik diye tanımlanan yapı elemanının varlığı masif kaya kütlelerinin mühendislik ve mekanik özelliklerinin yanı sıra blok boyutunu da etkilemektedir. Bu çalışmada süreksizlik analizi yöntemleri kullanarak, taş ocaklarının işletilebilirlik açısından araştırılması hedeflenmiştir.

Gerek kireçtaşı gerek mermer önemli yapı taşları arasındadır. Kireçtaşı sedimanter kökenli iken, mermer başkalaşım ürünüdür. Ancak işletme sürecinde, diğer bir anlatımla piyasada her ikisi de “mermer” olarak ifade edilmektedir. Bu nedenle bu çalışmada, Bitlis dolaylarındaki kireçtaşları mermer işletmeciliği açısından değerlendirilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı yerbulduru haritası.

2 GENEL JEOLOJİ

Çalışma alanı, büyük tektonik hareketlerin etkisinde kalmış Toridlerde yer almaktadır (Okay and Tüysüz, 1999). Çeşitli dönemlerde meydana gelen tektonik hareketler inceleme alanındaki birimlerin ilksel yerleşimlerini değiştirmiş ve birimlerin faylı, kıvrımlı ve oldukça çatlaklı ve kırıklı bir yapı kazanmasına sebep olmuştur.

Temelde bulunan ve Prekambriyen yaşlı Yolcular Grubu, doğu-batı uzanımlı, her iki yöne dalımlı orta/yüksek dereceli açıyla kuzeye devrik, Gevaş-Bitlis antiklinalinin çekirdeğinde yüzeylenir (Çağlayan et al., 1983). Amfibolit, biyotit, gnays, muskovit gnays, mikaşistler ile bunları kesen ve metamorfizmaya uğramış granitik kökenli gözlü gnays, biyotitli metagranit kuvarsofeldspatik gnays ve metapegmatitten oluşan Pan-Afrikan temel kayaları, Yolcular grubu olarak isimlendirilir. Rengi mineral bileşimine göre, kirli beyazdan kırmızı kahve ve yeşilimsi siyaha kadar değişir. Mutki Grubu, Bitlis Metamorfik kuşağının Paleozoyik-Alt Mesozoyik yaşlı birimleri ile temsil edilen metamorfik örtüsünü oluşturur. Meydan, Çırrık, ve Tütü formasyonlarını içermektedir. Meydan formasyonu kırıntılı karbonatlar ile volkanoklastiklerden oluşmaktadır. Çırrık formasyonu gri-siyah renkli, bitümlü orta- kalın tabakalı rekristalize kireçtaşları ve yer yer bunlar ile ara tabakalı sarı-gri renkli kalkıştiller, grafitist ve kuvarsitleri kapsamaktadır. Bitlis metamorfik biriminin ofiyolitik yerleşimi öncesi çökelmiş en genç birimini oluşturan Tütü formasyonu ise karbonatlardan ve volkanosedimanter kayalardan oluşmaktadır (Göncüoğlu ve Turhan, 1985). Paleosen – Eosen yaşlı Maden karmaşığı kaya türü olarak olistostromal kumtaşı ve çakıltaşı, çamurtaşı, yastık lavlar ve volkanoklastikler düzensiz konumlu pembe-gri kireçtaşı birimlerinden oluşur. Kireçtaşları yer yer erime boşluklu bol çatlaklı ve düzensiz tabakalıdır (Göksu ve Leventeli, 2015).

3 MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ

Çalışma alanında yüzlek veren kireçtaşlarının mühendislik özellikleri; arazi gözlemleri, pratik saha deneyleri ve laboratuvar deneylerine dayanarak belirlenmeye çalışılmıştır. Söz konusu kireçtaşları sırasıyla Yolcular grubu, Mutki grubunun Meydan, Çırrık, Tütü birimleri ve Maden karmaşığına aittir (Göksu, 2014).

3.1 Kaya Malzemesi Özellikleri

3.1.1 Yolcular grubu kireçtaşları

Birim içerisinde gözlenen rekristalize kireçtaşlarının rengi kirli beyazdan kırmızı kahveye kadar değişmektedir. Schmidt çekici ortalama değeri 55, birim hacim ağırlık (γ) değeri ise 25 kN/m³'tür. Tek eksenli basınç dayanımı (σ_c) 53 MPa olarak belirlenmiştir. Buna göre malzeme ISRM (2007)'ye göre "orta dayanımlıdır".

3.1.2 Mutki grubu kireçtaşları

a) Meydan formasyonu:

Birim içerisinde dolomitik kireçtaşları beyazımsı gri renklidir. Schmidt çekici ortalama değeri 40 olarak belirlenmiştir. Birim hacim ağırlığı (γ) 26 kN/m³ iken tek eksenli basınç dayanımı 70 MPa'dır ve "orta dayanımlıdır".

b) Çırrık formasyonu:

Sarımsı kirli beyaz renkli kristalize kireçtaşları orta-kalın tabakalıdır. Schmidt çekici ortalama değeri 52, birim hacim ağırlığı (γ) 26 kN/m³ iken tek eksenli basınç dayanımı 120 MPa'dır ve "yüksek dayanımlıdır".

c) Tütü formasyonu:

Birim gri-sarı renkli şeyl ve kalkıştı arabantları içeren kahverengimsi kristalize kireçtaşlarından oluşmaktadır. Schmidt çekici ortalama değeri 53, birim hacim ağırlığı (γ) 27 kN/m³ iken tek eksenli basınç dayanımı 125 MPa'dır ve "yüksek dayanımlıdır".

3.1.3 Maden karmaşığı kireçtaşları

Gri-sarı renkli, masif-kalın tabakalı ve yer yer erime boşluklu bu kireçtaşlarında Schmidt çekici ortalama değeri 50, birim hacim ağırlık değeri (γ) 25 kN/m³ iken tek eksenli basınç dayanımı 95 MPa'dır ve "orta dayanımlı" olarak sınıflandırılmıştır.

3.2 Süreksizlik Özellikleri

Süreksizlik (discontinuity), kaya kütlelerinde çekilme dayanımına sahip olmayan veya çok düşük çekilme dayanımına sahip tabakalanma düzlemi, eklem, fay, makaslama zonu, dilinim, şistozite vb. gibi jeolojik anlamda zayıflık düzlemlerinin tümünü içeren genel bir kavramdır (Ulusay ve Sönmez, 2007). Yapılan ölçümlerin tamamı "yüzeyi boyunca herhangi bir yer değiştirmenin olmadığı kırık" olarak tanımlanan eklemelerde yapılmıştır.

Bu çalışmada; jeoteknik incelemeler Ulusay (2010)'da öngörüldüğü sırada renk, tane boyu, doku ve yapı, süreksizliklerin özellikleri, bozunmanın derecesi, ikincil litolojik özellikler, kayanın tahmini dayanımı, kayanın tahmini kütle geçirgenliği temel alınarak yapılmış ve veri toplama sırasında "hat etüdü" yöntemi kullanılmıştır. Jeoteknik incelemelerde önemli bir yer tutan yapısal özellikler detaylı olarak çalışılmıştır. Bunun için süreksizliklerin özellikleri tanımlanırken, önce süreksizlik türü belirlenmiş, sonrasında;

- eğim/eğim yönü,
- aralığı,
- açıklığı,
- devamlılığı,
- yüzeylerinin pürüzlülüğü ve dalgalılığı,
- dolgu malzemesinin özellikleri,
- yüzeyinin bozunma derecesi ve dayanımı,
- su durumu

gibi özellikleri araştırılarak, kayanın kütle özellikleri anlaşılmasına çalışılmıştır.

Mermer ocaklarında üretim verimini etkileyen blok boyutunun temel olarak süreksizliklerin eğim/eğim yönü, aralıkları ve devamlılığına bağlı olarak değişmesi nedeniyle, burada bu üç parametre üzerinde durulmuştur.

3.2.1 Yönelim

Süreksizliklerin uzaydaki konumu olarak tanımlanan eğim/eğim yönü, süreksizlik türünü belirledikten sonra ölçülen ilk değerdir. Arazide çok sayıda yapılan ölçüm sonucunda eklemelerin uzaydaki konumları ortaya konmuştur. Sonrasında, yönelimleri hemen hemen birbirleriyle aynı olan münferit süreksizliklerin oluşturduğu “süreksizlik takımı” ya da “eklem seti” sayısı tespit edilmiştir. Hâkim eklem setlerini belirleyebilmek için kontur diyagramı kullanılmıştır. Şekil 2’de birimlere ait eklemelerde yapılan ölçümler sonucunda elde edilen hâkim eklem setleri görülebilmektedir. Şekil 2a, 2b ve 2d’de hâkim 3 eklem setinin yanı sıra gelişigüzel dağılmış eklemeler de görülebilmektedir. Şekil 2c ve 2e’de ise 3 adet hâkim eklem seti yer almaktadır. Çizelge 1’de de bu setlere ait eğim/eğim yönü değerleri verilmiştir.

