

MERSEM2019

TÜRKİYE 10. ULUSLARARASI | 10TH INTERNATIONAL MARBLE &
MERMER VE DOĞAL TAŞ | NATURAL STONE CONGRESS AND
KONGRESİ VE SERGİSİ | EXHIBITION OF TURKEY

13-14 December / Aralık 2019 - Bursa/Turkey

Bildiriler Kitabı *Proceedings Book*

Editörler
Editors

Murat Yurdakul
Ece Kundak

Hürriyet Akdaş
Emre Yılmazkaya



TÜRKİYE 10. ULUSLARARASI

MERMER VE DOĞAL TAŞ

KONGRESİ VE SERGİSİ

PROCEEDINGS OF THE 10th INTERNATIONAL MARBLE AND NATURAL
STONES CONGRESS AND EXHIBITION OF TURKEY

13-14 ARALIK/December 2019
Bursa/Türkiye

EDİTÖRLER

Editors

Murat Yurdakul

Hürriyet Akdaş

Ece Kundak

Emre Yılmazkaya

ISBN: 978-605-01-1330-3

ARALIK 2019
ANKARA

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. Murat YURDAKUL Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Başkan Yardımcısı/Vice Chair

Murat ÜREGEN Maden Mühendisleri Odası Bursa İl Temsilcisi

Genel Sekreter/General Secretary

Dr. Ece KUNDAK Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Sayman/Accountant

Veyis SIR TMMOB Maden Mühendisleri Odası

Üyeler/Members

Dr. Hürriyet AKDAŞ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Erman AYDINGÜN Maden Mühendisleri Odası Bursa il Temsilciliği
Sadık CEYLAN Maden Mühendisleri Odası Bilecik il Temsilciliği
Sinem LÜLECİ Maden Mühendisleri Odası Bursa il Temsilciliği
Atlıhan ÖGE Maden Mühendisleri Odası Bursa il Temsilciliği
Tunay ÖZBUDAK Maden Mühendisleri Odası Bursa il Temsilciliği
Adnan TEPEUĞUR Maden Mühendisleri Odası Bursa il Temsilciliği
Kaan YAKAR Maden Mühendisleri Odası Bursa il Temsilciliği
Dr. Emre YILMAZKAYA Hacettepe Üniversitesi

SPONSORLAR



İSTANBUL MADEN İHRACATÇILARI BİRLİĞİ

İletişim: Çobançesme Mevkii, Sanayi Caddesi
Dış Ticaret Kompleksi, A Blok 34197 Yenibosna / İSTANBUL
E-posta: maden@immib.org.tr / <http://www.imib.org.tr/tr/>
Faks: 0212 454 01 50



GÖKYAR MERMER

İletişim: Bozuyük Yolu 3. Km. 11600 Söğüt/ BİLECİK
E-posta: info@gokyarmermer.com
<https://www.gokyarmermer.com/>
Tel: +90 228 361 47 00 Faks: +90 228 361 47 05



MADEN MERMER ÜRETİCİ VE SANAYİCİ İŞ ADAMLARI DERNEĞİ

İletişim: Üçevler Mah. Düzova Sk. No:1 Yalçınay İşm. K:3 D:3
Nilüfer / BURSA TÜRKİYE
E-posta: madsiad@madsiad.org.tr / <http://www.madsiad.org.tr/>
Tel : +90 (224) 441 71 75 – 76 Faks : +90 (224) 441 71 20



HARTEK MERMER GRANİT İNŞ.MAK.VE EKİPMANLARI SAN.TİC.LTD.ŞTİ.

İletişim: Karayolları Mah. Cebeci Cad.648 Sk. No:40
G.O.Paşa/İSTANBUL
E-posta:info@hartek.com.tr / <http://www.hartek.com.tr/>
Tel:+90 (212) 538 47 48 / Faks:+90 212 535 00 08



Bilmerder

Bilecik Mermer ve Granit Sanayicileri D

BİLECİK MERMER VE GRANİT SANAYİCİLERİ DERNEĞİ

İletişim: Tevfik Bey Caddesi No: 11/2 BİLECİK
<http://www.bilmerder.org/>
Tel : 0228 212 05 15 / Faks : 0228 212 05 15



EGE İHRACATÇI BİRLİKLERİ

İletişim: Atatürk Cad. No: 382 Alsancak / İZMİR
E-posta: eib@eib.org.tr / <http://www.egebirluk.org.tr/>
Tel: +90 232 488 60 00 Faks: +90 232 488 61 00

SUNUŞ

TMMOB Maden Mühendisleri Odası; mesleki, ekonomik, sosyal ve kültürel alanlarda ülkemizdeki maden mühendislerini temsil etmektedir. Odamız üyelerinin hak ve menfaatlerini kamu yararı temelinde korumak ve geliştirmek, üyelerinin mesleki, sosyal ve kültürel gelişimlerini sağlamak, mesleki birikimlerini toplum yararına kullanmalarının zeminini yaratmakla görevlidir.

Maden Mühendisleri Odası; meslek alanları üzerinden ülke gerçekleri hakkında üyelerini ve halkı bilgilendirmekte, bu politikaların toplum yararına düzenlenmesi için öneriler geliştirmekte ve bunların yaşama geçirilmesi için üzerine düşen sorumluluğu yerine getirmektedir.

Bu kapsamda, büyük bir emek ve özveriyle geliştirilerek uluslararası düzleme taşınan Türkiye 10. Uluslararası Mermer ve Doğal Taş Kongresi ve Sergisi ülkemizde bilimsel ve mesleki olarak düzenlenen önemli organizasyonlardan birisidir.

Kongrede düzenlenen oturumlar, sunulan bildirimler ve dile getirilen görüşler maden mühendisliği uzmanlık alanına giren konularda, başta mermer ve doğal taş sektörü olmak üzere, toplumun tüm kesimlerinin görüşlerinin oluşturulmasına kaynak sağlamaktadır. Düzenlediğimiz bilimsel etkinlikler ile her yıl üretilen yeni bilgi ve teknolojiyi sektörümüze, meslektaşlarımıza ve üyelerimize ulaştırmaya çalışıyoruz.

Odamız tarafından düzenlenen kongreler, sempozyumlar ve çalıştaylar ısrarla sürdürülmeseydi, demokratik işleyiş içinde mesleki sorunların ele alınmasına, çözümlenmesine ve ortak görüş oluşturma yöntemine ilişkin bu kadar köklü bir geleneği yaratmış olamayacaktık. Odamız bilimi reddeden, bilimsel etkinliklerimizi engellemeye çalışanlara karşı bilimin ve teknolojinin ışığında yürümeye ve bu geleneği sürdürmeye devam edecektir.

Yaşadığımız süreç içerisinde madencilik ve doğal taş sektörünün önemli sorunları bulunmaktadır. Madencilik sektörünün en önemli sorunu politikasızlık, istikrarsızlık ve kuralsızlıktır.

Ülkemiz ne yazık ki hala ulusal sanayimiz ile entegre olmuş bir ulusal madencilik politikasına sahip değildir.

1985 yılında yürürlüğe giren 3213 sayılı Maden Kanunu 2004 yılına kadar hiçbir değişikliğe uğramamış olmasına rağmen son 15 yılda yapılan değişiklik sayısını ne yazık ki kanunu yapanlar dahi bilmemektedir. Böylesine istikrarsız bir ortamda madencilik sektörünün gelişimini beklemek mümkün değildir. Ne yazık ki yeni bir maden kanunu değişikliği de kapıda beklemektedir. Çünkü yapılan her değişiklik bir öncekini aramamıza neden olmuştur.

2012 yılında yayınlanan Haziran Genelgesi ile başlayan ve genelgenin iptali nedeniyle 2015 yılında ki kanun değişikliği ile ruhsat onaylarının ve her türlü işleminin belirlenmiş kuralların dışında bilinmeyen kurallara Bakanlık yetkisine verilmesi madencilik sektöründe belirsizliğe ve bu nedenle de daralmaya neden olmuştur. Böylesine belirsiz bir ortamda sektörün gelişimini beklemek hayaldir.

Ülkemiz doğal taş ve mermer sektörünün rekabet gücü yüksektir. Ancak politikasızlık, istikrarsızlık ve belirsizlik nedeniyle sektörümüz uluslararası alanda hak ettiği değeri elde edememektedir. Bu nedenle sektörde, üretim ve kalite artışı ile inşaat ve sanayi sektörleri ile entegrasyonu amaçlayan kısa, orta ve uzun dönemli stratejik planların, bir "Doğal taş Politikası" temelinde geliştirilerek süratle uygulamaya konulması gerekmektedir.

Sektörün gelişimi bakımından önemli bir sorun, üretim ölçeğine ilişkindir. Sektörün, ağırlıklı olarak küçük ölçekli üreticilerden oluşan yapısı, eşitsiz üretim miktarlarının eşitsiz bir rekabet içerisinde gerçekleştirilmesine neden olmaktadır. Ekonomik gerçeklerle 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 artırılması, verimliliğin artmasını sağlayacağı gibi rezerv kaybı ve çevre tahribatı gibi olumsuz durumların da ortadan kalkmasını sağlayacaktır.

Sektördeki işletmelerin verimliliğine yönelik çalışmalar teşvik edilmelidir. Üretimde verimliliği artırmak amacıyla üretim yöntemlerinin geliştirilmesine önem verilmelidir. Özellikle, ocak işletme yöntemlerinin sürekli geliştirilmesi rekabet şansını artırmaktadır. Bu amaçla yapılacak araştırma ve geliştirme çalışmaları, devlet tarafından desteklenmelidir.

Gelişmiş teknoloji kullanımı ve yeni teknolojilerin geliştirilmesi, sektöre önemli katkılar yapacak yeni fırsatlar yaratacaktır. Bu çerçevede söz konusu teknolojilere uyum sağlayacak ve bunları kullanabilecek iyi eğitilmiş işgücünün varlığı önemlidir. Madencilik faaliyetlerinin kaynak kaybına yol açmadan, çevreyle barışık, akılcı ve ekonomik kurallara göre, iş güvenliği ve işçi sağlığı esasları çerçevesinde yürütülmesi bilimsel ve teknik bilginin kullanımı ile mümkündür. Bu durum, sektörde bilim ve teknolojinin uygulayıcısı olan maden mühendisinin istihdamını gerekli kılmaktadır. Sektörde maden mühendisinin istihdamının süratle artırılması, genel verimliliğin artışı bakımından son derece önemlidir.

Meslektaşlarımızın, üniversite öğretimi sırasında aldıkları bilimsel ve teknik bilgileri, meslek yaşamı sırasında edindikleri deneyimlerle birleştirerek verecekleri mühendislik hizmetleriyle yaşanabilecek madencilik ve madencilikten kaynaklanan sorunlar giderilebilecektir. Ancak, meslektaşlarımızın bu çalışmalarını özgürce yapabilecekleri ortamları sağlayacak olan Maden Kanunu ve Uygulama Yönetmelikleri, meslektaşlarımıza gerekli güvenceyi sağlamak bir yana YTK, UMREK ve Daimi Nezaretçilik düzenlemeleriyle mesleklerini yapamaz hale getirmiş, çalışma alanlarını oldukça kısıtlamıştır. Diplomalarımız yok sayılmış, bilim ve teknik reddedilmiş, her şey MAPEG'in sertifikalarına bağlanmıştır.

Doğal taş sektöründeki eğitim ve öğretim konusunun yeniden ele alınması ve sektörün gereksinim ve beklentilerinin yansıtılması gerekmektedir. Bu çerçevede, üniversitelerin maden mühendisliği bölümü eğitim programlarında doğal taş madenciliği ve işlemeciliğine yönelik derslere daha çok yer verilmeli ve ara eleman yetiştirmeye yönelik yüksekokullar devreye alınmalıdır. Ayrıca, mimarlık fakültelerinin ilgili bölümlerin eğitim programlarına mermer ve doğal taş kullanımına yönelik dersler konulmalıdır.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı bünyesi içerisinde enerjinin gölgesinde kalmış olan ülke madenciliğimizin bu sorunlarının çözümü için öncelikle Madencilik Bakanlığı kurulmalı ve ülke

madenciliğini koruyacak, geliştirecek, ulusal bir sanayi politikası ile entegre, madencilik politikası oluşturulmalıdır.

Sektörün mevzuattan kaynaklı sorunlarının çözümlenebilmesi için devlet, sektör ve işçi temsilcileri, üniversiteler ile meslek odalarının katılımıyla ulusal mevzuatımız bilimin ve hukukun evrensel ilkelerine uygun olarak yeniden düzenlenmelidir.

Türkiye 10. Uluslararası Mermer ve Doğal taş Kongresi ve Sergisi'nin düzenlenmesinde emeği geçen yönetim kurulu üyelerimize Eskişehir, Bursa ve Bilecik Temsilciliklerimize, yürütme kurulu başkan ve üyelerine, kongremize desteklerini esirgemeyen tüm sektör kurum ve kuruluşları ile değerli yöneticilerine teşekkür eder, saygılar sunarım.

Ayhan YÜKSEL

TMMOB Maden Mühendisleri Odası

Yönetim Kurulu Başkanı,

13 Aralık 2019, Bursa

PRESENTMENT

TMMOB Chamber of Mining Engineers; represents mining engineers in our country in professional, economic, social and cultural fields. Our Chamber is responsible for protecting and improving the rights and interests of its members on the basis of public interest, ensuring the professional, social and cultural development of its members and creating the basis for the use of their professional knowledge for the benefit of society.

The Chamber of Mining Engineers informs the members and the public about the realities of the country through their professional fields. The Chamber also develops proposals for the regulation of these policies for the benefit of the society and fulfills their responsibility for their implementation.

In this context, 10th International Marble & Natural Stone Congress and Exhibition of Turkey which was enhanced to international level by great effort and dedication is one of the most important scientific and professional organizations.

The sessions held, the papers presented and the opinions expressed at the congress provided a source for the formation of the opinions of all segments of the society, especially in the marble and natural stone sector. We try to bring the new information and technology produced each year to sector, colleagues and members with scientific organizations.

If the congresses, symposiums and workshops organized by our chamber were not persistently maintained, we would not have created such a long tradition of addressing, solving and solving common problems within the democratic process. Our chamber will continue to walk and maintain this tradition in the light of science and technique against those who reject science and try to hinder our scientific activities.

The mining and natural stone sector has important problems in the process. The most important problem of the mining sector is the lack of policy, instability and irregularity.

Unfortunately, our country still does not have a national mining policy integrated with our national industry.

Although the Mining Law No. 3213, which entered into force in 1985, has not been changed until 2004, the number of changes made in the last 15 years is unfortunately not even known by the lawmakers. It is not possible to expect the development of mining in such an unstable environment. Unfortunately, a new amendment to the mining law is waiting at the door. Because every change made us look for the previous one.

The granting of the approval of the license and the rules that are unknown to the Ministry apart from the rules determined for all transactions have caused uncertainty in the mining sector and therefore contraction. It is a dream to wait for the development of the sector in such an uncertain environment.

The competitive power of our country's natural stone and marble sector is high. However, due to lack of policy, instability and uncertainty, our sector cannot achieve the value it deserves in

the international arena. For this reason, short, medium and long term strategic plans aiming to increase production and quality and to integrate with construction and industrial sectors should be developed on the basis of a “Natural Stone Policy” and put into practice rapidly.

An important problem for the development of the sector is related to the scale of production. The structure of the sector, which is mainly composed of small scale producers, causes unequal production amounts to be realized in uneven competition. This situation is incompatible with economic realities; it leads to increased costs, loss of reserves and environmental destruction, while it also leads to a negative public debate on mining activities. Increasing the scale of production in the sector will not only increase productivity, but also eliminate negative situations such as loss of reserves and environmental destruction.

Efforts towards the efficiency of enterprises in the sector should be encouraged. Importance should be given to the development of production methods in order to increase productivity in production. In particular, the continuous improvement of the quarry operating methods increases the chances of competition. Research and development activities to be carried out aiming this purpose should be supported by the state.

The use of advanced technology and the development of new technologies will create new opportunities that will make significant contributions to the sector. In this context, it is important to have a well-trained workforce that can adapt to and use these technologies. It is possible to carry out mining activities within the framework of occupational safety and worker health principles in accordance with rational and economic rules, which are in harmony with the environment without causing loss of resources, by the use of scientific and technical knowledge.

This necessitates the employment of the mining engineer, who is the practitioner of science and technology in the sector. The rapid increase in the employment of mining engineers in the sector is extremely important in terms of increasing overall productivity. By combining the scientific and technical knowledge of our colleagues during their university education with the experiences they have gained during their professional life, the problems arising from mining and mining that may be experienced will be solved.

However, aside from providing the necessary security to our colleagues, the Mining Law and Implementing Regulations, which will provide the environment where our colleagues can freely conduct these activities, have rendered their professions unable to carry out their professions with the YTK, UMREK and Permanent Oversight Regulations, and have limited their work fields. Our diplomas have been ignored, science and technique rejected, and everything is linked to MAPEG's certificates.

Education and training in the natural stone sector needs to be re-considered and the needs and expectations of the sector should be reflected. Within this framework, the courses on natural stone mining and processing should be included more in the education programs of the mining engineering department of universities and colleges for the training of intermediate staff should be put into use. In addition, courses on the use of marble and natural stone should be included in the education programs of the related departments of the faculties of architecture.

In order to solve these problems of our country, which is in the shadow of energy within the Ministry of Energy and Natural Resources, the Ministry of Mining should first be established and a mining policy should be established which will protect, develop and integrate the country's mining with a national industrial policy.

In order to solve the legislative problems of the sector, our national legislation should be rearranged in accordance with the universal principles of science and law with the participation of state, sector and workers' representatives, universities and professional chambers.

I would like to express my gratitude to the Board of Directors, Eskişehir, Bursa and Bilecik Representatives, Chairman and Members of the Executive Committee, all sectoral institutions and organizations and their esteemed executives for their support to the 10th International Marble & Natural Stone Congress and Exhibition of Turkey.

Ayhan Yüksel

Chamber of Mining Engineers of Turkey

Chairman of the Board,

December 13, 2019, Bursa

ÖNSÖZ

Öncelikle; 10. Uluslararası Mermer ve Doğal Taş Kongresi ve Sergisi'nin, seçkin Türk ve yabancı bilim adamlarından oluşan uzman konuşmacıları ile bu yıl Türkiye mermerciliğinin yükselen değeri Bursa'da gerçekleştirmesinden mutluluk duyduğumu ifade etmek isterim. MERSEM 2019, her zamanki geniş ve güncel konu yelpazesi, sözlü ve poster niteliğinde birçok değerli sunum ve alışılacağı yüksek bilimsel standardı ile bu kongrenin süre gelen ilke ve prensiplerine yaraşır bir kongre olmuş ve tüm mermer ve doğal taş sektörünün saygınlığına, gelecek perspektifine, bilime, çevreye ve insana olan inancına yakışır, üretken ve fikirlerin yarıştığı bir kongre olma niteliğini her daim sürdürmüştür.

Bu kongre, tarihsel süreci içerisinde farklı illerde gerçekleştirilmiş olup, bu yıl ilk defa, Türkiye mermerciliğinin parlayan yıldızı Bursa'da gerçekleştirilmektedir. Bilindiği üzere Bursa doğal taş ve mermer alanında tarihten günümüze her zaman önemli bir merkez olarak varlığını sürdürmüştür. Özellikle son yıllarda, bu yıl beşincisi düzenlenen ve dünyada tek olma özelliğini sürdüren blok mermer fuarı ile önemli bir cazibe merkezi haline de gelmiştir.

Yüze yakın bilimsel çalışmanın değerlendirildiği bu kongrede, kongre afişinde de yer alan Göbekli Tepenin önemi oldukça büyüktür. Göbekli Tepe arkeoloji dünyasında devrim niteliğinde bir buluş. Kazılarda ortaya çıkan eserlerin nasıl üretildikleri tartışılıyor. İnanç merkezi olduğu konusu, bilim dünyasının en gözde senaryosu. Fakat Göbekli Tepe'nin henüz nasıl bir işleve sahip olduğu, ne için oluşturulduğu konusunda kesin bilgi yok. Cazibesi de buradan geliyor. Burası, tarihçilerin bildiklerinin dışında bir alan. Bu, Türkiye'nin kültürel değerleri açısından da çarpıcı bir örnek.

Aslında biz doğal taş profesyonelleri Göbekli Tepe konusunda çok şey biliyoruz. Biz doğal taşçıların dikkatini çeken husus, yapıların tamamının taş işçiliğinin en görkemli örneklerine sahip olması. Göbekli Tepe'deki T biçimli dikilitaşların boyu 5 metreye, ağırlıkları ise 60 tona ulaşıyor. Kireç taşı bloklarından oluşan bu yapılar bize doğal taş işlemeciliğinin her aşamasını binlerce yıl öncesinden anlatıyor aslında.

Göbekli Tepe'den önce, Anadolu coğrafyasının diğer kadim uygarlıklarına bakarak tüm dünyada 4000 yıllık bir taş geleneğine sahip olduğumuzu anlatıyorduk. Artık Göbekli Tepe'yle birlikte, Türkiye'de doğal taş tecrübesinin 12 bin yıl öncesine dayandığını gururla anlatabiliriz.

Yüksekliği 5 metre ağırlığı 60 tonu geçen blokların üretilmesi bugün için bile üretim teknolojilerinden bürokrasisine, lojistikinden nihai ürünün korunmasına kadar çok geniş bir yelpazede 21. yy mermercilerinin sorunlarıyla benzerdir.

Bu coğrafya, 12 bin yıllık bir doğal taş gelenek ve tecrübesine sahiptir. Bu yüzden Göbekli Tepe bizim için oldukça önemlidir, değerlidir ve sahip çıkmamız gereken, üzerinde durmamız gereken, her aşamasında var olmamız gereken bir konudur.

Aslında Göbekli Tepe bugün süregelen birçok tartışmanın da cevabını içinde barındırıyor; biz doğal taş madencileri uygarlıklar inşa ediyoruz, tarihe izler bırakıyoruz ve 10binlerce yıl

öncesinden çevreyle dost, sürdürülebilir madenciliğin örneklerini sunuyoruz sunmaya da devam edeceğiz.

Küresel ekonomi, 2018 yılı boyunca, birkaç yıllık genişlemenin ardından yavaşlamanın ilk belirtilerini göstermiştir. Birçok analist, genişlemeye yönelik ekonomik döngünün sona erme eğiliminde olduğunu ve küresel ekonominin bazı ülkeleri içerecek bir resesyona oldukça yakın olduğunu öngörmektedirler.

2018'in son aylarında, dünya ticareti de önceki dönemlere göre bir yavaşlama gösterdi ve bazı sektörler, özellikle de küresel stratejilerdeki belirsizlikler neticesinde iç ve dış pazarlarda yatırım ve siparişler anlamında ciddi düşüşler yaşadı.

IMF verilerine göre, 2018'deki küresel büyüme, özellikle Avrupa ve Asya ekonomilerindeki büyüme oranlarında önemli bir düşüş yaşatan yavaşlamalar nedeniyle önceki tahminlere göre % 3,7 olarak gerçekleşti. Uluslararası ticaret istikrarsızlığının artmasına ve küresel büyümenin yavaşlamasına neden olan en önemli faktörler arasında ABD ile Çin arasındaki ticaret gerilimlerinin devam etmesi gösterilebilir. İki süper ekonomik güç arasındaki bu güç testi, toplam 250 milyar doları aşan bir mal sepetine uygulanan sürekli bir ekonomik savaş da beraberinde getirmektedir. Maalesef bu ekonomik savaş kolay ve acısız çözümlere izin vermez. Mayıs 2019'da, ABD yönetimi, Çin mallarına uygulanan vergilerin % 10'dan % 25'e yükseleceğini açıkladı.

Yatırımlar ve dünya ekonomisi için sürekli belirsizlikler yaratan bu sorunlara finansal dünyadan gelen yavaşlamalar ve yeni dengelere uyum sağlama süreci de eklenmekte ve bu da küresel ekonomiyi olumsuz etkilemektedir.

2018 yılında, Euro bölgesinde uluslararası talebin yavaşlaması ve Euro'nun değer kazanması nedeniyle ihracatta da düşüş yaşanmıştır.

Doğal taş ticareti de dünya ticaretinin dinamikleri ve ana imalat ekonomilerinin yavaşlamasına tabi olmaya devam ediyor.

Çin ekonomisi Batı ülkeleri için düşünülmemeyen büyüme hızlarında ilerlemeye devam ederken, geçmiş yılların ihtişamlarıyla karşılaştırıldığında, yavaşlama belirtileri göstermektedir. 2018 yılında büyüme oranı % 6,5 civarındaydı. Çin Sanayi sektörü, küresel talepteki düşüşe bağlı olarak üretimde düşüşle sonuçlanan ilk yavaşlama işaretlerini gösterdi.

2018'de, dünya genelinde ithalat ve ihracat dahil 22 milyar Euro'ya karşılık gelen ve ton başına ortalama 264 Euro'luk bir değere sahip 83,4 milyon ton taş malzemesi ticareti gerçekleşti.

İlk 5 ülke Çin, Hindistan, Türkiye, Amerika ve Birleşik Krallık olarak sıralandı. Türkiye yaklaşık 7,65 milyon tonluk bir takas gerçekleştirirken, Çin 22.5 milyon, Hindistan 12 milyon ton, Amerika ve Birleşik Krallık da yaklaşık 3,4'er milyon ton taş takası gerçekleştirmiştir.

Dünya doğal taş ticaretinde 2018 yılı boyunca, işlem gören miktarlarda % 5,43 oranında, 2017 yılına göre ise % 6,35 oranında bir azalma olmuştur.

Takas edilen taş malzemelerin değerlerinin analizinden, yani satış rakamlarından, Yunanistan hariç tüm ana ülkeler için geçen yıl yapılan yaygın bir daralmaya dikkat çekmek mümkündür.

Değerdeki en önemli düşüş Türkiye ve Brezilya'da sırasıyla %14,14 ve %15,31 oranında gerçekleşirken, Çin'de de %7,65 oranında kayda değer düşüşler gözlenmiştir. Amerika Birleşik Devletleri (%-6,29), İtalya (%-5,31) ve Hindistan (%-7,32) önemli düşüşler yaşamıştır

2018 yılında dünya çapında 12,412 milyar Euro değerinde taş malzeme ihracatı gerçekleştirildi.

İhracatta ilk 10 ülke arasında sırasıyla Çin, İtalya, Türkiye, Hindistan, Brezilya, Yunanistan, İspanya, İran Portekiz ve Mısır gelmektedir. Çin 4,26 milyar Euro, İtalya 1,74 milyar Euro ve Türkiye de 1,58 milyar Euro'luk bir ihracat gerçekleştirmiştir. Sadece ilk 4 ülke 1 milyar Euro'nun üstünde bir ihracat gerçekleştirebilmiştir.

Türkiye'nin ihracat yaptığı ülkeler arasında değer olarak ilk 10 ülke arasında sırasıyla; Çin, Amerika, Suudi Arabistan, Hindistan, Irak, İsrail ve Fransa yer almaktadır. Türkiye taş malzemeleri ağırlıklı olarak Çin, ABD ve Suudi Arabistan'a ihraç ediliyor ve bu ülkelerdeki satışlar toplamın%62'sini oluşturuyor.

İhracatımızda yaklaşık 652 milyon Euro Çin, 243 milyon Euro Amerika, 89 milyon Euro Suudi Arabistan sıralaması yer almaktadır.

Türkiye taş malzemeleri ağırlıklı olarak Çin, ABD ve Suudi Arabistan'a ihraç ediliyor ve bu ülkelerdeki satışlar toplamın %62,16'sını oluşturuyor.

Mermer ihracatı, önceki yıllarda olduğu gibi, Türkiye'den ihraç edilen taş malzeme sepetinin neredeyse tüm değerini temsil etmektedir. Sürekli tartışılan ve aslında birbirine bağlı olan işlenmiş ve ham satış dengesi sürekli birbirine yakın değerlerde %50-48 aralığında seyretmiştir.

Uluslararası piyasaların belirsizliğinden kaynaklanan dengesizliğin yanı sıra, taş malzemeleri sektörü 2015'ten sonra rakamsal olarak dikkat çekici pazar paylarına sahip yeni bir kavramla, yeni bir rekabet türüyle tanışmıştır. YAPAY TAŞ.

Bu yeni malzeme türü hali hazırda doğal taş ve küçük ve büyük formatlı seramik malzemelerin bulunduğu bir pazarın parçasıdır. Yapay taş, mutfak ve banyolar için yer döşemeleri, iç ve dış duvar ve yer döşemeleri gibi belirli uygulama türlerinde doğal taş ile rekabet ediyor. Bu malzemenin uluslararası pazarlardaki varlığı nispeten yenidir, işlem gören hacimlerdeki önemli artış 2015'ten önce değildir.

Çin lider yapay taş üreticisidir ve endüstrisi, kamu sübvansiyonları sayesinde de hızlı bir üretim kapasitesi geliştirmiştir.

Amerika ve Avrupa dahil yapay taş üreticileri tarafından yapılan devasa promosyon yatırımları sayesinde, mermer ürünleri, satış hacimlerinde azalışla niş ürünler olma riski taşımaktadır.

Bu nedenle, doğal taş endüstrisinde faaliyet gösteren şirketlerin, kendilerini, mükemmel işçilik ve sunulan malzemelerin kalitesiyle güçlendirilmiş, uluslararası pazarlarda rekabet edebilecek bir stratejinin ana hatlarını çizebilmeleri için hızlı bir reaksiyona ihtiyaç duyulmaktadır.

Unutulmamalıdır ki birkaç yıldır, yapay taş, taş malzeme pazarının bir parçası haline geldi. Bu "teknik" malzemeler, uluslararası ticaret fuarlarında, ana perakendecilerin kataloglarında ve ticaret dergilerinde giderek daha fazla yer almaktadır.

Son on yılda küresel yapay taş ihracatının değeri 2,954 milyar dolardan 7,895 milyar dolara yükseldi. 2009 - 2018 arasındaki dönemde, ihraç edilen yapay taşın değerinin yıllık ortalama büyüme oranı %11,22 olmuştur.

Yıllardır yapay taş ihracatında tartışmasız lider olan Çin'in, 2009 yılında ihracatın değeri 230 milyon dolar iken 2018'de 3,263 milyar dolara ulaştı.

Bu nedenle, pazar değerleri her geçen yıl artmakta olan bu ürün kategorisinin ticari performansını izlemeye başlamanın önemli olduğu düşünmekteyim.

Bu ve bunun gibi birçok konu bu kongrede tartışılmış, sektörümüzle ilgili birçok konu değerlendirilmiş, çözümler ve öneriler üzerinde durulmuştur. Yine bu kongrede düzenlemiş olduğumuz panel ve sunulan tüm bildiriler tarihe tanıklık etmiştir. Bilgiler bizden sonraki nesillere aktarılmıştır, aktarılacaktır.

Bu nedenle öncelikle bizzat katılarak bizleri onurlandıran herkese;

Kongre Yürütme Kurulu Üyeleri'ne, Bilim Kurulu'na ve oturum yöneticilerine, bildiri sunan bilim insanlarına ve meslektaşlarımıza, Kongrenin düzenlenmesinde ve yürütülmesinde emeği geçenlere, katkıda bulunan değerli kamu ve özel madencilik kurum ve kuruluşlarının yöneticilerine, şahsım ve Yürütme Kurulu adına teşekkür ediyorum, saygılar sunuyorum.

Doç. Dr. Murat YURDAKUL

Kongre Yürütme Kurulu Başkanı

13 Aralık 2019, Bursa.

PREFACE

Firstly; I would like to say that I am happy to see the marble congress in Bursa this year. Natural stone sector in Turkey, Bursa has a very important place. MERSEM 2019 has been a congress which is worthy of the principles of previous congresses with its usual comprehensive and up-to-date range of topics. MERSEM 2019; has always been a congress that is worthy of the prestige of the marble and natural stone sector, future perspective, science, environment and belief in human beings, productive and competing ideas. This congress has been held in different provinces in the historical process, the first time this year, is held in Bursa Turkey, one of the most important places in the natural stone industry. As it is known, Bursa has always been an important center in the field of natural stone and marble since history. Particularly in recent years, it has become an important center of attraction with the block marble fair which was held for the fifth time this year and continues to be the only one in the world. In this congress, where nearly a hundred scientific studies are evaluated, the importance of Göbekli Tepe which is also included in the congress poster is very important. In this congress, where nearly a hundred scientific studies are evaluated, the importance of Göbekli Hill which is also included in the congress poster is very important. Göbekli Tepe is a revolutionary invention in the archeology world. How the artifacts found in the excavations were produced is still debated. The belief center is the most popular scenario in the scientific world. However, there is no certain information as to what Göbekli Tepe is and what it was created for. That's where the charm comes from. This is an area beyond what historians know. This is a striking example in terms of Turkey's cultural values.

In fact we natural stone professionals know a lot about Göbekli Tepe. What attracts the attention of us natural stone professionals is that all the buildings have the most magnificent examples of stonework. T-shaped obelisks on Göbekli Tepe reach 5 meters in length and weigh 60 tons. These structures made of limestone blocks give us every step of natural stone processing from thousands of years ago. Before Göbekli Tepe, we told that we have a 4000 year old stone tradition all over the world by looking at the other ancient civilizations of Anatolia. Now with Gobekli Tepe, of natural stone in Turkey experience we can tell you proudly that dates back to before 12 thousand years. Even today, it is very difficult to produce blocks whose height exceeds 5 meters and weight exceeds 60 tons. This country has 12 thousand years of natural stone tradition and experience. The reason for this experience is Göbekli Tepe. Therefore Göbekli Tepe is very important for us. In fact, Göbekli Tepe contains the answers to many ongoing discussions; we are building natural stone miners civilizations, leaving traces to history and presenting examples of environmentally friendly, sustainable mining from thousands of years ago.

During 2018, the global economy showed the first signs of a slowdown after several years of expansion. Many analysts foresee that the economic cycle of expansion tends to end and that the global economy is very close to a recession involving some countries. Natural stone trade continues to be subject to the dynamics of world trade and the slowdown of the main manufacturing economies.

In 2018, 12,412 billion Euros of stone materials were exported worldwide.

Among the top 10 countries in exports; China, Italy, Turkey, India, Brazil, Greece, Spain, Portugal and Egypt are from Iran. China was 4.26 billion euros, 1.74 billion euros in Italy and Turkey has realized an export 1.58 billion Euros. Only the first 4 countries were able to export more than 1 billion Euros. Turkey is among the countries which export value of China's top 10 countries Saudi Arabia, India, Iraq, America respectively, are located in Israel and France. Turkey tdoğal stones mainly from China, are being exported to the United States and Saudi Arabia. Sales in these countries account for 62% of total sales. In export rankings; about 652 million euros in China, 243 million euros in the United States and 89 million euros in Saudi Arabia. Marble exports, as in previous years, the stone material exported from Turkey represents almost the entire value of the basket. The processed and raw sales balance, which is constantly debated and actually connected to each other, has consistently been in the range of 50-48% at close values.

In addition to the imbalance resulting from the uncertainty of international markets, the stone materials industry has been introduced to a new type of competition with a new concept that has a remarkable market share after 2015. ARTIFICIAL STONE.

This new type of material is already part of a market of natural stone and small and large format ceramic materials.

Artificial stone competes with natural stone in certain types of applications, such as floor coverings for kitchens and bathrooms, interior and exterior walls and floor coverings.

The presence of this material in international markets is relatively new, with significant increases in traded volumes not before 2015.

China is a leading synthetic stone manufacturer and its industry has developed a rapid production capacity thanks to public subsidies.

Thanks to huge promotional investments made by artificial stone producers including America and Europe, marble products are at risk of being niche products with a decrease in sales volumes.

Therefore, there is a need for a quick reaction in order for companies operating in the natural stone industry to outline a strategy that can compete in international markets, reinforced by excellent workmanship and the quality of the materials offered.

It should be noted that for several years, artificial stone has become a part of the stone material market. These "technical" materials are increasingly featured in international trade fairs, catalogs of major retailers and trade magazines.

In the last decade, the value of global artificial stone exports has increased from \$ 2,954 billion to \$ 7,895 billion. In the period between 2009 and 2018, the annual average growth rate of the exported artificial stone value was 11.22%.

China, the undisputed leader in artificial stone exports for years, reached \$ 3,263 billion in 2018, while the value of exports in 2009 was \$ 230 million.

Therefore, I think it is important to start to monitor the commercial performance of this product category, whose market values are increasing each year.

This and many other issues were discussed in this congress, many issues related to our sector were evaluated, solutions and suggestions were emphasized. Again, the panel we organized at this congress and all the papers presented presented a testimony to history. The information has been passed on to the next generations.

For this reason, firstly everyone who honors us by participating personally;

On behalf of myself and the Executive Committee, I would like to express my gratitude to the members of the Executive Committee of the Congress, the Scientific Committee and the Session Managers, the scientists who presented papers, the people who contributed to the organization and conduct of the Symposium, the executives of the valuable public and private mining institutions and organizations.

Associate Professor Murat YURDAKUL

Chairman of the Executive Committee

December 13, 2019, Bursa.

MERSEM 2019.

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Mermer İşletmelerinin Karşılaşabilecekleri Orman Suçları <i>Forest Crimes Marble Quarries May Face</i> M. S. Saraç.....	1
Mermer Ocakları için Orman Bedelleri <i>Charges For Marble Quarries in Forest Territories</i> M. S. Saraç.....	12
Madencilik Sonrası Mermer ve Taş Ocaklarının Rehabilitasyonu <i>Rehabilitation of Marble and Stone Quarries After Mining</i> A. Akın, H. Hacfazlıoğlu.....	20
Türkiye Madencilik Sektöründe Doğal Taş İhracatının Değerlendirilmesi <i>Evaluation of Exports of Natural Stone in Turkey Mining Sector</i> A. C. Özdemir, E. Kahraman.....	27
Middle East Natural Stone Trade Potential from the Perspective of Turkey Ahmet Saleem, Palestine.....	33
Difficulties in the Trade of Turkish Stones in the Middle East Market Emcet Saidoglu- Jordan, Murat Aljayusi-Israel.....	33
Göbeklitepe İnşasında Kullanılan Yapı Taşlarının Teknik Özelliklerinin Araştırılması <i>Investigation of Technical Characteristics of Building Stones Used in Construction of Göbeklitepe</i> A. Sarıışık.....	34
Tepecik Köyü (Çavdarhisar) Kütahya Mermerlerinin Jeolojisi ve Mineralojik-Petrografik Özelliklerinin İncelenmesi <i>Investigation of Geology and Mineralogic-Petrographic Properties of Kütahya Marble in Tepecik Village (Çavdarhisar)</i> M. Bağcı, C. Başaran, A. Yıldız, A. Keskin.....	46
Antik Çağlardan Günümüze İsehisar (Afyonkarahisar) Andezitinin Önemi ve Tarihi Eserlerin Yapı Taşı Kaynağı Olarak Özellikleri <i>The Significance of Iscehisar (Afyonkarahisar) Andesite from Ancient Times and Their Properties of Historical Buildings Stone Resource</i> M. Y. Çelik, M. Sert, Z. Arsoy.....	55
Natural Stones-Designing Buildings Elena Stebletsova, Germany, Savaş Yıldız, Turkey.....	67
Travertenlerin Kapiler Su Emme Potansiyellerinde Ph'ın Etkisi <i>The Effect of Ph in Capillary Water Absorption Potentials of Travertines</i> M. Özdemir, S. Beyhan, A. Aygün, A. Özgür.....	68

Andezit ve Tüflerde Tuz Kristallenmesinin Cıvalı Porozimetre Verilerine Etkisinin İncelenmesi <i>Investigation of The Effect of Salt Crystalization on Mercury Porozymeter Data in Andesite and Tuff</i> M. Y. Çelik, M. Sert, Z. Arsoy.....	79
Doğal Taş Plaka Üretiminde İlerleme Hızı ve Kesme Derinliğinin Enerji Verimliliğine Etkisinin Araştırılması <i>Investigation of the Effect of Cutting Speed and Cutting Depth on Energy Efficiency in Natural Stone Slab Production</i> S. Dünder, N. Bilim.....	91
Yapı Taşı Olarak Kullanılan İncehisar (Afyonkarahisar) Andezitinin Ayrışmasında SO₂ Etkisinin İncelenmesi <i>Investigation of the Effect of SO₂ on the Deterioration of Iscehisar (Afyonkarahisar) Andesite used as Building Stone</i> M. Y. Çelik, Z. Arsoy, M. Sert.....	98
Natural Stone Production in Azerbaijan and The Importance of Azerbaijan in the World Natural Stone Market Elman Bayramov, Azerbaijan.....	107
Diyarbakır Mermer Sektörünün Tarihsel Gelişimi ve Değerlendirilmesi <i>Historical Development and Evaluation of Diyarbakır Marble Sector</i> O. O. Varol, D. Aydın, M. Ayhan.....	108
Midyat Taşının Özelliklerinin Doğal Taş Standartlarına Göre Değerlendirilmesi <i>Comparison of Midyat Stone Properties According to Natural Stone Standards</i> E. İzol, A. Sarıışık.....	118
Aliobası-Esenler-Akçabelen (Bartın) Çevresindeki Karbonatlı Kayaçların Mermer Olarak Değerlendirilebilirliği <i>The Evaluation of Carbonate Rocks Around Aliobası-Esenler-Akçabelen (Bartın) as Marble</i> G. Bacak, M. Geniş, M. E. Bilir.....	128
Dünya Doğal Taş Sektörü İçerisinde Ülkemizin Konumu <i>The Position of Turkey in the World Natural Stone Sector</i> N. Bilim, S. Dünder.....	137
Doğal Taş ve Madencilik Sektöründeki İş Kazalarının Karşılaştırmalı Analizi <i>Comparative Analysis of Occupational Accidents in the Natural Stone and Mining Sector</i> S. Önder, E. Kundak.....	143
Zemin Kaymazlık Test Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Olarak Değerlendirmesi <i>A Comparative Evaluation of Floor Slipperiness Test Methods</i> G. Çoşkun, G. Sarıışık.....	151
Doğal Taşların Nokta Yüğü Dayanım İndeksi Değerleri ile Yenilme Tiplerinin ve Davranışlarının Değerlendirilmesi <i>Evaluation of the Failure Modes and Behaviours of Natural Stones with Point Load Strength Index Values</i> D. Akbay, R. Altındağ, N. Şengün.....	161

Elmas Tel Kesme Makinasının Verimliliğinin Maden Üretim Endeksi ile Geliştirilmesi <i>Improving Productivity of Diamond Wire Cutting Machine by Mine Production Index</i> M. Karaabat Varol, M. S. Saraç.....	176
Mermer Ocaklarında Kullanılan Ağır İş Makinelerinden Kaynaklı Risklerin Hata Türü Etki Analizi Yöntemi ile Değerlendirilmesi <i>Evaluation of Risks Arising From Heavy Duty Machines Used in Marble Quarries by Failure Mode and Effects Analysis</i> S. Kun.....	188
Termal Şokun Yapı Taşı Olarak Kullanılan Döğür (İhsaniye-Afyonkarahisar) Tüfüne Etkisinin İncelenmesi <i>Investigation of the Thermal Shock Effect on Döğür (İhsaniye-Afyonkarahisar) Tuff used as Building Stone</i> M. Y. Çelik, M. Sert, Z. Arsoy.....	195
Doğal Taşların Termal Davranış Performanslarının Belirlenmesi <i>Determination of Thermal Behavior Performance of Natural Stones</i> M. Kun.....	205
India Granites in the World Market; Understanding of Marketing, Sales and Trade Naved Mehar, India.....	212
Economic and Environmental Optimization of Ornamental Stone Block Cutting with a 3D Algorithm E. Şirin, S. Bonduà.....	215
Water Saturation Effect on the Tensile Strength and Failure Mode of Some Natural Stones S. Yaşar.....	226
Çimento Ham Maddesi Olarak Kullanılabilecek Doğaltaş Atıklarının Öğütülebilirliklerinin İncelenmesi <i>Investigation of Grindability of Natural Stone Wastes to be used as Cement Raw Material</i> A. V. Korkmaz.....	233
Patlayıcı Maddelerin Kullanıldığı Maden Ocaklarındaki İş Güvenliği Değerlendirmeleri <i>Occupational Safety Evaluations in Mines with Explosive Materials</i> A. Tosun.....	244
Türkiye’de Doğal Taş – Mermercilik Eğitimi : Mevcut Durum ve Öneriler <i>Vocational Training in Marble: Current Situation, Problems and Proposition for Solutions in Turkey</i> M. Yurdakul, H. Akdaş.....	253

MERMER İŞLETMELERİNİN KARŞILAŞABİLECEKLERİ ORMAN SUÇLARI
FOREST CRIMES MARBLE QUARRIES MAY FACE

M.S.Saraç^{1,*}

¹S. Demirel Üniv., Maden Müh. Bölümü
 (*Sorumlu yazar: saimsarac@sdu.edu.tr)

ÖZET

Açık maden işletmeleri ve mermer ocaklarının önemli bir kısmı orman arazisi içinde yer almaktadır. Arama ve işletme aşamalarında mermer işletmeleri yol açmak, elektrik hattı çekmek, tesis kurmak, arın açmak, stok sahası ile pasa döküm sahası oluşturmak gibi işlemler için orman idaresinden izin almak durumundadırlar. Gerekli izinlerin alınmaması veya verilen izin sahalarının dışına istemeyerek de olsa taşılması durumlarında ocak sorumluları ve ruhsat sahipleri ciddi hukuki ve cezai sorumluluklar altına girmektedirler. Bu bildiride özellikli suçlardan olan orman suçları konusunda mermer ocağı ilgililerini bilgilendirmek amaçlanmıştır. Mermer işletmesi sorumlularının karşı karşıya kalabilecekleri orman suçları belirtilmiş, bu suçların nitelikleri açıklanmış ve suç faillerinin alabilecekleri cezalar ortaya konmuştur.

Anahtar Sözcükler: Mermer ocakları, orman suçları

ABSTRACT

Most of open mines and marble quarries take place in forest territories. In both exploration and production steps, marble quarries must obtain required permissions from forest administration for some operations like road construction, drawing electricity lines, to open face, making stock area and waste dump area. In cases the required permissions are not obtained or working out of the permitted area, the concerned people and mine licence holders may take serious responsibilities. In this study it is aimed to give information to marble quarry managers about forest crimes which they may face. Herein, forest crimes were described, the specifications of these crimes were explained and the penalties were summarised.

Keywords: Marble quarries, forest crimes

GİRİŞ

Türkiye yüzölçümünün %27'si ormanlarla kaplı olup, ülkede 21 678 134 hektar orman alanı bulunmaktadır. Bu orman varlığının %77'si koru ormanı, %23'ü baltalık orman niteliğindedir. Ormanların %99'u devlet mülkiyetindedir ve devlet tarafından işletilmekte/yönetilmektedir. Bu tür araziler "orman arazisi" olarak isimlendirilmekte ve bu alanlarda yapılacak her türlü ormancılık dışı faaliyet katı kurallara bağlı olarak yürütülebilmektedir (Bilim ve Tolunay, 2014). Orman varlığı bakımından fakir sayılabilecek bir konumda olan ülkemizde, var olan ormanlık alanları korumak amacıyla orman suçlarına yasalarla ciddi cezalar getirilmiştir.

Açık işletme tarzında üretim yapılan mermer ocaklarının pek çoğu orman arazisi içinde kalmakta veya çakışmakta, dolayısıyla ormanlarla ilgili sorumluluklarla yüz yüze kalmaktadırlar. Mermer işletmeleri daha arama ve açılma safhasından başlayarak orman mevzuatına uymak durumunda

kalmakta, üretim faaliyetleri sırasında ve terk aşamasında da çeşitli yükümlülükler altına girmektedirler. İzin alma işlemlerini tamamlamak ve büyük miktarları bulan orman bedellerini ödemek dışında mermer ocağı ilgililerinin karşılaşılabilecekleri önemli bir diğer sorun, istemeyerek de olsa orman suçu işleme olasılığıdır.

Arama Ruhsatı veya İşletme Ruhsatı sahibi olmak, ruhsat alınan arazide madencilik faaliyetlerine hemen başlayabilme hakkını vermemekte, gerekli izinlerin alınması da gerekmektedir. Ruhsat alınan arazinin orman arazisi olması veya kısmen çakışması durumunda bu sahada madencilik faaliyetleri yapabilmek için orman idaresinden de izin alınması gerekmektedir. İzin alınmadan arama, hazırlık veya üretim çalışmalarına girişilmesi durumunda orman suçu işlenmiş olmaktadır.

Orman idaresinden izin alınması aşamasında oldukça yüksek miktarlardaki orman bedellerinin ödenmesi gerekmektedir. Bu bedellerin bir kısmı izin talep aşamasında bir kez ödenmekte, bir kısmı ise her yıl ödenmektedir. Bu bedelleri oldukça yüksek bulan mermer işletmecileri izin alanını olabildiğince küçük tutmaya çalışmaktadırlar. Üretimin ileriki aşamalarında bu sahalar ihtiyaca yetmeyebilmekte ve izin sahaları aşılabilmektedir. İzin sahalarının aşılması, izinsiz orman arazisine pasa dökülmesi, yol açılması, kademe oluşturulması, tesis yapılması da orman suçu fiili oluşturmaktadır.

ORMAN SUÇU KAVRAMI VE İLGİLİ MEVZUAT

En yalın ifade ile yasaların yasakladığı fiillere “suç”, bu fiilleri işleyenler için yasalarla getirilen yaptırımlara “ceza” denir. Orman sınırları içinde veya dışında gerçekleştirilen, ormanlar üzerinde doğrudan veya dolaylı olarak olumsuz etkiler meydana getiren ve ormanları korumak için yasa ile düzenlenen suçlara “orman suçları” denir. Orman suçları ceza özel hukukunun bir parçası olup suçun özel görünüş şekilleri, fail, suçun unsurları, suça tesir eden ağırlaştırıcı ve hafifletici sebepler ve kusurluluğu kaldıran haller orman suçları için de geçerlidir. Orman suçlarını koymanın temel amacı orman varlığını korumaktır (Güneş, 2004).

Biyolojik açıdan orman, “geniş alanlarda kendine özgü bir iklim yaratabilen; ağaç, ağaççık, çalı, otsu bitkiler, mantarlar, mikroorganizmalar, böcekler, hayvanlar ve orman toprağının birlikte oluşturduğu yaşam birliği” dir. Hukuki anlamda ise ağaçlık her yer orman sayılamayacağı gibi, hiç ağaç olmayan bazı yerler orman sayılabilmektedir (Ünal, 2003). Orman Kanununun 1. maddesi ormanı, “tabii olarak yetişen veya emekle yetiştirilmiş olup herhangi bir orman hasılatı veren ağaç ve ağaççıklar yerleriyle birlikte orman sayılır” şeklinde tanımlamaktadır (Resmi Gazete, 1956). Genel olarak ormanın tanımı ise şu şekilde yapılmaktadır; “kendi kendine veya emekle yetişmiş olup da kanunda sayılan istisnalara girmeyen, belli yükseklikte boy verebilen, belli sıklık ve yoğunluktaki ağaç ve ağaççık toplulukları ile onların işgal ettikleri yere orman denir”.

Kereste elde edilebilen ormanlara “koru”, yakacak odun elde edilen ormanlara “baltalık”, yaşı ve çapı ne olursa olsun 8 metre ve daha yukarı boy yapabilen, kökü-gövdesi-tepesi olan odunsu bitkilere “ağaç”, genel olarak genişlemesine büyüme gösteren, boyu 8 metreyi bulmayan odunsu bitkilere “ağaççık”, ağaç ve ağaççık tepe çatılarının toprağı siperlemesine “kapalılık”, ağaç ve ağaççıkların üzerinde buldukları sahayı kapatmaları haline “topluluk” denmektedir (Ünal, 2003).

Orman suçları ile ilgili mevzuat aşağıdaki gibidir;

- Türkiye Cumhuriyeti Anayasası (Resmi Gazete, 1982)
- Orman Kanunu (Resmi Gazete, 1956)
- Türk Ceza Kanunu (Resmi Gazete, 2004a)
- Milli Parklar Kanunu (Resmi Gazete, 1983)

- Ormanların kanun dışı müdahalelerden korunması esasları tebliği (Orman Genel Müdürlüğü, 2011).

Anayasanın İlgili Maddesi

Anayasamızın 169. maddesi ormanların korunması ve orman suçları ile ilgili genel hükümler içermektedir. Bu maddeye göre “Ormanlara zarar verebilecek hiçbir faaliyet ve eyleme müsaade edilemez. Ormanların tahrip edilmesine yol açan propaganda yapılamaz, orman suçları için genel ve özel af çıkarılamaz. Ormanları yakmak, ormanı yok etmek veya daraltmak amacıyla işlenen suçlar genel ve özel af kapsamına alınamaz” (Resmi Gazete, 1982).

Orman Kanununda Orman Suçları

Orman suçları çok büyük oranda 6831 sayılı Orman Kanununda düzenlenmiştir. 1956 yılında yürürlüğe giren kanun, Osmanlılardan bu yana 3. temel kanundur. Orman suçları bu kanunun 14. ve 91. maddelerinde konu edilmektedir. Suçlar çoğunlukla 14. maddede tanımlanmakta, öngörülen cezalar 91. maddede yer almaktadır. Kanunda en temel ve en yaygın zarara neden olan; ağaç kesme, orman yakma, orman ürünleri kaçakçılığı, ormanı işgal ve faydalanma, tarla açma gibi suçlar tanımlanmaktadır. 79.-90. maddeler suçun takibine ayrılmıştır (Ayanoğlu ve Güneş, 2003). Ayrıca, 68., 69. ve 110. maddelerde orman yangınları, 76. maddede ormanlarda kabahat sayılan fiiller, 112. maddede tazminat konusu, 113. maddede ağaçlandırma gideri konusu hükme bağlanmıştır. İzin alınmadan ormanlarda maden ocağı açmak suçu 92. maddede tanımlanmış, cezası da bu maddede belirtilmiştir. 92. maddede ayrıca izin süresi dolmasına rağmen maden ocağı işletmeye devam edenlerin veya izin sahası dışına taşanların 93. maddeye göre cezalandırılacağı hükmü getirilmiştir (Resmi Gazete, 1956).

Türk Ceza Kanununda Orman Suçları

Orman suçlarının bazıları da Türk Ceza Kanununda yer almaktadır. Örneğin orman ürünlerini çalmak veya kaçakçılığını yapmak bu kanuna göre cezalandırılır.

Milli Parklar Kanununda Orman Suçları

2873 sayılı Milli Parklar Kanununda düzenlenen orman suçları daha çok ekosistem ve habitat alanlarının ve türleri korunmasına ilişkindir.

Ormanların Kanun Dışı Müdahalelerden Korunması Esasları Tebliği

Orman Genel Müdürlüğü tarafından 2011 yılında çıkartılan bu tebliğde orman suçlarının takibi, suç tutanaklarının düzenlenmesi, tazminat hesaplaması, arama ve elkoyma işlemleri, idari para cezaları işlemlerinin uygulama esasları tanımlanmıştır (Orman Genel Müdürlüğü, 2011).

ORMAN CEZA DAVALARININ ÖZELLİKLERİ

Orman varlığını titizlikle korumak ve orman suçu işlemeyi caydırmak amacıyla yasalarla orman ceza davalarına bazı özellikler kazandırılmıştır. Bunlar aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Orman ceza davaları acil görülecek davalardandır
- Bu nedenle orman davalarına adli tatil süresinde de bakılır, yasal süreler adli tatilde de işler
- Orman memurları kolluk kuvveti gibi görev yapar, silah taşıma yetkileri vardır
- Orman memurlarının düzenlediği suç tutanakları resmi evrak sıfatı kazanır.
- Tutulan suç tutanağı derhal ilgili savcılığa iletilir

- Savcı derhal iddianame düzenleyerek kamu davası açmak zorundadır
- Mahkeme gerektiğinde sanığı ve tutanak düzenleyenleri zorla oturma getirtebilir
- Orman yangınları ile ilgili cezalar para cezasına veya diğer tedbirlere çevrilemez
- Anayasaya göre orman suçları genel veya özel af kapsamına alınmaz

Orman Davalarında Görevli Mahkemeler

Orman Kanununun 83. maddesine göre orman yangınına neden olma suçu Asliye Ceza, kasten orman yakma suçu ise Ağır Ceza Mahkemesinde görülür. Bunların dışındaki orman suçlarında ise yetkili mahkeme Sulh Ceza Mahkemesidir (Resmi Gazete, 1956).

Orman Suçlarının Takibi

Orman suçlarının takibi görevi orman koruma memurlarına, orman işletme şeflerine, koruma ekip şeflerine ve işletme müdürlerine verilmiştir. Orman muhafaza memurları kolluk görevlisi, orman işletme şefleri kolluk amiri görevini yürütürler. Orman memurları Orman Kanununa aykırılık oluşturan fiillere ilişkin delilleri bir tutanakla tespit eder. Suç tutanakları resmi evrak sayılırlar ve aksi ispatlanıncaya kadar geçerlidirler. Suç tutanakları seri numaralı basılı formlar biçiminde olmakla birlikte, düz beyaz kağıda gerekli bilgilerin yazılması ve imzalanması durumunda da geçerlidir. Tutanaklarda şüphelinin kimliği, işlenen fiil, olay yerinin basit krokisi ile mümkünse koordinatları, düzenleme tarih ve saati yazılır. Şüphelinin kendi el yazısıyla "okudum" ibaresini yazarak imzalaması sağlanır. İmzalamadığı takdirde "imzadan imtina etmiştir" cümlesi yazılır. Şüpheli bulunamıyorsa şüphelinin imzası kısmı boş bırakılır (Orman Genel Müdürlüğü, 2011).

Elkoyma ve Müsadere

Bir orman suçu tespit edildiğinde fiilde kullanılan suç aletleri, nakil araçları ve orman envaline elkonulur. Elkoyma işlemleri Orman Kanununun 79. maddesi ve 5271 sayılı Ceza Muhakemeleri Kanununa göre yürütülür. Elkoyma kararı hakim tarafından verilir. Ancak, gecikmede sakınca bulunması halinde Savcı tarafından, Savcıya ulaşılamaması halinde Orman İşletme Şefi tarafından elkoyma kararı verilebilir (Orman Genel Müdürlüğü, 2011). Yargılama sürecinde mahkeme elkonan malzemelerin müsadere edilmesine karar verebilir. Müsadere, suça konu bir eşyanın veya kazancın devlet mülkiyetine geçirilmesidir (Toprak, 2013). Türk Ceza Kanununun 54. maddesine göre kasıtlı bir suçun işlenmesinde kullanılan veya suçun işlenmesine tahsis edilen ya da suçtan meydana gelen eşyanın müsaderesine hükmolunur (Resmi Gazete, 2004). El konulan mallar yedi emine teslim edilir, müsaderesi için karar mahkeme tarafından verilir. Bunlar satılırsa bedelleri OGM hesabına irat kaydedilir (Ünal, 2003). Sadece suçta kullanılan eşya müsadere edilebilir. Müsadere edilen mal, devlet mülkiyetine geçtikten sonra devlet hizmetinde kullanılabilmesi gibi, imha edilebilir, satılabilir veya kullanımdan kaldırılabilir (Ayanoğlu ve Güneş, 2003).

Hükmün Açıklanmasının Geri Bırakılması

Mahkeme suçu sabit görüp hüküm kurduktan sonra sanıklar hakkında "hükmün açıklanmasının geri bırakılması" kararı verebilir. Hükmün açıklanmasının geri bırakılması, hükmün sanık hakkında hukuki bir sonuç doğurmamasını ifade eder. Ceza Muhakemeleri Kanununun 231. maddesine göre hükmolunan ceza 2 yıl veya daha az süreli hapis veya adli para cezası ise, mahkemece hükmün açıklanmasının geri bırakılmasına karar verilebilir (Resmi Gazete, 2004b). Bu kararın verilebilmesi için;

1. Sanığın daha önce kasıtlı bir suçtan mahkum edilmemiş olması,
2. Mahkemece, sanığın kişilik özellikleri ile duruşmadaki tutum ve davranışları göz önünde tutularak yeniden suç işlemeyeceği kanaatine varılması,

3. Suçun işlenmesiyle mağdurun veya kamunun uğradığı zararın aynen iade, suçtan önceki hale getirme veya tazmin yoluyla tamamen giderilmesi,
4. Sanığın talep etmesi, gerekir.

Hükmün açıklanmasının geri bırakılması halinde sanık 5 yıl süreyle denetim süresine tabi tutulur. Denetim süresi içinde kasten yeni bir suç işlemediği ve denetimli serbestlik yükümlülüklerine uygun davrandığı takdirde hüküm ortadan kaldırılarak davanın düşmesi kararı verilir. Aksi takdirde, hüküm açıklanır (Resmi Gazete, 2004b). Tazminat ve ağaçlandırma gideri tutarları ise her durumda ödetilir.

MERMER OCAKLARI İÇİN EN OLASI ORMAN SUÇLARI

Mermer ocakları ilgililerinin kasıtlı olmayarak da olsa karşı karşıya kalabilecekleri en olası orman suçları şunlardır;

- İzinsiz maden ocağı açmak suçu,
- Açma suçu,
- İşgal ve faydalanma suçu,
- Dikiliden ağaç kesme suçu,
- Orman yangınına neden olma suçu.

İzinsiz Maden Ocağı Açmak Suçu

Orman idaresinden izin almaksızın “maden ocağı açmak” olarak nitelendirilebilecek faaliyetlerde bulunanlar Orman Kanununun 92. maddesini ihlal etmiş olurlar. Söz konusu madde, “bu Kanunun 16 ncı maddesi gereğince izin almadan ormanlardan açılan maden ocakları idarece kapatılır. Çıkarılan madenler ve her türlü tesisler ile alet, edevat ve nakil vasıtalarına elkonulur. Elkonulan mallar, Türk Ceza Kanunu hükümlerine göre müsadere edilir. Bu Kanunun 16 ncı maddesi gereğince izinsiz maden ocağı açanlara veya işletenlere, 91 inci madde hükümleri saklı kalmak üzere iki yıldan yedi yıla kadar hapis ve yirmibin güne kadar adli para cezası verilir. Kanun hükümlerine göre verilen ruhsat veya izin belgesindeki sürenin dolmasına rağmen maden ocağı işletmeye devam edenler ya da izin verilen alandaki sınırı aşanlar, 91 inci madde hükümleri saklı kalmak üzere, bu Kanunun 93 üncü maddesi hükümlerine göre cezalandırılır. Başkaca zarar husule gelmiş ise bu zarar ayrıca genel hükümlere göre Hukuk Mahkemesinde dava açmak suretiyle tazmin ettirilir. İzin alarak bu nevi ocakları açanlar idarece kendilerine veya temsilcilerine tebliğ edilecek tedbirlere riayet etmezler ise beşbin Türk Lirasından yüzbin Türk Lirasına kadar idarî para cezası verilir. Ayrıca, bu tedbirlere riayet edilinceye kadar ocaklar işletilmekten men edilir” biçimindedir.

Pratikte izinsiz maden ocağı açmak fiilinden daha çok, izin verilen alanların dışına taşmak fiili söz konusu olmaktadır. Bu durumda Orman Kanununun 93. maddesine göre ceza verilir. Bu maddenin ilk paragrafı “Bu Kanunun 17 nci maddesinde yasak edilen fiilleri işleyenler veya izne bağlı işleri izinsiz yapanlar, 91 inci madde hükümleri saklı kalmak üzere altı aydan iki yıla kadar hapis cezası ile cezalandırılırlar” hükmünü getirmektedir.

Açma Suçu

Orman örtüsünün açılarak kaldırılması işlemi “açma” suçunu oluşturmaktadır (Orman Genel Müdürlüğü, 2011). Örneğin mermer işletmesinin izin almadan veya izin alanının dışında yol açması, küçük kazılar yapması, ayna oluşturması açma suçu olarak değerlendirilmektedir. Ağaç zararı olmasa da orman toprak örtüsünün kaldırılmış olması suçun maddi unsuru için yeterli olmaktadır. Madenciler arasında yaygın olan “bu bölgede ağaç yok, suç oluşmaz” algısı geçerli olmamaktadır. Açma suçunun cezası Orman Kanununun 93. maddesine göre altı aydan iki yıla kadar hapistir. Suç muhafaza

ormanlarında, milli parklarda, yanmış orman alanlarında veya kesinleşmiş orman kadastrosu sınırları içinde işlenmişse, ceza bir kat artırılır (Resmi Gazete, 1956).

İşgal ve Faydalanma Suçu

Açma suçu dışında ormanlık alanlarda usulsüz faydalanma eylemleri “işgal ve faydalanma” suçunu oluşturur (Orman Genel Müdürlüğü, 2011). Mermer işletmelerinin izinsiz olarak veya izin alanları dışında şantiye binası, yatakhane, sondaj tesisi, pasa döküm sahası gibi tesisler yapmaları durumunda bu suç söz konusu olur. Orman Kanununun 17. maddesine göre, ormanlar içinde her türlü yapı ve tesis yapılması, tarla yapılması, orman içine yerleşilmesi, başka nedenlerle ormanın işgal edilip faydalanılması bu suçu oluşturur. 93. maddede bu suçun cezası altı aydan iki yıla kadar hapis olarak verilmektedir. Suçun yeniden tarla açmak suretiyle veya yanmış orman sahalarında ya da kesinleşmiş orman kadastrosu sınırları içerisinde işlenmesi halinde verilecek ceza bir kat artırılır. Suç teşebbüse elverişli bir suçtur ve ihmal suretiyle işlenemez. Fail, eyleme katılan herkestir. Yapılan yapı ve tesislerin geçici olması veya hareketli olması sonucu değiştirmez. Yapının tam olarak tamamlanmamış olması eksik veya tam teşebbüs olarak nitelenmektedir (Ayanoğlu ve Güneş, 2003).

İşgal ve faydalanma eylemine konu olan bina ve tesislere orman idaresince el konularak müsadere edilir. İnşaat sırasında başkaca bir zarar oluşturulmuşsa bu zarar da tazmin ettirilir (Ünal, 2003). Bu tesisler Orman Genel Müdürlüğüne kullanılabilir veya yıkılarak infaz edilir. İşgal ve faydalanma suçu mütemadi (sürüp giden) suçlardandır. Suç tarihi olarak tutulan tutanağın tarihi kabul edilir. Tutanak tarihine kadar tek suç olduğu kabul edilmekte, eylem tutanak tarihinden sonra da devam ederse yeni bir suç oluşturmaktadır (Toprak, 2013).

Dikiliden Ağaç Kesme Suçu

Mermer işletmeleri yol açma, arazi düzenleme, tesis kurma, ayna açma, elektrik hattı çekme gibi faaliyetleri sırasında ağaç kesme işleminde bulunabilirler. Bu fiil, orman izni alınmış saha içinde dahi olsa ağaç kesme suçunu oluşturur. İzin alınmış saha içinde kalan ağaçların kesilmesi işlemi orman idaresi ekipleri veya idarenin yetkilendirdiği taşeron firmalarca yapılabilir. İzin sahası dışında ağaç kesmek ise zaten suçtur. Fiilen dikili ağaç kesilmeyip, pasa döküm sahasından yuvarlanan kaya kütlelerinin ağaçları devirmesi de aynı kapsamda değerlendirilmektedir. Göz önünde tutulan kriter dikili ağacın hayatiyetini kaybedip kaybetmemesi olmaktadır. Yukarıda belirtilen suç tiplerinde ağaç kesme eylemi de varsa, ağaç kesme suçu da oluşmaktadır.

Orman Kanununda ağaç kesme suçunun üç hareket şekli olarak boğmak, sökmek, kesmek fiilleri sayılmıştır. Bu üç hareketten birini gerçekleştirmek suçu oluşturacaktır. Koparmak, bölmek, kırmak fiilleri de kesmek olarak nitelendirilmektedir. Boğmak fiili ağaç gövdesindeki kabuk kısmın diri odun tabakasına kadar soyularak ağacın gıdasız bırakılması işlemidir. Kökünden sökmek fiili ise, ağacın kökleriyle birlikte toprakla bağının ortadan kaldırılmasıdır. Bu fiilde ağacın hayatiyeti ortadan kalkmayabilir de. Yasada dikili yaş veya kuru ağaçların kesilmesi suç sayıldığından, ağacın dikili olması suç için yeterli olmakta, kuru olması suçu ortadan kaldırmamaktadır. Diğer taraftan, kesilen ağacın orman ağacı veya meyve ağacı olmasının önemi bulunmamaktadır (Ayanoğlu ve Güneş, 2003).

Ağaç kesme suçu Orman Kanununun 14. maddesinde tanımlanmıştır. Bu maddeye göre, ormanlarda fidanları, yaş/kuru ağaçları kesmek, sökmek, boğmak, yaralamak yasaklanmıştır. Bu suçun cezası ise kanunun 91. maddesinde belirtilmektedir (Ünal, 2003). Ormanlardan yapacak enval veren ağaçlardan kesenler üç aydan beş seneye kadar hapis ve bin güne kadar adli para cezası ile cezalandırılır. Yakacak enval veren ağaçlar söz konusu olursa verilecek ceza yarıya indirilir. Fiilin işlenmesinde motorlu araç kullanılmışsa verilecek ceza bir kat artırılır (Resmi Gazete, 1956). “*Yapacak enval*” terimi tomruk alınabilen veya sanayide kullanılabilen ağaçları ifade etmektedir. “*Yakacak enval*” ise, yakma ve ısınmada

kullanılan odun ürünleridir (Ünal, 2003). Suçun konusunun fidan olması halinde ceza bir kat artırılır. Fidan ekim sahasını bozan kişi bir yıldan beş yıla kadar hapis ile cezalandırılır.

Orman Yangınına Neden Olma Suçu

Orman yangını çıkartmanın cezası Orman Kanununun 110. Maddesinde belirtilmektedir. Bu maddeye göre “kasten orman yakan kişi, on yıldan az olmamak üzere hapis ve onbin güne kadar adli para cezası ile cezalandırılır. Devletin güvenliğine karşı suç işlemek amacıyla kurulmuş bir örgütün faaliyeti çerçevesinde devlet ormanlarını yakan kişi müebbet hapis ve yirmibin güne kadar adli para cezası ile cezalandırılır. Bu suçların işlenmesi sebebiyle ölüm veya yaralanmanın meydana gelmesi halinde, ayrıca bu suçlardan dolayı cezaya hükmolunur”.

Mermer işletmelerinin kasten orman yakması söz konusu olamaz. Ancak, çalışanların hatalı davranışlarından dolayı orman yangınının çıkmasına neden olunabilir. Yine 110. maddeye göre, “Dikkat ve özen yükümlülüğüne aykırı olarak orman yangınına sebebiyet verenler iki yıldan yedi yıla kadar hapis cezası ile cezalandırılır. Ancak failin yangının söndürülmesine yönelik çabaları veya meydana gelen zararın azlığı göz önünde bulundurularak ceza yarısına kadar indirilir”. Orman Kanununun 76. maddesinde ormanlarda izin verilen yerler dışında ateş yakmak, izin verilen yerlerde ateşi söndürmeden mahalli terk etmek, ormanlara sönmemiş sigara veya yangına neden olabilecek madde atmak, ormanlara 4 kilometre mesafede anız veya benzeri bitki örtüsü yakmak da yasaklanmıştır. Bu suçların cezası 110. maddede bir yıldan üç yıla kadar hapis ve adli para cezası olarak belirtilmektedir. Orman Kanununun 68. maddesi orman yangınına görenlere haber verme yükümlülüğü getirmektedir. Bu maddeye göre “ormanların içinde veya yakınında ateş ve yangın belirtisi görenler bunu derhal orman idaresine veya en yakın muhtarlığa, jandarma dairelerine veya mülkiye amirlerine haber vermeye mecburdurlar”. Aksi takdirde 104. maddeye göre altı aya kadar hapis cezası verilir.

Toplu Değerlendirme

Mermer işletmeleri ilgililerinin karşılaşabilecekleri en olası orman suçlarının toplu değerlendirmesi Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Mermer işletmeleri için en olası orman suçlarının toplu değerlendirmesi.

Fiil	Suç maddesi	Ceza maddesi	Hapis cezası	Para cezası
İzinsiz maden ocağı açmak	92/1-2	92/1-2	2 yıl - 7 yıl	20 000 günlük
İzin alanlarını aşmak	92/3	93/1	6 ay - 2 yıl	Ağaçlandırma bedeli
Açma	17	93/1	6 ay - 2 yıl	Ağaçlandırma bedeli
İşgal ve faydalanma	17	93/1	6 ay - 2 yıl	Ağaçlandırma bedeli
Ağaç kesme	14	91/1	3 ay -5 sene	1 000 güne kadar
Taksirle yangına neden olma	110/3	110/3	2 yıl – 7 yıl	Ağaçlandırma bedeli Tazminat
Ateş yakmak, sönmemiş sigara atmak	76/b,c,d	110/2	1 yıl - 3 yıl	Adli para cezası

KABAHAT OLARAK NİTELENEN EYLEMLER

Mermer işletmelerinin orman arazisi içinde işledikleri bazı fiiller suç oluşturmasa da kabahat oluşturabilir. Örneğin ormanda çadır kurup geceleme, izinsiz orman alanına girmek, kozalak toplamak kabahat olarak değerlendirilir. “Kabahat” deyimi, karşılığında cezai işlem değil, idari yaptırım uygulanmasını gerektiren eylemleri ifade eder. İdari para cezaları orman işletme şefi veya mahallin en büyük mülki amirince verilir. Bir fiil ile birden fazla kabahat işlenmişse cezası ağır olan fiil cezalandırılır. Aynı kabahatin birden fazla işlenmesi halinde her biri için ayrı para cezası uygulanır. İdari para cezaları

adli sicile kaydedilmez ve ödenmezse hapis cezasına çevrilmez (Toprak, 2013). Orman Kanununda bazı eylemler kabahat olarak düzenlenmiştir. En yaygın kabahatler ağaç yaralama ve ormana izinsiz girme eylemleridir.

Ağaç Yaralama

Mermer işletmelerinin faaliyetleri sırasında kaya yuvarlanmaları, ekipman çarpmaları gibi nedenlerle ağaç yaralanmaları olabilmektedir. Orman izin alanı içinde de olsa ağaçların yaralanmasına neden olma kabahat oluşturur ve idari para cezası ile cezalandırılır. Burada ağacın hayatiyetini kaybetmemiş olması gerekir. Ağaç hayatiyetini kaybederse ağaç kesme suçu oluşur. Ağaç yaralamasının cezası Orman Kanununun 91. maddesinin 5. fıkrasına göre ikiyüzelli Türk Lirasından ikibin Türk Lirasına kadar idarî para cezasıdır. Fiilin orman rejimi altına alınan yerlerde, muhafaza ormanı veya milli park olarak ayrılmış yerlerde işlenmesi durumunda idari para cezası beşyüz Türk Lirasından aşağı olamaz. Yukarıda belirtilen tüm para cezaları suçun işlendiği tarihe güncellenerek uygulanır.

Ormana İzinsiz Girme

İzinli orman yollarının dışında ormana girmek de yasaktır. Orman Kanununun 16. maddesinin 2. fıkrasında “Ruhsatname almış veya alacak olanlar işe başlamadan evvel çalışma sahalarını orman idaresine bildirmeye ve orman idaresinin göstereceği tedbirleri almaya mecburdurlar” denmektedir. Bu kabahatin cezası 92. maddenin 4. fıkrasına göre beşbin Türk Lirasından yüzbin Türk Lirasına kadar idari para cezasıdır.

Kabahatlerin Toplu Değerlendirilmesi

Mermer işletmeleri ilgililerinin işleyebilecekleri en olası kabahatler ve cezaları Çizelge 2’de toplu olarak gösterilmiştir. Son sütundaki para cezaları kanunda yazılı olan değerler olarak değil 2019 yılı için geçerli olan güncel değerler olarak verilmiştir.

Çizelge 2. Mermer işletmelerinin faaliyetlerinde söz konusu olabilecek kabahatler.

Madde (O.K.)	Kabahat	Ceza maddesi	Cezayı veren	Cezası (TL)
14/a-b	Yaş ağaçları yaralamak, tepelerini veya dallarını kesmek veya koparmak. Yatık veya devrik ağaçları kesmek/ götürmek, kök sökmek/kömür yapmak	O.K. 91/5	Orman İşletme şefi	522 – 4 216
14/c	Palamut, ıhlamur çiçeği, orman örtüsü, mazi kozalağı, orman nebatı veya tohumlarını toplayıp götürmek	94/3	Orman İşletme şefi	252
14/e	Ticari amaç olmaksızın kendi ihtiyacı için toprak, kum, çakıl vs. çıkarmak.	94/3	Orman İşletme şefi	252
16/2	Ormana izinsiz girmek, idarece getirilen tedbirlere uymamak	92/4	Orman İşletme şefi	13 010 - 260 346
103	Fideliklere zarar vermek	103/2		7 802
69	Orman yangınına söndürmeye gitmekten kaçınma, verilen işi yapmama	105	Mülki amir	513
74	Ormana girmenin men edildiği hallerde buna uymamak	107	Mülki amir	320
76/1a	Belirlenen yerler dışında konaklamak	110/1	Orman İşletme şefi	123
109	Damga ve işaretlemeleri bozmak	109	Orman İşletme şefi	731 - 5 858
116	Tapulu yerden izinsiz ağaç kesmek	116	Orman İşletme Şefi - Belediye	144

AĞAÇLANDIRMA BEDELİ VE TAZMİNAT

Bir orman suçu işlendiğinde orman örtüsüne bir zarar verilmiş ise suç failine ağaçlandırma bedeli ödetilmektedir. Bir ağaç zararı oluşmasa da, orman toprak örtüsünün açılmış olması bu bedelin ödetilmesi için yeterli olmaktadır. Fiilin işlendiği orman alanında ağaç zararı da oluşmuşsa, zarar verilen ağaç sayısı ve cari fiyatlar göz önünde tutularak yapılacak hesaplama ile bulunan parasal değer tazminat olarak faille yüklenmektedir. Hüküm davaya bakan ceza mahkemesi tarafından verilmekte, ceza mahkemesi sadece ceza verirse hukuk mahkemelerinde tazminat davası açılmaktadır.

Ağaçlandırma Bedeli

Orman Kanununun 114. maddesinde “her türlü orman suçları ile tahrip olunan veya yakılan sahalara için tazminattan başka, cari yıl içindeki birim saha ağaçlandırma gideri esas tutularak ağaçlandırma masrafına da hükmolunur” demektir. Ağaçlandırma bedelinin hesaplanmasında tahrip edilen alan ile birim ağaçlandırma gideri katsayısı çarpılmaktadır. Orman Genel Müdürlüğü tarafından 2019 yılı için ilan edilen birim ağaçlandırma gideri katsayısı 2,5073 TL/m² dir. Bu durumda bir mermer işletmesi 10 hektarlık orman alanında açma suçu işlemişse ağaçlandırma gideri;

$$10 * 10 000 * 2,5073 = 250 730 \text{ TL}$$

olarak hesaplanacaktır.

Tazminat

Tahrip edilen alanda ağaç veya diğer orman envali zararı da verilmişse ayrıca tazminat hesaplanır. Tazminat hususu Orman Kanununun 112. ve 113. maddelerinde konu edilmekte olup, zarar verilen orman varlığının miktarı ve orman idaresince her yıl hazırlanan birim fiyat cetvellerine göre hesaplanmaktadır. Mahkeme orman bilirkişisine tazminat hesaplama görevi vermekte ve bilirkişi raporuna göre maddi tazminat hükmü vermektedir.

ORMAN SUÇLARINDA ÖZEL GÖRÜNÜŞ HALLERİ

Teşebbüs

Fail işlemeyi kastettiği suçta sonuca ulaşamayabilir. Örneğin, ağaç kesmeye başlamışken yakalanıp ağacı tam olarak kesemeyebilir. Bu durumda suç teşebbüs aşamasında kalır ve ceza ona göre verilir. Teşebbüs sadece kasti suçlar için geçerli olup, taksirli suçlarda, ihmali suçlarda ve kabahatlerde geçerli olmaz. Örneğin orman yangınına ilgili makamlara bildirmemek teşebbüse elverişli değildir.

Suçta İştirak

Orman suçu bireysel olarak da işlenebilmekle birlikte çoğunlukla birden fazla kişi tarafından işlenir. Birden fazla fail bulunması ve failerin hareketlerini iştirak iradesi altında yapmaları durumunda suçta iştirak vardır. Suçu işleyen ile tali görev alanlar ayrı değerlendirilir ve cezalar farklı olur. Fiilin gerçekleştirilmesi yönünde emir veren kişi azmettirici konumda ve asli manevi fail olur. Faile bedeni olarak yardım eden kişiler de suçu beraber işleyen olarak sorumludur (Ayanoğlu ve Güneş, 2003).

Suçların Birleşmesi

Orman; ağaç, toprak, kozalak, otsu bitkiler gibi çok çeşitli ve birbirine bağlı unsurlardan oluşur. Bir hareket bunlardan birden fazlasına zarar vermiş olabilir. Yani tek bir fiille birden fazla suç işlenmiş

olabilir. Bu durumda her bir suç bağımsız olur. Ancak fail her bir suçtan ayrı ayrı değil, cezası en fazla olan suçtan ceza alır. Buna hukuk dilinde “fikri içtima” denir. Örneğin kesilen ağacın devrilerek fidanlara zarar vermesi durumunda zarar iki tane olmasına rağmen ağaç kesme suçundan ceza verilir. İşgal ve faydalanma suçunda ise ağaç kesilmesi de söz konusu ise her iki suçtan ayrı ceza verilir (Toprak, 2013).

Müteselsil suçlar

Bazı suçlarda suçu oluşturan hareket her tekrar edildiğinde ayrı bir suç oluşturur. Ancak suç kastında birlik varsa birden fazla ihlal ve birden fazla sonuç olsa da ortada tek bir suç olur. Bu tür suçlara “müteselsil suçlar” denir. Örneğin birden fazla ağaç kesme olayında ortada birden fazla sonuç olmakla birlikte tek bir ağaç kesilmiş gibi tek bir suç olduğu kabul edilir.

Mütemadi suçlar

Failin suç oluşturan hareketinin sürmesi durumunda “Mütemadi (sürüp giden)” suç söz konusu olur. Örneğin mermer işletmesinin izin almadan orman arazisinde şantiye binası yapması ile işlediği işgal ve faydalanma suçu bu tür suçtur. Ancak, tutanak tutulduğunda süreç sonlanır. Tutanak tarihi sonrasında işgalin sürmesi yeni bir suç oluşturur.

SONUÇLAR

Orman varlığını korumak adına orman suçlarına mevzuatta ciddi hapis ve para cezaları konmuştur. Orman arazilerinde faaliyet gösteren mermer ocaklarının ilgilileri, kanunda suç sayılan fiilleri istemeden de olsa işlemeleri halinde bu cezalarla karşı karşıya kalabilirler. Ağaçlandırma bedeli ve tazminat ödetilmesi, fiilde kullanılan alet ve tesislere elkonulması gibi yaptırımlarla da karşılaşabilirler. Bu nedenle daha arama safhasından başlayarak faaliyetin her aşamasında mermer ocağı ilgilileri titiz davranmalı, orman mevzuatına uygun hareket etmeli, gerekli izinleri almalıdırlar.

Mermer ocaklarının pratikte en çok karşılaştıkları orman suçları açma suçu ile işgal-faydalanma suçudur. Bu da genellikle orman izni alınırken orman izin bedelinin yüksek olacağı kaygısıyla tahsis istenen alanların düşük tutulmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle tahsis istenen alanlar ihtiyaca cevap verebilecek şekilde belirlenmelidir. İzin alanlarını gösteren işaretler muhafaza edilmelidir. Pasa döküm alanlarının aşırı şişmesi ve kaya parçalarının yuvarlanarak izin alanının dışına taşması hususu göz ardı edilmemelidir. Pratikte gözlenen bir başka hatalı davranış şekli, gerekli izin başvurusu yapıldıktan sonra orman idaresi tarafından izin oluru verilmesi, ağaç kesiminin orman idaresince yapılması ve saha teslimi yapılması beklenmeden faaliyetlere girişilmesidir. Tahsis başvurusu sonuçlanmadan hiç bir faaliyette bulunulmamalıdır.

KAYNAKLAR

- Ayanoğlu S. & Güneş Y. (2003). Orman suçları. İstanbul Üniv.Orman Fak. Yayını. Sayı : 4420.
- Bilim M. & Tolunay A. (2014). Türkiye’de orman kaynaklarının maden işletmeciliğine tahsisine ilişkin yasal, çevresel, sosyal ve ekonomik çözümler. Ulusal mermer ve taşocakları onarım teknikleri sempozyumu. s.106-116. Isparta.
- Güneş Y. (2004). Orman suçlarının ceza hukuku açısından incelenmesi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi dergisi. Cilt 54. Sayı 1.
- Orman Genel Müdürlüğü (2011). Ormanların kanun dışı müdahalelerden korunması esasları. OGM Tebliğ No: 293.
- Resmi Gazete (1956). Orman kanunu. Sayı: 9402, 08.09.1956.
- Resmi Gazete (1982). Türkiye Cumhuriyeti Anayasası. Sayı : 17863. 9.11.1982.
- Resmi Gazete (1983). Milli parklar kanunu. Sayı: 18132. 11.8.1983.

Resmi Gazete (1985). Maden kanunu. Sayı: 18785, 15.06.1985.
Resmi Gazete (2004a). Türk ceza kanunu. Sayı: 25611. 12.10.2004.
Resmi Gazete (2004b). Ceza muhakemeleri Kanunu. Sayı: 25673. 17.12.2004.
Toprak M. (2013). Orman suçları. Adalet yayınevi. Ankara
Ünal M. (2003). Orman hukuku. Nobel yayınları. No:249.

MERMER OCAKLARI İÇİN ORMAN BEDELLERİ
CHARGES FOR MARBLE QUARRIES IN FOREST TERRITORIES

M.S.Saraç^{1,*}

¹S. Demirel Üniv., Maden Müh. Bölümü
(*Sorumlu yazar: saimsarac@sdu.edu.tr)

ÖZET

Orman arazilerinde madencilik faaliyetleri için izin verilmesi konusu 6831 sayılı Orman Kanununun 16. maddesinde hükme bağlanmıştır. Orman arazilerindeki mermer ocaklarından ağaçlandırma bedeli, teminat ve arazi izin bedeli adlarıyla üç çeşit bedel alınmaktadır. Bu bildiride orman bedellerinin hesaplanması konusunda ruhsat sahiplerini bilgilendirmek amaçlanmıştır ve bu bedellerin nasıl hesaplandığı ortaya konularak formüle edilmiştir. Hesaplama prosedürü örnek bir mermer ocağına uygulanarak örneklenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Mermer ocakları, orman izin bedelleri

ABSTRACT

The subject of permitting to mining activities in forest territories is defined in the 16th article of the Forest Law numbered 6831. Three kinds of payment as afforestation payment, guarantee and territory permit payment are charged from marble quarries in forest territories. In this study, it was aimed to give information about the calculation of forest payments to mine licence holders. The calculation procedure was defined and formulized. The calculation procedure was applied and exemplified on any fictional marble quarry.

Keywords: Marble quarries, forest permission charges.

GİRİŞ

Türkiye yüzölçümünün %27'si ormanlarla kaplı olup, ülkede 21 678 134 hektar orman alanı bulunmaktadır. Bu orman varlığının %77'si koru ormanı, %23'ü baltalık orman niteliğindedir. Ormanların %99'u devlet mülkiyetindedir ve devlet tarafından işletilmekte/yonatılmaktadır. Bu tür araziler "orman arazisi" olarak isimlendirilmekte ve bu alanlarda yapılacak her türlü ormancılık dışı faaliyet katı kurallara bağlı olarak yürütülebilmektedir (Bilim ve Tolunay, 2014). Açık işletme tarzında üretim yapılan mermer ocaklarının pek çoğu orman arazisi içinde kalmakta veya çakışmakta, dolayısıyla orman idaresinden gerekli izinleri almak ve bazı ödemeleri yapmak durumunda kalmaktadırlar.