Çizelge 1. Hâkim eklem takımlarının yönelimi.

Birimler	Hâkim Eklem Setleri	Eğim	Eğim Yönü
Yolcular	Yolcular-1	73	222
	Yolcular-2	51	155
	Yolcular-3	77	350
Meydan	Meydan-1	71	320
	Meydan-2	67	280
	Meydan-3	30	128
Çırrık	Çırrık-1	54	123
	Çırrık-2	39	221
	Çırrık-3	53	330
Tütü	Tütü-1	79	147
	Tütü-2	54	238
	Tütü-3	60	061
Maden	Maden-1	62	138
	Maden-2	43	238
	Maden-3	49	324

3.2.2 Aralık

Komşu iki süreksizlik arasındaki dik mesafe “aralık” olarak tanımlanmaktadır. Mevcut eklemelerin aralıkları oldukça geniş bir spektrumda değişmektedir. Bu nedenle ortalama aralık değerini bulabilmek için, öncelikle aralık değerlerine ilişkin olasılık dağılımlarının uygunluk testi yapılmıştır. Değerlendirilen olasılık dağılımlarına ilişkin

Ki-kare (chi-squared) testi sonuçları Çizelge 2’de sunulmuştur. Söz konusu test bağı olarak seçilen teorik olasılık dağılımları ise Şekil 3’de verilmiştir. Her bir birimin negatif eksponansiyel, lognormal ve normal grafiklerinden elde edilen ki-kare değerleri arasında en küçük değer baz alınarak dağılım şekli belirlenmiştir. Buna göre Yolcular ve Tütü kireçtaşlarındaki aralık değerleri lognormal bir dağılım gösterirken; Meydan, Çırrık ve Maden kireçtaşlarındaki aralık değerleri negatif eksponansiyel bir dağılım sunmuşlardır. Bu dağılımlardan elde edilen “ortalama aralık” değerleri Çizelge 3’de görülebilmektedir. Bu sonuçlara göre Yolcular kireçtaşları “yakın aralıklı” olarak sınıflandırılırken, diğer birimler “orta derecede aralıklı” olarak değerlendirilmiştir.

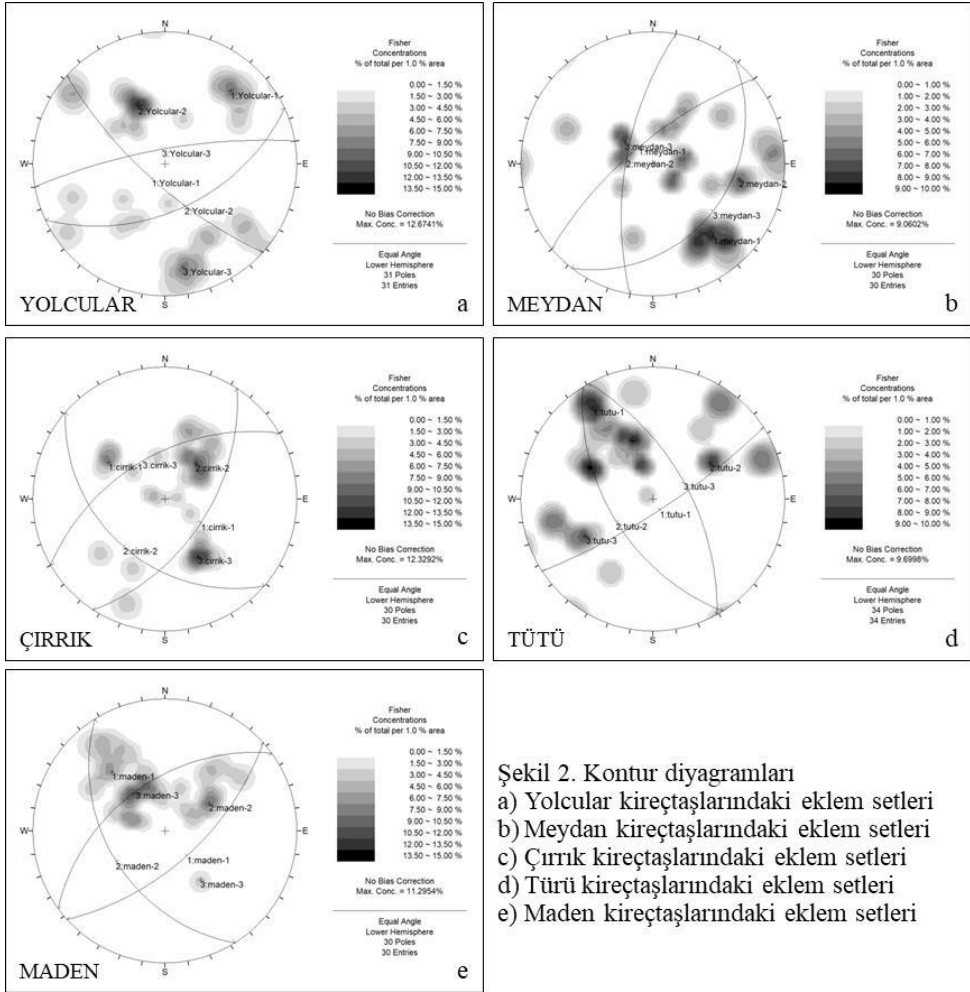
3.2.3 Devamlılık

Blok boyutunu etkileyen diğer bir parametre de süreksizliklerin devamlılığıdır ve bir düzlemdeki alansal yayılımlarının bir göstergesidir. Devamlılığın artması, kazı duraylılığı üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir. Bir süreksizliğin kaya malzemesi içinde son bulması veya diğer süreksizlikler tarafından kesilmesi, devamlılığı azaltan faktörlerdir (Ulusay, 2010).

Bu çalışmada her birimde yer alan eklemelerin devamlılıkları ayrı ayrı ölçülmüş, her birime ait olmak üzere ortalama bir devamlılık miktarı belirlenmiştir. Buna göre Yolcular kireçtaşındaki eklemelerin ortalama devamlılığı 6.13 metre, Meydan kireçtaşlarında bu değer 3.10 metre, Çırrık kireçtaşlarında 7.23 metre, Tütü kireçtaşlarında yer alan eklemeler 2.13 metre ve Maden kireçtaşlarında ise 2.33 metredir. Buna göre; Yolcular, Meydan, Çırrık kireçtaşlarındaki eklemelerin devamlılığı ISRM (2007)’ye göre “orta devamlılık” olarak sınıflandırılırken, Tütü ve Maden kireçtaşlarındaki eklemelerin devamlılığı “düşük devamlılık” şeklinde tanımlanmıştır.

3.2.4 Hacimsel eklem sayısı

Mermer işletmeciliğinde oldukça önemli olan blok boyutunun tanımlanmasında kullanılan temel parametrelerden biridir.



Şekil 2. Kontur diyagramları
 a) Yolcular kireçtaşlarındaki eklem setleri
 b) Meydan kireçtaşlarındaki eklem setleri
 c) Çırrık kireçtaşlarındaki eklem setleri
 d) Türtü kireçtaşlarındaki eklem setleri
 e) Maden kireçtaşlarındaki eklem setleri

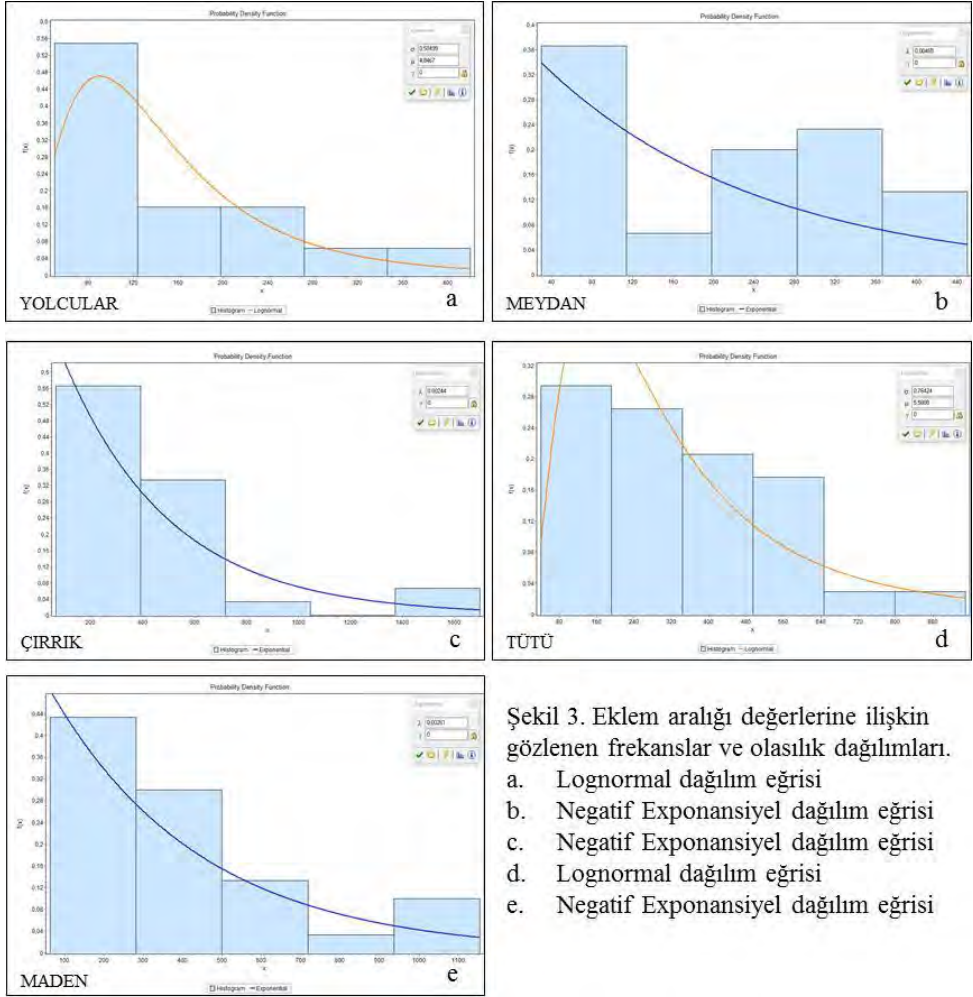
Hacimsel eklem sayısı (J_v), herhangi bir eklem takımı için hesaplanan metredeki eklem sayısı değerinin toplamıdır.

Sık aralıklarla ve değişik yönlerde gelişmiş eklemler içeren aşırı derecede parçalanmış kaya kütlelerinde belirgin eklem takımlarının ayırtlanması oldukça güçtür. Homojen ve izotrop kabul edilebilecek bu tür kaya kütleleri ortamlarında, birbirine dik üç yönde (x, y, z) yapılan hat etütleriyle belirlenen eklem sayılarını esas alan pratik yaklaşımlar Sönmez ve Ulusay (1999) tarafından önerilmiştir.

Ancak, Ulusay ve Sönmez (2007)'ye göre bir kaya kütleli yüzleğinde veya aynasında birbirine dik yönde üç hat etütünün yapılmasının çoğu kez mümkün olmayabilir. Bu durum ve ileri derecede eklemli kaya kütlelerinin nispeten homojen ve izotrop kabul edilebilecek özelliklerini gözününe alarak aşağıda verilen bağıntıyı önermişlerdir.

$$J_v = (1/S)^3$$

Burada; S ortalama süreksizlik aralığıdır.



Şekil 3. Eklem aralığı değerlerine ilişkin gözlenen frekanslar ve olasılık dağılımları.

- a. Lognormal dağılım eğrisi
- b. Negatif Exponansiyel dağılım eğrisi
- c. Negatif Exponansiyel dağılım eğrisi
- d. Lognormal dağılım eğrisi
- e. Negatif Exponansiyel dağılım eğrisi

Çizelge 2. Ki-kare (chi-squared) dağılım sonuçları.

χ^2	Negatif Exponansiyel	Log normal	Normal
Yolcular	5,7804	<u>1,7855</u>	3,8047
Meydan	<u>3,6057</u>	5,3894	3,9154
Çırrık	<u>1,3978</u>	5,4307	3,7387
Tütü	2,3195	<u>1,0137</u>	1,2367
Maden	<u>0,61264</u>	1,6196	1,9421

Çizelge 3. Ortalama aralık değerleri.

Formasyonlar	S (mm)
Yolcular	151,08
Meydan	215,17
Çırrık	410,67
Tütü	355,24
Maden	383,73

Olasılık dağılımlarından elde edilen “ortalama aralık” değerleri kullanılarak her birim için hacimsel eklem sayıları belirlenmiştir. Elde edilen değerler Çizelge 4’de sunulmuştur. Bu verilere göre, ISRM (2007) sınıflaması temel alındığında Yolcular ve Meydan kireçtaşları “parçalanmış”; Çırrık, Tütü ve Maden kireçtaşları ise “küçük bloklu” olarak sınıflandırılmıştır (Çizelge 5).

Çizelge 4. Eklemelerin ortalama aralık, hacimsel eklem sayıları ve devamlılıkları.

Formasyonlar	S (m)	J _v (eklem/m ³)	l (m)
Yolcular	0,15108	289,98	6,13
Meydan	0,21517	100,350	3,10
Çırrık	0,41067	14,437	7,23
Tütü	0,35524	22,304	2,13
Maden	0,38373	17,559	2,33

Çizelge 5. Blok boyutu tanımlamaları.

ISRM (2007)’nin tanımları	J _v (eklem/m ³)
Çok büyük bloklar	<1
Büyük bloklar	1-3
Orta boyutlu bloklar	3-10
Küçük bloklar	10-30
Çok küçük bloklar	30-60
Parçalanmış/Ufalanmış	>60

4 SONUÇLAR

Doğadan çıkarıldıktan sonra işlenip kullanılan en eski yapı malzemesi doğal taştır ve bunların başında kireçtaşı ile mermer gelmektedir. Tarihsel anıtlara bakıldığında, çoğunun bu iki malzemeden yapıldığını görmek mümkündür.

Günümüzde mermer önemli yapı taşları arasındadır ve son dönemde üretiminde artış olduğu açıktır. Bu artışın temel nedeni inşaat sektöründeki artan talebin yanı sıra, maden yasa ve yönetmeliklerinde yapılan değişikliklerdir. Ancak, çalışma alanı ve yakın çevresinde hiçbir taş ocağı

işletmesinin olmaması dikkat çekmiştir. Bunun üzerine bölgedeki kireçtaşlarının mermer ocağı işletmeciliği açısından değerlendirilmesi, çalışmanın amacını oluşturmuştur. Bunun için “süreksizlik analiz yöntemi” kullanılmıştır. Ancak, blok boyutunu temelde yönelim, aralık ve devamlılık belirlediği için, bu çalışmada açıklık, pürüzlülük-dalgallık, dolgu-su durumu gibi diğer parametreler göz ardı edilmiştir.

Bitlis il merkezinin 20 km kadar güneybatısındaki çalışma alanı, Toridler olarak adlandırılan birliğin güneyinde yer almaktadır. Bölge tektonik olarak oldukça hareketlidir. Çalışma materyali olarak Yolcular grubu, Mutki grubuna ait Meydan, Çırrık ve Tütü birimleri ile Meydan karmaşığının kireçtaşı birimleri ele alınmıştır.

Yolcular, Meydan, Maden kireçtaşları “orta dayanımlı”, Çırrık ve Tütü kireçtaşları ise “yüksek dayanımlı” olarak sınıflandırılmıştır.

Kaya kalitesini dolayısıyla ocaktan malzeme alınımı etkileyen parametrelerden olan “blok boyutu” çalışmada temel alınmıştır. Bu değer bulunabilmesi için süreksizliklerin yönelimleri belirlenmiş, aralıkları ve devamlılıkları ölçülmüştür.

Her birimde genel olarak 3 hâkim eklem seti belirlenmiştir. Eklem aralıklarına göre kireçtaşları “yakın aralıklı” ve “orta derecede aralıklı” olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Eklemlerde “orta ve düşük devamlılık” da söz konusudur.