Maden işletmeleri daha arama ve açılma safhasından başlayarak orman mevzuatına uymak zorunda olmakta, üretim faaliyetleri sırasında ve terk aşamasında orman idaresinde pek çok işlemi yerine getirmeleri gerekmektedir. Özellikle ocağın açılmasından önceki izin alma prosedürü uzun süreler almakta ve sektörde "ağaçlandırma bedeli" olarak isimlendirilen büyük tutarların yatırılması gerekmektedir. Yatırım yapacak olan maden ruhsat sahipleri bu durumdan şikayetçi olmakta, yatırım kararlarını gözden geçirmektedirler. Ayrıca, orman izninin ne kadarlık bir sürede çıkacağını bilememekte, yatırıma bir an önce başlama isteklerini ertelemektedirler. Mermer ocağı yatırımcıları bu süreci; pahalı, belirsiz ve yatırımcıyı caydırıcı bir süreç olarak algılamaktadırlar. Bu bildiride orman bedellerinin nasıl

hesaplandığı açıklanmış, maden yatırımcısına orman idaresine yatıracağı tutarları önceden görmesini sağlamak ve yatırım kararını vermede yardımcı olmak amaçlanmıştır.

MADENCİLİK FAALİYETLERİ İLE İLGİLİ ORMAN MEVZUATI

Orman arazilerinde faaliyet gösteren maden ocakları için orman mevzuatı aşağıda sıralanmıştır;

- 6831 sayılı Orman Kanunu -16. madde (Resmi Gazete, 1956).
- 3213 sayılı Maden Kanunu -7. madde (Resmi Gazete, 1985).
- Maden Yönetmeliği -104, 105, 113. maddeler (Resmi Gazete, 2017).
- Orman Kanununun 16. maddesi uygulama yönetmeliği (Resmi Gazete, 2014).

Orman Kanununun İlgili Maddesi

6831 sayılı Orman Kanununda orman arazilerindeki madencilik faaliyetleri ile ilgili olarak sadece 16. madde yer almakta olup (Gençay ve Birben, 2048), bu madde aşağıdaki gibidir (Resmi Gazete, 1956);

Madde 16 – Devlet ormanları içinde maden aranması ve işletilmesi ile madencilik faaliyeti için zorunlu; tesis, yol, enerji, su, haberleşme ve altyapı tesislerine, fon bedelleri hariç, bedeli alınarak Çevre ve Orman Bakanlığınca izin verilir. Ancak, temditler dahil ruhsat süresince müktesep haklar korunmak kaydı ile Devlet ormanları sınırları içindeki tohum meşcereleri, gen koruma alanları, muhafaza ormanları, orman içi dinlenme yerleri, endemik ve korunması gereken nadir ekosistemlerin bulunduğu alanlarda maden aranması ve işletilmesi, Çevre ve Orman Bakanlığının muvafakatine bağlıdır. Genel bütçe kapsamındaki kamu idarelerinin; baraj, gölet, liman ve yol gibi yapılarda dolgu amaçlı kullanacağı her türlü yapı hammaddesi üretimi için yapacağı madencilik faaliyetleri ile zorunlu tesislerinden bedel alınmaz. Ruhsatname veya imtiyaz almış olanlarla, ruhsatname veya imtiyaz alacaklar, işe başlamadan evvel çalışma sahalarını orman idaresine haber vermeye ve ormana zarar gelebilecek hallerde, orman idaresinin göstereceği tedbirleri almaya ve yapmaya mecburdurlar. Madencilik faaliyetlerinin ve faaliyetlerle ilgili her türlü yer, yol, bina ile tesislerin hükmi şahsiyeti haiz amme müesseselerine ait ormanlarda veya özel ormanlarda yapılmak istenmesi halinde Çevre ve Orman Bakanlığınca izin verilebilir. Bu takdirde kullanım bedeli, kullanım süresi, yapılan bina ve tesislerin devri gibi hususlar genel hükümlere uygun olarak taraflarca tespit edilir. Madencilik faaliyetlerinin sona ermesi neticesinde idareye teslim edilen veya terk edilen doğal yapısı bozulmuş orman alanları rehabilite edilir. Rehabilite maksadı ile bu alanların orman yetiştirilmek üzere inşaat, yıkıntı ve hafriyat atıkları ile doldurularak ağaçlandırmaya hazır hale getirilmesi için büyükşehir mücavir alanlarında büyükşehir belediyelerine, diğer yerlerde ise il ve ilçe belediyelerine bedeli karşılığında izin verilebilir. Maddenin uygulanması ile ilgili tanım, şekil, şart ve esaslar yönetmelikle düzenlenir.

Orman Kanununun 16. Maddesi Uygulama Yönetmeliği

Orman Kanununun madencilik faaliyetleri ile ilgili 16. maddesini açmak amacıyla 2014 yılında 28976 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan "Orman Kanununun 16. maddesi uygulama yönetmeliği" çıkartılmıştır. Bu yönetmelik daha sonra 2017 ve 2018 yıllarında değişikliklere uğramıştır. 29 maddeden oluşan yönetmeliğin tüm maddeleri orman arazilerindeki madencilik faaliyetleri ile ilgili olup, orman izinleri ve bedel hesaplamalarının temelini oluşturur. Bu bildiride yönetmelik terimi bu yönetmeliği ifade edecektir. Yönetmeliğin orman bedelleri hesaplamasıyla ilgili olan 20. maddesi aşağıda verilmiştir (Resmi Gazete, 2014).

Madde 20 – Bedellerin tespiti ve tahsili - (1) Bu Yönetmeliğe göre verilecek izinlerde alınacak bedellerden; a) Ağaçlandırma bedeli: Genel müdürlükçe, Asgari Ücret Tespit Komisyonu tarafından yılın ikinci yarısı için tespit edilen 16 yaşını doldurmuş işçilerin bir günlük normal çalışma karşılığı asgari

ücretlerinin 294 gün/hektar katsayısıyla çarpımı sonucu belirlenen ağaçlandırma birim hektar bedelinin izin alanı ile çarpımı sonucu alınacak bedeldir. b) Arazi izin bedeli: İzin alanının metrekaresi, cari yıl ağaçlandırma birim metrekaresi bedeli, bu Yönetmeliğin ekinde yer alan izin türü katsayısı Ek-1, ekolojik denge katsayısı Ek-2 ve il katsayısının Ek-3 çarpımlarının sonucu alınacak bedeldir. c) Ön izin bedeli: İzin alanının metrekaresi ile cari yıl ağaçlandırma birim metrekaresi bedelinin 30 hektara kadar olan ön izinlerde 1/10'u, 30 hektar dâhil daha büyük olan ön izinlerde ise 1/5'i ile çarpımı sonucu bulunacak bedel olup bir defaya mahsus alınır. Süre uzatımlarında ayrıca bedel alınmaz.

(2) Ağaçlandırma bedeli izin başlangıcında bir defaya mahsus defaten izin sahibi tarafından ödenir.

(3) Arazi izin bedeli izin başlangıç tarihi esas alınarak bildirim gerektirmeksizin her yıl defaten izin sahibi tarafından ödenir. Müteakip yıllara ait arazi izin bedeli BAK oranında artırılmak suretiyle tespit edilerek bildirim gerektirmeksizin izin başlangıç tarihinde defaten izin sahibi tarafından ödenir.

(4) Ek Devlet hakkı, her yıl Haziran ayı son günü mesai bitimine kadar izin sahibi tarafından ödenir.

(5) Bedel hesaplarında Devlet ormanına isabet eden bölümler esas alınır.

(6) Sonraki yıl bedellerinin peşin ödenmesinin talep edilmesi halinde ödenmesi talep edilen yıllara ait bedeller ödemenin yapıldığı yıl bedeli üzerinden izin sahibi tarafından ödenir.

(7) Bu Yönetmelik hükümlerine göre alınacak; tüm bedeller ve teminat Genel Müdürlüğün özel bütçe hesabına yatırılır.

(8) Madencilik faaliyetleri için verilen izinlerden 3/9/2005 tarihli ve 25925 sayılı Resmî Gazete' de yayımlanan Ağaçlandırma ve Erozyon Kontrolü Hizmetlerine İlişkin Usul ve Esaslar'ın 4 üncü maddesinin birinci fıkrasının (c) bendinde belirtilen gelir ile 13/06/2012 tarihli ve 28322 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Orman Köylülerinin Kalkındırılmalarının Desteklenmesi Faaliyetlerine İlişkin Yönetmelik'in 5 inci maddesinin birinci fıkrasının (b) bendinde belirtilen gelir alınmaz.

(9) Genel bütçe kapsamındaki kamu idareleri ile kamu kurum ve kuruluşlarına verilen ön izinlerden bedel alınmaz.

MERMER OCAKLARI İÇİN ORMAN BEDELLERİ

Orman Kanununun 16. maddesi uygulama yönetmeliğine göre orman arazilerinde faaliyet gösterecek olan mermer ocakları için iki ayrı izin türü söz konusu olabilir (Resmî Gazete, 2014).

- Ön izin
- Kesin izin

Orman bedellerinin hesaplanmasında bu iki izin türünden hangisinin talep edildiği önemli olmakta ve hesaplama işlemi farklılık göstermektedir.

Ön İzin Bedeli

Ön izin, sahada herhangi bir kazı çalışması yapılmaması şartıyla, sadece prospeksiyon, harita alma, numune toplama, jeofizik çalışmaları yapma gibi kazı gerektirmeyen maden arama çalışmaları için verilen izindir. Yönetmeliğin yukarıda verilmiş olan 20. maddesine göre ön izin bedeli, izin istenen alanın metrekaresi ile cari yıl ağaçlandırma birim metrekaresi bedelinin (BAB) 30 hektara kadar olan ön izinlerde 1/10'u, 30 hektar dahil daha büyük olan ön izinlerde ise 1/5'i ile çarpımıyla hesaplanmaktadır. Birim alan bedeli olan BAB değeri her yıl Orman Genel Müdürlüğü (OGM) tarafından belirlenerek ilan edilmektedir. 2019 yılı için bu değer 2,5073 TL/m² dir. Bu hesaplama işlemi;

1) 30 hektardan küçük ön izin talepleri için;

$$OİB = \text{ALAN} * \text{BAB} / 10$$

(1)

2) 30 hektardan büyük ön izin talepleri için ise;

$$\text{ÖİB} = \text{ALAN} * \text{BAB} / 5 \quad (2)$$

- ÖİB : Ön izin bedeli (TL)
 ALAN : Ön izin istenen alan (m²)
 BAB : Birim alan bedeli (TL/m²)

olarak formülize edilebilir. Ön izin bedeli bir defaya mahsus alınır ve süre uzatımlarında ayrıca bedel alınmaz.

Kesin İzin Aşamasındaki Bedeller

Orman arazilerinde kazı ve üretim çalışmaları yapacak olan maden işletmeleri kesin izin almak durumundadırlar. Bu aşamada maden işletmelerinden tahsil edilen bedeller 4 gruptur (Ok ve Kaya, 2017);

- Ağaçlandırma bedeli
- Arazi izin bedeli
- Teminat
- Ek devlet hakkı

Ağaçlandırma Bedeli

Yönetmeliğin 20. maddesinde “*Ağaçlandırma Bedeli*”, “Genel müdürlükçe Asgari Ücret Tespit Komisyonu tarafından yılın ikinci yarısı için tespit edilen 16 yaşını doldurmuş işçilerin bir günlük normal çalışma karşılığı asgari ücretlerinin 294 gün/hektar katsayısıyla çarpımı sonucu belirlenen ağaçlandırma birim hektar bedelinin izin alanı ile çarpımı sonucu alınacak bedeldir” şeklinde tarif edilmektedir. Yani hesaplama işleminde;

$$\text{AB} = \text{ALAN} * \text{BAB} \quad (3)$$

- AB : Ağaçlandırma bedeli (TL)
 ALAN : İzin istenen alan (m²)
 BAB : Birim alan bedeli (TL/m²)

formülü uygulanmaktadır. Hesaplanan bedel, tahsis edilen alan için bir kez alınmakta, ileriki yıllarda yeni alanlar için tahsis istenirse bu alanlar için yeniden bedel hesabı yapılmaktadır.

Arazi İzin Bedeli

Yönetmeliğin 20. maddesinde “*Arazi izin bedeli*”, “İzin alanının metrekaresi, cari yıl BAB değeri, Yönetmeliğin ekinde yer alan izin türü katsayısı (Ek-1), ekolojik denge katsayısı (Ek-2) ve il katsayısının (Ek-3) çarpımlarının sonucu alınacak bedeldir” şeklinde tarif edilmektedir. Yani bu bedelin hesaplanmasında yönetmelikteki EK-1, EK-2 ve EK-3 den seçilen katsayılar ile izin istenen alan ve ağaçlandırma birim metrekaresi bedeli çarpılmaktadır.

$$\text{AİB} = \text{ALAN} * \text{BAB} * a * b * c \quad (4)$$

- AİB : Arazi izin bedeli (TL)
 ALAN : İzin istenen alan (m²)
 BAB : Birim alan bedeli (TL/m²)
 a : Çizelge 1’den seçilen izin türü katsayısı
 b : Çizelge 2’den seçilen ekolojik denge katsayısı
 c : Çizelge 3’den seçilen il katsayısı

Çizelge 1. İzin türü katsayısı (Resmi Gazete, 2014).

İzin Türü	Katsayı
Sondaj usulü maden arama izinleri	0,2
Maden arama, işletme ve hammadde üretim izinleri	0,4
Maden tesis ve altyapı tesis izinleri	0,5
Toprak dolgu izinleri	1,5

Çizelge 2. Ekolojik denge katsayısı (Resmi Gazete, 2014).

Orman Amenajman Planlarına Göre Orman Durumu	Ekolojik Denge Katsayısı
Ağaçsız alanlar	1
% 10 dan daha az kapalı ormanlar ve kapalılığına bakılmaksızın Mak rumuzlu alanlar	1,1
%11-40 kapalı ormanlar	1,4
%41-70 kapalı ormanlar	1,7
%71 ve üstü kapalı ormanlar ve ağaçlandırma sahaları	2

Çizelge 3. İl katsayısı (Resmi Gazete, 2014).

İl Adı	Katsayısı
İstanbul	3
İzmir, Kocaeli	2,8
Adana, Ankara, Antalya, Aydın, Balıkesir, Bursa, Çanakkale, Mersin, Muğla, Osmaniye, Sakarya, Samsun, Yalova,	2,4
Bartın, Bilecik, Bolu, Düzce, Edirne, Gaziantep, Giresun, Karabük, Kayseri, Kırıkkale, Kırklareli, Konya, Kütahya, Ordu, Rize, Zonguldak, Denizli, Eskişehir, Hatay, Manisa, Tekirdağ, Trabzon	2
Adıyaman, Artvin, Afyonkarahisar, Amasya, Burdur, Çankırı, Çorum, Diyarbakır, Elazığ, Erzincan, Erzurum, Isparta, Kahramanmaraş, Kastamonu, Kırşehir, Kilis, Malatya, Nevşehir, Niğde, Sinop, Sivas, Şanlıurfa, Tokat, Uşak, Yozgat	1,6
Aksaray, Bayburt, Gümüşhane, Karaman, Ağrı, Ardahan, Batman, Bingöl, Bitlis, Hakkâri, Iğdır, Kars, Mardin, Muş, Siirt, Şırnak, Tunceli, Van	1,2

Çizelge 2'deki ekolojik denge katsayısı tahsis yapılacak sahadaki ormanın kapalılık durumunu ifade etmektedir. Ormanın kapalılık durumu ya arazide ölçüm yapılarak, ya da amenajman planlarının meşcere haritalarından belirlenir (Ok ve Kaya, 2017). Çizelge 1 ve Çizelge 3'deki katsayılar ise herhangi bir ölçüme veya yoruma dayanmadan seçilebilecek katsayılardır.

Yönetmeliğin 8. maddesinin 2. fıkrasında 5 hektarlık kısımdan arazi izin bedeli alınmayacağı yönünde bir hüküm bulunmaktadır. Yani izin istenen alandan 5 hektarlık bir alan indirilerek hesap yapılmaktadır.

Arazi izin bedeli izin başlangıç tarihi esas alınarak bildirim gerekliliğinin her yıl defaten izin sahibi tarafından ödenir. Sonraki yıllara ait arazi izin bedeli "Bedel Artış Katsayısı" (BAK) oranında artırılarak izin sahibi tarafından yatırılır. BAK değeri devlet alacaklarına uygulanan ve her yıl Maliye Bakanlığınca belirlenerek ilan edilen "Yeniden Değerleme Oranı" kadar olmaktadır. Daha önce izin alınmış fakat süresi dolmuş alanlar için temdit başvurusu yapılması durumunda da BAK değeri kullanılarak güncelleme yapılmaktadır (Ok ve Kaya, 2017).

Teminat

Teminat bedelinin hesaplanması yönetmeliğin 22. maddesinde konu edilmektedir. Bu maddeye göre teminat, bir hektar için cari yıl ağaçlandırma bedelinden az olmamak kaydıyla, cari yıl ağaçlandırma bedelinin onda biri ile izin alanının çarpımı sonucu bulunur. Bir başka deyişle;

$$T = \text{BAB} * \text{ALAN} / 10 \quad (5)$$

T : Teminat tutarı (TL)
 BAB : Birim alan ağaçlandırma bedeli (TL/m²)
 ALAN : İzin istenen alan (m²)

İfadesi uygulanmaktadır. Teminat izin başlangıcında bir defa alınır. Süre uzatımlarında, izin devirlerinde güncellenir. Genel bütçe kapsamındaki kamu idareleri ile kamu kurum ve kuruluşlarından teminat alınmaz. Yatırım sahibinin yatırımdan vazgeçmesi, sürenin dolması, faaliyetin bitmesi durumlarında, taahhüt senedinde belirtilen yükümlülüklerin yerine getirilmiş olması halinde teminat iade edilir. Aksi halde alınan teminat idarece irat kaydedilir. Diğer bedeller ise iade edilmez.

Kesin izin aşamasındaki orman bedellerinin toplu değerlendirilmesi Çizelge 4’de verilmiştir.

Çizelge 4. Orman bedellerinin toplu olarak değerlendirilmesi.

Bedel cinsi	Dönemi	Etkin parametre	Diğer parametreler
Ağaçlandırma bedeli	Başta bir kez	İzin alanı	Birim alan bedeli
Arazi izin bedeli	Her yıl	İzin alanı	Birim alan bedeli a,b,c katsayıları
Teminat	Başta bir kez	İzin alanı	Birim alan bedeli

ÖRNEK BİR MERMER OCAĞI İÇİN ORMAN BEDELLERİNİN HESABI

Yukarıda verilen bedel hesaplama işlemlerini örneklendirmek için, hayali bir maden ocağı yatırımı üzerinde hesaplamalar yapılmış ve işlemler sayısal olarak gösterilmiştir. X mermer firması Antalya Orman Bölge Müdürlüğüne başvurarak %60 orman kaplı olan bir orman arazisine denk gelen 95 hektarlık II-b (mermer) grubu maden işletme ruhsatı alanı içinde mermer blok üretimi yapabilmek için Çizelge 5’de verilen alanlarda tahsis (orman izni) istemektedir.

Çizelge 5. Tahsis isteyen mermer işletmesinin tahsis talep ettiği alanlar.

Tahsis amacı	Tahsis istenen alan (m ²)	Açıklama
Açık işletme alanı	99 146	Üretim alanı
Alt yapı tesisleri :		
Şantiye alanı	3 550	Yapı inşa edilecektir
Atölye alanı	2 265	Yapı inşa edilecektir
Pasa sahası	32 565	Pasa döküm alanıdır
Blok stok sahası	8 657	Üretilen bloklar stoklanacaktır
Yol	22 565	Ana yol haricinde yol açılacaktır
Alt yapı tesisleri toplamı	69 602	
TOPLAM	168 748	Toplam tahsis alanıdır

Bu tahsis başvurusu için hesaplamalar aşağıdaki gibi olacaktır;

Ağaçlandırma Bedelinin Hesabı

Ağaçlandırma bedeli için, (3) numaralı eşitlikte ALAN = 168 748 m², BAB = 2,5073 TL/m² değerleri yerlerine yazılırsa;

$$AB = 168\,748 * 2,5073 = 423\,102 \text{ TL} \quad \text{değeri hesaplanır.}$$

Arazi İzin Bedelinin Hesabı

Arazi izin bedelinin hesabı biraz daha karmaşıktır. Üretim faaliyetlerinin yürütüleceği açık ocak alanı ile alt yapı tesisleri toplam alanı ayrı değerlendirilmektedir. Ayrıca, izin istenen alanlarda orman kapallılık özelliği de farklı ise ayrı ayrı değerlendirmek gerekmektedir. Örnek işletme verileri göz önüne alındığında seçilen a, b, c katsayıları ve (4) numaralı eşitlikten hesaplanan arazi izin bedelleri Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. Seçilen a, b, c katsayıları ve hesaplanan AİB değerleri.

Tahsis amacı	Tahsis alanı (m ²)	Bedel			AİB (TL)	
		hesaplanacak alan (m ²)	a	b		c
Açık işletme alanı	99 146	49 146	0,4	1,7	2,4	201 101
Alt yapı tesisleri toplamı	69 602	69 602	0,5	1,7	2,4	356 007
TOPLAM	168 748	118 748				557 108

a parametresi için : ocak sahasında a = 0,4, alt yapı tesis alanında a = 0,5

b parametresi için : arazinin % 60'ı ormanlık olduğundan, b = 1,7

c parametresi için : sahanın Antalya ilinde olması nedeniyle, c = 2,4

değerleri seçilmiş, üçüncü sütun oluşturulurken açık işletme alanından muafiyet miktarı olan 5 hektarlık (50 000 m²) miktar düşülmüştür. Hesaplanan AİB değerleri ise son sütundadır.

Teminat Değerinin Hesabı

Teminat değeri için (5) numaralı eşitlikten;

$$T = 2,5073 * 168\,748 / 10 = 42\,310 \text{ TL değeri hesaplanır.}$$

Toplam Tutar

Örnek mermer işletmesi için hesaplanan ve orman idaresi hesabına yatırılması gereken tutarlar toplu olarak Çizelge 7'de gösterilmiştir.

Çizelge 7. Örnek işletme için hesaplanan orman bedellerinin toplu gösterimi.

Bedel cinsi	Alan (m ²)	Bedel miktarı (TL)	Dönemi
Ağaçlandırma bedeli	168 748	423 102	Başta bir kez
Arazi izin bedeli	118 748	557 108	Her yıl
Teminat	168 748	42 310	Başta bir kez
Başta ödenecek toplam		1 022 520	Başta

Bu durumda örnek mermer işletmesi başta toplam 1 022 520 TL ödeyecek, sonraki yıllarda her yıl 557 108 TL'nin yeniden değerlendirme oranı ile çarpılması ile hesaplanan tutarı ödeyecektir. İleriki süreçte tüm taahhütlerin yerine getirilmesi durumunda teminat olarak yatırılan tutar geri alınabilecektir.

Hesaplama Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Ortalama büyüklükte bir mermer sahası olarak kabul edilebilecek 168 748 m² alanındaki bir tahsis başvurusu için izin aşamasında ödenecek bedel 1 022 520 TL olarak hesaplanmıştır. Daha yaygın ocaklar için bu bedel daha da yüksek olacaktır. Bu değerler, mermer ocağı yatırımları için oldukça yüksek değerler olup, ilk yatırım masrafları içinde önemli bir paya sahip olmaktadır. Tüm maden işletmelerinin ödediği orman bedelleri ve diğer tutarlar göz önüne alındığında Orman Genel Müdürlüğü'nün gelirlerinin yarısından fazlasının madencilik faaliyetlerinden geldiği görülmektedir (Tmder, 2019). Buna karşılık, madencilığe tahsis edilen orman arazisi, toplam orman arazisi içinde %0,25 gibi oldukça düşük bir orandadır. Bu alanın da yarısından fazlası çok bozuk ve bozuk baltalık orman arazisidir. Bir diğer husus da, yönetmeliğin son yıllarda bir kaç kez değişikliğe uğraması ve hesaplama işleminin değiştirilmesi sonucunda orman bedellerinde oluşan dramatik artışlardır. 2019 yılı için hesaplanan bedeller, aynı saha için 2014 yılında ödenen bedellerin 2-4 katı kadar çıkmaktadır (Tmder, 2019).

SONUÇLAR

Mermer ocakları orman izni alma aşamasında ciddi miktarlardaki toplam bedeli orman idaresine ödemek durumundadırlar. Bu bedel ağaçlandırma bedeli, arazi izin bedeli ve teminat adı altında alınmaktadır. Bir mermer ocağı yatırımı için bu tutar toplam ilk yatırım içinde önemli bir paya sahip olmaktadır. Üretim aşamasında da mermer ocakları her yıl arazi izin bedeli ödemektedirler. Bu değer de yıllık işletme maliyetleri içinde önemli bir harcama kalemi oluşturmaktadır. Ayrıca Maden Kanununun 13. maddesine göre her yıl ödenen "Ruhsat bedeli" tutarlarının %30'u çevre ile uyum planı çalışmalarını gerçekleştirmek üzere ilgili hesaba yatırılmaktadır. Mermer ocağının orman izin sahalarını aşması durumunda ise hapis cezalarının dışında, aşım yapılan alan m² cinsinden belirlenerek cari yıl için geçerli olan BAB değeri ile çarpılması ile hesaplanan para değeri adli para cezası olarak ödetilmektedir.

Orman bedellerinin yüksek olmasının bir başka sonucu da mermer ocağı yetkililerinin orman suçu işleme riski ile karşı karşıya kalmalarıdır. Yüksek olarak gördükleri orman bedellerini azaltmayı düşünen mermer ocağı yetkilileri izin talep ettikleri alanları olabildiğince düşük tutmaya çalışmaktadırlar. İleriki yıllarda üretim çalışmaları yoğunlaştığında izin sahalarının yeterli olmaması ve aşılması söz konusu olabilmektedir. Bu durumda "açma" ve "işgal ve faydalanma" olarak isimlendirilen orman suçlarının faili durumuna düşebilmektedirler.

KAYNAKLAR

- Bilim M. & Tolunay A. (2014). Türkiye'de orman kaynaklarının maden işletmeciliğine tahsisine ilişkin yasal, çevresel, sosyal ve ekonomik çözümler. Ulusal mermer ve taşocakları onarım teknikleri sempozyumu. s.106-116. Isparta.
- Ok K. & Kaya G. (2017). Orman kanununun 16'ncı maddesi uygulamalarında alınan bedellerin hesaplanma yaklaşımının değer belirleme yöntemleriyle karşılaştırmalı irdelenmesi. Orman Genel Müdürlüğü ormancılık araştırma dergisi. 4(1). s. 41-60.
- Resmi Gazete (1956). Orman kanunu. Sayı: 9402, 08.09.1956.
- Resmi Gazete (1985). Maden kanunu. Sayı: 18785, 15.06.1985.
- Resmi Gazete (2014). Orman kanununun 16 ncı maddesinin uygulama yönetmeliği. Sayı: 28976, 18.04.2014.
- Resmi Gazete (2017). Maden yönetmeliği. Sayı: 30187, 21.09.2017.
- Tmder (2019). Orman izinlerinde madencilik sektörünün sorunları ve çözüm önerileri. www.tmder.org.tr

MADENCİLİK SONRASI MERMER ve TAŞ OCAKLARININ REHABİLİTASYONU
REHABILITATION OF MARBLE AND STONE QUARRIES AFTER MINING

A. Akın*, H.Hacıfazlıoğlu

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Avcılar/İSTANBUL
 (*Sorumlu yazar: aydadikici@gmail.com)

ÖZET

Ülkemizde son yıllarda giderek artan mermer ve doğal taş üretimi ile birlikte çeşitli çevresel sorunlar baş göstermeye başlamıştır. En büyük çevresel problem, mermer ve taş ocaklarındaki üretim bittikten sonra yaşanmaktadır. Madencilik sonrasında açılan büyük boşluklar doğada önemli fiziksel tahribata neden olmakta, flora ve fauna olumsuz etkilenmektedir. Ancak bu fiziksel tahribat sahanın yeniden rehabilite edilmesi ile kolaylıkla giderilebilir. Dünyada ve ülkemizde bunun pek çok örneği bulunmaktadır. Bu çalışmada, dünyadan ve ülkemizden çeşitli örnekler verilerek madencilik sonrası ocağın doğaya yeniden kazandırılması (rehabilitasyonu), peyzaj onarımı ve rekreasyon ile ilgili projelerinden bahsedilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Madencilik, mermer, doğal taş, rehabilitasyon, rekreasyon

ABSTRACT

With the increasing production of marble and natural stone in our country in recent years, various environmental problems have begun to emerge. The biggest environmental problem is experienced after the production of marble and stone quarries. Large gaps opened after mining cause significant physical destruction in nature and flora and fauna are adversely affected. However, this physical destruction can be easily remedied by rehabilitation of the site. There are many examples of this in the world and in our country. In this study, by giving various examples from the world and our country, the projects related to the rehabilitation of the quarry after the mining, rehabilitation, landscape repair and recreation were mentioned.

Keywords: Mining, marble, natural stone, rehabiliation, recreation

GİRİŞ

Günümüzde her ne kadar “Uzay Madenciliği”, “Asteroid Madenciliği” ve “Okyanus Madenciliği” gibi kavramlar türetilmiş olmasına rağmen halen madenler temelde 2 şekilde çıkarılmaktadır. Madenler yerin yüzlerce metre altında ise “Yeraltı Madenciliği” yapılır. Madenler yeryüzüne yakınsa “Yerüstü Madenciliği” yöntemi uygulanır. Yeraltı madenciliğinde madene ulaşmak için yerin altına tüneller açılır ve tüm işlemler yerin altında gerçekleştirilir. Yerin altından çıkarılan maden daha sonra yeryüzündeki tesislerde işlenir. Yeraltı madenciliğinde ağaçların kesilmesi ya da ekosistemin bozulması söz konusu değildir. Tüm işlem yerin altında olduğu için, gürültü, toz, su kirliliği vb gibi olumsuz çevre koşulları görülmez. Eğer maden yeryüzüne yakınsa (yerin 20-50-100 m altındaysa), daha ekonomik bir yöntem olan yerüstü madenciliği yöntemi tercih edilir. Bu yöntemde, madenin büyüklüğüne göre yüz ya da bin dönüm arazinin toprak örtüsünün kaldırılması gerekir. Madenin bulunduğu sahada toprağın kaldırılması ve ağaçların kesilmesi söz konusudur. Maden süresince az miktarda toz ve gürültü oluşabilir. Toz ve gürültünün önlemini almak mümkündür ancak ekosistem zarar görür. Maden sahasında bazı bitkilerin ve

hayvanların yaşamı son bulur. Çevreye olan bu olumsuz etkiler, sadece madenin işletildiği sürece (ortalama 10-15 yıl) devam eder. Maden çıkarıldıktan sonra saha yeniden rehabilite edilir. Maden işletildiği sürece meydana gelebilecek olan olumsuzluklar Çizelge 1’de özetlenmiştir (Karakurt, 2018).

Çizelge 1. Maden işletildiği yerlerde meydana gelebilecek olumsuzluklar

Sınıf	Sorun	Açıklama
Fiziksel	Toprak tekstürü	Kalın veya ince tekstürlü olması
	Toprak strüktürü	Sıkışmış veya çok gevşek olmaması
	Stabilite	Toprağın sabit olmaması
	Nem	Islak veya kurak olması
Beslenme	Makro besin maddeleri	Azotun ve diğerlerinin eksikliği
	Mikro besin maddeleri	Eksiklik
Zehirlenme	pH	Düşük veya yüksek pH
	Ağır metaller	Yüksek oranlar
	Tuzlanma	Yüksek oranlar
Canlılar	Bitkiler	Yokluğu, Kolonileşmenin yavaş oluşu
	Hayvanlar	Yokluğu, Kolonileşmenin yavaş oluşu

Mermer üretimi dünya genelinde genellikle açık işletme yöntemi ile yapılmaktadır. Açık ocak işletmeciliği, toprak ve bitki örtüsünün ve/veya alterasyon seviyesinin kaldırılması, basamak oluşturulması ve blok üretimi şeklinde devam eden süreçleri kapsamaktadır. İşletmeciliğin ilk aşaması, yapılan kazılarla mermer oluşumunun üzerinde yer alan toprak ve bitki örtüsü ve/veya alterasyon seviyesinin kaldırılması (dekapaj) çalışmalarıdır. Bu kazı (dekapaj) işleminden sonra basamak oluşturma çalışmaları yapılarak açık ocak oluşturulmaya başlanmaktadır. 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 (Bilgin ve Koç, 2013; Demir ve Güngör, 2013).

YASAL MEVZUAT

Türk Kanunlarına göre rehabilite (iyileştirme) edilmeden hiçbir maden sahası terk edilmez. Terk edilemeyeceği pek çok kanunla güvence altına alınmıştır. 6831 Sayılı Orman Kanunu Madde 16’da "(*Ek fıkra: 10/6/2010-5995/19 md.*) Madencilik faaliyetlerinin sona ermesi neticesinde idareye teslim edilen veya terk edilen doğal yapısı bozulmuş orman alanları rehabilite edilir. Rehabilite maksadı ile bu alanların orman yetiştirilmek üzere inşaat, yıkıntı ve hafriyat atıkları ile doldurularak ağaçlandırmaya hazır hale getirilmesi için büyükşehir mücavir alanlarında büyükşehir belediyelerine, diğer yerlerde ise il ve ilçe belediyelerine bedeli karşılığında izin verilebilir." denilmektedir. Ayrıca, 27751 Sayılı Madencilik Faaliyetleri Uygulama Yönetmeliğinin 35’inci maddesinde (3) "*Ruhsat hukukunun sona ermesi durumunda, faaliyet yapılan alanların çevre ile uyumlu hale getirildiğinin tespitini müteakip, çevre ile uyum teminatı iade edilir*". Bu maddeden de anlaşılacağı üzere adenci, madeni çıkardıktan sonra çevrenin eski haline getirilmesi için bir teminat ödemektedir. Madenin rehabilite edilmeden terk edilmesi söz konusu değildir. Yine, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’nın 15 Temmuz 2015’de Resmi Gazetede yayınlamış olduğu, Maden Atıkları Yönetmeliğinin 5. maddesinde "*Maden atıklarının geçici depolanması, taşınması ve işlenmesi sırasında su, hava, toprak, bitki, hayvan ve insanlar için risk yaratmayacak,*

gürültü, titreşim ve koku yoluyla rahatsızlığa neden olmayacak, doğal çevrenin olumsuz etkilenmesini önleyecek ve böylece çevre ve insan sağlığına zarar vermeyecek yöntem ve işlemlerin kullanılması esastır" maddesi yer almaktadır. Bu bakımdan maden atıklarının tüm ekosistemi yok edeceği, insan sağlığını olumsuz yönde etkileyeceği gibi düşünceler son derece yanlıştır. Ülkemizdeki kanunlarla doğal çevre ve canlı yaşamı zaten en üst düzeyde teminat altına alınmıştır. Unutulmamalıdır ki, madenler gelişigüzel işletilemez ve çevreyi kesinlikle kirletemez.

Maden işletilen sahaların kolaylıkla rehabilite edilebileceği, eski maden sahalarında çeşitli bitkilerin yetiştirilebileceği pek çok ulusal ve uluslararası yayınlarda belirtilmiştir (Roche vd.,1997; Bell, 2001; Christopher ve Noske, 2010; Anonim,2014; Kalaycı ve Uzun, 2017). Dünyanın pek çok ülkesinde ve ülkemizde eski maden sahaları rehabilite edilmekte ve doğaya yeniden kazandırılarak toplumun istifadesine sunulmaktadır. Sahanın durumuna göre çeşitli rehabilitasyon yöntemleri mevcut olup, bazen bu yöntemlerden bir ya da birkaçı birlikte de kullanılabilir. Sözü edilen yöntemler; üst toprağın sahaya serilmesi suretiyle yapılan rehabilitasyon, elektroliz, kirlenmiş toprakların bitkilerle temizlenmesi ve rehabilite edilemeyen sahaların kamu yararına kullanılması (rekreasyon ve reklamasyon) yöntemleridir. Eski maden sahalarında, rekreasyon alanları (otel, müze, futbol sahası, yarış alanları, golf sahası vb.), göletlere dönüştürme ve sağlık turizmi maksatlı düzenlemeler (özellikle eski tuz madenlerinde) yapılabilmektedir. Bu bakımdan terk edilen maden sahası kaybedilmiş bir alan olarak düşünülmemeli aksine kazanılmış bir alan olarak görülmelidir. Bu alanda yapılmış olan bazı projeler aşağıda özetlenmiştir.

REHABİLİTASYON ÖRNEKLERİ

Çin' in Şangay kentine yakın bir taş ocağı faaliyeti bittikten sonra kapatılmıştır. Madencilik sırasında yaklaşık 100 metre derinlikte çukur açılarak açık ocak madenciliği yapılmıştır. Bu çukurda çok yüksek paralar harcanarak otel ve gölet yapılması planlanmıştır (Şekil 1). Hizmete açılması planlanan 19 katlı otelin ve çevresinin onarımı kapsamında hedeflenen projede, otelin bir kısmı su altında olacak, büyük akvaryumlar, su altı restoranları gibi kullanımlar yer alacaktır (Kalaycı ve Uzun, 2017).



Şekil 1. Eski taş ocağına inşa edilen lüks otel projesi (Çin)

ABD Connecticut'un Portland kentinde bulunan kireçtaşı ocağı, 1930 yılında terk edildi ve onarımı yapılmadığı için 30 kişinin ölümüne neden oldu. Bu park, 2008 yılında bir macera parkı olarak düzenlenerek rekreasyon alanı olarak halka kazandırıldı (Şekil 4) (Kalaycı ve Uzun, 2017).

Şekil 2'de İstanbul Kemerburgaz'da faaliyet gösteren bir taş ocağının üretimi bittikten sonraki rehabilitasyonu gösterilmiştir. Eski taşocağı tamamen yeşillendirilerek doğaya kazandırılmıştır.



Şekil 2. Taşocağının eski ve rehabilitasyon sonrası hali (Kemberburgaz-İstanbul)

Kütahya ilinde son 50 yıldan bu yana çok sayıda kömür madeni işletilmektedir. Ömrünü tamamlayan Gürok Turizm ve Madencilik A.Ş.'ye ait bir kömür işletmesi, Kütahya Orman Bölge Müdürlüğü tarafından rehabilite edilerek doğaya yeniden kazandırılmıştır (Şekil 3). Gürok Turizm ve Madencilik A.Ş. ait 1994 yılı tahsisli 1397384 m²' lik özel ağaçlandırma sahasına 60.450 adet fıstık çamı, 29.000 adet kızılçam, 1.750 adet sedir, 56.975 adet diğer meyve ve yapraklı türler olmak üzere toplam 148.175 adet fidan dikilmiştir. Yine firmaya ait 2001 yılı tahsisli 831000 m²' lik özel ağaçlandırma sahasına ise 75.000 adet kızılçam, 15.000 adet fıstıkçamı, 20.000 adet yapraklı türler olmak üzere toplam 110.000 adet fidan dikilmiştir.



Şekil 3. Kütahya'da eski kömür sahasının yeşillendirilmiş hali (Kütahya'nın Sesi, 2019).

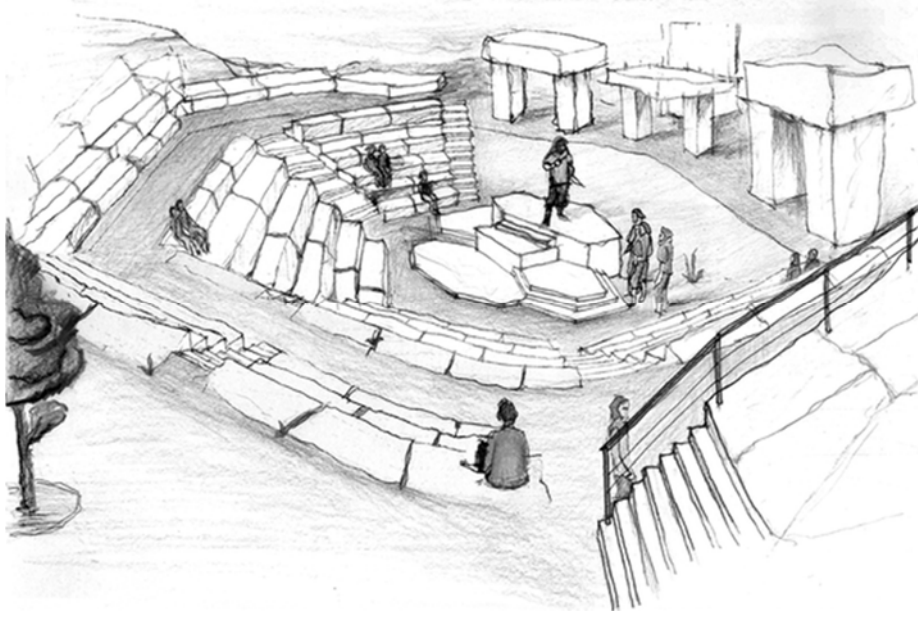


Şekil 4. Eski kireç taşı ocağına yapılan Brownstone su ve macera parkı (ABD)

Son olarak iç mimar Rıdvan Çelik'in atıl durumda olan eski mermer ocakları ile ilgili rekreasyonuna bakmakta fayda var. Şekil 5'de görüldüğü üzere mermer ocakları otel olarak ta kullanılabilir. Ayrıca, mermer ocaklarındaki çukurlar su ile doldurularak doğal havuz olarak kullanılabilir (Bozkurt, 2016). Yine yüksek rakımlarda bulunan ve kışları çok fazla kar yağın maden ocakları kış turizmi için kayak merkezine dönüştürülebilir. Şekil 6'da eski mermer sahasının açık hava tiyatrosu şeklinde kullanılabileceği önerisi bulunmaktadır (Kaliampakos ve Mavrikos, 2006). Bu öneri henüz gerçekleşmemiştir.



Şekil 5. Eski mermer ocaklarına turistik otel inşa etme projesi



Şekil 6. Eski mermer sahasının açık hava tiyatrosu olarak kullanım önerisi

SONUÇLAR

İçinde bulunduğumuz yüzyılda çevre faktörü göz ardı edilerek madencilik faaliyetlerinin yürütülmesi mümkün değildir. Madencilğin çevreye olan olumsuz tesirlerini dikkate almamak imkânsızdır. Ülkemizdeki orman alanlarına rastlayan sahalarda yasal mevzuatlar çerçevesinde madencilik faaliyetlerine izin verilmektedir. Söz konusu mevzuatların gereği olarak maden üretimi tamamlanan sahaların rehabilitasyonu yapılmaktadır. Bu sahaların rehabilitasyonu ağaçlandırma çalışmaları şeklinde yürütülmekte iken, 4 Ocak 2008 tarihinden itibaren söz konusu çalışmaların daha ayrıntılı bir şekilde hazırlanan Rehabilitasyon Projelerine dayalı olarak yürütülmesi kararı alınmıştır. Ancak halen uygulamalar basit rehabilitasyon (ağaç dikme ve yeşillendirme) şeklinde yürütülmektedir. Oysa yurtdışındaki projeler incelendiğinde eski maden ocakları katma değeri yüksek faaliyet alanlarına dönüştürülmektedir. Lüks oteller, golf sahaları, müze ve su eğlence parkları eski maden sahalarını daha cazip hale getirmektedir. Bu tip ülkelerde maden sahaları kayıp alanlar olarak görülmemekte aksine katma değeri yüksek alanlar olarak bilinmektedir. Türkiye’de bu yöntem uygulanmalı, sadece ağaçlandırma yapılarak rehabilitasyon uygulanmamalı, insanlar için yeni faaliyet ve rekreasyon alanları oluşturulmalıdır. Aksi takdirde madencilik her zaman çevreyi katleden, canlıya zarar veren bir sektör olarak anılacaktır.

KAYNAKLAR

- Anonim, (2014). T.C. Maden Sahaları Rehabilitasyon Acil Eylem Planı Taslağı (2014-2018), Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara.
- Bilgin, Ö., Koç, E., (2013). Mermer Madencilğinde Çevresel Etkiler, Madencilik Türkiye Dergisi, sayı 28, 68-79.
- Bozkurt, E. (2016). mermer Ocakları İçin Yeniden Kullanım Önerisi <http://www.arkitera.com/haber/27987/mermer-ocaklari1>
- Bell, L.C. (2001). Establishment of native ecosystems after mining — Australian experience across diverse biogeographic zones, Ecological Engineering Volume 17, Issues 2–3, Pages 179–186.
- Christopher J. B. ve Noske, R. A. (2010). Succession in Bird and Plant Communities over a 24-Year Chronosequence of Mine Rehabilitation in the Australian Monsoon Tropics, Restoration Ecology Volume 18, Issue 6, pages 855–864, November 2010

- Demir, B.G., Güngör, N. (2013). Mermer Madenciliği ve Çevre, İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi 20, s.7-14.
- İpekeşen, E. (2014). Böylesi de Oluyormuş, <http://www.hurriyet.com.tr/ekonomi/boylesi-de-oluyormus-27722741>
- Karakurt, H. (2018). Maden sahalarının rehabilitasyonu. Afyon Sandıklı OGM-ÇEM Etüt Proje ve Fizibilite Eğitim Programı, 25-28 Nisan 2015.
- Kalaycı, M. ve Uzun, O. (2017). Madencilik Sonrası Maden Alanlarının Rekreatif Amaçlı Değerlendirilmesi, Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Dergisi, Cilt: 2, Sayı: 2, Sayfa: 232-244.
- Kütahya'nın Sesi, (2019). <http://www.kutahyaninsesi.com/haber-eski-maden-sahasi-simdi-yine-yemyesil-7894.html>
- Kaliampakos, D.C., Mavrikos, A. (2006). Introducing a new aspect in marble quarry rehabilitation in Greece, Environmental Geology, Volume 50, Issue 3, pp 353-359
- Roche, S., Koch, JM, Dixon JM., (1997). Smoke enhanced seed germination for mine rehabilitation in the southwest of Western Australia., Restoration Ecology, pp. 191-203.

TÜRKİYE MADENCİLİK SEKTÖRÜNDE DOĞAL TAŞ İHRACATININ DEĞERLENDİRİLMESİ EVALUATION OF EXPORTS OF NATURAL STONE IN TURKEY MINING SECTOR

A. C. Özdemir^{1,*}, E. Kahraman¹

¹Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü
(*Sorumlu yazar: acozdemir@cu.edu.tr)

ÖZET

Ülkemizde doğal taş madenciliği ve buna bağlı olarak doğal taş ihracatı önemli bir yere sahiptir. Doğal taş sektörünün ülke ekonomisine olan katkısı düşünüldüğünde sektörün geliştirilmesi için sürekli çalışmalar yürütülmektedir. Bu çalışmada, doğal taş sektörünün özellikle ülke ekonomisi üzerindeki etkinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Ülkemizde gerçekleştirilen doğal taş üretim miktarları ve elde edilen ihracat gelirleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Sonuç olarak, doğal taş sektörünün ülke ekonomisi ve madencilik sektörü açısından önemi bir kez daha anlaşılmış ve sektörün geliştirilmesi için öneriler getirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Doğal taş, Türkiye, üretim, ihracat

ABSTRACT

In our country, natural stone mining and consequently natural stone exports have an important place. Considering the contribution of the natural stone sector to the national economy, it is known that continuous studies are carried out for this sector. In this study, it is aimed to evaluate the impact of natural stone sector especially on national economy. Natural stone production amounts and export revenues realized in our country are examined in detail. As a result, the importance of the natural stone sector in terms of the national economy and mining sector has been understood once again and suggestions have been presented for the development of the sector.

Keywords: Natural stone, Turkey, production, export

GİRİŞ

Doğal taşlar eski çağlardan bu yana gerek yapı sektöründe gerekse sanatsal faaliyetlerde kullanılan en önemli malzeme olarak bilinmektedir. Tarih boyunca iç ve dış mekân mimarisi, inşaat, kaplama, döşeme, süsleme, heykelticilik gibi faaliyet alanlarında kullanılan doğal taşlar atmosfer etkilerine dayanıklılığı, izlenebilirliği ve geniş kullanım olanaklarıyla günümüz modern yapı sektörlerinde de önemini korumaktadır. Bu önem son yıllarda dünya çapında ve özellikle Türkiye'de doğal taş sanayi ve ticaretinin yükselişine paralel olarak artmaktadır (İTO, 2011).

Doğal taş terimi hem karbonat kayaçlarını hem de granit ve volkanik türü kayaçları içermektedir. Doğal taşlar fiziksel yapısı ve cila alma niteliğine göre; normal doğal taşlar (mermer, kalker, dolomit, konglomera vs.), sert doğal taşlar (granit, siyenit, serpantin, vs.), traverten ve oniks olarak sınıflandırılmaktadır (Yılmaz ve ark., 2003; Bilim ve ark., 2018).

Eski çağlardan bu yana farklı amaçlarla kullanılan doğal taşlar, dünya ticaretinde en çok talep gören ürünler arasında yer almaktadır. Dünya doğal taş piyasasındaki satış hacmi, üretim miktarı ve rekabet her geçen yıl artış göstermektedir. Türkiye, doğal taş rezervleri açısından önde gelen ülkeler

arasında bulunmaktadır. Fakat sadece doğal taş rezervine sahip olmak dünya ticaret piyasasındaki yerimizi korumaya ve ülkemiz ekonomisine doğal taş üretiminin katkısını arttırmaya yetmemektedir. Bununla birlikte gelişen teknolojiye ayak uydurarak üretim yöntemlerimizin aksayan yönlerini revize etmeli ve daha fazla karlılık sağlayacak ekonomik çalışmalar yürütmemiz gerekmektedir. Dünya piyasasında güç sahibi olan rakipler incelendiğinde, İtalya'nın teknolojik altyapısı ve yatırım maliyetlerini minimum düzeye indirebilmesi ile rekabetçi bir avantaja sahip olduğu bilinmektedir. İran, Hindistan ve Çin gibi ülkeler ise ucuz işçilik gibi üretim maliyetini azaltan avantajlara sahip oldukları için son yıllarda rekabet güçlerini arttırmaktadırlar (Eraslan ve ark., 2008).

Bu çalışma, madencilik sektöründe önemli bir yeri olan doğal taş üretiminin ülkemiz ekonomisindeki yerini değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu amaç doğrultusunda, Türkiye'nin özellikle son yıllara ait doğal taş üretim ve ihracat gelirleri detaylı olarak incelenmiştir. Çoğunlukla İstanbul Maden İhracatçıları Birliği'nden elde edilen veriler kullanılarak farklı grafikler hazırlanmış ve yorumlanmıştır.

DÜNYA DOĞAL TAŞ SEKTÖRÜ

Dünya doğal taş rezervleri incelendiğinde Alp-Himalaya kuşağı içinde kalan Portekiz, İspanya, İtalya, Yunanistan, Türkiye, İran, Pakistan gibi ülkelerde karbonat kökenli doğal taş (mermer, kireçtaşı, traverten ve oniks) rezervlerinin fazla olduğu görülmektedir (Şekil 1). İspanya, Norveç, Finlandiya, Ukrayna, Rusya, Pakistan, Hindistan, Çin, Brezilya ve Güney Afrika'da ise işletilebilir magmatik kayaç sınıfındaki doğal taş rezervlerinin yoğunlaştığı dikkati çekmektedir. Asya kıtasında başta Çin olmak üzere, Hindistan, İran önemli üretim potansiyeline sahip olan ülkelerdir. Avrupa kıtasında ise İtalya, İspanya, Türkiye ve Portekiz doğal taş üretiminde ve ticaretinde söz sahibi ülkeler arasında yer almaktadır (MTA, 2018).



Şekil 1. Dünya doğal taş rezerv haritası (BAKA, 2011)

Dünya pazarındaki üretici ülkelere bakıldığında zaman toplam doğal taş üretimin yaklaşık %80'ini Çin, Hindistan, İtalya, İran, Türkiye, İspanya ve Brezilya'nın oluşturduğu görülmektedir.

TÜRKİYE DOĞAL TAŞ SEKTÖRÜ

Ülkemizde doğal taşın tarihçesi oldukça eskiye dayanmaktadır. Efes kazılarında M.S. 2. yüzyılda doğal taş tarihinde blok kesiminde kullanılan ilk lamalı katrak bulunmuştur. Yine Selçuk (İzmir)

yakınlarında antik ocaklarda tel kesmenin ilk prototipinin izine rastlanılmıştır. Bu bulgular bize Türkiye topraklarında yaklaşık 2000 yıldır doğal taş işletme teknolojisinin varlığını ispatlamaktadır (Çetin, 2003).

Dünyanın hemen hemen her yerinde ülkemize ait doğal taşlar inşaat ve mimari yapılarda kullanılmaktadır. Bu kullanımlara örnek verecek olursak; Vatikan-Saint Pierre kilisesi, ABD-Beyaz Saray, Alman ve Fransa Parlamento binaları, ABD Temsilciler Meclisi binası ve dünyanın dört bir yanındaki pek çok lüks otelin ıslak zeminlerinde yine Türk mermeri tercih edilmiştir (TCTB, 2012).

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. Bu değerlere göre Türkiye'nin dünya doğal taş rezervinin yaklaşık %40'ına sahip olduğu düşünülmektedir. Literatürde yer alan araştırmalarda, Türkiye'de 80'nin üzerinde değişik yapıda, 120'nin üzerinde değişik renk ve desende mermer rezervi belirlenmiştir. Başlıca doğal taş türlerimiz, çeşitli renk ve desenlerde kristalin kalker (mermer), kalker, traverten oluşumlu kalker (oniks), konglomera, breş ve magmatik kökenli kayalardan (granit, siyenit, diyabaz, diyorit, serpantin, vb.) oluşmaktadır. Türkiye'de üretilen ve uluslararası piyasada en tanınmış doğal taşların ticari isimleri Çizelge 1'de verilmiştir. Rezervlerimiz, mermer çeşitliliği ile birlikte değerlendirildiğinde, sektörün önemli bir istihdam kaynağı oluşturduğu ve dünya pazarlarında önemli bir yere sahip olduğumuz görülmektedir (MTA, 2018).

Çizelge 1. Türkiye'de üretilen ve uluslararası piyasada tanınmış doğal taşların Ticari İsimleri (FKA, 2011)

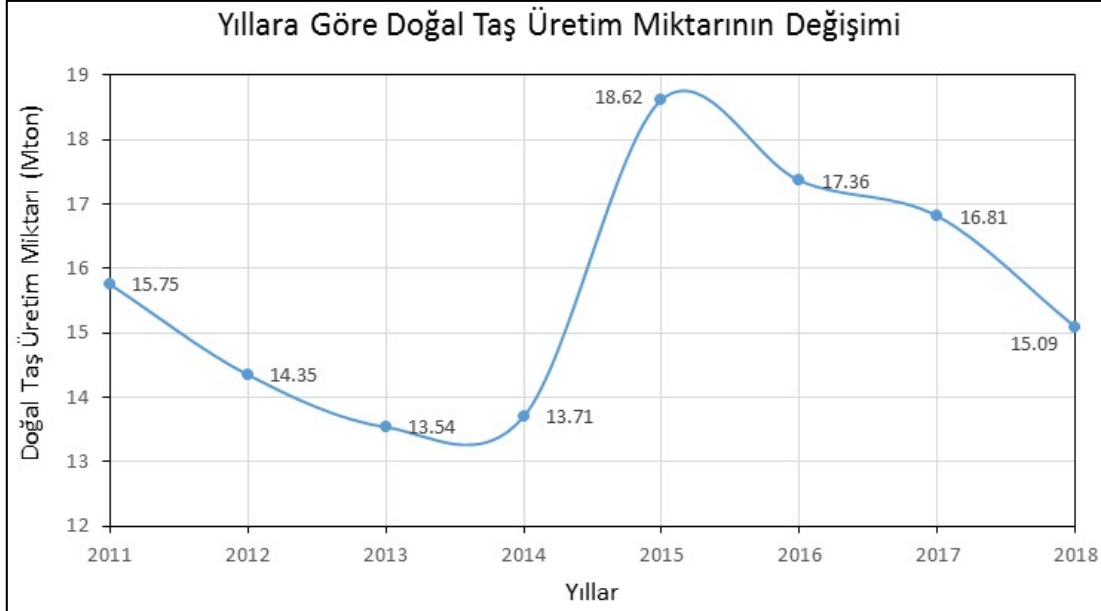
Marmara–Muğla-Afyon-Kırşehir-Uşak Beyaz	Gölpazarı-Sivas-Söğüt-Sivrihisar-Diyarbakır-Bartın- Akhisar Bej	Kırşehir-Karacabey-Akhisar–Toros Siyahı
Elazığ Petrol Yeşili-Sunta-Vişne-Siyah	Denizli-Hazar-Muğla Pembe	Milas Leylak
Burdur-Kahverengi Bej	Bilecik Pembe-Gül Kurusu	Osmaniye Vişne
Ege Bordo (Muğla)	Efes Güneşi (Balıkesir)	Leopar

Türkiye'de, doğal taş rezervi Anadolu ve Trakya hattı boyunca geniş bir bölgeye yayılmıştır. Ülkemiz doğal taş rezervlerinin bölgesel dağılımı Şekil 2'de verilmiştir. En fazla doğal taş rezervine sahip olan bölgemizin Ege Bölgesi olduğu görülmektedir.



Şekil 2. Ülkemiz doğal taş rezervi bölgesel dağılımı

Ülkemiz doğal taş sektörü üretim miktarları incelendiğinde 2011 yılından 2014 yılına kadar üretim miktarında bir düşüş eğilimi olduğu görülmüştür. Ancak, 2015 yılında üretimde artış ivmesi kazanılmış ve son 8 yılda en fazla üretimin yapıldığı yıl olarak tespit edilmiştir. 2015 yılından sonra ise üretimde tekrar kademeli bir düşüş eğilimi gözlenmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Ülkemiz doğal taş üretim miktarının yıllara göre değişimi

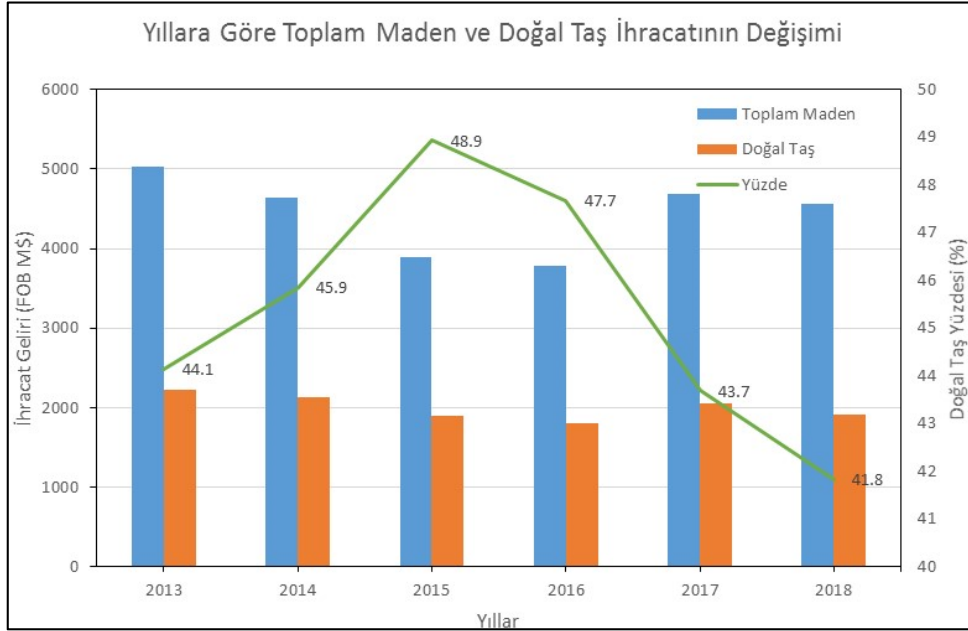
2018 ve 2019 yıllarının ilk altı ayında gerçekleşen doğal taş üretim miktarları karşılaştırıldığında; 2019 yılının ilk altı ayında (Mayıs ayı hariç) üretim miktarlarında azalma olduğu görülmektedir (Şekil 4). Bu durumun, 2019 yılının ilk altı ayında doğal taşta olan talebin azalmasında dolayı kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4. 2018-2019 yıllarının ilk altı ayında gerçekleştirilen doğal taş üretim miktarları

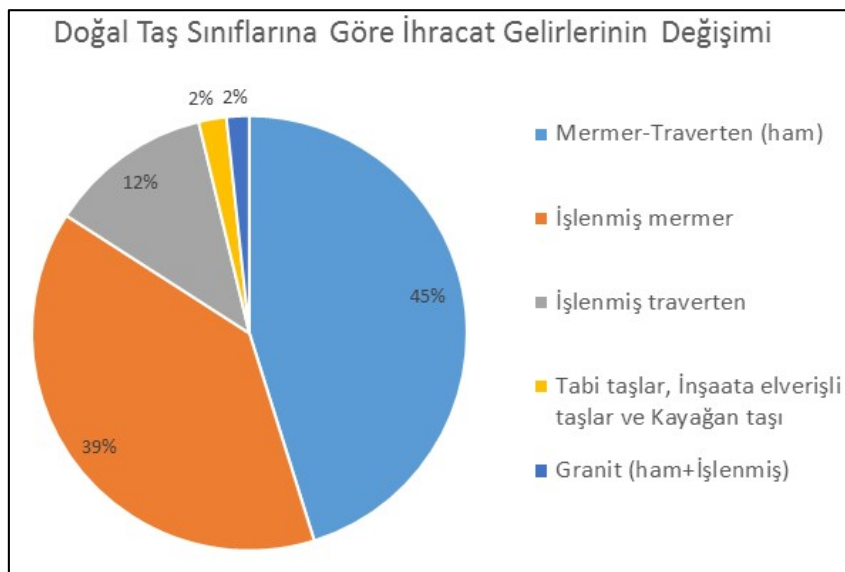
TÜRKİYE DOĞAL TAŞ İHRACATI

Ülkemizde 2013-2018 yılları arasında toplam maden ihracatı gelirleri ile doğal taş ihracatı gelirleri incelendiğinde gelirlerde düzenli bir artış veya azalış eğilimin olmadığı ve gelir dalgalanması olduğu görülmektedir. Ayrıca, toplam madencilik ihracatından elde edilen gelirin yaklaşık %40'ını doğal taş sektörünün oluşturduğu görülmektedir (Şekil 5).



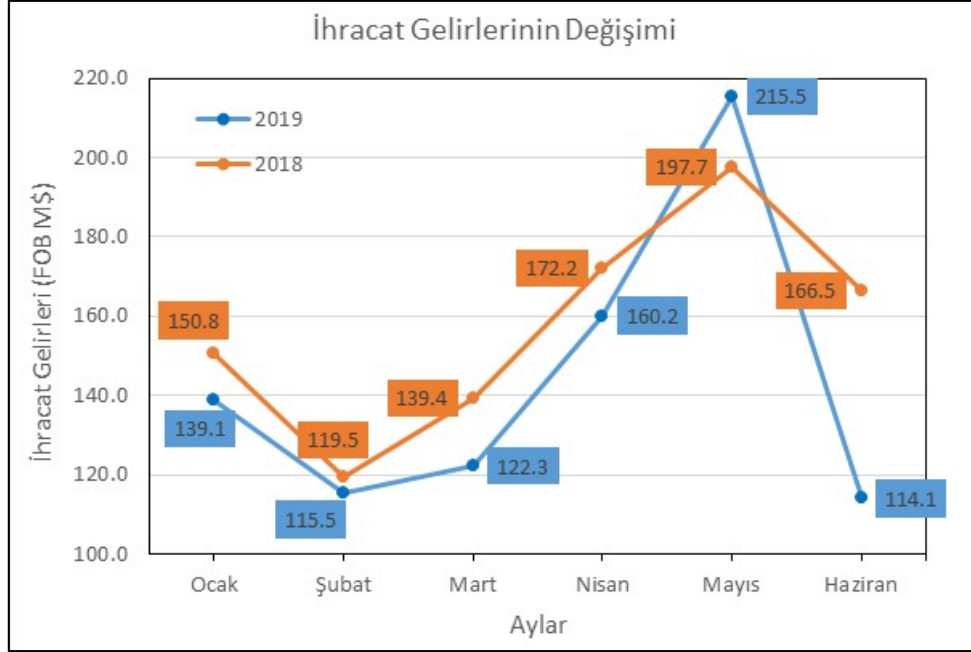
Şekil 5. 2013-2018 yılları madencilik ve doğal taş ihracatı gelirleri

İhracat ürünü olan doğal taşlar; Mermer-Traverten (ham), işlenmiş mermer, işlenmiş traverten, tabi taşlar-inşaata elverişli taşlar-kayağan taşı ve granit (ham+işlenmiş) olarak sınıflara ayrılmıştır. 2018 yılı doğal taş sınıfına göre gerçekleşen ihracat gelirleri incelendiğinde en fazla gelirin %45'lik oran ile ham mermer-traverten sınıfından elde edildiği görülmüştür (Şekil 6).



Şekil 6. Doğal taş sınıfına göre ihracat gelirleri değişimi

Bu çalışmada son olarak, 2018 ve 2019 yıllarının ilk altı ayında doğal taş üretiminden elde edilen ihracat gelirleri değerlendirilmiş ve bu iki yıl arasındaki değişim Şekil 7'de gösterilmiştir. Burada üretim miktarına paralel bir dağılımın ortaya çıktığı görülmüştür. 2019 yılında Mayıs ayı dışında kalan zaman dilimlerinde 2018 yılına göre daha düşük ihracat gelirleri elde edildiği anlaşılmaktadır.



Şekil 7. 2018-2019 yıllarının ilk altı ayında gerçekleştirilen doğal taş üretim ihracat gelirleri değişimi

SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, Dünyada ve ülkemizde doğal taş sektörünün önemi üzerine durulmuştur. Özellikle son yıllara ait doğal taş üretim miktarı ve ihracat gelirleri detaylı olarak incelenmiştir. Ülkemizde 2019 yılında (ilk 6 ay) bir önceki yıla göre doğal taş üretim miktarında ve buna bağlı olarak doğal taş ihracat gelirlerinde bir azalma olduğu görülmüştür. Ayrıca, toplam maden ihracat gelirlerinin %40'ından fazlasının doğal taş sektörüne ait olduğu belirlenmiştir ve bu nedenle doğal taş sektörünün ekonomik olarak önemini vurgulanmıştır. Ülkemizde özellikle 2019 yılında yaşanan ekonomik dalgalanmadan kaynaklı olarak doğal taş üretiminin ve ihracatının olumsuz yönde etkilendiği düşünülmektedir. Ülke ekonomisi için oldukça büyük öneme sahip olan doğal taş sektörü alınacak önlemlerle daha ileri noktalara taşınarak ülkemiz ekonomisine daha fazla destek sağlayacağı düşünülmektedir. Sonuç olarak ülkemiz doğal taş sektörünün Dünya piyasasında yerini koruması ve ihracat gelirlerinin artırılması amacıyla bazı stratejik önlemlerin alınması önerilmektedir. Bu önlemler;

- Gelişen teknolojiye ayak uydurarak doğal taş üretiminde klasik yöntemlerin yerine daha modern yöntemlerinin uygulaması sağlanmalıdır,
- Doğal taş üreticileri devlet tarafından desteklenmeli, örnek olarak ucuz yakıt ve elektrik kullanmaları sağlanmalıdır,
- Üretilen doğal taşların işlenmiş ve nihai ürün olarak pazarlanması ve daha fazla gelir sağlanması hedeflenmelidir,
- İhracat gelirlerini arttırmak amacıyla ülkemize ait doğal taş çeşitliliği uluslararası sempozyum, fuar ve sergilerde gözler önüne serilmeli ve dünya pazarına sunulmalıdır,
- Üretilen doğal taşların deniz, kara ve demir yolları ile düşük maliyetle nakliye imkanı sağlanmalıdır,
- Doğal taş üreticilerinin birlik, dernek ve odalar şeklinde organize olmaları sağlanmalıdır.

KAYNAKLAR

- BAKA (Batı Akdeniz Kalkınma Ajansı), (2011). Doğal Taş Sektör Raporu, 11s.
- Bilim, N., DüNDAR, S., ve Kekeç, B. (2018). Doğal Taş Üretimimizin Genel Görünümü ve Ülkemiz İçin Önemi, ISAS 2018, ss.117-120, Samsun, Türkiye.
- Çetin, T. (2003). Türkiye Mermer Potansiyeli, Üretimi ve İhracatı, Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 23 (3), s. 243-256.
- Eraslan, H., İpçioğlu, İ., Haşit, G., ve Erşahan, B. (2008). Bilecik Bölgesi Mermer Sektörünün Uluslararası Rekabetçilik Analizi: Sektörel Sorunlar Ve Çözüm Önerileri, Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 5 (10), s. 193-217.
- FKA, (2011). Elazığ Mermer Raporu, 56s., Elazığ.
- İMİB (İstanbul Maden İhracatçıları Birliği), (2019). <http://www.imib.org.tr/tr/istatistikler-2-2/>, Erişim Tarihi: 15.09.2019.
- İTO (İstanbul Ticaret Odası), (2011). Doğal Taslar ve Çın Halk Cumhuriyeti Rekabeti, 182s., İstanbul.
- MTA (Maden Tetkik Arama), (2018). Dünyada ve Türkiye’de Doğal Taşlar, Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı, 40 s., Ankara.
- TCTB (Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı), (2012). Doğal Taş Sektörü Sektör Raporları, 6s, Ankara.
- Yılmaz, A.O., Çavuşoğlu, İ., Alp, İ., Kaya, R. ve Vıcıl, M. (2003). Doğu Karadeniz Bölgesi’nin Doğaltaş Potansiyeli ve Doğaltaş İşletmeciliği ile İlgili Sorunlar, MERSEM’2013 Bildiriler Kitabı, s. 435-448.

GÖBEKLİTEPE İNŞASINDA KULLANILAN YAPI TAŞLARININ TEKNİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI
INVESTIGATION OF TECHNICAL CHARACTERISTICS OF BUILDING STONES USED IN CONSTRUCTION OF
GÖBEKLİTEPE

A. Sarıışık^{1*}

¹Harran Üniversitesi, Müh. Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü
 (*Sorumlu yazar: sariisikali@gmail.com)

ÖZET

Bu çalışmada Neolitik döneme ait ve Anadolu'da inşa edilen ilk tapınak olma özelliğine sahip olan Göbeklitepe'nin yapı taşlarının teknik özellikleri araştırılmıştır. Göbeklitepe, bir dip kaya üzerine oyularak yerleştirilmiş, ağırlıkları 40 ve 60 ton arasında olduğu tahmin edilen, boyları üç ila altı metre olan "T" şeklinde dikilitaşlardan oluşan, spiral ve oval yapıda düzenlenmiş alanlardan oluşmaktadır. Göbeklitepe taşları, çakmaktaşı aletlerle yapıldığı düşünülen pek çok motif, kabartma, soyut semboller ve heykellerle bezelidir. Ünlü "Urfa Heykeli" modelindeki baş şeklinde heykellere de rastlanmıştır. Birbirine birleştirilmiş hayvan heykellerinden totem direkleri de bulunmuştur. Göbeklitepe'nin inşa edildiği yapı taşlarının mühendislik özellikleri incelenmiştir. Yapı taşı örneklerinde bir dizi mühendislik karakterizasyonu testi ve analizi (mineralojik ve petrografik özellikler; kimyasal, fiziksel, mekanik ve yalıtım özellikleri) yapılmıştır. Sonuçlar, Urfa yapı taşının mimaride kullanımının uygun olduğunu göstermektedir.

Anahtar Sözcükler: Göbeklitepe, Dikilitaşlar, T biçimli taşlar, Urfa Heykeli, Yapı taşı, Teknik özellikler

ABSTRACT

In this study, the technical characteristics of the building stones of Göbeklitepe, which is the first temple built in Neolithic period in Anatolia, were investigated. Göbeklitepe consists of spiral and oval structures arranged on a bottom rock consisting of T-shaped obelisks with a length of three to six meters, estimated to weigh between 40 and 60 tons. Göbeklitepe stones are decorated with many motifs, reliefs, abstract symbols and sculptures that are thought to be made with flint tools. Head-shaped sculptures in the famous "Urfa Statue" model were also found. The totem poles were also found among the animal statues. The engineering characteristics of samples obtained from building stones of Göbeklitepe were investigated. A series of engineering characterization tests and analyses (mineralogical and petrographic characteristics; chemical, physical, mechanical, and insulation properties) were conducted on the building stone samples. The results show that Urfa building stone is suitable for use in architecture.

Keywords: Göbeklitepe, Obelisks, T-shaped stones, Urfa Statue, Building stone, Technical characteristics

GİRİŞ

Yukarı Mezopotamya insanlık tarihinin bilinen en kadim yerleşim yeridir. Ülkemizin güneydoğu bölgesinde bulunan Urfa ve Harran'ı içine almaktadır. Dinlerin ve milletlerin ortaya çıktığı önemli inanç merkezi olan Sümer, Asur, Bâbil ve Keldânî devletleri gibi, birçok medeniyet kurulmuştur (Özalp, 2016). Kazılar sonucunda keşfedilen Göbeklitepe'nin geçmişi 12 bin yıl öncesine dayanmaktadır.

Neolitik döneme (MÖ. 10.500 - MÖ. 7.500) ait olan Göbeklitepe Şanlıurfa şehir merkezinin 15 km kuzeydoğusunda yer alan ve Karaharabe (Örencik) Köyü'nün 2,5 km doğusunda bulunmaktadır (Schmidt, 2007a). Kireçtaşlarından oluşan 200-300 m yüksekliğinde bir tepenin üzerine inşa edilen bu yapıdır. Kireçtaşı platosundan yukarıya doğru yükselen tepe (höyük), bir göbeğe benzediği için Göbeklitepe olarak isimlendirilmiştir. Bölgenin jeolojik yapısı bazalt ve kireçtaşından oluşmaktadır. Kalıntıların bulunduğu birinci tabakanın yumuşak yapıdaki topraktan oluşmakta ve bu toprak tabakasında yöreye ait olmayan taş aletleri ve kemik kalıntılarının bulunmuştur (Kurt ve Göler, 2017).

1963 yılında, Göbeklitepe ilk defa İstanbul ve Chicago Üniversitelerinin Güneydoğu Anadolu Tarih öncesi Araştırma Karma Projesi kapsamında çalışmalar başlatılmıştır (Sümer, 2007). İlk yapılan bu çalışmalarda arkeolojik alanın gerçek değeri anlaşılamamıştır. Göbeklitepenin büyük kireçtaşı bloklarından yapılmış mezar kalıntısı olabileceği düşünülmüştür (Yalçın, 2011) 1994 yılında Alman arkeolog Klaus Schmidt tarafından buranın Neolitik Döneme ait olduğu keşfedilmiştir. Neolitik Çağ'a ait olduğu tespit edilen Göbeklitepe, ne tarım ne de yerleşim için kullanılmıştır (Başgelen, 2015). 1995 yılında Almanya Heidelberg Üniversitesi Tarih öncesi Enstitüsü tarafından kazı çalışmaları başlamıştır (Sümer, 2007). Klaus Schmidt bölgenin, diğer arkeolojik kazılarda bulunan Neolitik yerleşim yerlerinden farklı olduğunu tespit etmiştir. Kireçtaşı plato üzerinde kurulan Tepe'nin konumunu "ilginç" bulmuştur. Daha önce hiçbir yerde rastlanılmayan dinî yapılarda pek çok motif, kabartma ve soyut semboller tespit edilmiştir (Schmidt, 2007b). Anıtsal yapıların üzerinde hayvan figürlerinin ve sembollerin bulunduğu T biçimindeki dikili taşlar ve bu dikili taşlardan oluşan daire biçimleri bulunmaktadır. 2003 yılında yapılan jeofizik yöntemiyle yapılan taramalarda 20 adet daha Göbeklitepe yapısının bulunduğu belirlenmiştir (Başgelen, 2015).

Bu çalışmada Göbeklitepe'nin yapımında kullanılan yapı taşlarının mineralojik ve petrografik özellikler; kimyasal, fiziksel, mekanik ve yalıtım özellikleri incelenmiştir.

MALZEME VE YÖNTEM

Malzeme

Bu çalışmada teknik özellikleri araştırılacak, yapı taşı örnekleri, Göbeklitepe 15 km yakınında olan taş ocağından temin edilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Göbekli Tepe yer bulduru haritası

Göbeklitepe yerleşmesinin üzerinde yer aldığı yaklaşık 1 km uzunluğundaki kireçtaşı kaya platosunda, Göbeklitepe ile bağlantısı olan, Neolitik Dönem'e ait taş ocakları ve işlikler bulunmaktadır. Kaya platosunun güney sınırında Roma dönemine ait taş ocakları da bulunmaktadır [8]. Göbeklitepe platosunda Taş Çağına ait taş ocağı Şekil 2'de verilmiştir. Göbeklitepe kazı alanı görünümü Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 2. Göbeklitepe platosunda Taş Çağına ait taş ocağı



Şekil 3. Göbeklitepe kazı alanı görünümü

Yöntem

Yapı taşının mühendislik özelliklerini (fiziksel, mekanik, kimyasal, mineralojik ve petrografik analizler) belirlemek amacıyla TS EN standartlarına göre analizler yapılmıştır.

Doğal taş numunelerin aşağıda belirtilen fiziksel ve mekanik özellikleri ilgili standartlara göre AKÜ Maden Mühendisliği Bölümü, Doğal Taşlar Teknolojisi Laboratuvarında yapıldı. Bunlardan Mohs sertliği TS 6809'e göre, birim hacim ağırlığı ve yoğunluğu TS EN 1936'e göre, görünür ve toplam porozitesi TS EN 13755'e göre, eğilme dayanımı TS EN 12372'e göre, termal şok etkisiyle yıpranma direnci TS EN 14066, basınç dayanımı TS EN 1926'e göre ve ses ilerlemesi hızı TS EN 14579'e göre belirlendi. Civa porozimetresi cihazı (MICROMERITICS), toz veya yığınsal numunelerde por boyutu, por boyut dağılımı ve yüzey alanı ölçümleri ile kütleli yoğunluk tayininde kullanılmaktadır. 2-3 gram parça halinde numuneler kullanılır. Ultrases hızlarının belirlenmesi için ultrasonik test cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz ile numunelerin iki ucuna cihazın alıcı ve verici uçları yerleştirilerek ses geçiş süresi (T , μs) ölçülmüş, numunelerin uzunlukları dikkate alınarak aşağıdaki formül yardımı ile ses geçiş hızları (V) hesaplanmıştır. Bu deneyde, TS EN 14579 standardından yararlanılmıştır. TCI- Thermal Conductivity Analyzer marka cihaz numunelerin düz yüzeylerinde 1 cm kalınlığında 10x10 cm numune boyutundaki numuneler cihazın sensörü ile numunenin yüzeyi çok iyi şekilde temas ettirilerek, Termal iletkenlik ölçümleri yapıldı. Her bir analiz için 4 numune ve her bir numune yüzeyinden 3 ölçüm alındı, toplamda 12 ölçüm yapıldı. Termal şok etkisiyle yıpranmaya direncin tayini, TS EN 14066 standardına göre yapıldı. Doğal taşlarda ani sıcaklık değişimlerinin etkisi ile (termal şok) meydana gelebilecek muhtemel değişimlerin tayinine yönelik deney

metodunu kapsar. Deney numuneleri, 200x200x20 mm (± 2 mm) ebatlarında olmalıdır. Dona Dayanım Tayini TS EN 12371 standardından yararlanılmıştır.

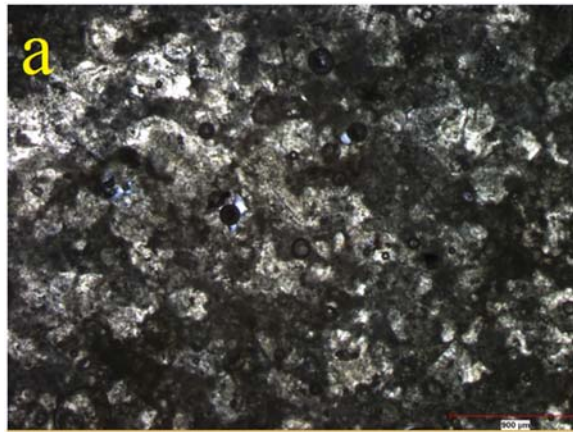
Termal şok etkisiyle yıpranmaya direncin tayini, TS EN 14066 standardına göre yapıldı. Doğal taşlarda ani sıcaklık değişimlerinin etkisi ile (termal şok) meydana gelebilecek muhtemel değişimlerin tayinine yönelik deney metodunu kapsar. Deney numuneleri, 200x200x20 mm (± 2 mm) ebatlarında olmalıdır. Dona Dayanım Tayini TS EN 12371 standardından yararlanılmıştır. Dona dayanım deneyleri Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Maden İşletme Laboratuvarında yapıldı. Cihaz -40 oC'ye kadar dondurmaktadır. Deney numuneleri değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutularak 0,1gr hassasiyetle tartıldı. Daha sonra deney örnekleri normal atmosferik şartlarda suya doymun hale getirilerek soğuk hava dolabına konuldu. Soğutma hızı yaklaşık 6 saatte -40 oC'ye düşecek şekilde ayarlandı. Soğuk hava dolabının sıcaklığı -20 oC'ye düştükten sonra yaklaşık 6 saat bu sıcaklıkta bekletilen deney örnekleri dolaptan çıkarılarak içinde yaklaşık 20 \pm 5 oC sıcaklıkta su bulunan kaba tamamen daldırıldı ve en az 6 saat bekletilerek buzların tamamen erimesi sağlandı. Sonra tekrar soğuk hava dolabına konuldu ve bu işlem 25 kez tekrarlandı. Donma çözülme işlemleri sonunda deney örnekleri 1100C \pm 50C sıcaklıkta etüvde değişmez ağırlığa erişene kadar kurutuldu 0,1gr hassasiyetle tartıldı.

DENEYSEL BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Yapılan mineralojik-petrografik inceleme sonuçları aşağıda verilmiştir. İkincil çatlak ve buna bağlı ikincil mineraller izlenmez numunenin petrografik-polorizan mikroskop ile saptanan bileşimi Çizelge 1'de verilmiştir (İTÜ, 2013). Kayaç yarı mikritik-yarı kristalize kireçtaşıdır. % 99 oranında kalsitten oluşur. Diğer bir ifadeyle CaCO₃ (kalsiyum karbonat) oranı %99'dur.

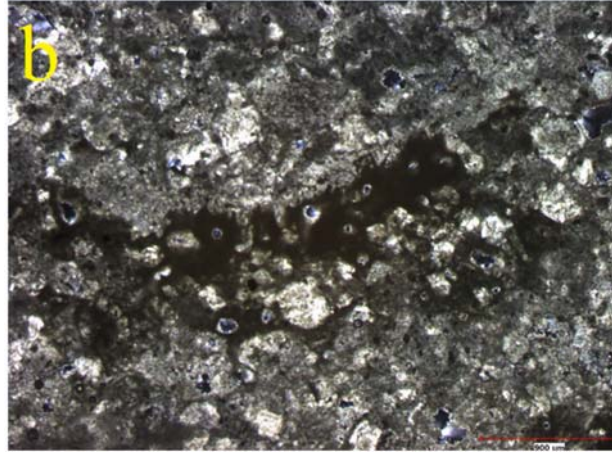
Çizelge 1. Yapı taşının kimyasal analizi

Numune	Bileşen (%)										
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	SrO	A.Z.	
Yapı Taşı	0,32	0,10	0,08	55,89	0,19	0,02	0,02	0,03	0,02	43,29	



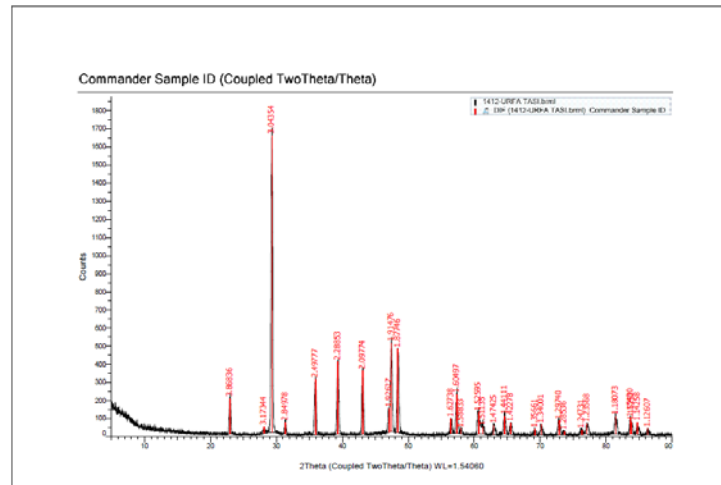
Şekil 4. Yapı taşı iri taneli kalsit kristalleri

Mikritik matriks içerisine yerleşmiş iri taneli kalsit kristallerinden oluşmaktadır. Yer yer gözenekli yapı sunan kayaç tamamen kalsit kristallerinden oluşmuş kireçtaşıdır (Şekil 4). Dış görünüş olarak ince taneli kumtaşı görünümündedir. Kayaç içerisinde belirli miktarda kil boyutlu kalsitler yer almaktadır (Şekil 5).

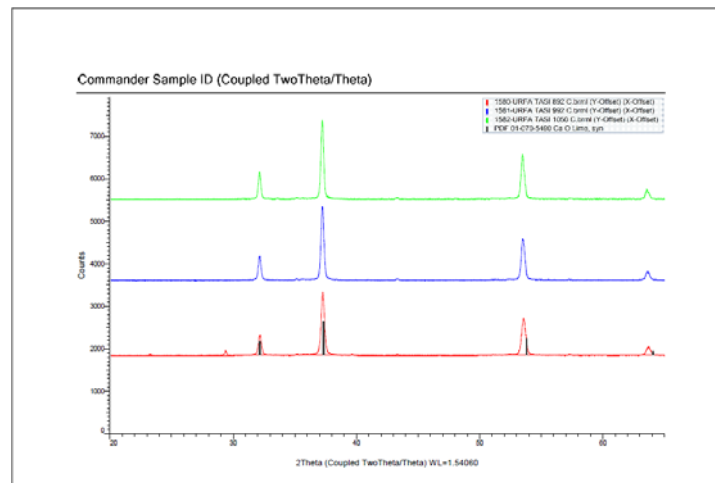


Şekil 5. Yapı taşı kil boyutlu kalsitler

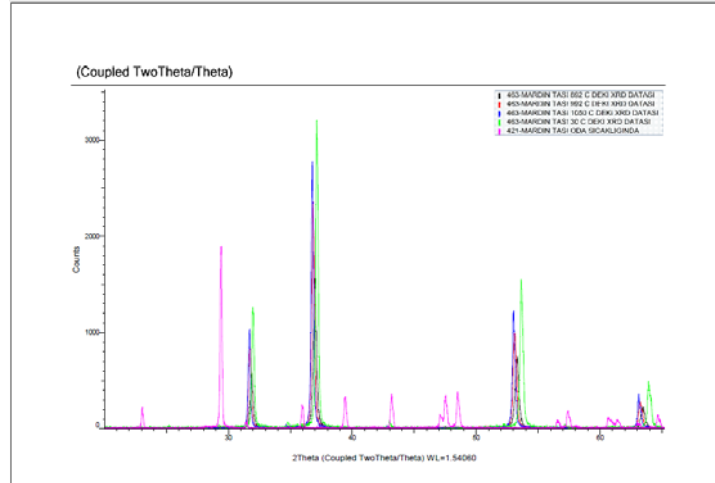
Diğer bir benzer yapıya sahip olan yapı taşına yapılan XRD analizinde yapı taşına yakın bir yapıya sahip olduğu görülmüştür. Yapı taşına yapılan XRD analizi Şekil 6'da verilmiştir. Aynı zamanda yüksek sıcaklık XRD grafiğinde Şekil 7'de ve 1050 OC'de yapılan yüksek sıcaklık XRD grafiği Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 6. Yapı taşının mineralojik (XRD) analizi

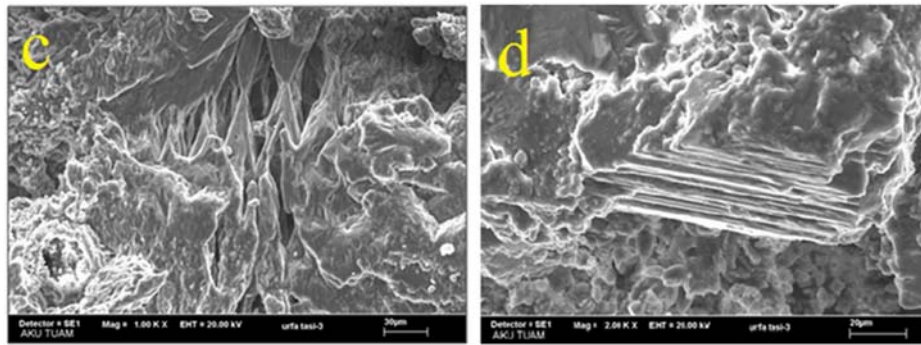


Şekil 7. Yapı taşının yüksek sıcaklık (XRD) analizi



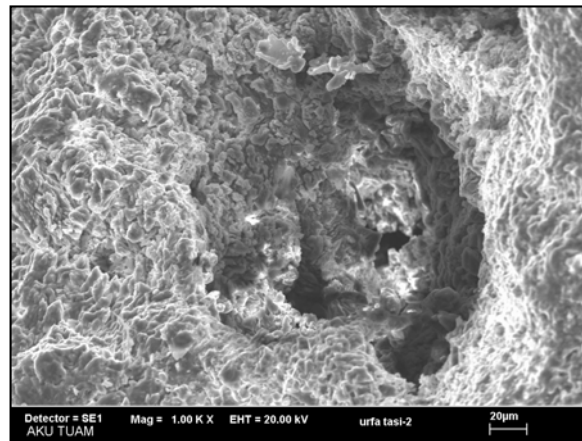
Şekil 8. Yapı taşının 10500C (XRD) analizi

Yapı taşı Şekil 9'da görülen SEM görüntülerinde 13 mikron ve 100 mikrona kadar değişen gözenekler kayacın genelinde görülmekle birlikte daha çok sparitik kalsit kristalleri etrafında yoğunlaştığı gözlenmiştir.