Blok boyutunun belirlenmesi amacıyla hacimsel eklem sayısı kullanılmıştır. Hacimsel eklem sayısına göre; Yolcular ve Meydan kireçtaşları “parçalanmış”; Çırrık, Tütü ve Maden kireçtaşları ise “küçük bloklu” olarak sınıflandırılmıştır.

Bu sonuçlar, bölgede mermer ocağı olmamasının nedenini açıklamaktadır. Bölgede yer alan hiçbir kireçtaşı kütlesi geometrik standartlara uymamaktadır ve söz konusu kireçtaşları blok boyutu açısından mermer üretimine uygun değildir. Ancak dolgu malzemesi ya da agrega olarak kullanılabilirce nitelikte ve boyutta olduğu sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Çağlayan, M. A., İnal, R. N., Şengün, M., Yurtsever, A. 1983. Structural Setting of Bitlis Massive, Geology of the Taurus Belt. TJUS Proceeding, s.245-254.
- Gökü, A., E., 2014. Bitlis Regülatörü ve HES Proje Alanının Mühendislik Jeolojisi Özelliklerinin Belirlenmesi, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Basılmamış, Antalya, 200 s.
- Gökü, A. E., Leventeli, Y., 2015. Bitlis Regülatörü ve HES Proje Alanının Mühendislik Jeolojisi Açısından İncelenmesi, Ulusal Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu, s. 58-65, Trabzon.
- Göncüoğlu, M. C., Turhan, N., 1985. Bitlis Metamorfik Kuşaağı Orta Bölümünün Temel Jeolojisi, M.T.A. Raporu, No. 7707. Ankara,
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 2007. The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974-2006. R. Ulusay and J. A. Hudson (eds.), Suggested Methods Prepared by the Commission on Testing Methods, International Society for Rock Mechanics, Compilation Arranged by the ISRM Turkish National Group, Kozan Ofset, Ankara, Turkey, 628 p.
- Nefeslioğlu, H.A., Gökçeoğlu, C., Sönmez, H., 2006. Indirect determination of weighted joint density (wJd) by empirical and fuzzy models: Supren (Eskisehir) marbles. Engineering Geology, 85, 251-269.
- Okay İ. A., Tüysüz, O, 1999. Tethyan Stures of Northern Turkey. Geological Society, Special Publication 156, London, p. 475-515.
- Sönmez, H., Ulusay, R., 1999. Modifications to the Geological Strength Index (GIS) and Their Applicability to Stability of Slopes. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 36 (6), p. 743-760.
- Ulusay, R., 2010. Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları:38, Ankara, 453 s.
- Ulusay, R., Sönmez, H., 2007. Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları:60, Ankara, 292 s.

Türkiye Doğal Taş Sektörünün Ekonomik Analizi *Economic Analysis of Natural Stone Sector of Turkey*

R. Altındağ

Süleyman Demirel Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta

U. Çiçek

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, BZTUYO, Burdur

R. Karagüzel

İTÜ, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Türkiye doğal taş sektörü, 160 ülkeye yıllık 2 milyar \$ civarında ihracat yapması nedeniyle ekonomik anlamda en önemli sektörlerden birisidir. Dünya doğal taş ticaretinde ilk 5 ülke içinde olan Türkiye’de sektör, son otuz yılda yaklaşık 100 kat büyüyerek maden ihracatı içinde %50’lik payla ilk sırada yer almaktadır.

Bu çalışmada, öncelikle Türkiye doğal taş sektörünün ekonomik yapısı değerlendirilmiştir. Daha sonra da Türk doğal taş sektörünü dünyadaki ve ülkemizdeki gelişmelerden nasıl etkilenebileceği irdelenmiş ve olumsuz etkilerin nasıl avantaja dönüştürülebileceğine yönelik önerilerde bulunulmuştur.

ABSTRACT The Turkish natural stone sector is one of the most important economic sectors because it exports around \$ 2 billion annually to 160 countries. The sector, which is among the top 5 countries in natural stone trade in the world, has grown about 100 times in the last thirty years and is ranked first in mine exports with a share of 50%.

In this study, firstly the economic structure of the natural stone sector of Turkey is evaluated. Then, how the Turkish natural stone industry could be affected by the developments in the world and our country was examined and suggestions were given about how the negative effects can be turned into advantage.

1 GİRİŞ

Mermer 3213 sayılı Maden Kanunu ile maden kapsamına alınmıştır. Mermer ve traverten olarak başlayan sektördeki gelişmeler günümüzde diğer kayaç türlerinin de katılmasıyla Dünya Doğal Taş Sektöründe ve ülke ekonomisinde önemli bir yer tutmaya başlamıştır. Türkiye’nin 1980’li yıllarda birkaç milyon dolar olan mermer (doğal taş) ihracatı 2013 yılı itibariyle 2,2 Milyar \$ seviyesine ulaşmış, 2016 yılında ise bir düşüş göstererek 1,8 Milyar \$ düzeyinde gerçekleşmiştir. Bugün gerek üretim miktarı gerekse ihracat verileri açısından bakıldığında Türkiye, Dünyanın ilk 5 ülkesi içinde yer almaktadır. Ülkenin doğal taş

sektörüne sadece doğal taş üretimi ve ihracatı açısından bakılmamalıdır. Özellikle son 25 yıllık süreç incelendiğinde ocak ve mermer işleme makineleri ve ekipmanları ile doğal taş imalatı açısından yerli üretim oldukça iyi bir konuma gelmiş bulunmaktadır. Bugün ülkemizin tüm ocaklarında yerli üretim iş makineleri görmenin yanı sıra birçok ülkeye mermer makineleri ve ekipmanları ihracatı da yapılmaktadır.

Türkiye’nin 2023 yılı doğal taş ihracat hedefinin geçmiş dönemdeki çeşitli kaynaklarda 10 Milyar \$ olarak gerçekleşeceği öngörülmektedir. Ancak 2016 yılına kadarki ihracat eğilimi, Dünyadaki ve bölgemizdeki gelişmeler

dikkate alındığında 2023 doğal taş ihracat hedefine ulaşmasının mümkün olmadığı görülmektedir. Doğal taş sektörünün vardığı bu seviyeyi korumak ve daha yukarılara taşımak için ülke içinde ve dünyadaki gelişen dinamikleri iyi analiz etmek gerekir. Bu değişimleri ve gelişmeleri öngörerek şirketlerin pozisyon almaları da son derece önemlidir.

2 TÜRKİYE DOĞAL TAŞ EKONOMİSİ

2017 yılı içerisinde ilk 10 aylık dönemde yaklaşık 160 ülkeye işlenmiş mermer ihracatı yapılmıştır (İmib, 2017). Türkiye'nin 2023 yılı itibariyle doğal taş ihracatının bugüne kadarki ihracat eğilimi dikkate alındığında 3,7-4 Milyar \$ düzeyinde olacağı öngörülmektedir. Dünyadaki ve ülkemizdeki ekonomik gelişmelerde ekstrem durumlar yaşamaması halinde bu ihracat rakamlarına ulaşacağı tahmin edilmektedir.

TÜİK (2017) verilerine göre 2016 yılında 143,6 milyar \$ olarak gerçekleşen ülkemiz toplam ihracatından % 2,5'luk payı alan madencilik sektörü ihracatı, bir önceki yıla göre %1 düşüşle 3,787 milyar \$ olarak gerçekleşmiştir. 2016 yılında en fazla ihraç edilen maden ürün grupları arasında ise Doğal Taşlar 7,06 milyon ton ve 1,82 milyar \$ ile ilk sırada yer almıştır.

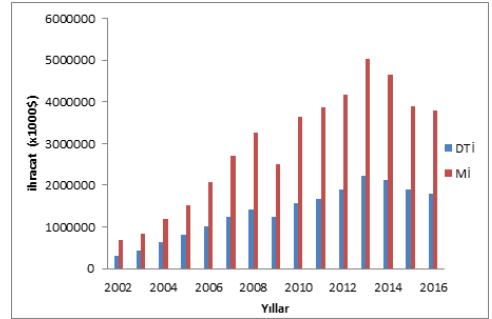
Türkiye'nin mermer ve traverten ihracatı 2010 yılında 4,7 milyon ton, 2011'de 4,9 milyon ton, 2012'de 5,2 milyon ton ve 2013'te 5,7 milyon tona ulaşmışken 2014 yılında 4,9 milyon tona, 2015 ve 2016 yıllarında 4,4'er milyon ton olarak gerçekleşmiştir.

Türkiye'nin son 15 yıllık maden ve doğal taş ihracat rakamları Çizelge 1'de verilmiştir. Bu veriler incelendiğinde doğal taş ihracatının toplam maden ihracatı içindeki payının %45-50 olduğu, bilinen diğer tüm madenlerin ihracatı ise % 50-55 düzeyinde gerçekleştiği görülmektedir (Şekil 1). Diğer bir ifadeyle, doğal taş ihracat rakamları diğer tüm maden ihracat rakamlarına eşit olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 1. Türkiye'nin maden ve doğal taş ihracatının yıllar bazlı dağılımı (İmib, 2017)

Yıllar	Doğal Taş İhracatı (x1000\$) (A)	Maden İhracatı (x1000\$) (B)	(A/B)x100 (%)
2002	302586	680222	44,5
2003	431047	843273	51,1
2004	625895	1201711	52,1
2005	805234	1517195	53,1
2006	1025937	2071786	49,5
2007	1241672	2702710	45,9
2008	1415152	3251443	43,5
2009	1240675	2499495	49,6
2010	1571094	3645843	43,1
2011	1674118	3863312	43,3
2012	1901206	4179552	45,5
2013	2222387	5034886	44,1
2014	2128230	4641566	45,9
2015	1906251	3895258	48,9
2016	1815599	3787505	47,7
2017*	2000000	3489927	57,3

*Ocak-Ekim 2017 arası ihracat verileri



Şekil 1. Yıllar itibariyle Türkiye doğal taş ve maden ihracatının değişimi (DTİ: Doğal Taş İhracatı, Mİ: Maden İhracatı)

3 ÜLKE DIŞINDAKİ DİNAMİKLER

Doğal taş ihracatının yapıldığı Suriye, Irak, Suudi Arabistan ve Kuzey Afrika ülkelerdeki gibi ülkelerdeki siyasal ve ekonomik alandaki olumsuz gelişmeler bu ülkelere yapılan doğal taş ihracat rakamlarının da düşmesine neden olmuştur. Bu ülkelerdeki siyasal ve ekonomik belirsizliklerin önümüzdeki yıllarda da devam edebilme potansiyelinin varlığı, bu

ülkelere olan doğal taş ihracat değerlerinin de olumsuz etkileneceği ortadadır.

Ülke dışındaki dinamiklerin başında komşumuz olan İran'daki gelişmeler dikkat çekici noktadadır. Bilindiği gibi İran, birkaç yıl önce almış olduğu kararlara bağlı olarak üzerindeki ambargoların ve yaptırımların kaldırılmaya başlanmasıyla, ekonomik ve diplomatik olarak ikili işbirlikleri arayışına girmiştir. İran Cumhurbaşkanı Hassan Rouhani'nin dile getirdiğine göre yıllık 30-50 Milyar \$ yabancı yatırım ihtiyacının devreye girecektir. Önümüzdeki yıllarda havaalanları, oteller, büyük alışveriş merkezleri (AVM), toplu konut alanları ve modern yapılar gibi altyapı projelerinin

devreye gireceği dikkate alındığında Türk müteahhitlerin ve doğal taş sektör temsilcilerinin proje bazlı girişimlerde bulunması Türk Doğal Taş sektörüne yeni bir açılım getirebileceği de unutulmamalıdır.

Türkiye ve İran arasındaki ilişkiye coğrafi açıdan bakıldığında bir birine sınır komşusu olan bu iki ülke, Alp-Himalaya orojenez kuşağında yer almakta (Şekil 2) ve oluşum itibarıyla çoğunluğu sedimanter kökenli kayalardan oluşmakla beraber metamorfik ve magmatik kayaların da bulunduğu bir kuşak içerisinde yer almaktadırlar. Türkiye ile İran Alp-Himalaya orojenez hattının hemen hemen % 50'lik bölümünü oluşturmaktadır.



Şekil 2. Alp-Himalaya orojenez sistemi

Çizelge 2. Türkiye ve İran'ın bazı sayısal değerleri (2016 yılı itibarıyla) (Tüik, 2017*; TCEB, 2017**)

	Türkiye	İran
Yüz ölçümü (km ²)	780 000 *	1 636 000 **
Nüfus (Milyon)	79,8 *	81,2 **
İhracat (milyar \$)	151,7 *	98 **
İthalat (milyar \$)	242,9 *	67 *
Türkiye'nin İran'a ihracatı (milyar \$)	4,96 **	--
Türkiye'nin İran'dan ithalatı (milyar \$)	4,70 **	--
Doğal taş ihracatı (\$)	1,8 Milyar	150 Milyon
Doğal taş ithalatı (\$)		113 Milyon

Her iki ülkenin bazı sayısal değerleri Çizelge 2'de verilmiştir. Çizelge 2'den de görüldüğü gibi Türkiye ve İran'ın nüfusları hemen hemen aynı olup yüz ölçümü bakımından İran, Türkiye'nin 2 katı büyüklüğündedir.

Her iki ülke arasında ticaret hacmi zaman içinde 22 Milyar \$ civarında iken 2013 yılı itibarıyla yaklaşık 15 Milyar \$ ve 2016 yılında 9,7 Milyar \$ düzeyine düşmüştür. İran, son 35 yıllık süreç içerisinde gerek ekonomik gerekse siyasal açıdan içine kapanık bir ekonomi izlemiş ve ülke ekonomik yaptırımlarla karşı karşıya kalmıştır. İran'ın Dünya ile entegrasyona girmesi kararının ardından her ne kadar zaman zaman siyasal gerilmeler olmasına rağmen başta ABD ve Çin olmak üzere Avrupa ülkeleriyle diplomatik ve ekonomik girişimlerde bulunmaktadır. Her sektörde olduğu gibi doğal taş sektöründe de birçok ülke ve/veya şirketler İran'da gerek yatırım yapma açısından gerekse yatırım oranlarında paylarını artırma açısından birbirleriyle yarış içine girmiş durumdadırlar. Bu yarış

içinde Türk Doğal Taş sektörünün gerek ocak işletmeciliği gerekse mermer üretim ve işleme makineleri sektörünün temsilcilerinin de hiç zaman kaybetmeden girişimlerde bulunması ve/veya girişimlerini güçlendirmesi gerekmektedir.

İran, ekonomik yaptırımlar altında uzunca yıllar kalması ile dışa kapalı bir ekonomi sergilemesine bağlı olarak doğal taş sektörü de dünyaya açılmamıştır. Çok küçük miktarlarda doğal taş ihracatı ve ithalatıyla beraber bu sektörde kullanılan makinelerin ithalatında da sınırlı kalmıştır. Türkiye gibi Alp-Himalaya kuşağında yer alan İran'da doğal taş üretim sektörü içinde mermer, onyx, traverten ve granit türü kayalar önemli yer tutmaktadır. Üretilen doğal taşların renk dağılımı ise beyaz, sarı, kırmızı, gri ve kahverengi tonlar ağırlıklı yer almakla beraber çok çeşitli ve farklı renk ve doku özelliğinde doğal taşlara sahip olduğu bilinmektedir. Üretilen bu doğal taşları Türkiye'nin de ihracat yaptığı ortak pazar alanı olan İngiltere, ABD, B.A.E., Fransa, İtalya, Rusya, Kanada, İspanya, Polonya, Avusturya, İsveç, Belçika, Türkiye, Avustralya, Endonezya, Singapur ve İrlanda gibi Dünyanın bir çok ülkesine ihraç etmektedirler. İran, ürettiği doğal taş mermer fabrikalarında işleyerek mamul veya yarı mamul ürün olarak ihraç etmektedir. Mermer işleme fabrikalarında da ağırlıklı olarak Barsanti, Pedrini, Breton, Simec gibi birçok İtalyan şirketlerinin makineleri kullanılmaktadır.

2016 yılı doğal taş ihracatı toplam 1,82 Milyar \$ olarak gerçekleşmiştir. Mermer ve traverten (ham blok ve plakalar halinde) 871,7 milyon \$, işlenmiş mermer 801,8 milyon \$, işlenmiş traverten 112,4 milyon \$, yontulmaya veya inşaata elverişli diğer taşlar 19,7 milyon \$'dır. Doğal taş ihracatı yaptığımız ülkelerden Çin 729,8 milyon \$ ile birinci, ABD 288,28 milyon \$ ile ikinci, Suudi Arabistan 119 milyon \$ ile üçüncü, Irak 71,3 milyon \$ ile dördüncü ve Hindistan 55 milyon \$ ile beşinci sırada yer almaktadır. Bu ülkeleri sırasıyla; BAE, İsrail, Fransa, Kanada, Avustralya, İngiltere, Almanya ve İtalya takip etmektedir. Mermer-traverten ham, kabaca yontulmuş veya blok ihracatı

4,87 milyon ton ve 871,7 milyon \$ ile 2016 yılında toplam maden ihracatımız içinde en fazla ihraç edilen ürün olurken, işlenmiş mermer 1,77 milyon ton ve 801 milyon \$ ile ikinci sırada yer almıştır.