Şekil 9. Yapı taşı numunesi SEM görüntüsü

Kayacın gözenekleri içerisinde yer yer sarkıt ve dikit benzeri yapıların oluştuğu gözlenmiştir. Kayaç içerisindeki bazı sparitik kalsit kristalleri kırılırken dilinim düzlemleri boyunca kırılmıştır (Şekil 10).



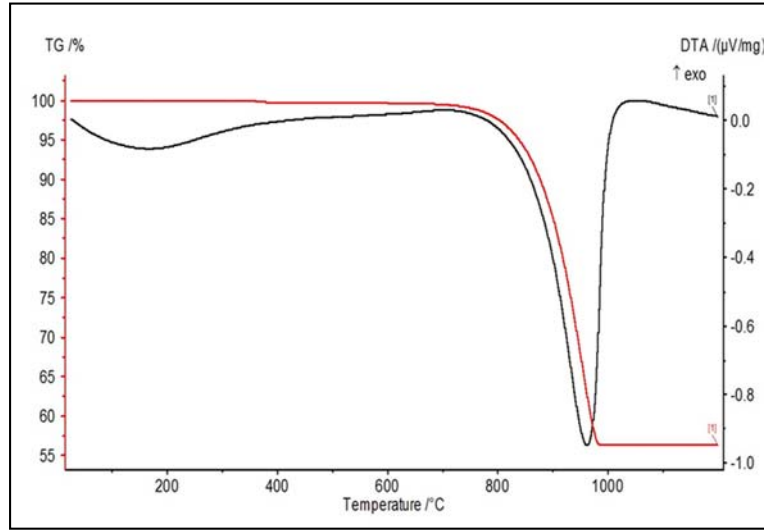
Şekil 10. Yapı taşı gözeneklerde yer yer birbirine bağlantı olduğu yapı

Kayacın yapısındaki gözenekler diğer numunelere göre daha fazla olduğu görülmüştür. Şekil 10'da gözeneklerin iç kısımlarında tane sınırları boyunca çimentolaşma oldukça zayıftır.

Yapı taşının civaporozimetre analizi sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir.

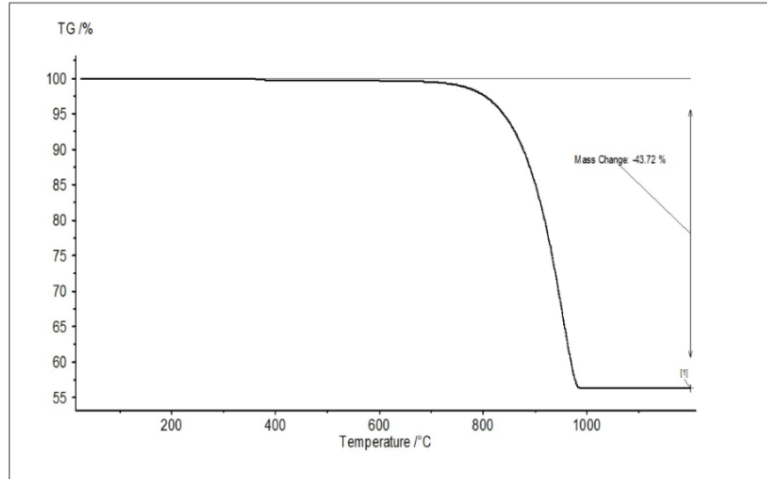
Çizelge 2. Yapı taşı numunelerin civa porozimetre analizi sonuçları

Numune Adı	Toplam gözenek alanı (m ² /g)	Medyan gözenek çapı (cilt) (nm)	Ortalama Gözenek Çapı (4V/A) (nm)	Yığın Yoğunluğu (g/mL)	Görünür yoğunluk (g/mL)	Porozite (%)
YT1	0,222	2383	19494	1,9944	2,5422	21,5476
YT2	0,225	1961	13327	2,1143	2,5131	15,8681
YT3	0,217	1449	15100	2,079	2,5061	17,0426
YT4	0,266	1348	11287	2,1257	2,53	15,9807
YT5	0,29	708	8283	0,7771	0,8151	4,6678
YT6	0,196	2342	20982	2,0131	2,5392	20,7193
Ortalama	0,236	1698,5	14745,5	1,8506	2,24095	15,971



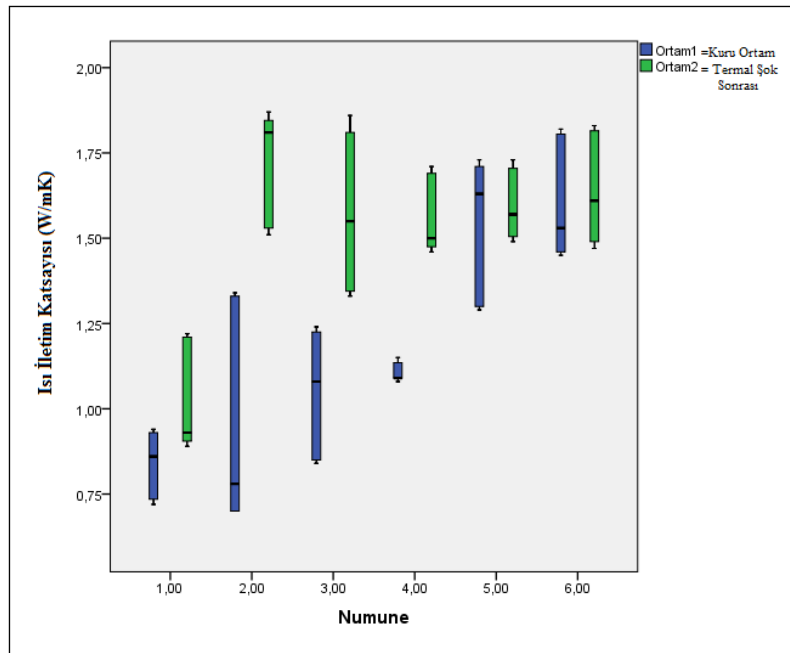
Şekil 11. Yapı taşı DTA analizi

Yapı taşı numunesi DTA grafiğini Şekil 11'de incelediğimizde endotermik reaksiyon gerçekleşmiştir. Yapı taşı numunesi TG analizi yapıldığında -43,72 mg kütle azalması oluşmuştur. Bu azalma Şekil 12'de görülmektedir.



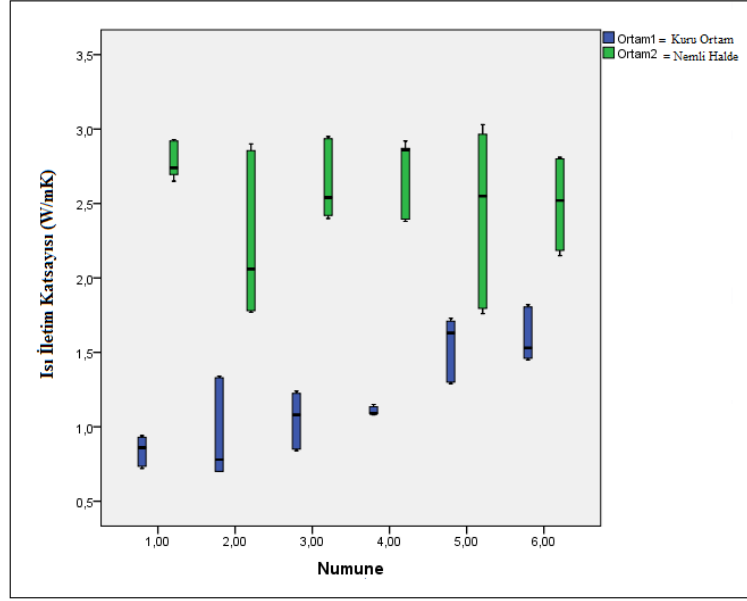
Şekil 12. Yapı taşı TG analizi

Yapı taşının sayısal değerlerin farklı bulunması bu ikilinin ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olduğunu göstermektedir. Kuru ortam ve termal şok sonrası, numune ikililerin ısı iletim katsayıları arasında anlamlı bir farklılık vardır. Kuru ortamdaki ısı iletim katsayısının ortalama değeri 1,1818 W/mK, termal şok sonrası ölçülen ısı iletim katsayısının ortalama değeri 1,5178 W/mK olarak bulunmuştur. Termal şok sonrası analizlerinin ortalamasının, kuru ortam analizlerinin ortalamasından daha büyük olduğu görülür. Yani termal şok sonrası (ortam-2'nin) ısı iletim katsayısının artışında etkili olduğu görülmüştür.



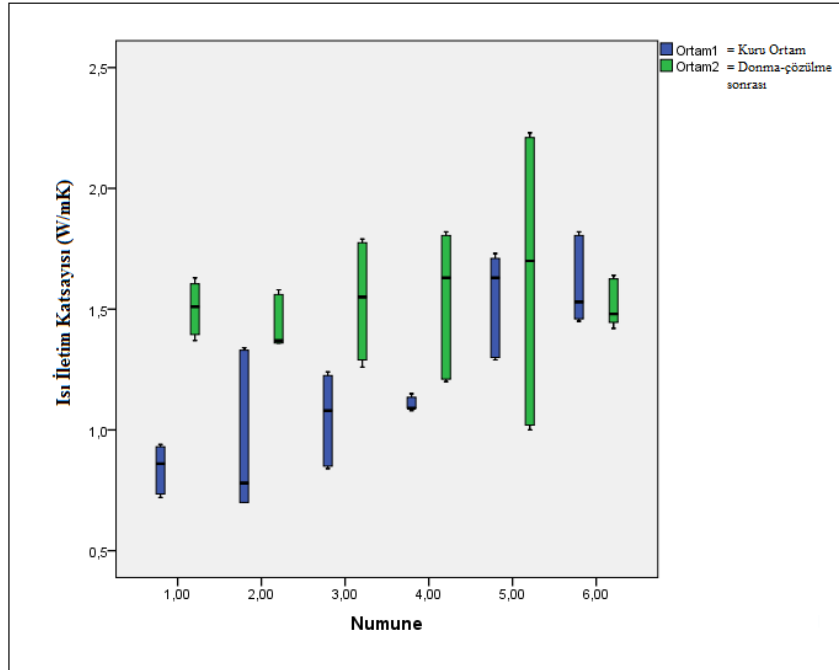
Şekil 13. Yapı taşı numunelerinin iki farklı ortamdaki ısı iletim katsayıları grafiği

Yapı taşının kuru ortamdaki ısı iletim katsayısının ortalama değeri 1,1818 W/mK, nemli halde ölçülen ısı iletim katsayısının ortalama değeri 2,5500 W/mK olarak bulunmuştur. Yapı taşların diğer ortamlara göre nemli haldeki ısı iletim katsayıları daha yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni doğaltaşın gözenekli yapısından kaynaklandığı görülmektedir.



Şekil 14. Yapı taşı numunelerinin iki farklı ortamdaki ısı iletim katsayıları grafiği

Yapı taşı numunelerinin kuru ortamdaki ve nemli haldeki ısı iletim katsayıları arasındaki değişim görülmektedir. Yapı taşının kuru ortamdaki ısı iletim katsayısının ortalama değeri 1,181 W/mK, donma-çözülme sonrası ölçülen ısı iletim katsayısının ortalama değeri 1,5309 W/mK olarak bulunmuştur. Yapı taşı numunelerinin kuru ortamdaki ve nemli haldeki ısı iletim katsayıları arasındaki değişim Şekil 15'de görülmektedir.



Şekil 15. Yapı taşı numunelerinin iki farklı ortamdaki ısı iletim katsayıları grafiği

SONUÇLAR

Yapı taşı örneklerinin fiziksel, kimyasal, mekanik ve içyapı özelliklerini belirlemek, bu özelliklerin ısı iletkenlik ile ilişkisini açıklamak için çeşitli deneyler yapılmıştır. Ayrıca elde edilen sonuçların TS EN doğal taşlar standartlarına uygunlukları incelenmiştir. Buna göre;

- Porozite ölçümlerinden civa porozite değerleri ortalama olarak, yapı taşının %15,971 porozite değerlerinin yüksek olmasından dolayı ısı ve ses yalıtımında kullanılması, diğer yapı taşlarına göre uygun görülmektedir.
- Özgül ağırlıkları, yapı taşının 2,25 g/mL, olarak ölçülürken TS EN 1936 (minimum 2,55 gr/cm³) standardına göre deneyler yapılmıştır.
- Görünür yoğunluk deney sonuçları ortalama Yapı Taşının 2,25 (g/mL), bulunmuştur. Gerçek yoğunlukları 1.85 (g/mL), bulunmuştur. Hacim kütlesi ile yoğunluk arasındaki farklılık porozitenin yüksek değerlerde olmasından kaynaklandığı görülmektedir.
- Hacimce su emme oranları Yapı Taşının %16,58 bulunmuştur. Ağırlıkça su emme oranları Yapı Taşının % 8,20 olarak bulunmuştur.
- Ultra ses geçiş hızı ölçüm sonuçları, Yapı Taşının 3,21 Km/s, olarak ölçülmüştür. Değerin yüksek çıkmasının ana nedeninin porozite olduğu açıkça görülmektedir.

Mekanik özelliklerin belirlenmesi ve sonuçların ısı iletkenlik ile arasındaki ilişkilerin yorumlanması aşamasında doğal taşların basınç dayanım testleri ve don sonrası kütle kayıpları belirlenmiştir. Sonuç olarak;

- Yapı Taşının tek eksenli basınç dayanımı 23 MPa belirlenmiştir. Kayacın açık ve kapalı gözenek miktarının standart değerlerden çok yüksek olması doğal taşların mukavemetini olumsuz yönde etkilediği görülmüştür.
- Basınç dayanımı yüksek olanın ısı iletkenliği yüksek, düşük olanın ısı iletkenliğinin düşük olduğu gözlenmiştir. Diğerlerine göre dayanımı yüksek fakat yalıtım özelliği azdır.
- Don sonrası meydana gelen kütle kayıpları ise yapı taşı için %0,4 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen don sonrası kütle kayıplarının ısı iletkenlik ile ters orantılı olduğu belirlenmiştir. Bunun dışında, TS EN 12371 (maksimum %5) standardına göre sınır değerlerin altında kaldıkları görülmüştür.
- Sıcak iklimlerde denenmiş başarısının yanı sıra, (-40 °C) kadar dona karşı dayanım kapasitesine sahiptir. Don kaybı deneyi sonucunda örneklerde gözle görülebilecek şekilde değişiklikler meydana gelmemiştir. İklim şartları da dikkate alındığında donma sonucu malzemede çatlama, yüzeyde tozlanma ve kabuk halinde dökülme veya dağılma söz konusu değildir. Ancak kayaçların gözenekleri içerisinde bulunan değişik boyuttaki kristallerden çok az bir kısmının döküldüğü görülmüştür.
- Yapı taşının sem analizi sonucu kayacın kristal yapıları tam olarak gözlenememekle birlikte yer yer yarı özşekillidir. Kayacın genel yapısını incelediğimizde kayacını oluşturan tanelerin birbiriyle kalsitik bir çimentoyla bağlandığı görülmüştür.

Yapı taşı numuneleri farklı ortamlardaki ısı iletim katsayıları tespit edilmiştir. Farklı ortamlara tabi tutularak deney öncesi ve deney sonrası değişimler gözlemlenmiştir. Numunelere kuru, termal şok, nemli, dona dayanım, etkilerine karşı ısı iletim analizi yapılmıştır. Numunelerin deney öncesi ve deney sonrası değerleri karşılaştırılarak değişim oranları tespit edilmiştir. Yapılan bu analiz, test ve deneylerin sonucunda erişilen bulgular aşağıda verilmiştir:

- Termal iletkenlik analizi sonucunda bulunan ısı iletim katsayıları, kuru ortamda, yapı taşının 1,18 k (W/mK), değerine sahip olduğu görülmüştür.
- Termal şok deneyi sonrası ısı iletim katsayıları yapı taşının 1,52 k (W/mK)'dir.

- Donma –çözülme sonrası ölçülen ısı iletim katsayıları yapı Taşının 1,53 k (W/mK) olarak bulunmuştur.
- Nemli halde ölçülen ısı iletim katsayıları yapı taşının 2,55 k (W/mK) olarak bulunmuştur. Nemli ortamın diğer ortamlardan farkı doğaltaşların ısı iletkenliğini arttırdığı ve yalıtım özelliğini düşürdüğü görülmüştür.
- Dört farklı ortama tabi tutulan numuneler için ölçülen ısı iletim katsayılarının değiştiğini özellikle yapı taşlarının civa porozimetre değerleri göz önüne alındığında nemli halde ısı iletim katsayılarında büyük bir artış gözlenmiştir.
- Numunelere uygulanan deneyler sonucunda numune yüzeylerinde aşırı derecede yıpranma ve çatlama meydana gelmemiştir. Numunelere uygulanan termal şok ve dona dayanım deneyinden sonra ölçülen ısı iletim katsayılarının nemli halde ölçülen ısı iletim katsayılarından düşük olduğu belirlenmiştir.
- Doğaltaşların farklı ortamlarda, belirlenen ısı iletim katsayıları bakımından değerlendirecek olursak genelinde kuru ortamda ısı iletim katsayıları daha düşük olduğu görülmüştür. Termal şok deneyi ve donma-çözülme deneyi sonrasında ölçülen ısı iletim katsayılarında çok az bir değişim olduğu gözlenmiştir. Fakat en çok nemli ortamda ısı iletim katsayılarının arttığı görülmüştür. Bu doğal taşların nemli iklimlerde kullanılması tavsiye edilmemektedir.

Göbeklitepe'nin doğal yollarla değil, bilinçli olarak üstünün toprakla örtüldüğü görülmektedir. Bu tapınakların toprakla örtülmesi, günümüze kadar bozulmadan ulaşmasını sağlamıştır. Test ve analiz sonuçlarında eğer bu yapının toprakla örtülmemiş olmasaydı, 12 bin yıl içerisinde atmosferik koşullarla bozunmaya uğrayarak, günümüze kadar gelemeceği tespit edilmiştir. Sonuç olarak Göbeklitepe'de 12 bin yıl önce kullanılan Urfa yapı taşlarının günümüzde mimaride kullanımı uygun olduğu tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR

Harran Üniversitesi, HÜBAP 15173 numaralı proje tarafından desteklenmiştir. Ayrıca AKÜ-BAP 14.HIZ.DES.62 numaralı proje tarafından desteklenmiştir. Projede atölye, makina ve teçhizat imkânları ile projeyi destekleyen dolayı AKÜ-TUAM ve AKÜ-DAL laboratuvar yöneticilerine ve çalışanlarına, katkı koyan Üniversitelerimize teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- Başgelen, N. (2015). Nevali Çori/Veba Vadisi'nden Göbekli Tepe'nin Dilek Ağacına: Klaus Schmidt. Aktüel Arkeoloji Dergisi, 46:35.
- İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ). (2013). Doğal Taş Numunesi Hakkında, Teknik Rapor. No:853, İTÜ Deprem Mühendisliği ve Afet Yönetimi Enstitüsü, İstanbul, 5.
- Kurt, A.O. ve Göler, M.E. (2017). Anadolu'da İlk Tapınak: Göbeklitepe. Cumhuriyet İlahiyat Dergisi, 21(2), 1107-1138.
- Özalp, H. (2016). İnsanlığın En Eski Tapınağı Göbeklitepe Teolojik Olarak Bize Ne Söyler. Bilimname, 30. 1-60.
- Schmidt, K. (2007a). Göbekli Tepe", Türkiye'de Neolitik Dönem içinde, ed. Nezir Başgelen ve Mehmet Özdoğan, İstanbul: Arkeoloji ve Sanat Yayınları, 115.
- Schmidt, K. (2007b). Göbekli Tepe En Eski Tapınağı Yapanlar, ed. Rüstem Aslan, İstanbul: Arkeoloji ve Sanat Yayınları, 107.
- Sümer, G. (2007). Anadolu'da Neolitik Dönemde Tanrı ve Tanrıça. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, TS699, Türk Standartları, 2009, Doğal Yapı Taşları-İnceleme ve Laboratuvar Deney Yöntemleri, TSE, Ankara.
- TS EN 12371, Türk Standartları, 2009, Doğal Taşlar Deney Metotları-Dona Dayanım Deneyi, TSE, Ankara.
- TS EN 12440, Türk Standartları, 2009, Doğal Taşlar Deney Metotları-Açık Hava Etkisiyle Görünüş Değişikliğinin Tayini, TSE, Ankara.

- TS EN 1926, Türk Standartları, 2006, Doğaltaşlar-Deney Metotları-Basınç Dayanımı Tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 13755, Türk Standartları, 2006, Doğaltaşlar-Deney Metotları-Atmosfer Basıncında Su Emme Tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 14579, Türk Standartları, 2006, Doğal Taşlar-Deney Metotları-Ses Hızı İlerlemesinin Tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 1936, Türk Standartları, 2001, Doğal Taşlar-Deney Metotları-Gerçek Yoğunluk, Görünür Yoğunluk, Toplam ve Açık Gözeneklilik Tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 14066, Türk Standartları, 2009, Doğal Taşlar Deney Metotları-Termal Şok Etkisiyle Yıpranma Direncinin Tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 12371, Türk Standartları, 2003, Doğal Taşlar-Deney metotları-Dona Dayanım Tayini, TSE, Ankara. 268.
- Yalçın, T. (2011). Çanak Çömleksiz Neolitik Dönem’de Yukarı Mezopotamya’da Küçük Taş Eserler, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, 11.

TEPECİK KÖYÜ (ÇAVDARHİSAR) KÜTAHYA MERMERLERİNİN JEOLJİSİ VE MİNERALojİK-PETROGRAfİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF GEOLOGY AND MINERALOGIC-PETROGRAPHIC PROPERTIES OF KÜTAHYA MARBLE IN TEPECİK VILLAGE (ÇAVDARHİSAR)

M. Bağcı^{1,}, C. Başaran¹, A. Yıldız¹, A. Keskin¹*

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar

*(*Sorumlu yazar:mbagci@aku.edu.tr)*

ÖZET

Çalışma alanı, Kütahya ili Çavdarhisar İlçesinin 9 km kuzeyinde Tepecik ve Örencik Köyleri çevresinde yer almaktadır. Çalışma alanının en yaşlı kayalar mikaşist, kalkışist, kuvarsit gibi kayalardan oluşan Paleozoyik yaşlı Sarıcasu Formasyonudur. Beyaz, gri ve açık sarı renklere sahip mermerlerden oluşan Arıkaya Formasyonu Sarıcasu Formasyonunun üstünde üzerlenir. Marn ve kireçtaşı birimleri içeren Alt - Orta Miyosen yaşlı Emet formasyonu ve Kumtaşı, Çakıtaşlarından oluşan Alt Pilyosen yaşlı Çökköy Formasyonu mermerlerin üzerine uyumsuzlukla gelmektedir. Kum, kil ve silt gibi birimleri içeren Kuvaterner yaşlı alüvyon birimleri, inceleme alanının en genç birimlerini oluşturmaktadır.

Çalışma alanından farklı renk, doku ve foliasyon özelliklerine sahip 12 adet mermer örneği alınmıştır. Alınan tüm mermer örnekleri üzerinde polarizan mikroskop, X ışınları difraktometresi (XRD) ve Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) incelemeleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda inceleme alanında Tepecik ve Örencik köyleri çevresinde bulunan mermerlerin mineralojik-petrografik özelliklerine göre beş farklı mermer seviyesi belirlenmiştir. Bunlar sırasıyla Beyaz, sarı, Açık gri, Koyu gri ve Yeşilimsi gri renkli mermerlerdir.

Anahtar Kelimeler: Mermer, mineraloji, petrografi, çavdarhisar, kütahya.

ABSTRACT

The study area is located around Tepecik and Örencik Villages, 9 km north of Çavdarhisar (Kütahya). The oldest rocks of the study area are the Paleozoic Sarıcasu Formation consisting of micaschist, calcschist and quartzite. Arıkaya Formation, which consists of white, gray and light yellow marbles, overlaps over Sarıcasu Formation. The Lower - Middle Miocene Emet formation, which contains marn and limestone units, and the Lower Pliocene Çökköy Formation consisting of sandstone and conglomerates overlap unconformably on the marbles. Quaternary alluvial units, including sand, clay and silt, constitute the youngest units of the study area.

12 marble samples which have different color, texture and foliation characteristics were collected from the study area. Polarizing microscope, X-ray diffractometer (XRD) and Scanning Electron Microscope (SEM) were examined on all marble samples. As a result of the study, five different marble levels, white, yellow, light gray, dark gray and greenish gray marbles, were determined according to the mineralogical-petrographic properties.

Keywords: Marbles, mineralogy, petrography, çavdarhisar, kütahya.

GİRİŞ

Bu çalışma, Kütahya İli Çavdarhisar İlçesi Tepecik Köyü çevresinde bulunan mermerlerinin mineralojik ve petrografik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Çalışma alanı 1/25.000 ölçekli Kütahya J23-a₄ paftasında yaklaşık 16 km²'lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1). İnceleme alanı Kütahya iline 66 km, Çavdarhisar İlçesi ise 56 km uzaklıkta bulunmaktadır. İnceleme alanından alınan mermer ve kayaç örneklerinin mineralojik ve petrografik özelliklerini ortaya koyabilmek amacıyla polarizan mikroskop, X-Işınlı Difraksiyonu (XRD) ve taramalı elektron mikroskop (SEM) çalışmaları yapılmıştır.



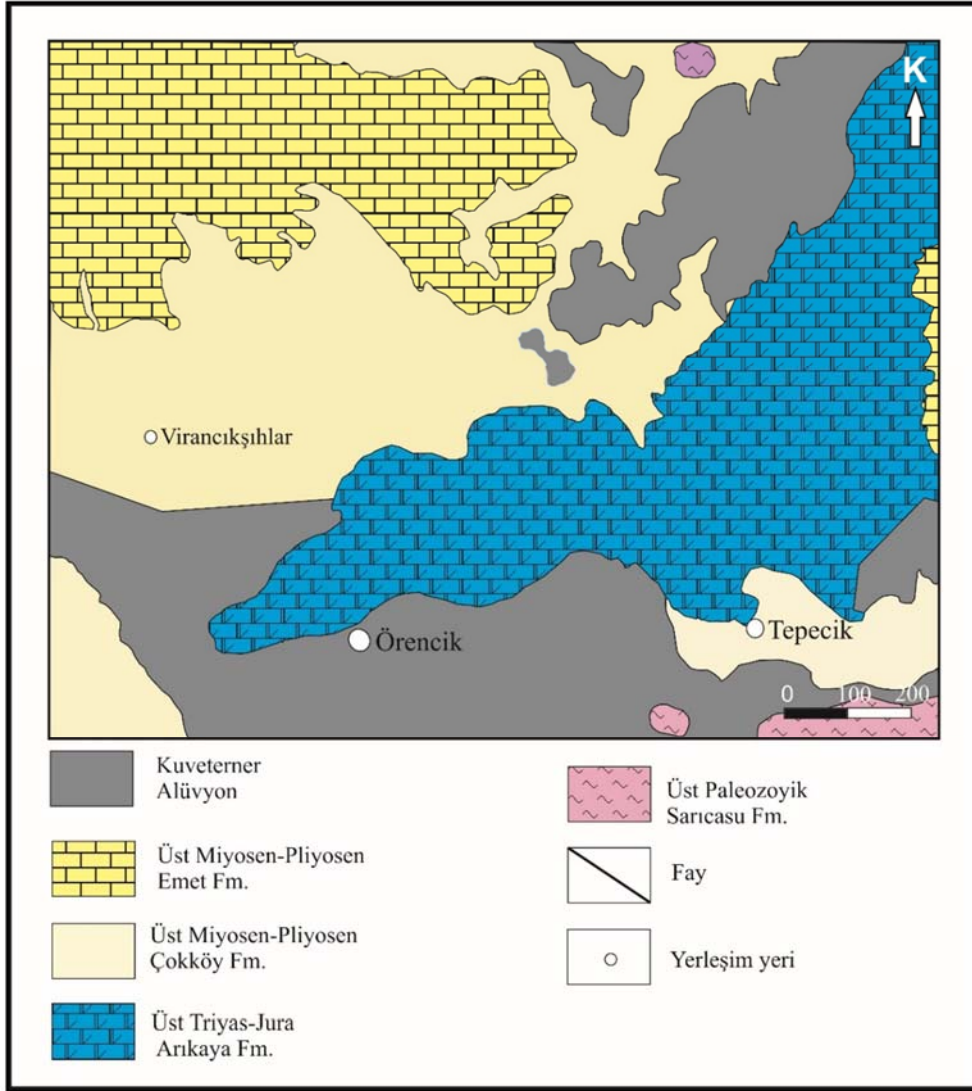
Şekil 1. İnceleme alanının yer buldur haritası

Bölgesel Jeoloji

İç Batı Anadolu bölgesinde yer alan Kütahya ve çevresinde, Paleozoyik, Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı birimler yüzeylenmektedir. Kütahya ve çevresinde temel kayaları, tabanda şistler ve onun üzerinde uyumlu olarak bulunan mermerler ile temsil edilir. Bunların üzerinde de tektonik dokanakla Neotetis'in kuzey kolu olan İzmir-Ankara Okyanusu'nun, kapanma sürecinde gelişen farklı aşamaların izlerini taşıyan, yeşilist ve mavişist zonu metamorfitekin bulunduğu ofiyolitik kayaçlar bulunur. Okay (1984a, 1984b) tarafından iki zon olarak incelenen bölge metamorfitekin, Tavşanlı Zonu ve Afyon Zonu olarak adlandırılarak, tanımlanmışlardır.

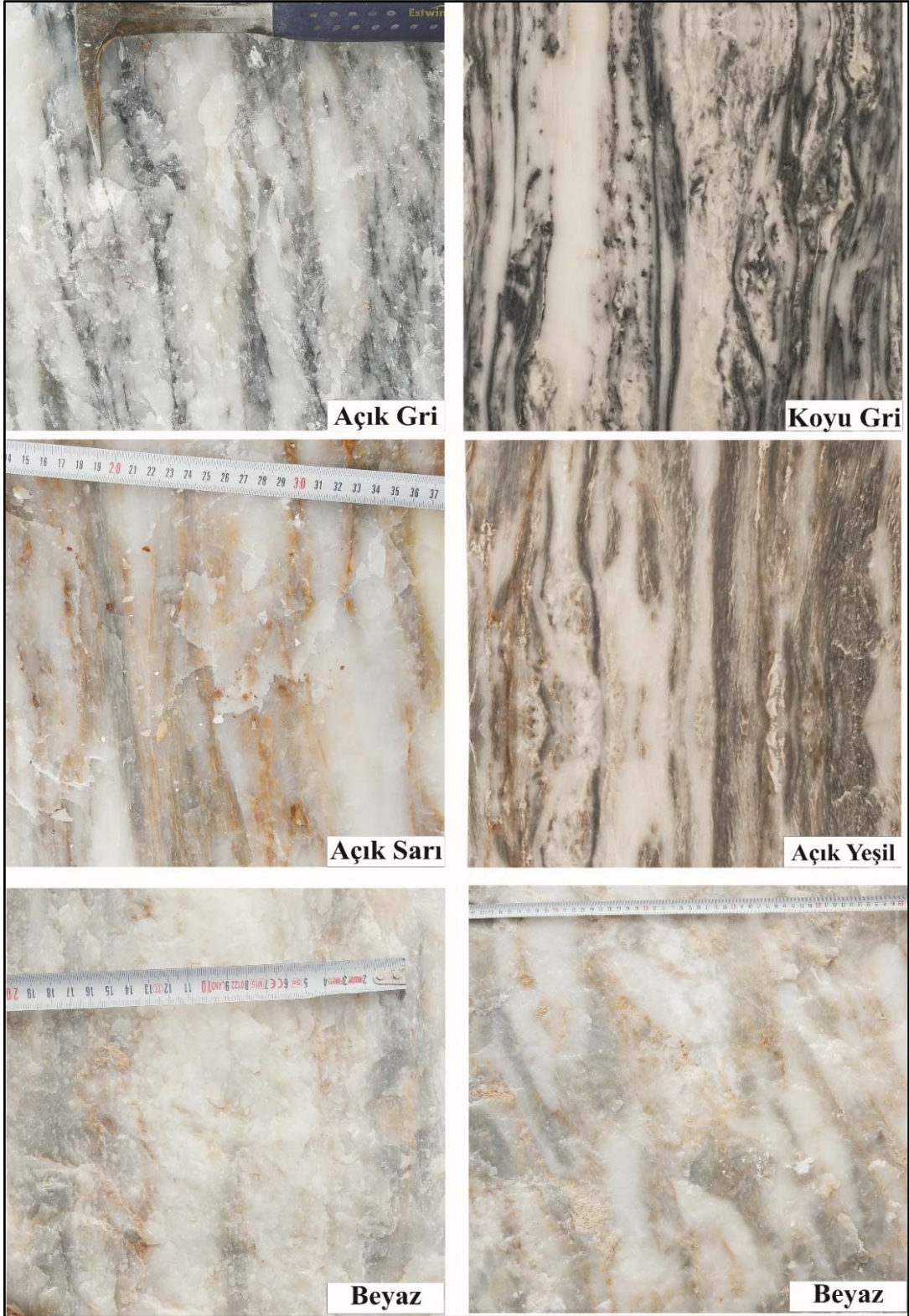
İnceleme Alanının Jeolojisi

Çalışma alanında bulunan en yaşlı birim Sarıcasu Formasyonu olup Akdeniz ve Konak, (1979) tarafından ayrıntılı olarak çalışılmış ve adlandırılmıştır. Formasyon şistler, fillit, kuvarsit ve metakonglomeradan oluşmaktadır. Formasyonun üzerine uyumlu bir şekilde Mesozoyik yaşlı kristalize kireçtaşı ve mermerden oluşan Arıkaya Formasyonu yerleşmiştir (Özburan, 2009). Şahin (2013) tarafından yapılan çalışmada Ofiyolit melanjin üzerine açılal uyumsuzlukla gelen örtü birimlerinin karasal kırıntılılar ve karbonatlardan oluşmakta olan Orta Miyosen yaşlı Çokköy, Emet Örtü Kireçtaşları ve Kuvaterner yaşlı alüvyonlar geldiğini ifade etmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışma alanının jeoloji haritası (Akkuş, M.F. 1961'den değiştirilmiştir).

Çavdarhisar-Tepecik köyü çevresinde yayılım gösteren mermerler farklı renk ve dokusal özellikler sunmakta olup, aktif olarak çalışan 1 ocakta üretim yapılmaktadır. Üretimi yapılan mermer türleri; Beyaz mermer, açık gri mermer, koyu gri mermer, yeşilimsi gri mermer, Sarı/sarımsı renkli mermerlerdir (Şekil 3). Bölgede bulunan ve örnekleme yapılan mermer lokasyonları ve genel bilgiler Çizelge 1'de verilmiştir.



Şekil 3. Üretimi yapılan mermer çeşitlerinin genel görünüşleri

Çizelge 1. Mermer örneklerine ait Lokasyon, Renk ve Dokusal Özellikler

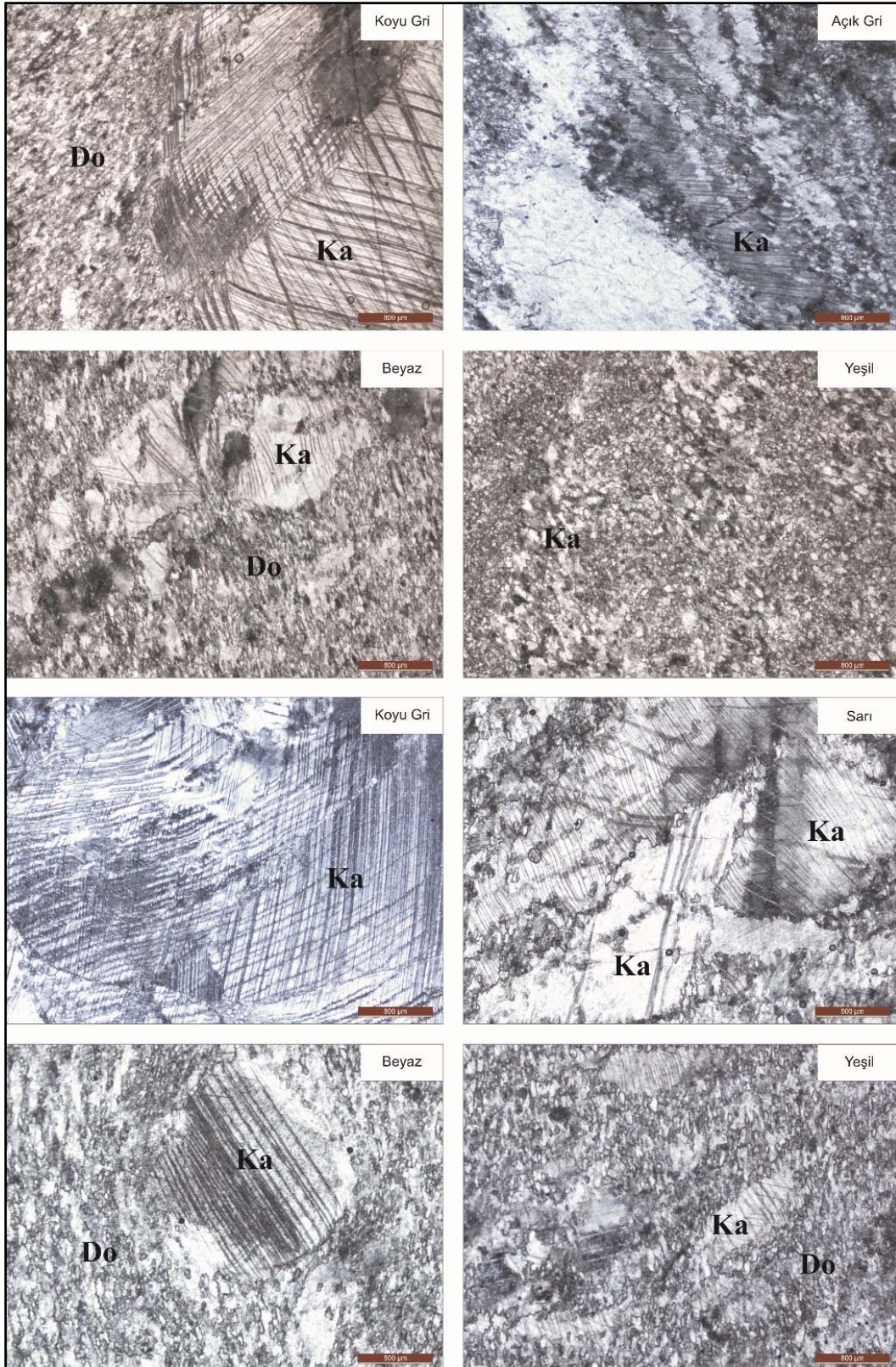
Örnek No	Renk	Lokasyon	Rakım (M)	Mineralojik Bileşimi	Renk ve Dokusu
DN-3		0723008 / 4350475	1121	Kalsit, Dolomit	Beyaz Renkli Heteroblastik Doku
DN-4	Beyaz Renkli Mermer	0722993 / 4350497	1093	Kalsit, Dolomit	Beyaz Renkli Heteroblastik Doku
DN-7		0722948 / 4350500	1081	Kalsit, Dolomit Mika	Beyaz Renkli Heteroblastik Doku
DN-10		0722937 / 4350404	1080	Kalsit, Dolomit	Beyaz Renkli Heteroblastik Doku
DN-2	Açık Gri Renkli Mermer	0723008 / 4350475	1121	Kalsit, Dolomit	Açık Gri Renkli Renkli Heteroblastik Doku
DN-1		0723008 / 4350475	1121	Kalsit, Dolomit	Koyu Gri Renkli Granoblastik Doku
DN-6	Koyu Gri Renkli Mermer	0722948 / 4350500	1081	Kalsit, Dolomit	Koyu Gri Renkli Granoblastik Doku
DN-9		0722937 / 4350404	1080	Kalsit, Dolomit	Koyu Gri Renkli Granoblastik Doku
DN-5		0722993 / 4350497	1093	Kalsit, Dolomit	Yeşilimsi Gri Renkli Granoblastik Doku
DN-8	Yeşilimsi Gri Renkli Mermer	0722948 / 4350500	1081	Kalsit, Dolomit	Yeşilimsi Gri Renkli Granoblastik Doku
DN-11		0722937 / 4350404	1080	Kalsit, Dolomit	Yeşilimsi Gri Renkli Granoblastik Doku
DN-12	Sarı/sarımsı Renkli Mermer	0722937 / 4350404	1080	Kalsit, Dolomit	Sarı/sarımsı Gri Renkli Granoblastik Doku

BULGULAR

Mineralojik ve Petrografik İncelemeler

Polarizan Mikroskop İncelemeleri

Mermer örneklerine ait polarizan mikroskop incelemeleri sonucunda yoğun olarak kalsit minerali ile yarı öz şekilli rölyefi yüksek dolomit mineralleri belirlenmiştir. Kayaç içerisinde yer yer mika minerallerine rastlamak mümkündür. Taneli mozaik doku ve kısmen yönlü doku örneklerde metamorfizmaya bağlı olarak mineral uzaması ve büyümesi görülmektedir. Yapılan tane boyutu ölçümlerine göre, ortalama tane boyutlarının $82 \pm 183 \mu\text{m}$ (mikron) arasında değiştiği belirlenmiştir. Şistozite düzlemleri belirgin olup, kalsit kristalleri şistozite düzlemlerine paralel dizilim göstermektedir (Şekil 4).

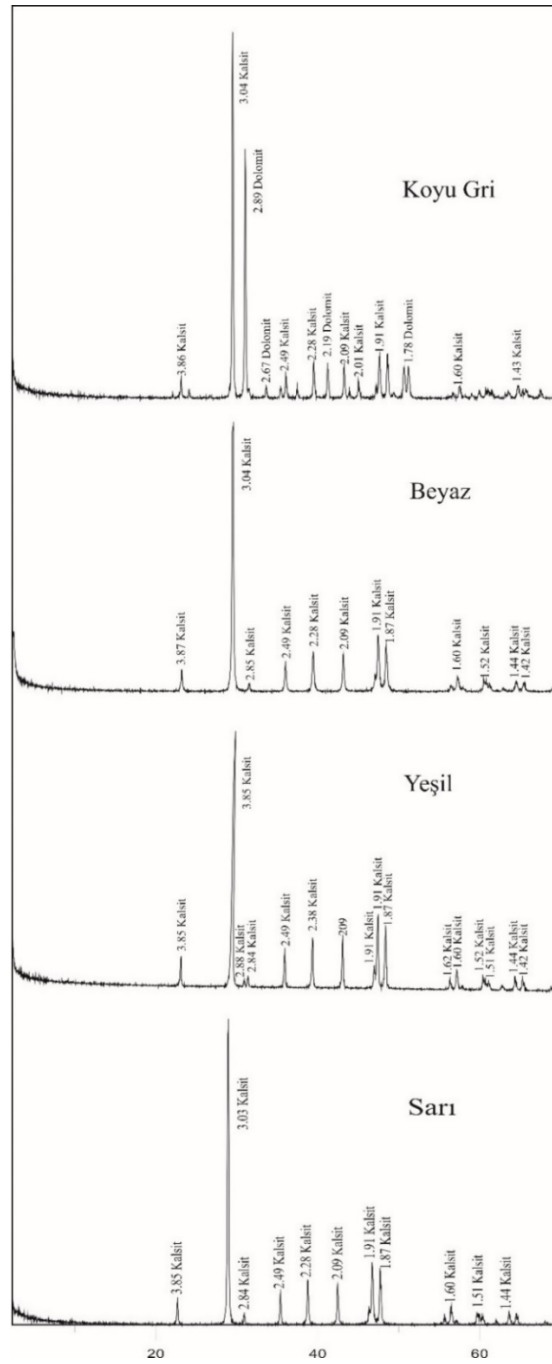


Şekil 4. Mermerlere ait polarizan mikroskop görüntüleri (Ka: kalsit, Do: dolomit)

XRD İncelemeleri

Mermerlerinin X-ışınları difraktometresi incelemelerinde (XRD) de polarizan mikroskop

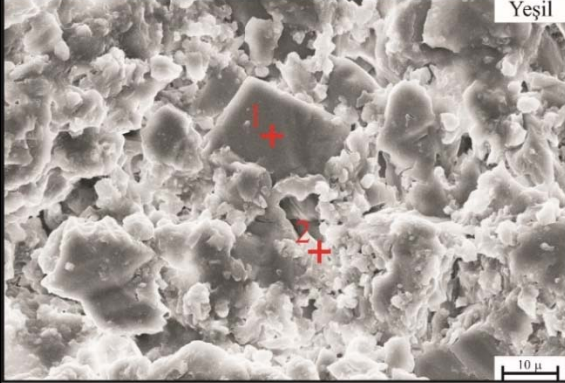
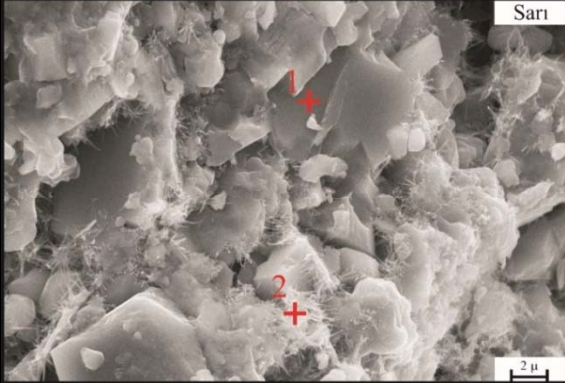
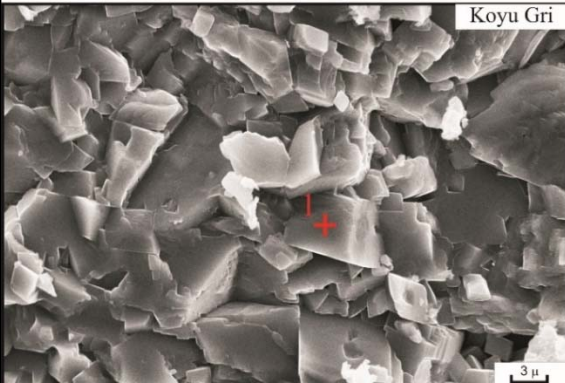
incelemelerinde olduğu gibi ana mineralin kalsit olduğu, bu minerale dolomit ve mika minerallerinin eşlik ettiği belirlenmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Mermerlere ait XRD çekim grafikleri.

SEM İncelemeleri

Kütahya Tepecik Köyü mermerine ait SEM-EDX incelemelerinde; öz şekilli kalsit ve dolomit mineralleri ile mermerlere renk veren $Cl-Fe_2O_3-P_2O_5$ gibi elementler tespit edilmiştir (Şekil 6). Beyaz ve Açık gri renkli mermerlerin SEM-EDX incelemelerinde genellikle kalsit minerallerinin varlığı belirlenmiştir. Yeşil, Sarı damarlı ve koyu gri renkli mermerlerde Na_2O , Al_2O_3 , SiO_2 gibi ana oksit bileşiklerinin ağırlıkta olduğu belirlenmiştir.

	Yeşil	Oxide (%)	Spectra: 1	Spectra: 2
		Na ₂ O	*	6,12
	Cl	*	2,22	
	Al ₂ O ₃	*	2,92	
	SiO ₂	*	4,47	
	CaO	100	82	
	K ₂ O	*	2,04	
	Total:	100,00	100,00	
	Sarı	Oxide (%)	Spectra: 1	Spectra: 2
		P ₂ O ₅	*	35,16
	Fe ₂ O ₃	*	4,35	
	CaO	100	60,49	
	Total:	100,00	100,00	
	Koyu Gri	Oxide (%)	Spectra: 1	
		Mg	11,29	
	CaO	88,71		
	Total:	100,00		

Şekil 6. Mermerlere ait SEM-EDX görüntüleri

SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında yapılan Kütahya Çavdarhisar Mermerlerin mineralojik ve petrografik özelliklerinin incelemesi kapsamında gerekli analizler yapılmıştır. Yapılan analizler sonuçlarına göre mermerler 5 ana grup altında değerlendirilmiştir. Bunlar; Beyaz mermer, Açık gri mermer, Koyu gri mermer, Yeşilimsi gri mermer, Sarı/sarımsı renkli mermerlerdir.

Yapılan mineralojik ve petrografik incelemeler sonucunda, Tepecik Köyü (Çavdarhisar) Kütahya Mermerlerin mineralojik bileşiminde Kalsit, dolomit mineralleri ve yer yer de mika minerallerin bulunduğu gözlenmiştir. Kristallerin mozaik dokulu olduğu ve yaklaşık ortalama tane boyu ortalamaları 82, 85, 110, 117, 170, 183 µm (mikron) olarak değişmekte olup, iri kalsit mineralinin büyüklüğü yaklaşık 124,5 µm (mikron) civarında ölçülmüştür. SEM-EDX analizlerinde mermer örneklerindeki renk farklılıklarının mermerlere renk veren Cl-Fe₂O₃-P₂O₅ gibi elementlerden kaynaklandığı tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Akdeniz, N., ve Konak, N. (1979). Simav-Emet-Tavşanlı-Dursunbey-Demirci yörelerinin jeolojisi hakkında Rapor.M.T.A. Rap., No. 6547, Ankara (yayımlanmamış).
- Akkuş, M. F. (1961). Afyonkarahisar 72/1 paftasının (Kütahya-Gediz arasındaki saha) jeolojisi hakkında Rapor. M.T.A. Rap., No. 2814, Ankara.
- Okay, A.I. (1984a). Kuzeybatı Anadolu'da yer alan metamorfik kuşaklar, Ketin Sempozyumu, Türkiye Jeoloji Kurumu, Ankara, 83-92.
- Okay, A.I. (1984b). Distribution and characteristics of the northwest Turkish blueschists, In: The geological evolution of the eastern Mediterranean (Editors: Dixon JE, Robertson AHF), *Geological Society of London Special Publication*, 17, 455-466.
- Özburan, M., ve Gürer, Ö. F. (2009). Late Cenozoic polyphase deformation and basin development, Kütahya region, western Turkey, *International Geology Review*, 54 (12), 1401-1418.
- Şahin, G. (2013). Çavdarhisar (Kütahya) ve yakın civarının geç senozoyik yaşlı gerilme durumları ve aktif tektonik özellikleri'' Yüksek Lisans Tezi Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü.

ANTİK ÇAĞLARDAN GÜNÜMÜZE İSCEHİSAR (AFYONKARAHİSAR) ANDEZİTİNİN ÖNEMİ VE TARİHİ ESERLERİN YAPI TAŞI KAYNAĞI OLARAK ÖZELLİKLERİ

THE SIGNIFICANCE OF ISCEHİSAR (AFYONKARAHİSAR) ANDESITE FROM ANCIENT TIMES AND THEIR PROPERTIES OF HISTORICAL BUILDINGS STONE RESOURCE

M. Y. Çelik ¹, M. Sert ^{2,*}, Z. Arsoy ³

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksek Okulu, Doğal Yapı Taşları Programı, Türkiye

^{2,3}Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Türkiye

(*Sorumlu yazar: msert@aku.edu.tr)

ÖZET

Günümüze kadar gelebilen tarihi yapıların da büyük bir çoğunluğunun doğal taşlardan yapıldığı görülmektedir. Bu doğal taşların birisi de andezittir. İscehisar andeziti, İscehisar mermeri kadar iyi bilinmemesine rağmen, Afyonkarahisar'da Selçuklu ve Osmanlı döneminden günümüze kadar gelen cami, çeşme ve köprü gibi kültür miraslarında yaygın olarak kullanılan volkanik bir kayadır. İscehisar andeziti pembe, kahverengi ve gri-siyah renklerde bulunmasına rağmen tarihi yapılarda daha çok gri-siyah renkli olanların tercih edildiği görülmektedir. Helenistik döneme ait İscehisar köprüsü, Bizans dönemine ait Kırkgöz Köprüsü, Selçuklu dönemine ait Altıgöz Köprüsü ve Osmanlı dönemine ait Kanlı gölet köprüsünde andezit, mermer ve kireçtaşı gibi doğal taşlar beraberce kullanılmıştır. Ancak farklı taşların bir kısmının daha sonra yapılan onarımlarla ilgili olduğu görülmüştür. Köprüler gibi andezit ve diğer volkanik kayaların yoğun bir şekilde kullanıldığı diğer bir yapı grubu camilerdir. Selçuklu ve Osmanlı mimarisinin günümüze kadar gelen örneklerinin çoğunda tuf kullanılmış olmakla birlikte onlarca cami yapımında da andezit ve diğer volkanik kayalar ve tuğla kullanılmıştır. İscehisar yöresinde bulunan andezitler, günümüzde de yaygın bir şekilde çıkarılmakta, kesilmekte, farklı yüzey işleme teknikleri ile şekillendirilmekte ve kullanılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: İscehisar, Dokimeion, andezit, tarihi eser, cami, köprü

ABSTRACT

It is seen that most of the historical buildings that have survived until today are made of natural stones. One of these natural stones is andesite. Although Iscehisar andesite is not as well known as Iscehisar marble, it is a volcanic rock widely used in cultural heritage such as mosques, fountains and bridges in Afyonkarahisar since Seljuk and Ottoman periods. Although Iscehisar andesite is found in pink, brown and gray-black colors, it is seen that gray-black ones are preferred in historical buildings. Natural stones such as andesite, marble and limestone were used together in Iscehisar bridge of Hellenistic period, Kırkgöz bridge of Byzantine period, Altıgöz bridge of Seljuk period and Kanlı pond bridge of Ottoman period. However, it has been seen that some of the different stones are related to the later repairs. Another group of buildings in which bridges andesites and other volcanic rocks are used extensively are mosques. Tuff was used in most of the examples of Seljuk and Ottoman architecture to date, and andesite and other volcanic rocks and bricks were used in the construction of dozens of mosques. Andesites in the Iscehisar region are still widely removed, cut, shaped and used with different surface treatment techniques.

Keywords: Iscehisar, Dokimeion, andesite, historical monument, mosque, bridge

GİRİŞ

İscehisar andeziti, Afyonkarahisar yöresinde en yaygın bulunan yapı taşlarından birisidir. Bol bulunması ve işlemedeki kolaylıklar nedeniyle binlerce yıldır önemli inşaat malzemelerinden birisi haline gelmiştir. İscehisar andezitleri, İscehisar ilçesinin 12 km kuzeydoğusunda yer almaktadır. İscehisar ilçesi güneyinde bulunan mermer ocakları ise andezitlere göre daha fazla bilinmektedir. Çünkü andezitler lokal ölçekte kullanılmış olmasına karşın İscehisar mermerleri Anadolu'dan Avrupa'ya hatta Kuzey Afrika'ya kadar çok geniş bir coğrafyada kullanılmıştır.

M.Ö. 321-301 yılları arasında Helenistik dönemde Büyük İskender'in generallerinden Synnada (Şuhut) valisi ve Makedonyalı askeri birliğin komutanı Dokimos tarafından bugünkü İscehisar'ın bulunduğu yerde Dokimeion (Docimium, Dokimeia) adıyla bir şehir kurulmuştur. Dokimeion şehrinin önemi yakın çevresinde bulunan mermer ocakları sayesinde artmıştır. Bu mermer ocaklarının çok çeşitli renk ve desende beyaz, gri, sarı ve mor damarlı mermerlere sahip olması işletilmesini sağlayan unsurların başında gelmektedir. Roma çağının ilerleyen uygarlığına paralel olarak Dokimeion'da mermer işletmeciliği ve özellikle de heykeltıraşlık sanatı gelişmiştir. August döneminden itibaren mermer ocakları Romalılar tarafından işletilmeye başlamış olup şehirde çok sayıda heykeltıraş atölyesi faaliyete geçmiştir. Dokimeion şehri mermer ocaklarına çok yakın olduğundan burası dönemin heykeltıraşlarının toplandığı bir merkez olmuştur. Dokimeion mermer ocaklarında üretilen mermer blokları ve çeşitli boyutlarda sütunlar, Yunanistan'dan Roma'ya kadar çok sayıda şehre gönderilmiştir. Bu faaliyetler sonucunda şehirde ocak ve atölye işçilerinin yanı sıra çok sayıda da nakliyecisi bulunmakta idi (Gönçer, 1971).

Antik çağların en önemli mermer ocaklarından birisi Dokimeion (İscehisar) mermer ocaklarıdır. Roma kayıtlarında ve arkeolojik buluntularda Dokimeion mermerlerine rastlanması sonucunda ocaklar ile ilgili ilk araştırmalar 1870 yıllarına kadar uzanmaktadır. Daha sonraları yine Avrupalı araştırmacılar belirli aralıklarla ocaklar ve ocaklardan çıkarılan mermerler ile ilgili çok sayıda araştırma yapmışlardır. Dokimeion (İscehisar) mermer ocakları çok değişik renklerde mermere sahip olması ve büyük bloklar ve sütunlar elde edilmesi nedeniyle özellikle Roma döneminin en önemli mermer ocaklarından birisi idi. Daha çok heykel yapımında kullanılan beyaz renkli mermer, antik çağlarda birçok yerde çıkarılırken kırmızı damarlı "menekşe" ticari ismiyle bilinen mermer (Pavonazzetto) ise sadece Dokimeion'dan çıkarılmakta idi (Çelik, 2003).

Antik ocaklarda bulunan yarı işlenmiş sütunlar, heykeller ve lahitler mermerlerin hangi kentlerde, nerede ve nasıl kullanıldığına ilişkin önemli ipuçları vermektedir. Antik kentlerdeki önemli yapıların ne zaman yapıldığı biliniyorsa ve hangi mermerlerin kullanıldığı belirlenmiş ise (Efes'teki Celsus Kütüphanesinin M.S. 110 yıllarında yapıldığı ve ön sütunlarının İscehisar-Afyon ocaklarından geldiği gibi) o mermerlerin üretildiği ocakların hangi dönemlerde işletildiğini tahmin etmek mümkün olabilmektedir. Ayrıca antik ocaklarda bulunan seramik parçaları, murçlar, el aletleri ve paralar yardımı ile ocakların işletilme tarihleri hakkında fikir yürütülebilmektedir (İleri vd., 2001).

Ocaklarda yoğun olarak üretime başlanması, yazılı belgelere göre MS 92 yılına tarihlenmektedir. Drew-Bear (1993), tarafından 170 yazıtın incelenmesi sonucunda bunların çoğunun MS 2-3. yüzyıllara ait olduğu ortaya konulmuştur. Ocaklardan kesilen her blok ve mermer üzerine Romalı ustalar tarafından tanıtıcı kısa bilgiler yazılmıştır. Bu yazıtların en eskisi MS 92 yılına en yenisi ise MS 236 yılına tarihlenmiştir. İscehisar mermer ocaklarından çıkarılan mermer blok ve sütunların Anadolu, Kuzey Afrika ve Roma gibi Roma İmparatorluğu sınırları içindeki birçok resmi şantiyelere gönderildiği çeşitli yazıtlardan anlaşılmıştır.

Aynı bölgede bulunan andezitlerle ilgili ise bu denli yoğun bir çalışma ve kaynak bulunmamaktadır. Tarihi kaynaklarda kayıtlar olmamasına karşılık İscehisar andezitlerinin de antik çağlardan beri kullanıldığını gösteren ve günümüze kadar gelmiş çok sayıda köprü, cami, çeşme gibi

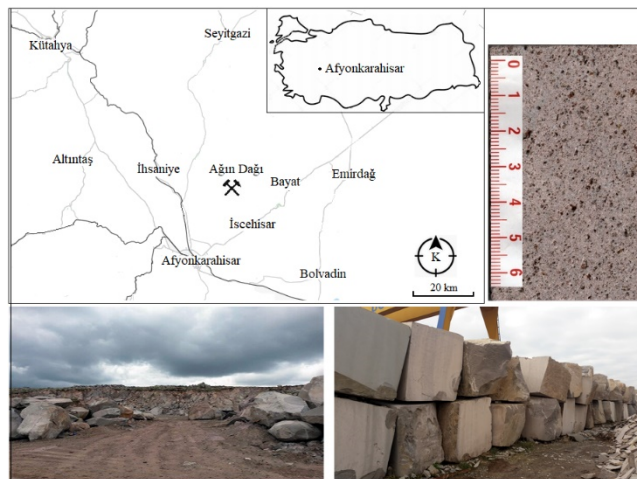
tarihi yapı bulunmaktadır. Özellikle Selçuklu ve Osmanlı mimarisinde cami ve çeşmelerde andezitlerin yoğun bir şekilde kullanıldığı görülmektedir. Günümüze kadar gelen bu eserlerin yapımında pembe, kahverengi ve gri-siyah renkli andezitik kayaların kullanıldığı görülmektedir. Ayrışmadan önce gri ve siyahimsı olan andezitlerin, bileşimlerinde bulunan hornblend ve biyotit gibi demir içeren minerallerin ayrışması sonucunda renk değişimine uğrayarak pembe ve kahverengi renk aldığı bilinmektedir. Bu nedenle Ağın Dağı yöresi andezitleri de her üç renkte bulunmaktadır.

Tarihi miras eserleri açısından İscehisar andeziti önemli bir inşaat malzemesidir ve özellikle son yıllarda detaylı olarak incelenmiştir. Çelik ve Kaçmaz (2016), statik ve dinamik kılcal su emme özelliklerini, Çelik vd. (2017), farklı sulu ortamların kapiler su emme özelliğine etkisini, Çelik ve Aygün (2018), sodyum sülfat ve sodyum klorür tuzlarıyla tuz kristallenmesine direncini, Çelik ve Yılmaz (2018), tuzlu ve asitli sulu ortamların kılcal su emme potansiyeline etkisini, Çelik vd. (2018-a), tuz kristalleşmesine bağlı ayrışmasında su itici kimyasal madde etkisini, Çelik vd. (2018-b), beton agregası olarak kullanılabilirliğini, Çelik vd. (2018-c), tuz kristallenmesine direncini, Çelik vd. (2018-d), donma-çözülmenin farklı boyutlardaki örneklerin fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisini, Çelik vd. (2018-e), termal şok işleminin fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisini incelemiştirler. Bunların dışında, İscehisar andezitlerin yapı taşı olarak (Kuşçu vd., 2003), (Kuşçu vd., 2006) ve agrega olarak kullanımı (Akbulut vd., 2006) hakkında çalışmalar da bulunmaktadır. Bu çalışmada yapı malzemesi olarak İscehisar yöresindeki andezitik bileşimli volkanik kayaların kullanıldığı tarihi eserler hakkında bilgi verilecektir.

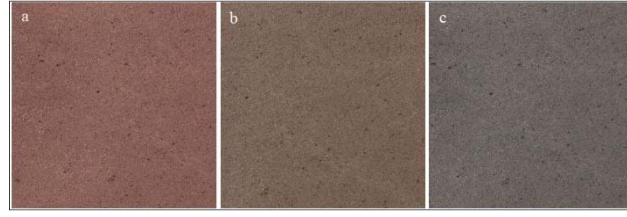
MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Andezitler, İscehisar (Afyonkarahisar) kuzeyinde bulunan Ağın dağı yöresindeki ocaklardan çıkarılmaktadır. Lokasyonu gösteren yer bulduru haritası, ocağın ve andezitin yüzey görünümü Şekil 1'de verilmiştir. Ocaklarda, antik dönem ocaklarına benzer şekilde çatlak hatlarından faydalanılarak büyük boyutlu molozlar üretilmektedir. Daha sonra tel kesme yöntemiyle boyutlandırılan bu molozlar, kesilmek üzere kesme-işleme tesislerine götürülmektedir. İscehisar andeziti 3 farklı renk dağılımı sunmaktadır. Pembe, koyu kahve ve gri-siyah renkli andezitler günümüzde değişik ebatlarda ve yüzey şekilleri verilerek kullanılmaktadır (Şekil 2).



Şekil 1. Deneylerde kullanılan andezitin üretildiği ocakların lokasyon haritası, ocakların ve andezitin görünümü



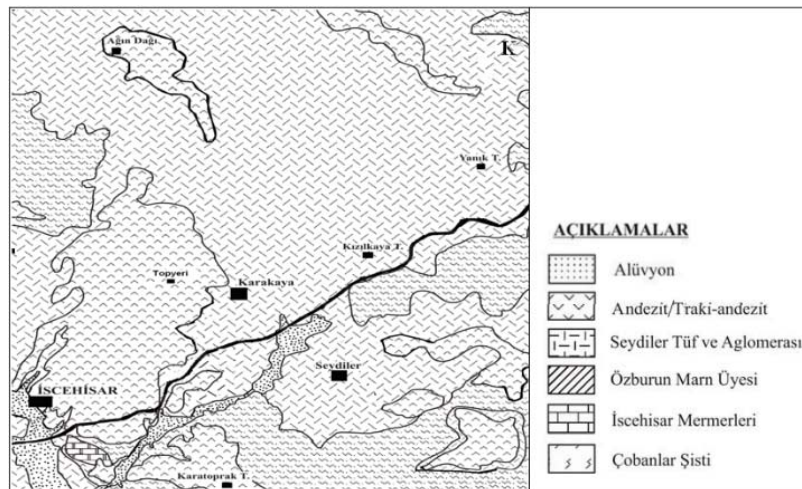
Şekil 2. İsehisar andezitlerinin renk yelpazesi, a) pembe, b) kahverengi, c) gri andezit (İnt. Kaynak)

Jeolojik Konumu

İsehisar yöresinde en yaşlı birim Paleozoyik yaşlı şistlerdir. Afyon metamorfileri adı verilen bu metamorfik temelde mikaşist, kalkışist, kuvarslı şist ve fillit egemendir. Afyon metamorfileri genellikle kahve, boz, yeşil renkli, kıvrımcıklı, granoblastik dokulu, şisti yapılıdır. Şistlerin üzerine açılal uyumsuzlukla Neojen çökelleri gelmektedir. Gebeceler formasyonu adı verilen bu seri; Seydiler tuf ve aglomera üyesi, Akpınar kireçtaşı üyesi ve Erdemir konglomera üyesinden oluşur. Genel rengi beyaz, grimsi beyazdır. İnce-orta-kalın katmanlı konglomera, kumtaşı, aglomera, tuf, tüfit, marn, killi kireçtaşı, silisifiye kireçtaşı gibi birimlerden oluşmuştur (Metin vd., 1987).

Bölge, Üst Miyosen sonunda başlayarak Pliosen boyunca devam eden volkanik faaliyetlerin etkisinde kalmıştır. Bu volkanik faaliyetlerin ürünü olarak dasitik tüfler aglomeralar, andezitler, trakitler, traki-andezitler ve bazaltlar bölgede çok geniş alanlar kaplamaktadır. Volkanik kayalar altta beyaz, krem renkli tuf ve üstte ise siyahımsı, grimsi ve bordo renkli traki-andezitik bileşimli volkanik kayalardan oluşmaktadır (Şekil 3). Bunların üzerine uyumsuzlukla gelen alüvyonlar çalışma sahasının en genç birimleridir (Metin vd., 1987).

(Besang vd., 1977), Afyon çevresinde volkanik kayalar üzerinde yaptığı radyometrik yaş tayini sonucu volkanizmanın 8,5-14,5 My (Orta-Üst Miyosen) arasında gerçekleştiğini belirlemiştir. Aydar vd. (1996), yaptıkları çalışmada andezit ve trakit volkanizmasının Orta-Üst Miyosen aralığında iki ayrı evrede gerçekleştiğini iddia etmiştir. İnceleme alanında andezitik volkanikler çok geniş yayımlı olup, yüksek dağlara sert ve dik topoğrafyayı oluştururlar. Kahverengimsi ve boz renkte genellikle dasitik tuf ve aglomeraların üzerinde yer alan andezitik kayalar, andezit ve traki-bazalt mineral kompozisyonuna sahiptirler. Yanal olarak değişkendir. Alınan çeşitli petrografik örneklerde, alkali-trakit, traki-bazalt, traki-andezit, piroskenli andezit, ojit andezit ve andezit olarak adlandırılmıştır (Metin vd., 1987).



Şekil 3. İsehisar ve yakın dolayının genelleştirilmiş jeoloji haritası (Kuşçu vd., 2003), (Kuşçu vd., 2006)

Yöntem

Andezitlerin kimyasal, petrografik-mineralojik (XRD) ve fiziko-mekanik özellikleri incelenmiştir. Doğal yapı taşlarının kullanım alanları belirlenmesinde önemli olan bu özellikler, aynı zamanda hangi taşın hangi ortamda kullanılabileceği hakkında da fikir vermektedir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Kimyasal Özellikleri

İscehisar andezitin ana element oksit içerikleri Tablo 1'de verilmiştir. Andezitin ana element oksit analizi sonuçlarına göre en büyük bileşen SiO_2 dir. Andezitin SiO_2 oranı %58,58 olarak belirlenmiştir. İkinci en büyük bileşen Al_2O_3 (%15,16) dır (Çelik vd., 2017). Kimyasal analiz verilerine göre, andezitin kökenini bulmak amacıyla Le Bas vd. (1992), tarafından önerilen toplam alkali ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) ve silis (SiO_2) diyagramı kullanılmıştır. Andezitin traki-andezitik bileşimli oldukları belirlenmiştir (Şekil 4).

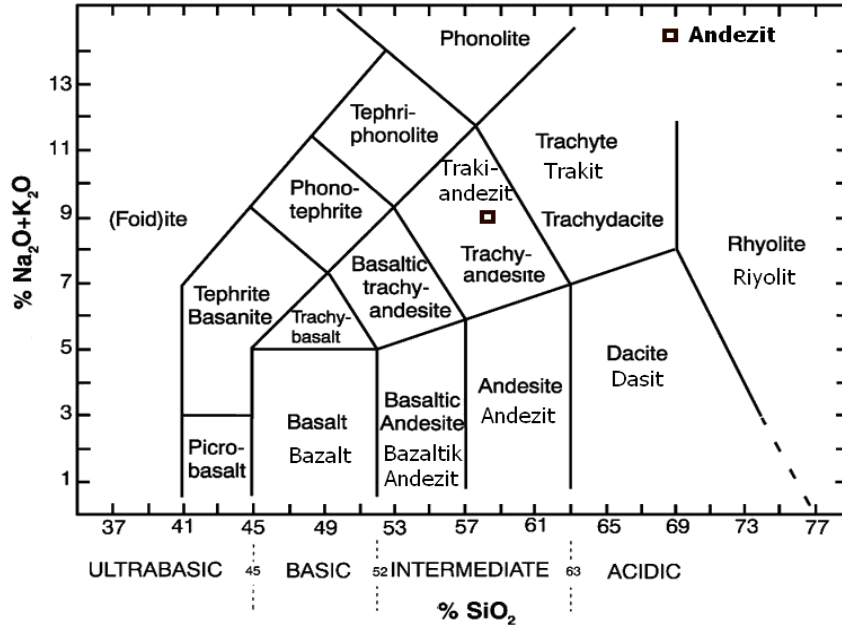
Çizelge1. İscehisar andezitinin kimyasal analizi (Çelik vd., 2017)

Kimyasal bileşim	(%)
SiO_2	58,58
Al_2O_3	15,16
Fe_2O_3	6,04
MgO	3,89
CaO	4,36
Na_2O	2,65
K_2O	6,04
TiO_2	1,29
*A.Z.	0,56
Top.	98,57

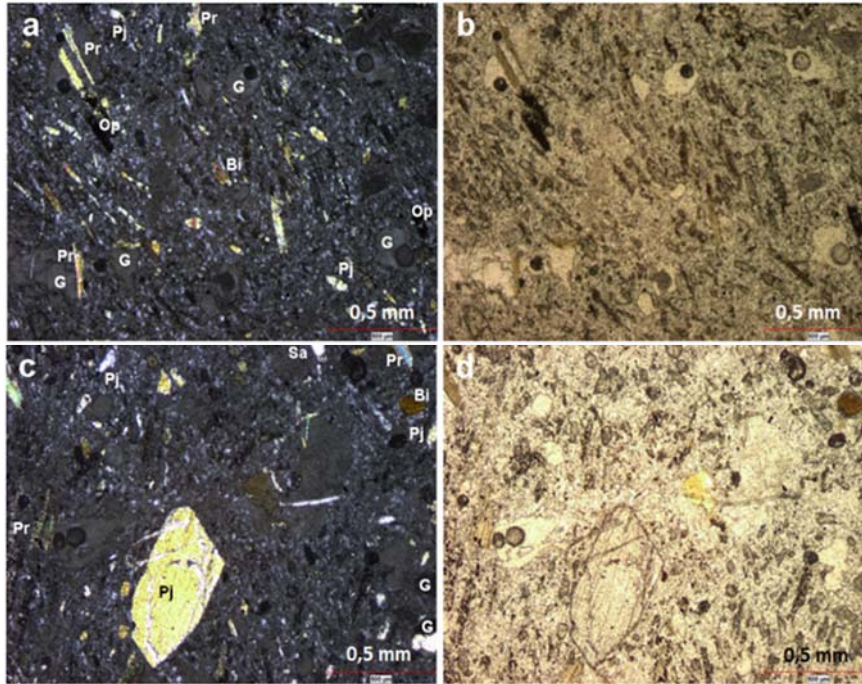
*Ateş ziyatı

Petrografik ve Mineralojik Özellikler

İscehisar andezit örneklerinin mineral bileşimi ve dokusal özellikleri Polarizan mikroskop incelemeleriyle belirlenmiştir. Elde edilen görüntüler Şekil 5'de verilmiştir. Yapılan incelemelerde, çok küçük kristalli mikrolitlerden oluşan hamur içerisinde fenokristaller bulunmaktadır. Andezit örneklerinin porfirik dokulu olduğu belirlenmiştir. Hamur genellikle mikro plajiyoklas ve piroksen minerallerinden oluşmuş olup az miktarda volkan camı içermektedir. Fenokristal olarak feldispat (oligoklas, sanidin), piroksen ve biyotit mineralleri bulunduğu gözlenmiştir. İnce kesitlerde bol miktarda gözenekler de bulunmaktadır. Andezit örneğinde gözlenen pembemsi-kırmızımsı renk mafik minerallerdeki alterasyondan kaynaklanmaktadır (Çelik ve Aygün., 2018).

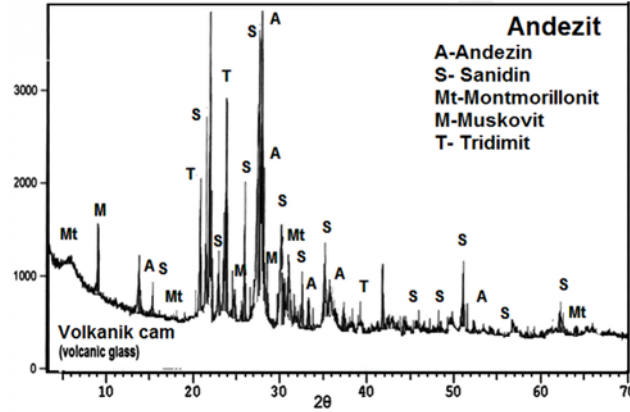


Şekil 4. İncehisar andezitlerinin toplam alkali içeriğine karşı silis Le Bas diyagramında sınıflandırılması (Çelik vd., 2017)



Şekil 5. Andezitte ince kesit görüntüleri (a, c): Çift nikol, (b, d): Tek nikol. (Pr: piroksen ve Pj: plajiyoklas, Op: opak mineral, Bi: biyotit, G: gözenek) (Çelik vd., 2018-d)

İncehisar andezit örneklerinin XRD analiz sonuçları Şekil 6'da 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 (Çelik vd., 2018-c).



Şekil 6. Andezitin XRD analizinde tespit edilen mineral piklerinin görünümü (Çelik vd., 2018-c).

Teknolojik Özellikler

Andezitlerin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlemek için Afyon Kocatepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Laboratuvarında TS EN standartlarına göre deneyler yapılmıştır. Her bir deneyde 50×50×50 mm boyutunda 6'ar adet andezit örneği kullanılmıştır. Fiziksel ve mekanik özellikleri belirlemek amacıyla toplam ve açık gözeneklilik (TS EN 1936; 2010), yoğunluk (TS EN 1936; 2010), P-dalga hızı (TS EN 14579; 2006), su emme (TS EN 13755; 2014) ve tek eksenli basınç dayanımı (TS EN 1926; 2013) deneyleri yapılmıştır. Laboratuvar çalışmalarıyla elde edilen andezit örneklerinin fiziko-mekanik özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Doğal yapı taşlarında gözeneklilik özellikleri ayrışma ile doğrudan ilişkili olduğu bilinmektedir. Örnek olarak yüksek gözeneklilik su emme ve dayanım gibi özellikleri olumsuz olarak etkilemektedir. Deneylerden elde edilen verilere göre andezitlerin gerçek yoğunluğu 2782 kg/m³, açık gözeneklilik %4,74 ve toplam gözeneklilik %19,73 olarak ölçülmüştür. Tek eksenli basınç dayanımı da 70,00 MPa olarak belirlenmiştir (Çelik vd., 2018-a). Bu özelliklere göre andezitler yüksek gözenekli yapı taşları olarak ifade edilebilir.

Doğal yapı taşlarında yüksek gözeneklilik bazı fiziksel ve mekanik özellikleri olumsuz yönde etkilerken, ısı ve ses izolasyonunu olumlu etkilemektedir, Yoğunluk ve gözeneklilik, genellikle yapı taşlarının dayanımını etkilemektedir. Düşük yoğunluklu ve gözenekli kayaçlar genellikle düşük dayanımlıdır. Gözeneklilik, geçirimsizlik ve su emme için önemli faktörlerden birisidir. Dolayısıyla yüksek gözeneklilik doğal olarak yüksek su emmeye neden olur (Guruprasad vd., 2012). Yapı taşları bünyesindeki gözeneklerde bulunan hava izolasyon konusunda büyük önem taşımaktadır. Erdoğan vd., (2008), yapı taşlarında ses yalıtım değerleri ile birim hacim ağırlığı ve tek eksenli basınç dayanımları arasında lineer bir ilişki olduğunu ve yüksek dayanımlı kayaçların daha iyi ses izolasyonu sağladığını belirtmişlerdir.

Çizelge 2. Andezitlerin fiziko-mekanik özellikleri (Çelik vd., 2018-a).

Özellik	Ortalama
Yoğunluk (gerçek) (kg/m ³)	2782
Ağırlıkça su emme (%)	2,44
Açık gözenek (%)	4,74
Toplam gözenek (%)	19,73
Ultras ses dalga hızı (km/s)	4,16
Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)	70,00

İSCEHİSAR ANDEZİTİNİN TARİH BOYUNCA KULLANIMI

Antik Dönem

Günümüzde Ege Bölgesi'nde yer alan İscehisar, Antik Çağ'da Phrygia (Frigya) olarak adlandırılan bölgede bulunuyordu. Phrygia; Sakarya Irmak'ı ile Büyük Menderes'in yukarı çığırları arasında kalan bölgenin Antik Çağ'daki adıydı ve bu ad, Balkanlar'dan gelip bu bölgeye yerleşen Phrygler'den geliyordu. Phrygia, günümüzde Ankara, Afyonkarahisar, Eskişehir illerinin tümünü; Denizli, Burdur, Isparta, Kütahya ve Konya illerinin bir bölümünü kapsamaktadır (İscehisar Kaymakamlığı, 2012).

Antik dönemde andezit gibi volkanik kayalar kullanılarak yapılan yapılar sınırlı olarak günümüze kadar gelmiştir. Bunlardan birisi bölgede varlığı bilinen ama kalıntıları muhtemelen bu günkü İscehisar'ın bulunduğu yerde olduğu tahmin edilen Dokimeion şehrine ait tarihi bir köprüdür. Bölgede "Koca Köprü" olarak isimlendirilen antik köprü, şehri ikiye bölen ve içinden geçen Akarçay'ın bir kolu olan Kurudere (Doureius) üzerinde bulunmaktadır. Helenistik dönemine ait olup hala kullanılmaktadır (Şekil 7). Şehrin iki yakasını birbirine bağlamak üzere andezit ve mermer bloklardan Gotik kemerli olarak yapılmıştır (Gönçer, 1971).

Bizans İmparatoru I. Manuel Komnen tarafından Bolvadin'de Akarçay üzerine yaptırılan ve 1550 yılında Mimar Sinan tarafından onarılan Kırkgöz Köprüsü andezit ve mermer kullanılarak yapılmıştır (Şekil 7).



Şekil 7. Afyonkarahisar yöresinde andezit ve mermer kullanılarak yapılan tarihi köprüler, a) İscehisar (Dokimeion) Roma Köprüsü (MÖ 300), b) Bolvadin Kırkgöz Köprüsü (yapım 1150, onarım 1550)

Selçuklu ve Osmanlı Dönemi

Selçuklu döneminde tüm Anadolu'da olduğu gibi Afyonkarahisar'da da birçok köprüler, kervansaraylar, çeşmeler ve camiler yapıldı. Bunların yapımında genellikle yöresel yapı taşları kullanılmıştır. Özellikle Afyonkarahisar yöresinde çokça bulunan tüfler ve diğer volkanik kayalar bu amaçla kullanılmıştır. Günümüze kadar gelen ve yapımında andezitleri kullanıldığı Altıgöz Köprüsü (1209) ve Yukarıpazar Cami (1264) bunlara örnek olarak verilebilir (Şekil 8).

Altıgöz Köprüsü Akarçay üzerinde iki istasyon arasında Cirid kayalığı eteğindedir. Yapımından farklı renklerde andezitler kullanılmıştır. Köprü'nün 2. ve 3. ayağı arasında antik bir lahit parçasından devşirilen, beyaz mermere yazılmış kitabesi bulunmaktadır. Köprü'nün 1661 yılında Osmanlılar tarafından onarıldığına dair de kayıtlar bulunmaktadır (Gönçer, 1971). Daha sonraki yıllarda yapılan onarımlarda

korkuluklarda traverten kullanıldığı görülmektedir. Selçuklu döneminden günümüze kadar gelen diğer eserler (Boyalı külliyesi, Hüdalı çeşmesi, İshaklı kervansarayı, Ulu cami vd.) farklı taş ve yapı malzemesi kullanılarak yapıldığı için burada bahsedilememiştir.

Osmanlı dönemine ait onlarca caminin ve köprülerin yapımında da bu andezitlerle beraber diğer taş ve tuğlaların da kullanıldığı görülmektedir. Bunlardan bazıları Kâbe Mescit Cami (1397), Otpazarı Cami (1590 öncesi), Arapmescit Cami (1800 öncesi), Kuyulu Cami (1900) Şekil 9’da verilmiştir. Bunlardan başka çeşitli han, hamam, kervansaray ve çeşme gibi kültürel miras yapılarında da andezitler kullanılmıştır.



Şekil 8. Afyonkarahisar’da bulunan andezit kullanılarak yapılan Selçuklu dönemi eserleri a) Altığöz Köprüsü (1209), b) Yukarıpazar camii (1264)



Şekil 9. Afyonkarahisar yöresinde andezit kullanılarak yapılan Camiler, a) Otpazarı Cami (1590 öncesi), b) Kuyulu Cami (1900), c) Kâbe Mescit Cami (1397), d) Arapmescit Cami (1800 öncesi), e) Kubbeli cami

Osmanlı döneminde yapılan köprülerde de andezitler kesme taş olarak kullanılmıştır. Ancak günümüzde işlevini kaybeden bu köprülerin bir kısmı harap haldedir. İkiğöz Köprüsü Asri mezarlık karşısında ve İzmir yoluna 50 m mesafededir. Ancak yeni yol ve imar çalışmaları nedeniyle büyük bir kısmı molozlar altında kalmıştır. Kanlıgölet Köprüsü ise Akarçay üzerinde ve Çavdarlı köyü yolundadır. Kesme andezit taştan tek kemerli olarak inşa edilmiştir. Harmancık köprüsü Karakaya köyü yolu üzerinde iki kemerlidir. Kemerler molozla dolu olduğu için köprü ayakları küçülmüştür. Kurşunlu köprü, Akarçay üzerinde Çimento fabrikası taş ocağı yolu üzerindedir. Kesme taşlarla yapılmış olmasına rağmen son yıllarda yapılan onarımlarda korkuluklar üzerine beton döküldüğü görülmektedir (Daş, 1997) (Şekil 10).



Şekil 10. Afyonkarahisar'da yapı taşı olarak andezit ve diğer taşların kullanıldığı Osmanlı dönemi köprüleri a) İkiğöz Köprüsü, b) Kanlıgölet Köprüsü, c) Harmancık köprüsü. d) Kurşunlu Köprü (İnt. Kaynak 2, 2019)

Cumhuriyet Dönemi

Cumhuriyet döneminde de andezitlerin önemli anıt ve yapılarda kullanıldığı görülmektedir. Zafer Müzesi (1920), PTT binası (1940), Afyon Gar binası (1939 ve Utku anıtı (1936) Cumhuriyet dönemi yapılarına örnek olarak verilebilir (Şekil 11).



Şekil 11. İsehisar andezitlerinin Cumhuriyet dönemine ait anıt ve yapılarında kullanılması, a) Zafer Müzesi (1920), b) PTT binası (1940), c) Afyon Gar binası (1939), d) Utku anıtı (1936)

Günümüz

Antik dönemlerden beri kullanılan İsehisar andezitleri, günümüzde de yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Geçmişte yapı taşı olarak kullanılan andezitlerin, günümüzde modern kesme ve işleme yöntemlerinin gelişmesine paralel olarak daha farklı ebat ve şekillerde kullanıldığı görülmektedir. Andezitlerin renk ve sertlik açısından uygun olan türleri genellikle parke taşı, döşeme ve kaplama taşı ve yapılarda değişik amaçlı olarak mimari tasarım elemanı olarak kullanılmaktadır. Bunların dışında andezitler bordür, yağmur oluğu, harpuşta, merdiven basamakları, istinat duvarları, mezar taşları, park ve bahçe düzenlemelerinde yaya yolları, oturma grupları, çiçeklik, çöp kutusu olarak ve tarihi bina restorasyonunda kullanılmaktadır (Şekil 12).