İran'ın dünya ile ekonomik entegrasyonunu başlatması hamlesi ışığında, yukarıda bahsedilen ekonomik hareketlilik rakamları bize göstermektedir ki, önümüzdeki süreçte aynı doğal taş yelpaze potansiyeline sahip olan İran'ın doğal taş ihracatındaki hedef pazarlardaki payının artacağı kaçınılmazdır. Bu payının artmasına doğal taş ithalatı yapan ülkelerin farklı ve bugüne kadar dünya doğal taş arenasında fazla dolaşım imkânına sahip olmayan cazibesi yüksek taleplerinin yüksek olabileceği ortadadır. Dolayısıyla aynı pazarda dünya piyasasında bilinen taşlarla Türkiye'nin rekabet etmesi zorlaşacaktır. İran'ın zengin enerji yataklarına sahip olmasının avantajıyla doğal taş üretim maliyetleri Türkiye'ye nazaran oldukça düşüktür. İran'ın bu avantajının yanı sıra Çin'e nakliye yolu açısından da daha yakın olması bir başka avantaj sağlamaktadır. Daha önemlisi dünyada fazla dolaşım imkânı olmayan İran doğal taşlarının farklı renk/doku özelliklerinin cazibesinin avantajıyla Çinli alıcıların Türkiye doğal taşlarına talep azalmasına nazaran İran doğal taşlarına yol açma tehlikesi göz ardı edilmemelidir (Altındağ, 2016).

İran, Dünyanın 4cü büyük petrol rezervlerine sahip ve önemli doğal gaz üreticisi ülkelerden biridir. Dünyada önemli enerji tedarikçisi olmanın avantajıyla endüstride düşük enerji maliyetlerini sanayiye yansıtma avantajının yanı sıra zengin doğal taş rezervlerine sahip olmasıyla Türkiye Doğal Taş sektörünün önemli rakiplerinden biri olacaktır. Üretim maliyetleri içinde önemli bir paya sahip olan enerji, firmaların rekabet gücünü etkileyen en önemli faktörlerden birisidir. Enerji arzının avantajıyla piyasaya çıkan İran şirketlerinin, Türk şirketlerine göre rekabet gücünün daha yüksek olması kaçınılmazdır. Bu nedenle, doğal taş sektörünün desteklenmemesi durumunda Türkiye'nin doğal taş sektöründeki rekabet gücü

zayıflayacaktır. Firmalarımızın bu rekabette geri kalma durumunda birçok mermer ocağı ve fabrikanın kapanması kaçınılmaz olacaktır. Bu nedenle, doğal taş sektöründe enerji olarak kullanılan **elektrik ve mazot** girdilerinin **şirketlerin üretim miktarları ve istihdamları gibi parametreleri dikkate alınarak desteklenmesi gerekmektedir**. Şirketlerimiz böylelikle önümüzdeki süreçte İran doğal taş sektörü ile rekabet edilebilecek konuma getirilebilir.

Doğal taş sektörünü; a) *Ocak üretimi ve fabrika işletmeciliği*, b) *Mermer ocak ve fabrika makineleri üretim sektörü* olarak iki grupta değerlendirmek gerekmektedir. İran'da üretim yapan ocaklarda ve mermer işleme fabrikalarında başta ve ağırlıklı olarak İtalyan şirketlerinin makineleri kullanılmaktadır. Türk mermer makineleri üreticilerinin de bu yeni pazarda yerini alması ve payını üst düzeylere çıkarabilmesi için bu tarihi fırsatı kaçırmaması ve gerekli teşebbüsleri bir an önce yapması gerekmektedir.

4 ÜLKE İÇİNDEKİ DİNAMİKLER

Migem (2015) verilerine göre Kasım 2014 itibarıyla doğal taş potansiyelinin (arama ruhsatlı, ihalelik saha, işletme talepli saha, işletme ruhsatlı ve işletme izinli sahaların sayıları baz alınarak) bölgelere göre dağılımları sırasıyla Marmara bölgesi % 34, Ege bölgesi % 25, İç Anadolu bölgesi % 17, Akdeniz bölgesi %13, Karadeniz bölgesi % 6, Doğu Anadolu bölgesi % 3 ve Güneydoğu Anadolu bölgesi % 2'lik pay almaktadır. Bu verilerden de anlaşıldığına göre ülkemizin doğal taş potansiyelinin % 60'lık bölümü Marmara ve Ege bölgelerinde olduğu görülmektedir. Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgesinin fiziki yapısının dağlık ve ağırlıklı olarak karbonat kökenli kayalardan oluştuğu göz önünde bulundurulduğunda bu iki bölgenin doğal taş potansiyelinin % 5 gibi çok çok düşük düzeyde olması dikkat çekicidir. Bunun birçok nedenleri sayılabilir. Bu durumu ortaya çıkaran olumsuz faktörlerin önümüzdeki süreçte ortadan kaldırılması ve yatırımcıların bu bölgelere yönelmeleri

durumunda bu iki bölgedeki doğal taş üretim rakamları yüksek oranda artacak ve bölge doğal taşlarının farklı renk/doku özelliğindeki cazibesi ön plana çıkarak bölgedeki doğal taş sektörüne talep/ilgi arttırılacaktır. Dolayısıyla, doğu bölgelerine artan bu talep karşısında ülkenin çeşitli bölgelerinde **çok düşük blok verimlilikleriyle üretim yapan** birçok firma ocaklarını veya fabrikalarını kapatma tehlikesiyle ve/veya bu bölgelere taşıma durumuyla karşı karşıya kalabilecektir. Diğer taraftan, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgesinde önümüzdeki süreçte doğal taş sektörünün hareketlenmesiyle ülkemiz doğal taş çeşitliliği ve potansiyeli açısından dünya doğal taş pazarında avantajları da beraberinde getirecektir. Bu durumda hali hazırda düşük ocak verimlilikleriyle çalışan işletmeleri, verimliliklerini arttırmaları için araştırma/inceleme yapmaya da zorlayacaktır. Bugün özellikle bej olarak tanımlanan kireçtaşı ocaklarında blok verimliliğinin çoğunlukla %0,7 ile % 5 arasında üretimlerini devam ettirdikleri gerçeği göz önünde bulundurulduğunda işletme sahiplerinin mevcut çalışan ocaklarda verimliliğin arttırılmasına yönelik AR-GE çalışmalarına bir an önce geçmeleri gerekmektedir. Aksi halde gerek iç dinamikler gerekse dış dinamiklerdeki gelişmelerin yanı sıra kamuoyunda artan çevresel hassasiyetler nedeniyle mevcut üretim verimlilikleri ile doğal taş üretimlerinin sürdürülebilirliği mümkün görünmemektedir.

Doğal taş üretim sektörü temsilcileri ve mermer makineleri üretici şirketlerin çeşitli üst kuruluşlarca (Enerji Bakanlığı, ihracatı geliştirme merkezi, ihracatçı birlikler, dernekler vb.) koordineli çalışılarak gelişen bu dinamikler karşısında avantajlı girişimlerin bir an önce yapılması gerekmektedir. Aksi halde tarihi fırsatları kaçırmaya tehlikesiyle karşı karşıya kalınacaktır. 2011 yılında birçok kişi veya kurum/kuruluş temsilcilerinin Türkiye'nin 2015 yılı mermer ihracat hedefinin 4 Milyar \$ olarak ifade etmelerine rağmen 2015 yılı ihracat değeri ancak 1,91 Milyar \$

seviyesinde kalmıştır. Bu gerçeği de göz ardı etmeden gelişen dinamikleri ve gelişebilecek dinamikleri de önceden öngörerek sektörün 2023 hedeflerinin daha gerçekçi yapılması gerekmektedir.

Bir diğer husus da Türkiye Doğal Taş rezervinin ne kadar olduğu ve dünyadaki payımız konusudur. *“Dünya mermer rezervinin yaklaşık % 40’ı Türkiye’dedir.”*, *“Türkiye 5,2 Milyar metreküp yani 13,9 Milyar ton mermer rezervine sahiptir.”* şeklindeki ifadelerle birçok sözel ortamda veya yazılı kaynaklarda rastlanmaktadır. *“Türkiye 5,2 Milyar metreküp yani 13,9 Milyar ton mermer rezervine sahiptir”* şeklindeki ifade bundan 50 yıl önce yani 1966 yılında MTA tarafından yapılan çalışmaların raporlarında belirtilmiştir (MTA, 1966). O yıllarda mermer olarak tanımlanan rezerv jeolojik anlamda mermer olarak tanımlanan kayaçların rezervidir. Kireçtaşı (bej olarak tanımlanan), traverten, limra, oniks ve magmatik kökenli (granit, bazalt, diyabaz vb.) kayaçlar mermer olarak tanımlanmadığından o günlerdeki kayıtlara bunların varlığı mermer rezervi kapsamına alınmamıştır. Oysaki günümüzde jeolojik anlamda mermer olarak tanımlanan kayaçların yanı sıra kesilip parlatılan, dekoratif özellikleri olan piyasada ekonomik olarak işlem gören her türlü kayaca **Doğal Taş** ve bu sektöre de **Doğal Taş Sektörü** denilmektedir. Bu ticari gerçeğin ışığında MTA'nın 1966 yılındaki raporunun (MTA, 1966) üzerinden 50 yıl sonra hala aynı sayısal büyüklüklerin gerek çeşitli platformlarda sözlü olarak gerekse yazılı metinlerde yer almaya devam etmesi gerçeği günceli yansıtmamaktadır. Doğru ve güncel verileri yansıtmayan ifadeler sektörü yanıltmaktan öteye geçmeyecektir. 1990-1994 yılları arasında; Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) adına, İTÜ tarafından mermer ocağı bazında yapılan gözlemlere göre Türkiye doğal taş rezervi 6,7 milyar m³ olarak belirtilmiştir (DPT, 1995). Bugün doğal taş olarak tanımlanan kayaçların Türkiye'deki rezerv durumunu araştırıp rapor eden ne bir bilimsel çalışma nede resmi bir yayın bulunmamaktadır. Dolayısıyla, biz daha Türkiye'deki doğal taş

rezervinin ne olduğunu bilmeden ve dünya rezervi ile mukayese edemeden Türkiye, Dünya rezervinin % 40'ına sahiptir demek son derece yanıltıcıdır. Bu nedenle, bir an önce doğal taş sektörü ile ilgili aktörler bir araya gelerek Türkiye doğal taş rezervinin ve dağılımının belirlenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda Eylül 2016 tarih ve 29824 sayılı resmi gazetede yayınlanan 6745 sayılı "Yatırımların proje desteklenmesi ile bazı kanun ve kanun hükmünde kararnemelerde değişiklik yapılmasına dair " torba kanununun 38. Maddesi ile de 3213 sayılı kanunun ek 14. madde eklenmesi ile de Maden sahalarında yapılan maden arama ve işletme faaliyetlerin uluslararası standartlara uygun raporlanması ve bu raporlamaların doğru, güvenilir ve şeffaf olmasını sağlamak amacıyla Ulusal Madenlerde Rezerv ve Kaynak Raporlama Komisyonu (UMREK) kurulmuştur (UMREK, 2017). Bu kapsamda oluşturulacak veri toplama sistemi ile ülkemizin doğal taş sektöründeki güncel rezervleri belirlenmiş olacak ve ülkemizin doğal taş rezervinin dünya rezervleri içindeki payı gerçekçi olarak ortaya konacaktır.

5 SONUÇ ÖNERİLER

Bu çalışmada dikkat çekilmeye çalışılan ülkemizdeki ve dünyadaki gelişmeler göz önüne alındığında, Türkiye'nin içindeki ve dışındaki gelişmeleri yakından takip eden, öngörüle bulunan, ocaklarda verimlilik artışı sağlayan, tasarım ve uç ürünlere yönelik projeler üreten, işletme artıkları için AR-GE ve UR-GE'ye önem veren şirketler varlığını ve rekabet gücünü koruyarak gelişmeye devam edebilecektir. Bu gelişmelere kayıtsız kalan şirketler ise sektörden uzaklaşmak durumunda kalarak kapanma noktasına gelecektir. Ülkemiz doğal taş sektörünün Dünya ekonomisinde elde etmiş olduğu pazar payını ve önümüzdeki zaman dilimi içinde hedeflerine ulaşabilmesi için gerek şirketlerin verimlilik artışı için gerekli araştırmalara öncelik vermesi gerekse İhracatı Geliştirme Merkezi (İGEME), ihracatçı birlikleri, dernekler vb. şemsiye kuruluşların koordineli çalışmasına ve

devletin ilgili kurumlarının bu sektörün beklediği başta enerji desteğini bir an önce sağlanmasına bağlıdır. Bu zincir halkalarından birinin aksamaması durumunda ülkemiz doğal taş sektörünün Dünya pazarındaki payının kayba uğraması kaçınılmazdır.

KAYNAKLAR

- Altındağ, R., 2016, Türkiye doğal taş sektöründe fırsatlar ve tehditler, *Tourquise Dergisi*, 234-237.
- DPT, 1995, Doğal taş sektör raporu, Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), Ankara.
- İmib, 2017, <http://www.imib.org.tr/tr/istatistikler-2/>
- MİGEM, 2015, Doğal Taş-Mermer, s.109, Ankara.
- MTA, 1966, Türkiye mermer envanteri, *MTA Enstitüsü*, Yayın No: 134, Ankara.
- TCEB, 2017, Dış ekonomik ilişkiler kurulu, İran ülke bülteni, Ekim 2017.
- TUİK, 2017, 2016 yılı istatistikleri, Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara.
- UMREK, 2017, Enerji Bakanlığı, <http://www.umrek.com.tr/index.php>

SPONSORLAR
SPONSORS

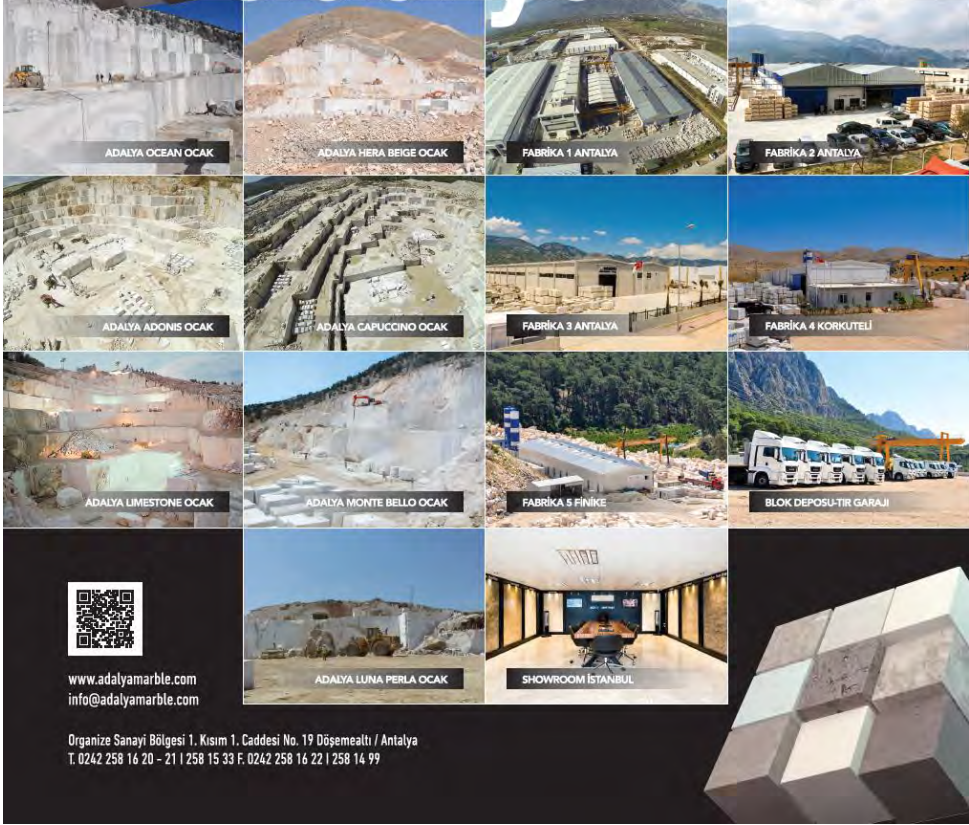


adalya

marble



adalya mermer



www.adalyamarble.com
info@adalyamarble.com

Organize Sanayi Bölgesi 1. Kısım 1. Caddesi No. 19 Döşemealtı / Antalya
T. 0242 258 16 20 - 21 | 258 15 33 F. 0242 258 16 22 | 258 14 99

$\lambda_h=0,11 \text{ W/mK}$



AKINBLOK
İNŞAAT ve YAPI MALZEMELERİ



► CE = CE Belgesi'ne ve Ulusal Teknik Onay Belgesi'ne sahiptir.