Şekil 12. Günümüzde andezitleri, bordür taşı, yağmur oluğu, parke taşı, kaplama taşı olarak kullanımları (İnt. Kaynak 1, 2019), (İnt. Kaynak 3, 2019), (İnt. Kaynak 3, 2019)

SONUÇLAR

Anadolu, antik çağlardan beri başta mermer olmak üzere doğal taşların en önemli üretim alanlarından birisi olmuştur. Günümüzde özellikle Batı Anadolu’da işletilen ocakların çoğu, antik dönemlerde işlenmiş ocakların ya devamıdır ya da bu ocaklara çok yakın mesafelerde yer almaktadır. Günümüzde kırmızı-mor damarlı “menekşe” ticari ismiyle bilinen, Antik çağlardaki adı Pavonazetto olan mermeri ile ünlünen İscehisar (Dokimeion) çevresinde bol miktarda volkanik kayalar da bulunmaktadır. Andezitik bileşimli bir volkanizma ürünü olan bu kayalar kimyasal bileşimleri dikkate alınarak, alkali-trakit, traki-bazalt, traki-andezit, piroksenli andezit, ojit andezit ve andezit olarak tanımlanmaktadır. Ancak ticari olarak hepsi “andezit” olarak isimlendirilmektedir.

Ticari olarak “İscehisar andeziti” olarak bilinen pembe, kahverengi ve gri-siyah renklere bulunan bu kayalar, Antik dönemlerden günümüze yapı taşı olarak kullanılmaktadır. Önceleri köprü çeşme, cami, anıtsal yapılarda kullanılan bu andezitler günümüzde de bordür, yağmur oluğu, harpuşa, merdiven basamakları, istinat duvarları, mezar taşları, park ve bahçe düzenlemelerinde yaya yolları, oturma grupları, çiçeklik, çöp kutusu olarak kullanılmaktadır. Parlatılma özelliği olmayan andezitler genellikle honlu olarak kullanılmaktadır. Bunun dışında çekiçleme, kumlama, taraklama, mucartalı gibi değişik yüzey şekillendirme teknikleri uygulanan andezitlerin kullanım alanı gittikçe artmaktadır.

KAYNAKLAR

- Akbulut, H. Gürer, C. Yıldız, A. (2006). İscehisar andezitlerinin yol üst yapı kırmataşı olarak fiziksel özelliklerinin araştırılması. *Türkiye IV. Mermer ve Doğaltaş Sempozyumu*, 183.
- Aydar, E. Bayhan, H. Zimitoğlu, O. (1996). Investigation of volcanological and petrological evolution of Afyon stratovolcano. *Yerbilimleri (Bull Earth Sci Appl Res Cent Hacettepe Univ)* 18:87–107,
- Besang, C. Echart, F.J. Harre, W. Keruzer, H. Muller, P. (1977). Radiometrische altersbestimmungen an Neogenen erup-tigesteinen der Turkei. *Geologisches Jahrbuch*, 25, 3-36.
- Çelik, M.Y. (2003). Antik Çağda İscehisar (Afyon) Mermer Ocağı. *Mermer, Doğal Taş Sektörünün Dergisi*, 8(34), 70-75,
- 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*, February 2016, 75:307.

- Çelik, M.Y. Ersoy, M. Yeşilkaya, L. Yılmaz, S. Köken, İ. (2017). Andezitlerde farklı sulu ortamların kapiler su emme özelliğine etkisinin incelenmesi, *Türkiye 9. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi ve Sergisi*, (ed. Şengün, N. Demirdağ, S. Altındağ, R. Uğur, İ. Saraç, S.) s. 295-304, Antalya.
- Çelik, M.Y. Aygün, A. (2018). "The effect of salt crystallization in porous building stones by sodium sulfates and sodium chlorides on degradation", *Bull Eng Geol Environ*. <https://doi.org/10.1007/s10064-018-1354-y>.
- Çelik, M.Y. Yılmaz, S. (2018). Influence of the static, salty, acidic hydrous environments on the capillarity potential of the porously building stone, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 33:2, 591-607.
- Çelik, M.Y. Ersoy, M. Arsoy, Z. Sert, M. Yeşilkaya, L. (2018-a). "İscehisar andezitlerinin tuz kristalleşmesine bağlı ayrışmasında su itici kimyasal madde etkisinin araştırılması", *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 2018, 57(2) 81-94, 2018-a.
- Çelik, M.Y. Arsoy, Z. Sert, M. Ersoy, M. Şahbaz, A. (2018-b). İscehisar (Afyonkarahisar) andezitinin beton agregası olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi, *The 1st International Engineering and Technology Symposium (IETS'18)* 03–05 May, 948-955, Batman.
- Çelik, M.Y. Arsoy, Z. Sert, M. Tıgılı, R. (2018-c). Afyonkarahisar yöresinde yapı taşı olarak kullanılan İscehisar andezitinin tuz kristallenmesine direncinin incelenmesi, *The 1st International Engineering and Technology Symposium (IETS'18)* 03–05 May, 956-964, Batman.
- Çelik, M.Y. Arsoy, Z. Sert, M. (2018-d). Donma-çözülmenin farklı boyutlardaki İscehisar andezitinin fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisinin incelenmesi, *Multicongress Antalya, V. Uluslararası Multidisipliner Çalışmaları Kongresi*, 2-3 Kasım 2018, Cilt:1, 462-482, Antalya.
- Çelik, M.Y. Sert, M. Arsoy, Z. (2018-e). *Termal şok işleminin yapı taşı olarak kullanılan iscehisar andezitinin fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisinin incelenmesi*, Mühendislik Bilimlerinde Güncel Akademik Çalışmalar-2018/Current Academic Studies in Engineering Sciences-2018, Editors/Editörler Prof. Dr. Serdar SALMAN, Doç. Dr. Duygu KAVAK, Dr. Ali KILIÇER, IVPE Publisher, First Edition December 2018, Cilt:2, 731-745, Cetinje, Montenegro, ISBN 978-9940-540-51-7.
- Daş, E. (1997). Afyon'daki Türk anıtları, Ege Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri-Gerçek Yoğunluk, Görünür Yoğunluk, Toplam ve Açık Gözeneklilik Tayini, TSE Std, TS EN 1936, 2010.
- Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri-Ses Hızı İlerlemesinin Tayini, TSE Std, TS EN 14579, 2006.
- Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri-Atmosfer Basıncında Su Emme Tayini, TSE Std, TS EN 13755, 2014.
- Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri-Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tayini, TSE Std, TS EN 1926, 2013.
- Drew-Bear, T. (1993). Dokimeion'dan yeni yazıtlar, *XI. Araştırma Sonuçları Toplantısı*. 24-28 Mayıs 1993, Ankara.
- Erdoğan, Y. Yaşar, E. Güneşli, H. (2008). Doğal yapı taşlarının isi-ses yalıtımı ile mekanik özelliklerinin belirlenmesi. *IX. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu*, 340-350, İzmir
- Göncer, S. (1971). *Afyon İli Tarihi. Cilt 1*. Karınca Matbaacılık ve Ticaret Kollektif Şirketi, İzmir.
- Guruprasad, B. Ragupathy, A. Badrinarayanan, T.S. Rajkumar, K.B. (2012). The stress impact on mechanical properties of rocks in hydro fracturing technique. *Int J Eng Sci Tech (IJEST)*, 4(2), 571-580.
- İleri, S., Kun, N., ve Türkmen, F. (2001). Antik dönem Anadolu mermerciliğinde jeolojinin önemi. *Mermer Dergisi*, Yıl 6, sayı 28, s 16-20.
- İnt. Kaynak 1. https://www.karabulutmermer.com/portfolio_category/andesite/ (07.02.2019),
- İnt. Kaynak 2. <https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/afyonkarahisar/> (08.02.2019)
- İnt. Kaynak 3. <http://www.yorukbeyiandezit.com/> (08.02.2019)
- İnt. Kaynak 4. <http://www.iyigunandezit.com/urunler.htm> (08.02.2019)
- İscehisar Kaymakamlığı, (2012). İscehisar Tanıtım Kitabı, Afyonkarahisar, İscehisar Kaymakamlığı Yayını.
- Kuşcu, M. Bağcı, M. Yıldız, A. (2006). Konarı (İscehisar-Afyon) traki-andezitlerinin yapıtaşı olarak kullanılabilirliğinin araştırılması. MERSEM 2006' Türkiye V. Mermer ve Doğaltaş Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 281-290.

- 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*. P: 243-253, İstanbul, Turkey.
- 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.
- Metin, S. Genç, Ş. Bulut, V. (1987). *Afyon ve yakın dolayının jeolojisi*, M.T.A. Rap. No: 8103, Ankara.

TRAVERTENLERİN KAPİLER SU EMME POTANSİYELLERİNDE pH'ın ETKİSİ
THE EFFECT OF pH IN CAPILLARY WATER ABSORPTION POTENTIALS OF TRAVERTINES

M. Özdemir^{1*}, S. Beyhan¹, A. Aygün¹, A.Özgür¹

¹*Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Müh. Fak. Maden Mühendisliği Bölümü*
 (*Sorumlu yazar: mehmet.ozdemir@dpu.edu.tr)

ÖZET

Kayaçların ayrışmasında, bozunmasında ve parçalanmasında su önemli bir faktördür. Kayacın taneleri arasındaki gözeneklere suyun girmesini sağlayan en önemli mekanizmalardan birisi, kayacın kapiler su emme potansiyelidir. Bu çalışmada, farklı pH değerlerinde, 7 farklı traverten doğal yapı taşının kapiler su emme potansiyelleri belirlenmiştir. Bu amaçla; her bir traverten kaya birimi için 50x50x50 mm ebatlarında 20 adet olmak üzere toplam 140 adet deney örneği hazırlanmıştır. Deneyler pH2, pH7 ve pH12 arasında yer alan asidik ve alkali sıvı ortamlarda ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Deney sıvısı, uygun miktarda HCl (asidik sıvı ortam) ve NaOH (bazik sıvı ortam) saf suya ilave edilerek hazırlanmıştır. Aynı zamanda travertenlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesine yönelik olarak da yaklaşık 150 örnek üzerinde, basınç dayanımı, birim hacim ağırlık, ultrasonik ses hızı, su emme ve porozite deneyleri yapılmıştır. Deneysel çalışmaların sonunda, kapiler su emme değerleri ile fiziksel ve mekanik özellikler istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada, kılcal su emme katsayısının pH2'de 0,66 – 4,31, pH7'de 0,37 – 3,59 ve pH12 de ise 0,46 – 3,80 kg/m²sn^{0,5} aralığında değiştiği belirlenmiştir. En fazla kılcal su emme değerleri yüksek asidik sıvıda (pH2) ölçülmüştür. Kılcal su emme sınıflamasına göre örnekler genellikle orta ve yüksek sınıfında yer almaktadır. Ayrıca, traverten örneklerinin gözeneklilik ve su emme değerlerinin, kılcal su emmeyi etkilediği belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Traverten, pH, su emme, bozunma

ABSTRACT

Water is an important factor in the decomposition, weathering and disintegration of rocks. One of the most important mechanisms that allows water to enter the pores between the grains of the rock is the capillary water absorption potential of the rock. In this study, capillary water absorption potentials of 7 different travertine natural building stones at different pH values were determined. For this purpose; 140 test samples were prepared for each travertine rock unit, 20 of which are 50x50x50 mm in size. The experiments were carried out in acidic and alkaline aqueous media at pH2, pH7 and pH12. The test liquid was prepared by adding an appropriate amount of HCl (acidic liquid media) and NaOH (alkaline liquid media) to pure water. In addition, uniaxial compressive strength, unit volume weight, ultrasonic velocity test, water absorption and porosity tests were performed on approximately 150 samples to determine the physical and mechanical properties of travertines. At the end of the experimental studies, capillary water absorption values and physical-mechanical properties were evaluated statistically. In the study, it was determined that capillary water absorption coefficient ranged from 0.66 to 4.31 at pH2, from 0.37 to 3.59 at pH7 and from 0.46 to 3.80 kg/m²sn^{0,5} at pH12. Maximum capillary water absorption values were measured in high acidic liquid (pH2). According to the capillary water absorption classification, samples are generally in the middle and high level. In addition, it was determined that porosity and water absorption values of travertine samples affect capillary water absorption.

Keywords: Travertine, pH, water absorption, weathering

GİRİŞ

Doğal yapı taşları ve malzemeleri; zaman, çevre ve iklim koşulları gibi çeşitli etkiler nedeniyle birtakım bozunmalara maruz kalırlar. Kayaç ya da malzeme bozunmalarının etkisiyle zayıflar, sahip oldukları fiziksel ve mekanik özellikleri olumsuz yönde etkilenir. Bozunmalara karşı önlem alabilmek için, öncelikle bunların neden kaynaklandığını belirlemek gerekir. Doğal taşlar; yağış (yağmur ve kar), sıcaklık farkı ve rüzgar gibi çeşitli dış etkenlerden en çok zarar gören yapı malzemeleridir. Bu dış etkenler (atmosfer ve iklim şartları) doğal yapı taşlarında parçalanma, dağılma, dökülme, parlaklık kaybı ve kırılabilirlik gibi birbirinden farklı ayrışma ve bozunmalara neden olmaktadır. Oluşumu itibarıyla gözenekli bir yapıya sahip olan travertenler karbonatlı diğer doğal taşlara göre suya daha hassas doğal malzemelerdir. Suyla temas halinde yüksek kapiler su emme potansiyeline sahip doğal taşlar atmosferik koşullardan daha fazla etkilenmektedir (Çobanoğlu ve Çelik, 2018).

Su; poroziteye, zamana, kayaç türüne, kil içeriğine ve suyun pH değerine bağlı olarak kayaca değişik oranlarda nüfus etmektedir. Kayaçlarda suyun etkisiyle bozunma durumlarının belirlenebilmesi, suyun kayaç içerisindeki hareketinin iyi bilinmesine bağlıdır. Suyun kayaç içerisindeki hareket etme mekanizmasına bağlı olarak kayacın su emme potansiyelleri değişkenlik göstermektedir. Su ile temas eden gözenekli bir kayaç, kapilerite etkisiyle onu absorbe eder. Kayaçlar suyla temas ettikleri zaman suyu bünyesine alma eğilimi gösterirler. Bu durum kayaç içerisindeki gözeneklerin kontrol ettiği kapiler emme kuvvetine bağlıdır. Bu, dışarıdan herhangi bir basınca ya da kuvvete maruz kalmadan kendiliğinden gelişen bir durumdur. Kılcal su emme mekanizması, kayacı oluşturan gözeneklerin büyüklüğüne ve birbiri ile bağlantı durumlarına bağlıdır. Kayacın su emmesi, akışkan sıvının yüzey gerilimi ile gözenek duvarının emme kuvveti arasındaki denge ile gerçekleşir (Cueto vd., 2009; Vazquez vd., 2010).

Traverten ve mermer vb. gibi doğal yapı taşlarının ayrışmasında ve bozunmasında su önemli bir faktördür. Bu tür kayaçlarda var olan gözenek sistemleri, ince kılcal çatlaklar ve fissürler suyun bünyeye girmesinde önemli rol oynamaktadır. Doğal yapı taşları içine suyun girmesini sağlayan en önemli mekanizmalardan birisi de kılcal su emmedir. Kılcal su emme kayacın bünyesinde bulunan gözenek sisteminin geometrisine bağlıdır. Değişik şekil, boyut ve büyüklükte gözenekli yapıya sahip olan kayaçlar, gözeneklilik oranında bünyelerine su almaktadır. Ayrıca kılcal su emme, kayacın boşluklu yapısının yanı sıra izotropik, anizotropik olma durumuna, minerolojisine ve kayaç dokusunun farklılığına göre değişkenlik göstermektedir (Cueto vd., 2009). Bu gözenekler kayacın birim hacim ağırlığını, su emmesini, geçirimsizliğini, donma-çözünme ve ıslanma-kuruma periyotlarında dayanıklılığını, basınç dayanımını, ısı ve ses yalıtımını önemli derecede etkilemektedir. Su; rüzgar ve sıcaklık farkı gibi diğer çevresel faktörler ile birleştiğinde, kayalarda bozunmayı hızlandırmakta ve kayanın fiziksel-mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir. Bundan dolayı, özellikle doğal yapı taşlarında bozunma mekanizmasını belirlemek için suyun yapı taşlarına yapacağı etkinin önceden bilinmesi büyük önem taşımaktadır (Dinçer vd., 2012). Özellikle donma-çözünme koşulları ve yağış rejiminde bu etki büyük oranda kayaçların su tutma kapasitelerini etkilemektedir (Çelik, 2017). Yapıların dışında kaplama malzemesi olarak kullanılacak kayaçların kılcal su emme katsayılarına bu sebeplerle ve duraylılık açısından bakılması gerekmektedir (Semerci, 2017).

Bu çalışmada, Türkiye’de 7 farklı bölgeden alınmış traverten türü doğal yapı taşı incelenmiştir (Şekil 1). Çalışmanın ilk aşamasında traverten örneklerin tek eksenli basınç dayanımı (σ_b), ultrasonik geçiş hızı (V_p), birim hacim ağırlık (γ_k), porozite (n) ve su emme (A_w) gibi fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra her bir traverten türünün kılcal su emme deneyleri pH değerleri farklı 3 sıvı tipinde yapılmış ve kılcal su emme katsayıları ($C=kg/m^2sn^{0,5}$) belirlenmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler istatistiksel olarak analiz edilerek yorumlanmıştır. Ayrıca, her bir traverten türünün mekanik-fiziksel özellikleri ile kılcal su emme katsayıları arasında ilişki değerlendirilmiştir.

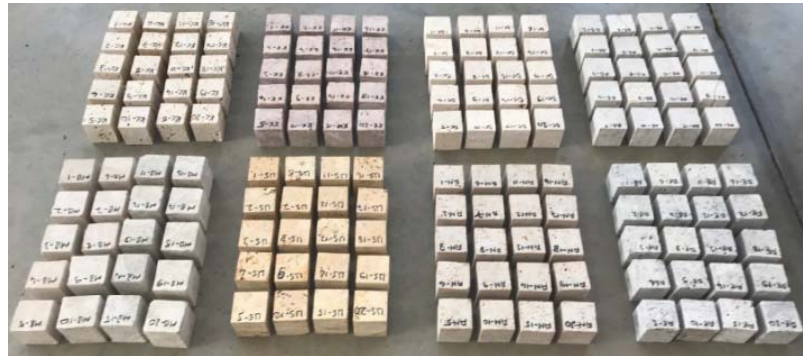


Şekil 1. Traverten örneklerinin alındığı bölgeleri gösteren harita [1. Afyon (AB), 2. Afyon (AE), 3. Kütahya (KK) , 4. Karaman (KC), 5. Denizli (DC), 6. Antalya (AN), 7. Uşak (US)]

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Kılcal su emme katsayısı; bir kayacın gözenek ve kılcal çatlak etkisiyle su emme özelliğini ifade etmekte olup, kayacın suyla temas ettiğinde ne kadar hızlı su emebileceğini göstermektedir (Çelik ve Yılmaz, 2018). Kılcal su emme katsayısı, bünyeye çekilen su miktarı ile doğru orantılı, suyla temas eden yüzey ve zamanın karekökü ile ters orantılıdır. Kılcal su emme, kayacın içinde bulunduğu akışkanın yüzey gerilimi ve gözenek yüzeyinin emilimi ile ilişkilidir (Dinçer ve Orhan, 2016). Kayaçlardaki gözeneklerin büyüklüğü ve miktarı kılcal emmeyi artırmaktadır Bu artış, yağış rejimi ve yeraltı su seviyesine göre değişkenlik göstermektedir (Tomasic, 2011). Su, temas ettiği kayaçlara ve içinde bulunduğu yapılara tabandan itibaren yukarıya doğru kılcal su emme etkisiyle nüfuz etmekte, kayaçların içindeki tuzların etkisiyle de bozunma artmakta ve stabilite sorunları yaşanmaktadır (Akin vd., 2016).

Birçok kaya türünün gözenekli olması ve kılcal çatlak içermesinden dolayı, bunların suyla temas edecek ortamlarda kullanılması durumunda kapiler su emme katsayısının belirlenmesi oldukça önemlidir. Ayrıca, kılcal su emme ile kayacın diğer fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişki de yapılarda kullanılacak doğal yapı taşları için önem arz etmektedir. Bu amaçla; kılcal su emme (C), birim hacim ağırlığı (γ_k), görünür porozite (n), ağırlıkça su emme (A_w), P dalga hızı (V_p) ve tek eksenli basınç dayanımı (σ_b) deneyleri TS EN 1925 (2000), TS 699 (1987) ve ISRM (2007)'nin önerdiği standartlara göre belirlenmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere, kılcal su emme için 140, fiziksel-mekanik özellikleri için ise 150 olmak üzere toplam 290 adet 50 mm kenar uzunluğunda küp deney örneği hazırlanmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Deneysel çalışmada kullanılan traverten örnekleri

Fiziksel ve Mekanik Özellikler

Doğal yapı taşı olarak kullanılacak kayaların, kullanım yerlerine ve amaçlarına göre standartlarda belirtilen bazı fiziksel ve mekanik özellikleri taşıması gerekmektedir. Bu durum doğal yapı taşının kullanıldığı ortamdaki duraylılığı açısından önemlidir. Bu çalışma kapsamında incelenen traverten örneklerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yürütülen deneysel çalışmalarda (Şekil 3b, e, f), Çizelge 1’de verilen değerler elde edilmiştir.

Çizelge 1. Traverten örneklerinin fiziksel ve mekanik özellikleri

Deney adı	Örnek No						
	AB	AE	KK	KC	DC	AN	US
Birim hacim ağırlık (kN/m ³)	24,4	24,3	25,2	23,4	27,3	24,6	23,7
Görünür porozite (%)	2,78	3,95	2,19	4,20	5,44	2,31	7,85
Ağırlıkça su emme (%)	0,77	0,82	0,96	1,39	1,61	1,62	3,31
Ultrases dalga hızı (km/sn)	5418	5075	4539	4829	5229	5418	5319
Basınç dayanımı (MPa)	42,09	57,14	42,45	52,08	34,45	59,95	51,86

Kılcal su emme

Traverten, mermer vb gibi doğal yapı taşları, yapıların dış mekanlarında kullanılması durumunda, sürekli olarak yağmur, rüzgar, sıcaklık farkı gibi atmosfer olaylarına maruz kalmaktadır. Özellikle yağmur sularının asidik olması kayacın bozunabilirliğini artırmaktadır. Dolayısıyla, özellikle dış mekanlarda kullanılacak yapı taşlarının bu tür atmosfer olayları ile karşılaştıklarında gösterecekleri davranış biçiminin önceden belirlenmesi gerekmektedir. Kahraman ve Eser (2015) yapmış oldukları çalışmada kullandıkları traverten türünün kılcal su emme açısından standartları karşılayamadığı için kaplama taşı olarak kullanılmayacağı sonucuna varmışlardır. Bu amaçla çalışmada farklı pH (pH2, pH7, pH12) değerlerinde çözeltiler kullanılarak kılcal su emme deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Kılcal su emme deneyleri kenar uzunluğu 50 mm olan küp örneklere uygulanmıştır. Etüvde 105 °C sıcaklıkta kurutulup tartımları alınan örnekler (Şekil 3a), tabanı 3,0±1 mm derinliğinde olacak şekilde sıvı içerisine batırılmıştır (Şekil 3c). Su seviyesinin ortam sıcaklığına bağlı olarak değişmemesi amacıyla, örneklerin bulunduğu kaplar kapalı tutulmuştur. Ancak deneyin süresinin uzun olması nedeniyle suyun buharlaşması engellenememiş ve deneyin bazı aşamalarında deney kabına pH değeri ayarlanmış sıvı (çözelti) ilave edilmiştir. Çalışmada kullanılan sıvının pH değerinin 2 olması için hidroklorik asit, pH12 için ise sodyum hidroksil kullanılmıştır. Çözeltinin pH değeri pH metre ile sürekli takip edilmiştir (Şekil 3d).

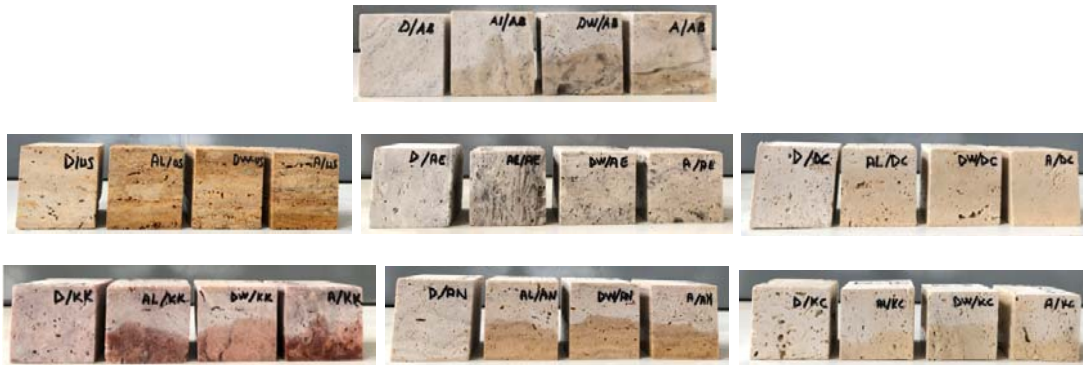
Kılcal su emme deneylerinde farklı zaman aralıkları kullanılmıştır. Zaman aralıkları; 5, 15, 30, 60, 180, 480, 1440, 2880, 4320 ve 7200 dakika olarak uygulanmıştır. Her bir zaman aralığında numuneler sudan çıkartılarak üzerindeki sıvının temiz bir kağıt havlu ile yüzeyden uzaklaştırılması sağlanmıştır (Şekil 4). Daha sonra her bir numune 0,01 gr hassasiyetle tartılarak zaman aralığına bağlı olarak emdikleri su miktarları belirlenmiştir (TS EN 1925, 2000). Bu çalışmada; deneyin 48 ve 120 saat gibi yüksek bir değerde sonlandırılmasının sebebi, literatürde bu süreye kadar deneysel bir çalışmaya rastlanmaması ve deneyin başlangıcında (5, 15, 30, 60 dk) ani bir su emme (pik) durumunun olmamasıdır. Kapiler su emme katsayısı Eşitlik 1 ile hesaplanmıştır.

$$C = \frac{m_i - m_d}{A\sqrt{t_i}} \quad (1)$$

C : kılcal su emme katsayısı ($\text{kg}/\text{m}^2\text{sn}0,5$) mi : deney sonu su emmiş kütlesi (kg)
 md : deney öncesi kuru kütle (kg) A : su ile temas eden yüzeyin alanı (m^2)
 ti : deney başlangıçtan itibaren ölçülen süreler (sn)



Şekil 3. Deneysel çalışmalardan görünüm.



Şekil 4. Traverten örneklerinin tabandan su emme görüntüsü

DENEY SONUÇLARI

Çalışılan traverten örneklerinin kılcal su emme – karekök zaman grafikleri Şekil 5’de verilmiştir. Şekil 5 incelendiğinde, kılcal su emme miktarı bakımından tüm traverten örnekleri yaklaşık 48 saat sonunda suya tam doymun hale gelmiştir. Asidik sıvıda diğerlerine göre daha fazla kılcal su emme gerçekleşmiştir (Çizelge 2). Bunun nedeninin, asidik değeri yüksek olan sıvıların, traverten örneklerinin ihtiva ettiği karbonatı daha fazla çözmesi ve bu durumunda gözenekleri ve kılcal çatlakları genişletmesi

ile örneklerin daha fazla kılcal su emmesine neden olduğu şeklinde yorumlanmıştır. Deneylerde kullanılan sıvının asitlik değeri azaldıkça kılcal su emme miktarının da azaldığı görülmektedir (Şekil 5, Çizelge 2). Kullanılan sıvının yoğunluğu arttıkça yüzey gerilimi de artmaktadır. Asidik sularda asitlik derecesinin azalmasıyla suyun yüzey gerilimi azalacağı için emilecek olan su miktarı da azalacaktır (Çelik ve Yılmaz, 2018).

Graue vd., (2011) tarafından yapılan bir çalışmada; kılcal su emme katsayısı $C < 0,5 \text{ kg/m}^2\text{sn}^{0,5}$ olan kayaçlar “düşük kılcal su emme”, $0,5 < C < 3,0 \text{ kg/m}^2\text{sn}^{0,5}$ olan kayaçlar “orta kılcal su emme” ve $C > 3,0 \text{ kg/m}^2\text{sn}^{0,5}$ olan kayaçlar ise “yüksek kılcal su emme” gösteren kayaçlar olarak sınıflandırılmaktadır. Buna göre, traverten kaya örneklerinin Graue vd., (2011) tarafından önerilen kılcal su emme katsayılarına göre sınıflaması Çizelge 2’de verilmektedir. Çizelge 2’ye göre; kılcal su emme katsayısı pH2’de 0,66 – 4,31, pH7’de 0,37 – 3,59 ve pH12 de ise 0,46 – 3,80 $\text{kg/m}^2\text{sn}^{0,5}$ aralığında değişmektedir. Bu durum suyun pH değerinin kılcal su emmede etkili olduğu sonucunu göstermektedir.

Çizelge 2. Traverten kaya örneklerinin kılcal su emme katsayı sınıflamasına göre değerlendirilmesi

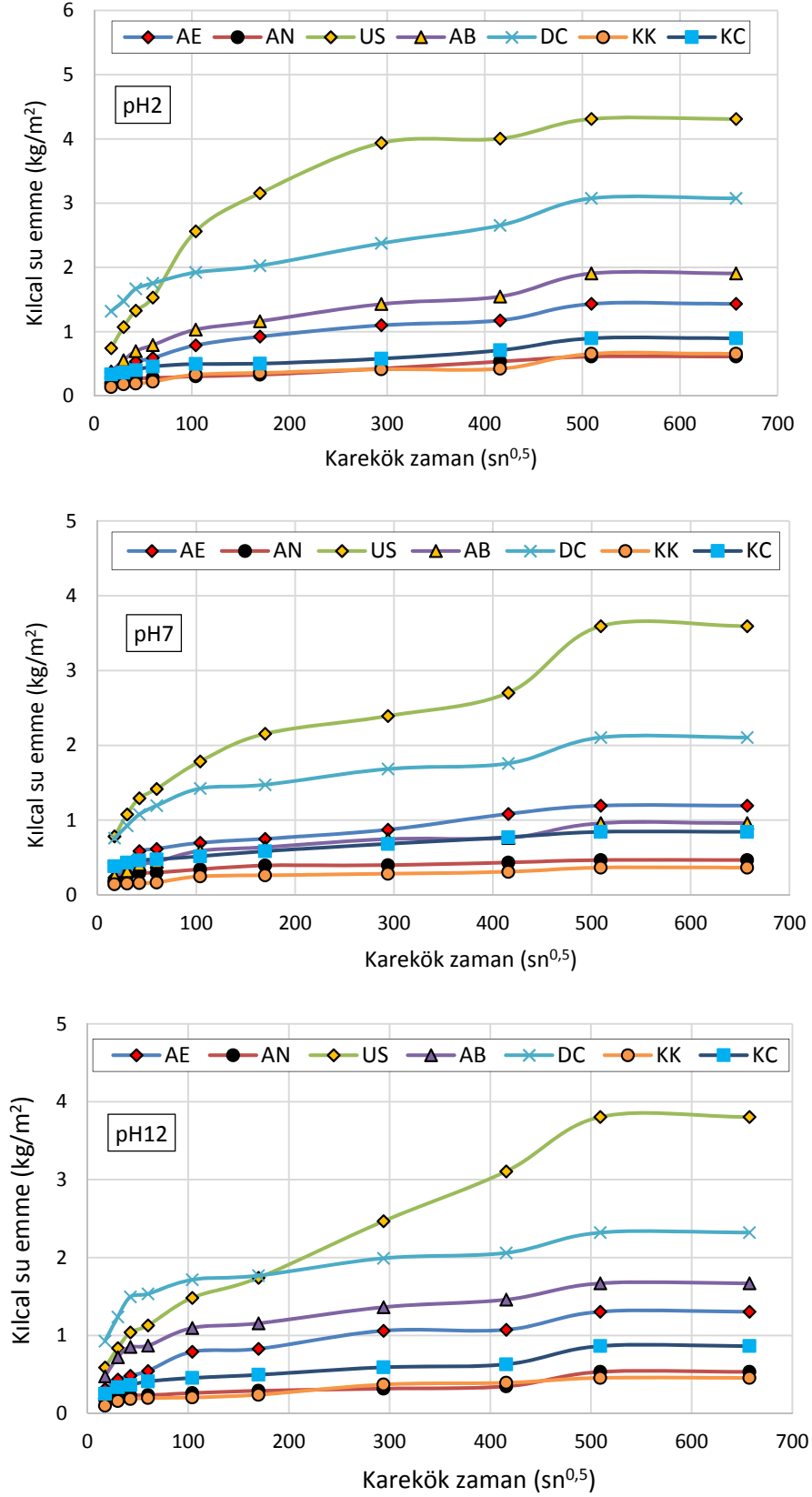
Örnek No	C ($\text{kg/m}^2\text{sn}^{0,5}$)					
	pH2		pH7		pH12	
	C	Sınıflama*	C	Sınıflama*	C	Sınıflama*
AN	0,66		0,37	Düşük	0,46	Düşük
AE	0,61		0,47		0,53	
KC	1,43	Orta	1,19	Orta	1,30	Orta
US	1,90		0,96		1,67	
AB	0,89		0,84		0,87	
KK	3,07	Yüksek	2,10		2,32	
DC	4,31		3,59	Yüksek	3,80	Yüksek

*Graue vd., (2011)’e göre.

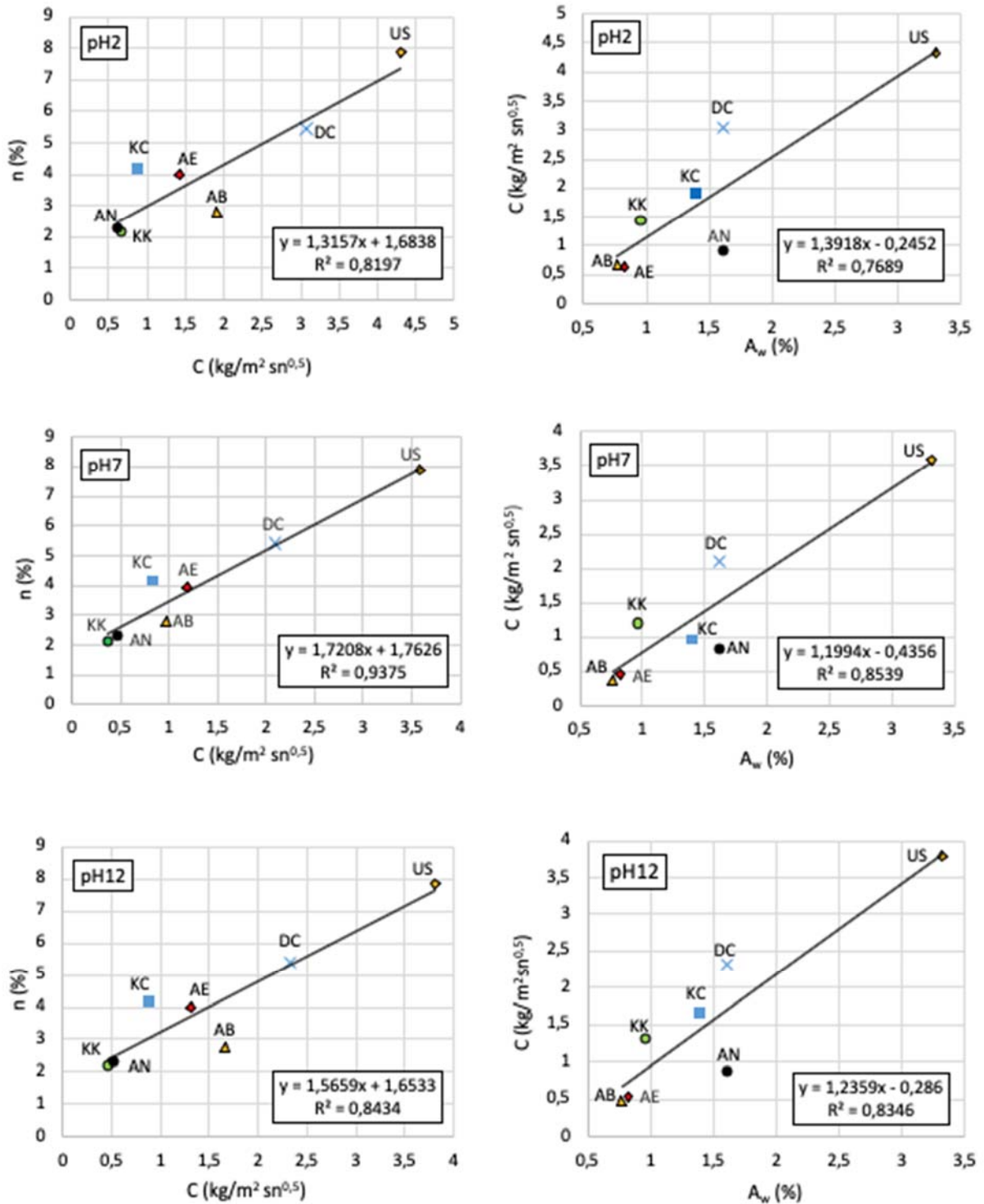
Traverten örneklerinin kılcal su emme katsayıları ile mekanik-fiziksel özellikleri arasındaki ilişkinin belirlenmesi amacıyla yapılan istatistiksel çalışmada Şekil 6 ve Şekil 7’ de gösterilen grafikler elde edilmiştir. Burada; kılcal su emme katsayısı ile birim hacim ağırlık, basınç dayanımı, ağırlıkça su emme, görünür porozite arasındaki ilişki tanımlanmıştır. Bu analizlerden elde edilen korelasyon denklemleri Çizelge 3’de verilmiştir. Belirleme katsayılarının (R^2) 0,61 ile 0,94 arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek ilişki kapiler su emme değeri ile ağırlıkça su emme ve görünür porozite değerleri arasında elde edilmiştir. Deneylerde kullanılan her üç sıvı içinden en iyi korelasyonu pH7 değeri vermiştir.

Çizelge 3. Elde edilen parametreler arasındaki korelasyon denklemleri

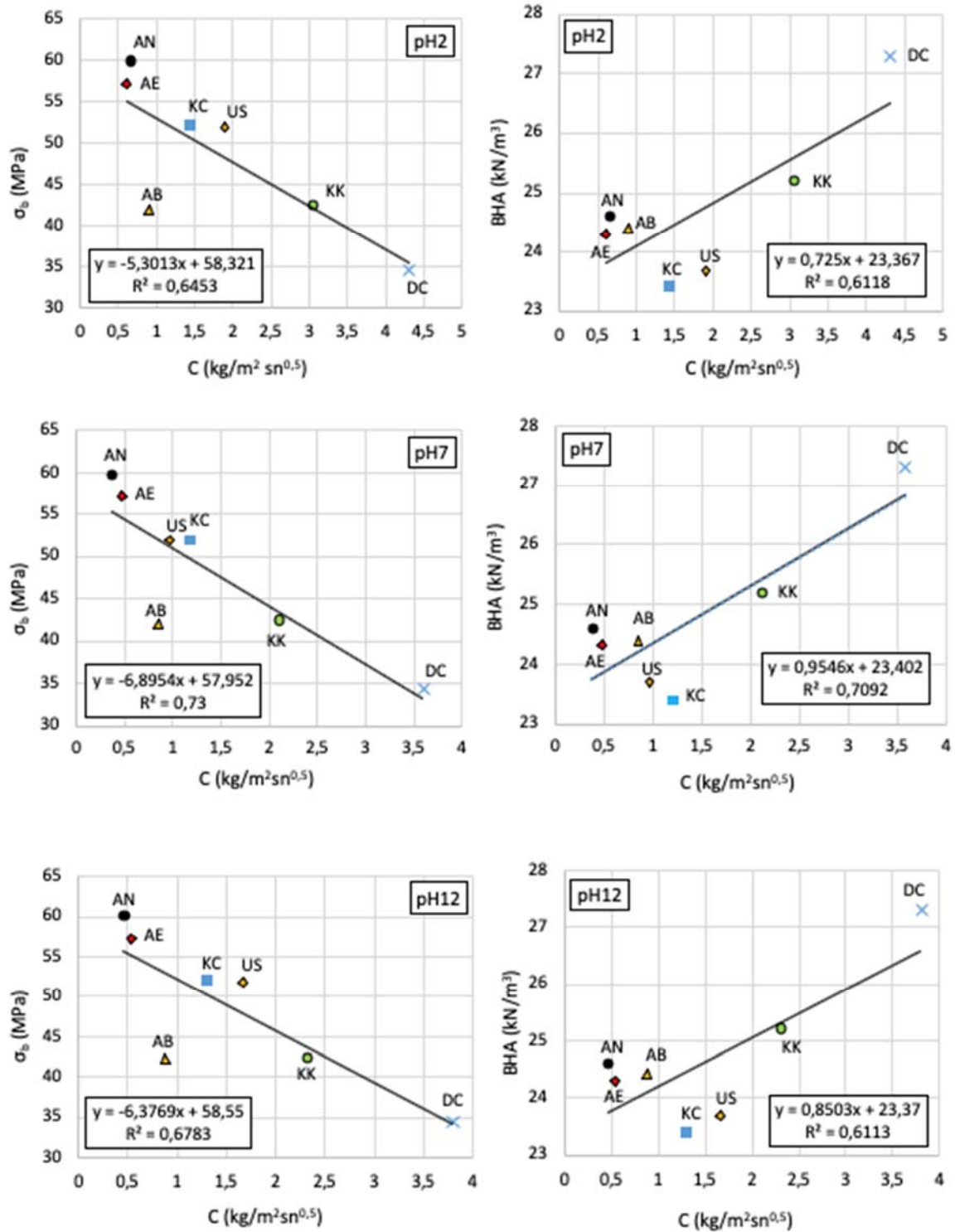
	Sıvının özelliği	Denklemler	R^2
Görünür porozite – kılcal su emme	pH2	$n=1,3157C+1,6838$	0,82
	pH7	$n=1,7208C+1,7626$	0,94
	pH12	$n=1,5659C+1,6533$	0,84
Birim hacim ağırlık – kılcal su emme	pH2	$BHA=0,725C+23,367$	0,61
	pH7	$BHA=0,9546C+23,402$	0,71
	pH12	$BHA=0,8503C+23,37$	0,61
Basınç dayanımı – kılcal su emme	pH2	$\sigma_b=-5,3013C+58,321$	0,65
	pH7	$\sigma_b=-6,8954C+57,952$	0,73
	pH12	$\sigma_b=-6,3769C+58,550$	0,68
Ağırlıkça su emme – kılcal su emme	pH2	$C=1,3918A_w-0,2452$	0,77
	pH7	$C=1,1994A_w-0,4356$	0,85
	pH12	$C=1,2359A_w-0,2860$	0,84



Şekil 5. Travertenler için elde edilen kılcal su emme - karekök zaman grafikleri



Şekil 6. Travertenler için elde edilen kapiler su emme katsayıları (C) ile gözeneklilik (n) ve ağırlıkça su emme (Aw) grafikleri



Şekil 7. Travertenler için elde edilen kapiler su emme katsayıları (C) ile tek eksenli basınç dayanımı (σ_b) ve birim hacim ağırlık (γ_b) grafikleri

SONUÇLAR

Doğal yapı taşlarının ayrışmasında ve bozunmasında su önemli bir faktördür. Bu tür kayalarda var olan gözenek sistemleri, ince kılcal çatlaklar ve fissürler suyun bünyeye girmesinde önemli rol oynamaktadır. Doğal yapı taşları içine suyun girmesini sağlayan en önemli mekanizmalardan birisi de kılcal su emmedir. Kapilarite etkisiyle zeminden yükselen su, doğal taşın kullanıldığı yapının fiziksel ve kimyasal yapısını bozucu etkilere neden olabilmektedir. Bu yüzden, nemli ve sulu ortamlarda kullanılan doğal yapıtaşlarının kılcal su emmeden kaynaklı bozunmalardan etkilenmemeleri için gerekli koruyucu önlemlerin alınması gerekmektedir. Bu amaçla, öncelikle kayacın farklı pH değerlerindeki kılcal su emme potansiyeline göre hangi sınıfta yer aldığı belirlenmelidir. Bu durum, doğal yapı taşının kullanılacağı yerin seçiminde oldukça önemlidir.

Bu çalışmada, ülkemizdeki 7 farklı bölgede bulunan traverten doğal yapı taşının farklı pH değerlerinde kılcal su emme potansiyeli incelenmiştir. Yapılan deneylerde en fazla kılcal etkinin, yüksek asitli (pH2) sıvı ortamında meydana geldiği belirlenmiştir. Dolayısıyla çevresel etkilerden ve atmosfer olaylarından gelebilecek zemin ve yağmur sularının asidik özellik göstermesi, bu traverten örneklerinin kullanılacağı yerlerdeki duraylılığını etkileyebileceği düşünülmektedir. Traverten ve mermer gibi doğal yapı taşlarının kullanım alanları belirlenirken bu tür taşların öncelikle kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerinin yanında kılcal su emme miktarının da bilinmesi gerekmektedir. Bu amaçla çalışmanın ikinci bölümünde, kılcal su emmenin doğal taşın fiziksel-mekanik özelliklerini nasıl etkilediği deneylerle belirlenmiş ve istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Buna göre, doğal taşın porozite ve ağırlıkça su emme değerinin yüksek olması, kılcal su emme katsayısının da yüksek çıkmasına neden olmuştur. Ayrıca, kılcal su emme katsayısı yüksek olan traverten örneklerinin basınç dayanımlarının düşük değerler aldığı belirlenmiştir.

Graue vd., (2011) kılcal su emme sınıflaması dikkate alınarak yapılan değerlendirmeye göre; traverten örneklerinin önemli bir kısmı orta ve yüksek kılcal su emme sınıfında yer almakta olup, deney sıvısının pH değerine göre, kılcal su emme katsayısı pH2'de 0,66 – 4,31, pH7'de 0,37 – 3,59 ve pH12'de ise 0,46 – 3,80 kg/m²sn^{0,5} aralığında değiştiği belirlenmiştir. Bu durum suyun pH değerinin kılcal su emmede etkili olduğu sonucunu göstermektedir. Özellikle asidik ortamda bu etki daha fazla görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Akın, M., Dinçer, İ., Özvan, A., Oyan, V. ve Tapan, M. (2016). İgnimbiritlerdeki Kılcal Su Emme Özelliğinin Ahlat Selçuklu MezarTaşlarının Bozunmasındaki Rolü. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 40(2), 149-165.
- Cueto N., Benavente D., Martínez-Martínez J. García-del-Cura M.A. (2009). Rock fabric, pore geometry and mineralogy effects on water transport in fractured dolostones. Engineering Geology 107: 1-15.
- Çelik, M.Y., (2017). Water absorption and P-wave velocity changes during freeze-thaw weathering process of crosscut travertine rocks, Environ Earth Sci (2017) 76:409, DOI 10.1007/s12665-017-6632-7.
- Çelik, M.Y. ve Yılmaz, S. (2018). Statik, tuzlu ve asidik sulu ortamların Afyonkarahisar yöresinde yapı taşı olarak kullanılan gözenekli yapıtaşlarının kılcal su emme potansiyeline etkisi. Gazi üniversitesi, Müh. Mim. Fak. Dergisi, 33:2, 611-628.
- Çobanoğlu, İ. ve Çelik, S.B. (2018). Travertenlerde Kapiler Su Emmenin Tanımlanması ve Sınıflandırılması, Madencilik Dergisi, Özel Sayı, 121-127.
- Dinçer, İ., Özvan, Ali., Akın, M., ve Tapan, Mucip. (2012). İgnimbiritlerin Kapiler Su Emme Potansiyellerinin Değerlendirilmesi: Ahlat Taşı Örneği. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bil. Ens. Dergisi. 17 (2), 64-71.

- Dinçer, İ. ve Orhan, A. (2016). Effect of Pore Size Distribution on Capillary Water Absorption Characteristics of Pyroclastic Rock. International Black Sea Mining and Tunnelling Symposium, 311-318.
- Graue B., Siegesmund S., Middendorf B.. (2011). Quality assessment of replacement stones for the cologne cathedral: mineralogical and petrophysical requirements. Environmental Earth Science, 63, 1799-1822.
- ISRM, (2007). The complete ISRM suggested methods for rock characterization testing and monitoring: 1974-2007. In: Ulusay, R. and Hudson, J.A. (Editors), Suggested Methods Prepared by the Commission on Testing Methods, International Society For Rock Mechanics (ISRM).
- Kahraman, E. ve Eser, A., (2015). Elazığ Bölgesi Travertenlerinin Kaplama Taşı Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 30(2), 243-253, Aralık 2015.
- Semerci, F., (2017). Mardin Kireçtaşının Yapı Malzemesi Olarak Kullanımına Yönelik Analizlerinin Yapılması: Kasımiye Medresesi Örneği, Süleyman Demirel Üniversitesi, Mimarlık Bilimleri ve Uygulama Dergisi, Araştırma Makalesi, e-ISSN: 2548-0170, MBUD 201, 2(2): 60-79.
- Tomasic, I., Lukic, D., Pecek, N., Krsinic, A. (2011). Dynamics of capillary water absorption in natural stone. Bulletin of Engineering Geology and Environment, 70:673–680.
- TS EN 1925. (2000). Doğal taşlar - Deney Metotları - Kılcal Etkiye Bağlı Su Emme Katsayısının Tayini, TSE Yayını, 9
- TS 699. (1987). Tabii yapı taşları muayene ve deney metotları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, s.
- Vazquez P. Alonso F.J. Esbert R.M Ordaz J. (2010). Ornamental granites: Relationship between p-waves velocity, water capillary absorption and crack network. Construction and Building Materials. 24: 2536-2541.

ANDEZİT VE TÜFLERDE TUZ KRİSTALLENMESİNİN CIVALI POROZİMETRE VERİLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SALT CRYSTALLIZATION ON MERCURY POROZYMETER DATA IN ANDESITE AND TUFF

M. Y. Çelik^{1,*}, M. Sert², Z. Arsoy³

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksek Okulu, Doğal Yapı Taşları Programı, Türkiye
(*Sorumlu yazar: mycelik@aku.edu.tr)

^{2,3}Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Türkiye

ÖZET

Tuz kristallenmesi, donma-çözülme ve ıslanma-kuruma gibi yapı taşları içerisine giren suların sebep olduğu bir ayrışma şeklidir. Afyonkarahisar yöresinde yapı taşı olarak kullanılan andezit ve Döğler tufünde, sodyum sülfat dekahidrat ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) ve sodyum klorür (NaCl) tuzları kullanılarak tuz kristallendirme deneyleri yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı gözenekli yapı taşlarında, suyla çözünebilir tuzların kristallenmesi sonucunda, gözenek boyut dağılımında meydana gelen değişiklikleri incelemektir. Bu amaçla TS EN 12370 standardına göre tuz kristallenmesine direncin tayini deneyi uygulanmıştır. Tuz kristallenmesi gibi yapı taşlarının ayrışmasına yol açan olaylardan sonra meydana gelen değişimleri incelemenin en çok kullanılan yöntemlerinden birisi cıvalı porozimetredir. Örneklerin, tuz kristallenme deneyi öncesi ve sonrası cıvalı porozimetre ile gözenek boyut dağılımları belirlenmiştir. Deneysel sonuçlara göre gözeneklilik değeri; kristallenmiş tuzların varlığı ile azaldığı, mevcut gözeneklerin genişlemesiyle de arttığı tespit edilmiştir. Ortalama gözenek çapı, andezitlerde artarken Döğler tüflerinde ise azalmıştır. Döğler tüfleri unimodal dağılıma sahip olması nedeniyle gözeneklerde tuz birikimi daha fazla olmuştur. Bu durum da daha fazla ayrışmaya yol açmıştır.

Anahtar Sözcükler: Andezit, Tüf, Yapı Taşı, Tuz Kristallenme, Gözenek Boyut Dağılımı, Cıvalı Porozimetre

ABSTRACT

Salt crystallization is a form of weathering caused by water entering into building stones such as freeze-thaw and wetting-drying. Salt crystallization experiments were performed by using sodium sulphate decahydrate ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) and sodium chloride (NaCl) salts in the andesite and Döğler tuff used as building stones in Afyonkarahisar region. The aim of this study is to investigate the changes in porous size distribution of porous building stones as a result of crystallization of water soluble salts. For this purpose, the determination of the resistance to salt crystallization was performed according to TS EN 12370 standard. One of the most commonly used methods to examine the changes that occur after weathering of building stones such as salt crystallization is the mercury porosimetry. The pore size distribution of the samples with the mercury porosimetry was determined before and after the salt crystallization test. Porosity value according to experimental results; It is determined that it decreases with the presence of crystallized salts and increases with the expansion of existing pores. The average pore diameter increased in andesites and decreased in Döğler tuffs. As the tributaries had unimodal distribution, salt accumulation was higher in the pores. This situation led to further decay.

Keywords: Andesite, Tuff, Building Stone, Salt Crystallization, Pore Size Distribution, Mercury Porosimeter

GİRİŞ

Arkeolojik ve mimari eserler de dahil olmak üzere paha biçilmez kültürel mirasımızın birçoğunda doğal yapı taşları kullanılmıştır. Bu değerli tarihi eserler, estetik açıdan sadece günümüzde değil aynı zamanda gelecek nesiller için tarihi kanıtlar ve kaynaklar sunmaktadır. Ne yazık ki, tuz hasarı da dahil olmak üzere çeşitli zararlı ayrışma süreçleri bu kültürel miras sembollerini tehdit etmektedir (Winkler, 1994).

Tarihi yapılarda kullanılan doğal yapı taşlarının tahribatında büyük ölçüde çeşitli atmosfer etkileri ve çevresel faktörler etkili olmaktadır. Doğal yapı taşlarının ayrışmasını sağlayan çeşitli etkilerin su ile ilişkili olduğu bilinmektedir. Donma-çözülme, ıslanma-kuruma ve özellikle tuz kristallenmesi yapı taşları içine giren su ile ilişkilidir. Doğal taşların ayrışmasında en fazla yıkıcı etkisi olduğu bilinen tuz kristallenmesinin etkinliği, su ile taşınabilen çözünebilir tuzların varlığına bağlıdır. Çünkü çözünebilir tuzlar, sadece suda çözüldüğü zaman gözenekler ve mikro çatlaklar içerisine girebilir ve malzeme içerisinde hareket edebilir.

Su, bir taşın gözenek ağına eriştiğinde, çözelti içinde taşınan çeşitli tuzlar, genellikle buharlaşma nedeniyle tuz kristallenmesine neden olabilir (Coussy, 2006). Gece-gündüz boyunca tekrarlanan sıcaklık farklılıkları, tuz kristallerinin büyümesine neden olabilir. Bu durumda yüksek tuz konsantrasyonuna sahip olan çözeltilerde büyük miktarlarda tuz kristalleri oluşabilir (Thaulow ve Sahu, 2004).

Kapalı gözenekler içinde tuz kristallenmesi kaynaklı yüksek basınçlar nedeniyle mikro çatlaklar oluşabilir. Yapı malzemelerinde tuz hasarı riski, kristallerin gözenek doldurma derecesine ve kristallenme basıncının büyüklüğüne bağlıdır (Derluyn vd., 2014). Kristallenme kaynaklı gerilmeler, yeterli miktarda tuz kristalinin, yeterli yüksek kristallenme basıncı ile oluşmaktadır. Günümüzde literatürde, kristallenme basıncının bir süper doyma noktasında olduğu konusunda fikir birliği vardır (Coussy, 2006), (Flatt, 2017), (Steiger, 2005). Mikro gözeneklerde kristallenme meydana geldiğinde tuz hasarı riski artmaktadır. Coussy (2006), kristallenmenin daha büyük gözeneklerde başlaması ve sonuç olarak daha küçük gözeneklerde yayılması gerektiğini ileri sürmüştür.

Tuzların ve özellikle de sodyum sülfatın, gözenekli taşlarda, betonda ve tuğlada ayrışma koşullarında en yıkıcı maddeler arasında olduğu bilinmektedir. Bu tuzların malzemenin gözenek ağlarında oluşan kristallenme sürecini tam olarak anlamak ve gelecekte gözenekli doğal taşlara zarar vermelerini önlemek veya sınırlamasının bir yolunu bulmak için çok önemlidir (Yu ve Oguchi, 2010).

Doğal taşlarda bulunan mikro gözeneklerin tuz kristallenmesi ve ayrışma koşullarına etkisini anlamak için birçok çalışma yapılmıştır. Russell (1927), tuz ayrışmalarına karşı en duyarlı taşların, mikro gözeneklilerin olduğu fikrini ilk kez ortaya koymuştur. Bu fikir daha sonra başka çalışmalarla doğrulanmıştır. Rodriguez-Navarro ve Doehne (1999), tuz ayrışmasında buharlaşma hızının, süper doygunluğun ve kristallenme paterninin etkisini, Ruiz-Agudo vd. (2007), sodyum ve magnezyum sülfatların zarar verici etkilerini ortaya koymak amacıyla kristallenmenin gerçekleştiği gözeneklerde tuz hasarını kontrol eden bazı önemli parametrelerini, Angeli vd. (2008), gözeneklerde tuz kristalizasyonu hasarının ölçülmesi ve bundan gözenek boyut dağılımının nasıl etkilendiğini, Angeli vd. (2007), sedimanter taşların ayrışmasında gözenek boyut dağılımının tuz kristalizasyonu ile değişimini, Yu ve Oguchi, (2010), sekiz Japon yapı taşının tuz kristallenmesinde gözenek boyut dağılımının rolü, zararı ve tuz kristallenmesine duyarlılığını, Alves vd. (2011), tuz kristallenme testleri uygulanan kireçtaşlarının gözenek boyut dağılımına bağlı dayanıklılıklarını incelemiştir.

Tuz kristallenmesine bağlı olarak oluşan hasarlar, taşların gözenek boyut dağılımına bağlı olup bu özellikler bir taştan diğerine farklılık göstermektedir. Doğal yapı taşlarının gözenek boyut dağılımı, cıvalı porozimetre yardımıyla belirlenebilmektedir. Cıva porozimetrisi, hangi gözenek boyutunda tuzların

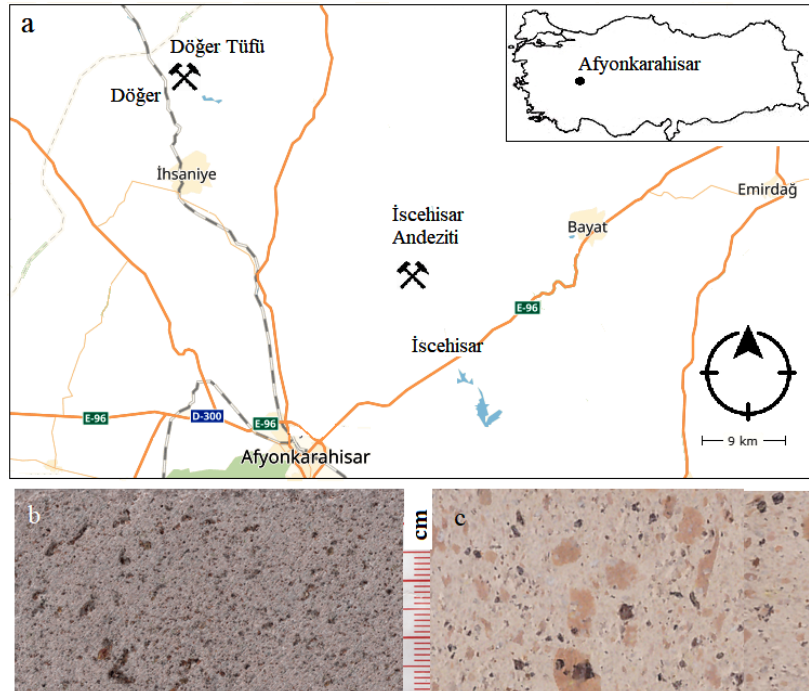
kristalize olduğunu, kristalizasyon basıncı nedeniyle oluşan yeni çatlakların büyüklüğünü ve buna bağlı olarak gelişen tuz hasarının ne kadar artacağını belirlemeye yardımcı olmaktadır. Bu çalışmanın amacı, Afyonkarahisar yöresinde yapı taşı olarak kullanılan andezit ve Döğertüfü gibi gözenekli yapı taşlarında, suyla çözünebilir tuzların kristallenmesi sonucunda, gözenek boyut dağılımında meydana gelen değişiklikleri incelemektir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Bu çalışmada İscehisar andeziti ve Döğertüfü kullanılmıştır. Her iki yapı taşı da geçmiş tarihlerde cami, köprü, kervansaray, çeşme gibi tarihi anıtlar ve binalarda kullanılmıştır. Deneylede kullanılmak üzere, bu iki yapı taşı birkaç nedenden dolayı seçildi. Bunlarda birisi, gözenek boyut dağılımı açısından, Döğertüfü'nün unimodal (tek doruklu), andezitin ise multimodal (çok doruklu) olmasıdır. Diğer neden ise her iki yapı taşının da günümüzde de kullanılmasıdır.

Andezitler, İscehisar'ın 12 km kuzeyinde bulunan Ağın dağı, Döğertüfleri ise Döğertüfü (İhsaniye) beldesinde bulunan ocaklardan çıkarılmaktadır (Şekil 1). Andezitler Afyonkarahisar-Ankara karayolu Susuz mevkiinde bulunan Karabulut Andezit firmasından, Döğertüfleri ise Döğertüfü'de bulunan Alimoğlu firmasından alınmıştır. Örnekler, tuz kristallenmesi deneyi için 5x5x5 cm ebatlarında kesilerek kullanılmıştır.



Şekil 1. Deneylede kullanılan andezitin ve tüfü'nün üretildiği ocakların a) lokasyon haritası b) andezitin ve c) tüfü'nün görünümüleri

Pembe, koyu kahve ve gri-siyah renkli olan andezitler, porfirik dokulu olup mikro plajiyoklas ve piroksen minerallerinden oluşmuştur. Matriks içerisinde volkan camı ve opak mineraller bulunmaktadır. Feldispat, piroksen ve biyotit mineralleri bileşimde fenokristal olarak yer almaktadır.

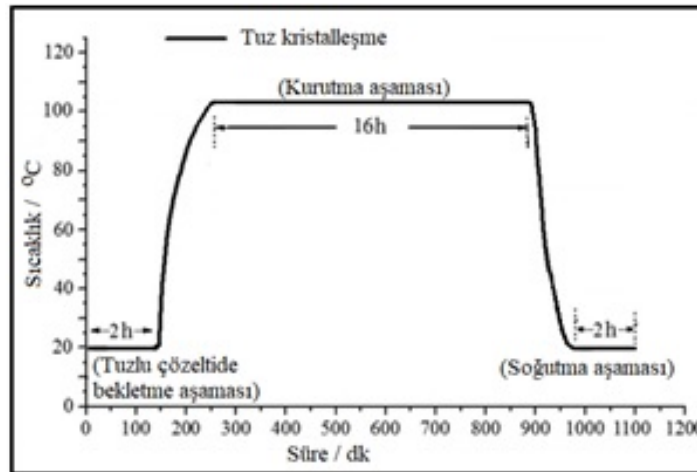
Açık sarı ve krem renkli olan Döğertüfleri, volkan camı, kristaller ve litiklerden oluşmuştur. Volkan camı genellikle cam kıymıkları ve pomza parçacıkları şeklindedir. Feldispat, kuvars ve piroksen mineralleri bileşiminde fenokristal olarak bulunmaktadır.

Yöntem

Bu çalışma iki aşamada yürütülmüştür. Birinci aşamada deneylerde kullanılan her iki yapı taşına, TS EN 12370 standardına göre tuz kristallenmesine direncin tayini deneyi uygulanmıştır. Tuz kristallenmesi deneylerinde, $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ve NaCl tuzları kullanılmıştır. Deney öncesi ve sonrası örneklerinin gözenek çap dağılımları, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde (TUAM), cıvalı porozimetre Micromeritics Auto Pore IV 9500 cihazında belirlenmiştir. SEM analizleri, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde bulunan LEO 1430 VP model SEM cihazı ile yapılmıştır.

Tuz Kristallenmesine Direncin Tayini Deneyleri

Andezit ve Döğür tüflerinin TS EN 12370 standardına göre yapılan tuz kristallenmesine direncin tayini deney prosedürü Şekil 2’de verilmiştir. Deneyler, %14’lük sodyum sülfat dekahidrat ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) ve sodyum klorür (NaCl) çözeltileri ile gerçekleştirilmiştir. Deneylerde 50x50x50 mm ebatlı küp numuneleri ile yapılmıştır. Test edilen numuneler deney kabına, birbirleri arasında en az 10 mm ve kapla aralarında en az 20 mm olacak şekilde yerleştirilmiştir. Numuneler, 20 ± 0.5 °C’da tuzlu çözeltiler içinde 2 saat bekletilmiştir. Daha sonra çözeltiden alınan numuneler, etüvde 16 saat kurutulmuştur. Numuneler, yeniden %14’lük tuzlu çözeltilere daldırılmadan önce 2.0 ± 0.5 saat oda sıcaklığında bekletilerek soğuması sağlanmıştır. Deneyler, bu işlemlerin tamamı 1 döngü olarak kabul edilerek, numunenin dağılma parçalanma gibi durumları hariç her iki numune ve çözeltide 15 kez tekrar edilmiştir.



Şekil 2. Tuz kristallenmesine direncin tayini deneyi prosedürü (TS EN 12370)

BULGULAR VE TARTIŞMA

Tuz Kristallenme Deneyleri Öncesi Örneklerin Gözenek Özellikleri

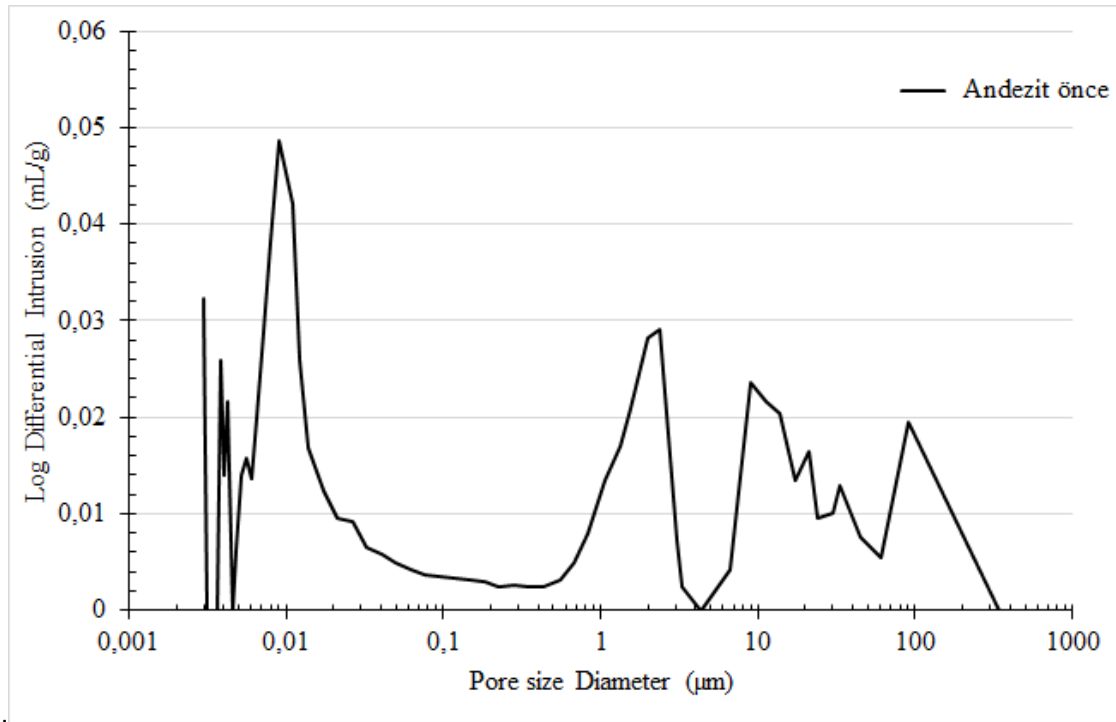
Tuz kristallenme deneyi öncesinde taze örneklerin cıvalı porozimetre ile ölçülen gözenek özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir. Toplam gözeneklilik oranı andezitlerde %12.1506, tüflerde %36.6689, ortalama gözenek çapı andezitlerde $0.0246 \mu\text{m}$ iken tüflerde $0.1786 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Hacimce ortalama gözenek çapı değerleri andezit ve tüfler için sırasıyla, $1.6865 \mu\text{m}$ ve $0,8078 \mu\text{m}$ olarak tespit edilmiştir. Bu veriler göre Döğür tüfleri andezitlere göre 3 kat daha fazla gözenekli bir yapı taşıdır. Ortalama gözenek çapına göre andezitler Döğür tüflerine göre daha küçük gözeneklere sahiptir.

Çizelge 1. Analiz edilen taze örneklerin cıvalı porozimetre gözenek verileri

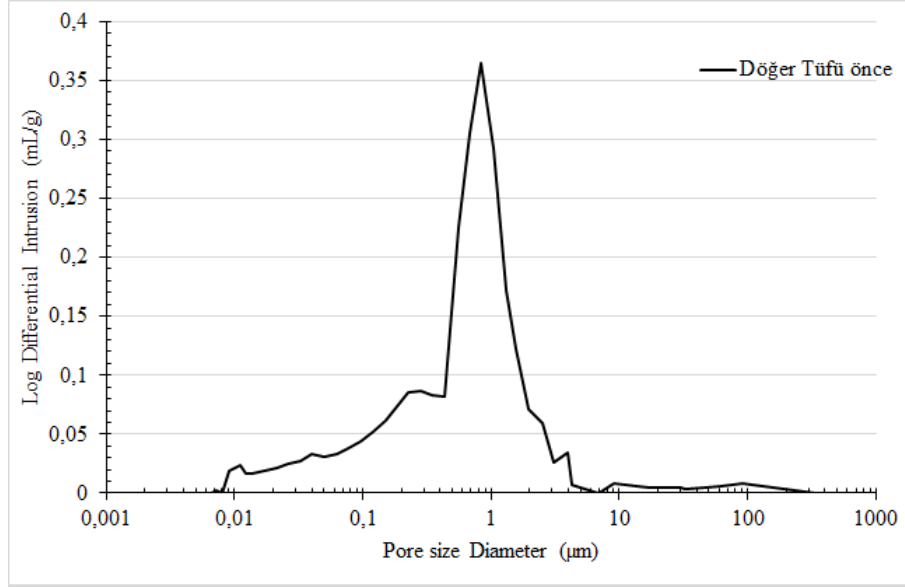
Gözenek özellikleri	Andezit önce	Döğer tüfü önce
Toplam Giriş Hacmi (mL/g)	0.0572	0.2463
Toplam Gözenek Alanı (m ² /g)	9.29	5.517
Medyan Gözenek Çapı (Hacim) (µm)	1.6865	0.8078
Medyan Gözenek Çapı (Alan) (µm)	0.0086	0.0306
Ortalama Gözenek Çapı (4V/A) (µm)	0.0246	0.1786
0,52 psia'da Yığın Yoğunluk (g/mL)	2.1235	1.4891
Görünür (iskelet) Yoğunluk (g/mL)	2.4172	2.3512
Porozite (%)	12.1506	36.6689
Kullanılan Kök Hacmi (%)	40	57

Tuz Kristallenme Deneyleri Öncesi Gözenek Boyut Dağılımı

Deneylerde kullanılan yapı taşlarının tuz kristallenme deneyleri öncesi gözenek boyut dağılımı cıvalı porozimetre (MIP) ile incelenmiştir. Elde edilen verilere göre andezitin gözenek boyut dağılımı eğrileri, Şekil 3'de verilmiştir. Andezitin gözenek boyut dağılımı 0.01-300 µm arasında olup multimodal (çok doruklu) bir dağılım sergilemektedir. Gözeneklerin çoğunluğu 0.01-3 µm aralığındadır. En önemli doruk 0.01 µm civarında iken ikinci doruk 1-2 µm civarında odaklanmıştır.



Şekil 3. Andezitin tuz kristallenmesi deneyleri öncesi gözenek boyut dağılımı

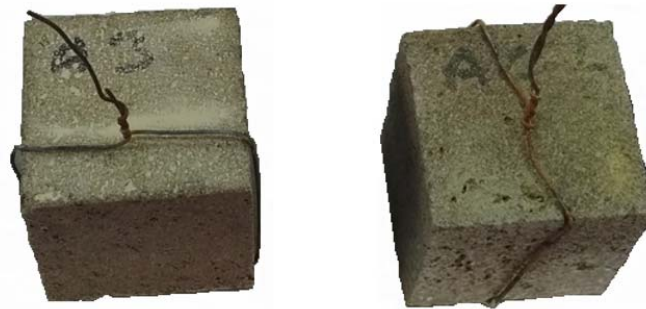


Şekil 4. Döğ er tütüfü nü nün tuz kristallenmesi deneyleri öncesi gözenek boyut dağılımı

Döğ er tütüflerinin gözeneklilik oranı, cıvalı porozimetre (MIP) ile %36.6689 olarak ölçülmüştür. Döğ er tütüfleri, unimodal (tek doruklu) bir dağılıma sahiptir (Şekil 4). Gözenek boyutları 0.01-0.8 µm arasındadır. Ancak büyük bir çoğunluğu 1 µm civarında odaklanmıştır.

Tuz Kristallenmesi Deneyi Sonuçları

Döğ er tütüflerinin tuz kristallenmesi nedeniyle ayrışmasını ve ayrışmanın gözenek boyutuna etkisini belirlemek amacıyla sodyum sülfat dekahidrat ve sodyum klorür çözeltileri ile tuz kristallenmesi deneyleri yapılmıştır. TS EN 12370'e göre sodyum sülfat dekahidrat ve sodyum klorür çözeltilerinde 15 döngü olarak yapılan, 50x50x50 mm ebatlı küp şeklindeki andezit örneklerinin görüntüleri Şekil 5'de verilmiştir. Sodyum sülfat dekahidrat ve sodyum klorür çözeltilerinde andezit örneklerinin renk değişimine uğradığı, ayrışma sonucunda granüllerin yüzeylerden koparak düştüğü, çözeltiler içindeki andezit parçaları kalıntılarında anlaşılmıştır. Ancak tuz kristallenme deneyleri sonunda, fiziksel bütünlüğünün korunduğu yani parçalanmadığı görülmektedir. Andezitin iç yapısında gerçekleşen mikro düzeyde gelişen ayrışma özellikleri de gözenek boyut dağılımı ve SEM analizleri ile belirlenmiştir.

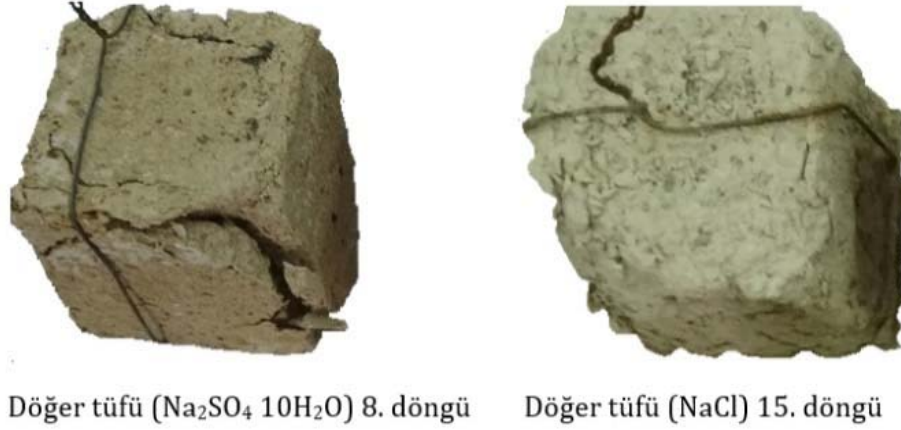


Andezit ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) 15. döngü Andezit (NaCl) 15. döngü

Şekil 5. Andezitin tuz kristallenmesine karşı direncin tayini deneyi sonrası örneklerin görünümü

TS EN 12370'e göre sodyum sülfat dekahidrat ve sodyum klorür çözeltilerinde 15 döngü olarak yapılan, 50x50x50 mm ebatlı küp şeklindeki Döğ er tütüfleri örneklerinin görüntüleri Şekil 6'da verilmiştir. Döğ er tütüfleri, sodyum sülfat dekahidrat çözeltilerinde 8. döngüye kadar dayanmış 9. döngüde fiziksel

bütünlüğü bozularak, tamamen dağılmıştır. Andezitlerin aksine, Döğer tüflerinin her iki tuz çözeltisinde de parçalanarak dağıldığı görülmektedir. Nitekim bu durumun gözeneklilik oranlarından kaynakladığı söylenebilir. Çünkü Döğer tüfleri andezitlere göre 3 kat daha fazla gözeneklilik oranına sahiptir. Dağılmasına neden olan etkenin, tuz kristallerinin gözeneklerde kristallenerek büyümesi sonucunda oluşturduğu iç basınç olduğu söylenebilir. Bu durum, cıvalı porozimetre deneyi ile teyit edilmiştir.



Şekil 6. Döğer tüfünün tuz kristallenmesine karşı direncin tayini deneyi sonrası örneklerin görünümü

Tuz Kristallenmesi Deneyi Sonrası Gözenek Boyut Dağılımı

Doğal yapı taşlarında, çözünebilir tuzların sularla beraber meydana getirdiği en büyük hasarlardan birisi de tuz kristalleşmesi yoluyla meydana gelmektedir. Tuz kristallenmesi sonrası meydana gelen bu hasarları belirlemenin yollarından birisi de cıvalı porozimetre deneyidir. Bu çalışmada, cıvalı porozimetre deneyleri, 2 farklı tuzun ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ve NaCl) %14'lük çözeltilerinde yapılan tuz kristallenmesi deneyleri sonrasında gerçekleştirilmiştir. Andezit örnekleri her iki tuz çözeltisinde, 15. döngü sonuna kadar dayanırken Döğer tüfü, sodyum klorür (NaCl) çözeltisinde 15. döngüye kadar dayanmıştır. Sodyum sülfat dekahidrat ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) çözeltisinde ise ancak 9. döngüye kadar dayanabilmiştir. Bu nedenle cıvalı porozimetre deneyleri dayanabildikleri son döngüye ait örnekler üzerinde yapılmıştır. Deneyler öncesi, örnekler tuzdan arındırılmak için 12 saatte bir su değiştirilmek suretiyle 48 saat süreyle saf suda bekletilmiştir. Daha sonra da kurutularak cıvalı porozimetre deneyleri gerçekleştirilmiştir.

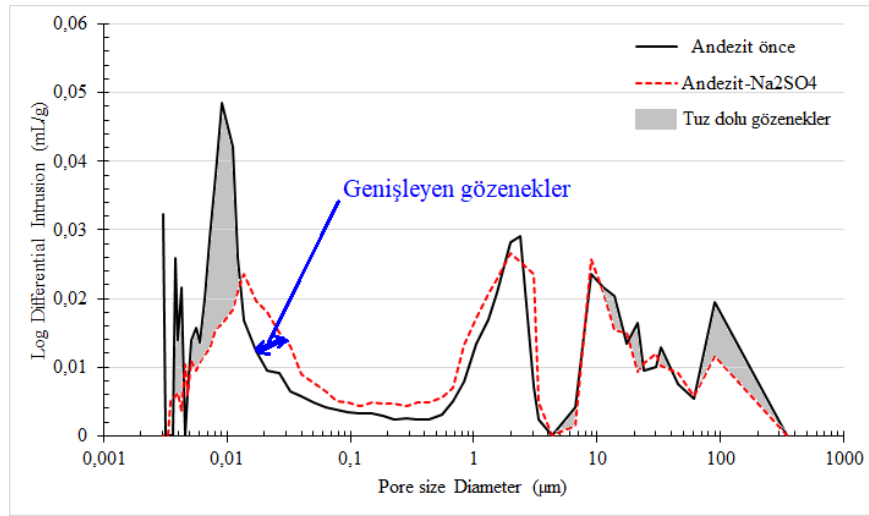
Andezitin Gözenek Boyut Dağılımı Değişimi

Andezitlerde tuz kristallenmesine direncin tayini deneyi sonrası meydana gelen gözenek boyutu değişikliğini incelenmesi amacıyla yapılan cıvalı porozimetre deney sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir. Andezitin $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ çözeltisindeki tuz kristallenme deneyi sonrası gözenek boyut dağılımı grafiği Şekil 7'de, NaCl çözeltisindeki ise Şekil 8'de verilmiştir.

Andezitlerde tuz kristallenmesine direncin tayini deneyi sonrası toplam gözenek alanı sodyum sülfatlı çözeltide %59.70, sodyum klorürlü çözeltide ise %79.03 oranında azalmıştır. Bu durum Şekil 7 ve 8'de de görüldüğü gibi gözeneklerde biriken tuz kristallerinin bir sonucudur.

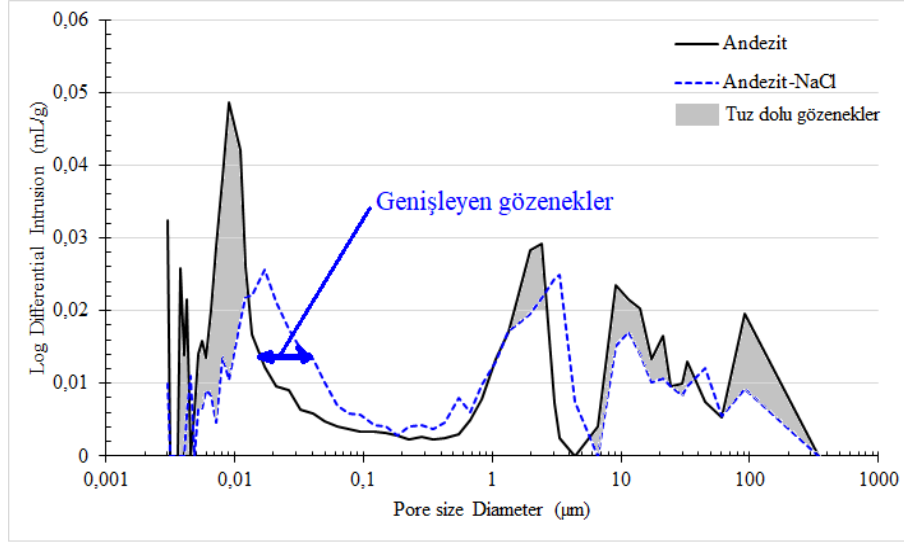
Çizelge 2. Andezitin tuz kristallenmesi deneyi sonrası cıvalı porozimetre gözenek verileri

Gözenek özellikleri	Na ₂ SO ₄ 10H ₂ O	NaCl
Toplam Giriş Hacmi (mL/g)	0.0582	0.0543
Toplam Gözenek Alanı (m ² /g)	5.817	5.189
Medyan Gözenek Çapı (Hacim) (µm)	1.9403	1.6771
Medyan Gözenek Çapı (Alan) (µm)	0.0096	0.0116
Ortalama Gözenek Çapı (4V/A) (µm)	0.04	0.0419
0,52 psia'da Yığın Yoğunluk (g/mL)	2.2688	2.2628
Görünür (iskelet) Yoğunluk (g/mL)	2.6136	2.5798
Porozite (%)	13.1948	12.2886
Kullanılan Kök Hacmi (%)	28	20

Şekil 7. Andezitin Na₂SO₄ 10H₂O çözeltisinde tuz kristallenme deneyi sonrası gözenek boyut dağılımı

Sodyum sülfatlı çözeltide en fazla tuz birikimlerinin 0.01 µm civarındaki gözeneklerde yoğunlaştığı ve bunun bir sonucu olarak da doruk noktasının daha alt seviyelere indiği tespit edilmiştir. Daha büyük gözeneklerde ise tuz kristallenmesi sonucunda gözenek çaplarında artışlar meydana gelmiştir. Bu duruma bağlı olarak da ortalama gözenek çapı sodyum sülfatlı çözeltide %38.5 ve sodyum klorürlü çözeltide ise %41.29 oranında artmıştır. Standartta öngörülen 15 döngü tuz kristallenmesi döngüleri sonucunda meydana gelen gözenek iç basıncının yeterli olmadığı ve andezit örneklerinin parçalanmadığı ancak döngü sayısının artmasıyla bu durumun andezit aleyhine gelişebileceği söylenebilir.

Andezitin NaCl çözeltisinde tuz kristallenme deneyi sonrası hemen hemen tüm doruklarda tuz kristallenmesi neticesinde tuz birikintileri olduğu görülmektedir. Nitekim bu durum sodyum sülfatlı çözeltiden daha fazla olarak sodyum klorürlü çözeltide ortalama gözenek çapı %79.03 oranında azalmayla kendini göstermiştir. Tuzların deney sonrası yıkanması sonucunda genişleyen gözenekler de grafik üzerinde görülmektedir. Gözenek boyutlarının genişlemesi sonucunda grafik çizgileri büyük boyuta doğru ötelenmiştir.



Şekil 8. Andezitin NaCl çözeltisinde tuz kristallenme deneyi sonrası gözenek boyut dağılımı

Döğür Tüfünün Gözenek Boyut Dağılımı Değişimi

Döğür tüfünün tuz kristallenmesi deneyi sonrası yapılan cıvalı porozimetre deney sonuçları Çizelge 3'de verilmiştir. Döğür tüfünün $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ çözeltisindeki tuz kristallenme deneyi sonrası gözenek boyut dağılımı grafiği Şekil 9.a'da NaCl çözeltisindeki ise Şekil 9. b'de verilmiştir.

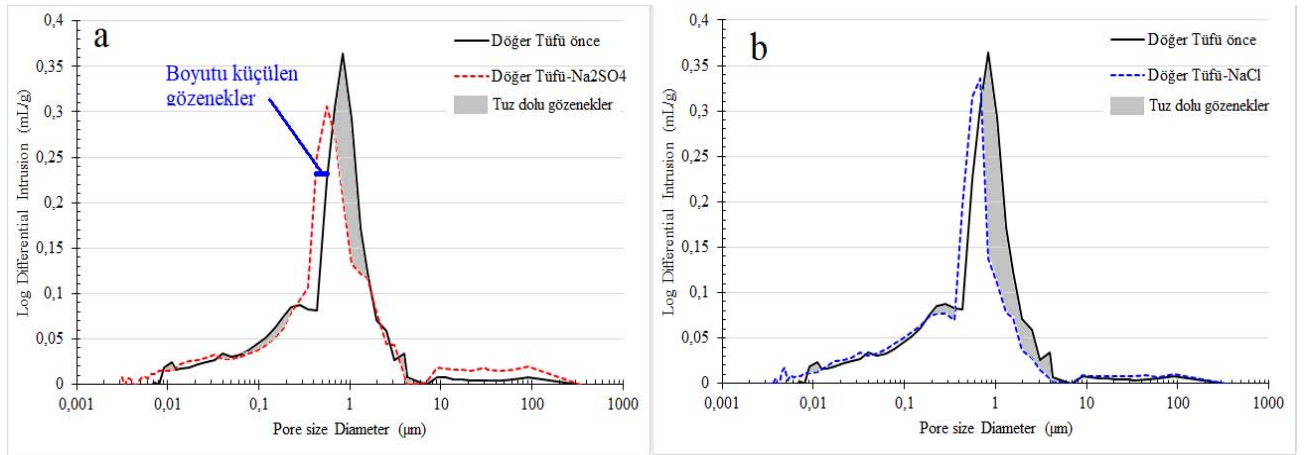
Döğür tüfünde tuz kristallenmesine direncin tayini deneyi sonrası toplam gözenek alanı sodyum sülfatlı çözeltide %26.76, sodyum klorürlü çözeltide ise %34.08 oranında azalmıştır. Bu durum, Şekil 9.a ve 9.b'de da görüldüğü gibi gözeneklerde biriken tuz kristallerinden kaynaklanmıştır.

Çizelge 3. Döğür tüfünün tuz kristallenmesi deneyi sonrası cıvalı porozimetre gözenek verileri.

Gözenek özellikleri	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	NaCl
Toplam Giriş Hacmi (mL/g)	0.2515	0.2143
Toplam Gözenek Alanı (m^2/g)	7.138	6.436
Medyan Gözenek Çapı (Hacim) (μm)	0.8285	0.7516
Medyan Gözenek Çapı (Alan) (μm)	0.0171	0.021
Ortalama Gözenek Çapı (4V/A) (μm)	0.1409	0.1332
0,52 psia'da Yığın Yoğunluk (g/mL)	1.531	1.5403
Görünür (iskelet) Yoğunluk (g/mL)	2.4897	2.2994
Porozite (%)	38.5048	33.0141
Kullanılan Kök Hacmi (%)	58	68

Tek doruklu bir gözenek boyut dağılımına sahip olan Döğür tüflerinin ayrışma mekanizmasını açıklamak andezitlere göre daha basittir. Tuz kristallenme deneyleri sonrasında $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ve NaCl çözeltilerinde, 1 μm altındaki gözeneklerin ayrışmadan dolayı boyutlarının arttığı daha sonraki yıkama işlemi sonucunda eriyerek ortamı terk ettiği eğrilerin şekline anlaşılmıştır. 1 μm 'den daha büyük gözeneklerin ise yıkama işleminde sonra bile hala tuz ile dolu olduğu anlaşılmıştır.

Döğür tüfünün $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ve NaCl çözeltilerinde, tuz kristallerinin hem gözenek girişini engelleyecek şekilde biriktiği hem de gözeneklerin içindeki hacmi azalttığı söylenebilir. Buna ilave olarak Halit (NaCl) kristallerinin taşın en küçük gözeneklerini homojen bir şekilde doldurma eğiliminde olduğu anlaşılmaktadır.

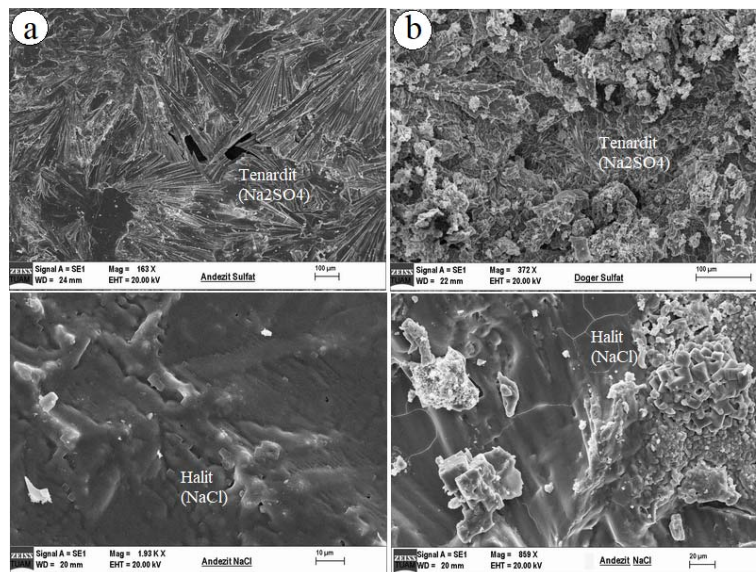


Şekil 9. Döğertüfü'nün Na₂SO₄ 10H₂O (a) çözeltisinde ve NaCl çözeltisinde (b) tuz kristallenme deneyi sonrası gözenek boyut dağılımı

Tuz Kristallenmesi Deneyi Sonrası SEM İncelemeleri

Malzemelerin mikro yapısal özelliklerini belirlemek amacıyla SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) kullanılmaktadır. Tuz kristallenme deneyleri sonrası andezit ve Döğertüflerinin yüzeylerinde biriken tuz kristallerini incelemek ve mikro görüntülerini almak amacıyla SEM incelemeleri yapılmıştır. Andezitlerin mikro fotoları Şekil 10.a'da, Döğertüflerinin mikro fotoları ise Şekil 10.b'de verilmiştir.

SEM görüntülerinde, tenardit (Na₂SO₄) kristalleri uzun yassı, levhamsı şekilli kristaller halinde gözlenmiştir. SEM görüntülerinde halit (NaCl) mineralleri kübik öz şekilli kristaller şeklinde, gözlenmiştir. Örnek yüzeylerinin tuz kristalleri ile kaplandığı ve bunu üzerinde döngülere göre erime-çözülme şeklinde oluşumlar olduğu gözlenmektedir. Sodyum klorür çözeltisinden, kuruma aşamasında kristallenmiş halit kristallerinin bir sonraki tuzlu çözeltide bekletme sırasında kısmen eridiği ve bunu üzerine yeni kristallenmeler meydana geldiği belirlenmiştir. Böylelikle örneklerin yüzeyinde kısmen erimiş öz şekilli kübik halit kristallerinin kümeler oluşturduğu görülmektedir.



Şekil 10. Tuz kristalleşmesine direncin tayini deneyi sonrası andezitlerde (a) ve Döğertüflerinde (b) sodyum sülfat ve sodyum klorür çözeltilerinden kristallenme sonucu oluşan kristallerin görünümü

SONUÇLAR

Gözenekli yapı taşlarında tuzların nerede ve nasıl kristallendiğini değerlendirmek için laboratuvar testleri yapılmaktadır. Hem sodyum sülfat hem de sodyum klorür, laboratuvar testlerinde gözlemlendiği gibi yapı taşları açısından zararlı tuzlardır. Tuzların ayrışma mekanizmalarını doğru bir şekilde yorumlamak restorasyon ve konservasyon çalışmaları açısından kritik öneme sahiptir. Bu nedenle elde edilen sonuçlar, tuzdan etkilenen yapı taşları için yeni ve etkili koruma işlemlerinin tasarlanmasında önem taşımaktadır.

Tuz kristallenme gibi yapı taşlarının ayrışmasına yol açan olaylardan sonra meydana gelen değişimleri incelemenin en etkili yollarından birisi cıvalı porozimetre deneyidir. Bu çalışmada da tuz kristallenme deneyi için seçilen andezit ve tüflerde tuz kristallerinin etkisi cıvalı porozimetre deneyi ile incelenmiştir.

Deneyel sonuçlara göre gözeneklilik değeri; kristallenmiş tuzların varlığı ile azalırken mevcut çatlakların artmasıyla ve gözeneklerin genişlemesiyle artmaktadır. Bu durumda tuz kristallenmesinden kaynaklanan hasar için yapı taşı içerisinde çatlak veya gözeneklerden yalnızca birinin bulunması da yeterli olabilmektedir. Ancak yapı içerisinde çatlakların bulunması uzun vadede ayrışma sürecini büyük ölçüde hızlandırmaktadır.

Cıvalı porozimetre verilerinde hacim verileri yerine yüzde verilerini kullanmak daha önemlidir. Çünkü sonuçlar, örneklerin gözenekliliğinin tuz kristallenme testleri sonrasında değiştiğini göstermektedir. Deneyel çalışmalara göre; andezit ve Döğer tufünde gözenek boyut dağılımı önemli ölçüde değişiklik göstermiştir. Her iki yapı taşının gözeneklerinde tuz kristallerinin kristallenmesine bağlı olarak hem gözenek boyutlarında artış hem de tuz birikintileri bulunduğu ortaya çıkmıştır. Bunun sebebi tuz kristallerinin gözeneklere girerek orayı doldurması ayrışmayı hızlandırırken gözenek boyutunda artış meydana gelmesine yol açmaktadır. Ancak gözenek girişine biriken tuzların, gözenek girişini kapatarak tuzlu suların içeri girmesini engellemesi durumunda gözenek hacmi cihaz tarafından daha düşük bir çapa sahip olarak görülür, dolayısıyla doruk noktası daha düşük değerlere kayar ve küresel gözeneklilik değeri neredeyse değişmeden kalmaktadır.

Andezitlerde tuz kristallenmesi deneyi sonrası toplam gözenek alanı gözeneklerde biriken tuz kristallerinden dolayı sodyum sülfatlı çözeltide %59.70, sodyum klorürlü çözeltide ise %79.03 oranında azalmıştır. Aynı şekilde Döğer tufünde bu oran sırasıyla %26.76, ve %34.08 oranında gerçekleşmiştir. Ortalama gözenek çapı andezitlerde artarken Döğer tüflerinde azalmıştır. Andezitler multimodal dağılıma sahipken tüfler unimodal dağılım göstermektedir. Andezitler daha farklı boyutta gözeneklere sahip olduğu için gözenek boyutu artmıştır. Döğer tüfleri ise birbirine yakın ve daha küçük gözeneklere sahip olduğu için tuz birikimleri daha fazla olmuştur.

KAYNAKLAR

- Alves, C., Figueiredo, C., Maurício, A., Braga, M.A.S., Aires-Barros, L., (2011). Limestones under salt decay tests: assessment of pore network-dependent durability predictors. *Environ. Earth. Sci*, 63, 1511–1527.
- Angeli, M., Benavente, D., Bigas, J.P., Menendez, B., Hebert, R., David, C., (2008). Modification of the porous network by salt crystallization in experimentally weathered sedimentary Stones. *Mater. Struct.*, 41, 1091–1108.
- Angeli, M., Bigas, J.P., Benavente, D., Hebert, R., David, C., (2007). Salt crystallization in pores: quantification and estimation of damage. *Environmental Geology*, 52: 205-213.
- Coussy, O., (2006). Deformation and stress from in-pore drying-induced crystallization of salt. *J Mech Phys Solids* 54:1517–1547.

- Derluyn, H., Moonen, P., Carmeliet, J., (2014). Deformation and damage due to drying induced salt crystallization in porous limestone. *J. Mech. Phys. Solids* 63, 242–255.
- Flatt, R.J., (2002). Salt damage in porous materials: how high supersaturations are generated, *J. Cryst. Growth* 242, 435–454,
- Rodriguez-Navarro, C., (1999). Doehne, E., Salt Weathering: Influence of Evaporation Rate, Supersaturation and Crystallization Pattern. *Earth Surf. Process. Landforms* 24, 191–209.
- Ruiz-Agudo, E., Mees, F., Jacobs, P., Rodriguez Navarro, C., (2007). The role of saline solution properties on porous limestone salt weathering by magnesium and sodium sulfates. *Environ. Geol*, 52, 269–281.
- Russell, S.A., (1927). *Stone preservation committee report*. Appendix 1. H.M. Stationary Office, London.
- Steiger, M., (2005). Crystal growth in porous materials – I: the crystallization pressure of large crystals. *J. Cryst. Growth* 282, 455–469.
- Thaulow, N., Sahu, S., (2004). Mechanism of concrete deterioration due to salt crystallization. *Mater Charact* 53:123–127.
- TS EN 12370, (2001). Doğal Taşlar-Deney Metotları-Tuz Kristallenmesine Direncin Tayini. TSE.
- Winkler, E.M., (1994). *Stone in Architecture*. Springer-Verlag, Berlin.
- Yu, S., 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.

DOĞAL TAŞ PLAKA ÜRETİMİNDE İLERLEME HIZI VE KESME DERİNLİĞİNİN ENERJİ VERİMLİLİĞİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF CUTTING SPEED AND CUTTING DEPTH ON ENERGY EFFICIENCY IN NATURAL STONE SLAB PRODUCTION

S. Dünder^{1*}, N. Bilim¹

¹Konya Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü
(* Sorumlu yazar: sdunder@ktun.edu.tr)

ÖZET

Doğal taş işleme tesislerinde hedef nihai ürünün en düşük maliyetle ve en yüksek verimle elde edilmesidir. Doğal taş işleme tesislerinde üretim maliyetlerini etkileyen en önemli parametrelerden birisi de tüketilen elektrik enerjisidir. Ülkemizde doğal taş işleme tesislerinde plaka üretiminde genel olarak dairesel testereli blok kesme makineleri kullanılmaktadır. Dairesel testereli blok kesme makinelerinde ise çalışma performansını etkileyen farklı parametreler bulunmaktadır. Dairesel testereli blok kesme makinelerinin çalışma performansını etkileyen özelliklerden makineye bağlı özellikler elektrik tüketimi üzerinde etkili olmaktadır.

Yapılan bu çalışma kapsamında, Karaman ili civarlarında çıkarılan travertenlerin farklı ilerleme hızı ve kesme derinliklerinde elektrik tüketim değerleri ölçülmüştür. Kesme performansının irdelenmesi için önemli bir parametre olan spesifik enerji değerleri hesaplanarak, ilerleme hızı ve kesme derinliği değişiminin spesifik enerji üzerinde etkileri incelenmiştir. Analizler sonucunda, kesme derinliği ve ilerleme hızının artırılması spesifik enerji üzerinde olumlu etki sağladığı belirlenmiştir. Kesme derinliğinin 6 katına çıkartılması spesifik enerji değerinde yaklaşık %56'lık bir düşüş sağlamıştır. İlerleme hızının 7 katına çıkarılması ile de spesifik enerji değerinde yaklaşık %57'lik bir düşüş elde edilmiştir. Dolayısıyla, kesme derinliğinin ve ilerleme hızının artırılması enerji verimliliği açısından avantaj sağlamaktadır.

Anahtar Sözcükler: Mermer, doğal taş, ilerleme hızı, kesme derinliği, spesifik enerji

ABSTRACT

In natural stone processing plants, the goal is to obtain the final product at the lowest cost and with the highest yield. One of the most important parameters affecting the production costs in natural stone processing plants is the consumed electrical energy. Block cutting machines with circular saws are generally used in plate production in natural stone processing plants in our country. Block cutting machines with circular saws have different parameters which affect the working performance. The machine-dependent characteristics affect the electrical consumption of the properties affecting the working performance of the circular saw blades.

Within the scope of this study, electricity consumption values of the travertines extracted in the vicinity of Karaman province were measured. Specific energy values, which is an important parameter for examining the cutting performance, were calculated and the effects of change of feed rate and cutting depth on specific energy were investigated. As a result of the analyzes, it was determined that increasing the cutting depth and the feed rate had a positive effect on specific energy. Increasing the cutting depth to 6 times resulted in a decrease of about 56% in the specific energy value. With a 7-fold

increase in feed rate, a decrease of approximately 57% was achieved in the specific energy value. Thus, increasing the cutting depth and the feed rate is advantageous in terms of energy efficiency.

Keywords: Marble, natural stone, feed rate, depth of cut, specific energy

GİRİŞ

Dünya doğal taş sektörü göz önüne alındığında ülkemiz çok önemli bir konumdadır. Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı'nın 2018 yılı verilerine göre dünyanın en zengin mermer yataklarının bulunduğu Alp kuşağında yer alan Türkiye, 5,1 milyar m³–13,9 milyar ton muhtemel mermer rezervine sahiptir. Bu değer 15 milyar m³ olduğu tahmin edilen dünya rezerv toplamının %33'üne karşılık gelmektedir. Ülkemizde 80'nin üzerinde değişik yapıda, 120'nin üzerinde değişik renk ve desende mermer rezervi belirlenmiştir. Uluslararası pazarda bilinen mermer çeşitlerimizin dışında, son dönemde kayrak taşı, dere ve deniz aşındırması ile oluşmuş çakıl taşları ve tüfler de dış ticaretimizde öne çıkan doğal taş çeşitleridir (Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı, 2018). Ülkemiz dünya doğal taş ihracatı pazarında önemli bir konuma sahiptir. Ülkemizin doğal taş ihracat pazarında diğer rakiplerinin önüne geçebilmesi için maliyetlerin düşürülmesi çok önemlidir.

Doğal taş işleme tesislerinde hedef nihai ürünün en düşük maliyetle ve en yüksek verimle elde edilmesidir. Doğal taş işleme tesislerinde üretim maliyetlerini etkileyen önemli parametrelerden birisi de tüketilen elektrik enerjisidir. Doğal taş işleme tesislerinde üretim maliyetlerinin düşürülmesi açısından tüketilen elektrik enerjisinin düşürülmesi çok önemlidir. Doğal taş işleme tesislerinde plaka üretimi esnasında tüketilen enerji için spesifik enerji önemli bir göstergedir. Spesifik enerji, birim hacim kayaç koparılması için gereken enerji miktarı olarak tanımlanmaktadır. Doğal taş işleme tesislerinde plaka üretimlerinde kesim işlemi sonucunda oluşturulan yeni yüzey alanına göre de spesifik enerji tanımlaması yapılabilmektedir. Spesifik enerjinin hesaplanması maliyet analizlerinin ve kesim için harcanacak enerjinin önceden hesaplanabilmesi için önemli bir parametredir.

Doğal taş işleme tesislerinde enerji tüketiminin tahmin edilebilmesi ve maliyet analizleri yapılabilmesi için pek çok araştırmacı spesifik enerji üzerine çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Örneğin; Büyüksağış ve Göktaş (2005) yaptıkları çalışmada 7 farklı doğal taş numunesi üzerinde bilgisayar kontrollü bir kesme seti ile kesilebilirlik deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Kesme deneylerinde dairesel testerenin çevresel hızı sabit tutularak, farklı kesme hızı ve kesme derinliklerinde kesme deneyleri uygulanmıştır. Kesme hızı ve kesme derinliği arttıkça spesifik enerjinin düştüğünü gözlemlemişlerdir. Uçun vd. (2012) yaptıkları çalışmada Mavi İnci isimli granit üzerinde kesme deneyleri yapmışlardır. Kesici makinenin çalışma parametrelerinden kesme hızı, kesme derinliği ve dairesel testerenin dönüş hızı (çevresel hız) değiştirilmiş ve spesifik enerji üzerine etkileri incelenmiştir. En düşük spesifik enerji değerinin, testerenin dönüş hızının en düşük değerinde ve kesme hızı ile kesme derinliğinin en yüksek değerlerde olması ile sağlandığını söylemişlerdir. Bilim (2012) yaptığı çalışmada travertenlerin kesim işlemlerinde daha düşük spesifik enerji elde edilmesi için bazı önerilerde bulunmuştur. Kesme deneylerinde testerenin çevresel hızı, kesme hızı ve kesme derinliği sabit tutulmuştur. Kesme hızının artırılması spesifik enerjinin düşmesini sağladığı görülmüştür. Yurdakul ve Akdaş (2012) yılında yaptıkları çalışmada 6 farklı numune üzerinde kesme deneyleri gerçekleştirmişler ve kayaçların fiziko-mekanik özellikleri ile arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Spesifik enerjiyi en çok etkileyen kayaç özelliklerinin tek eksenli basınç dayanımı, nokta yükleme dayanımı ve Schmidt çekici değerleri olduğunu söylemişlerdir. Şengün ve Altındağ (2013) yaptıkları çalışmada kayaçların fiziko-mekanik özellikleri ile spesifik enerji arasındaki ilişkileri incelemişlerdir. Spesifik enerji ile kayaçların tek eksenli basınç dayanımı değerleri, yoğunluk, eğilme dayanımı, Schmidt ve Shore sertliği ve nokta yükleme dayanımı değerleri ile doğru orantılı olduğunu belirlemişlerdir. Bayram ve Yaşitli (2013) yaptıkları çalışmada spesifik enerjiyi etkileyen parametreleri incelemişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda spesifik enerjinin soketlerdeki elmas konsantrasyonundan, kesme derinliğinden ve dairesel testerenin çapından etkilendiğini ifade

etmişlerdir. Dündar ve Bilim (2017) Karaman bölgesi travertenlerinin kesme derinliğine bağlı olarak plaka üretim maliyetlerini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada kesme hızı sabit tutularak kesme derinliğinin değiştirilmesinin spesifik enerji üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak kesme derinliğinin artırılması ile spesifik enerjinin düştüğünü belirlemişlerdir.

Bu çalışmanın yapılmasının amacı doğal taş işleme tesislerinde dairesel testereli blok kesme makineleri ile plaka üretiminde, makine özelliklerine bağlı olan çalışma parametrelerinin değişimlerinin spesifik enerji üzerindeki etkileri araştırmaktır. İncelenen çalışma parametreleri kesme hızı ve kesme derinliği parametreleridir. Çalışma kapsamında 9 farklı kesme derinliğinde ve 11 farklı kesme hızında kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Doğal taş işleme tesislerinde plaka üretimi için katarak makineleri ve dairesel testereli blok kesme makineleri kullanılmaktadır. Katarak makinelerinde daha büyük boyutlu ve düzgün şekilli doğal taş bloklarının kesim işlemi yapılmaktadır. Katarak makineleri lama adı verilen elmas soketli testereler ile kesme işlemi yaparlar ve çok sayıda lama bulundurlar. Bir bloğun kesme işlemi bittiğinde lama sayısının bir fazlası kadar plaka üretimi sağlanmaktadır. Dairesel testereli blok kesme makinelerinde ise, düşey doğrultuda ve yatay doğrultuda toplam iki adet dairesel testere barındırmaktadır. Düşey doğrultuda birden fazla dairesel testerenin takılabildiği dairesel testereli blok kesme makineleri de kullanılmaktadır. Fakat bu makineler, çok testereli blok kesme makineleri olarak adlandırılmaktadır. Dairesel testereli blok kesme makinelerinde bulunan dairesel testerelerin boyutları farklılık gösterebilmektedir. Düşey doğrultuda kesim yapan dairesel testerenin boyutu, yatay düzlemde kesim yapan dairesel testereden daha büyük boyuttadır. Dairesel testereli blok kesme makineleri yere sabitlenen kolon sayılarına göre adlandırılmaktadırlar. Tek ayaklı, iki ayaklı ve dört ayaklı dairesel testereli blok kesme makineleri olarak üç farklı gruba ayrılmışlardır. Çalışma kapsamında kesme deneylerinin gerçekleştirildiği dairesel testereli blok kesme makinesi dört ayaklı bir dairesel testereli blok kesme makinesidir (Şekil 1). Kesme deneylerinin gerçekleştirildiği dört ayaklı dairesel testereli blok kesme makinesinin özellikleri Çizelge 1’de sunulmuştur.

Çizelge 1. Kesme deneylerinde kullanılan dairesel testereli blok kesme makinesinin teknik özellikleri

Makine Özellikleri	Lütfi Takavcı Mermer A.Ş
Dikey Testere Motoru (kW)	132
Yatay Testere Motoru (kW)	15
Köprü Yatay Hareket Motoru (kW)	3
Köprü İndirme- Kaldırma Hareket Motoru (kW)	2,2
Kesim Hareket Motoru (kW)	2,2
Blok Vagonu Hareket Motoru (kW)	2,2
Dikey Testere Çapı (mm)	800 - 1700
Yatay Testere Çapı (mm)	400 - 450
Blok Uzunluğu (mm)	3200
Blok Genişliği (mm)	2250
Blok Yüksekliği (mm)	2200
Makinenin Ağırlığı (kg)	14860



Şekil 1. Kesme deneylerinin gerçekleştirildiği dört ayaklı dairesel testereli blok kesme makinesi

Dairesel testereli blok kesme makinelerinde maksimum kesme derinliği teorik olarak düşey doğrultuda kesim yapan dairesel testerenin yarıçapı kadardır. Fakat doğal taş işleme tesislerinde kesme derinliği piyasa gereksinimlerine göre veya müşterilerin özel istekleri doğrultusunda belirlenmektedir. Kesme deneylerinin gerçekleştirildiği dairesel testereli blok kesme makinesinde düşey doğrultuda kesim yapan dairesel testerenin çapı 1100 mm'dir. Yapılan çalışma kapsamında Konya ili Karatay ilçesi sınırları içerisinde bulunan bir doğal taş işleme tesisinde kesme deneyleri ve enerji ölçüm deneyleri gerçekleştirilmiştir. Plaka üretimi boyunca anlık olarak dairesel testerenin enerji tüketimleri ölçülmüştür. Anlık enerji ölçümleri için Fluke 1730-EU marka bir güç analizörü ile sağlanmıştır (Şekil 2). Güç analizörleri bir devreden geçen akım, güç, voltaj ve enerji değerlerinin anlık olarak ölçülmesi amacıyla kullanılmaktadırlar. Yapılan çalışmada plaka üretimi boyunca anlık olarak dairesel testereli blok kesme makinesinin harcadığı güç, çektiği akım ve harcadığı enerji anlık olarak güç analizörünün dahili hafızasına kaydedilmiştir. Daha sonra kaydedilen veriler bilgisayar ortamına aktarılarak analiz edilmiş ve farklı kesme hızı ve kesme derinliğinde tüketilen enerji, güç ve akım değerleri ile spesifik enerji değerleri hesaplanmıştır.

Spesifik enerji birim hacim malzeme kopartılması için harcanan enerji olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmada ise spesifik enerji oluşturulan birim yüzey alanı için harcanan enerji olarak tanımlanmıştır. Güç analizörü ile anlık olarak güç, akım ve enerji değerleri kaydedilmiştir. Her bir kesim için ölçülen güç, akım ve enerji değerlerinin her biri için yaklaşık 250 veri elde edilmiştir. Spesifik enerji değerleri elde edilen anlık güç, akım ve enerji değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. Yapılan analizler sonucunda ise birim yüzey alanı oluşturmak için harcanan enerji değerleri yani spesifik enerji değerleri hesaplanmıştır. Farklı kesme parametreleri için yani farklı kesme derinliği ve ilerleme hızları için ayrı ayrı spesifik enerji değerleri bulunmuştur.



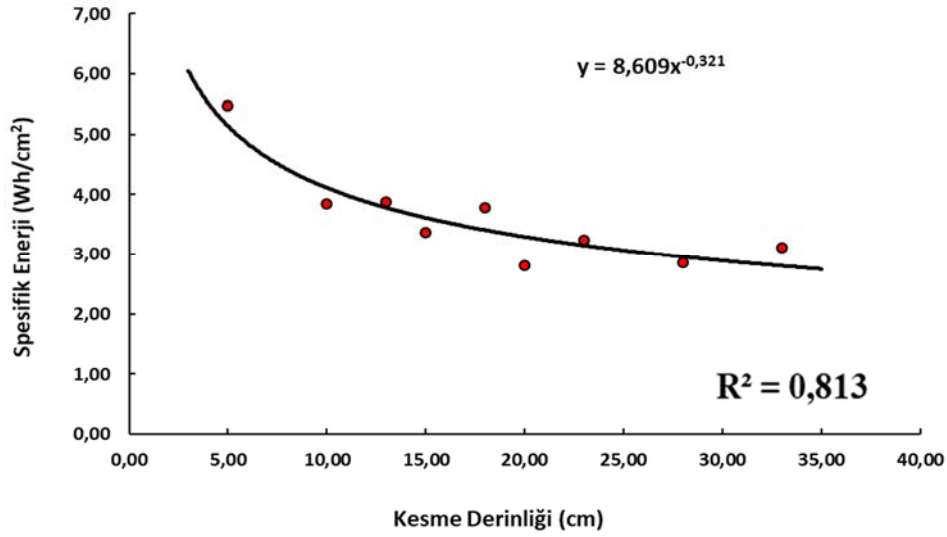
Şekil 2. Güç analizörü

Gerçekleştirilen kesme deneyleri aynı blok üzerinde gerçekleştirilmiştir. Blok boyutları 180 x 290 x 200 cm'dir. Yapılan kesme deneylerinde 9 farklı kesme derinliğinde kesme işlemi gerçekleştirilmiştir (5 cm, 10 cm, 13 cm, 15 cm, 18 cm, 20 cm, 23 cm, 28 cm, 33 cm.). Kesme derinliğinin değişiminin spesifik enerji üzerinde etkisinin incelendiği kısımda kesme hızı 15,8 cm/dk olarak sabit tutulmuştur. Gerçekleştirilen kesme hızı deneylerinde ise 11 farklı kesme hızı kullanılmıştır (33,28 cm/dk, 51,18 cm/dk, 58,70 cm/dk, 71,52 cm/dk, 96,43 cm/dk, 106,93 cm/dk, 113,68 cm/dk, 133,33 cm/dk, 150,00 cm/dk, 158,82 cm/dk, 174,19 cm/dk.). Kesme hızları kontrol panosu üzerinde cm/dk cinsinden farklı olarak manuel olarak ayarlanmaktadır. Kesme hızına bağlı spesifik enerji değişiminin incelenmesi için yapılan kesme deneylerinde kesme derinliği 33 cm olarak sabit tutulmuştur. Kesme deneyleri sırasında ilerleme hızı 180 cm/dk olarak belirlendiğinde makinenin çektiği akım ve harcadığı güç daha da artmaktadır. Bu durumda makinenin zorlandığı tespit edilmiştir ve makinenin korunması ve plaka kayıplarının artmaması için maksimum kesme hızı 174,19 cm/dk olarak belirlenmiştir. Aynı şekilde farklı kesme derinliklerinde gerçekleştirilen kesme deneylerinde 35 cm derinliğinde kesme işlemi yapıldığında makinenin çektiği akım ve harcadığı güç artış göstermiş, makinenin zorlandığı görülmüştür. Makinenin korunması ve plaka kayıplarının azaltılması için maksimum kesme derinliği 33 cm olarak belirlenmiştir. Kesme deneylerinin gerçekleştirildiği traverten numunesine ait bazı fiziksel ve mekanik özellikler Çizelge 2.'de sunulmuştur.

Çizelge 2. Karaman Traverten numunesine ait bazı fiziksel ve mekanik özellikler

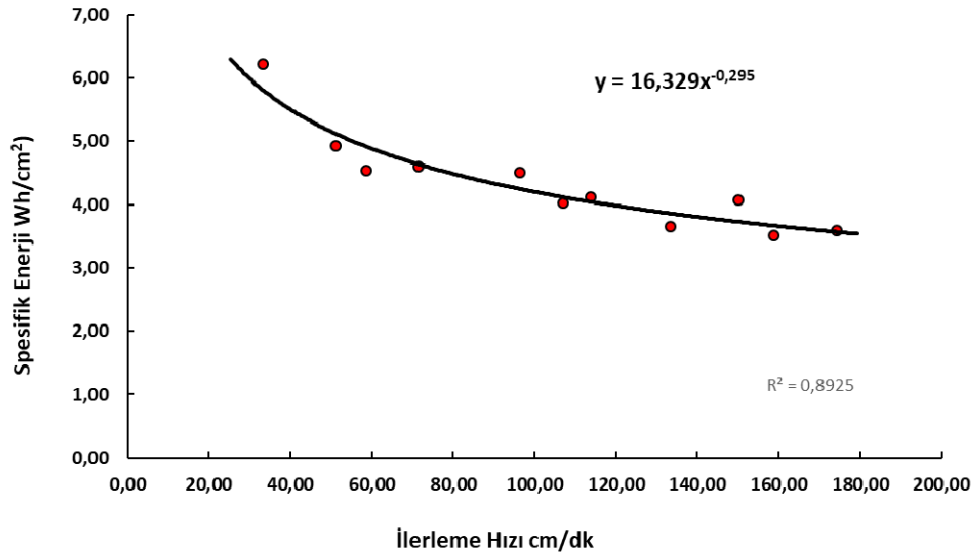
Numune Adı	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	Endirekt (Brazilian) Çekme Dayanımı (MPa)	Schmidt Çekici Sertlik Değeri	Su Emme Değeri (%)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Nokta Yükleme Dayanımı (MPa)
Karaman Traverten	56,51 ± 7,64	7,45 ± 0,65	47,25 ± 2,59	2,01 ± 0,10	2,45 ± 0,03	5,31 ± 0,34

Doğal taş işleme tesisinde gerçekleştirilen farklı kesme derinliklerinde ki kesme deneylerinde elde edilen spesifik enerji değişimi Şekil 3'te sunulmuştur.



Şekil 3. Kesme derinliği değişimi ile spesifik enerjinin değişimini arasındaki ilişki

Şekil 3'te görüldüğü gibi kesme derinliğinin arttırılması, spesifik enerjinin düşmesini sağlamıştır. Kesme derinliği parametresi ile spesifik enerji arasında nispeten güçlü bir ilişki olduğu görülmektedir. Doğal taş işleme tesislerinde gerçekleştirilen bir diğer kesme deneyi ise, ilerleme hızı ile spesifik enerji değerleri analizidir. Şekil 4'te ilerleme hızı ile spesifik enerji değişimi arasındaki ilişki sunulmuştur.



Şekil 4. İlerleme hızının değişimi ile spesifik enerjinin değişimini arasındaki ilişki

Şekil 3 ve Şekil 4'den görüldüğü gibi, kesme hızının ve kesme derinliğinin arttırılması spesifik enerjinin azalmasına neden olmuştur.

SONUÇLAR

Yapılan çalışma kapsamında bir doğal taş işleme tesisinde dairesel testereli blok kesme makinesi ile plaka üretiminde enerji tüketimi üzerinde kesme hızı ve kesme derinliği parametrelerinin etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışmada kesme derinliğinin yaklaşık 6 katına çıkartılması spesifik enerji değerinde yaklaşık %57 oranında bir azalma olduğu görülmüştür. Dolayısıyla kesme derinliğinin arttırılması spesifik enerji değerini düşürdüğü için plaka üretim maliyetlerini düşürmektedir. Yine bir başka parametre olan kesme hızının yaklaşık 5 kat arttırılması spesifik enerji değerinde %58 oranında bir azalmayı sağlamıştır. Doğal taş işleme tesislerinde yapılan plaka üretimlerinde kesme hızının arttırılması da plaka üretim maliyetlerinin düşmesini sağlayacaktır. İki parametrenin de birbiri ile kıyaslanması durumunda çok yaklaşık sonuçlar elde edilmektedir. Dolayısıyla doğal taş işleme tesisleri kendi üretim miktarları ve çalışma oranlarına göre iki parametrenin de optimum koşullarda seçilerek daha düşük maliyetli plaka üretimi yapmaları mümkündür. Değiştirilen kesme parametrelerinin testere ömrü ile olan ilişkileri incelenmemiştir. Dolayısıyla bakım onarım masraflarının artabileceği öngörülmektedir. Fakat doğal taş işleme tesislerinde kesme derinliği ve kesme hızı parametrelerinin arttırılması ile kesim işlemi yapıldığında spesifik enerjinin düştüğü görülmüştür. Doğal taş işleme tesislerinde enerji giderleri göz önüne alındığında daha yüksek ilerleme hızında veya daha büyük kesme derinliklerinde çalışılması durumunda maliyeti daha düşük plakalar üretilebilecektir. Fakat optimum kesme derinlikleri ve ilerleme hızlarının belirlemek gerekmektedir. Çünkü enerji verimliliği açısından kesme ve ilerleme hızlarının artırmak her ne kadar avantajlı olsa da testerelerin aşınmasına olmuş etkileri olacağından testere aşınmaları da takip edilmelidir.

KAYNAKLAR

- Bayram, F., Yaşitli, N. E., (2013), Effects of sawing parameters on natural stone processing performance, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering, 227 (4), 287-294.
- 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.
- Büyüksağış, İ. S., Gökten, R. M., (2005). Investigation of marble machining performance using an instrumented block-cutter, Journal of materials processing technology, 169-2, s.258-262.
- Dündar, S., Bilim, N., (2017) Karaman Bölgesi Travertenlerinin Plaka Üretim Maliyetlerinin Belirlenmesi, Türkiye 9. Uluslararası Mermer Ve Doğal Taş Kongresi Ve Sergisi (pp. 161-169). Antalya
- Şengün, 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 Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı, (2018). Doğal Taşlar Sektör Raporu, Ankara.
- Uçun, İ., Aslantaş, K., Büyüksağış, İ. ve Taşgetiren, Ş., (2012), Determination of specific energy in cutting process using diamond saw blade of natural stone, Energy Edu. Sci. and Tech. Part A: Energy Sci. and Res, 28 (2), 641-648.
- Yurdakul, M., Akdaş, 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.

YAPI TAŞI OLARAK KULLANILAN İSCEHİSAR (AFYONKARAHİSAR) ANDEZİTİNİN AYRIŞMASINDA SO₂ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SO₂ ON THE DETERIORATION OF ISCEHİSAR (AFYONKARAHİSAR) ANDESITE USED AS BUILDING STONE

M. Y. Çelik¹, Z. Arsoy², M. Sert^{3,*}

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksek Okulu, Doğal Yapı Taşları Programı, Türkiye

^{2,3}Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Türkiye

(*Sorumlu yazar: msert@aku.edu.tr)

ÖZET

Doğal taşlarda ayrışma miktarı, tarihi yapıların yüzey alanı, hacmi ve şekli gibi değişken olmayan faktörlerin yanı sıra, atmosferde bulunan çeşitli gaz ve bileşiklerin cins ve miktarı gibi değişken parametrelere göre değişmektedir. Bu çalışmada, havada bulunan kükürlü gazların (SO₂) andezit üzerinde meydana getirdiği değişiklikler, deneysel çalışmalarla incelenmiştir. TS EN 13919 standardına göre yürütülen nemli ortamda SO₂ yıpratmasına karşı direncin tayini deneylerinde normal örneklerin yanı sıra silan esaslı koruyucu kimyasal madde sürülen örnekler de kullanılmıştır. Deneylerden elde edilen verilere göre, andezitin kütle ağırlık değişimi ortalama olarak, normal örneklerde %0,438, koruyucu sürülmüş örneklerde %0,28 oranında azalmıştır. Andezitte meydana gelen SO₂ etkisi ve yüzeyde oluşan mineraller, SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) ile incelenmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda İscehisar andezitini SO₂ yıpratmasına karşı dayanıklı olduğu söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Andezit, yapı taşı, ayrışma, SO₂ etkisi, koruyucu kimyasal

ABSTRACT

The amount of deterioration in natural stones varies according to variable parameters such as the type and quantity of various gases and compounds in the atmosphere, as well as non-variable factors such as the surface area, volume and shape of historical structures. In this study, the effects of sulfurous gases (SO₂) on andesite in the air were investigated by experimental studies. In the determination of the resistance against SO₂ wearing in the humid environment carried out according to the TS EN 13919 standard, silane based protective chemical applied samples as well as normal samples were used. According to the data obtained from the experiments, the mass weight change of andesite decreased by 0,438% in untreated samples and 0,28% in treated samples. The effect of SO₂ on the andesite and minerals on the surface were investigated by SEM (Scanning Electron Microscope). As a result of experimental studies, it can be said that İscehisar andesite is resistant to SO₂ action.

Key Words: Andesite, building stone, deterioration, SO₂ effect, protect chemical

GİRİŞ

Andezitler, volkanik kökenli kayalardır ve Anadolu'da çok geniş alanlarda bulunmaktadır. Andezitler, Antik çağlardan beri çeşitli uygarlıklar tarafından yaygın olarak kullanılmıştır. Geçmişten günümüze kadar gelebilen gelen kale surları, tapınak, kilise, köprüler, anıtsal yapılar, camiler gibi yapılarda bunu görmek mümkündür. Andezitlerin yapı malzemesi olarak işleme performansının yüksek

olması, tüflere ve bazı diğer taşlara göre daha dayanıklı olması ve çok bulunması yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır.

Günümüze kadar gelebilen tarihi yapılarda kullanılan doğal taşlar, zaman içerisinde meydana gelen çeşitli etkiler nedeniyle ayrışmaya başlamakta ve fiziksel ve mekanik özellikleri değişim göstermektedir. Havada bulunan çeşitli kirletici gazlar tarihi yapılardaki taş bozulmalarını hızlandırmaktadır. Yapı taşları etkileyen atmosferik etkenler CO₂, NO₂, SO₂, SO₃, su buharı, tuz buharı gibi hava kirleticileridir. Atmosferden kaynaklanan bu gaz ve bileşikler özellikle gözeneklilik oranı yüksek olan taşlarda daha fazla tahribata neden olmaktadır. Bunun yanı sıra bu tip gazlardan en fazla karbonat bileşimli taşların etkilendiği bilinmekle birlikte silikatlı taşların da olumsuz olarak etkilendiği görülmektedir.

Atmosferde bulunan çeşitli gaz ve bileşiklerin tarihi yapılardaki etkileri yüzey alanı, hacim, şekil gibi geometrik ölçüler gibi değişken olmayan parametrelere ve gaz cins ve miktarına göre değişmektedir. Bu gaz ve bileşiklerin neden olduğu kalıcı hasarlar dört aşamada açıklanabilmektedir.

- Gaz halindeki kirleticilerin taşların dış yüzeyine kütle transferi,
- Kirleticilerin taşların dışında ve gözenek yapısı içinde difüzyonu,
- Hava-taş ara yüzeyinde gazların aktif adsorpsiyonu,
- Adsorbe edilen kirleticilerin yüzeydeki ve gözenek yapısı içindeki kimyasal reaksiyonu,

Bu süreçlerin sonunda doğal taşlarda nihai hasar ortaya çıkmaya başlamaktadır (Vassilakos vd. 1992).

Andezitler, Afyonkarahisar yöresine özellikle Selçuklu ve Osmanlı mimarisinde cami, medrese, kervansaray, han, çeşme gibi günümüze kadar gelebilmiş çok sayıda yapıda kullanılmıştır. Afyonkarahisar yöresinde İscehisar Ağın Dağı civarında andezit ocakları işletilmekte ve üretilen bu andezitler bölgede yapı taşı olarak kullanılmaktadır. Andezitlerin yapı taşı olarak kullanıldığı tarihi ve güncel yapılarda görülen ayrışma örnekleri Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Afyonkarahisar yöresinde andezitlerin yapı taşı olarak kullanımına örnekler ve andezitlerde görülen ayrışmalar

Literatürde atmosferik etkilerin neden olduğu ayrışmaları inceleyen çok sayıda çalışma bulunmaktadır Bunların bir kısmı SO₂ etkisiyle ilişkilidir. Attewell ve Taylor (1990), yapı taşlarının zaman bağımlı atmosferik ayrışmasını, Pervez ve Pandey (1992), SO₂ asidi tarafından mermerin hasarının değerlendirilmesi için bir laboratuvar modeli geliştirilmesini, Vassilakos vd. (1992), tek mermer parçaları üzerinde SO₂ ve NO₂ etkisinde fiziko kimyasal hasar parametrelerini, Spiker vd. (1995), nem ve yüzeyin

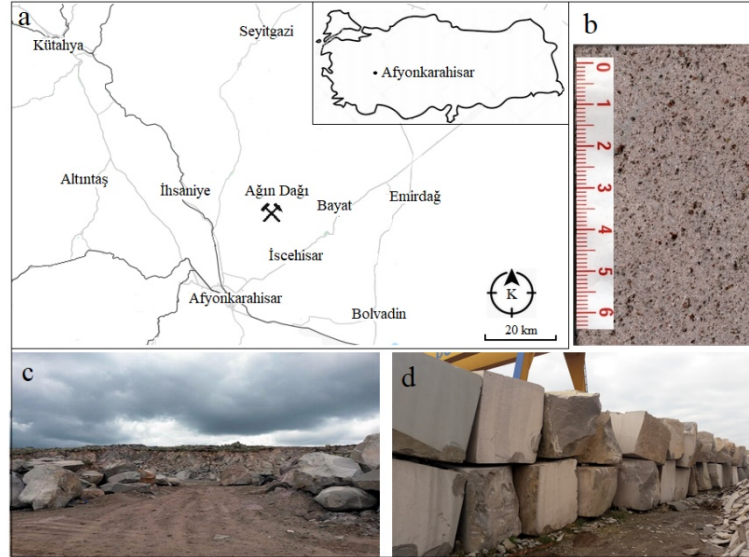
kireçtaşı ve mermer üzerinde SO₂ birikmesine etkisini, Mayerhofer vd. (1995), SO₂ ve NO gazlarının neden olduğu maddi hasarların ekonomik analizini, Vella vd. (1996), Malta'daki bir enerji santralının kiliselerin duvarlarının kireçtaşı yüzeyleri sülfür dioksit kirliliğinin ana olduğunu, Frasca ve Yamamoto (2006), Brezilya ticari granitlerinde, asidik çözeltilere daldırmak suretiyle, atmosferik kirlenmelerin (SO₂) etkisini, Olaru vd. (2010), İspanya'da anıtsal yapı malzemesi olarak kullanılan dolomitik kireçtaşının nemli ortamda SO₂ kuru birikme özelliklerini ve 3 farklı koruyucu kimyasal maddenin koruma potansiyelini, Germinario vd. (2017), kentsel yapılarda kullanılan trakitın ayrışmasındaki hava etkisini incelemişlerdir.

Yapılarda ve özellikle tarihi binalarda bu etkileri önleyerek doğal taşların daha uzun süre ayrışmadan kalabilmelerini sağlamak amacıyla su itici ve koruyucu kimyasal maddeler kullanılmaktadır. Afyonkarahisar (Türkiye) yöresinde yapıtaşı olarak kullanılan İncehisar andezitinin atmosferik ve çevresel etkilerden SO₂ etkisine göre ayrışmasını konu alan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada, kükürt dioksit (SO₂) maruz kaldığında İncehisar andezitinin davranışı ve ayrışma profili laboratuvar ortamında yapılan deneysel çalışmalarla açıklanmaya çalışılmıştır. SO₂ yıpranmasına karşı direncin tayini deneylerinde normal örneklerin yanı sıra silan esaslı koruyucu kimyasal madde sürülen örnekler de kullanılmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Yapı taşı olarak kullanılan andezitik kayalar İncehisar yöresinde bol miktarda bulunmaktadır. Bu andezitlerden İncehisar kuzeyinde yer alan Ağın dağı ocaklarında blok ve moloz üretimi yapılmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Deneylerde kullanılan andezitin üretildiği a) ocağın konumu, b) andezitin yüzey görünüm c) ocağın ve d) andezit bloklarının görünümü

Deneylerde kullanılan andezit örnekleri Afyonkarahisar-Ankara karayolu Susuz mevkiinde bulunan Karabulut Andezit firmasından alınarak Afyon Meslek Yüksek Okulu Mermer Teknolojisi atölyesinde deneylere uygun boyutlara kesilmiştir. Nemli ortamda SO₂ tayini deneyi için kütlece %5 kükürt dioksit ihtiva eden sülfüroz asit, yüzey koruyucu kimyasal madde olarak Teknosil marka şeffaf, siloksan esaslı, solvent bazlı ticari kimyasal madde kullanılmıştır. Andezit örnekleri yıkanıp kurutulduktan sonra yüzeyine su itici kimyasal madde; fırça ile tüm yüzeylere bir kat olarak sürülmüştür. Örnekler, polimerizasyon işlemini sağlaması için 48 saat bekletildikten sonra deneylerde kullanılmıştır.

Yöntem

Deneylerde kullanılan İscehisar andezitinin adsorbe edilen SO₂'nin yüzeydeki ve gözenek yapısı içindeki kimyasal reaksiyonu ve meydana gelen yeni minerallerin izah edilebilmesi için kimyasal (XRF) ve mineralojik (XRD) analizler yapılmıştır. Kimyasal analizler, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği bölümü Doğaltaş Analiz Laboratuvarında bulunan Rigaku/ZSX Primus II marka XRF cihazında, XRD analizleri Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde, SEM analiz ise örnekler karbonla kaplandıktan sonra Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde bulunan LEO 1430 VP model SEM cihazı ile yapılmıştır.

Nemli Ortamda SO₂ Yıpratmasına Karşı Direncin Tayini Deneyi

Nemli ortamda SO₂ yıpratmasına karşı direncin tayini deneyleri TS EN 13919 standardına göre yapılmıştır. 120x60x10 mm boyutlarında biri referans örnek olmak üzere 6 adet andezit örneği kullanılmıştır. Etüvde 70±5 °C sıcaklıkta sabit tartıma gelinceye kadar kurutulan andezit örnekleri, kuru ağırlıkları tartımları alındıktan sonra, 24 saat 20±5 °C'deki su içerisinde bekletilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Koruyucu sürülmemiş ve sürülmüş andezit örneklerinin nemli ortamda SO₂ yıpratmasına karşı direncin tayini görünümü

Deneyler için Çözelti A ve B olmak üzere iki farklı çözelti hazırlanmıştır. Çözelti A'da 150±10 ml deiyonize su ve 500±10 ml sülfüroz asit (H₂SO₃) bulunurken, Çözelti B'de 500±10 ml deiyonize su ve 150±10 ml sülfüroz asit (H₂SO₃) bulunmaktadır. 24 saat suda bekletilen örneklerin 3 adeti A çözeltisinin bulunduğu kaba, diğer 3 adeti B çözeltisinin bulunduğu kaptaki mesnetler üzerine yerleştirmiş ve kapağı kapatılmıştır. Örnekler 21 gün sonra kaptan alınıp, deiyonize su ile yıkanmış ve yeniden sabit kütleye gelinceye kadar kurutulmuştur. Kuru örneğin son kütlesi tartılmıştır (m₁). Kütledeki değişim, %0,01 yaklaşımla Eş. 1'e göre hesaplanmıştır.

$$\Delta m = \frac{m_o - m_f}{m_o} \times 100 \quad (1)$$

(m_o: Deney öncesi kuru örneğin kütlesi, g, m_f: deney sonrası kuru örneğin kütlesi, g, Δm: kurutulmuş örneğin kütlesindeki değişim, %)

BULGULAR VE TARTIŞMA

Kimyasal Analiz

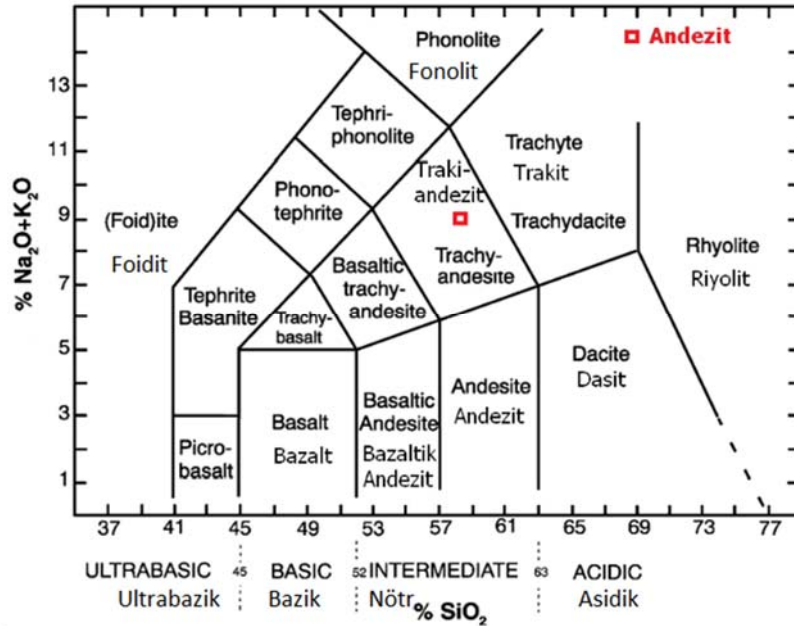
Deneylerde kullanılan İscehisar andezitinin kimyasal analiz sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Andezitin en büyük kimyasal bileşenleri sırasıyla SiO₂, Al₂O₃, K₂O, Fe₂O₃, CaO, Na₂O ve MgO olarak

belirlenmiştir. Arazi gözlemleri ve el örneklerinde volkanik kayaların adlandırılması tam ve doğru olarak yapılamamaktadır. Bu amaçla volkanik kayaların kökenini bulmak amacıyla TAS (toplam alkali-silis) diyagramları kullanılmaktadır. Le Bas vd. (1992) tarafından önerilen TAS diyagramına göre andezitin traki-andezitik kökenli olduğu belirlenmiştir (Şekil 4).

Çizelge 1. Andezitin kimyasal analizi

Kimyasal bileşim	(%)
SiO ₂	58,30
Al ₂ O ₃	15,80
K ₂ O	7,00
Fe ₂ O ₃	4,96
CaO	4,79
Na ₂ O	3,02
MgO	2,73
TiO ₂	1,12
*A.Z.	0,93
Top.	98,65

*Ateş Zayıtı

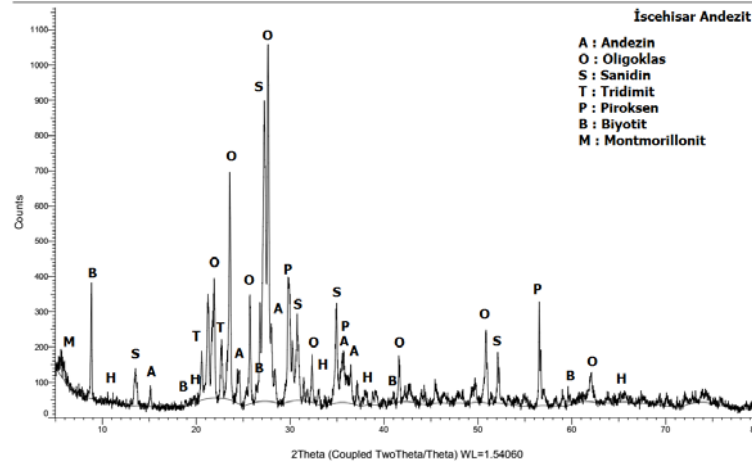


Şekil 4. Deneylede kullanılan andezitin Le Bas vd. (1992) diyagramında (toplam alkali içeriğine karşı silis) sınıflandırılması.

Andezitin Mineralojik Özellikleri

XRD analizi

Andezitin mineral bileşimini belirlemek amacıyla yapılan XRD analizi sonucunda elde edilen piklerin grafiği Şekil 5'de verilmiştir. Bu verilere göre andezitlerin feldispat (andezin, sanidin, oligoklas), tridimit, piroksen, biyotit ve montmorillonit minerallerinden meydana geldiği belirlenmiştir.



Şekil 5. Andezitin mineral bileşiminde bulunan piklerin görünümü

SO₂ Etkisi

Yağmur suyunda çözünebilir kükürt dioksit (SO₂), kükürt trioksit (SO₃), karbondioksit (CO₂) ve azot dioksit (NO₂) bileşikler asit yağmurlarının başlıca bileşenlerini oluşturmaktadır. Bu bileşenler, asit yağmurlarının yoğun olarak yaşandığı bölgelerde kuru ve ıslak çökelti halinde yapı taşları yüzeyinde çökelmektedir. Suda çözülebilir bu bileşikler çeşitli asitleri oluştururlar. Bu asitlerden en çok bulunanı olan kükürt dioksit yoluyla oluşturulan sülfüroz asit reaksiyonu Eşitlik 2’de verilmiştir (Wondyfraw, 2014).



Dünyanın bütün kentsel alanlarında, fosil kökenli yakıtların yanması sonucunda oluşan SO₂ ve partikül maddeler, en önemli hava kirleticileri olarak bilinmektedir. Fosil kökenli yakıtların yanması ile açığa çıkan kükürt (S), havada oksidasyona uğrayarak kükürt dioksiti (SO₂) oluşturmaktadır. Herhangi bir katalizör madde bulunmadığı ortamlarda, kükürt dioksit yavaş bir reaksiyonla kükürt trioksite (SO₃) dönüşmektedir. Kükürt trioksit ise atmosferde su ile birleşerek sülfürik asite (H₂SO₄) dönüşmektedir. Bu durumdan dolayı kükürt trioksit (SO₃) kirletici/çözücü olarak büyük önem taşımaktadır. Kükürt trioksit ile suyun reaksiyonu sonucunda oluşan sülfürik asit kuvvetli bir asit olup, nem çekicidir. Endüstriyel bölgelerde baca gazlarının etkisiyle sülfat iyonları çoğalır ve daha da etkili olur. Sülfatlar, taşların ayrışmasında çok önemli bir rol oynarlar. Özellikle, karbonatlı kayaları etkileyerek Ca-sülfatları oluştururlar. Meydana gelen CaSO₄, su alarak CaSO₄ 2H₂O (Jips) oluşturmaktadır (Öcal, 2010). CaSO₄ doğal taşları ayrışmasında en önemli faktörlerden birisi olarak değerlendirilen “siyah kabuk” oluşumunun başlıca sebebidir.

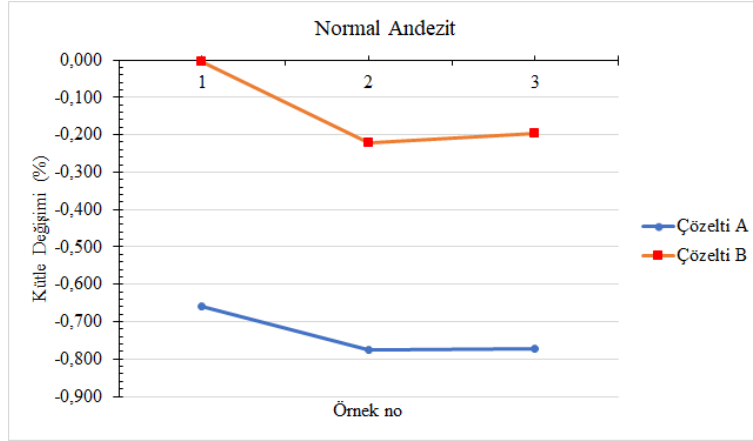
Nemli Ortamda SO₂ Yıpratmasına Karşı Direncin Tayini Deneyi Sonuçları

Normal Örnekler

SO₂ yıpratmasına karşı direncin tayini deneyi sonunda da ölçülen Normal andezit örneklerinin ağırlık değişimleri grafiği Şekil 6’da verilmiştir. Andezit örneklerinin nemli ortamda SO₂ yıpratmasına karşı direncin tayini deney sonuçlarına göre ortalama %0,438 ağırlık kaybı ölçülmüştür.

Deneylerde kullanılan 2 farklı çözelti halinde sülfüroz asit (H₂SO₃) miktarı içerdiği için ağırlık kaybı değerleri de farklılık göstermiştir. A çözelti (150 ml su+500 ml sülfüroz) için ağırlık kaybı %0,735 olurken,

B çözeltilinde (500 ml su+150 ml sülfüroz) bu kayıp %0,1403 olarak belirlenmiştir. Görüldüğü gibi çözelti için Sülfüroz asit (H_2SO_3) oranı yükseldikçe kütle kaybı değeri de yükselmiştir.

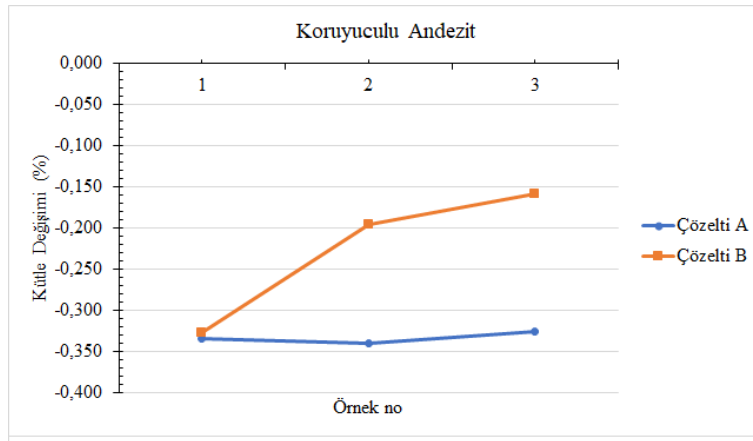


Şekil 6. Normal andezit örneklerinin nemli ortamda SO_2 yıpratmasına karşı direncin tayini deneyi kütle değişimi grafiği

Kimyasal Koruyuculu Örnekler

Kimyasal koruyucu sürülmüş andezit örneklerinde SO_2 yıpratmasına karşı direncin tayini deneyi sonunda da ölçülen ağırlık değişimleri grafiği Şekil 7'de verilmiştir. SO_2 yıpratmasına karşı direncin tayini deney sonuçlarına göre ortalama %0,28 ağırlık kaybı meydana gelmiştir. Deneylerde kullanılan 2 farklı çözelti değişik sülfüroz asit (H_2SO_3) miktarı içerdiği için ağırlık kaybı değerleri de farklılık göstermiştir. 150 ml su+500 ml sülfüroz asit içeren Çözelti A için ağırlık kaybı değeri %0,333 olurken, 500 ml su+150 ml sülfüroz asit içeren B çözeltilinde bu kayıp %0,226 olarak gerçekleşmiştir.

Kimyasal koruyucu sürülmüş andezit örneklerinde ağırlık kaybı yaklaşık %56,43 oranında azalmıştır. Bu durumda silan esaslı koruyucu kimyasal madde, andezitin SO_2 tahribatını önemli ölçüde azaltmıştır.



Şekil 7. Koruyucu sürülmüş andezit örneklerinin nemli ortamda SO_2 yıpratmasına karşı direncin tayini deneyi kütle değişimi grafiği

Nemli Ortamda SO_2 Yıpratmasına Karşı Direncin Tayini Deneyi Sonrası SEM İncelemeleri

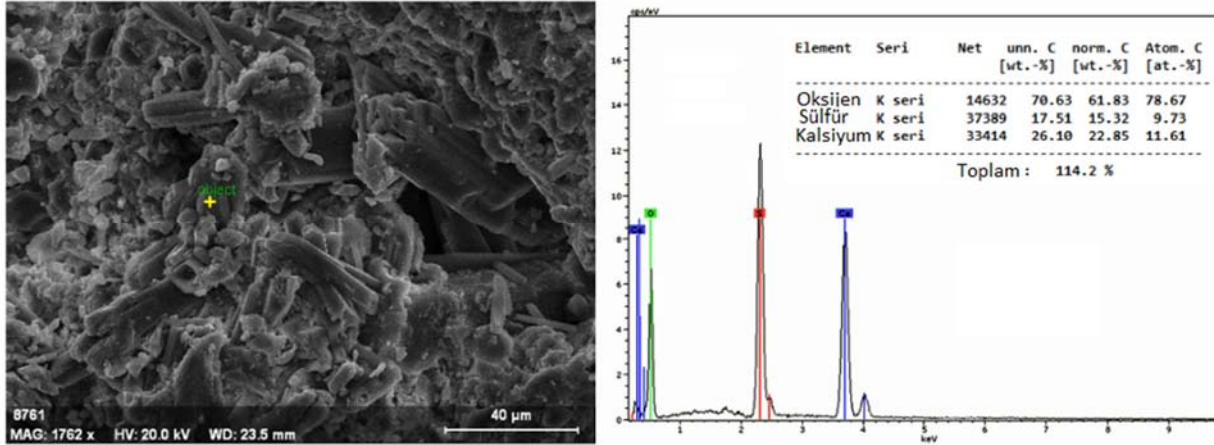
Asidik reaksiyonlar, doğal yapı taşlarında ana kayadan çözülmüş (silisyum) $Si(OH)_4$ ve metal katyonlarının hareketlenmesine neden olur. Silikat minerallerinin ayrışması ile demir veya alüminyum

hidroksitler gibi yeni kil mineralleri meydana gelir. Ayrıca, mineral çözünme reaksiyonları sodyum, potasyum, magnezyum ve kalsiyum tuzlarının diğer bir deyişle, ana katyonların oluşumuna yol açmaktadır (Steiger vd. 2010).

Granit, bazalt ve diğer volkanik kayalar, asitlere dirençli olan kristal silika (kuvars), silis ve alüminanın çeşitli metal oksitler (kalsiyum, magnezyum, sodyum, potasyum) ile birleştiği çeşitli siliko-alüminat mineralleri içerirler. Bu mineraller, atmosferik su ve asitler ile birleştiğinde çeşitli kimyasal tepkimelerden etkilenebilir. Sülfürik asit, çakmak taşı ve kuvars dışında diğer silisli taş türlerinde de "siyah kabuk" oluşumuna yol açabilir. Bu tür taşlar buldukları asidik ortamlarda bünyelerindeki Ca, Mg, Na ve K'ü kaybederek çeşitli kil minerallerine dönüşürler. Ayrıca bu tür taşlarda CaO ve MgO ile CaCO_3 tepkimeye girerek MgCO_3 (magnezyum karbonat) ve $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (kalsiyum sülfat = Alçıtaşı = Jips) oluşur. Taş bünyesinde yer alan sodyum oksit (Na_2O) ve potasyum oksit (K_2O) gibi alkali oksitler, asitlerle tepkimeye girerek sodyum sülfat (Na_2SO_4) ve potasyum sülfat (K_2SO_4) gibi tehlikeli tuzları oluşturabilir (Torraca, 2009; Çetin, 2017).

Bu reaksiyonların SO_2 yıpratma deneyi sonrası andezit yüzeylerinde ve gözeneklerinde nasıl gerçekleştiğini inceleme amacıyla SEM-EDX (Taramalı Elektron Mikroskobu) incelemeleri yapılmıştır.

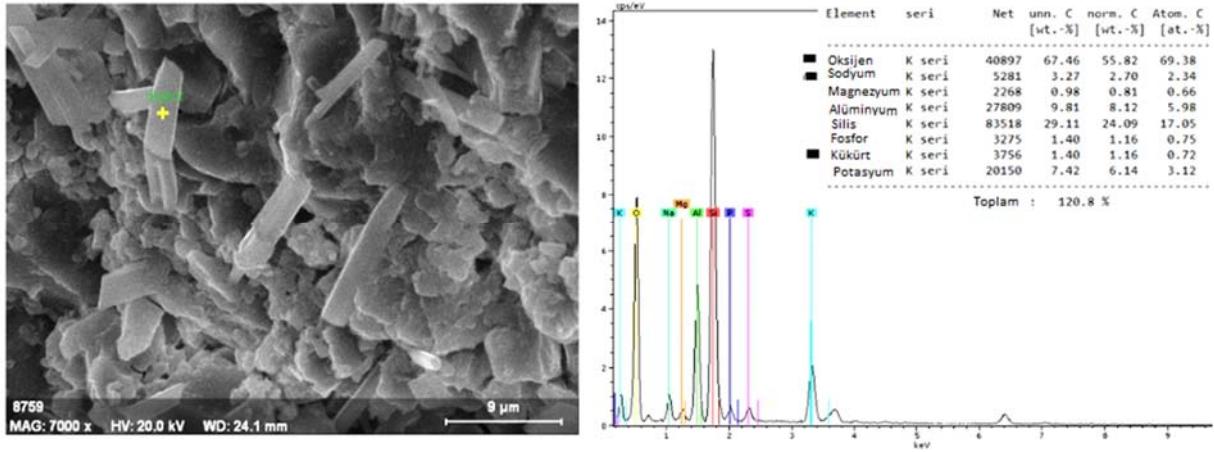
Andezitin mineralojik bileşiminde yer alan ve XRD incelemeleri sonucunda belirlenen oligoklas ($(\text{Na}, \text{Ca}) \text{Al Si}_3\text{O}_8$) ve andezin ($\text{CaAl}_2 \text{Si}_2\text{O}_8$) gibi feldispat minerallerinin Ca içerdiği ve bu içeriğin (CaO) kimyasal bileşimde %5,4 oranında yer aldığı görülmektedir. Steiger, (2003) tarafından belirtilen feldispatların bozuluşması sonucunda açığa çıkan Ca iyonu, deney ortamında bulunan SO_2 ve O ile birleşerek CaSO_4 bileşimini yani Jips/anhidrit mineralini oluşturmuştur. Nemli ortamda SO_2 yıpratma deneyi sonrası normal andezit örnekleri yüzeyinde meydana gelen uzun yassı levhamsı şekilli kristaller halinde Ca sülfat (Jips/anhidrit) minerali görünümü Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. Nemli ortamda SO_2 yıpratma deneyi sonrası normal andezit örnekleri yüzeyinde meydana gelen Ca sülfat minerali görünümü ve bu jips (CaSO_4) mineralinin EDX elementel analizi

Andezitin kimyasal bileşiminde bulunan Na_2O (%2,34) içeriğine bağlı olarak oluşan kısa prizmatik şekilli kristalin (Na-sülfat) elementel analizi de Şekil 9'de verilmiştir.

Nemli ortamda SO_2 yıpratma deneyi sonrası kimyasal koruyuculu andezit örnekleri yüzeyinde yeni oluşan mineraller SEM-EDX yöntemi ile incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda andezit yüzeyindeki silan esaslı kimyasal su itici maddenin yer yer çatlaklar oluşturduğu ve bu çatlakların SO_2 buharı geçişine izin verdiği gözlenmiştir. Yüzeylerde Ca ve Na-sülfat minerallerinin olduğu gözlenmiştir. Oluşan Na-sülfat bileşimli mineraller kısa prizmatik, agregatlar şeklinde, Ca-sülfat minerallerini de uzun yassı levhamsı şekilli kristaller halinde olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 9. Nemli ortamda SO₂ yıpratma deneyi sonrası normal andezit örnekleri yüzeyinde meydana gelen Na-sülfat (Na₂SO₄-tenardit) minerali görünümü ve bu mineralin EDX elementel analizi

SONUÇLAR

Bu çalışmada, Afyonkarahisar yöresinde yapı taşı olarak kullanılan İsehisar andezitinin nemli ortamda SO₂ yıpratmasına karşı direnç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler standartlara uygun olarak normal ve koruyucu özelliğe sahip olan silan esaslı kimyasal madde sürülen örnekler de yapılmıştır. Bu deneylerin yanı sıra SO₂ deneyinde örneklerin yüzeyinde meydana gelen mineralleri belirleyebilmek amacıyla andezitlerin kimyasal ve mineralojik özellikleri de incelenmiştir. Laboratuvar çalışmaları sonucunda elde edilen veriler aşağıda özetlenmiştir.

Andezitlerin kökenini belirleme amacıyla yapılan kimyasal analiz sonucunda traki-andezit bileşimli olduğu belirlenmiştir. XRD analizi sonucunda feldispat (andezin, sanidin, oligoklas), tridimit, piroksen, biyotit ve montmorillonit mineralleri tespit edilmiştir. Bu minerallerden feldispat grubu minerallerin SO₂ ile etkileşime girerek yeni mineraller meydana getirdiği SEM analizleri ile ortaya konulmuştur.

Deneylerde kullanılan Çözelti A için ağırlık kaybı değeri %0,735 olurken, B çözeltisinde bu değer %0,1403 olarak ölçülmüştür. Çözelti A ve B için ortalama %0,438 ağırlık kaybı meydana gelmiştir. Kimyasal koruyuculu andezit örneklerinin nemli ortamda SO₂ yıpratmasına karşı direncin tayini deney sonuçlarına göre ortalama %0,28 ağırlık kaybı meydana gelmiştir. Bu durumda kimyasal koruyucu madde, andezit örneklerinin ağırlık kaybını %56,43 oranında azaltmıştır.

Nemli ortamda SO₂ yıpratma deneyi sonrası meydana gelen değişikliklerin SEM-taramalı elektron mikroskopu ile incelenmesi sonucunda sülfat (Na₂SO₄ ve CaSO₄) mineralleri belirlenmiştir. Kısa prizmatik şekilli, tuz kristallerinin Na sülfat, uzun yassı levhamsı şekilli kristallerin de Ca sülfat (Jips/anhidrit) mineralleri olduğu tespit edilmiştir.

Afyonkarahisar yöresindeki tarihi yapılarda kullanılan yapı taşlarından birisi de andezitlerdir. Nemli ortamda SO₂ yıpratmasına karşı direnç deneyleri sonuçlarına göre; bu doğal taşların kullanım yerlerinde, atmosferden kaynaklı SO₂ etkisine karşılık uzun yıllar bozulmadan görevlerini yerine getirebilecekleri belirlenmiştir. Yüzey koruyucu kimyasal maddelerin bu süreyi daha da uzatacağı öngörülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Afyon Kocatepe Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince 17.MYO.02 nolu proje kapsamında desteklenmiştir. Katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Attewell, P.B. and Taylor, D. (1990). Time-dependent atmospheric degradation of building stone in a polluting environment. *Environ Geol Water Sci*, 16(1): 43-55.
- Çetin, C. (2017). Kültür varlıkları koruma ve onarım bölümü, Taş malzeme bilgisi ve bozulmaları ders notu, Ankara Üniversitesi, (<https://acikders.ankara.edu.tr/course/view.php?id=105>).
- Frasca, MHBO., Yamamoto, J.K, (2006). Ageing tests for dimension stone-experimental studies of granitic rocks from Brazil. In: Proceedings 10th IAEG international congress. The Geological Society of London, IAEG2006 Paper number 224.
- Germinario, L., Siegesmund, S., Maritan, L., Simon, K. and Mazzoli, C. (2017). Trachyte weathering in the urban built environment related to air quality. *Herit. Sci.* 5:44.
- 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.
- Öcal, A.D. (2010). Kayaçtan yapılmış eski eser koruma çalışmalarına arkeometrik bir yaklaşım: ayrışma durumu haritası. Türkiye ve Kolombiya'daki anıt eserlerin bozunma analizi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 119 s. (Yayımlanmamış).
- Pervez, S. and Pandey, G.S. (1992). Rate evaluation of marble damage by SO₂-acidity in the vicinity of stacks, *Environmental Geochemistry and Health*, 14(4), page 103-106
- Mayerhofer, P., Weltschev, M., Trukenmuller, A. and Friedrich, R. (1995). A methodology for the economic assessment of material damage caused by SO₂ and NO_x emissions in Europe. *Water, Air, Soil Pollution*, 85: 2687–2692.
- Olaru, M., Aflori, M., Simionescu, B., Doroftei, F. and Stratulat, L. (2010). Effect of SO₂ dry deposition on porous dolomitic limestones. *Materials*, 3: 216-231.
- Spiker, E.C., Hosker, R.P., Weintraub, V.C. and Sherwood, S.I. (1995) Laboratory study of SO₂ dry deposition on limestone and marble: Effects of humidity and surface variables. *Water Air Soil Pollut* 85: 2679.
- Steiger, M. Charola, A.E. Sterflinger, K. (2010). Weathering and deterioration. In *Stone in Architecture: Properties, Durability*, ed. S. Siegesmund, R. Snethlage, and E. Winkler. Berlin, Germany: Springer.
- Torraca, G. (2009). Lectures on materials science for architectural conservation. Los Angeles, CA: Getty Conservation Institute.
- TS EN 13919. (2004). Doğal taşlar, deney metotları, nemli ortamda SO₂ yıpratmasına karşı direncin tayini, TSE, Ankara.
- Vassilakos, Ch Katsanos, N.A Niotis A (1992). Physicochemical damage parameters for the action of SO₂ and NO₂ on single pieces of marble. *Atmospheric Environment. Part A. General Topics* 26(2), 219-223.
- Vella, A.J., Camilleri, A. and Tabone Adami, J.P. (1996). Limestone surfaces in built-up environment as indicators of atmospheric pollution. *Environ Geochem Health*. 18(4):165-70.
- Wondyfraw, M. (2014). Mechanisms and effects of acid rain on environment, *J Earth Sci Clim Change*, 5:6.

DİYARBAKIR MERMER SEKTÖRÜNÜN TARİHSEL GELİŞİMİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ
HISTORICAL DEVELOPMENT AND EVALUATION OF DIYARBAKIR MARBLE SECTOR

O.O.Varol^{1,*}, D.Aydın², M.Ayhan²

¹*Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü*

*(*Sorumlu yazar: ogunozanvarol@yyu.edu.tr)*

²*Dicle Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü*

ÖZET

Bu çalışmada, Diyarbakır mermer sektöründe 1992 yılından günümüze yaşanan gelişmeler ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmede Diyarbakır mermer blok üretimi, ocak sayıları, mermer işleme fabrika sayıları, ocak ve fabrikalarda çalışanların sayıları, mermer ihracat verileri ele alınmış ve analiz edilmiştir. Bununla beraber sektörün sorunları ele alınmış, ayrıca geleceğe yönelik görüş ve önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Sözcükler: Diyarbakır mermer sektörü, mermer ihracatı, Diyarbakır mermerleri

ABSTRACT

In this study, the developments in the marble sector in Diyarbakır since 1992 are evaluated in detail. In this evaluation, the production of marble blocks in Diyarbakır, the number of quarries, the number of marble processing factories, the number of workers working in the quarries and factories, and the export of marble were analyzed and analyzed. In addition to this, the problems of the sector were handled and also opinions and suggestions were made for the future.

Keywords: Diyarbakır marble sector, marble export, Diyarbakır marbles

GİRİŞ

Ülkemizde doğal taş (mermer) terimi; kireçtaşı, dolomit, dolomitik kireçtaşı, kristalin karbonatlı kayaçlar ile sert taşlar için kullanılmaktadır. Petrografik tanımlamaya göre; kireçtaşı dolomitik kalker ve/veya bunların değişik oranlarından oluşan karbonatlı kayaçların farklı sıcaklık ve basınç altında metamorfizmaya uğrayarak, tekrar kristallenmesi sonucu yeni doku ve yapıya sahip metamorfik kalsit kristallerinden oluşan kayaçlara mermer denilmektedir. Endüstriyel anlamda ise mermer; ekonomik olarak uygun boyutlarda blok olarak kesilip çıkarılabilen, istenilen ebatlarda düzgün olarak kesilip, isteğe göre cilalanıp parlatılabilen kayaçlar olarak tanımlanmaktadır (Kulaksız vd., 2008).

Madencilik alt kollarından olan mermer sektörü, madencilik sektörü içerisindeki en önemli ihracat payına sahiptir. Ülkemizde çok sayıda mermer işletmesi olmakla beraber, Türkiye'nin neredeyse tamamında arama çalışmaları bilimsel ve teknik bakımdan yeterli olmayan yöntemle gerçekleştirilmektedir. Bu durum birçok sahada işletme açmaya yönelik kazı çalışmaları yapılarak işletmeye değer görülmeyen sahaların terk edilmesine neden olmaktadır. Bilimsel ve teknik bakımdan yetersiz bir şekilde yapılan bu kazılar işletmelere zaman ve ekonomik kayıplar getirmesinin yanı sıra çevresel ve ekolojik olarak da uygun olmayan durumların ortaya çıkmasına sebep olmaktadır (Onargan, 2017).

Zengin yeraltı kaynaklarına sahip ülkelerin kalkınmalarında ve geleceğe yön vermelerinde diğer ülkelere nazaran avantajlı oldukları bilinen bir gerçektir. Dünyada uygulanan ekonomik sistemlerin tümündeki ortak görüş, ham madde girdisinin üretim unsurları içerisindeki önemidir. Bu duruma bağlı olarak yeraltı kaynakları bakımından zengin ülkeler, kalkınmalarını büyük ölçüde tamamlamış olan ülkelerdir (Çetin, 2003).

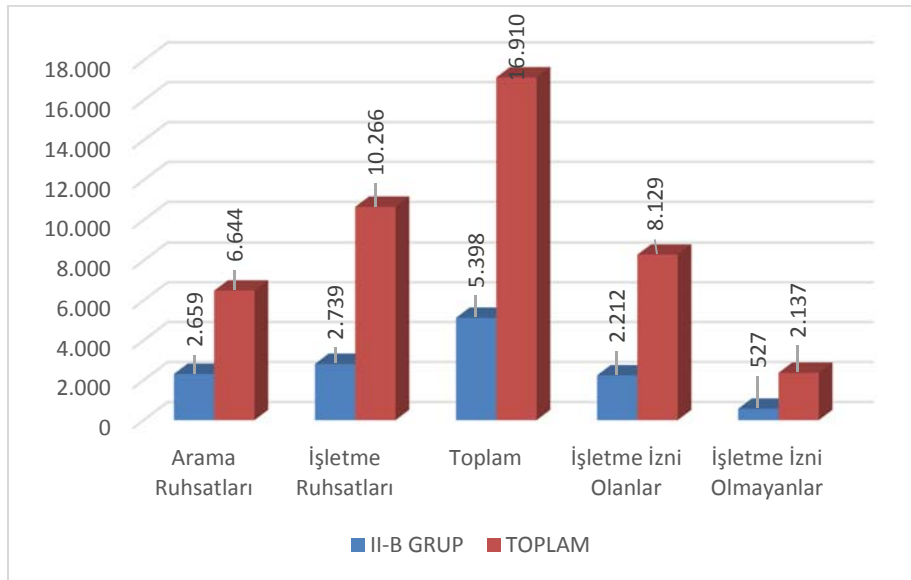
Son yıllarda, mimarlar ve dekoratörlerin yapılarda doğal taştan yapılan malzemeleri daha fazla tercih etmeleri dünya doğal taş üretiminin artmasına neden olmuştur. Bu artışla beraber mermer üretim ve işletme teknolojisi de kayda değer gelişmeler göstermiştir. Günden güne daha mükemmel hale gelen işletme teknikleri ile taş, daha kolay ve ekonomik olarak istenilen şekilde işlenerek birçok kullanım alanı bulmakta ve ilerleyen yıllarda da bu gelişmenin devam edeceği düşünülmektedir (Ayhan vd., 2004).

Bu çalışma kapsamında, Diyarbakır mermer sektöründe 1992 yılından günümüze yaşanan gelişmeler ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmede Diyarbakır mermer blok üretimi, ocak sayıları, mermer işleme fabrika sayıları, ocak ve fabrikalarda çalışanların sayıları, mermer ihracatı verileri ele alınmış ve analiz edilmiştir. Bununla beraber sektörün sorunları ele alınmış, ayrıca geleceğe yönelik görüş ve önerilerde bulunulmuştur.

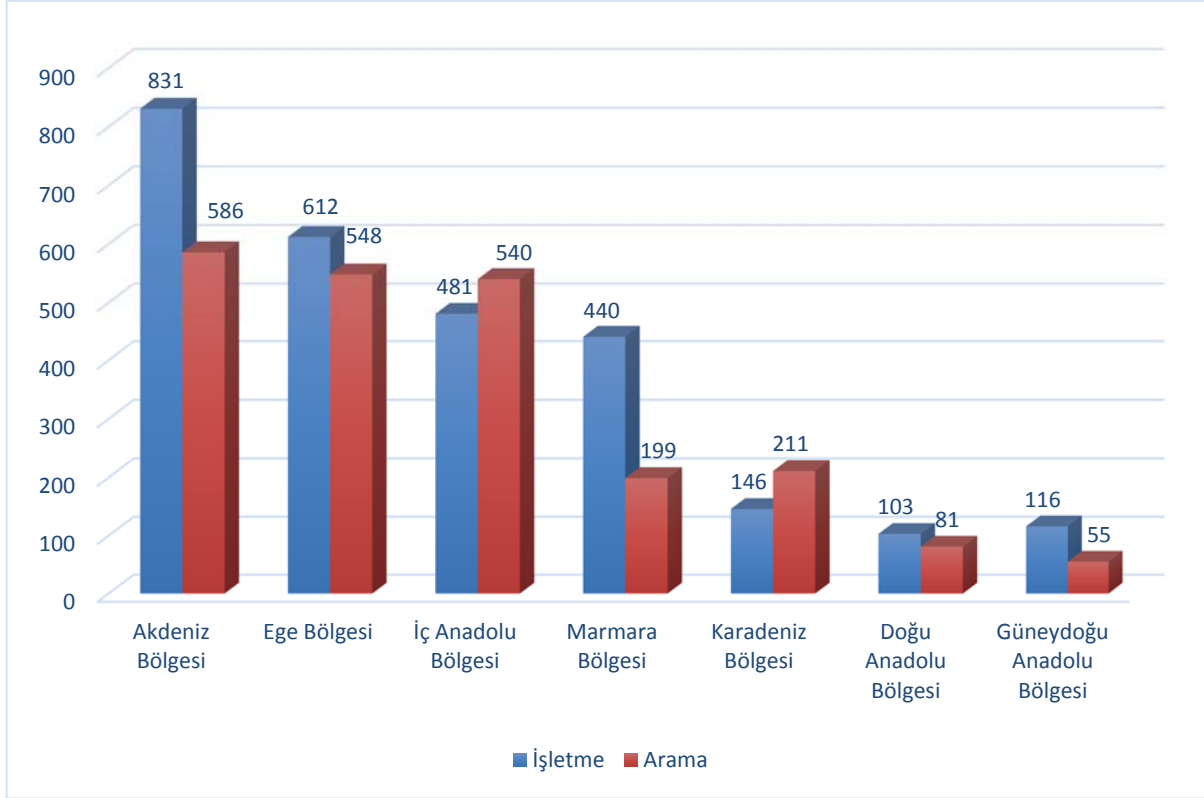
TÜRKİYE’NİN MERMER POTANSİYELİ VE EKONOMİSİ

Dünya doğal taş rezervlerinin önemli bir bölümünün ülkemizde olduğu çeşitli kaynaklarca teyit edilmektedir (Eraslan vd., 2008; Karataş vd., 2003). Bu mermer rezervleri kristalin kalker, traverten, oniks, konglomera, breş ve magmatik kökenli kayalardan oluşmakta ve renk ve desen bakımından oldukça geniş skala sunmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı Türkiye doğal taşları, dünya pazarında gerek blok ve gerekse işlenmiş ürün bazında önemli bir yere sahiptir. Türkiye’de üretilen ve dünya pazarında adından söz ettiren mermer çeşitleri; Elazığ Vişne, Akşehir Siyah, Manyas Beyaz, Bilecik Bej, Kaplan Postu, Denizli Traverten, Ege Bordo, Afyon Şeker, Gemlik Diyabaz ve son yıllarda ön plana çıkan Adıyaman Emprador olarak sıralanabilir.

Türkiye genelinde toplam 5398 adet doğal taş ruhsatı bulunmaktadır. Bu ruhsatların 2659 adeti arama, 2739 adeti ise işletme ruhsatıdır (Şekil 1). Türkiye genelindeki işletme ruhsatlarının %8,02’ü Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde bulunmaktadır (Şekil 2).



Şekil 1. Türkiye’deki arama ve işletme ruhsatları (Aydın, 2019).



Şekil 2. Bölgelere göre II-B ruhsatları (Aydın, 2019).

Doğal taş ihracatı Türkiye’de 1994 yılında 60 milyon dolar iken 25 yılda 33 kat artarak işlenmiş ürün ve blok satışı ile yaklaşık 2 milyar dolara ulaşmıştır. Bu rakam 4,7 milyar dolarlık maden ihracatının yaklaşık yarısına tekabül etmektedir. Dünya genelinde ise doğal taş ihracatı 20 milyar dolara ulaşmıştır (Madencilik Türkiye, 2019).

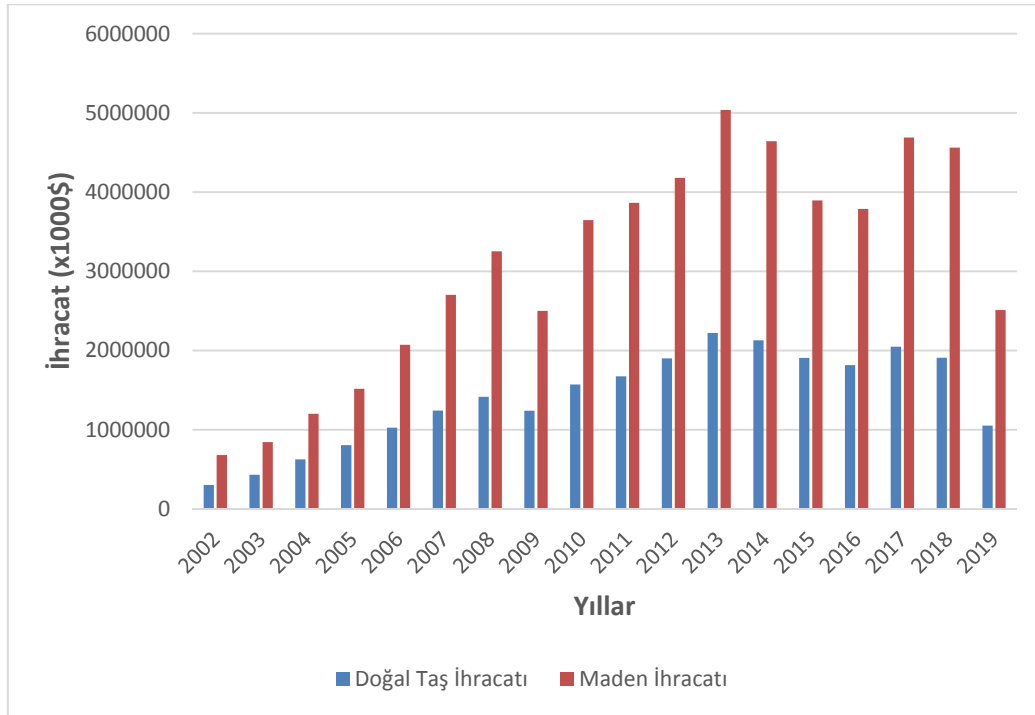
2019 yılının ilk yedi ayı içerisinde yaklaşık 170 ülkeye doğal taş ihracatı yapılmıştır (İMİB, 2019). Türkiye’nin mermer ve traverten ihracatı 2010 yılında 4,7 milyon ton, 2011’de 4,9 milyon ton, 2012’de 5,2 milyon ton 2013’te 5,7 milyon ton, 2014’te 4,9 milyon ton, 2015 ve 2016 yıllarında 4,4 milyon ton olarak gerçekleşmiştir (Altındağ, 2017). Türkiye’nin mermer ve traverten ihracatı 2017 yılında 5,6 milyon ton, 2018 yılında 5,043 milyon ton, 2019 yılının ilk yedi ayında ise 2,50 milyon ton olarak gerçekleşmiştir (İMİB, 2019).

Türkiye’nin 2002 – 2019 yılları arasında gerçekleşen maden ve doğal taş ihracat rakamları Çizelge 1’de verilmiştir. Bu rakamlar incelendiğinde doğal taş ihracatının maden ihracatı içerisinde %40 -50 arasında bir paya sahip olduğu görülmektedir (Şekil 3).

Çizelge 1. Türkiye doğal taş – maden ihracatının yıllara göre dağılımı (İMİB, 2019).

Yıllar	Doğal Taş İhracatı (*1000\$) A	Toplam Maden İhracatı (*1000\$) B	(A/B)*100 (%)
2002	302,586	680,222	44.48
2003	431,047	843,273	51.12
2004	625,895	1,201,711	52.08
2005	805,234	1,517,195	53.07
2006	1,025,937	2,071,786	49.52
2007	1,241,672	2,702,710	45.94
2008	1,415,152	3,251,443	43.52
2009	1,240,675	2,49,9495	49.64
2010	1,571,094	3,645,843	43.09
2011	1,674,118	3,863,312	43.33
2012	1,901,206	4,179,552	45.49
2013	2,222,387	5,0348,86	44.14
2014	2,128,230	4,641,566	45.85
2015	1,906,251	3,895,258	48.94
2016	1,815,599	3,787,505	47.94
2017	2,048,092	4,688,240	43.69
2018	1,908,292	4,561,786	41.83
2019 (Ocak- Temmuz)	1,051,663	2,510,207	41.90

Çizelge 1’de bulunan veriler incelendiğinde; 2009 yılında 2008 yılına oranla %12,33, 2014 yılında 2013 yılına oranla %4,23, 2015 yılında 2014 yılına oranla %10,43, 2016 yılında 2015 yılına oranla %4,75 ve 2018 yılında 2017 yılına oranla %6,83 düşüş gerçekleşmiştir.



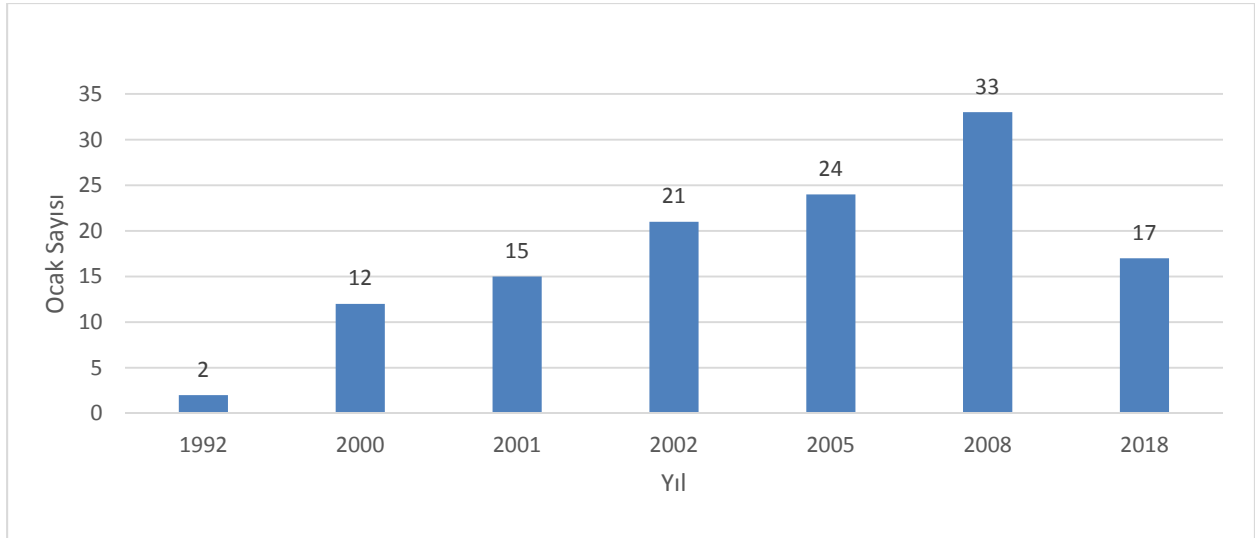
Şekil 3. Yıllara göre Türkiye doğal taş – toplam maden ihracatının değişimi

DİYARBAKIR İLİ MERMER SEKTÖRÜ

Diyarbakır'da taş işleme sanatının yaklaşık 4000 yıllık geçmişi olmasına rağmen, ilk ocak işçiliği 1987 yılında Çermik bölgesinde gerçekleştirilmiştir. Ancak, modern ekipman kullanılarak yapılan mermer blok işletmeciliğine ilk olarak 1992 yılında başlanmıştır. Mermer sektöründe, Hazar Pembe ve Hazar Bej olarak adlandırılan iki mermer ocağında 1992 yılında ilk defa modern ekipmanlar kullanılarak blok mermer üretimi gerçekleştirilmiştir (Ayhan, 2000; Eastone, 2005).

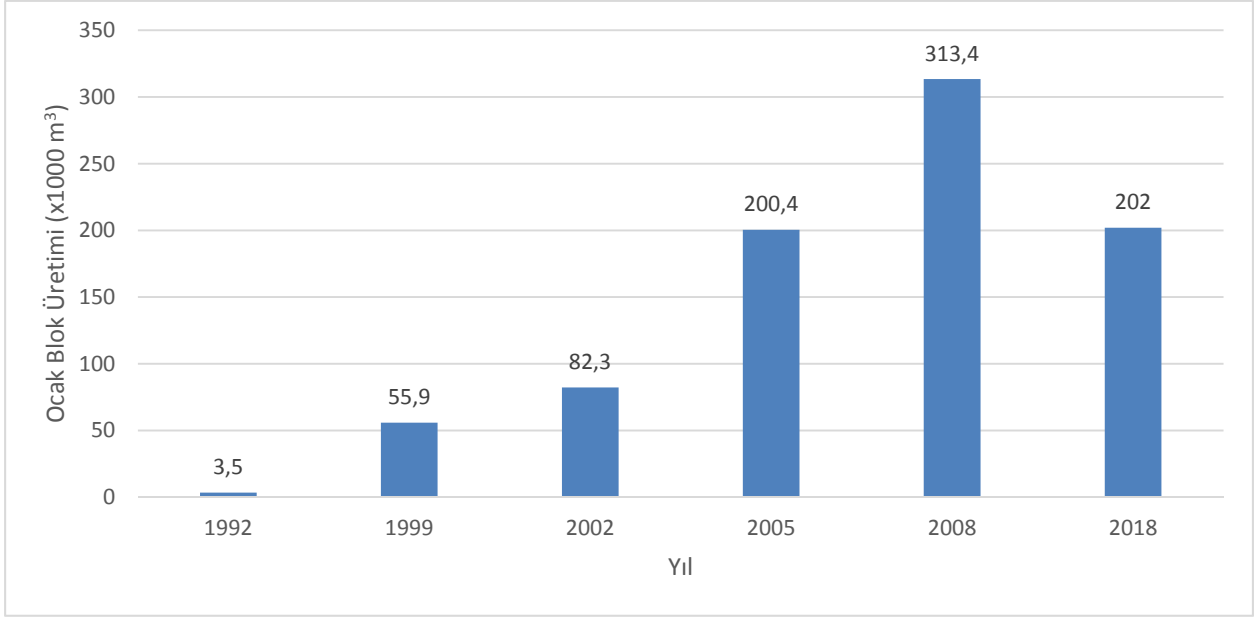
Güney Doğu ve Doğu Anadolu bölgelerindeki iller arasında mermer ocak işletmeciliği ve ocak yatırımları açısından Diyarbakır, Elazığ, Adıyaman ve Kahramanmaraş illeri ön plana çıkmaktadır. Özellikle 90'lı yılların ikinci yarısından itibaren Diyarbakır'da ocak işletmeciliği ile gelişmeye başlayan mermer sektörü sonraki yıllarda büyük ve orta ölçekte fabrikaların açılması ile kayda değer bir ivme kazanmıştır. Diyarbakır bölgesinin mermer rezervi açısından zengin olması bölgede faaliyet gösteren mermer işletmelerinin hızlı artmasında etkili bir faktör olmuştur (Ayhan, 2000; Ayhan, 2003).

Diyarbakır ve çevresinde mermer sektörü 2010 yılına kadar büyüyerek varlığını devam ettirmiştir. Ancak, bu bölgede faaliyet gösteren mermer ocak sayılarında son yıllarda bir düşüş yaşanmıştır. Özellikle; Hani, Çermik ve Çüngüş mermer havzalarının verimli bir şekilde değerlendirilememesi bu sonucun ortaya çıkmasında önemli rol oynamıştır. Diyarbakır mermer sektörünün gelişimi Şekil 4 – 12'de verilen grafiklerle detaylı olarak ortaya konulmuştur.



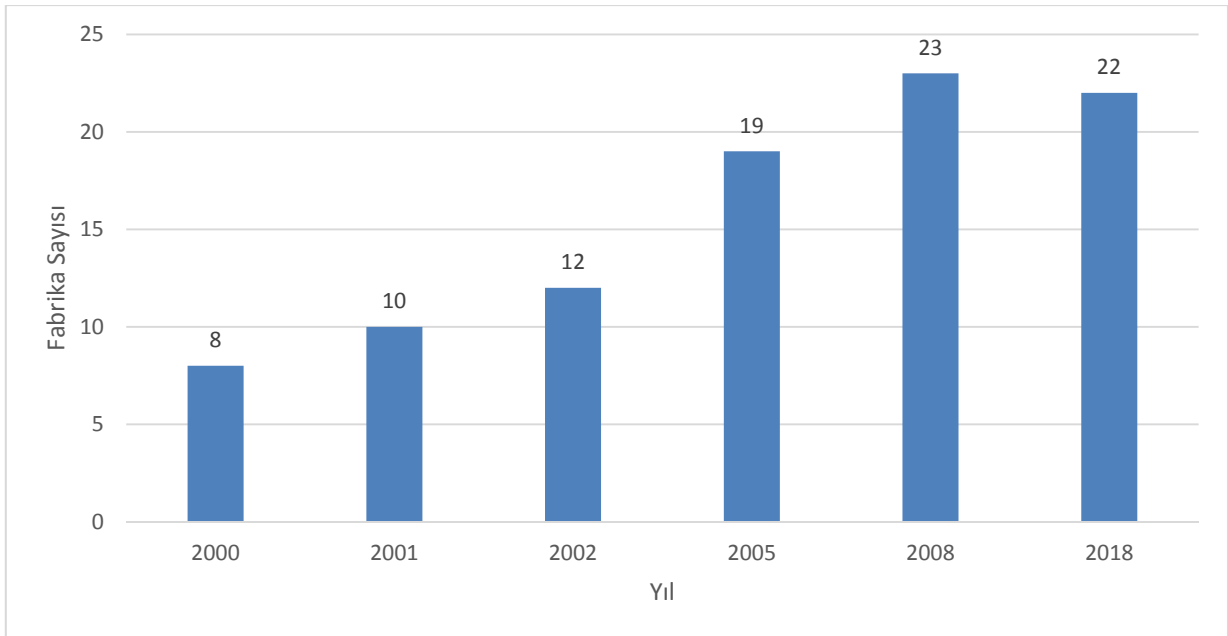
Şekil 4. Diyarbakır'da bulunan mermer ocaklarının yıllara göre değişimi (Ayhan, 2019).

Şekil 4'te görüldüğü gibi 1992-2008 yılları arasında ocak sayılarında doğrusala yakın bir artış gözlenirken, 2018 yılında ise 2008 yılına göre %50 oranında düşüş görülmektedir. Şekil 5'te ise 1992-2008 yılları arasında ocak blok üretiminde artış gözlenirken, 2018 yılında ise 2008 yılına göre %36 oranında düşüş görülmektedir.



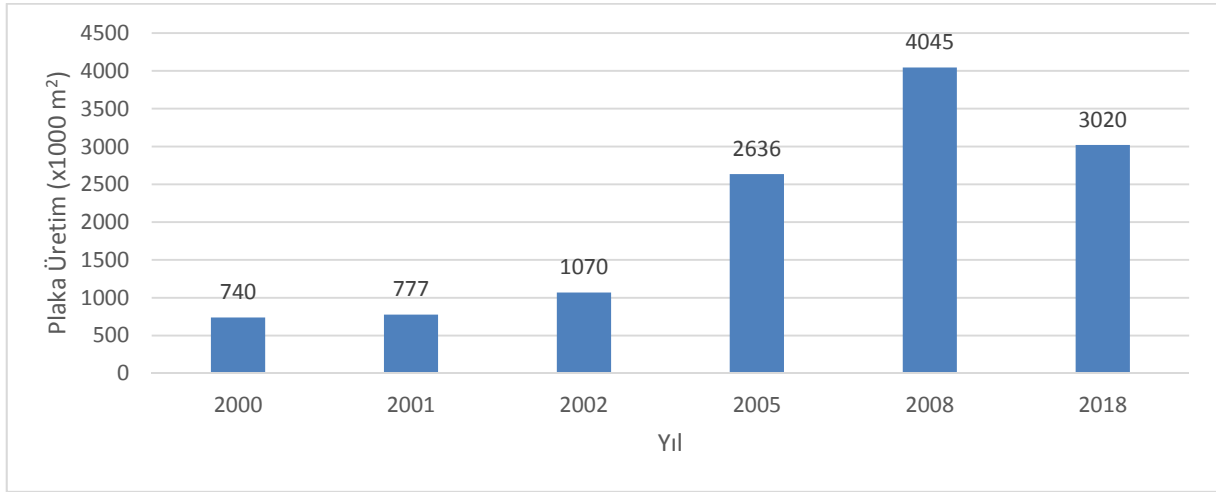
Şekil 5. Diyarbakır'da bulunan mermer ocaklarından yapılan blok üretim miktarının yıllara göre değişimi (Ayhan, 2019).

Diyarbakır'da bulunan mermer işleme fabrika sayılarının yıllara göre değişimi, Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmiş olan; Diyarbakır'da bulunan mermer ocaklarının yıllara göre değişimi ve Diyarbakır'da bulunan mermer ocaklarından yapılan blok üretim miktarının yıllara göre değişimi grafiklerine paralellik göstermiştir. 2000-2008 yılları arasında yeni ocak ve artan üretimin ortaya çıkardığı ihtiyaç sebebiyle mermer işleme fabrika sayısı artarken, 2018 yılında kapanan ocaklar ve düşen üretimle beraber yeni fabrikalara ihtiyaç duyulmamış mevcut fabrikalardan biri kapanmıştır (Şekil 6).



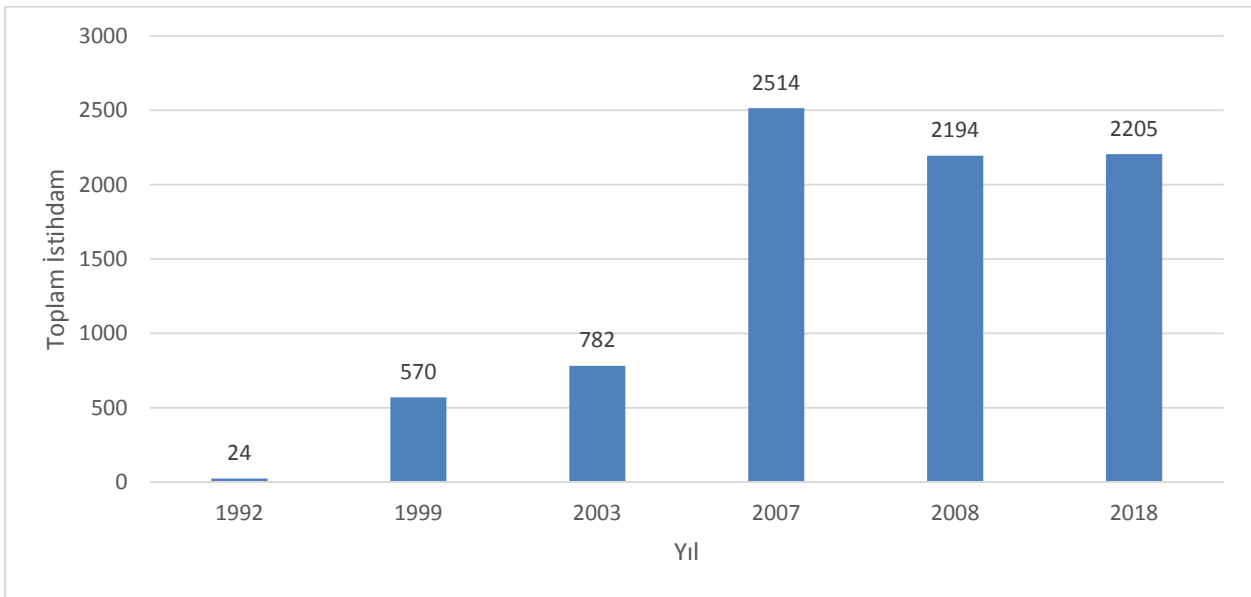
Şekil 6. Diyarbakır'da bulunan mermer işleme fabrika sayılarının yıllara göre değişimi (Ayhan, 2019).

Benzer şekilde ocak, üretim ve fabrika sayılarında artış gözlenen 2000-2008 yılları arasında plaka üretim miktarları da artmış 2018 yılında ise 2008 yılına göre % 25 oranla düşüş gözlenmiştir (Şekil 7).

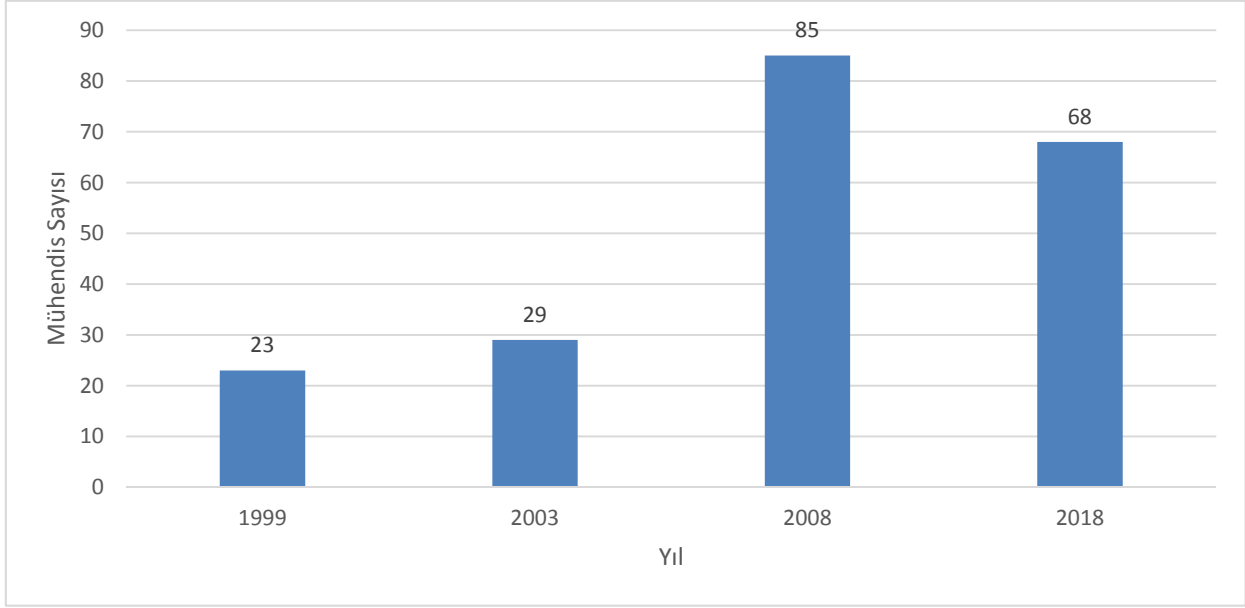


Şekil 7. Diyarbakır’da bulunan mermer işleme fabrikalarında yapılan plaka üretim miktarlarının yıllara göre değişimi (Ayhan, 2019).

Diyarbakır mermer sektöründe toplam istihdam ilk ocakların açıldığı 90’lı yıllardan 2007 yılına kadar artarak devam etmiş 2008 yılında ise bir önceki yıla göre %13 düşmüştür (Şekil 8). Benzer durum sektörde çalışan mühendis sayılarında da gözlenmiş; 2008 yılına kadar artan Diyarbakır mermer sektöründe çalışan mühendis sayısı 2018 yılında 2008 yılına kıyasla %20 düşmüştür (Şekil 9).

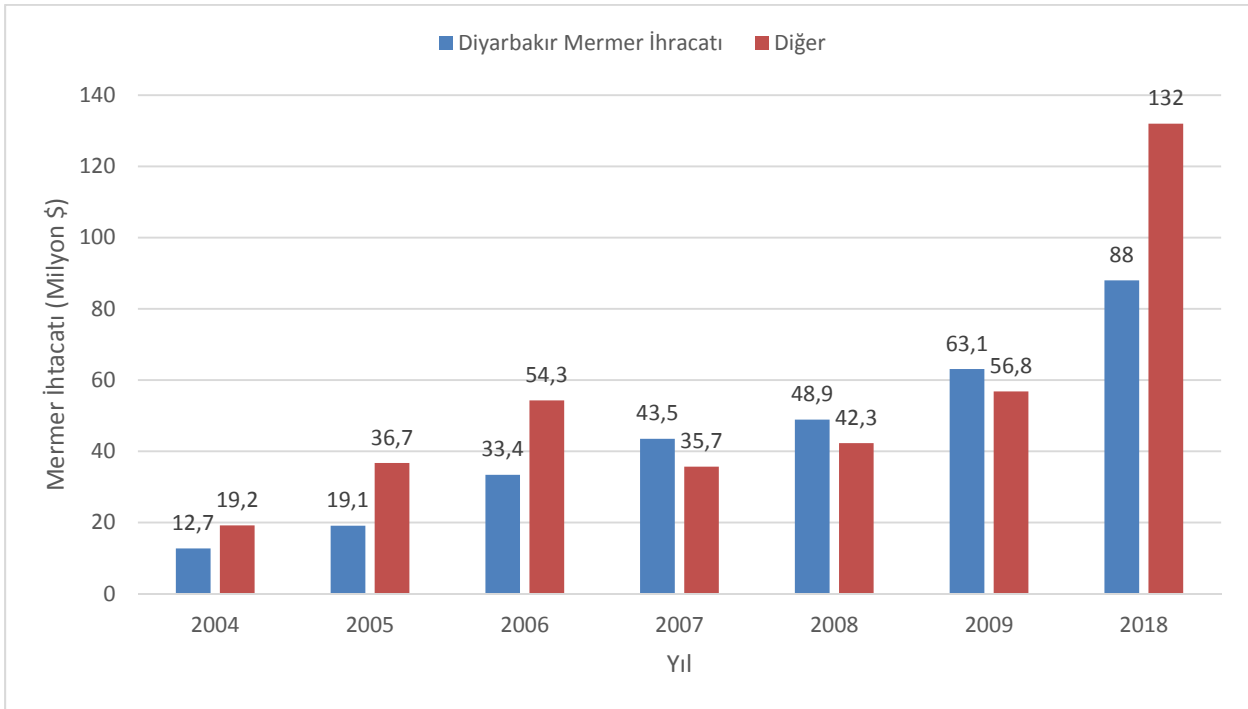


Şekil 8. Diyarbakır mermer sektöründe toplam istihdamın yıllara göre değişimi (Ayhan, 2019).

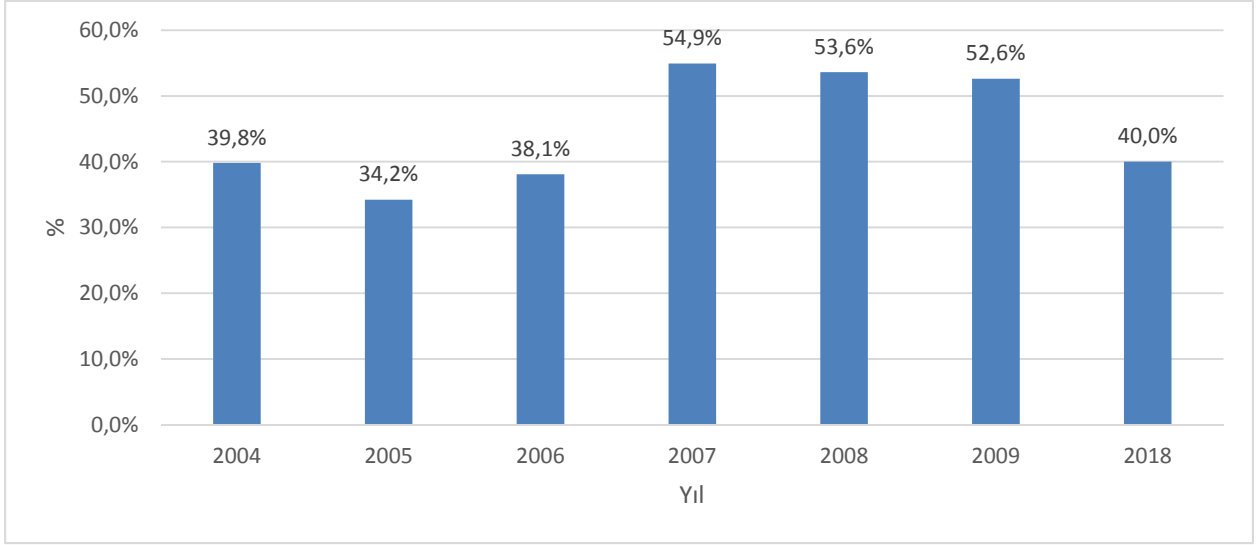


Şekil 9. Diyarbakir mermer sektöründe çalışan mühendis sayılarının yıllara göre değişimi (Ayhan, 2019).

Şekil 10'da Diyarbakir mermer ihracatı ve diğer (mermer dışındaki) sektörlerin toplam ihracat miktarları verilmiştir. Mermer ihracatı her sene artış göstermekle beraber bazı yıllarda toplam ihracatı dahi geride bırakmıştır.

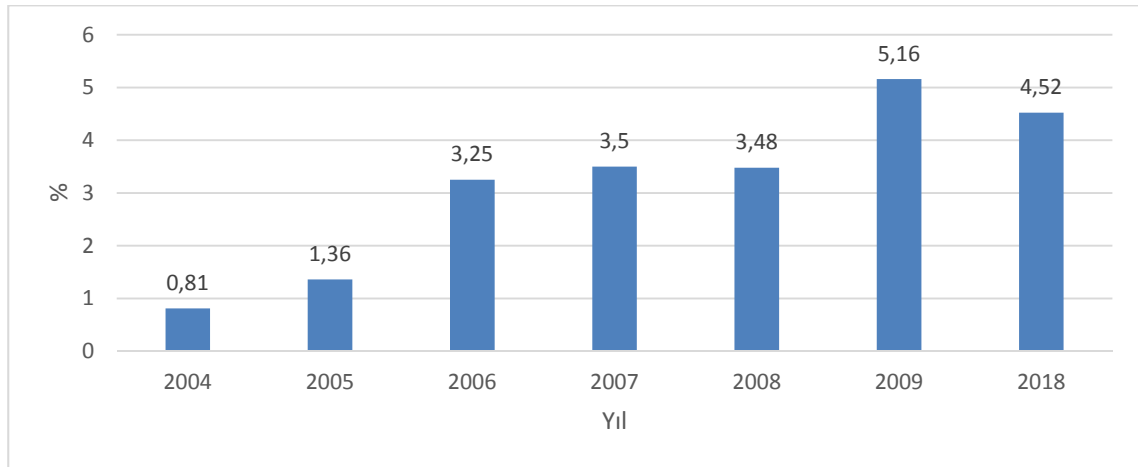


Şekil 10. Diyarbakir mermer ihracatının yıllara göre değişimi (Ayhan, 2019).



Şekil 11. Diyarbakır mermer ihracatının Diyarbakır toplam ihracatına oranı (Ayhan, 2019).

Şekil 11’de Diyarbakır toplam ihracatı içinde mermer ihracatının yeri ve önemi vurgulanmıştır. Bazı yıllarda görece daha düşük bir orana sahip olsa da genel anlamda yaklaşık %45 oranında ihracat mermer sektörü üzerinden sağlanmaktadır. Şekil 12’de ise mermer ihracatında Diyarbakır’ın Türkiye’deki yeri ifade edilmiştir. 2004-2008 yılları arasında Diyarbakır mermer ihracatının Türkiye mermer ihracatında payını arttırdığı; 2018 yılında ise düşüş yaşandığı gözlenmektedir.



Şekil 12. Diyarbakır mermer ihracatının Türkiye mermer ihracatına oranı (Ayhan, 2019).

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

- Diyarbakır’da 2018 yılında toplam 202,000 m³ blok mermer üretimi yapılmıştır. Bu değer 2018 yılında Türkiye’de üretilen yaklaşık 4,057,000 m³ lük blok üretiminin %4.98’ine karşılık gelmektedir.
- 2018 yılı itibarıyla Diyarbakır yöresinde 22 adet mermer işleme fabrikası bulunmaktadır. Bu fabrikalardan 2018 yılında yaklaşık olarak 3,020,000 m² plaka üretimi yapılmıştır. Bu değer 2018 yılında Türkiye’de üretilen yaklaşık 117,525,225 m² plaka üretiminin %2.56’sına karşılık gelmektedir.
- 2007-2008 yıllarından sonra gözlenen blok üretimindeki düşüş beraberinde sektördeki istihdamın da düşüşüne sebep olmuştur. 2018 yılında Diyarbakır mermer endüstrisinde toplam 2205 personel çalışmaktadır. Bölgede, Türkiye ortalaması üzerinde gerçekleşen nüfus artış hızı ve işsizlik potansiyeli dikkate alındığında, mermer sektörünün gelişiminin önemi bir kat daha artmaktadır.

- İhracata yönelik çalışan firmaların uluslararası alanda başarılı olabilmeleri için ticarete yön veren kuralları daha iyi analiz etmesi bir zorunluluk haline gelmiştir. Günümüz dünyasında sadece ürünlerin fiyatını düşük tutarak rekabet etmek neredeyse imkansız hale gelmiştir. Önemli olan pazarın istediği ürünü, doğru zamanda, doğru kalite ve doğru fiyata verebilmektir. Tüm bu unsurları bir arada yakalamayı başaran firmalar pazarda kendilerine daha kolay yer bulabileceklerdir.
- Son yıllarda terk edilen ocak sayısında artış söz konusudur. Bu nedenle bölgede ciddi bir mermer artığı potansiyeli bulunmaktadır. Bu mermer artıklarının değerlendirilip ekonomiye kazandırılması ayrı bir önem arz etmektedir. Mermer sektöründe artık oluşumunun azaltılması için çalışanlara doğal taş sevgisi ve kültürü kazandırılmalıdır. Mermer artıklarının agrega olarak kullanılmasının dışında yeni alanlarda da kullanılmasının önü açılmalıdır. Ülkemizde yatay mimarinin teşvik edilmesi ile birlikte bahçe, peyzaj çalışmalarında özellikle mermer artıklarının kullanılmasına yönlendirilmelidir.
- Mermer arama, üretim ve pazarlama süreçlerinin daha verimli ve etkin gerçekleştirilmesi havza temelli yaklaşımlarla mümkün olacaktır.
- Mermer sektörünün bölgede mevcut konumunu koruması ve geliştirmesi; arama, üretim ve pazarlama süreçlerinde bilimsel yöntemlerin ve gelişen yeni teknolojilerin kullanılması ve üniversite-sanayi işbirliğinin geliştirilmesi ile mümkün olacaktır.

KAYNAKLAR

- Altındağ, R., Çiçek, U., Karagüzel, R. (2017). Türkiye Doğal Taş Sektörünün Ekonomik Analizi. Türkiye 9. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi ve Sergisi, sayfa 3-9, 13-15 Aralık Antalya, Türkiye.
- Aydın, M. (2019). Mermer Artıklarının Değerlendirilmesi Çalıştayı, 19 Aralık 2019, Antalya
- Ayhan, M. (2000). GAP-GIDEM, Diyarbakır Mermercilik Sektörü, Diyarbakır.
- Ayhan, M. (2003). Diyarbakır'da Mermer Sektörü, GAP-GIDEM Avrupa Komisyonu ve T.C. Başbakanlık GAP Bölge Kalkınma İdaresi
- Ayhan, M. (2019). DİMAD Mermer Arama ve İşletme Yöntemleri Eğitim Semineri, 20 Mart 2019, Diyarbakır.
- Ayhan, M., Topal, E., Akkoyun, Ö. (2004). Diyarbakır Mermer Sektörünün Türkiye Mermer Endüstrisindeki Yeri, Sorunları ve Çözüm Önerileri. Mermer Dergisi, İzmir.
- Çetin, T. (2003). Türkiye Mermer Potansiyeli, Üretimi ve İhracatı. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 3, 243–256.
- Eastone (2005). Doğu ve Güneydoğu Bölgesi Doğal Taş Kataloğu, sayfa 7.
- Eraslan, H., İğçioğlu, İ., Haşit, G., Erşahan, B. (2008). Bilecik Bölgesi Mermer Sektörünün Uluslararası Rekabetçilik Analizi: Sektörel Sorunlar ve Çözüm Önerileri. Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 5(10), 193-217.
- İMİB (2019). <https://www.imib.org.tr/tr/istatistikler-2/>
- Karataş, A., Eraslan, İ. H., Ak, R. (2003). Türk Mermer Sektörünün Uluslararası Rekabetçilik Gücünün Analizi ve Ülke Ekonomisi Açısından Önemi. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 4, 12-14.
- Kulaksız, S., Özçelik, Y., Engin, İ. C. (2008). Doğal Taş (Mermer) Maden İşletmeciliği. Şinasi Eskikaya, Celal Karpuz, Mehmet Ali Hindistan, Nejat Tamzok (Ed.), Maden Mühendisliği Açık Ocak İşletmeciliği El Kitabı (s. 517–614). Ankara: TMMOB Maden Mühendisleri Odası.
- Madencilik Türkiye (2019). Madencilik ve Yerbilimleri Dergisi, sayı 78, sayfa 18.
- Onargan, T. (2017). Mermer Madencilğinde Saha Arama ve Rezerv Belirleme Çalışmaları. Türkiye 9. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi ve Sergisi, sayfa 631-637, 13-15 Aralık Antalya, Türkiye.

MİDYAT TAŞININ ÖZELLİKLERİNİN DOĞAL TAŞ STANDARTLARINA GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ COMPARISON OF MIDYAT STONE PROPERTIES ACCORDING TO NATURAL STONE STANDARDS

E. İzol^{1,*}, A. Sarıışık²

*Harran Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
(*Sorumlu yazar: elifizol@hotmail.com)*

ÖZET

Mardin'in bünyesindeki doğal taşlardan biri olan Midyat taşı, termal özelliklerinin de getirdiği önemli katkılarla, tarihten günümüze Güneydoğu Anadolu Bölgesi gibi sıcak bölgelerde, yapı ve kaplama taşı olarak kullanılmaktadır. Bu bölgelerdeki tarihi yapılarda da sıklıkla karşılaşılmasından dolayı bölgedeki yapı taşlarının, standartlara uygunluğunun incelenmesi gerekmektedir. Midyat taşının özelliklerini yeniden değerlendirmek ve standartlara uygunluğunu araştırmak üzere, Mardin'in Midyat ilçesinden alınan numunelerde, deneysel incelemeler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğal taş standartlarına göre değerlendirilmiştir. Yapılan bu deneyler sonucunda Midyat taşının bazı standartlara uygun olmadığı ancak ona rağmen kullanılabilir özelliklere sahip olduğu saptanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Midyat Taşları, Doğal Taşlar, Türk Standartları, Fiziksel ve Mekanik Özellikler.

ABSTRACT

Midyat stone, which is one of the natural stones of Mardin, has been made as a building stone and covering stone in hot regions such as Southeastern Anatolia Region since its thermal properties have an a important theme. Since historical buildings in these regions are also frequently encountered, it is necessary to examine the conformity of the building stones with the standards in the region. In order to reevaluate the characteristics of Midyat stone and to investigate its conformity with the standards, experimental studies were conducted on samples taken from Midyat district of Mardin. The results were evaluated according to natural stone standards. As a result of these experiments, it was found that Midyat stone does not meet some standards but it has usable features.

Keywords: Midyat Stones, Natural Stones, Turkish Standards, Physical and Mechanical Properties.

GİRİŞ

Mardin kültürel zenginliğini, sosyal ve geleneksel mimari yapısını ayrıca yedi bin yıllık tarihini önemli derecede yansıtmaktadır. Mardin'in bünyesinde bulunan doğaltaşlar, özellikle konutlarda kullanılmakta ayrıca kaplama ya da süsleme amacıyla da geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Kullanım alanı bu kadar geniş olan bu taşların mekanik ve fiziksel özelliklerinin araştırılması artık gerekli hale gelmiştir. Bu konu kapsamında yaptığımız çalışmalarda Mardin' in Midyat ilçesinden alınan taş örnekleri üzerinde belirli deneyler yapılarak bu taşların fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu konuya benzer olarak yapılmış başka çalışmalarda mevcuttur (Dalkılıç, 2008; Dalkılıç ve Aksulu, 2004; Adin, 2007).

Deneyler kapsamında kullanılan doğal taşların uygun kullanım yerinin saptanmasında ve kullanılan yerlere olan uyumunu belirlemede standartlar önemli bir rol oynamaktadır. Bu deneyler TSE standartlarına uygun olarak yapılmakla beraber sonuçlar bu standartlara göre değerlendirilmiştir.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Belirli deneysel çalışmalar yapılarak Midyat taşının fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Yapılan deneyler ve kullanılan standartlar Çizelge 1’ de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Yapılan deneyler ve kullanılan standartlar

Deney Adı	Standartı	Numune adet	Numune adet	Numune boyutları(mm)
Schmidt Çekici Deneyi	-	3	3	250x200x150
Ses Hızı İlerlemesinin Tayini	TS EN 14579	6	6	300x75x50
Atmosfer basıncında su emme tayini	TS EN 13755	6	6	50x50x50
Görünür Yoğunluk Ve Açık Gözeneklilik Tayini	TS EN 1936	6	6	50x50x50
Tek Eksenli Basınç Dayanımı	TS EN 1926	6	6	50x50x50
Termal Şok Etkisiyle Yıpranmaya Direncin Tayini	TS EN 14066	6	6	300x50x50

Schmidt Çekici Deneyi

Yapılan deneyde amaç tahribatsız bir şekilde numunelerinin basınç dayanımını belirlemektir. Schmidt darbe çekici ile yapılan ölçüm sonucu elde edilen değerler not edilmiştir. Bu değerler 3 farklı yöntem kullanılarak Şekil 5’te verilen standart abakta yerine konulup belirli sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca Şekil 1. a’ da schmidt çekici deneyinin uygulaması ve Şekil 1. b’ de ise cihaz gösterilmektedir.



a)



b)

Şekil 1. (a) Schmidt çekici deneyi, (b) Schmidt çekici

Ses Hızı İlerlemesinin Tayini

Ses hızı ilerleme tayini deneyinde amaç numunelerin homojenlik özelliğini, dayanımın ve çatlak gibi özelliklerini herhangi bir tahribat oluşturmadan belirlemektir. Bu amaçla belirli boyutlardaki numunelerin çevre ile ilişkisi sonrasında P boyuna dalga ve S enine dalganın hızları sismik yöntem ile belirlenerek dinamik elastisite ile ilgili özellikler tanımlanmıştır. Deneyde numuneler direkt, indirekt ve yarı direkt yöntem olmak üzere 3 farklı yöntem ile değerlendirilmiştir. Şekil 2’ de ise deneyde uygulanan indirekt yöntem görülmektedir.



Şekil 2. Ses hızı ilerleme tayini

Atmosfer Basıncında Su Emme Tayini

Atmosfer basıncında su emme tayini deneyi ile suyun Midyat taşları üzerinde meydana getirdiği etkiler incelenmiştir. Kullanılan Midyat taşlarının su ile yüzeysel ya da tam olarak teması sonucu su, gözeneklere dolacak ve bir basınç meydana getirecektir. Kapiler basınç dediğimiz bu basınç ile su, malzemenin diğer yüzeyine ulaşacaktır. Suyun malzemeye etkilerinden birine örnek verecek olursak; sıcaklık değişimi sonucunda suda bir hacim genişlemesi meydana gelerek donma olayına neden olabilir ve bu da gerilmelere sebep olmaktadır. Bahsedilen durum istenmeyen bir durum olduğundan Midyat taşının gözenekleri ile su emme oranı bağıntısının bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle (1) denklemi kullanılarak sonuca ulaşılmaya çalışılmıştır.

$$A_b = \frac{m_d - m_0}{m_0} \times 100 \quad (1)$$

A_b : Atmosfer basıncında su emme

m_0 : Kuru numune kütlesi (gr)

m_d : Doymun numune kütlesi (gr)

Arşimet Terazisi ile Ölçüm

Arşimet prensibine bağlı olarak ortaya çıkmış olan bu yöntemde asıl amaç hacim ve kütleyi tayin ederek yoğunluk değerlerinin hesaplanması esasına dayanmaktadır. Bulunan bu değerler (marş) belirli formüllerde yerine yazılarak numunelerle ilgili istenilen bilgilerin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bu deneyde elde edilen sonuçlar ise diğer deneylerde kullanılmak üzere kaydedilmiş ve terazi ile ağırlığın belirlenmesi Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Arşimet terazisi ile ağırlıkların belirlenmesi

Görünür Yoğunluk ve Açık Gözeneklilik Tayini

Görünür yoğunluk ve açık gözeneklilik tayini deneyinde ise birçok kayaç türünde gözle görülemeyen veya görülebilen, süreksiz ya da sürekli gözeneklerin varlığı kaçınılmazdır. Bu gözenekler ya da boşluklar malzeme içerisinde gazların ya da sıvıların geçişini sağlamaktadır. Bu oluşum malzemeye zarar veren etkiler meydana getirir. Bu nedenle TS EN 1936 standardına bağlı olarak sabit kütleyle ulaşıp kurutulan numunedeki görünür yoğunluk ve açık gözeneklilik değerleri elde edilmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda (2) ve (3) denklemleri kullanılmıştır;

$$P_0 = \frac{m_d - m_0}{m_d - m_{arş}} \times 100 \quad (2)$$

P_0 : Numunenin açık gözenekliliği (%)

m_0 : Kuru numune kütlesi (gr)

m_d : Doygun numune kütlesi (gr)

$m_{arş}$: Su içerisine batırılmış numune kütlesi (gr)

$$P_b = \frac{m_0}{m_d - m_{arş}} \times P_{rh} \quad (3)$$

P_b : Numunenin görünür yoğunluğu (kg/m^3)

P_{rh} : Suyun yoğunluğu (kg/m^3)

Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Yapılan tek eksenli basınç dayanım deneyi sonucunda elde edilen değerler sonucunda kayaçların poisson oranı belirlenebilmektedir. Ayrıca yüke karşılık gelen deformasyon değerleri elde edilerek elastisite modülünün hesaplanmasında yardımcı olmaktadır. Bu deneyde işlem görmüş olan numuneler alınarak tek eksenli basınç testinin yapılacağı cihaza yerleştirilip tüm numunelere basınç uygulanmış ve basınç dayanım değerleri not edilmiştir.

Termal Şok Etkisiyle Yıpranmaya Direncin Tayini

Termal şok etkisiyle yıpranmaya direncin tayini deneyinde kaplama, süsleme vs. için kullanılan Midyat taşının atmosferik şartların etkisiyle bünyesinde meydana gelmiş olan yüzey parlaklığında oluşan değişikliklerin ve bütünlük kaybındaki değişimin incelenmesi amacıyla yapılmıştır. Çünkü bu taşlar gece-gündüz kaynaklı sıcaklık farkı, rüzgar, yağmur vb. atmosferik etkenlere maruz kalmaktadır. Bu değer (4) denklemi kullanılarak elde edilmeye çalışılmıştır.

$$\Delta m = \frac{m - m_0}{m_0} \quad (4)$$

Δm = Ağırlık değişimi

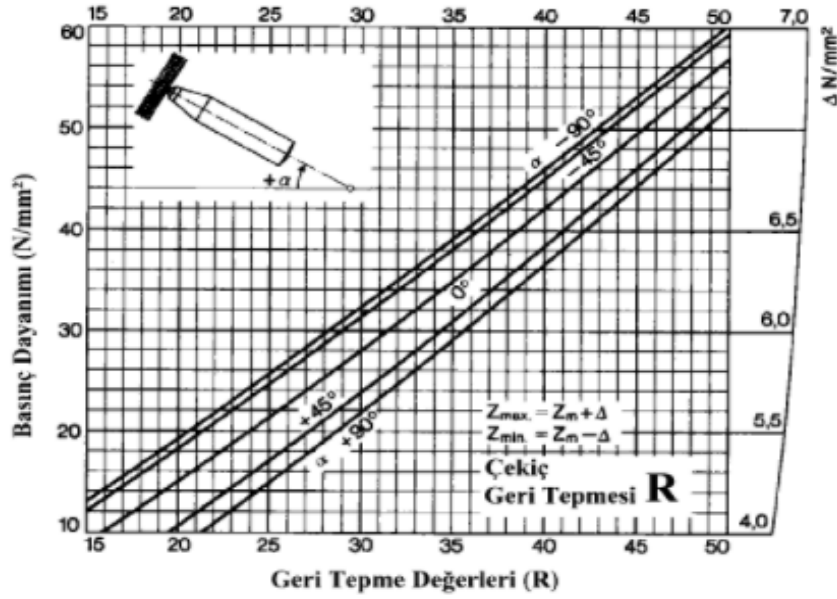
m_0 = Numunelerin kuru ağırlıkları

m = Döngü sonrası ağırlıklar

BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER

Schmidt Çekici Deneyi

Yapılan schmidt çekici deneyinde Hucka, Poole Farmer ve ISRM olarak adlandırılan 3 farklı yöntem sonucunda elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Şekil 4' te verilen abak kullanılarak basınç dayanım değerleri elde edilmiştir.



Şekil 4. Denede kullanılan standart abak

Hucka, Poole Farmer, ISRM yöntemleri için elde edilen bulgular Çizelge 2' de verilmiştir.

Çizelge 2. Yöntemler ve sonuçları

Yöntem Adı	1.Numune Sonucu	2.Numune Sonucu	3.Numune Sonucu
Hucka	11.5	13.5	15
Poole ve Farmer	11.2	13.2	15
ISRM Yöntemi	12.59	14.31	12.49

Hucka yönteminde 1. numune için bulunan 11.5 değerinin standart abak kullanılarak denk geldiği basınç değeri 12.6 MPa, 2. numune için bulunan 13.5 değerinin yine standart abak kullanılarak denk geldiği basınç değeri 14.5 MPa 3. numune için ise yine aynı işlem uygulanarak 15 değerinin abakta denk geldiği basınç değeri 15.7 MPa olarak bulunmuştur.

Poole ve Farmer yönteminde 1. numune için bulunan 11.2 değerinin standart abak kullanılarak denk geldiği basınç değeri 12.4 MPa, 2. numune için bulunan 13.2 değerinin yine standart abak kullanılarak denk geldiği basınç değeri 14.1 MPa, 3.numune için ise yine aynı işlem uygulanarak 15 değerinin abakta denk geldiği basınç değeri 15.7 MPa olarak bulunmuştur.

ISRM yönteminde 1. numune için bulunan 11.2 değerinin standart abak kullanılarak denk geldiği basınç değeri 12.4 MPa, 2. numune için bulunan 13.2 değerinin yine standart abak kullanılarak denk geldiği basınç değeri 14.1 MPa, 3.numune için ise yine aynı işlem uygulanarak 15 değerinin abakta denk geldiği basınç değeri 15.7 MPa olarak bulunmuştur. Yapılan deneyde schmidt çekicinin enerjisinin emilmesi ve geri yansması prensibine dayanarak ölçümler değerlendirilmiş sonuçta bu enerjiye dayanarak numunenin karşı tepkisinin, numune yüzeyinin pürüzlülüğünün ve numunenin su muhtevası gibi özelliklerinin etkili olduğu gözlenmiştir.

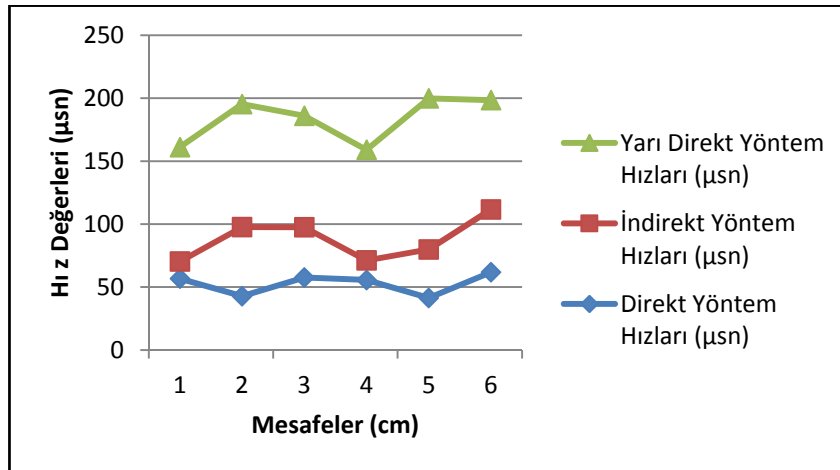
Ses Hızı İlerlemesinin Tayini

Yapılan ses hızı ilerleme tayini deneyinde elde edilen değerler Çizelge 3' te gösterilmiştir.

Çizelge 3. Ses hızı ilerleme tayini bulguları

Numune Adı	Yöntem Adı	t(μ sn)	V(m/sn)	L(cm)
1.Numune	Direkt	56.7	1760	10
	Yarı Direkt	90.8	550	5
	İndirekt	13.6	3860	5
2.Numune	Direkt	42.8	2340	10
	Yarı Direkt	97.7	510	5
	İndirekt	54.8	910	5
3.Numune	Direkt	57.6	1740	10
	Yarı Direkt	88.5	570	5
	İndirekt	39.9	1250	5
4.Numune	Direkt	55.6	1800	10
	Yarı Direkt	87.8	570	5
	İndirekt	15.6	3210	5
5.Numune	Direkt	41.4	2420	10
	Yarı Direkt	119.9	420	5
	İndirekt	38.5	1300	5
6.Numune	Direkt	61.8	1620	10
	Yarı Direkt	86.8	575	5
	İndirekt	49.8	1000	5

Elde edilen hız değerleri ile Midyat taşının fiziksel ve kimyasal özellikleri hakkında yorum yapılabilmektedir. Bu duruma bir örnek verecek olursak Midyat taşının gözeneklerinin daha küçük olması durumunda sonuç çok daha iyi çıkacaktır. Ultrasonik dalga hızı test cihazı yardımıyla yaptığımız ölçümler ile elde ettiğimiz veriler sonucunda mesafe-süre grafiği elde edilmiştir. Sonuçlara göre elde edilen grafiğe bakıldığı zaman Midyat taşında olası muhtemel çatlaklar ya da kusurların olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca hızların grafik olarak gösterimi de Şekil 5'te gösterilmiştir.



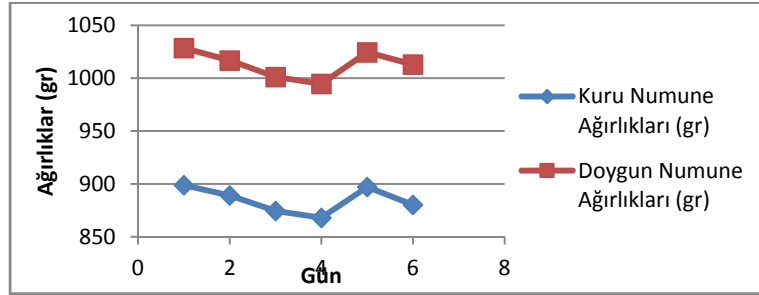
Şekil 5. Ultrasonik ses hızı tayini

Atmosfer Basıncında Su Emme Tayini

Yapılan deney sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 4' te verilmiştir. Bunun yanı sıra deney sonucu elde edilen kuru numune ağırlıkları ile doymun numune ağırlıkları Şekil 6' da verilerek sonuçların daha net anlaşılması sağlanmıştır. Doymun numune yoğunluğu ile kuru numune yoğunluğu arasındaki farkın fazla olması porozitesi yüksek ve yoğunluğu düşük olan malzemelere ait bir özelliktir.

Çizelge 4. Atmosfer basıncında su emme

Numuneler	A_b
M ₁	14.43
M ₂	14.36
M ₃	14.5
M ₄	14.58
M ₅	14.21
M ₆	15.07



Şekil 6. Kuru ve doymun numune ağırlıkları

Arşimet Terazisi İle Ölçüm

Arşimet terazisinde ölçülerek elde edilen ağırlık değerleri Çizelge 5' te verilmiştir.

Çizelge 5. Arşimet terazisi numune ağırlıkları

Numuneler	$m_{arş}(gr)$
M1	529.1
M2	510.8
M3	507.6
M4	495.9
M5	532.2
M6	517.5

Görünür Yoğunluk ve Açık Gözeneklilik Tayini

Yapılan deney sonucunda elde edilen değerler denklem (2) ve (3)' te yerine yazılarak numunelerin görünür yoğunluk ve açık gözeneklilik değerleri Çizelge 6 ve Çizelge 7' de görüldüğü gibi elde edilmiştir.

Çizelge 6. Açık gözeneklilik

Numuneler	$P_0(\%)$
M ₁	25.97
M ₂	25.23
M ₃	25.68
M ₄	25.38
M ₅	25.87
M ₆	26.78

Çizelge 7. Görünür yoğunluk

Numuneler	$P_b(\text{kg/m}^3)$
M ₁	1.8
M ₂	1.75
M ₃	1.77
M ₄	1.74
M ₅	1.82
M ₆	1.77

Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Midyat taşının dayanımı hakkında daha iyi bir yorum yapmak amacıyla tek eksenli basınç dayanımı uygulanarak elde edilen değerler Çizelge 8' de verilmiştir.

Çizelge 8. Tek eksenli basınç dayanımları

Numuneler	Basınç Dayanımları(N/mm ²)
M ₁	17.5
M ₂	19.9
M ₃	18.2
M ₄	19.7
M ₅	17.2
M ₆	16

Bu deney sonucunda Midyat taşı numunelerinin ortalama basınç dayanımının 18.083 MPa değerine sahip olduğu görülmüştür. TS 1910' a göre tek eksenli basınç dayanım değeri sınır olarak (>500 kg/cm²) değerini sağlamamaktadır. Dolayısıyla bu taşlar sahip olmaları gereken mekanik özelliklere sahip değillerdir. TS 10449' a göre deneye tabi tutulan midyat taşlarının (döşeme için) sınır değer olarak (>500 kg/cm²) değerini sağlamadığı görülmektedir. Bu sonuçlara bakıldığında tek eksenli basınç dayanımı değerlerinin düşük çıkmasının sebepleri olarak; homojen bir yapıya sahip olmaması ya da porozite gibi etkenler gösterilebilir. Ayrıca numuneler üzerine belirli işlemler uygulandığından ilk dayanımlarına göre düşük çıkması normal olduğu özellikle termal şok deneyinden sonra meydana gelen hasar sebebiyle dayanımın düşük çıktığı kanısına varılmıştır.

Termal Şok Etkisiyle Yıpranmaya Direncin Tayini

Numunelerin, deneye başlanmadan önceki ağırlıkları ve 14 günlük çevrim sonucunda elde edilen ağırlık değerleri not edilerek formüle yerleştirilince Çizelge 9'daki değerler elde edilmiştir.

Çizelge 9. Termal şok ağırlık değişimleri

Termal Şok Deneyi	Ağırlık Değişimleri
M ₁	0.04 azalma
M ₂	0.08 azalma
M ₃	0.11 azalma
M ₄	0.10 azalma
M ₅	0.07 azalma
M ₆	0.10 azalma

Termal şok etkisiyle yıpranmaya direncin tayini deneyinde kaplama, süsleme vs. için kullanılan Midyat taşının atmosferik şartların etkisiyle bünyesinde meydana gelmiş olan yüzey parlaklığında oluşan değişkenliklerin ve bütünlük kaybındaki değişimin incelenmesi maksadıyla yapılmıştır. Bu taşlar gece-gündüz kaynaklı sıcaklık farkı, rüzgar, yağmur vb. atmosferik etkenlere maruz kalmaktadır.

TARTIŞMALAR

Ülkemizde ve dünyada kullanımı oldukça yaygınlaşan doğal taşların, kullanım ömürlerinde, atmosferle sürekli olarak temas halinde olması, özellikle termal şok gibi yaşlandırma testlerinin yapılmasını gerekli kılmaktadır. Bulgulara bakıldığı zaman numunelerin genelinin ağırlıklarında az bir oranda azalma meydana geldiği görülmektedir. Bu deneyin farklı bir etkisi de numunelerin yüzey parlaklıklarını kötüleştirilmesi ve içinde oyuklar oluşturmalarıdır.

Acun ve Arioğlu (2011), doğal taşların kaynağından alındığında dış etkenler sonucu taşın sertleştiğini ve direncinin arttığını, Kaya (2008), 20 yıl ömre sahip binalardan alınan kayalarda gözeneklilik oranının azaldığını belirtmesi, yapılmış olan bu çalışmada elde edilen bulguları desteklemektedir. Ayrıca bu taşlarda zamanla meydana gelen çevresel faktörler, iklim koşulları ve hava kirliliği etkisiyle renk tonu değişmekte ve aşınmalar meydana gelmektedir. Bu bilginin ise termal şok deneyini desteklediği söylenebilir. Sonuç olarak yapılan deneysel ve literatür çalışmaları göstermiştir ki Midyat taşı kaplama, süsleme bazı yapılarda kullanılabilir özelliklere sahip bir doğal taştır.

Kaya vd. (2008) hazırlamış oldukları çalışmalarında deneyler sonucunda su emme % 11,82, sonik hızı 2,92 km/s ve tek eksenli basınç dayanımı 12,75 MPa elde edilmiştir. Tek eksenli basınç dayanımında ise yaptığımız çalışmayı karşılaştıracak olursak çalışmamızda kullanılan Midyat taşının, kıyas alınan çalışmadaki 20 yıllık eski binalardan alınmış Midyat taşının sonuçlarına daha yakın değerlere sahip olduğu görülmüştür. Başka bir çalışmayı göz önünde bulunduracak olursak Semerci (2017), makalesinden alınan veriler ortalama sonik hızı 2,65 km/s ve tek eksenli basınç dayanımı 18,14 MPa'dır. Bu verilere bakıldığı zaman yaptığımız çalışma verileriyle hemen hemen aynı sonuçlara varıldığı görülmektedir.

SONUÇLAR

Yapılan çalışma sonucunda Midyat taşının özellikleri deneysel olarak belirlenmiştir. Midyat taşı, eski zamanlardan bu yana litolojik özellikleri sebebiyle binaların yapımında yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Fakat, günümüzde ortaya çıkmış olan modern, daha sağlam ve fiyatlardaki avantajlar nedeni ile diğer yapı elemanları arasında rekabet etmesi güç hale gelmiştir. Bu nedenle daha çok süsleme işlerinde, kaplamalarda, sanat yapılarında tercih edilir hale gelerek daha sınırlı bir kullanım alanı oluşturmuştur. Midyat taşları kolay işlenebilme özelliğine sahiptir. Fakat, bu taşların zaman içerisinde atmosfer şartlarıyla temasından kaynaklı olarak dokusunda bir değişme meydana gelmekte ve sertleşmeler oluşmaktadır. Midyat taşının yapısında bulunan boşluklar ve sert bölümler, bu taşın önemli parametrelerindedir. Bu taşın yapısında bulunan sert bölümlerin etkisi özellikle fiziksel ve mekanik özelliklere yansımıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın birçok aşamasında bana yardımcı olan, laboratuvar deneylerinde beni yönlendirip deneyleri doğru bir şekilde yapmamı sağlayan Arş. Gör. Egemen KAYA'ya ve tüm bilgileri alıp ilerleme kaydetmemi sağlayan Perihan DERİN'e teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

- Acun, S., Arioğlu, N. (2011). A Method for the Preservation and Restoration of the Stones Used in Historical Buildings, *Architectural Science Review*, 49(2): 143-148.
- Adin, H. (2007). Mardin ve Midyat'ta Kullanılan Bina Yapı Taşlarının Bazı Fiziksel Özellikleri, *Mühendis ve Makina*, 48(570), 13-17.
- Alioğlu F. (2000). Mardin Şehir Dokusu ve Evler, İstanbul: Tarih Vakfı Yayınları.
- Dalkılıç, N., Aksulu I. (2004). Midyat Geleneksel Kent Dokusu ve Evleri Üzerine Bir İnceleme. *Gazi Üniversitesi Mimarlık Mühendislik Fakültesi Dergisi*, Cilt 19, No 3, 313-326.
- Dalkılıç, N. (2008). Geleneksel Konutlarda Kullanıcı Mekân İlişkisi: Midyat Örneği. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 13(1): 1-17.
- Karaman K., Kesimal A. (2013). Kayaçların Tek Eksenli Basınç Dayanımı ile Ultrasonik Dalga Hızı Arasındaki İlişkinin Değerlendirilmesi. *MT Bilimsel*, (4): 9-17.
- Kaya, A.C. , Yapıcı N. ve Anıl M. (2008). Midyat Taşının Kaplama Ve Yapı Taşı Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*, 19(3): 1-11.
- Kaya, A.C. (2008). Midyat Taşının Kaplama Ve Yapıda Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana*, 92s.
- Semerci, F. (2017). Mardin Kireçtaşının Yapı Malzemesi Olarak Kullanımına Yönelik Analizlerinin Yapılması: Kasımiye Medresesi Örneği. *Süleyman Demirel Üniversitesi Mimarlık Bilimler ve Uygulamaları Dergisi*, 2(2):60-79.
- TS 699. (1979). Doğal Taşlar, Deney Metotları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1926. (2000). Doğal Taşlar, Deney Metotları, Basınç Dayanımı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1926. (2000). Doğal Taşlar, Deney Metotları, Basınç Dayanımı 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 14579. (2006). Doğal Taş Deney Metotları-Ses Hızının İlerlemesinin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

ALIOBASI-ESENLER-AKÇABELEN (BARTIN) ÇEVRESİNDEKİ KARBONATLI KAYAÇLARIN MERMER OLARAK DEĞERLENDİRİLEBİLİRLİĞİ

THE EVALUATION OF CARBONATE ROCKS AROUND ALIOBASI-ESENLER-AKÇABELEN (BARTIN) AS MARBLE

G. Bacak^{1,*}, M. Geniş², M. E. Bilir³

^{1*}Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü
(*Sorumlu yazar: gbacak@beun.edu.tr)

^{2,3}Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Bu çalışmada; Aliobası-Esenler-Akçabelen (Bartın) civarındaki karbonatlı kayaçların mermer-bloktaş üretimi açısından değerlendirilebilirliğinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Üst Kretase-Alt Jura yaşlı karbonatlı kayaçlar, ince taneli, dolomit bileşimli, damarlı ve neritik özellikte bej renkli mikritik kireçtaşlarından oluşmaktadır. Örnekler petrografik olarak “dolomit” ve “mikritik bej renkli kireçtaşı” olarak tanımlanmışlardır. Fiziko-mekanik deneylere göre; örneklerde sırasıyla; özgül ağırlık; 2.72-2.75 g/cm³, su emme oranı; %0.12-0.13, porozite %0.40-0.50 değerleri elde edilmiştir. Ayrıca, tek eksenli basınç dayanımı (σ_c); 91.2-96.5 MPa, Cerchar aşınma indeksi değerleri; 0.8-1.3 olarak belirlenmiştir. Sahadan elde edilen maksimum bloktaş boyutları ortalama 2.50X1.95X1.70 m³tür. Saha genelinde üretilebilir mermer rezervi 565 milyon m³ (~1.144 milyon ton) olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak; inceleme sahasındaki karbonatlı kayaçlarının mermer olarak kullanılabilir olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Aliobası-Esenler-Akçabelen (Bartın), Emperador, Mermer, Dolomit.

ABSTRACT

The aim of this study is to execute the evaluation of the carbonate rocks close to Aliobası-Esenler-Akçabelen (Bartın) in terms of marble-block production. Upper Cretaceous and Lower Jurassic aged, Carbonate rocks, mainly composed of fine grained, homogenous, veined, dolomite and, neritic, beige colored micritic limestone. Rock samples are petrographically defined as “dolomite” and micritic, beige limestone. According to physico-mechanical experiments on marble samples, the values of specific gravity, water absorption and porosity were obtained as 2.71, 2.72 g/cm³, 0.13, 0.14%, 0.45-0.50%, respectively. In addition, uniaxial compressive strengths UCS (σ_c) of the samples were found 91.2-96.5 MPa, Cerchar abrasivity indexes have been determined as 0.8 and 1.3% for the samples. Maximum dimensions of the block stones are up to 2.50mx1.95mx1.70m. Movable reserve is estimated to be 565 million m³ (~1.144 million tons in weight base). It was concluded that, the carbonate rock deposit in the investigation area could be used as marble.

Keywords: Aliobası-Esenler-Akçabelen (Bartın), Emperador, Marble, Dolomite.

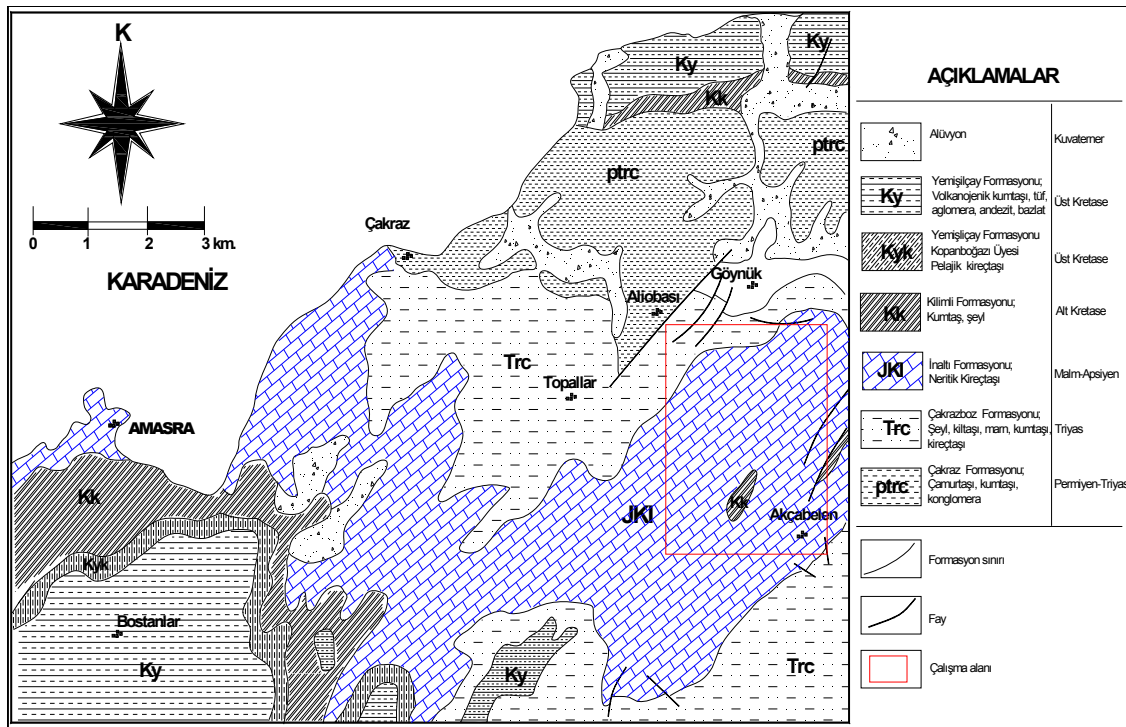
GİRİŞ

Bu çalışma; Uz ve Bacak (2012) tarafından Yörükler-Koyunpınarı-Topallar-Göynük (Bartın) arası bölgede gerçekleştirilmiş olan mermere yönelik jeolojik çalışmanın bulunduğu alanın güney kesimini içine alan Aliobası-Esenler-Akçabelen (Bartın) civarındaki karbonatlı kayaçların yayılım sunduğu kesimi içermektedir. İnceleme alanı; Amasra (Bartın) sınırları içerisinde Aliobası, Esenler, Akçabelen köylerinden oluşan, yaklaşık 10 km²lik alanı kapsamaktadır (Şekil 1). Sahada yayılım sunan karbonatlı kayaçlar

emperador ve bej türde mikritik kireçtaşı mermerlerinden oluşmaktadır. Aliobası, Esenler, Akçabelen köyleri ve çevresinde yayılım sunan karbonatlı kayaların mermer-bloktaş üretimi açısından değerlendirilebilme olanaklarının araştırılması bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Bu kapsamda saha jeolojik inceleme ve haritalama-kesit çizimleri-fotoğraflama, örnekleme ve laboratuvar bazında mineralojik-petrografik, fiziko-mekanik, kimyasal çalışma ve deneylere ait veriler ışığında, kalite ve sahanın mermer-bloktaş rezervi ve işletilebilirlik durumu ortaya konulmuştur.

JEOLOJİ

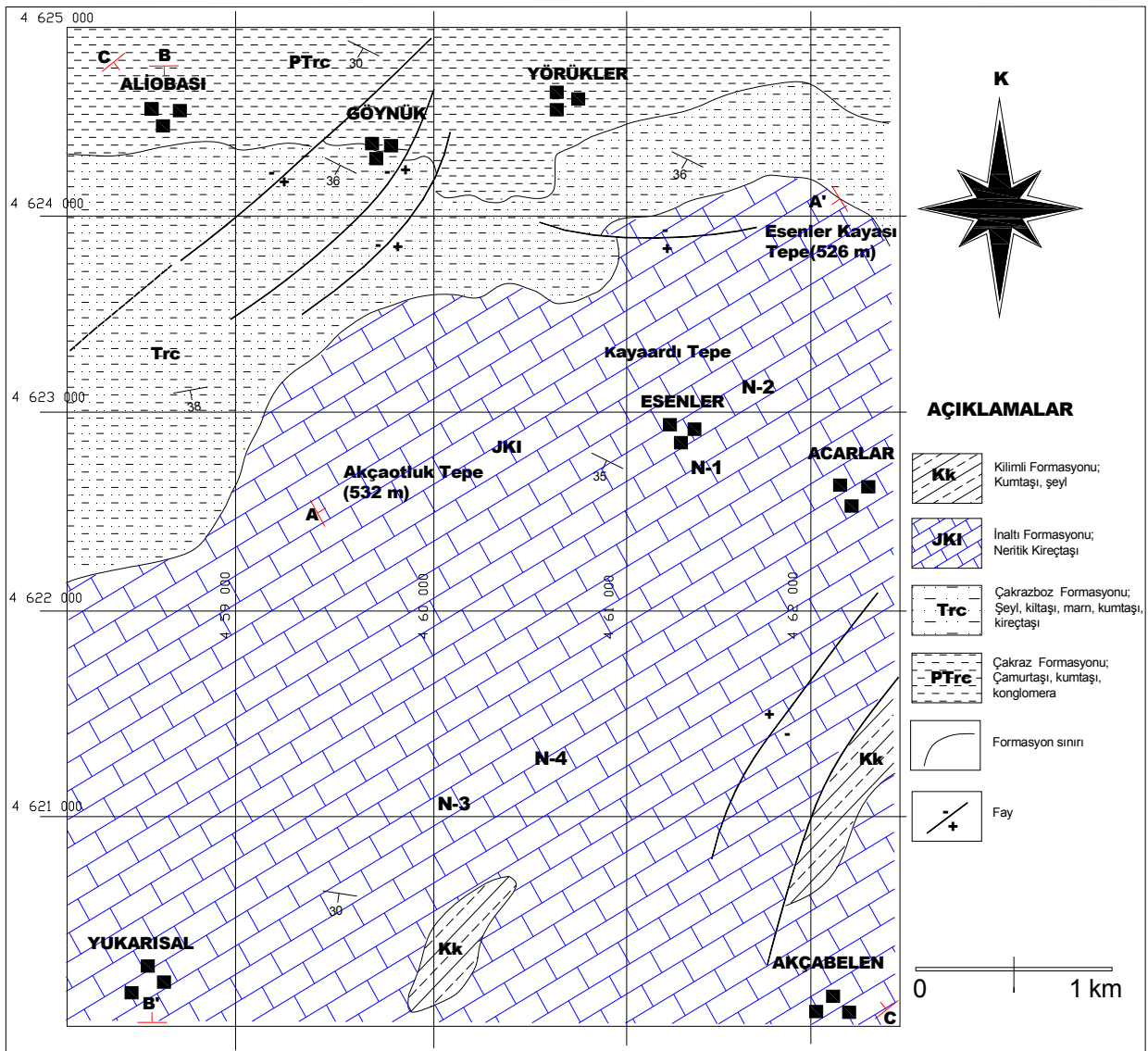
İnceleme alanı coğrafik olarak Batı Karadeniz Bölgesi'nde, Jeolojik anlamda; Anadolu'nun Batı Pontid tektonik birliğine ait olan "İstanbul Zonu" içerisinde yer almaktadır (Okay ve Şengör, 1994; Bacak ve Konakçı, 2016). İnceleme alanında temelde Permo-Triyas yaşlı; kırmızı renkli çamurtaşı, karasal kumtaşı, şeyl ve ince-orta taneli konglomera ardalanmasından oluşan Çakraz Formasyonu (Ptrc) yer almaktadır. Birimin ortalama kalınlığı 600 m'dir. Birimde gözlenen mercesel çamurtaşları, çapraz tabakalı kumtaşları akarsu ortamını, çamurtaşları ve şeyller ise taşkın ovası ortamını simgeler (Alisan ve Deman, 1995). Birim üstte Triyas yaşlı, ortalama 400 m. kalınlıkta, gösel oluşuma sahip kumtaşı, kireçtaşı, şeyl ve kilttaşlarından oluşan Çakrazboz Formasyonu (Trc) ise uyumlu olup, yersel tedrici geçişlidir. Üstte ise Üst Jura-Alt Kretase (Malm-Apsiyen) yaşlı İnaltı Formasyonuna ait kireçtaşları (Jki) tarafından uyumsuzlukla örtülmüştür. İnaltı Formasyonu genellikle beyaz-bej ve gri tonlarda, orta-kalın tabakalı platformal karbonatlardan oluşmuştur. Tabanda kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve dolomitler ile temsil edilir. Birimin ortalama kalınlığı 500 m. olup, orta ve üst kesimlerde tamamen karbonatlardan oluşmuştur. Üstte yanal ve dikey olarak Kilimli Formasyonu (Kk) ile geçişlidir (Sayılı vd., 1992; Tüysüz, 1993). Ortalama kalınlığı 450 m. olan Kilimli Formasyonu şeyl, marn, kumtaşı ve kumlu-killi kireçtaşı ardalanmasından oluşur. Alt Kretase yaşlı olan birim üstte Üst Kretase yaşlı, volkanojenik kumtaşı, aglomera, andezit, pelajik kireçtaşından (Kopanboğazı Üyesi) oluşan Yemişliçay Formasyonu (Ky) ile geçişli dokanağa sahiptir. İnceleme alanı kuzey kesiminde; Göynük Köyü ve çevresinde Kuvaterner yaşlı Alüvyon (Qal) çökelleri akarsu yataklarında ve eski çukurluklar üzerinde gelişmiş düz alanlarda yayılım sunan çakıl, kum, çamur çökellerini içermektedirler (Şekil 1).



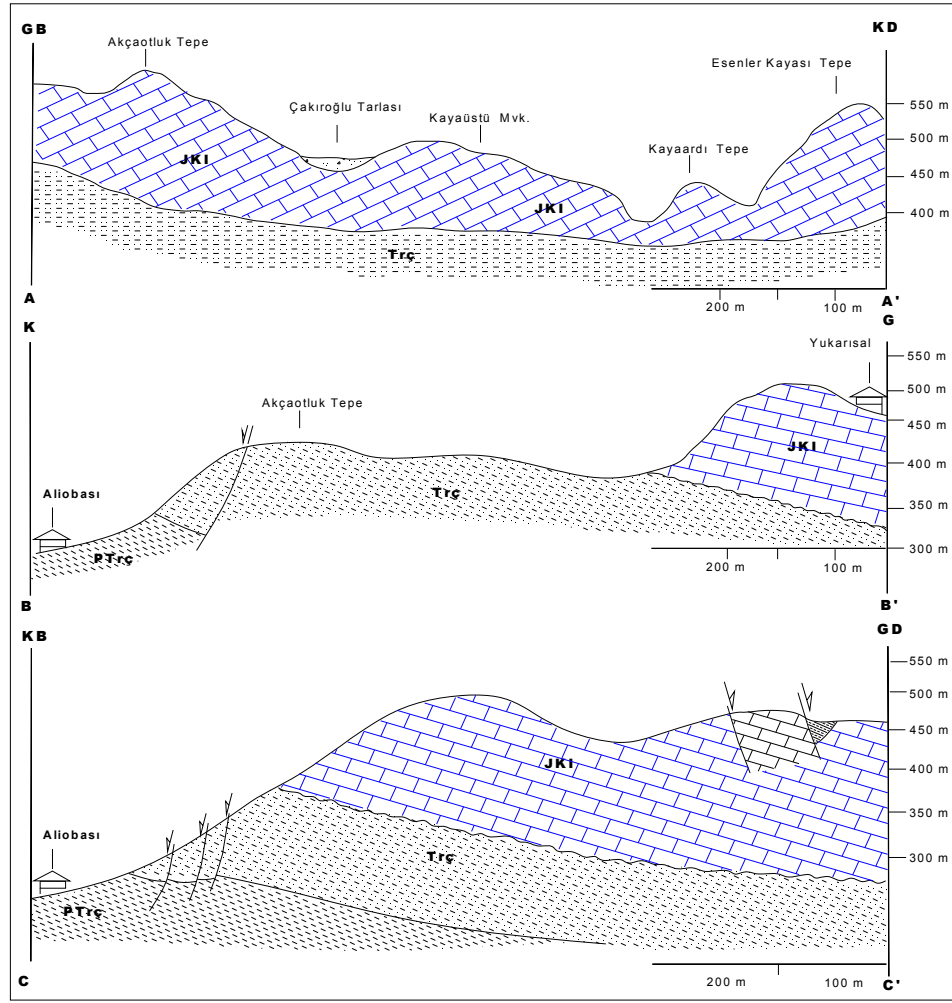
Şekil 1. İnceleme alanı ve çevresinin jeoloji haritası (MTA, 2002'den revize edilmiştir)

İnceleme konusu karbonatlı kayaları bölgesel olarak Üst Jura-Alt Kretase (Malm-Apsiyen) yaşlı İnaltı Formasyonuna ait neritik karbonatlı çökeltileri (kireçtaşı) içerisinde yer almaktadırlar (Şekil 1, 2). Kireçtaşlarının alt seviyelerinde Esenler kesiminde ortalama 90-100 m., güneye doğru kalınlığı giderek artan, Akçabelen çevresinde ise 130-150 m. kalınlığı erişen, bol oranda kalsit damarlı, açık kahve renkli, albenisi yüksek özellikle kalın tabakalı ve yersel masif, karbonatlı seviye yer alır. Bu seviyenin üst kesimlerinde ortalama 20-25 m kalınlığında, açık bej renkli, ince taneli, kalın tabakalı ve masif özellikle bej kireçtaşları bulunur (Şekil 2, 3).

Kireçtaşlarında hakim tabaka konumu; $K40-45^{\circ}B/30-35^{\circ}GB$ olarak ölçülmüştür. Sahada ölçülebilen ortalama blok boyutu emperador olanlarda $2.5 \times 1.95 \times 1.70 \text{ m}^3$, bej karbonatlı kayalarda ise ortalama; $2.50 \times 1.75 \times 1.60 \text{ m}^3$ 'dür. Saha bazında kırılma ve çatlak oluşum oranı %8-10 düzeyinde olup, ortalama blok verimliliği üstte %35-40, alt kesimlerde ise; %60-70 oranındadır.



Şekil 2. İnceleme alanı detay jeolojisi haritası (Uz, 2011'den revize edilmiştir)

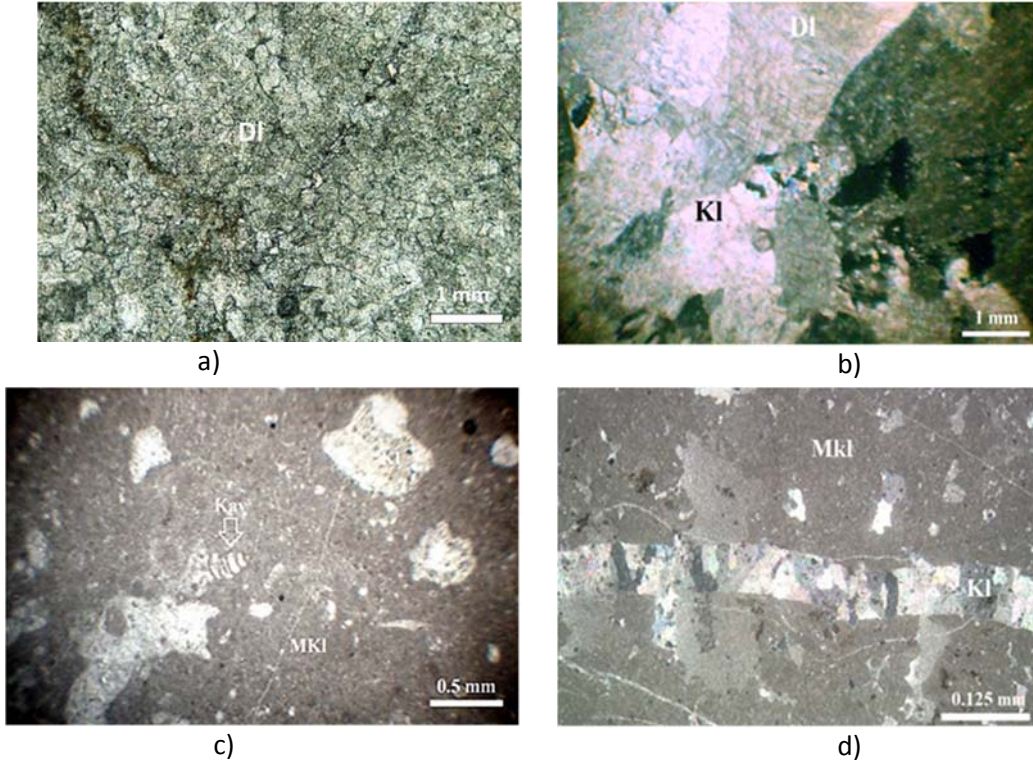


Şekil 3. İnceleme alanı jeolojik enine kesitleri

PETROGRAFİ

Petrografik inceleme amaçlı saha bazında 2 farklı kesimden alınan (emperador ve bej özelliklere sahip kesimler) karbonatlı kayaç örneklerinde mikroskobik incelemeler TS 699 ve TS 8433 standartları dikkate alınarak, polarizan mikroskopta (LEICA DM 750P) doğal ve polarize ışık altında gerçekleştirilmiştir. Ağsal damarlı (emperador) örnekler (N-1, N-2) makroskobik olarak; koyu-açık kahve renkli, bol oranda beyaz ve bej tonlarda karbonat dolgulu ikincil oluşumlu ağsal damarlar ile kesilmiştir. %10'luk seyreltilmiş HCl asidi ile orta şiddette köpürme sunarlar. Kayaç karbonat grubu mineraller içermekte olup, 3-3.5 Mohs sertliğe sahiptir ve herhangi bir yüzeysel ayrışma sunmamaktadır. Örneğin mikroskobik incelemesinde; dokusunda sparitik kalsit dolgulu mercekli yapılar ve ağsal damarlar içerir. Kalsit ve dolomit kristalleri berrak, kristalin, köşeli şekillerde olup, dokusal anlamda aderansı yüksektir. Kayaçta tane boyu 0.10-1.35 mm aralığında olup, ana mineralojik bileşimde %82-85 dolomit, %11-12 kalsit (ince taneli-kristalin), %1-2 boşluk (2. Kalsit dolgulu), %1-2 opak mineral (hematit-limonit) bulunmaktadır Opak minerallerin özellikle çatlak dolgusu şeklinde yerleşim sundukları gözlenmiştir (Şekil 4a,4b). Örnekler petrografik olarak "dolomit" olarak tanımlanmıştır. Sahadan alınan diğer grup mikritik özellikteki açık bej, kalın tabakalı karbonatlı kayaç örnekleri ise (N-3, N-4); çoğunlukla eş tane boyu dağılımına sahip (5 µm ve altı) mikrokristalin kalsit içermektedirler. Mineralojik olarak ortalama %90-93 kalsit (mikrokristalin), %4-5 dolomit, %2-3 spar kalsit (ikincil damar dolguları), %0.5-0.7 kuvars (ikincil damar ve boşluk dolgulu), %1-2 opak mineral (hematit-limonit) ve çok az oranda (%1-2) karbonatlı fosil

(foraminifer) kavkuları izlenmiş olup örnekler “mikritik özellikli bej kireçtaşı” olarak tanımlanmıştır (Şekil 4 c, d, Çizelge 1).



Şekil 4. Emperador, N-1; (a,b) ve bej N-3; (c,d) karbonatlı mermer örneklerinin ince kesit görünüşleri (X nikol; polarize ışıkta, Kl: Kalsit, MKI: Mikrokristalin kalsit, Kav:Kavkı, DI: Dolomit)

Çizelge 1. İnceleme alanı karbonatlı mermer örneklerinin petrografik özellikleri

Örnek	Mineral Bileşim	Oran (%)	Doku	Tanımlama
N-1, N-2	Kalsit (kristalin)	11-12	Özşekilsiz ve az oranda yarı öz şekilli, ağsal damarlı	Dolomit (Ağsal Damarlı)
	Dolomit	80-85		
	Boşluk (2. Kalsit dolgulu)	1-2		
	Opak mineral (Hematit-Limonit)	1-2		
N-3, N-4	Kalsit (mikritik)	90-93	Mikrokristalin özellikte ve eş tane boylu kalsit içermekte, çok az oranda kavkı kalıntılı; fosilli (foraminifer)	Mikritik Kireçtaşı (Bej renkli)
	Dolomit	4-5		
	Kuars (damar dolgusu)	0.5-0.7		
	Kalsit (Sparitik-damar dolgusu)	2-3		
	Opak mineral (Hematit-Limonit)	1-2		

KİMYASAL İNCELEMELER

İnceleme alanından alınan 4 adet karbonatlı kayaç örneği (N-1, N-2, N-3, N-4) kimyasal analiz için 0.074 mm (200 nolu elek) boyutuna kadar öğütülmüştür. Etüvde neminden arındırılan örneklerin kimyasal analizleri Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama-Jeokimya Laboratuvarında atomik absorpsiyon spektrometrisi (ASS) cihazında ve gravimetrik yöntemle

gerçekleştirilmiştir. Kimyasal olarak dolomit örneklerinde (N-1ve N-2) ortalama %77.56 CaCO₃, %21.40 MgO, bej kireçtaşı örneklerinde %98.26 CaCO₃, %0.38 MgO bulunmaktadır. Dolomit örneklerindeki MgO (%) oranının fazla olması, kimyasal ve mineralojik verilerle uyumlu olduğunu göstermektedir (Çizelge 2).

Çizelge 2. İnceleme alanı karbonatlı kayaç örneklerine ait kimyasal analiz sonuçları

Major Oksit	N-1	N-2	N-3	N-4
	Dolomit		Bej kireçtaşı	
SiO ₂	0.06	0.08	0.38	0.26
Al ₂ O ₃	0.47	0.40	<0.01	<0.01
Fe ₂ O ₃	0.18	0.20	0.07	0.1
MnO	0.010	0.020	-	0.035
CaO	32.01	30.98	49.85	50.22
MgO	20.78	22.02	0.40	0.35
K ₂ O	-	-	-	-
Na ₂ O	0.16	0.22	-	-
CO ₂	46.25	45.89	47.83	48.62

FİZİKO-MEKANİK ÖZELLİKLER

İnceleme alanında yeralan mermerlerin fiziko-mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla örneklerde özgül ağırlık, su emme oranı, porozite, tekeksenli basınç dayanımı, sürtünme ile aşınma kaybı, Cerchar Aşındırma indeksi, Schmidt çekici testleri gerçekleştirilmiştir. Schimit Çekici değerleri saha çalışmaları ölçümlerinden, tek eksenli basınç dayanımı Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği laboratuvarında, diğer fiziksel deneyler İTÜ İnşaat Fakültesi Malzeme Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Tek eksenli basınç dayanım testi, ISRM (2007)'e göre 54.7 mm çaplı NX tip karotlar kullanılarak, fiziksel deneyler ise TS 699/T1, TS 10449 ve TS 11137 standartları dikkate alınarak gerçekleştirilmiş olup, test sonuçları Çizelge 3'te verilmiştir. Fiziko-mekanik test sonuçlarına göre dolomit örneklerinde özgül ağırlık 2.69-2.71 g/cm³, su emme oranı %0.13-0.18, tek eksenli basınç dayanımı (σ_c) 96.40-98.20 MPa, Cerchar aşınma indeksi değeri 0.81 - 1.15, N tipi Schmidt Çekici değerleri ise; 65.20-66.20 aralıklarında olup, bej kireç taşı örnekleri için; ise özgül ağırlık 2.70-2.72 g/cm³, su emme oranı %0.14-0.15, tek eksenli basınç dayanımı (σ_c) 91.26-93.36 MPa, Cerchar aşınma indeksi değeri 0.80-1.30, N tipi Schmidt Çekici değerleri ise; 61.55-65.12 olarak elde edilmiştir.

KALİTE VE REZERV

Sahada KD-GB yönünde arazi çalışmaları, ölçümler ve jeolojik veriler dikkate alındığında işletmeye uygun 5.65 km²'lik yüzey alanı ve emperador mermerler için morfolojik ve yapısal özelliklere bağlı ortalama 100 m'lik kalınlık dikkate alındığında 565.000.000 m³'lük mermer hacmi hesaplanabilir. Bu hacimde saha genelinde çatlaklık, karstik boşluk ve üretimde karşılaşılabilecek tektonik problemler dikkate alındığında %25 işletme kaybı ile tüm saha bloктаş hacmi; 423.750.000 m³ olacaktır. Bu değer, üretimi yapılacak emperador türü karbonatlı mermer için ton olarak; 423.750.000 m³ x 2.7 t/m³ = 1.144.125.000 ton işletilebilir bloктаş (mermer) rezervi belirlenmiştir. Bu rezerv sahada yapılacak ayrıntılı çalışmalarla (sondajlar, topoğrafik ölçümler, detay haritalama ve yarma incelemeleri vb.) üretim sürecinde arttırılabilir özelliktedir.

Çizelge 3. İnceleme alanı karbonatlı kayaç örneklerine ait fiziko-mekanik deney sonuçları

Parametreler	N-1		N-2		N-3		N-4	
	Dolomit				Bej kireçtaşı			
Özgül ağırlık (g/cm ³)	2.71		2.69		2.72		2.70	
Su emme oranı (%)	0.13		0.18		0.15		0.14	
Porozite (%)	0.50		0.52		0.45		0.48	
Tek eksenli basınç dayanımı (σ_c) (MPa)	96.40±6		98.20±5.2		91.26±6.5		93.36±4.7	
Sürtünme ile aşınma kaybı (cm ³ /50 cm ²)	15		14		15		15	
Cerchar Aşındırma indeksi	0.81-1.15		0.91-1.22		0.80-1.30		0.82-0.99	
Schmidt çekici (15 ölçüm ortalaması)	L tipi	N tipi	L tipi	N tipi	L tipi	N tipi	L tipi	N tipi
	61.10	65.20	63.10	66.20	58.27	61.55	60.10	65.12

SONUÇLAR

İnceleme konusu Aliobası-Esenler-Akçabelen (Bartın) bölgesi karbonatlı kayaçları (Malm-Apsiyen yaşlı İnaltı Formasyonuna ait neritik karbonatlı çökeller içerisinde yer almakta olup, KD-GB yönünde yaygın ve geniş alanlarda yayılım sunmaktadır. İnceleme sahasındaki karbonatlarda altta emperador (150-200 m) karbonatlı dolomitlerden oluşan seviye ve bu seviyenin üst kesimlerinde ise 20-30 m'lik kalınlığa sahip bej renkli mikritik kireçtaşları yayılım göstermektedir.

Petrografik olarak iki farklı seviyeden alınan karbonatlı örneklerden N-1ve N-2 numaralı olanları ticari anlamda “emperador mermer” özelliğinde, koyu-açık kahve renk tonlarında, bej renkli bol oranda ikincil kalsit dolgululu damar ağları ile kesilmiş ve yersel breşik görünümlüdürler. N1 ve N-2 örnekleri petrografik incelemelerde “dolomit” olarak, diğer N-3 ve N-4 kodlu örnekler ise; “mikritik bej kireçtaşı” olarak tanımlanmışlardır.

Fiziko-mekanik deneylerden özgül ağırlık 2.69-2.71 g/cm³, su emme oranı %0.13-0.18, porozite %0.45-0.50, tek eksenli basınç dayanımı (σ_c); 91.26-98.20 MPa, sürtünme ile aşınma kaybı (Böhme) 14-15 cm³/50cm², ortalama Cerchar aşınma indeksi değeri 0.84-1.16, Schmidt çekici ölçüm değerleri ortalaması ise 60.64 (L tipi), 64.52 (N-tipi) olarak belirlenmiştir. Örneklerin tek eksenli basınç dayanım değerleri dikkate alındığında; ISRM (2007)'e göre “yüksek dayanımlı kaya” sınıfında yer aldığı belirlenmiştir. Schmidt çekici geri sıçrama sayısına bağlı olarak De Beer (1967) tarafından tanımlanan sınıflamaya göre incelenen örnekler “çok sert kayaç” sınıfında yer almaktadır.

Cerchar aşındırma indeksi değerleri ise, Alber vd. (2014) sınıflamasına göre “aşındırıcılığı düşük kaya” sınıfında yer almaktadır. Dolayısıyla bu özellikleri mermerlerin kesilebilme ve blok veriminde olumlu bir özellik olarak görülebilir. Örnekler, TS(10449/T1) standartlarında belirtilen mermer amaçlı kullanılan karbonatlı kayaçlarda minimum tek eksenli basınç dayanımı (σ_c) 300-500 kg/cm² (~30-50 MPa) olması, yer döşemesi olarak kullanımında 500 kg/cm² (~50 MPa) ve yan duvar kaplamalarında 300 kg/cm²'den (~30 MPa) büyük olması gerektiği belirtilmiştir. TS(11137) standardında ise kaplama amaçlı karbonatlı kayaçların tek eksenli basınç dayanımının minimum 29.4 MPa, taban döşemelerinde kullanılacaklarda ise minimum 49 MPa olması istenmektedir. İnceleme sahasından derlenen örneklerden elde edilen tek eksenli basınç dayanımı (σ_c); 91.26-98.20 MPa; standartlarda belirtilen kullanım amaçları için öngörülen değerleri sağlamaktadır.

Su emme oranı TS (11137)'e göre ise kireçtaşı (karbonatlı) örneklerde maksimum %4 olmalıdır. İnceleme sahası mermer örnekleri ortalama % 0.15 su emme oranı değeri ile TS(1137) standardını sağlamaktadır.

Mermerlerin sürtünme ile aşınma dayanımı değeri (Böhme) TS(11444/T1)'e göre döşeme kaplaması, merdiven basamağı gibi yük taşıyıcı mekanlarda kullanılacak karbonatlı mermerlerde en çok $15 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^2$, duvar kaplaması, dekorasyon amaçlı kullanılacaklarda ise en çok $25 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^2$ olması istenmektedir. İnceleme sahası mermerleri $14-15 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^2$ lik değerlerle standarta uygundur.

Özellikle karbonatlı mermerlerde mineralojik açıdan ufak taneli dağılımın olması dayanım açısından tercih edilmektedir (Önem 1997, Uz ve Bacak 2012). İnceleme sahası örneklerinin dokusunda taneler arası boşluk olmaması, genelde ufak, eş tane boyu ve iyi kenetlenmiş, yersel rekristalize özellikteki kalsit ve dolomitlerin varlığı kayacın dayanımını olumlu yönde etkilemiştir.

Sahadan elde edilen maksimum bloktaş boyutları ortalama $2.5 \times 1.95 \times 1.70 \text{ m}^3$ 'dür. Saha genelinde üretilebilir dolomitik mermer rezervi 565 milyon m^3 (~1.144 milyon ton) olarak hesaplanmıştır. İnceleme sahası ulaşım sorunu olmayan, üretim için uygun konumda (yerleşim bölgelerinden uzakta) ve çıkarılan ürünlerin deniz veya karayoluyla kolaylıkla iletilebileceği limana (Çakraz limanı) ve ana karayoluna oldukça yakın (~3 km) konumda bulunmaktadır.

Sonuçta; Aliobasi-Esenler-Akçabelen (Bartın); çevresinde yer alan karbonatlı kayaçların; düzenli yayımlı, yapısal olarak sağlam ve dayanıklı, blok verimi, işletilebilir mermer rezervi ve bloktaş üretimi açısından da son derece uygun özelliklere sahip oldukları ortaya konulmuştur.

KAYNAKLAR

- Alber, M., Yaralı, O., Dahl F., Bruland A., Kasling H., Michalakopoulos T. N., Cardu M., Hagan P., Aydın H., Özarslan A. (2014). ISRM Suggested Method for the Abrasivity of Rock by the CECHAR Abrasivity Test. *Rock Mech.* (2014) 47:261-266.
- Alisan, C. and Derman A. S. (1995). The first palynological age, sedimentological and stratigraphic data for the Çakraz Group (Triassic), Western Black Sea In: *Geology of the Black Sea Region* (eds. A. Erler et al.): *General Directorate of Mineral Research and Exploration and Chamber of Geological Engineers*, 93–98, Ankara.
- Bacak, G. ve Konakçı, M. (2016). Batı Karadeniz Bölgesinde yer Alan Üst Kretase yaşlı Volkanitlerin Petrografik ve Jeokimyasal Özellikleri. Uluslararası 7. Jeokimya Sempozyumu, 16-18 Mayıs 2017, Likya Hotel, Manavgat-ANTALYA, Sempozyum Bildiri Özet Kitabı, ISBN: 978-605-136-280-9. Ankara Üniv. Yayınevi, 268-269.
- De Beer, J. H. (1967) Subjective classification of the hardness of rocks and the associated shear strength, *Proc. 4th Reg. Cong. Afr. Soil Mech. Found Eng.*, Cape Town, pp.396-398.
- ISRM (2007) The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974–2006. (Eds: Ulusay R, Hudson JA), ISRM Turkish National Group, Ankara, Turkey, 628p.
- MTA, (2002) Türkiye 1:100.000 ölçekli jeoloji haritaları Zonguldak E-29 Paftası (İbrahim Gedik & Ahmet Aksay Ed.), MTA Jeoloji Etüdüleri Dairesi, sayı 25, Ankara.
- Okay, A. İ., Şengör A. M. C. and Görür N. (1994). Kinematic history of the opening of the Black Sea and its effect on the surrounding regions. *Geology*, 22: 267-270.
- Önem, Y. (1997). Sanayi Medenleri: Tanımları, Doğada Bulunuşları, Dünya ve Türkiye Rezervleri, Yıllık Üretimleri, İhraç Ve İthal Miktarlar. Kozan Ofset Matbaacılık San. Ve Tic. Ltd. Şti., 368 s, ISBN 975-96255-0-04, Ankara.
- Sayılı, A., Derman, A.S. ve Kirici, S. (1992). Batı Karadeniz Bölgesinde Üst Jura yaşlı İnaltı Formasyonunun sedimentolojisi ve diyajenezi. Türkiye 9. Petrol Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, Ankara, s. 151-160.

- TS 10449T1 (2004). Mermer Yapı ve Kaplama Taşı olarak Kullanılan, 7 s, *TSE*, Ankara.
- TS 11137 (2004). Kireçtaşı Yapı ve Kaplama Taşı Olarak Kullanılan, 13 s, *TSE*, Ankara.
- TS 11444/T1 (2004). Dolomit Yapı ve Kaplama Taşı Olarak Kullanılan, 13 s *TSE*, Ankara.
- TS 699 (2009). Doğal Yapı Taşları İnceleme ve Laboratuvar Deney Yöntemleri", 42 s, *TSE*, Ankara.
- TS 8433 (1990). İnce Kesit Hazırlama Metodu-Sert Sedimanter Kayaçlar İçin, 5 s, *TSE*, Ankara.
- Tüysüz, O, (1993). Stratigraphic and petrological characteristics of two paralel magmatic belt in Central Anatolia and their signficance in the tectonic evaluation of Anatolian Neotethys, *EUG Terra Abstracts*, 5, 271.
- Uz, B. (2011). Alkan Madencilik Ve Mermer Sanayii ve Tic. A.Ş'ye Ait Bartın İli Amasra İlçesi Civarında Yer Alan Bloктаş/Mermer Üretim Sahalarının Etüd ve Değerlendirilmesi Raporu, İTÜ Maden Fakültesi, İstanbul.
- Uz, B., Bacak, G. (2012). Yörükler (Amasra-Bartın) Karbonatlı Kayaçlarının Petrografisi ve Mermer Olarak Değerlendirme Olanakları, *MERSEM 2012*, 8. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi Bildiriler Kitabı, s.207-214, Afyonkarahisar.

DÜNYA DOĞAL TAŞ SEKTÖRÜ İÇERİSİNDE ÜLKEMİZİN KONUMU
THE POSITION OF TURKEY IN THE WORLD NATURAL STONE SECTOR

N. Bilim^{1,*}, S. Dünder¹

¹*Konya Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü*
 (*Sorumlu yazar: nbilim@ktun.edu.tr)

ÖZET

Doğal taşlar gerek estetik açıdan güzellikleri gerek mekanik açıdan dayanıklılıkları nedeniyle önemli bir kullanım alanı bulmuştur. Günümüz dünyasında artan nüfus ve şehirleşme doğal taşların kullanımını daha da artırmıştır. Artan bu talebi karşılayabilmek için, dünyada yeni rezervler ve üretim yöntemlerinin geliştirilmesine hız verilmiştir. Türkiye doğal taş rezervi ve çeşitliliği bakımından çok önemli bir konumda bulunduğundan dolayı, dünya doğal taş sektöründe söz sahibi ülkelerden birisidir. Bu çalışmada, ülkemizin dünya doğal taş sektörü içerisindeki konumu farklı parametrelere göre analiz edilmiştir. Ülkemizin dünya taş sektöründeki konumu, rezerv dengeleri, ihracat oranları ve üretim miktarları açısından değerlendirilerek sektöre yön veren diğer ülkeler ile kıyaslanmıştır. Ülkemiz madenciliği içerisinde doğal taş sektörünün konumu ve önemi diğer bir araştırılan konudur. Dünya doğal taş sektörü içerisindeki konumumuz analiz edilerek, geliştirilmesi gereken yönler belirlenmiş ve önerilerde bulunulmuştur. Ayrıca ülkemizin dünya doğal taş sektöründeki konumu, ham ve nihai ürün olarak ayrı ayrı değerlendirilerek ekonomiye olan katkıları da araştırılmıştır. Sonuçta, ülkemiz maden sektörü ve dünya doğal taş sektöründeki yerimiz belirlenerek, olumlu yönler ve geliştirilmesi gereken yönler ortaya çıkarılmış ve yürütülmesi gerekli çalışmalar konusunda önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Sözcükler: Mermer, doğal taş, ihracat, ithalat, rezerv

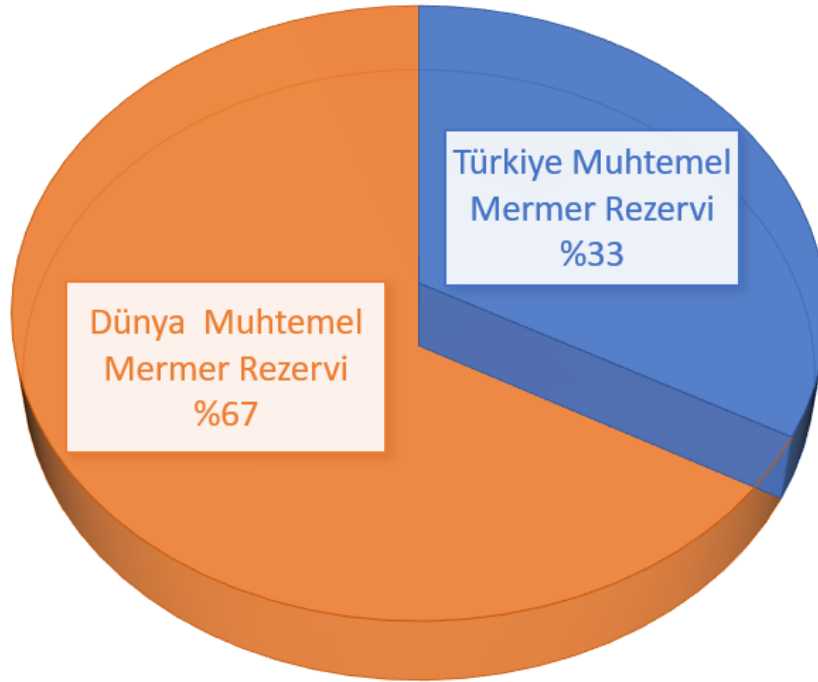
ABSTRACT

Natural stones have an important usage area due to their aesthetics and their mechanical strength. In today's world, increasing population and urbanization have increased the use of natural stones. In order to meet this increasing demand, the development of new reserves and production methods in the world has been accelerated. Turkey and found that the natural stone reserves at a very important position in terms of diversity and reserves due to the natural stone industry is one of the leading countries of the world. In this study, it is aimed to analyze the position of our country in world natural stone sector according to many parameters. For this purpose, the position of our country in the world stone sector has been compared with other countries that have directed the sector by evaluating in terms of reserve balances, export rates and production quantities. The position and importance of the stone sector in our country's mining has been evaluated. Our position in the world natural stone sector was analyzed and the directions to be developed were determined and recommendations were made. In addition, the position in the world sector, raw and final products were evaluated as separate months and their contributions to the economy were also investigated. As a result, our country's position in the mining sector and the world natural stone sector has been determined, positive aspects and aspects that need to be developed have been revealed and suggestions have been made on the studies to be carried out.

Keywords: Marble, natural stone, export, import, reserve

GİRİŞ

Doğal taşlar tarih boyunca güzelliği, rengi, deseni ve dayanıklılıkları sebebiyle yapılarda ve sanat eserlerinde kullanılmışlardır. Günümüzde de artan nüfus ve şehirleşme ile doğal taşların kullanımı artarak devam etmektedir. Türkiye doğal taş rezervi ve çeşitliliği bakımından çok önemli bir konumda bulunduğundan dolayı, dünya doğal taş sektöründe önde gelen ülkelerden birisidir. Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı, 2018 yılı verilerine göre; Alp-Himalaya kuşağında yer alan ülkemiz 5,1 milyar m³ ve 13,9 milyar ton muhtemel mermer rezervine sahiptir. Bu değer 15 milyar m³ olduğu tahmin edilen toplam dünya rezervinin %33'lük kısmına karşılık gelmektedir (Şekil 1).

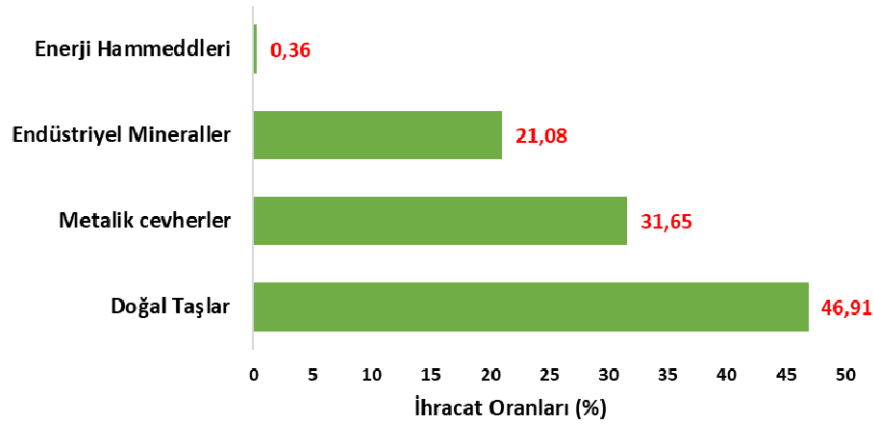


Şekil 1. Muhtemel dünya mermer rezervi içerisinde ülkemiz muhtemel rezervinin oranı

Dünya doğal taş rezervleri incelendiğinde Alp-Himalaya kuşağında yer alan Portekiz, İspanya, İtalya, Yunanistan, Türkiye, İran, Pakistan gibi ülkelerde karbonatlı kayaç rezervlerinin fazla olduğu görülmektedir. İspanya, Norveç, Finlandiya, Ukrayna, Rusya, Pakistan, Hindistan, Çin, Brezilya ve Güney Afrika'da ise magmatik kayaç rezervlerinin fazla olduğu görülmektedir. Asya kıtasında başta Çin olmak üzere Hindistan ve İran önemli üretim potansiyeli olan ülkelerdir. Avrupa kıtasında ise İtalya, İspanya, Türkiye ve Portekiz doğal taş üretiminde ve ihracatında söz sahibi ülkelerdir (Ticaret Bakanlığı, 2018). Ülkemizde doğal taş üretiminin tamamına yakını özel sektör tarafından yapılmaktadır. Türkiye'de yıllık doğal taş üretimi 11,5 milyon ton civarındadır. Ülkemizde bulunan doğal taş işleme tesislerinde ise plaka üretim kapasitesi yaklaşık 6,5 milyon m² civarındadır (Ticaret Bakanlığı, 2018).

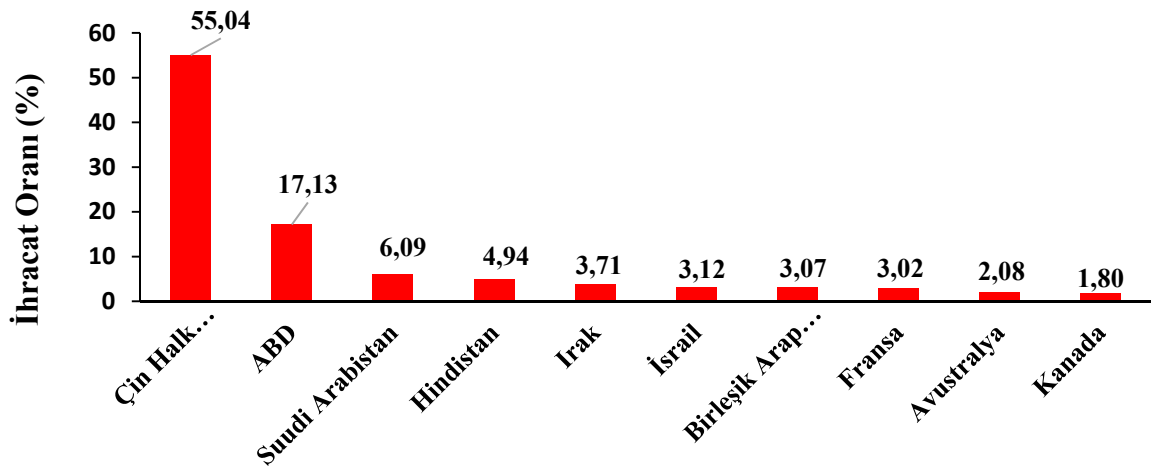
DÜNYA DOĞAL TAŞ PAZARI DURUMU VE ÜLKEMİZİN KONUMU

Ülkemizin genel maden ihracatı içerisinde doğal taş ihracatı önemli bir konumdadır. MTA, 2017 verileri göre, gelir olarak en büyük pay doğal taşlara aittir. 2017 yılında toplam 4.397.090.177 \$ olarak gerçekleştirilen maden ihracat gelirinin yaklaşık %47'lik kısmı doğal taş ihracatına aittir (Şekil 2) (Bilim vd. 2018).



Şekil 2. 2017 yılı maden ihracatımızın maden türlerine göre dağılımı

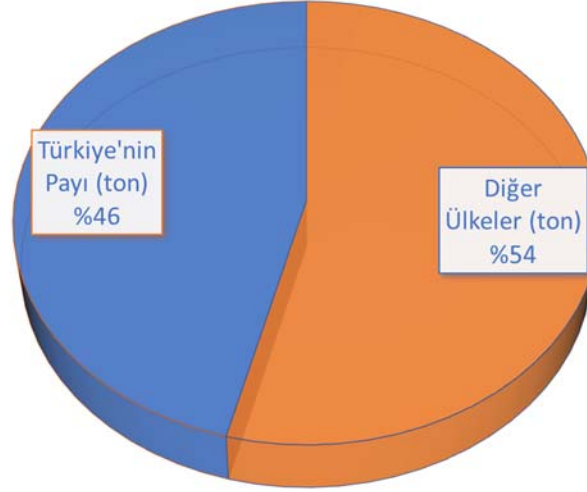
Doğal taş madenciliği ülkemiz açısından son derece önemlidir. Doğal taş ihracatımız hem ham yani blok halde yapılmakta hem de doğal taş işleme tesislerinde işlenerek nihai ürün olan plakalar ve döşeme taşları olarak ihraç edilmektedir. Türkiye Mermer Vakfı, 2017 verilerine göre, doğal taş ihracatımız içerisinde ilk sırada ham yani blok halde ihraç edilen mermer ve traverten grubu doğal taşlar bulunmaktadır. İkinci sırada da ise, işlenmiş halde mermer ve traverten türü kayaların ihracatı gelmektedir. Ülkemizde üretilen doğal taş dünyanın birçok ülkesine ihraç edilmekte yani pazar durumu geniş bir ağa sahiptir. En çok doğal taş ihracatı yapılan ilk 10 ülke içerisinde ilk sırada Çin Halk Cumhuriyeti, sonra Amerika Birleşik Devletleri ve üçüncü sırada Suudi Arabistan gelmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Türkiye'nin doğal taş ihracatını gerçekleştirdiği ülkeler ve ihracat oranları

Dünya doğal taş ihracat ve ithalat piyasasında farklı ürün gruplarında farklı ülkelerin önde geldiği görülmektedir. Dünyada 2017 yılında gerçekleştirilen ham yani blok halde doğal taş ithalat pazarı toplam 3.066.039.000 \$ değerinde gerçekleşmiştir. Türkiye bu pazardan %36 gibi önemli bir pay elde etmiştir. Dünya doğal taş ithal eden ülkeler sıralamasında Çin Halk Cumhuriyeti %58'lik oran ile ilk sırada gelmektedir. Çin Halk Cumhuriyeti'nin en çok blok doğal taş ihraç ettiği ülke ise Türkiye'dir. İkinci sırada ise, Hindistan gelmektedir ve ülkemiz Hindistan'ın doğal taş ithal ettiği ülkeler sıralamasında %42 pay alan İtalya'nın arkasından %37 oranla ikinci sırada yer almaktadır. 2017 yılı ham yani blok halde doğal taş ithalat pazarında üçüncü sırada Birleşik Krallık gelmektedir ve ülkemiz Birleşik Krallığın ithalat sıralamasında 5. sırada gelmektedir (İMMİB 2017).

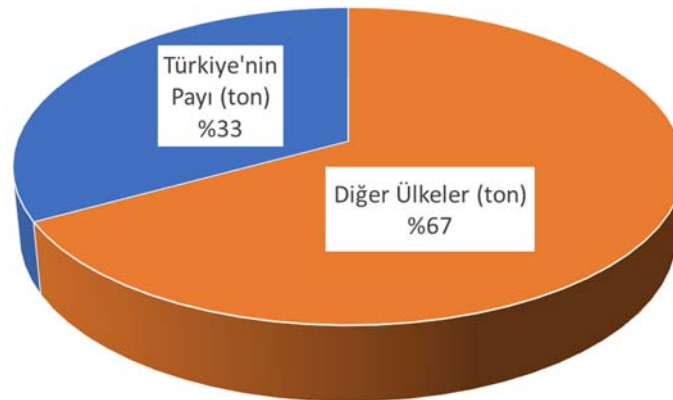
2017 yılı dünya ham yani blok halde doğal taş ithalat pazarında ilk üç ülkenin (Çin, Hindistan ve Birleşik Krallık) ithalat değerlerine baktığımız zaman Türkiye'nin bu üç ülkenin ithalat payındaki durumu Şekil 4'te sunulmuştur.



Şekil 4. Doğal taş ithalatı yapan ilk 3 ülkenin ithalatının Türkiye tarafından karşılanma oranı

Dünyada 2017 yılında gerçekleştirilen işlenmiş (plaka halinde) doğal taş ithalat pazarı toplam 3.635.634.000 \$ değerinde gerçekleşmiştir. Ülkemiz ise bu pazarda yaklaşık %25 oranında bir pay almış ve önemli bir konumda bulunmaktadır. Dünya işlenmiş doğal taş ithalat yapan ülkeler sıralamasında ilk sırada Amerika Birleşik Devletleri gelmektedir. Amerika Birleşik Devletleri dünyada üretilen işlenmiş doğal taşların yaklaşık %32'lik bir kısmını ithal ederek ihtiyacının karşılamaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nin işlenmiş doğal taş ithalatının %29'unu İtalya % 25'ini ise Türkiye karşılamaktadır. Dünya işlenmiş doğal taş ithalatı sıralamasında ikinci ülke ise Birleşik Arap Emirlikleri'dir. Ülkemiz, Birleşik Arap Emirlikleri'nin işlenmiş doğal taş ithalatının %19'luk bir kısmını karşılamakta ve %25 paya sahip olan İtalya'nın ardından ikinci sırada yer almaktadır. Dünya işlenmiş doğal taş ithalatı sıralamasında üçüncü sırada olan ülke ise Güney Kore'dir. Ülkemiz Güney Kore'nin işlenmiş doğal taş ithalatının yaklaşık %2'lik bir kısmını karşılamakta ve bu alanda sekizinci sıradadır (İMMİB 2017).

2017 yılı dünya işlenmiş doğal taş ithalat pazarında ilk üç ülkenin ithalat değerlerine baktığımız zaman Türkiye'nin bu üç ülkenin (ABD, BAE, G. Kore) ithalat payındaki durumu Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. İşlenmiş doğal taş ithalatı yapan ilk 3 ülke içinde Türkiye'nin ihracat payı

Türkiye dünya mermer üretiminde ve ihracatında önemli bir konumdadır. Dünyada mermer ihracatı yapan ülkeler sıralamasında Türkiye birinci sırada gelmektedir. Türkiye'yi İtalya, Çin, Yunanistan ve İspanya takip etmektedir. 2017 yılında Türkiye, Çin, İtalya, Yunanistan ve İspanya dünya mermer ihracat miktarının neredeyse %78'ini karşılamıştır (Çizelge 1).

Türkiye, Çin, Hindistan ve ABD'ye yapılan ihracatı artırmış ve sonuç olarak dünyadaki en büyük mermer ihracatçısı ülke haline gelerek ihracat değeri de 2 milyar doları aşmıştır. Bununla birlikte, Türkiye ihracat miktarlarında kendini takip eden diğer dört ülkeye kıyasla en düşük fiyata ihracat yapan ülke konumundadır (Stonenews.eu, 2017).

Çin, mermer bloklarının en büyük ithalatçısı ve aynı zamanda dünyanın en büyük son ürün mermer ihracatçısı konumundadır. Mermer bloklarının ve plakaların ihracatının çoğunu almaktadır. Ardından kendileri işleyerek ihraç etmektedir ve ton başına diğer dört ülkeden daha yüksek bir fiyatla ihraç etmektedir (Çizelge 2).

Çizelge 1. Dünyada Doğal Taş İhracatı Yapan Önemli Ülkeler ve İhracat Rakamları (Stonenews.eu, 2017).

Ülkeler	İhracat Miktarı (US \$)
Türkiye	2.003.251.000
İtalya	1.467.338.000
Çin Halk Cumhuriyeti	1.131.999.000
Yunanistan	460.905.000
İspanya	349.690.000
Diğer	1.523.778.000
Toplam	6.936.961.000

Çizelge 2. Dünyada Doğal Taş İhracatı Yapan Önemli Ülkelerin İhracat Tipleri (Stonenews.eu, 2017).

Ülkeler	İhraç Miktarı (Ton)	İhracat Miktarı (ton) Dağılımı (%)		İhracatın Tutarı (US \$) Dağılımı (%)	
		Blok ve Plaka	Son ürün	Blok ve Plaka	Son ürün
Türkiye	7.818.860	72,47	27,53	55,07	44,93
İtalya	2.063.783	69,14	30,86	30,84	69,16
Çin Halk Cumhuriyeti	1.114.045	7,18	92,82	1,48	98,52
Yunanistan	1.140.349	80,82	19,18	64,37	35,63
İspanya	1.074.468	71,31	28,69	40,70	59,30
Toplam	16.827.591	65,31	34,69	38,04	61,96

Zengin doğal taş çeşitliliği ve yüksek miktarda doğal taş rezervlerine rağmen ülkemizde de doğal taş ithalatı yapılmaktadır. Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı, 2018 verilerine göre ülkemizde yapılan bazı doğal taş grupları ve ithalat miktarları Çizelge 3'te sunulmuştur. Çizelge 3'te görüldüğü üzere, ülkemiz doğal taş ithalatı daha çok ülkemizde rezerv olarak nispeten az bulunan magmatik kökenli kayalık olan granittir. Granitin hem ham yani blok halde hem işlenmiş halde ithalatı yapılmaktadır. Ülkemiz tarafından ithalatı yapılan doğal taşlar içerisinde işlenmiş granit ilk sırada yer almaktadır.

Çizelge 3. 2016 ve 2017 yıllarında gerçekleştirilen doğal taş ithalat miktarları (Ticaret Bakanlığı, 2018)

Ürün Grubu	2016 (USD \$)	2017 (USD \$)
İşlenmiş Granit	169.318.000	144.092.000
İşlenmiş Mermer	25.427.000	24.178.000
Diğer	6.558.000	8.320.000
Blok Mermer	2.029.000	2.753.000
Blok Granit	1.896.000	2.285.000

SONUÇLAR

Tarih boyunca kullanılan doğal taşlar günümüzde de artan bir cazibe ile yapılarda ve sanat eserlerinde kullanılmaya devam etmektedir. Son yıllarda artan nüfus ve şehirleşme ile inşaat sektörü büyümüş ve doğal taşlara olan talep artmıştır. Bu artış sonucunda dünya doğal taş pazarı da çok önemli bir konumda yer almaktadır. Dünya doğal taş rezervinin yaklaşık %34'lük bir kısmını elinde bulunduran ülkemiz doğal taş çeşitliliği ve gelişmiş üretim teknolojileri sayesinde dünyanın önde gelen doğal taş üretimi ve ihracatı yapan ülkeleri arasındadır. 2017 yılında dünyada gerçekleştirilen ham yani blok halde gerçekleştirilen doğal taş ithalatının yaklaşık %36'lık kısmını karşılamış ve çok önemli bir konumda olduğunu göstermiştir. 2017 yılında işlenmiş doğal taş ithalatının ise yaklaşık %25'lik kısmını karşılayarak önemli bir doğal taş üreticisi sıfatını almıştır. Doğal taş madenciliği ülkemiz için son derece önemli bir konumdur. Ülkemizin toplam maden ihracatı göz önüne alındığında bu ihracatın yaklaşık %47'lik bir kısmını doğal taş ihracatı oluşturmaktadır. Ülkemiz maden ihracatı içinde de doğal taş ihracatı ilk sırada yer almaktadır. Ülkemizin rezerv durumu ve doğal taş çeşitliliği göz önünde bulundurularak önümüzde ki senelerde ülkemizin dünya doğal taş pazarında lider olabileceği öngörülebilmektedir.

KAYNAKLAR

- Bilim, N., DüNDAR, S., ve Kekeç, B., (2018) Doğal taş Üretimimizin Genel Görünümü ve Ülkemiz İçin Önemi, 2. Uluslararası Bilimsel Çalışmalarda Yenilikçi Yaklaşımlar Sempozyumu (pp. 117-120). Samsun
- İstanbul Maden ve Metaller İhracatçılar Birlikleri (2017) [Online]. Kullanılabilir: <https://www.immib.org.tr/tr/online-islemler-istatistikler.html>
- MTA (2017) [Online]. Kullanılabilir: <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/2016-maden-ihracat-degerleri>.
- Türk Mermer Vakfı (2017) [Online]. Kullanılabilir: <http://turkmermermadenvakfi.org/2017-yili-maden-ve-dogaltas-ihracat-degerlendirmesi/>
- Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı, (2018). Doğal Taşlar Sektör Raporu, Ankara.
- Stonenews.eu 2017. [Online]. Kullanılabilir: <https://stonenews.eu/countries-largest-marble-exports-2017/>

DOĞAL TAŞ VE MADENCİLİK SEKTÖRÜNDEKİ İŞ KAZALARININ KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ
COMPARATIVE ANALYSIS OF OCCUPATIONAL ACCIDENTS IN THE NATURAL STONE AND MINING SECTOR

S. Önder¹, E. Kundak^{1,*}

¹ *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü*
 (*Sorumlu yazar: ecekundak@gmail.com)

ÖZET

Tüm sektörlerde hammadde sağlayan madencilik faaliyetleri olmadan yaşamın sürdürülebilmesi mümkün değildir. Bununla beraber, madencilik faaliyetleri oldukça fazla iş kazasının meydana geldiği çok tehlikeli işler sınıfında yer almaktadır. İş kazalarının fazla olması, meydana gelen kazaların daha ayrıntılı olarak incelenmesi, değerlendirilmesi ve kazaları önleme çalışmalarının yapılması zorunluluğunu getirmektedir. Bu amaçla, işyerlerinde gerçekleşen tüm iş kazaları ve ramak kala olaylar kayıt altına alınmalı ve analiz edilmelidir. Bu çalışmada, 2013-2017 yılları arasında madencilik ve doğal taş sektöründe meydana gelen ve Sosyal Güvenlik Kurumu'na (SGK) bildirilen iş kazaları, iş kazalarından kaynaklı iş günü kayıpları farklı açılardan incelenmiş ve bu kayıpların maliyetleri değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İş kazaları, iş günü kayıpları, madencilik, doğal taş.

ABSTRACT

It is not possible to sustain life without mining activities that provide raw materials to all sectors. However, mining is one of the very hazardous class in which many occupational accidents occur. The high number of occupational accidents impose obligation of detailed investigation, evaluation and prevention study of the accidents. For this purpose, all occupational accidents and near-miss events in the workplace should be recorded and analyzed. In this study, the occupational accidents, which occurred in the mining and natural stone sector between 2013-2017 and reported to the Social Security Institution (SSI), were analyzed from a different viewpoint and the costs of these losses were evaluated.

Keywords: Occupational accidents, lost workdays, mining, natural stone.

GİRİŞ

1999 yılında Avrupa Birliği (AB) için aday üye olan Türkiye, çalışma hayatı mevzuatını AB kriterlerine uygun hale getirme yükümlülüğü ile karşı karşıya kalmıştır. Öncelikle 2003 yılında 1475 Sayılı İş Kanunu yürürlükten kaldırılmış, yerine şu anda da yürürlükte olan 4857 Sayılı İş Kanunu yürürlüğe girmiştir. İş hayatına yönelik çok geniş bir kanun olan 4857 Sayılı İş Kanunu, iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili konuları da içeriyorken, 2012 yılında 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu çıkarılmış ve bağlı yönetmeliklerde AB kriterlerine uygun hale getirilmiştir. 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ile çalışan ve işveren için ciddi yükümlülükler getirilmiştir. İşyerlerinde işyerinin organizasyonu, çalışanların eğitilmesi, risk değerlendirmesinin yapılması, acil durum planlarının yapılması, işyerinin tehlike sınıfına uygun iş güvenliği uzmanı ile işyeri hekimi görevlendirilmesi ve çalışanların kurallara uyup uymadığının denetlenmesi gibi yükümlülükler getirilmiştir. Ayrıca, çalışanlara aldıkları eğitim ve işverenin bu konudaki talimatları doğrultusunda, kendilerinin ve hareketlerinden veya yaptıkları işten etkilenen diğer çalışanların sağlık ve güvenliklerini tehlikeye düşürmeme yükümlülüğü getirilmiştir. Kanunla birlikte

Türkiye’de meydana gelen iş kazalarının önlenmesine yönelik çalışmalar yaparak, kazalardan doğan maddi ve manevi zararları ortadan kaldırmak hedeflenmiştir.

Birçok çalışanın her yıl iş kazalarına maruz kalarak yaralanması, uzuv kaybı yaşaması, hayatını kaybetmesi veya meslek hastalıklarına yakalanması İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) kavramının doğmasına ve gelişmesine neden olmuştur. İSG çalışmaları, insan hayatını tehdit eden, genel olarak kaza ve hastalık şeklinde ortaya çıkan tehlikelerden insanları korumak, zarar verici etkileri en alt düzeye indirgeyerek insanların daha güvenli ve sağlıklı bir çalışma ortamında çalışmalarını sağlamaya yönelik önlemlerin tümünü kapsar. Bunların sonucu olarak da işgücü verimliliğini artırır. İSG konusuna gereken önem verilmediği takdirde çok boyutlu maliyetlerle karşılaşmaktadır. İş kazası veya meslek hastalığına maruz kalan çalışan çalışma gücünün tümünü ya da bir bölümünü sürekli ya da belirli bir süre kaybedeceği gibi hayatını da kaybedebilir. İşçinin sakat kalması halinde, çalışan iş göremezlik gelirin hak kazansa da gelir düzeyinde bir azalma olacak, çalışma gücünü kısmi ya da tamamıyla kaybedebilecek ve hatta psikolojik sorunlar yaşayabilecektir.

İş kazaları ve meslek hastalıkları, işveren açısından da maliyetleri arttıran bir unsurdur. Çalışan açısından, tedavi masrafları, ölüm tazminatları, mahkeme masrafları, cezai ödemeleri oluşmaktadır. İşletme açısından da makine ve teçhizat hasarlarından kaynaklanan maliyetler oluşabilmekte, üretim ve verimlilik düşüşleri ya da ürün teslimindeki aksamalara bağlı olarak pazar kaybı yaşanabilmektedir. İşçi ve işverenin uğradığı zararların yanı sıra, ülke ekonomisi açısından da ortaya çıkabilecek sonuçlar çarpıcıdır. Özellikle yetişmiş insan gücü kaybı, sosyal güvenlik primlerindeki kayıplar, çalışılmayan iş günü kayıpları, sosyal yardım harcamalarında artışlar en çok dikkat çeken noktalardır (Gerek, 1998).

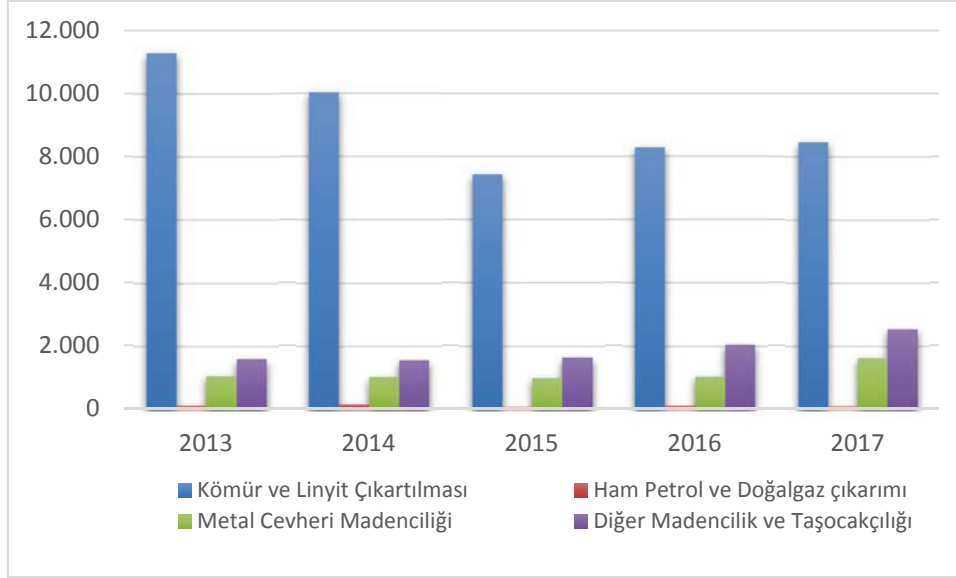
Tüm bu değerlendirmeler çerçevesinde çalışma hayatında başarıya ulaşmanın yolunun, yalnız makine üzerine değil, aynı zamanda insan unsuruna da yatırım yapmak ve üretim araçları karşısında işgücünü koruyucu düzenlemeler getirmek olduğu söylenebilir (Çöllü,1998).

Bu çalışmada, 2013-2017 yılları arasında madencilik sektöründe meydana gelen iş kazaları, iş kazalarından kaynaklı iş günü kayıpları ve bu kayıpların maliyetleri değerlendirilmiştir. Bu çalışmadaki tüm veriler Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) tarafından yayınlanan 2013-2017 yılları arasındaki verileri kapsamaktadır (SGK, 2019).

MADENCİLİK VE DOĞAL TAŞ SEKTÖRÜNDE GERÇEKLEŞEN İŞ KAZALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

SGK’da madencilik faaliyetleri ile ilgili veriler; kömür ve linyit çıkarılması, ham petrol ve doğalgaz çıkarımı, metal cevheri madenciliği, diğer madencilik ve taşocakçılığı ile madenciliği destekleyici hizmet faaliyetleri olmak üzere 5 ana başlık altında toplanarak hazırlanmaktadır. Ancak madenciliği destekleyici hizmet faaliyetlerinde veri kaydı olmadığından, diğer dört grup dikkate alınarak bu çalışma gerçekleştirilmiştir. Doğal taş sektörüne ait veriler ise, diğer madencilik ve taşocakçılığı grubunun altında yer almaktadır.

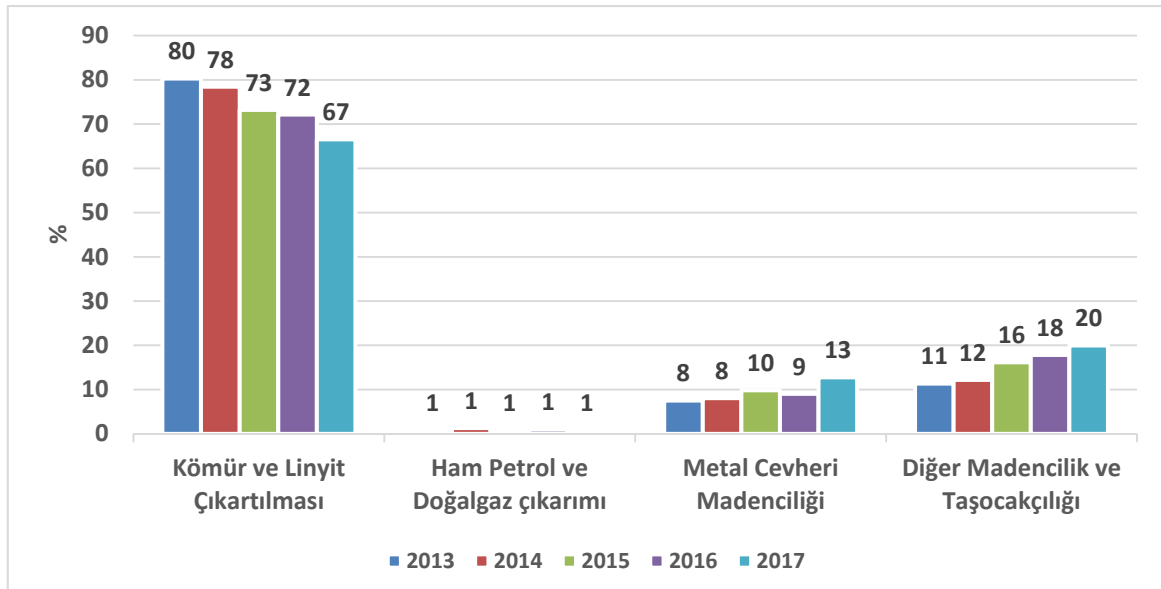
Madencilik ve doğal taş sektöründe yaşanan kazalar neticesinde çalışanlara ve işletmeye verilen zararlar aşağıdaki şekillerde sayılar ve oranlarla verilmiştir. Şekil 1’de maden sektöründe kaza geçiren çalışan sayıları verilmiştir.



Şekil 1. Madencilik sektöründe iş kazası geçiren çalışan sayıları

Şekil 1 incelendiğinde, 2013-2017 yılları arasında madencilik sektöründe 61.177 çalışan kaza geçirmiştir. Bunlardan, 45486 kişi kömür ve linyit çıkarılmasında, 574 kişi ham petrol ve doğalgaz çıkarımında, 5741 kişi metal cevheri madenciliğinde ve 9376 kişi diğer madencilik ve taş ocakçılığında kaza geçirmiştir. Diğer madencilik ve taş ocakçılığı grubunun altında bulunan doğal taş madenciliğinde ise 5099 kişi kaza geçirmiştir. Kömür ve linyit çıkarılmasında azalma trendi gözlemlenirken, diğer madencilik ve taş ocakçılığında artış trendi gözlemlenmektedir. Doğal taş madenciliğinde 2013 yılına göre 2017 yılında iş kazası geçiren çalışan sayısının yaklaşık %40,64 oranında arttığı tespit edilmiştir.

Şekil 2'de iş kazası geçiren çalışanların madencilik faaliyetlerine göre dağılımı verilmiştir.

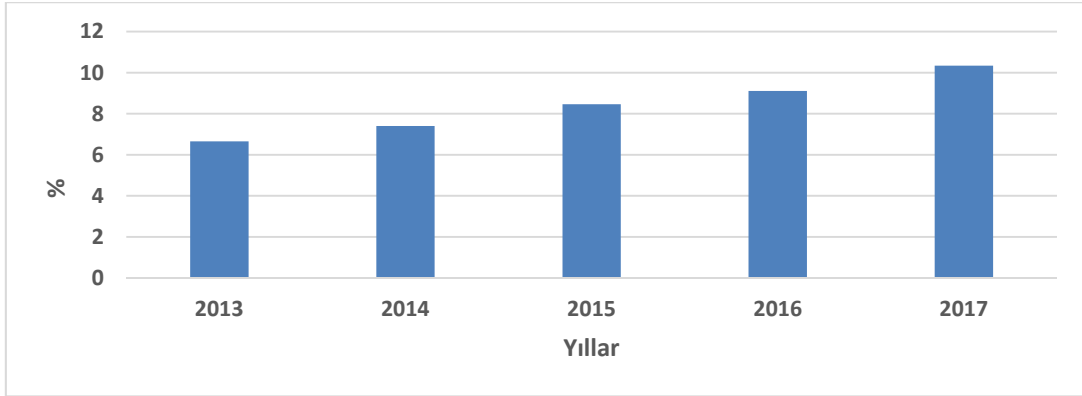


Şekil 2. İş kazası geçiren çalışanların madencilik faaliyetlerine göre dağılımı

Beş yıllık süreç değerlendirildiğinde, iş kazası geçiren çalışanların %74'ünün kömür ve linyit çıkarılmasında, %1'inin ham petrol ve doğal gaz çıkarımında, %9,6'sının metal cevheri madenciliğinde ve

%15,4'ünün diğer madencilik ve taş ocakçılığında çalıştığı tespit edilmiştir. İş güvenliği konusunda bilincin artması ile kömür ve linyit çıkarılmasında kaza geçiren çalışanların payları azalırken, doğal taş madenciliğinin içinde yer aldığı diğer madencilik ve taş ocakçılığında 2013 yılında %11 olan oran, 2017 yılında %20'e yükselmiştir. Bu oran, hem işletmelerin hem de çalışanların iş sağlığı ve güvenliği kültürünün yerleşmemiş olduğunun bir göstergesi olarak yorumlanabilir.

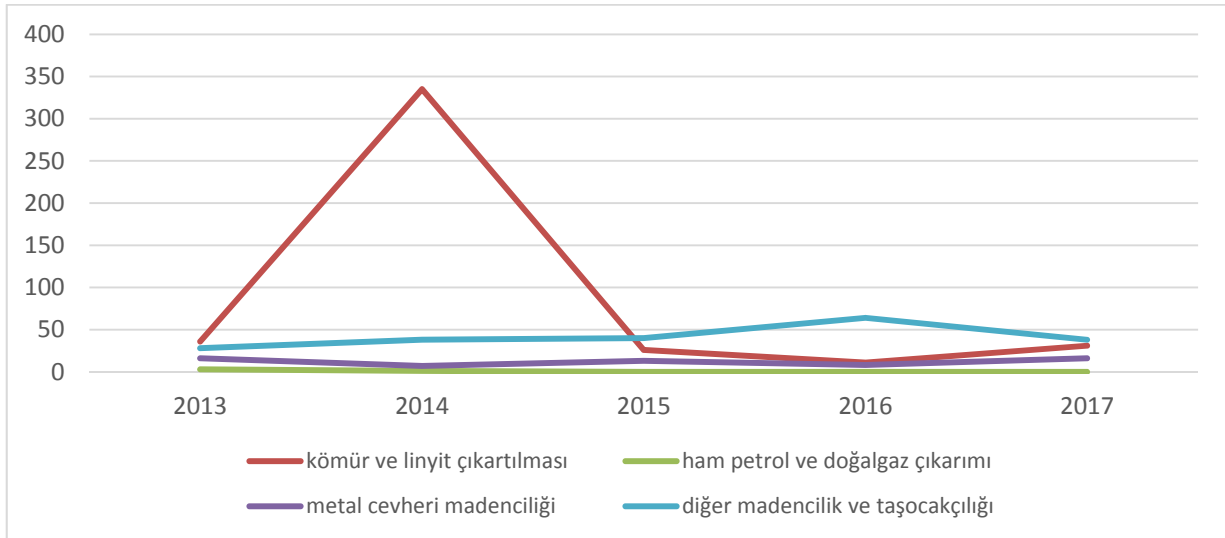
Şekil 3'te madencilik sektöründe kaza geçiren çalışanların içinde doğal taş sektöründe kaza geçiren çalışanların oranı verilmiştir.



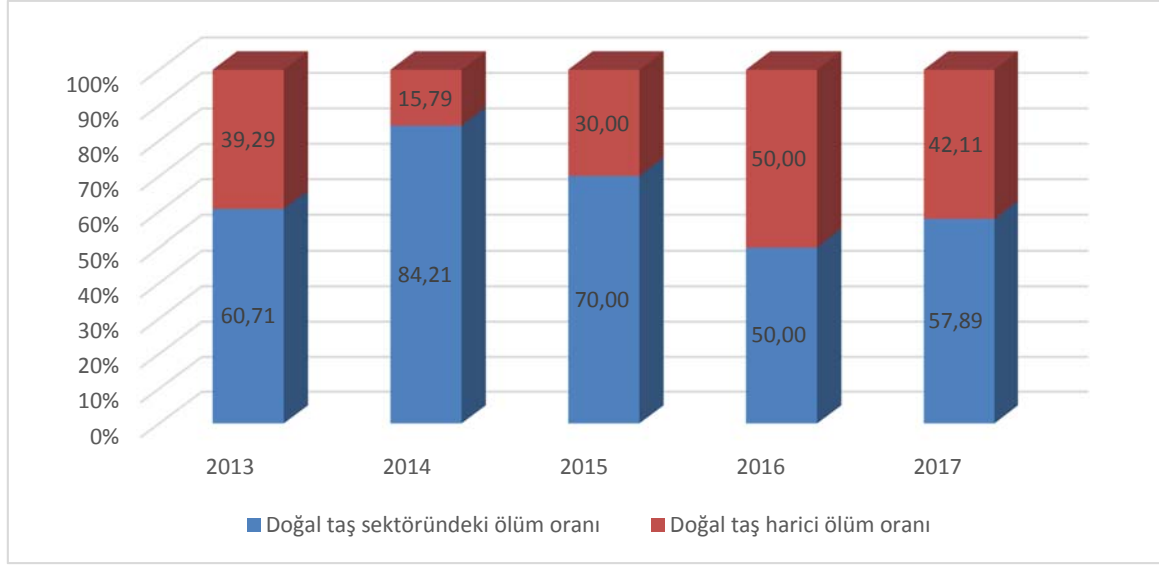
Şekil 3. Doğal taş sektöründe kaza geçirenlerin madencilik sektörüne oranı

Doğal taş sektöründe kaza geçiren çalışanların madencilik sektöründe kaza geçiren çalışanlara oranı 2013'te %6,65'ten 2017'de %10,33'e artan bir eğilim göstermektedir. Ayrıca, doğal taş madenciliğinde kaza geçirenler diğer madencilik ve taş ocakçılığı grubunun da %51-%61'ini oluşturmaktadır.

Şekil 4'te maden sektöründe iş kazaları sonucu ölen çalışan sayıları ve Şekil 5'te ise, diğer madencilik ve taş ocakçılığı faaliyeti ölüm oranı verilmiştir.



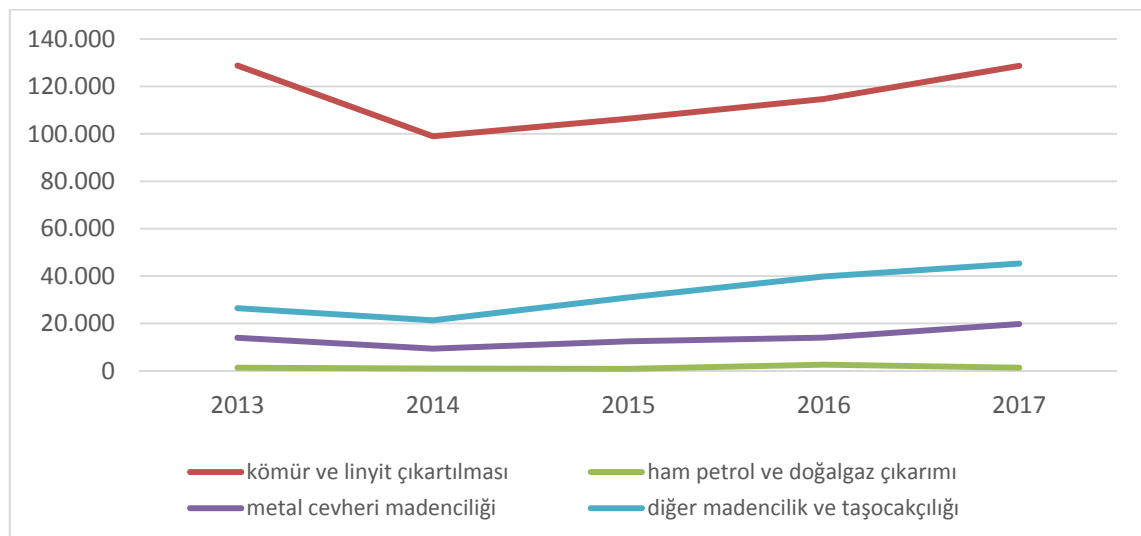
Şekil 4. Madencilik faaliyetlerinde ölen çalışan sayıları



Şekil 5. Diğer madencilik ve taş ocakçılığı faaliyeti ölüm oranı

2013-2017 yılları arasında madencilik sektöründe iş kazaları sonucunda toplam 711 çalışan hayatını kaybetmiştir. Bunlardan; 439 kişi kömür ve linyit çıkarılmasında, 4 kişi ham petrol ve doğalgaz çıkarımında, 60 kişi metal cevheri madenciliğinde ve 208 kişi diğer madencilik ve taş ocakçılığında iş kazası sonucu hayatını kaybetmiştir. Diğer madencilik ve taş ocakçılığı grubunun altında bulunan doğal taş madenciliğinde ise; 131 kişi hayatını kaybetmiştir. Doğal taş madenciliğinde ölen çalışanlar diğer madencilik ve taş ocakçılığı grubunun 2013 yılında %60,71'ini, 2014 yılında %84,21'ini, 2015 yılında %70'ini, 2016 yılında %50'sini ve 2017 yılında %57,89'ünü oluşturmaktadır (Şekil 5). Bu oranlar, doğal taş madenciliğinin diğer madencilik ve taş ocakçılığı grubunda ne kadar büyük bir paya sahip olduğunun bir göstergesidir.

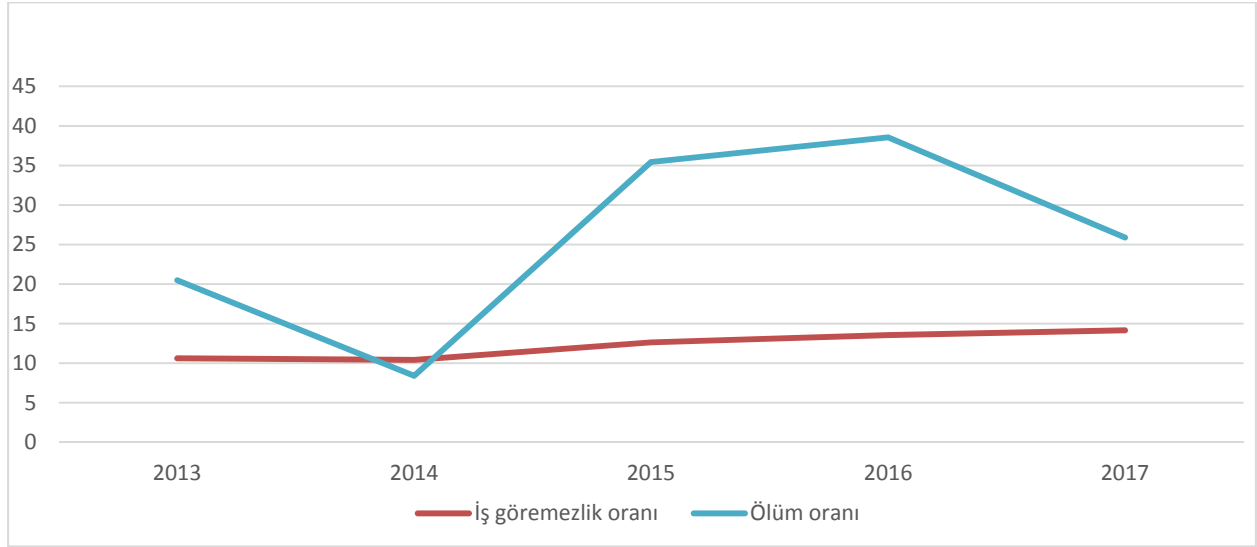
Şekil 6'da madencilik faaliyetlerindeki iş kazalarından kaynaklı iş göremezlik süreleri yıllar bazında verilmiştir.



Şekil 6. Madencilik faaliyetlerinde iş göremezlik süreleri (gün)

Beş yıllık süreçte madencilik faaliyetlerindeki iş kazalarından kaynaklı toplam iş göremezlik süresi 817836 gündür. Madencilik faaliyetleri sektörel düzeyde incelendiğinde, iş göremezlik gün sayısına göre en yüksekten en düşüğe göre sırasıyla; kömür ve linyit çıkarılması, diğer madencilik ve taş ocakçılığı, metal cevheri madenciliği ile ham petrol ve doğalgaz çıkarımı gelmektedir.

Şekil 7’de madencilik faaliyetleri içerisinde doğal taş madenciliğinde gerçekleşen iş kazaları sonucu oluşan iş göremezlik ve ölüm oranları verilmiştir.



Şekil 7. Doğal taş madenciliğinde meydana gelen iş göremezlik ve ölüm oranları

Doğal taş sektöründe meydana gelen iş kazalarında 2013 yılında 17 çalışan, 2014 yılında 32, 2015 yılında 28, 2016 yılında 32 ve 2017 yılında 22 çalışan hayatını kaybetmiştir. 2014 yılında ölüm oranında ciddi bir düşüş olduğu grafikte görülmesine rağmen, 2014 yılı ve 2016 yılında hayatını kaybeden çalışan sayısı bu beş yıllık dönem içerisinde en yüksektir. 2014 yılında ölüm oranlarında gözlemlenen düşüş o yıl Soma’da gerçekleşen ve 301 madencinin hayatını kaybettiği kaza nedeniyle madencilik faaliyetlerindeki ölüm sayılarının aşırı artmasından kaynaklanmaktadır. 2013-2017 yılları arasında iş göremezlik oranlarında ise, %10-15 aralığında bir artış trendi gözlemlenmektedir.

İŞ GÜNÜ KAYIPLARINDAN KAYNAKLANAN MALİYET ANALİZİ

Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) tarafından yapılan çalışmalara göre, iş kazaları ve meslek hastalıkları sonucu meydana gelen maddi kayıplarının doğrudan “ödenen tazminatlar, tedavi giderleri, iş günü kaybı ücretleri, hasar gören tesis veya malzemenin yenileme bedeli vb.” ve dolaylı maliyetlerden “Kazaya uğrayan işçi ile birlikte çalışan işçilerin ve diğer ekiplerdeki işçilerin kaza nedeniyle çalışmadıkları iş süreleri için ödenen ücretlerin maliyeti, kazada hasara uğrayan tesis, malzeme ve ekipmanın onarım ve bakımına yönelik maliyetler, kazanın gerektirdiği düzenlemeleri yapan yöneticilerin harcadığı zamanın ücretlerine yansıyan maliyeti, kaza geçiren işçi yerine alınan işçinin öğrenme süresinin maliyeti, sigortalanmamış tedavi giderlerinin maliyeti, Devlet’in soruşturma görevlilerinin (polis, müfettiş, hakim, savcı, bilirkişilerin maliyeti vb.)” oluştuğu ifade edilmektedir (Balcı ve ark, B., 2013). Bu çalışmada, madencilik faaliyetlerinde çalışanların günlük kazanç tutarları (Çizelge 1) dikkate alınarak, sadece doğrudan maliyetlerde yer alan iş günü kaybı ücretleri hesaplanmıştır.

Çizelge 1. Madencilik faaliyetlerinde çalışanların günlük kazanç tutarları (TL) (SGK, 2019)

Yıl	Kömür ve linyit çıkartılması	Ham petrol ve doğalgaz çıkarımı	Metal cevheri madenciliği	Diğer madencilik ve taş ocakçılığı	Doğal taş
2013	97,00	149,19	75,23	55,69	55,69
2014	122,2	162,67	84,38	62,59	62,59
2015	140,79	193,06	95,89	72,84	72,84
2016	170,29	228,38	112,52	87,53	87,53
2017	194,54	272,36	132,95	99,44	99,44

Ölümlü bir kazanın kayıp günü Amerika’da 6000, İngiltere’de 6500, ülkemizde ise 7500 gün kaybı olarak kabul edilmektedir (Kasap, 2011). Bu nedenle, iş kazalarından kaynaklı iş günü kayıpları ile ölen çalışan sayısı 7500 iş günü kaybı ile çarpılarak toplanarak iş kazalarından kaynaklı toplam iş günü kaybı hesaplanmıştır. Çizelge 1’de verilen günlük kazanç tutarları ile çarpılmış ve maddi kayıp tutarı hesaplanmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 2. Kaza sonucu iş göremezlik süresi ve ölen çalışan sayısı nedeniyle oluşan maddi kayıp (TL)

Yıl	Kömür ve linyit çıkartılması	Ham petrol ve doğalgaz çıkarımı	Metal cevheri madenciliği	Diğer madencilik ve taş ocakçılığı	Doğal taş
2013	38.688.159	3.554.750	10.075.328	13.166.174	8.107.239
2014	319.127.500	1.372.447	5.215.612	19.169.126	15.871.322
2015	42.439.738	161.591	10.541.475	24.106.471	16.682.545
2016	33.584.424	588.535	8.329.293	45.496.606	23.035.970
2017	70.265.124	363.328	18.579.098	32.840.557	19.151.150

Çizelge 2 incelendiğinde, maddi kayıplar açısından yüksek maddi kayıptan düşük maddi kayba göre sırasıyla, kömür ve linyit çıkarılması, diğer madencilik ve taş ocakçılığı, metal cevheri madenciliği ile ham petrol ve doğalgaz çıkarımı gelmektedir. Bu sıralama sadece 2016 yılı verilerinde değişiklik göstermektedir. 2016 yılında diğer madencilik ve taş ocakçılığında yaşanan iş sonucu iş göremezlik süresi ve ölen çalışan sayısı nedeniyle oluşan maddi kayıp 45.496.606TL ile kömür ve linyit çıkarılmasında oluşan maddi kayıp olan 33.584.424TL’den 1,35 kat daha fazladır. Bunun nedeni, 2016 yılında kömür ve linyit çıkarılmasında 11 çalışan hayatını kaybetmişken diğer madencilik ve taş ocakçılığında 64 çalışanın hayatını kaybetmiş olmasıdır. Beş yıllık dönemde, madencilik faaliyetleri alt grupları arasında 31.912.750 TL ile 2014 yılı kömür ve linyit çıkartılması en yüksek tutarlı maddi kayıptır. Bu durum, o yıl Soma’da gerçekleşen 301 madencinin hayatını kaybettiği kazadan kaynaklanmaktadır.

SONUÇLAR

2013-2017 yılları arasında madencilik faaliyetlerinde toplam 61.177 çalışan iş kazası geçirmiş ve 711 çalışan iş kazalarında hayatını kaybetmiştir. Bu çalışma kapsamında, kömür ve linyit çıkartılması, ham petrol ve doğalgaz çıkarımı, metal cevheri madenciliği, diğer madencilik ve taş ocakçılığı incelendiğinde; iş kazası geçirme oranı sırasıyla %74, %1, %9,6 ve %15,4 ve ölüm oranları sırasıyla; %61,74, %0,56, %8,43 ve %18,42 olarak belirlenmiştir. Doğal taş sektöründe bu beş yıllık süreçte 5099 çalışanın iş kazası geçirdiği ve 131 çalışanın ise iş kazalarında hayatını kaybettiği belirlenmiştir. Madencilik faaliyetlerinin tamamında iş kazası geçiren çalışanların %8’inin ve hayatını kaybedenlerin %18’inin doğal taş madenciliğinde olduğu tespit edilmiştir.

Çalışma yapılan dönemde, madencilik faaliyetlerinde yaşanan iş kazalarından kaynaklı iş göremezlik süresi ve ölen çalışan sayıları üzerinden hesaplanan maddi kayıp toplam 697.665.337TL'dir. Kömür ve linyit çıkartılması, ham petrol ve doğalgaz çıkarımı, metal cevheri madenciliği, diğer madencilik ve taş ocakçılığında yaşanan kazaların tüm madencilik faaliyetleri içerisindeki maddi kayıp oranları sırasıyla; %72,26, %0,87, %7,56 ve %19,32 olarak belirlenmiştir. Madencilik faaliyetlerinin tamamında iş kazalarından kaynaklı iş göremezlik süresi ve ölen çalışan sayıları üzerinden hesaplanan maddi kayıp oranının %11.88'inin doğal taş sektöründe olduğu tespit edilmiştir.

İşverenlerin işyerinde iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili mevzuata uygun gerekli tüm önlemleri eksiksiz almaları her zaman önceliklidir. Maden işyerlerinde çalışanlara, çalışanların İSG eğitimleri ile ilgili yönetmeliğe göre, en az yılda 16 saat eğitim almalarını sağlama zorunluluğu olmakla birlikte, işletmelerin bu eğitimleri daha uzun süre verme yetkileri vardır. Bu eğitimlerin etkililiğini artırmak için yetişkin eğitime uygun teknolojik eğitim araçlarının kullanımı sağlanabilir. Bu eğitimlerle, çalışanların tehlikeler ve riskler konusunda bilgilendirilmeleri, risk algılama düzeylerinin artırılarak konuya bakış açılarının genişletilmesi ve davranış değişikliği kazanmaları amaçlanmalıdır. Kontrol ve denetimin ise İSG alanında olmazsa olmaz bir yönetim görevi olduğu asla unutulmamalıdır. Meydana gelebilecek iş kazaları sonucundaki gün kayıplarının azaltılması hem çalışanların, hem işverenlerin hem de ülke ekonomisinin kazanç sağlayacağı düşünülürse, bu konuda yapılacak çalışmaların her birinin son derece önemli olduğu ortadadır.

KAYNAKLAR

- Çöllü, İ. (1998). İşçi Sağlığı ve İş Güvenliğine Genel Yaklaşım, Mühendis ve Makine Dergisi, Ankara.
- Gerek, N. (1998). Türkiye'de İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği, Türk-Metal Sendikası Yayını, Ankara.
- SGK, (2019). http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/sgk/tr/kurumsal/istatistik/sgk_istatistik_yilliklari
- Balcı, B., Balcı, Ö., Taçkın, E. ve Yerden, E. A. (2013). İş Kazalarında Mali Kayıplar, İstanbul Sosyal Bilimler Dergisi, 66-83.
- Kasap, Y. (2011). The effect of work accidents on the efficiency of production in the coal sector. S. Afr. J. Sci. 107. (5/6), Art. 513, 9 pages. doi:10.4102/sajs.v107i5/6.513

ZEMİN KAYMAZLIK TEST YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI OLARAK DEĞERLENDİRMESİ A COMPARATIVE EVALUATION OF FLOOR SLIPPERINESS TEST METHODS

G. Çoşkun^{1,*}, G. Sarıışık²

¹Cumhuriyet Üniversitesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Programı
²Harran Üniversitesi, Müh. Fak. Endüstri Mühendisliği Bölümü
(*Sorumlu yazar: coskungc@gmail.com)

ÖZET

Zemin kayganlığı, kullanıcıların yaşam güvenliğini etkileyen en etkili parametreler arasındadır. Zemin kaplamalarında insanların güvenliğini sağlamak, kayma ve düşme kazalarını en aza indirmek için kayma güvenliği riski belirlenmelidir. Bu çalışma, insan yoğunluğunun fazla olduğu alanlarda bulunan zemin kaplamalarının, kuru ve ıslak ortamda kayma risklerinin belirlenmesi ve güvenlik sınıflamasının yapılmasını amaçlamaktadır. Bu bağlamda zemin kaplamalarının, farklı iki ortamda (kuru ve ıslak) taşınabilir (mobil) GMG 200 ve pandül test cihazı kullanılarak, dinamik sürtünme katsayıları (DCOF) ve kayma direnci ölçülmüştür. İki kaymazlık test yönteminin sonuçları karşılaştırılmıştır. Doğal taşların DCOF ve COF değerlerine bağlı olarak güvenli kullanım alanlarına göre sınıflandırılmıştır. GMG 200 portatif test yönteminin, DIN EN 51131'e göre daha iyi bir dinamik sürtünme katsayısı (DCOF) testi olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Kaymazlık test, GMG 200, pandül, sürtünme katsayısı, kayma direnci

ABSTRACT

Floor slipperiness is among the most influential parameters affecting the life safety of users. The slip safety risk should be determined in order to ensure the safety of people on floor coverings and to minimize slip and fall accidents. This study covered the determination of the risk of slipping in dry and wet areas with high human density the safety classifications of the floor coverings. In this context, the dynamic coefficients of friction (DCOF) and slip resistance of the floor coverings were measured by using the Portable (Mobile) GMG 200 and Pendulum Tester Device, two different environments (i.e. dry and wet). The results of two slipperiness test methods were compared. The natural stones were then grouped according to places for safe utilization depending on DCOF and COF values, results. The GMG 200 portable test method was found to be a better test of coefficients of friction than DIN EN 51131.

Keywords: Slipperiness tester, GMG 200, pendulum, coefficients of friction, slip resistance

GİRİŞ

Günümüz inşaat sektöründe doğal taşlar yaya yüzey zemin kaplaması olarak geniş bir uygulama alanına sahiptir. Doğal taşların yaya yüzey zemin kaplaması olarak kullanımında dikkat edilecek özelliklerinden ve en önemlilerinden biri de kayma risklerinin belirlenmesidir (Grönqvist 1995; Rowland vd, 1996; Kim 1996; Chang 1999; Manning vd, 1998). Yaya yüzey zemin kaplamalarında meydana gelen kayma vakaları; ortam, kirleticiler, çevresel faktörler, yetersiz zaman, sıcaklık, aydınlatma, ayakkabı, zeminin yüzey özellikleri, kişi ve kişinin ruh hali dâhil bir ya da birden fazla sebepten kaynaklanır (Kim 2001).

Yüzyıllar önce bilim adamları, iki sert yüzey arasındaki harekete direnç gösteren sürtünme kuvvetinin, yüzeylerin birbirine basma kuvveti orantılı olduğu fark edilmiştir. "Sürtünme katsayısı" COF, sürtünme kuvveti ile basma kuvveti arasındaki sabit oran için kullanılan terimdir. Çekme veya kayma direncinin şu anki kadar basit olmadığı bilinmektedir; özellikle sulu veya yağlı yüzeyleri birbirinden ayırdığında, ancak sürtünme katsayısı kavramı hala kullanılmaktadır (Ricotti ve ark., 2009).

Literatürde birçok farklı test cihazı belirlenmiştir (Grönqvist ve ark., 1999; Leclercq, 1999, Sarıışık, 2009; Sarıışık ve ark., 2011; Çoşkun, G., 2013; Çoşkun ve ark., 2016). Çıktı miktarı belki COF veya kuvvet, tork, enerji kaybı veya eğim açısı olabilir. Bir yöntemin kabul edilebilirliğini belirlemek için iki kriter öne sürülmüştür: (a) ölçüm koşulları değişmediğinde belirli bir yöntem kullanılarak elde edilen verilerin dağılımı açısından değerlendirilen tekrarlanabilirliği ve (b) geçerliliğidir. Strandberg (1983), yürürken gerçek kayma direnci ile ilişkili olan ilgili ölçümleri sağlayan geçerli bir yöntemi tanımlamıştır.

Bu çalışmada zemin kaplamalarında kullanılan beş farklı doğal taş bir adet suni mermer üzerinde, pandül ve GMG 200 test cihazı kullanılarak doğal taşların kuru, ıslak ve yağlı ortamda kayma risklerinin belirlenmesinde etken olan kayma açıları ve kayma dirençleri belirlenmiştir. Elde edilen test sonuçları sürtünme katsayısı değerleri hesaplanarak karşılaştırılmaları yapılmıştır.

MALZEME VE YÖNTEM

Malzeme

Günümüzde doğal taşlar topluma açık ve kapalı alanlarda yaya yüzey zemin kaplama malzemesi olarak insan yoğunluğunun fazla olduğu bina, okul, hastahane, otogar, metro ve alışveriş merkezlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kaymazlık testi yapılan doğal taşların cinsi, yüzey işlemi, ortamı ve boyutları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Kaymazlık testi yapılan doğal taşların bilgileri

Kod	Doğal Taşlar	Yöntem	Yüzey İşleme Tekniği / Ortam	Plaka Boyutu (cm)
D1	Mermer	GMG 200	Cıralı	30 × serbestboy
D2	Kireçtaşı	Pandül	Kuru / Islak	
D3	Traverten			
D4	Granit			
D5	Bazalt			
D6	Suni Mermer			

Yöntem

Pandül Test Cihazı

Pandül test cihazı, zemin kaplamalarının kayma direncinin belirlenmesinde TS EN 14231 standardına göre çalışan taşınabilir ölçekli bir test cihazı olup, kaydırıcı ve deney yüzeyi arasındaki sürtünmeyi ölçmek ve kayma direncine ait standart bir değer tayin etmek üzere tasarlanmıştır (Şekil 1). Bu çalışmada WESSEX, S885 model taşınabilir pandül test cihazı kullanılmış olup, ayakkabı altlığını temsilen 4S lastik kauçuk pençe ölçümlerde kullanılmıştır.



Şekil 1. Pandül test cihazı (WESSEX)

Test cihazı, kaydırıcıda dâhil olmak üzere pandül kolunun kütlesi, (1.50 ± 0.03) kg olmalıdır, ağırlık merkezi askı ekseninden (410 ± 5) mm mesafede kol ekseninde olmalıdır. Kaydırıcı tertibat; pandül kolu, yaptığı salınımın en alt noktasındayken, kaydırıcının kayma yapan kenarı deney numunesiyle temas halinde olduğu halde, kaydırıcı düzlemi, yatayla $(26 \pm 3)^\circ$ açı yapacak şekilde kol ucuna monte edilmelidir. Söz konusu bu düzenekte, pandül salınım yaptıkça, numunenin yüzey pürüzlülüğünün izlenmesi için kaydırıcı kendi eksenini etrafında engel olmadan dönebilir.

Test aşamasında; deney numuneleri, mamulün tamamı veya birimin üst yüzeyini ihtiva edecek özellikte kesilmiş bir parçası olmalıdır. Her bir numune, 136×86 mm bir deney alanı sağlamalıdır. Bu çalışmada deney numunelerinin nihai ürünü olan $30,5 \times 30,5 \times 1,0$ cm plaka boyutu kullanılmıştır. Bu alan, C skalası üzerinde okumaların yapılacağı, 126 mm'lik kayma uzunluğunda ve 76 mm genişliğinde bir kaydırıcının kullanımıyla deneye tâbi tutulmalıdır. Sürtünme deney donanımı, kaydırıcı ve numuneler, deneyin başlamasından en az 2 saat önce $(20 \pm 5)^\circ$ C'lık oda sıcaklığında laboratuvar ölçümleri için muhafaza edilir. Numunenin büyüklüğüne göre uygun kaydırıcı ve deney skalası seçilmelidir. Çalışma yerlerinin zeminlerinde yapılacak ölçümlerde, deney için belirlenmiş yüzeylerde bulunan ince taneler fırça ile temizlenir ve suyla yıkanarak uzaklaştırılır. Deney yüzeyi ve kaydırıcının sıcaklığı 1° C yaklaşımla ölçülür. Yüzeyin sıcaklığı 5° C ilâ 40° C aralığının dışında ise, deney yapılmamalıdır. Sürtünme deney cihazı, sert, düz bir yüzey üzerine yerleştirilir. Destek kolunu düşey olacak şekilde seviye ayar vidalarıyla ayarlanır. Sonra, pandül kolunun serbestçe salınım yapması için pandülün askı eksenini yükseltilir.

Pandül kolu ve ibre, sağ yatay konumdan bırakıldığında deney skalasında sıfır işaretinde duracak şekilde ibre mekanizmasındaki sürtünme ayarlanır. Deney numunesi, uzun tarafı pandül hattında olacak ve lâstik kaydırıcıya ve pandül süspansiyon eksenine göre merkezde bulunacak şekilde sıkı biçimde yerleştirilerek, lâstik kaydırıcı ve pandül askı eksenine göre merkezlenir. Kaydırıcı hattının, kayma mesafesi boyunca numunenin uzun eksenine paralel olması sağlanır. Belirli kayma uzunluğunda ve lâstik kaydırıcının tüm genişliği boyunca temas ettiği numunenin üzerinden geçen pandül kolunun yüksekliği ayarlanır.

Pandül test değeri (PTV) aşağıdaki formül kullanılarak sürtünme katsayısına (COF) çevrilebilmektedir.

$$\mu = \left[\frac{110}{PTV} - \frac{1}{3} \right]^{-1} \quad (1)$$

Bu formül kullanılarak doğal taşlar üzerinde kuru ve ıslak ortamda yapılan pandül deney verilerinin, sürtünme katsayısı (COF) değerleri bulunmaktadır.

Doğal taş örnekleri, laboratuvar ölçümleri için deneyin yapılmasından önce (105 ± 5) °C sıcaklıkta kurutulur. Pandül cihazında ibre başlangıç konumuna getirilir. Yüzeyle yapılan işlemler cihazın serbest bırakma düğmesine bastırılarak pandül kolunun serbest olarak hareketi sağlanır ve kaydırıcının deney yüzeyine yeniden temas etmesinden önce geri dönüş hareketinde tutulur. Skalada okunan değer kaydedilir. Hazırlanmış mekanizmayla kaydırıcı ve yüzeyin temasını sağlayacak şekilde, kol ve ibre yeniden başlangıç konumuna getirilir. Aralarında üç birimden daha fazla bir farkın olmadığı art arda beş okuma (C skalası üzerinde) alınacak şekilde aynı işlemler tekrar edilir. F skalası kullanılırsa, art arda yapılan beş okuma arasında 0,03'ten daha fazla fark olmamalıdır. Laboratuvar ölçümleri için numune, 180° döndürüldükten sonra yeniden yerleştirilir ve bütün işlemler kontrol edilerek tekrarlanır.

Doğal taş örnekleri, laboratuvar ölçümleri için deneyin yapılmasından önce (20 ± 5) °C sıcaklıktaki su içerisinde en az 2 saat süreyle bekletilir. Pandülün her kaymasından önce deney yüzeyi ve kaydırıcı, (20 ± 5) °C sıcaklıktaki damıtık veya deiyonize su ile devamlı olarak ıslatılır. Yüzey üzerinde hareket eden deney cihazının başlığı yukarı kaldırılır ve sıfır hata için serbest kayma kontrol edilir. Laboratuvar ölçümleri için numune, 180° döndürüldükten sonra yeniden yerleştirilir ve bütün işlemler tekrar kontrol edilerek tekrarlanır. Her bir yüzey üzerinde kuru ve ıslak ortamda 6 farklı pozisyonda ölçülmüş beşli grup halindeki okuma değerlerinin ortalaması alınarak kayma direnci değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen pandül test verileri kayma potansiyeline göre Çizelge 2'de verilen sınıflama kullanılmaktadır.

Çizelge 2. Kayma direnci ve COF değerine kayma potansiyeli sınıflandırması

Sınıflama	Kayma Direnci ve COF (μ) değerleri			Kayma Potansiyeli
	Kayma direnci	COF (μ)	COF (μ)	
	1. Skala (Bowman, 2010; TS EN 14231).	2. Skala (Çoşkun, 2018)		
Z	< 24	< 0.25	< 0.19	Çok Yüksek
Y	25-34	0.25-0.34	0.20-0.37	Yüksek
X	35-44	0.36-0.46	0.38-0.55	Orta
W	45-54	0.47-0.59	0.56-0.68	Düşük
V	> 54	> 0.59	> 0.69	Çok Düşük

GMG 200 Sürtünme Katsayısı Ölçüm Test Cihazı

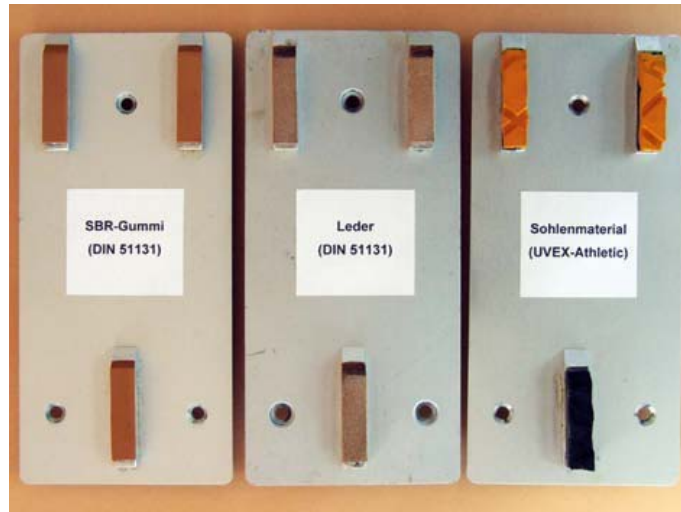
Yaya yüzey zemin kaplamalarının döşendikleri mekânda kayma risklerinin belirlenmesinde etken olan dinamik sürtünme katsayılarını belirlemek adına farklı özelliklere, farklı standartlara göre çalışan birçok test cihazı bulunmaktadır. Bu çalışmada, yaya yüzey zemin kaplamalarının dinamik sürtünme katsayılarının (DCOF) belirlenmesinde modern ve yüksek kaliteye sahip taşınabilir (mobil) TS CEN 16165 Ek-D standardına göre çalışan ve 200 değişik Zemin kaplamasının sürtünme katsayısını ölçen GMG 200 test cihazı kullanılmıştır. GMG 200 test cihazı Alman GTE şirketi tarafından geliştirilmiş taşınabilir (mobil) özellikte ve ölçümleri tekrarlanabilir, güvenilir elektronik bir test cihazıdır. Alman sağlık ve güvenlik

makamlarınca tavsiye edilmektedir. Avrupa'da birçok ülkede zemin kaplamalarının sürtünme katsayısının belirlenmesinde kullanılan bir test cihazıdır (Şekil 2).