AKIN MERMER TEKS. İNŞ. MAKİNA ENERJİ SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.
2. Organize Sanayi Bölgesi / BURDUR / TÜRKİYE
www.akinblok.com.tr • info@akinblok.com.tr
T: +90 248 252 92 11 • F: +90 248 252 96 02

İZOBOK®



ALACAKAYA®



ALAMER

Maden İnşaat Nakliyat Ticaret ve Sanayi
Limited Şirketi

PRODUCTION GIANT



**ANTALYA
MARBLE**

Organize Sanayi Bölgesi 1. Cadde No: 17 Döşemealtı, Antalya / TÜRKİYE
Phone: 0242 258 01 60 - 61 - 62 • Faks: 0242 258 01 64
E-mail: info@antalyamarble.com



www.antalyamarble.com



BARIDAMERMER

İNŞ.TUR.SAN.TİC.LTD.ŞTİ.



baridamermer

maden dış ticaret a.ş.



BARİDAMERMER

MADEN DIŞ TİCARET A.Ş.



Elegance in Nature



Head Office | Merkez Ofis

Emek Mah. Gazi Blv. BR Grup Plaza No:223 Antalya / Türkiye
Tel: +90 242 326 60 22 - 326 71 72 | Fax: +90 242 326 24 38
info@barlamarble.com | info@bartumarble.com
barlamarble.com | bartumarble.com

Isparta Factory | Isparta Fabrika
Eğirdir Quarry | Eğirdir Ocak
Bademli Quarry | Bademli Ocak
Finike Factory | Finike Fabrika
Finike Quarry | Finike Ocak
Aydın Quarry | Aydın Ocak

Isparta-Eğirdir Karayolu 22. Km. Isparta / Türkiye
Isparta-Eğirdir Karayolu 22. Km. Beşevler Mevkii Isparta / Türkiye
Isparta-Eğirdir Karayolu 22. Km. Bademli Mevkii Isparta / Türkiye
Finike-Elmalı Yolu 22. Km. Yalnız Köyü Finike, Antalya / Türkiye
Alaçadağ Mevkii Finike, Antalya / Türkiye
Örenköy Karacasu Aydın / Türkiye

MARBLE | LIMESTONE | TRAVERTINE

barlamarble.com | bartumarble.com





BAŞARILAR
MERMER



Başarılar Mermer San. Tic. Ltd. Şti. | Onaç Mah. Ertuğrulcazi Cad. No:12
Bucak / Burdur / TÜRKİYE | Tel:+90 (248) 325 34 61 | Fax:+90 (248) 325 78 42
info@basarilar.com

Tarih kadar, dayanıklı ve şık.
Strong and elegant as history.



1968 yılında kurulmuş olan Batı Akdeniz İhracatçılar Birliği, yarım yüzyıla yaklaşan tecrübesi ve 2011 yılından beri sahip olduğu “Bölgesel Birlik” statüsü ile Antalya, Burdur, Isparta üçgeninde faaliyet gösteren 5.000’in üzerinde ihracatçı firmaya hizmet vermektedir.

Birliğimiz tarafından, bölgemizden en fazla ihracat gerçekleştirilen Madencilik Ürünleri, Yaş Meyve ve Sebze, Kimyevi Maddeler ve Mamülleri sektörleri başta olmak üzere 25 farklı ihracat sektöründe yurtdışı fuar katılımları, yurtdışı ticaret heyetleri, alım heyetleri organize edilmekte, arge ve inovasyon çalışmaları sürdürülmekte, Ekonomi Bakanlığımız koordinasyonunda projeler yürütülmekte, eğitim, seminer, panel ve toplantılar düzenlenmektedir.

Batı Akdeniz İhracatçılar Birliği olarak, bölgemizde hem ihracat miktarımızı hem de pazar çeşitliliğimizi arttırmayı hedefliyoruz.

Bölgemizden 150’den fazla ülkeye ihracat gerçekleştirilmektedir. İhracatımızdan en yüksek payı alan ülkeler Çin, Almanya, İran, ABD ve Romanya olarak sıralanmaktadır.

Yarım milyar dolara yaklaşan ihracat hacmi ile madencilik sektörü bölge ihracatımızdan önemli bir pay alarak bölgemizin en önemli ihracat kalemini oluşturmaktadır. Bölgemizde oldukça geniş bir alanda madencilik faaliyetleri gerçekleştirilmektedir. Sektör bölge ekonomimize, üretim, istihdam ve ihracat açısından önemli katkılar sunmaktadır.

Madencilik sektörü dahilinde ihracata en fazla konu olan ürün grubu doğaltaşlardır. Dünya doğaltaş endüstrisinde marka haline gelmiş olan Burdur Beji, Finike Limra ve Isparta Ottoman Beji bölgemizin önemli ürünlerindedir.

Bölgemizden 100’den fazla ülkeye satılan madencilik ürünlerinin büyük çoğunluğunun ihracatı Çin Halk Cumhuriyetine gerçekleştirilmektedir. Sektörün diğer önemli ihracat destinasyonları Birleşik Devletler, Suudi Arabistan, Belçika, Birleşik Arap Emirlikleri ve İtalya’dır.

Ülkemizin 2023 ihracat hedefleri kapsamında, biz de bölge olarak, 2017 yılı için 1.6 milyar dolar; 2023 yılı için ise 5 milyar dolar ihracat hedeflemekteyiz.

www.baib.gov.tr

www.sektorelbilgiagi.org.tr

twitter.com/antalyaihracat

facebook.com/BatiAkdenizIhracatcilarBirligi

YER ALTI YER ÜSTÜNÜ YAŞATIR



   hayatimizmaden

HAYATIMIZ
MADEN





İSPARTA TİCARET VE SANAYİ ODASI



Isparta Ekonomi Kampüsü Süleyman Demirel Bulvarı 102 Cadde No:185 Isparta / Türkiye

Tel: +90 (246) 232 94 96 Pbx • Faks: +90 (246) 218 10 16 • www.itso.org • itso@itso.org



İMSA MERMER®

İNŞ. TAAH. TURZ. SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.

Organize Sanayi Bölgesi 1. Kısım 1. Cadde No: 28
Döşemealtı / Antalya / TÜRKİYE

+90 242 2903316 | +90 242 2595731

+90 242 2903316

info@imsamarble.com

Turkey

www.turkishstones.org
www.imib.org.tr

Discover
the potential



**TURKISH
STONES**

İMİB

İSTANBUL MADEN İHRACATÇILARI BİRLİĞİ
İSTANBUL MINERAL EXPORTERS' ASSOCIATION



MODÜLMER

MODÜL MERMER SAN VE TİC A.Ş
Eğirdir Karayolu 5. Km
ISPARTA/TURKEY

Tel: 90 246 224 10 81
Fax: 90 246 224 10 80



ONURTAŞ

P A T L A Y I C I M A D D E L E R

ONURTAŞ PİROTEKNİK MADDELER
SANAYİ VE TİCARET LTD. ŞTİ.

onurdemirbas@onurtaspatlayici.com

0533 643 6261

EMEK MAHALLESİ BÜLENT ECEVİT BUL.
ULUHAN 56-E



PLATO MARBLE
www.platomarble.com



PLATO MARBLE
www.platomarble.com



Gücümüzü güveninizden alıyoruz...
Büyüyen Türkiye'nin Büyüyen Limanı...




PORT AKDENİZ
ANTALYA

Port Akdeniz - Antalya
Büyük Liman, 07070, ANTALYA

Tel : +90 242 259 13 80
Faks : +90 242 259 11 83

info@portakdeniz.com
www.portakdeniz.com
www.facebook.com/portakdeniz


GLOBAL PORTS
HOLDING

1218 AKDENİZ



SUPER SELVA[®]
A B R A S I V E S • A N D • C H E M I C A L S



www.superselva.com.tr



TMMOB
MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI