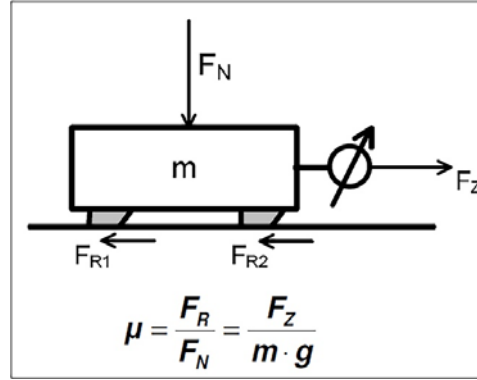
Şekil 2. Sürtünme katsayısı ölçüm test cihazı (GMG 200)

GMG 200 test cihazı tasarımı, mekanik ölçüm ve elektronik ölçüm tekniklerinin bir kayma gövdesinde birleştirilmesine dayanır, böylece tek bir sistem bileşeni ile ölçme sistemi elde edilir. Test cihazı altına takılan ve ayakkabı altlığını temsilen 3 farklı türde değiştirilebilir özellikle kullanılan özel kaydırıcılar sayesinde zeminde yürüyüş etkisi yaratarak zeminin dinamik sürtünme katsayısını ölçmektedir. Lastik papuçlar cinslerine göre kodlanmış olup, bu papuçlar cihaz tarafından otomatik olarak algılanır ve ölçüm değeri ekranda gösterilerek kaydedilir. Opsiyon olarak, kaydırıcı sistem özel malzeme gerektiren durumlar için kaydırıcı malzeme donatılmadan da tedarik edilebilir ve daha sonra yerleştirilebilir (Şekil 3).



Şekil 3. Kaydırıcı malzeme (GMG 200)

Sürtünme kuvveti, yüzey üzerindeki bir nesnenin çekilmesi için gerekli olan bir güç olarak tanımlanmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Sürtünme katsayısı ölçümü

Cihazla ölçümlere başlanmadan önce, pabuçların takıldığı ve cihazın alt kısmına takılan kızakların en az 15 dakika ortamda bekletilmesi ve ölçülecek yüzeyde birkaç kez ölçüm yapılması gerekmektedir. Daha sonra kızak altına takılan pabuçlar 320 zımpara ile 20 defa zımpara yapılarak tozlardan arındırılmalı. Zımpara vuruşu (Taşıyıcı plakaya ilave baskı yapmadan ileri ve geri hareket) kızığın boylamasına yönüne eşit şekilde ileri ve geri gitmelidir. Bu işlem her ölçümden önce tekrarlanmalıdır. Kirli zemin kaplamaları üzerinde yapılan ölçümlerde pabuçların kirlenmesi ve pütürleşmesinin giderilmesi için 120 nolu zımpara kullanılmalıdır. Daha sonra ise üzerine 320 nolu zımpara ile 40 defa tekrar bir zımpara yapılmalıdır.

Zemin kaplaması üzerinde farklı iki ortamda (kuru-ıslak) ölçümler yapılmaktadır. Ölçüm sırasında elde edilen farklı dinamik sürtünme katsayısı değerlerinin minimum, maksimum değerleri ile bütün bu değerlerin ortalamasını cihaz ekranında gösterilirken, istenilmesi halinde ölçüm sonuçları ve ölçümün grafiksel gösterimi cihazdan çıktı olarak alınabilmektedir.

Ölçüm yapılacak zemine cihaz yerleştirilir. Cihaz altında çekilen tel belirli bir mesafe çekilerek telin ucuna bağlı plakaya ayakla basılır ve cihaz çalıştırılır. Cihaz istenilen ölçü mesafesinde giderek durur. Bu işlem 5 kez tekrarlanarak elde edilen 5 ölçümün ilk 2'si atılarak kalan 3 ölçümün ortalaması alınarak kaydedilir. Elde edilen sürtünme katsayısı değerleri Çizelge 3'teki skala kullanılarak değerlendirme yapılmaktadır.

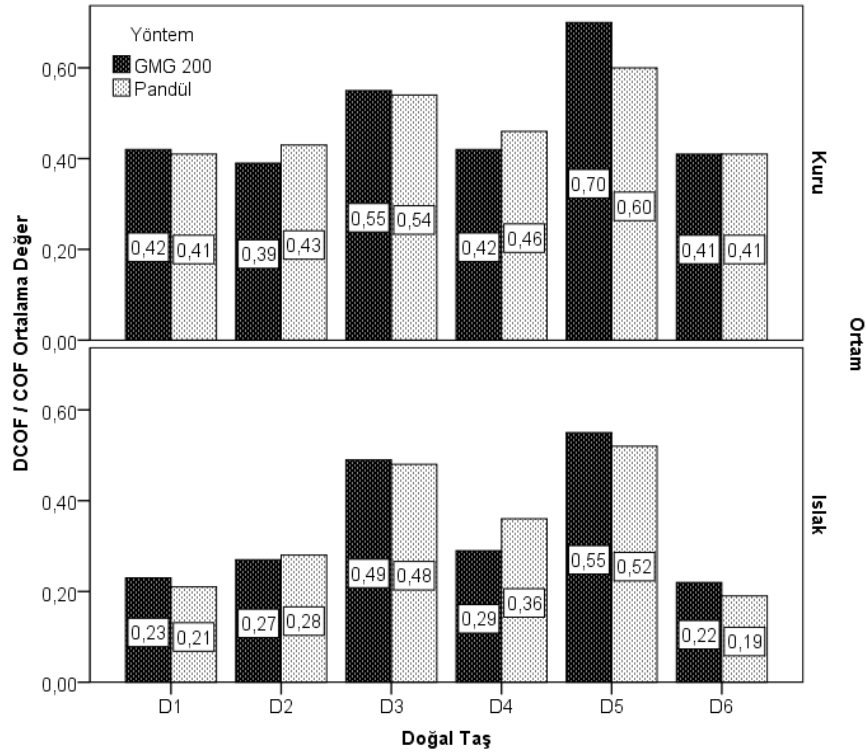
Çizelge 3. Sürtünme Katsayısı-DCOF (μ) Kaymazlık Sınıflandırma

Sürtünme Katsayısı-DCOF (μ)		Sınıflama
1. Skala (Wetzel, 2003)	2. Skala (Çoşkun ve Sarıışık, 2019)	
$\mu \geq 0.60$	$\mu \geq 0.60$	Çok Güvenli (ÇG)
$0.45 \leq \mu < 0.60$	$0.40 \leq \mu < 0.60$	Güvenli (G)
$0.30 \leq \mu < 0.45$	$0.20 \leq \mu < 0.40$	Şartlı Güvenli (ŞG)
$\mu < 0.30$	$\mu < 0.20$	Güvensiz(GZ)

BULGULAR ve DEĞERLENDİRMELER

Doğal Taşların Portatif Test Yöntemleri ile DCOF ve COF Analizi

Deneyisel çalışmada her bir doğal taş numunesinin test yüzeyi ölçümlerinden 5 veri alınmıştır. Toplam (6 doğal taş türü \times 2 ortam \times 2 yöntem \times 5 tekrarlı veri) 120 veri kullanılmıştır. Islak ve kuru ortamda doğal taşların GMG 200 ve pandül yöntemi ile DCOF- COF değerleri Şekil 5'de verilmiştir.

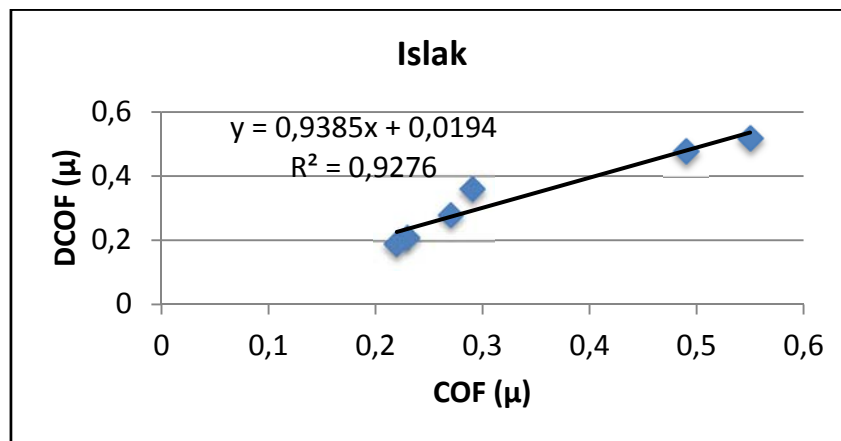


Şekil 5. Islak ve kuru ortamda doğal taşların GMG 200 ve pandül yöntemi ile DCOF / COF değerleri

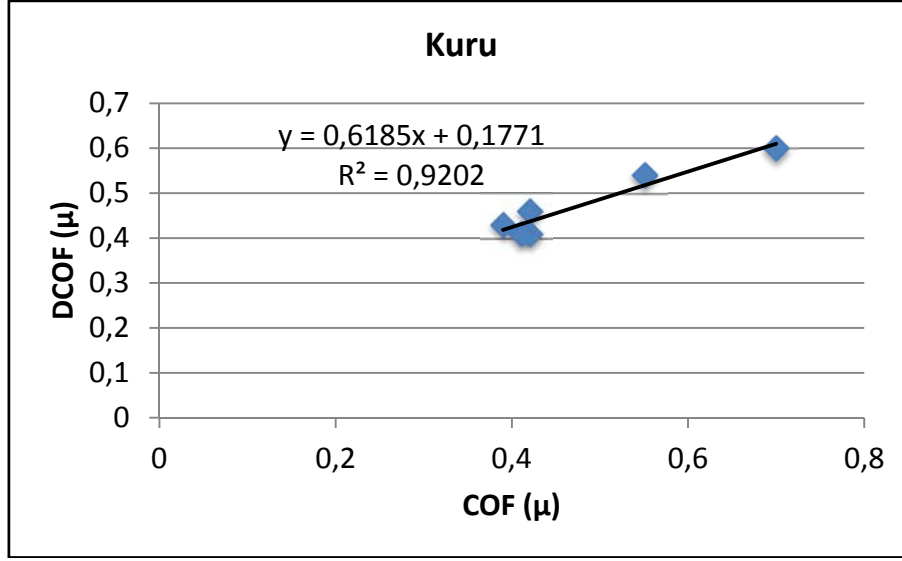
Kuru ve ıslak ortamda D1, D3 ve D5 doğal taşlarında GMG 200 yönteminde DCOF değerleri pandül yöntemindeki COF değerlerinden daha yüksek iken, D2 ve D4 doğal taşında daha düşük, D6 doğal taşında eşit çıkmıştır. Her iki yöntemde kuru ortamlardaki doğal taş DCOF ve COF değerleri ıslak ortamlardan yüksektir. Kuru ve ıslak ortamlarda D5 doğal taşı en yüksek DCOF ve COF değeri alırken, D1 ve D6 doğal taşları en düşük DCOF ve COF değeri almıştır.

Doğal taşların DCOF ve COF Değerlerinin Karşılaştırılması

Çalışmada kullanılan doğal taşların DCOF ve COF değerleri regresyon analizi ve korelasyon katsayısı ile incelenmiştir. Şekil 6 ve Şekil 7'de DCOF ve COF değerleri arasındaki regresyon analizi sonuçları verilmiştir.



Şekil 6. Islak ortamda doğal taşların DCOF ve COF değerleri arasındaki regresyon analizi



Şekil 7. Kuru ortamda doğal taşların DCOF ve COF değerleri arasındaki regresyon analizi

Çalışmada yapılan kaymazlık deneyleri sonucunda ölçülen DCOF ve COF değerleri arasında anlamlı ilişkilerin varlığı görülmüştür. Yapılan analizlerde, doğal taşlarda belirlilik katsayısı ($R^2=0.92$) değerler elde edilmiştir. Doğal taşların kaymazlık özelliklerinin tahmininde DCOF ve COF değeri önemli bir parametre olduğu anlaşılmaktadır.

Doğal Taşların DCOF ve COF Değerlerine Göre Sınıflandırılması

Islak ve kuru ortamlarda test edilen doğal taşların COF değerlerine göre Çizelge 4'de sınıflandırılması yapılmıştır.

Çizelge 4. Doğal taşların COF değerlerine göre sınıflandırılması

Saha	Zemin Türü	Kuru Ortam			Islak Ortam		
		Kayma Direnci	COF (μ)	Sınıflama (1/2)	Kayma Direnci	COF (μ)	Sınıflama (1/2)
D1	Mermer	40	0,41	O/O	21	0,21	ÇY/Y
D2	Kireçtaşı	41	0,43	O/O	28	0,28	Y/Y
D3	Traverten	50	0,54	O/O	45	0,48	O/O
D4	Granit	44	0,46	O/O	35	0,36	O/Y
D5	Bazalt	55	0,60	ÇD/D	49	0,52	D/O
D6	Suni Mermer	40	0,41	O/O	20	0,19	ÇY/ÇY

Kuru ortamlarda test edilen D1, D2, D3, D4 ve D5 doğal taşların kayma potansiyeli orta seviyede iken, D5 doğal taşı düşük seviyededir. Islak ortamlarda test edilen D3 ve D5 doğal taşların kayma potansiyeli orta seviyede iken, D1, D2 ve D4 doğal taşların yüksek, D6 suni mermerin çok yüksek seviyededir.

Islak ve kuru ortamlarda test edilen doğal taşların DCOF değerlerine göre Çizelge 5'de sınıflandırılması yapılmıştır.

Çizelge 5. Doğal taşların DCOF değerlerine göre sınıflandırılması

Saha	Zemin Türü	Kuru Ortam		Islak Ortam	
		DCOF (μ)	Sınıflama(1/2)	DCOF (μ)	Sınıflama (1/2)
D1	Mermer	0,42	ŞG/G	0,23	GZ/ŞG
D2	Kireçtaşı	0,39	ŞG/ŞG	0,27	GZ/ŞG
D3	Traverten	0,55	G/G	0,49	G/G
D4	Granit	0,42	ŞG/G	0,29	GZ /ŞG
D5	Bazalt	0,70	ÇG/ÇG	0,55	G/G
D6	Suni Mermer	0,41	ŞG/G	0,22	GZ /ŞG

Kuru ortamlarda test edilen D1, D3, D4 ve D6 doğal taşların kaymazlık sınıflaması güvenli seviyede iken, D5 doğal taşı çok güvenli, D2 doğal taşı şartlı güvenli seviyededir. Islak ortamlarda test edilen D3 ve D5 doğal taşların kaymazlık sınıflaması güvenli seviyede iken, D1, D2, D4 ve D6 doğal taşların güvensiz/şartlı güvenli seviyesindedir.

SONUÇLAR

GMG 200 ve pandül yönteminde kuru ortamlarda D3 ve D5 doğal taşların DCOF ve COF değeri yüksek olduğu için kayma riski düşüktür. Pandül yöntemi ile ıslak ortamlarda DCOF ve COF değeri düştüğünden, kayma riski daha yüksektir. Buna göre zemin kaplamalarında doğal taşların kullanımı kuru ortamlarda daha güvenli olabilir. GMG 200 ve pandül yönteminden elde edilen sonuçlara göre, ıslak ortamlarda, doğal taşların zorunlu olduğu durumlarda honlu, kumlanmış ve eskitilmiş plakalar kullanmak daha uygun olacaktır. Pandül test yöntemi dışında GMG 200 portatif test yönteminin, DIN EN 51131'e göre daha iyi bir dinamik sürtünme katsayısı (DCOF) testi olduğu tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Bowman, R. (2010). Slip resistance testing—zones of uncertainty. *Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidrio* 49(4):227–238.
- Chang, W.R. (1999). The effect of surface roughness on the measurement of slip resistance. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 24, 299–313.
- Coşkun, G. (2013). Karbonat Kökenli Bazı Doğal Taşlarda Yüzey İşleme Tekniklerinin ve Pürüzlülüğün Kayma Direncine Etkileri. Doktora Tezi., Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 293, 2013.
- Coşkun, G., Sarıışık, G., & Sarıışık, A. (2016). Classification of parameters affecting slip safety of limestones. *Cogent Engineering*, 3(1), 1217821.
- Coşkun, G. (2018). A new slip safety risk scale of natural stones with statistical K-means clustering analysis. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(24), 799.
- Coşkun, G., and Sarıışık, G. (2020). Analysis of slip safety risk by portable floor slipperiness tester in state institutions. *Journal of Building Engineering*, 27, 100953.
- DIN 51131. (2014) Testing of floor coverings - Determination of the anti-slip property - Method for measurement of the sliding friction coefficient. German.
- Grönqvist, R. (1995). Mechanisms of friction and assessment of slip resistance of new and used footwear sales on contaminated metal. *Ergonomics*, 38, 224–41.
- Grönqvist, R., Hirvonen, M., and Tohv, A. (1999). Evaluation of three portable floor slipperiness testers. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 25, 85–95.
- Kim, I.J. (1996). Microscopic investigation to analyze the slip resistance of shoes. *Proceedings of the Fourth Pan Pacific Conference on Occupational Ergonomics*, November. Taiwan, ROC, 68–73.
- Kim, I.J. (2001). Microscopic observations of the progressive wear on shoe surfaces that affect the slip resistance characteristics. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 28, 17-29.

- Leclercq, S. (1999). The prevention of slipping accidents: a review and discussion of work related to the methodology of measuring slip resistance. *Safety Science*, 31, 95–125.
- Manning, D.P., Jones, C., Rowland, F.J., Roff, M. (1998). The surface roughness of a rubber soling material determines the coefficient of friction on water-lubricated surfaces. *Journal of Safety Research*, 29, 275–283.
- Ricotti, R., Delucchi, M., Cerisola, G. (2009). A comparison of results from portable and laboratory floor slipperiness testers. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39, 353–357.
- Rowland, F.J., Jones, C., Manning, D.P. (1996). Surface roughness of footwear soling materials: Relevance to slip resistance. *Journal of Testing and Evaluation*, 24 (6), 368–376.
- Sarıışık, A. (2009). Safety analysis of slipping barefoot on marble covered wet areas. *Safety Science*, 47(10): 417–1428.
- Sarıışık, A., Akdaş, H., Sarıışık, G., Çoşkun, G. (2011). Slip Safety Analysis of Differently Surface Processed Dimension Marbles. *Journal of Testing and Evaluation*, Vol. 39.
- Strandberg, L. (1983). Ergonomics applied to slipping accidents. In: Kvalseth, T.O. (Ed.), *Ergonomics of Workstation Design*. Butterworths, London, pp. 201–228.
- TS EN 14231 (2004) Natural Stone Test Methods-Determination of the Slip Resistance by Means of the Pendulum Tester, Turkish Standards Institute, p.13
- Wetzel, C. (2013). *Entwicklung einer Rutschhemmungsmatrix für die Auswahl von Fußböden und Schuhen zur Reduzierung von Ausgleitunfällen*, Pro Business Verlag, 1-12.

**DOĞAL TAŞLARIN NOKTA YÜKÜ DAYANIM İNDEKSİ DEĞERLERİ İLE YENİLME TIPLERİNİN VE
DAVRANIŞLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ**
*EVALUATION OF THE FAILURE MODES AND BEHAVIOURS OF NATURAL STONES WITH POINT LOAD
STRENGTH INDEX VALUES*

D. Akbay ^{1,*}, R. Altındağ ², N. Şengün ²

¹ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çan Meslek Yüksekokulu, Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü
(*Sorumlu yazar: denizakbay@comu.edu.tr)

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Kayaçların maruz kaldıkları yükler sonucunda yenildikleri andaki şekil değiştirmeleri kayacın jeolojik ve jeoteknik parametrelerine göre farklılık göstermektedir. Bu ortaya çıkan yenilme şekilleri ölçülmesi ve tahmin edilmesi zor, karmaşık sistemlerdir. Bu çalışmada nokta yükü dayanım indeksi deneyi sonucunda doğal taşlarda meydana gelen yenilme tipleri ve davranışları incelenmiştir. Bunun için Türkiye'nin farklı bölgelerinden temin edilen farklı fiziksel, mekanik ve dokusal özelliklere sahip 15 farklı doğal taş numunesine (sekiz sedimenter, iki magmatik, beş metamorfik) nokta yükü dayanım indeksi deneyleri uygulanmıştır. Deneyler sonucunda doğal taşların nokta yükü dayanım indeksi değerleri ile oluşan yenilme tipleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Kayacın nokta yükü dayanım indeksi deneyi sonunda oluşan yenilme tipinin kayacın jeolojik kökeninden ve nokta yükü dayanım indeksinden bağımsız olarak meydana geldiği belirlenmiştir. Ayrıca nokta yükü dayanım indeksi ile bazı fiziksel ve mekanik özellikler arasındaki ilişkiler incelenmiş, nokta yükü dayanım indeksi ile tek eksenli basınç dayanımı arasında doğrusal ve güçlü bir ilişki belirlenmiştir.

Anahtar sözcükler: Nokta yükü dayanım indeksi, kırılma tipi, kırılma davranışı, doğal taş, mermer.

ABSTRACT

As a result of the rocks being exposed to the loads, the failure modes are changed depending on the geological and geotechnical parameters of the rock. These failure modes are complex systems that are difficult to estimate and measure. In this study, the failure modes and behaviours occurring in natural stones were examined as a result of the point load strength index experiment. Point load strength index experiments were applied to 15 different natural stone samples with different physical, mechanical and textural properties (eight sedimentary, two magmatic, five metamorphic) from different regions of Turkey. The relationships between the point load strength index values of natural stones and failure modes were investigated. It was determined that the failure mode that occurred at the end of the point load strength index test of the rock occurred independently of the geological origin of the rock and the point load strength index. In addition, the point load strength Index and some physical and mechanical properties were examined, and a linear and strong correlation was determined between the point load strength index and uniaxial compressive strength.

Keywords: Point load strength index, failure mode, failure behaviour, natural stone, marble.

GİRİŞ

Kayaların dayanımının ve deformasyon mekanizmalarının belirlenmesi, jeoteknik problemlerin anlaşılabilmesi ve çözüm üretilebilmesi için bilinmesi gereken en önemli parametrelerdir. Yük altındaki kayaçların yenildikleri andaki şekil değiştirmeleri ve kırılma tipleri standart bir mekanik model ile açıklanamayan karmaşık sistemlerdir (Santarelli ve Brown, 1989). Birçok araştırmacı konuyu çevresel basınç, malzemenin kompozisyonu, malzemenin kırılma dayanımı, gevrekliği, sünekliği ve barındırdığı süreksizlikler gibi faktörlerle açıklamaya çalışmıştır (Tang vd., 2016). Bu faktörlerin kayanın mekanik davranışlarını birlikte kontrol ettiği bilinse de, kayanın içinde barındırdığı kusurların bu konuda baskın bir rol oynadığı çeşitli araştırmacılar tarafından vurgulanmıştır (Ashby ve Sammis, 1990; Basu vd., 2009, 2013a; Szwedzicki, 2007). Hudson (1989) kayaların içindeki dairesel bir tünelin etrafındaki çevresel gerilmelerin yenilmeye neden olabileceği düşünüldüğünde, böyle durumlarda yenilme tiplerini anlamının esas olacağını söylemiştir. Basit bir matematiksel veya sayısal analiz modelinin kayalardaki kırılma gelişiminin doğasını belirleyemediğinden, Bieniawski (1984) kayanın fiziksel modellerinin, özellikle yenilme tiplerinin laboratuvar ölçeğinde incelendiğinde yararlı bilgiler sağlayabileceğini öne sürmüştür. Hudyma vd. (2004) tek eksenli basma dayanımı testinin, kaya kütlelerinin yenilme tiplerinin anlaşılmasında yardımcı olabileceğini vurgulamışlardır.

Araştırmacılar tarafından çeşitli kaya örnekleri üzerinde üç eksenli ve tek eksenli basınç durumu altında oluşan yenilme tiplerini gözlemlemek için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bazı araştırmacılar üç eksenli basınç dayanımı testinde uygulanan çevresel basıncın kayanın yenilme tipi üzerindeki etkisini incelemişler ve yüksek oranda birbiri ile uyumlu sonuçlar bulmuşlardır (Jaeger ve Cook, 1979; Klein vd., 2001; Santarelli ve Brown, 1989). Santarelli ve Brown, (1989) farklı kaya örneklerini kullanarak yaptıkları çalışmaya dayanarak, yenilmenin kayanın mikro yapısına bağlı olarak farklı şekillerde kendini gösterebileceği sonucuna varmışlardır. Szwedzicki (2007) ve Basu vd. (2009) aynı kayadan hazırlanmış numuneler üzerinde deneyler yapılsa bile, mevcut mikro çatlaklar nedeniyle çok çeşitli tek eksenli basınç dayanımı değerleri ve yenilme tipleri gözlenebileceğini belirtmişlerdir. Tang vd. (2016) tek eksenli basınç altındaki kaya ve zeminin yenilme davranışına ilişkin mekanik bir kriter model geliştirmişler ve geliştirdiklerin modelin, mevcut literatürdeki çalışmaların sonuçlarını ve çökme vakalarını açıkladığını görmüşlerdir. Ancak, kaya mekaniğinde malzemenin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde sıkça kullanılan indeks testlerin sonucunda oluşan yenilme tiplerinin incelediği sınırlı sayıda çalışma yapılmıştır. Basu vd. (2013b) üç farklı kaya örneği üzerinde tek eksenli basma dayanımı, dolaylı çekme dayanımı ve nokta yükü dayanım indeksi ($I_{s(50)}$) deneyleri gerçekleştirmişler ve dayanım değerleri ile yenilme tipleri arasındaki ilişkiyi belirlemeye çalışmışlardır. Everall ve Sanislav (2018) daha önce deforme olmuş kayaçlar üzerinde, kuvvet ve deformasyon davranışını belirlemek için tek eksenli basınç dayanımı, dolaylı çekme dayanımı ve $I_{s(50)}$ testlerini kullanarak, bu şartlar altında kayaçların yenilme tiplerini ve davranışlarını nedenleri ile birlikte araştırmışlardır.

Üç eksenli ve tek eksenli basma dayanımı testlerinden farklı olarak, uygulanması kolay, hızlı ve ucuz olan, numune hazırlama işlemi gerektirmeyen veya kaliteli işlenmiş numune ihtiyacı olmayan indeks testler, kaya malzemesinin dayanımını tespit etmek için her zaman bir seçenek olmuşlardır. $I_{s(50)}$ deneyi de adından da anlaşıldığı üzere indeks bir deneydir. $I_{s(50)}$ deneyi, iki konik başlık arasına yerleştirilen kayaç örneğinin kırılması esasına dayanmaktadır. Araştırmacılar $I_{s(50)}$ 'ni, kayaçların dayanım değerlerinin tahmininde (Al-Jassar ve Hawkins, 1979; Bieniawski, 1975; Broch ve Franklin, 1972; Norbury, 1986; Wijk, 1980), kayaların dayanımlarına göre sınıflandırılmasında (Bieniawski, 1975; Guidicini vd., 1973), kayaların anizotropisinin saptanmasında (Broch, 1983; Greminger, 1982), RMR kaya kütle sınıflama sisteminde (Bieniawski, 1989), tünel açma makinalarının ilerleme hızlarının kestiriminde (McFeat ve Tarkoy, 1979), kayaların kazılabilirlik sınıflama sistemlerinde dayanım parametresi olarak (Pettifer ve Fookes, 1994) ve kayaların maruz kaldıkları dış etkenlere karşı dayanıklılıkları ile ilgili yaptıkları çalışmalarda (Rodrigues ve Jeremias, 1990) kullanmışlardır. Bu çalışmada doğal taşların $I_{s(50)}$ değerleri ile oluşan kırılma tipleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Bunun için Türkiye'nin farklı

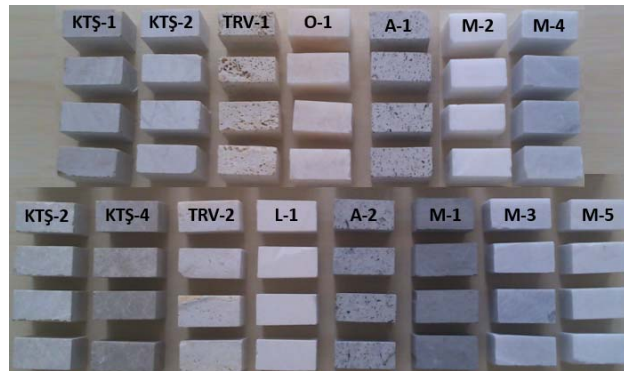
bölgelerinden temin edilen farklı fiziksel, mekanik ve dokusal özelliklere sahip 15 farklı doğal taş örneğine (sekiz sedimanter, iki magmatik, beş metamorfik) $I_{s(50)}$ deneyleri uygulanmıştır. Deneyler sonucunda doğal taşların $I_{s(50)}$ ve oluşan kırılma tipleri her kayaç grubu için ayrı ayrı belirlenmiştir. Kayacın $I_{s(50)}$ değeri ile kırılma tipi, oluşan parça sayısı vs. arasında herhangi bir ilişki olup olmadığı araştırılmıştır. Ayrıca kayaçların $I_{s(50)}$ değerleri ile bazı fiziksel ve mekanik özellikler arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

MATERYAL VE METOT

Çalışma kapsamında ülkemizin çeşitli bölgelerinden 15 farklı doğal taş temin (Çizelge 1) edilmiştir. $I_{s(50)}$ deneyleri temin edilen doğal taşlardan hazırlanan prizmatik numuneler üzerinde uygulanmıştır (Şekil 1). Her deneyden sonra örneğin kırılan parçaları hemen bira araya getirilmiş ve parça sayıları belirlenmiştir. Ayrıca ortaya çıkan taze yüzey hemen fotoğraflanarak yenilmenin mevcut alterasyon veya süreksizlik kaynaklı olup olmadığı tespit edilmiş ve yenilme sonucu ortaya çıkan kırık yüzeyin alanının hesaplanabilmesi için kırık yüzeyin boyutları ölçülmüştür (Şekil 2).

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan doğal taşlar

Kayaç Adı	Kayaç Kodu	Köken
Kireçtaşı-1	KTŞ-1	Sedimanter
Kireçtaşı-2	KTŞ-2	Sedimanter
Kireçtaşı-3	KTŞ-3	Sedimanter
Kireçtaşı-4	KTŞ-4	Sedimanter
Traverten-1	TRV-1	Sedimanter
Traverten-2	TRV-2	Sedimanter
Oniks-1	O-1	Sedimanter
Killi kireçtaşı-1	L-1	Sedimanter
Andezit-1	A-1	Magmatik
Andezit-2	A-2	Magmatik
Mermer-1	M-1	Metamorfik
Mermer-2	M-2	Metamorfik
Mermer-3	M-3	Metamorfik
Mermer-4	M-4	Metamorfik
Mermer-5	M-5	Metamorfik



Şekil 1. $I_{s(50)}$ deneyi için hazırlanan prizmatik numuneler



Şekil 2. Deney sonrası yapılan gözlemler ve ölçümler

Fiziksel ve Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi

Çalışmada kullanılan doğal taşların bazı fiziksel ve mekanik özellikleri ilgili standartlarda önerildiği şekilde belirlenmiştir. Doğal taşların kuru birim hacim ağırlık değerleri, ağırlıkça su emme değerleri ve görünür gözeneklilik değerleri kenar uzunluğu 50 mm olan küp numuneler kullanılarak TS EN 1936 (2010) standardında belirtildiği şekilde belirlenmiştir. Sismik hız deneyleri kenar uzunluğu 70 mm olan küp numuneler üzerinde TS EN 14579 (2006) standardına uygun olarak yapılmıştır. Tek eksenli basınç dayanımı (σ_c) deneyleri kenar uzunluğu 50 mm olan küp numuneler kullanılarak TS EN 1926 (2013) standardında belirtildiği şekilde uygulanmıştır. Deneyler en az 5 numune üzerinde tekrarlanmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 3’de verilmiştir.

Nokta Yüğü Dayanım İndeksi

Nokta yüğü dayanım indeksi deneyleri için 50 x 50 x 25 mm boyutlarında prizmatik numuneler hazırlanmıştır. Deneyler her bir kayaç için en az dört kez tekrarlanmıştır. Yükleme işleminin kayacın tam orta noktasından gerçekleştirilebilmesi için örnekler deneyden önce köşegenlerinden çizilerek orta noktaları işaretlenmiştir (Şekil 3). Deneyler ELE marka, 56 kN kapasiteli, klasik nokta yüğü dayanım indeksi deney aleti kullanılarak yapılmıştır (Şekil 4). Deneyler ISRM (1985)’de belirtilen standartlara uyularak gerçekleştirilmiştir. Nokta yüğü dayanım indeksi değerleri Eşitlik 1-4 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$D_e = 1,128\sqrt{W \times D} \quad (1)$$

Burada;

- De: Eşdeğer çap, mm
D: Numune kalınlığı, mm
W: Numune genişliği, mm

$$I_s = \frac{P}{D_e^2} \quad (2)$$

Burada;

- I_s: Düzeltilmemiş nokta yük dayanım indeksi, MPa
P: Kırılma yükü, N
D_e: Eşdeğer çap, mm

$$F = \left(\frac{D_e}{50}\right)^{0,45} \quad (3)$$

Burada;

- F : Düzeltme faktörü

D_e : Eşdeğer çap, mm

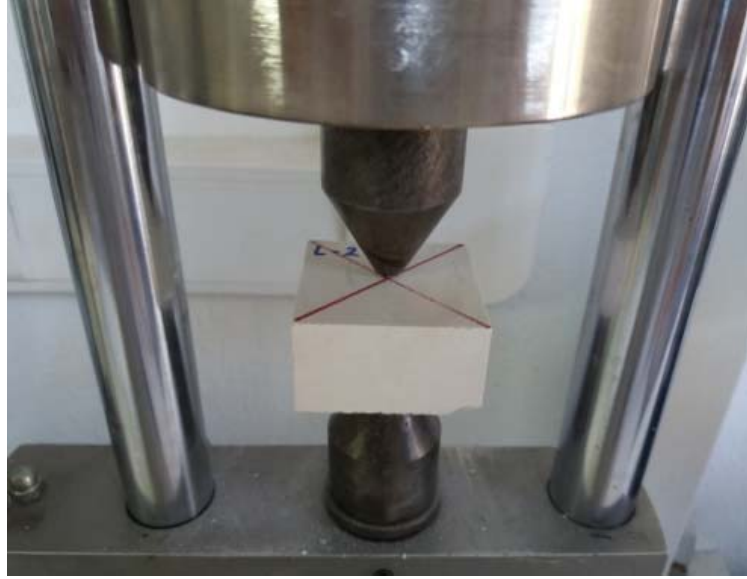
$$I_{s(50)} = I_s \times F \quad (4)$$

Burada;

$I_{s(50)}$: Düzeltmiş nokta yük dayanım indeksi, MPa

I_s : Düzeltilmemiş nokta yük dayanım indeksi, MPa

F : Düzeltme faktörü



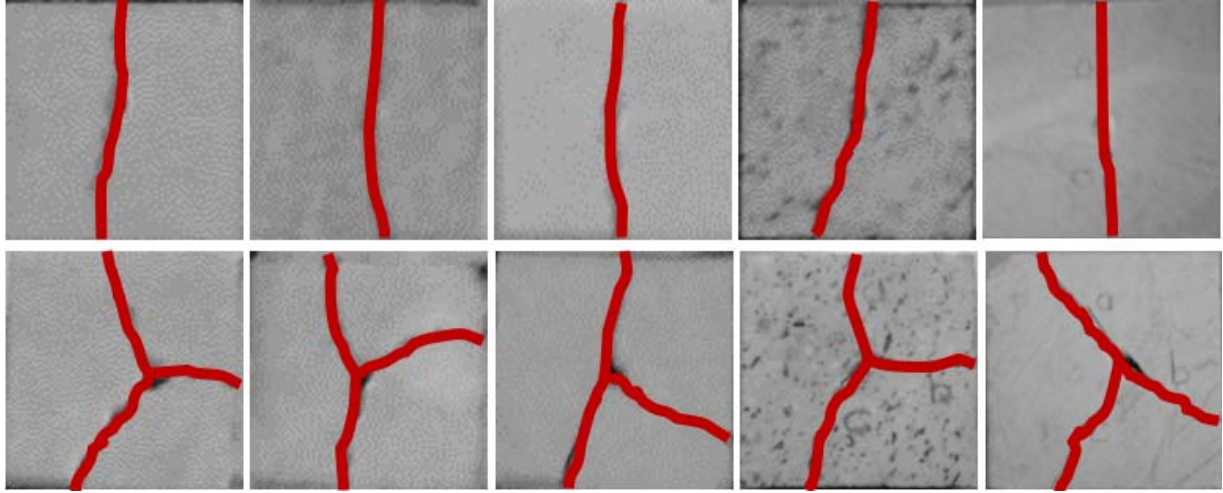
Şekil 3. Deney numunesinin deney aletindeki konumu



Şekil 4. Deneylerde kullanılan deney aleti

ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışmada toplam 64 örnek (kireçtaşı, traverten, oniks, bazalt, andezit) üzerinde $I_{s(50)}$ deneyleri uygulanmıştır. Örnekler derinliğe bağlı oluşabilecek farklılıklardan kaçınabilmek için yatay levhalardan prizmatik olarak hazırlanmıştır. 64 örnekten 63 adedi ISRM (1985; 2007) tarafından öngörüldüğü şekilde geçerli modlarda yenilmiş sadece bir deney sonunda geçersiz moda yenilme meydana gelmiştir. Deneyler sonunda gözlemlenen geçerli yenilme modları Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Deneyler sonunda tespit edilen geçerli yenilme tipleri

Deneyler sonucunda hesaplanan $I_{s(50)}$ değerleri ile gözlemlenen yenilme tipleri Çizelge 2'de verilmiştir. Çizelge 2'ye bakıldığında oluşan yenilme tiplerinin üç ana grupta toplandığı görülmektedir. "a" tipi yenilme; örneği iki parçaya ayıran yükleme hattı boyunca meydana gelmiş tek bir kırık, "b" tipi yenilme; örneği üç parçaya ayıran yükleme hattı boyunca meydana gelmiş büyük bir kırık ve ona yaklaşık dik olarak gelişmiş ikinci bir kırık ve "c" tipi yenilme; örneği dört parçaya ayıran yükleme hattında birbirine yaklaşık dik olarak gelişmiş ikiden fazla kırık. Çizelge 2 incelendiğinde örneklerin 41 adedinde "a" tipi, 22 adedinde "b" tipi yenilme şeklinin meydana geldiği görülmektedir. Bu çalışmada incelenen kayalar içerisinde en sık görülen yenilme tipinin "a" tipi yenilme (%64) olduğu belirlenmiştir. Her üç kayaçtan birinde "b" tipi yenilmenin meydana geldiği görülmektedir. Tüm deneyler içinde sadece bir adet deney sonunda "c" tipi yenilme gerçekleşmiştir.

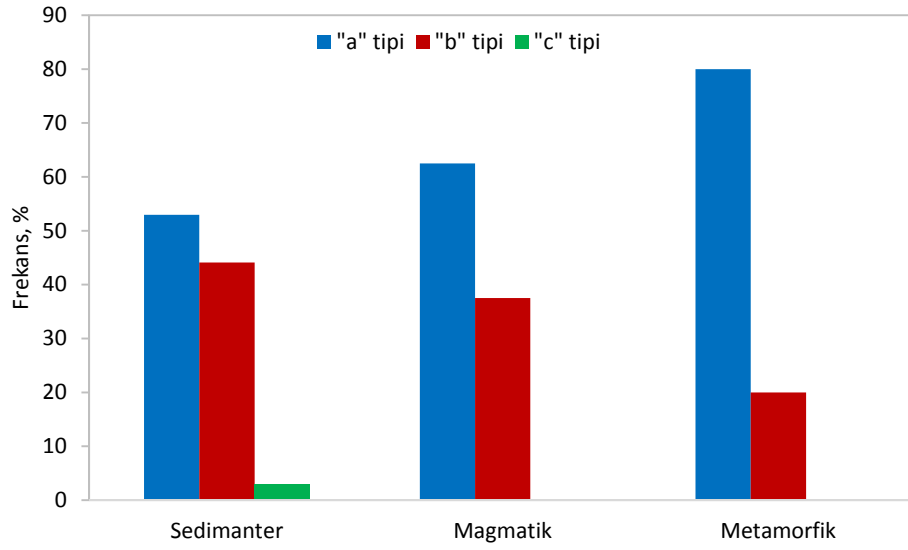
Çizelge 2. Kayaçların $I_{s(50)}$ değerleri ve gözlemlenen yenilme tipleri (“a” tipi yenilme, “b” tipi yenilme, “c” tipi yenilme)

Kayaç Kodu	$I_{s(50)}$ MPa	Yenilme Tipi			
KTŞ-1	6,09	(a)	(a)	(b)	(a)
KTŞ-2	5,20	(a)	(a)	(a)	(a)
KTŞ-3	5,74	(b)	(b)	(a)	(b)
KTŞ-4	5,30	(c)	(b)	(a)	(b)
TRV-1	2,43	(a)	(b)	(a)	(b)
TRV-2	4,25	(b)	(a)	(a)	(a)
O-1	2,12	(a)	(b)	(a)	(a)
L-1	2,43	(a)	(b)	(b)	(a)
A-1	4,40	(a)	(a)	(b)	(a)
A-2	6,96	(b)	(a)	(a)	(b)

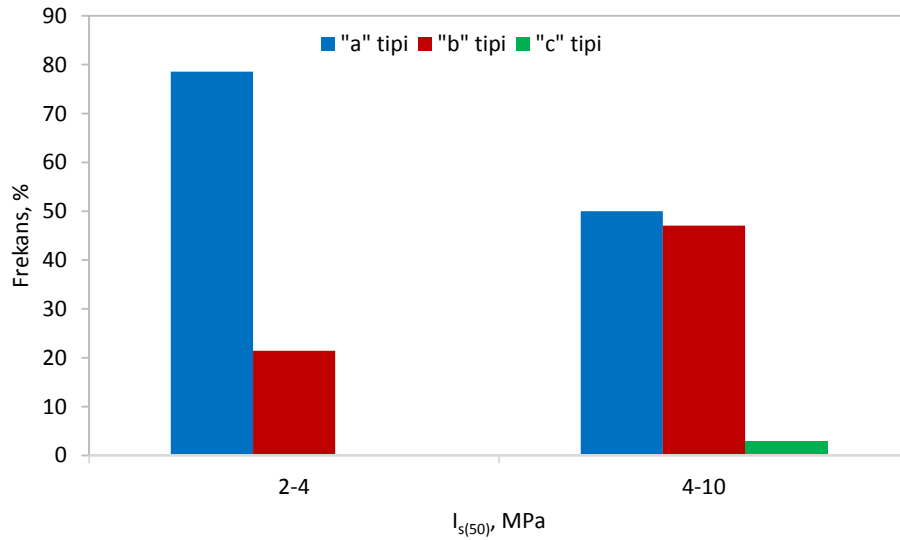
Çizelge 2'nin devamı

Kayaç Kodu	$I_{s(50)}$ MPa	Yenilme Tipi			
M-1	3,64	(b)	(b)	(b)	(a)
M-2	2,71	(a)	(a)	(a)	(a)
M-3	3,29	(a)	(a)	(a)	(a)
M-4	3,31	(a)	(a)	(a)	(a)
M-5	2,90	(a)	(a)	(a)	(a)

Çalışmada incelenen kayaçların jeolojik kökenlerine ve $I_{s(50)}$ değerlerine göre, $I_{s(50)}$ deneyleri sonucunda oluşan yenilme tiplerinin görülme sıklığı sırasıyla Şekil 6 ve 7'de sunulmuştur. Sedimanter kayaçlarda "a" tipi yenilmenin meydana gelme sıklığı %53, "b" tipi yenilmenin görülme sıklığı %44, geçersiz yenilme tipinin görülme sıklığı da %3 olarak; magmatik kayaçlarda "a" tipi yenilmenin meydana gelme sıklığı %63, "b" tipi yenilmenin görülme sıklığı %38, metamorfik kayaçlarda "a" tipi yenilmenin meydana gelme sıklığı %80, "b" tipi yenilmenin görülme sıklığı %20 olarak hesaplanmıştır (Şekil 6). Şekil 7'de kayaçlar Bieniawski'nin (1989) RMR'da önerdiği dayanım sınıflamasına göre gruplandırılmış ve farklı dayanım sınıfında yer alan kayaçlara ait oluşan yenilme tiplerinin dağılımı incelenmiştir. $I_{s(50)}$ değeri 2-4 MPa (orta dayanım) olan kayaçlarda "a" tipi yenilmenin görülme sıklığı %79, "b" tipi yenilmenin görülme sıklığı %21, $I_{s(50)}$ değeri 4-10 MPa (yüksek dayanım) olan kayaçlarda "a" tipi yenilmenin görülme sıklığı %50, "b" tipi yenilmenin görülme sıklığı %47, geçersiz yenilme tipinin görülme sıklığı da %3 olarak belirlenmiştir.



Şekil 6. Jeolojik kökenlerine göre kayalarda belirlenen yenilme tipleri

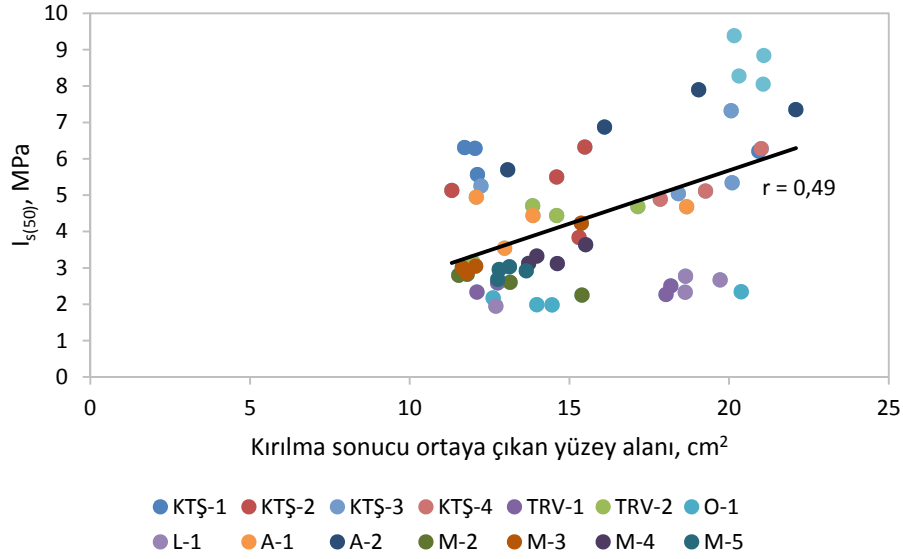


Şekil 7. Farklı $I_{s(50)}$ değeri aralıklarında belirlenen yenilme tipleri

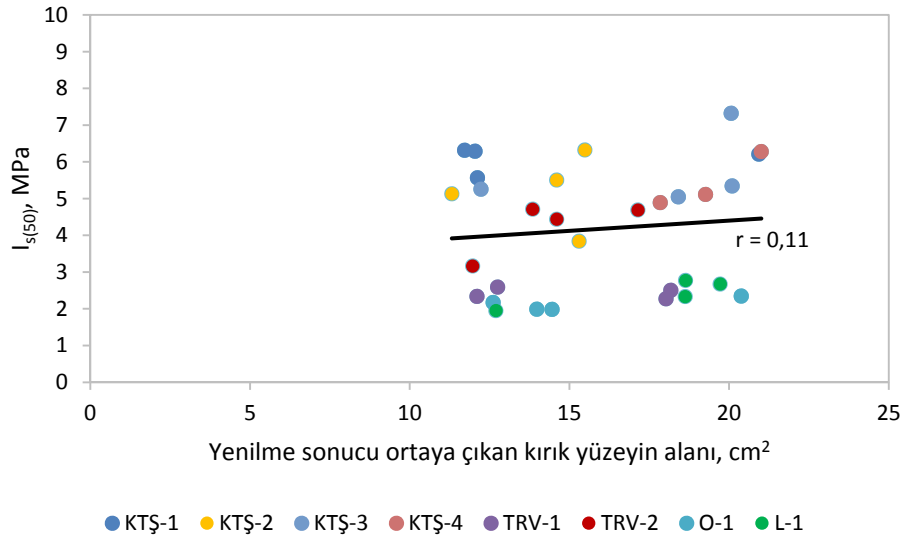
Çalışma kapsamında $I_{s(50)}$ değeri ile oluşan yenilme tipi ve parça sayısına bağlı olarak ortaya çıkan kırık yüzeyin alanı arasında bir ilişki olup olmadığını inceleyebilmek için dağılım grafiği çizdirilmiş ve aralarında çok zayıf bir ilişki olduğu belirlenmiştir (Şekil 8). Kayalar jeolojik kökenlerine göre gruplandırılarak $I_{s(50)}$ değeri ile oluşan yenilme tipi ve parça sayısına bağlı olarak ortaya çıkan kırık yüzeyin alanı arasında bir ilişki olup olmadığını inceleyebilmek için dağılım grafikleri çizdirilmiş, sedimanter kayalar ile ortaya çıkan kırık yüzeyin alanı arasında anlamlı bir ilişki olmadığı, magmatik kayalar ile ortaya çıkan kırık yüzeyin alanı arasında orta derecede bir ilişki olduğu, metamorfik kayalarda ise $I_{s(50)}$ değeri ile oluşan yenilme tipi ve parça sayısına bağlı olarak ortaya çıkan kırık yüzeyin alanı arasında oldukça yüksek korelasyon katsayısına sahip ($r = 0,93$) bir ilişki olduğu görülmüştür (Şekil 9-11).

Kayalar Bieniawski'nin (1989) RMR'da önerdiği dayanım sınıflamasına göre gruplandırılarak $I_{s(50)}$ değeri ile oluşan yenilme tipi ve parça sayısına bağlı olarak ortaya çıkan kırık yüzeyin alanı arasında bir ilişki olup olmadığını inceleyebilmek için dağılım grafikleri çizdirilmiş, $I_{s(50)}$ değeri 2-4 MPa (orta dayanım)

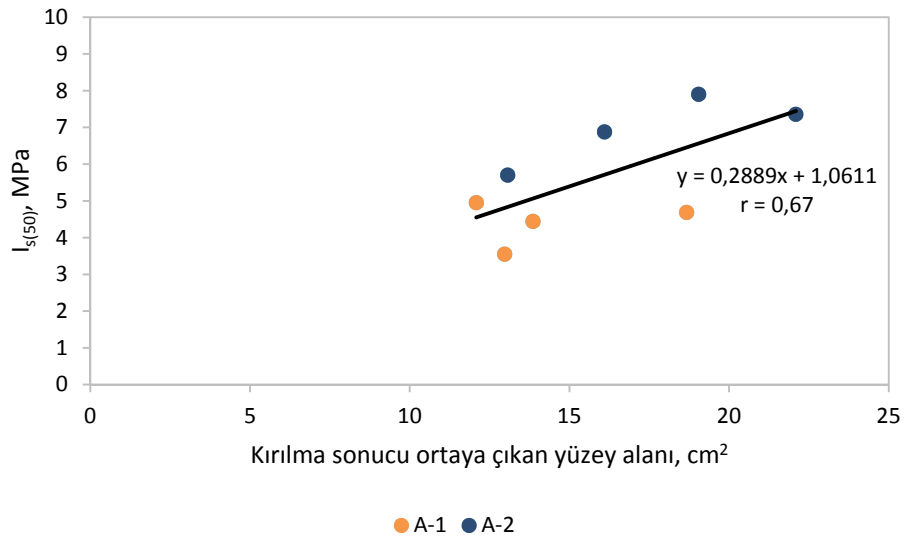
olan kayalarda anlamlı bir ilişki olmadığı görülmüş, $I_{s(50)}$ değeri 4-10 MPa (yüksek dayanım) olan kayalarda ise $I_{s(50)}$ değeri ile oluşan yenilme tipi ve parça sayısına bağlı olarak ortaya çıkan kırık yüzeyin alanı arasında orta derecede anlamlı sayılabilecek $r = 0,59$ korelasyon katsayısına sahip bir ilişki belirlenmiştir (Şekil 12-13).



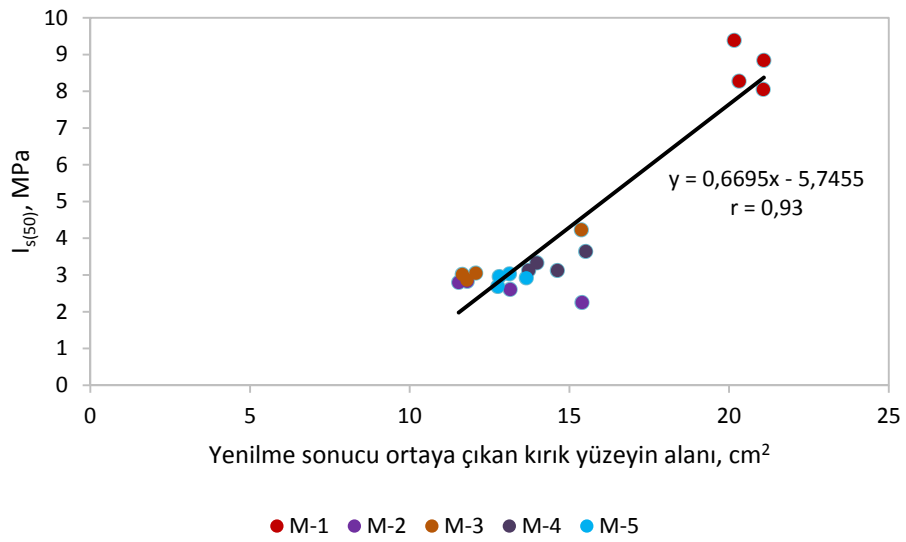
Şekil 8. Yenilme sonucu oluşan kırık yüzeyin alanı ile $I_{s(50)}$ değerleri arasındaki ilişki



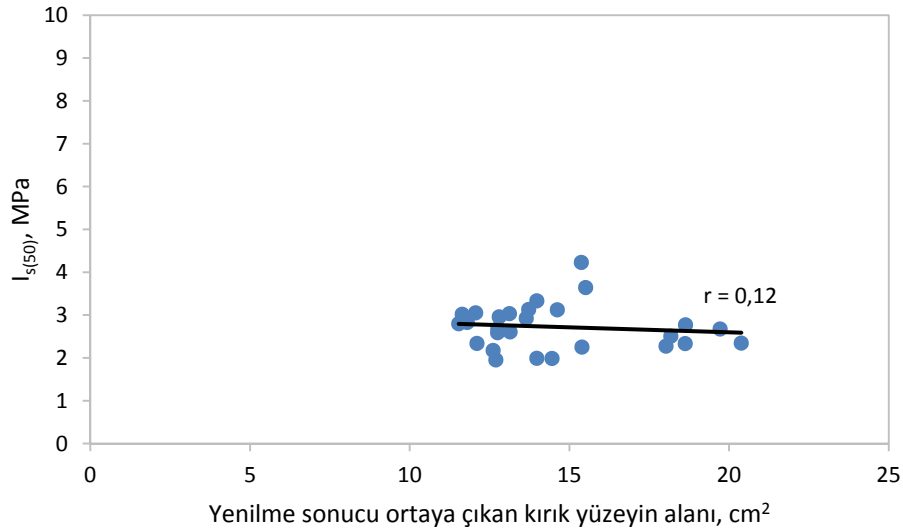
Şekil 9. Sedimanter kayalarda yenilme sonucu oluşan kırık yüzeyin alanı ile $I_{s(50)}$ değerleri arasındaki ilişki



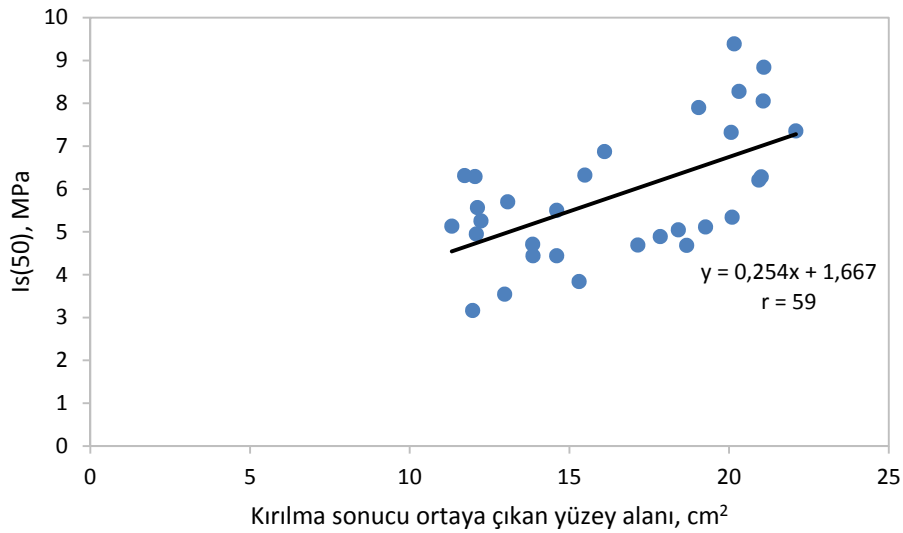
Şekil 10. Magmatik kayalarda yenilme sonucu oluşan kırık yüzeyin alanı ile I_{s(50)} değerleri arasındaki ilişki



Şekil 11. Metamorfik kayalarda yenilme sonucu oluşan kırık yüzeyin alanı ile I_{s(50)} değerleri arasındaki ilişki



Şekil 12. $I_{s(50)}$ değeri 2-4 MPa olan kayalarda yenilme sonucu oluşan kırık yüzeyin alanı ile $I_{s(50)}$ değerleri arasındaki ilişki



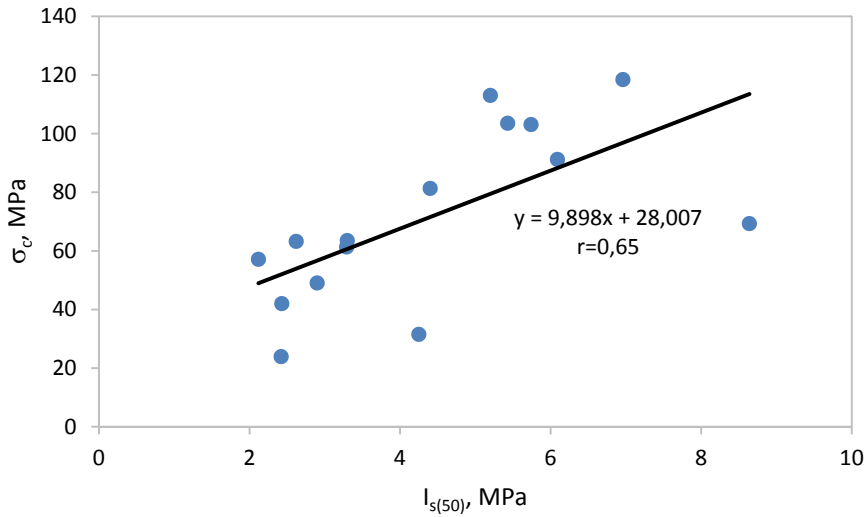
Şekil 13. $I_{s(50)}$ değeri 4-10 MPa olan kayalarda yenilme sonucu oluşan kırık yüzeyin alanı ile $I_{s(50)}$ değerleri arasındaki ilişki

Çalışma kapsamında kullanılan doğal taşların bazı fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiş (Çizelge 3) ve bu özellikler ile kayaların $I_{s(50)}$ değerleri arasındaki ilişkiler irdelenmiştir. Bunun için fiziksel ve mekanik özellikler ile $I_{s(50)}$ değerlerine karşılık dağılım grafikleri çizilmiş ve ilişki korelasyon katsayıları belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan kayalar için sadece $I_{s(50)}$ ile σ_c arasında anlamlı ve doğrusal bir ilişki olduğu görülmüştür (Şekil 14).

Çizelge 3. Çalışmada kullanılan kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri

Kayaç Kodu	BHA		ASE		P _g		V _p		σ _c	
	g/cm ³	Std.	%	Std.	%	Std.	m/s	Std.	MPa	Std.
KTŞ-1	2,701	0,002	0,117	0,021	0,315	0,056	6432	27	91,2	10,8
KTŞ-2	2,694	0,028	0,822	0,158	2,212	0,408	5592	140	113,0	29,6
KTŞ-3	2,686	0,005	0,182	0,046	0,488	0,123	6414	92	103,1	25,0
KTŞ-4	2,649	0,003	0,808	0,039	2,141	0,100	6073	54	103,5	25,4
TRV-1	2,252	0,029	3,716	0,121	8,370	0,282	5412	280	23,9	10,0
TRV-2	2,430	0,026	2,312	0,164	5,613	0,337	4389	177	31,5	5,0
O-1	2,724	0,000	0,049	0,007	0,134	0,018	4441	994	57,1	12,3
L-1	2,277	0,027	4,661	0,120	10,616	0,329	3743	233	42,0	10,5
A-1	2,299	0,006	3,157	0,076	7,258	0,159	3143	45	81,3	4,7
A-2	2,330	0,057	2,355	0,075	5,486	0,111	4712	55	118,4	10,2
B-1	2,708	0,012	1,519	0,125	4,114	0,321	5182	117	142,3	6,1
M-1	2,678	0,045	1,387	0,040	3,716	0,163	4451	231	69,3	18,6
M-2	2,709	0,001	0,093	0,006	0,252	0,015	3699	239	63,2	9,2
M-3	2,677	0,079	0,078	0,008	0,208	0,020	4052	196	61,3	8,2
M-4	2,711	0,002	0,064	0,005	0,174	0,013	4377	130	63,5	13,9
M-5	2,710	0,001	0,088	0,011	0,238	0,029	4426	168	49,0	14,2

BHA: Kuru birim hacim ağırlık; ASE: Atmosfer basıncında ağırlıkça su emme; P_g: Görünür gözeneklilik; V_p: P-dalga hızı; σ_c: Tek eksenli basınç dayanımı

Şekil 14. I_{s(50)} ile σ_c arasındaki ilişki

SONUÇLAR

Bu çalışmada farklı jeolojik kökene sahip kayaçların nokta yükü dayanımı altında oluşan yenilme tipleri incelenmiştir. Noktasal yükleme altındaki bir kayaçta en sık karşılaşılan yenilme tipinin tek bir düzlem boyunca meydana gelmiş iki parçalı yenilme tipi ("a" tipi) olduğu görülmüştür. Her dayanım değeri ve kayaç tipi için de her iki geçerli yenilme tipinin de ("a" ve "b" tipi) meydana geldiği, bunun sebebinin yükleme anında biriken gerilme enerjisinin mümkün olan en kısa sürede açığa çıkmak için, örneklerde bulunan mevcut mikro-yapısal bozukluklara bağlı olarak gelişmesinden kaynaklandığı

düşünülmektedir. Oluşan yenilme tipinin kayacın $I_{s(50)}$ değeri ve kayacın jeolojik kökeninden bağımsız olarak meydana geldiği belirlenmiştir.

$I_{s(50)}$ değeri ile oluşan yenilme tipi ve parça sayısına bağlı olarak ortaya çıkan kırık yüzeyin alanı arasındaki ilişkilere, kayaçlar jeolojik kökenlerine gruplandırılıp bakıldığında, sedimanter kayaçlarda anlamlı bir ilişki olmadığı, magmatik kayaçlarda orta derecede bir ilişki olduğu, metamorfik kayaçlarda ise oldukça yüksek korelasyon katsayısına sahip ($r = 0,93$) bir ilişki olduğu görülmüştür. Metamorfik kayaçlarda mineral kompozisyonunun ve tane yapısının sedimanter ve magmatik kayaçlara göre daha homojen olmasından dolayı ve oluşum mekanizmasının doğası gereği yapısal kusurların eşit dağılmasından dolayı böyle bir sonuç ortaya çıkmış olması muhtemeldir. Bunun tespiti için çalışmada kullanılan kayaçların detaylı bir mineralojik ve petrografik incelemeden geçmesi gerektiği aşikardır.

Literatürde mevcut olan çalışmalardan elden edilen sonuçlara benzer şekilde $I_{s(50)}$ ile σ_c arasında korelasyon katsayısı yüksek ve doğrusal bir ilişki belirlenmiştir.

Bu çalışma göstermiştir ki kayaçların noktasal yüke maruz kalmaları sonucunda oluşacak yenilme tipi hiçbir basit matematiksel veya sayısal analiz modeli ile tahmin edilememekte/açıklanamamaktadır. Bu nedenle yeraltı açıklarının tahkimat tasarımında $I_{s(50)}$ değeri doğrudan ve tek başına kullanılmamalıdır. Kayaçların maruz kaldıkları yüklere göre oluşacak yenilme tiplerini tahmin etmek ve sistemi açıklamak adına birçok kayaç parametresinin aynı anda değerlendirildiği çalışmalar yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Al-Jassar, S.H.; Hawkins, A.B. (1979). Geotechnical Properties of The Carboniferous Limestone of The Bristol Area The Influence of Petrography And Chemistry. In 4th ISRM Congress, 2-8 September, Montreux, Switzerland: 3–14.
- Ashby, M.F.; Sammis, C.G. (1990). The Damage Mechanics of Brittle Solids in Compression. *Pure and Applied Geophysics*, 133 (3), 489–521.
- Basu, A.; Celestino, T.B.; Bortolucci, A.A. (2009). Evaluation of rock mechanical behaviors under uniaxial compression with reference to assessed weathering grades. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 42, 73–93.
- Basu, A.; Mishra, D.A.; Roychowdhury, K. (2013a). Rock failure modes under uniaxial compression, Brazilian, and point load tests. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 72, (3–4), 457–475.
- Basu, A.; Mishra, D.A.; Roychowdhury, K. (2013b). Rock failure modes under uniaxial compression, Brazilian, and point load tests. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 72, 457–475.
- Bieniawski, Z.T. (1974). Estimating the strength of rock materials. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, 74 (8), 312–320.
- Bieniawski, Z.T. (1975). The point-load test in geotechnical practice. *Engineering Geology*, 9 (1), 1–11.
- Bieniawski, Z.T. (1984). Rock mechanics design in mining and tunnelling. Rotterdam, A.A. Balkema.
- Bieniawski, Z.T. (1989). Engineering Rock Mass Classifications. New York, John Wiley & Sons.
- Broch, E. 1983. Estimation of strength anisotropy using the point-load test. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 20 (4), 181–187.
- Broch, E.; Franklin, J.A. (1972). The Point-Load Strength Test. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 9, 669–697.
- Everall, T.J.; Sanislav, I. V. (2018). The influence of pre-existing deformation and alteration textures on rock strength, failure modes and shear strength parameters. *Geosciences*, 8 (124), 1-23.
- Greminger, M. (1982). Experimental studies of the influence of rock anisotropy on size and shape effects in point-load testing. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 19 (5), 241–246.

- Guidicini, G.; Nieble, C.M.; De, C.A.T. (1973). Analysis of point load test as a method for preliminary geotechnical classification of rocks. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 7, 37–52.
- Hudson, J. (1989). Rock mechanics principles in engineering practice. London, Construction Industry Research and Information Association.
- Hudyma, N.; Avar, B.B.; Karakouzian, M. (2004). Compressive strength and failure modes of lithophysae-rich Topopah Spring Tuff specimens and analog models containing cavities. *Engineering Geology*, 73 (1–2), 179–190.
- ISRM. (1985). Suggested Method for Determining Point Load Strength. In R. Ulusay, J. A. Hudson (Eds), The complete suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974–2006, (pp. 53–60). London, Springer.
- ISRM. (2007). The complete suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974–2006. London, Springer.
- Jaeger, J.C.; Cook, N. (1979). Fundamentals of Rock Mechanics. London, Chapman and Hall.
- Klein, E.; Baud, P.; Reuschlé, T.; Wong, T.F. (2001). Mechanical behaviour and failure mode of Bentheim sandstone under triaxial compression. *Physics and Chemistry of the Earth, Part A: Solid Earth and Geodesy*, 26 (1–2), 21–25.
- McFeat, S.; Tarkoy, P.J. (1979). Assessment of tunnel boring, machine performance. *Tunnels and Tunnelling*, 11 (10), 33–37.
- Norbury, D.R. (1986). The Point Load Test. *Geological Society, Engineering Geology Special Publication*, 2, 326–329
- Pettifer, G.S.; Fookes, P.G. (1994). A revision of the graphical method for assessing the excavatability of rock. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 27, 145–164.
- Rodrigues, J.D.; Jeremias, F.T. (1990). Assesment of rock durability through index properties. In Proceedings 6th. International Congress IAEG, 3055–3060.
- Santarelli, F.J.; Brown, E.T. (1989). Failure of Three Sedimentary Rocks in Triaxial and Hollow Cylinder Compression Tests. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanical Abstracts*, 26 (5), 401–413.
- Szwedzicki, T. (20079). Technical Note A Hypothesis on Modes of Failure of Rock Samples Tested in Uniaxial Compression. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 40 (1), 97–104.
- Tang, L.; Sang, H.; Song, J.; Luo, Z.; Sun, Y. (2016). Mechanical model for failure modes of rock and soil under compression. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 26, 2711–2723.
- TS EN 14579. (2006). Natural stone test methods - Determination of sound speed propagation, TSE, Ankara. 13 p.
- TS EN 1926. (2013). Natural stone test methods - Determination of uniaxial compressive strength, TSE, Ankara. 17 p.
- TS EN 1936. (2010). Natural stone test methods - Determination of real density and apparent density and of total and open porosity, TSE, Ankara. 10 p.
- Wijk, G. (1980). The Point Load Test for the Tensile Strength of Rock. *Geotechnical Testing Journal*, 3 (2), 49–54.

ELMAS TEL KESME MAKİNASININ VERİMLİLİĞİNİN MADEN ÜRETİM ENDEKSİ İLE GELİŞTİRİLMESİ
IMPROVING PRODUCTIVITY OF DIAMOND WIRE CUTTING MACHINE BY MINE PRODUCTION INDEX

M. Karaabat Varol^{1,*}, M.S. Saraç¹

¹*Süleyman Demirel Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü*
 (*Sorumlu yazar: mervevarol@sdu.edu.tr)

ÖZET

Günümüzde mermer ve doğal taş sektörü gün geçtikçe önemini arttırmaktadır. Mermere olan talep arttıkça, blok üretimini hızlandırmak öncelikli hedef olmaktadır. Mermer ocaklarında amaç, mümkün olduğunca kırksız ve çatlaksız blok üretmektir. Mermercilikte teknoloji geliştikçe üretim makinaları da gelişmektedir. Elmas tel kesme ile üretim mermer ocaklarında en yaygın kullanılan sürekli bir üretim yöntemidir. Bu çalışmada, Burdur'daki bir mermer ocağında kullanılan Elmas Tel Kesme Makinasının verimliliğini arttırmak için endüstride sıklıkla kullanılan Toplam Ekipman Etkinliği (TEE) metodundan yola çıkılarak geliştirilen Maden Üretim Endeksi metodu uygulanmıştır. Bu kapsamda sahada; ekipmanın kesime hazırlık süresi, kesim süresi, ek alma sayısı ve süresi, planlı duruş süresi (yemek, hafta tatili), plansız duruş süresi (arıza), boşta bekleme süresi, hız kayıpları (bakım-onarım, vb.) gibi süreler vardiya boyunca günlük olarak tutulmuştur. Elde edilen veriler kullanılarak ekipmanın Kullanılabilirlik, Performans ve Kullanım parametreleri değerlendirilmiştir. Tecrübe sahibi kişilere yapılan anketler sonucunda parametrelerin ağırlıkları istatistiksel olarak belirlenmiş ve Maden Üretim Endeksi hesaplanmıştır. Böylece kullanılan ekipman/ekipmanların hangi parametresinin ne kadar etkili olduğu, eksik/problemlen olan kısmın nerede olduğu ve performans ölçümü açısından hangi parametredeki değişikliğin ekipmandaki verimliliği nasıl arttıracığı incelenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Elmas tel kesme makinası, toplam ekipman etkinliği, maden üretim endeksi, verimlilik

ABSTRACT

Today, the importance of marble and natural stone sector increases day by day. As increasing demands to marble, accelerating block production is being a priority objective. The aim of the marble quarries is to produce blocks without fractures and cracks as much as possible. Production equipment also develop with technology in marble mining. Diamond wire cutting is the most widely used continuous production method in marble quarries. In this study, Mine Production Index (MPI) method was applied to increase the productivity of Diamond Wire Cutting Machine used in a marble quarry in Burdur. MPI is based on the Overall Equipment Efficiency (OEE) method, which is frequently used in industry. In this context, durations like preparation time for cutting, cutting time, planned stopping time (meal, weekend break), unplanned stopping time (breakdown), idle waiting time, speed losses (maintenance-repair, etc.) were kept daily throughout the shift. Availability, Performance and Utilization parameters of the equipment were evaluated using actual times. As a result of the questionnaires conducted by experienced people, weights of the parameters were determined by statistical method and Mineral Production Index was calculated. Thus, it is examined which parameter of the equipment is used, how effective it is, where the deficient/problematic part is located and how the change in which parameter in terms of performance measurement will increase the efficiency of the equipment.

Keywords: Diamond wire cutting machine, overall equipment efficiency, mine production index, productivity

GİRİŞ

Günümüzde mermere olan talep arttıkça üretimin sürekliliği önem kazanmaktadır. Elmas tel kesme makinası ile üretim, mermer ocaklarında en yaygın kullanılan sürekli bir üretim yöntemidir. Bu bağlamda, elmas tel kesme makinalarının verimliliği göz önünde bulundurulması gereken önemli bir parametredir. Ekipman verimliliği her sektörde kullanılan bir ölçüttür. Madencilikte de ekipman verimliliği konusu ele alınmış, ancak tek bir parametre üzerinde durularak sadece performans açısından değerlendirilmiştir. Son yıllarda Toplam Verimli Bakım'dan türetilen Toplam Ekipman Etkinliği madencilikte de uygulanmaya başlanmıştır.

Toplam Verimli Bakım (Total Productive Maintenance (TPM)), 1971 yılında Japonya'da Japon Fabrika Bakım Enstitüsü (JIMP) tarafından geliştirilmiştir. Burada hedef, ekipmanlarda sıfır arıza ve minimum üretim kayıplarına ulaşmaktır. TPM, ekipmanın toplam kullanım süreci içinde maksimum etkinliğinin sağlanmasını hedefler. Nakajima, TPM'i ekipman performansını yükselten bir metodoloji olarak tanıtmıştır. Nakajima'nın TPM'de kullandığı ölçüt, Toplam Ekipman Etkinliği (Overall Equipment Effectiveness (OEE)) olarak adlandırılmaktadır. Nakajima bir ekipmandan 100% yararlanılsa bile OEE değerinin ekipman performansı ya da çıktı kalitesi nedeniyle düşük olabileceğini göstermiştir (Temiz vd., 2010).

OEE, endüstride sıkça kullanılan bir ölçüm metodu olup, ekipmanın etkinliği gözlemlenerek şirketlerin gereksiz satın alımları yerine mevcut ekipmanın performansının artırılmasına odaklanmaktadır. OEE, TPM prosesinin parçası olarak geliştirilmiş, TPM' in etkinliğini ölçmede kullanılan birincil performans ölçüm metodudur.

OEE' nin Kullanılabilirlik, Performans ve Kalite olmak üzere 3 ana bileşeni bulunmakta olup, Kullanılabilirlik, Performans ve Kalite oranlarının birbirleriyle çarpımı şeklinde hesaplanır. Burada;

1. Kullanılabilirlik, makine çalışma süresinin planlı üretim süresine oranıdır. Kullanılabilirlik oranı, ekipmana ait sebeplerden kaynaklanan kullanılabilirlik miktarını gösterir. Duruş kayıplarını işaret eder.
2. Performans, gerçekleşen çalışma hızının makinanın teorik hızına oranıdır. Performans oranı, çalışma hızlarında tasarımıyla belirlenmiş hızlara göre düşüşleri ve birkaç saniyelik duruşları hesap eder. Hız kayıplarına işaret eder. Geri kalan süre net operasyon süresidir.
3. Kalite, toplam sağlam ürünün toplam üretime oranıdır. Kalite oranı, toplam işlenen parçaların iskarta ve yeniden işlem kayıplarının yüzdesidir. Kalite kaybına işaret eder.

OEE, endüstride çok yaygın olarak kullanılırken madencilikte henüz tam anlamıyla yaygınlaşmamıştır. Literatürde, madencilikte kullanılan ekipmanların etkinliğini belirlemek için ya kesme performansı üzerinde durulmuş çalışmalara rastlanmakta ya da açık ocak veya yeraltında kullanılan ekipmanların OEE değerleri üzerine yapılmış çalışmalar gözlenmektedir.

Literatürde elmas tel kesme makinasının performansı ile ilgili birçok çalışmaya rastlamak mümkündür. Birçok araştırmacı ekipman verimliliğinin etkisini saha ve laboratuvar çalışması olarak sadece kesme performansı üzerinden araştırmışlardır. Cai vd. (2007), Jain ve Rathore (2009), Jain ve Rathore (2011), Ataei vd. (2012), Özkan vd. (2015) elmas tel kesme makinasının performansı üzerine çalışmalar yapmışlardır. Eleren ve Ersoy (2011), Sarıısık ve Sarıısık (2012), Çelik vd. (2017) elmas tel kesme ve zincirli kollu kesme makinalarının performansını birlikte değerlendirmişlerdir.

Literatürde, Toplam Ekipman Etkinliği üzerine yapılan çalışmalarda mermer ocaklarında kullanılan makineler üzerine yapılmış çalışmalara rastlanmamakta, açık işletmede ve yeraltında kullanılan makineler üzerine yapılmış çalışmalar yer almaktadır. Andras vd. (2006), Andras vd. (2007), açık işletmede ekskavatörler üzerine, Brodny vd. (2016), yeraltı kömür ocağında kullanılan makineler üzerine, Stecula (2016), konveyörler üzerine çalışmalar yapmışlardır. Stecula and Brodny (2016), dört ekipman üzerinden çalışmalar yapmışlardır. Paraszczak (2005), Elevli ve Elevli (2010), Mohammadi vd. (2015), Waqas vd. (2015), madencilikte kullanılan makineler üzerine Toplam Ekipman Etkinliğini uygulamışlardır.

Bu çalışmada Burdur-Karamanlı bölgesindeki bir ocakta kullanılan elmas tel kesme makinalarının (ETK) Kullanılabilirlik, Performans ve Kullanım parametreleri değerlendirilerek ekipmanların verimliliği incelenmiştir.

MATERYAL VE METOT

Çalışma Sahası Hakkında Bilgi

Çalışma sahası, Burdur il sınırları içerisindeki Karamanlı bölgesindedir. 2008 yılından beri faaliyet gösteren ocağın üretim kapasitesi 18.000 m³/yıl'dır. Ocağın genel görünümü Şekil 1'de gösterildiği gibidir.



Şekil 1. Ocak genel görünümü

Elmas tel kesme makinaları ile üretim 1970'li yıllarda başlamış olup 1985 yılından sonra hızlı bir artış görülmüştür. Günümüzde yöntemin kullanımı üretim sürekliliği açısından gün geçtikçe artmaktadır. Makina; gövde, kaskak, ray ve kumanda panosu olmak üzere 4 ana ünitelerden oluşmaktadır. Elmas tel kesme makinaları köprülü sistem ve raylı sistem olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Köprülü elmas tel kesme makinası ve raylı elmas tel kesme makinası

Elmas tel kesme ile üretim yönteminde, üretim öncesi hazırlıklar tamamlandıktan sonra, kesilecek blok yüzeylerinde birbirine dik konumda yatay ve dikey delikler açılmaktadır. Daha sonra bu deliklerden elmas tel geçirilmekte ve tel, elmas tel kesme makinasının kasmağı ile (volanıya) irtibatlandırılarak iki ucu birleştirilmektedir. Motor yardımıyla çevrilen kasmağın hareketi ile elmas tel döndürülmekte ve tel kesme işlevini yerine getirmektedir. Kesme işlemini sağlayan gergi ve dönme kuvveti, elmas tel kesme makinasının bir ray üzerinde geriye hareketiyle sağlanmaktadır. Kesme işlemi sırasında meydana gelebilecek titreşimlere engel olmak için bu gergi kuvvetinin kontrollü olarak uygulanması gerekmektedir (Özçelik, 1999).

Bu çalışmada iki farklı marka elmas tel kesme makinası üzerinde ölçümler alınmıştır. Bunlar Mahmutoğlu 55 kW 2013 yılı köprülü sistem elmas tel kesme makinası ve Makesan MTM260 45 kW 2004 yılı raylı sistem elmas tel kesme makinasıdır. Bu makinalara ait teknik özellikler Çizelge 1 ve Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. MAHMUTOĞLU 55 kW köprülü sistem elmas tel kesme makinası teknik özellikleri

• Referans veriler	
• Motor cinsi	55 kW – 75 HP – 970 d/dk
• Tel alma kapasitesi	6 mt
• Alt/Yan kesim tel çevirme kapasitesi	175-200 mt
• Kesim hızı /Alt kesim hızı	10-30 m ² /saat (15 m ² /s bejde)/ 9-18 m ² /saat (10 m ² /s bejde)
• Kasnak çapı	800-900 mm

Çizelge 2. MAKESAN MTM260 45 kW raylı sistem elmas tel kesme makinası teknik özellikleri

• Referans veriler	
• Motor cinsi	45 kW – 60 HP – 1500 d/dk
• Tel alma kapasitesi	8-10 mt
• Yan/Alt kesim tel çevirme kapasitesi	175-200 mt
• Kesim hızı	9 m ² /saat (bejde)
• Kasnak çapı	800 mm

Yöntem

Bu çalışmada, mermer ocağında kullanılan elmas tel kesme makinalarının verimliliğini arttırmak amacıyla sahadan gerekli veriler toplanmıştır. Bu veriler; ekipmanın kesime hazırlık süresi, kesim süresi, planlı duruş süresi (yemek, hafta tatili), plansız duruş süresi (arıza, tel sıkışma, tel kopma), boşta bekleme süresi, hız kayıpları (bakım-onarım, elmas değişimi, ek alma süresi vb.) gibi parametrelerdir. Bu süreler vardiya boyunca günlük olarak tutulmuştur. Elde edilen bu veriler aşağıdaki formüle uyarlanarak Maden Üretim Endeksi hesaplanmıştır.

Maden Üretim Endeksi (Mine Production Index – MPI) Amol Lanke tarafından madencilik üzerine geliştirilmiş bir yöntemdir (Lanke vd., 2014). Bu yöntemde “Toplam Ekipman Etkinliği” formülünde yer alan “Kalite Oranı” yerine “Kullanım” parametresi kullanılmıştır.

Maden Üretim Endeksi formülü şu şekildedir:

$$MPI = (A)^{w1} * (P)^{w2} * (U)^{w3} \quad (1)$$

Burada;

A: Kullanılabilirlik (Availability)

P: Performans (Performance)

U: Kullanım (Utilization)

w1: Kullanılabilirlik ile ilgili ağırlık oranı

w2: Performans ile ilgili ağırlık oranı

w3: Kullanım ile ilgili ağırlık oranı

Bu parametreler ise aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$A = \frac{TS-PD}{TS} * 100 \quad (2)$$

TS: Toplam Çalışma Süresi (dakika)

PD: Planlı Duruş (dakika)

$$P = \frac{NOS-HK}{NOS} * 100 \quad (3)$$

NOS: Net Operasyon Süresi (dakika)

$$NOS = Toplam Çalışma Süresi - Planlı Duruş - Plansız Duruş \quad (4)$$

HK: Arıza Dışında Olan Bekleme Süreleri-Hız kayıpları (dakika)

$$U = \frac{TS-PSD-BS}{TS-PSD} * 100$$

(5)

PSD: Plansız Duruş (dakika)

BS: Boşta Beklenen Süre (dakika)

Burada her bir parametrenin etki oranları $w1$, $w2$ ve $w3$ ile ifade edilmekte olup, $w1$, $w2$ ve $w3$ ağırlıklarının toplamı 1' e eşittir. Bu çalışmada bir vardiya üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Planlı duruş süreleri, yemek saatleri ve hafta sonu tatilini; Plansız duruş süreleri, arıza süreleri, tel kopma veya tel sıkışma gibi duraksamalarda kesintileri göstermektedir. Hız kayıpları ise arıza dışında gerçekleşen vardiya süresi içerisinde makinanın kurulumu, bakımı, ray aktarma, ek alma süresi gibi üretim sırasında gerçekleşebilecek planlı olmayan anlık duraksamaları ifade etmektedir. Boşta beklenen süre ise operatör eksikliği veya üretim dışı planlama olduğu zaman ekipmanın arızalı olmadığı halde bekletildiği süredir.

Kullanılabilirlik, Performans, Kullanım parametreleri sahadan toplanan veriler sayesinde eşit önem seviyesinde hesaplanabilmektedir. Fakat bu parametrelerin etki oranları birbirinden farklı olduğu için saha tecrübesi olan kişilerden görüş alınmıştır. Kullanılan bu parametreleri etkileyen 22 adet alt kriter toplam 12 uzmanın (4 mühendis, 4 kalifiye işçi, 4 akademisyen) görüşüne sunulmuştur. Uzmanlar değerlendirme yaparken Çizelge 3'de belirtilmiş olan etkenlerin önem seviyelerine göre derecelendirme yapmışlardır.

Çizelge 3. Etkenlerin önem seviyeleri

Önem seviyesi	Çok Önemli	Önemli	Orta	Az Önemli	Önemli Değil
Etken	9	7	5	3	1

Maden Üretim Endeksindeki ağırlıkları belirlemek için uzmanların değerlendirilmesine sunulmuş olan anketin alt kriterleri şu şekildedir:

- Çevre etkileri (titreşim, gürültü, toz),
- Jeolojik faktörler (süreksizlik, çatlak, parçalı),
- Güvenlik,
- Üretim hızı,
- Verimlilik,
- Hazırlık çalışmaları,
- Kalifiye eleman ihtiyacı,
- Topografik özellikleri,
- Süreklilik,
- Teknik destek,
- Bakım onarım kolaylığı
- Sağlık/tehlike
- Enerji tüketimi
- Sarf malzeme tüketimi (tel, boncuk aşınması, vb.)
- Amortisman

Bu çalışmada ikisi raylı sistem elmas tel kesme makinası, ikisi köprülü sistem elmas tel kesme makinası olmak üzere toplam 4 adet elmas tel kesme makinası (ETK) ile ilgili veriler 4 ay üzerinden değerlendirilmiştir. Sahadan her bir ekipmana ait; kesime hazırlık süresi, kesim süresi, planlı duruş süresi (yemek, hafta tatili), plansız duruş süresi (arıza, tel sıkışma, tel kopma), boşta bekleme süresi, hız

kayıpları (bakım-onarım, ek alma süresi, vb.) gibi süreler vardiya boyunca günlük olarak tutulmuş, toplanan veriler işlenerek aylık değerlendirme yapılmıştır.

SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada mevcut makine parkından iki adet köprülü sistem elmas tel kesme makinası, iki adet raylı sistem elmas tel kesme makinası 4 ay boyunca incelenmiştir. Köprülü sistem elmas tel kesme makinaları MH1 ve MH2 olarak kodlanmış, raylı sistem elmas tel kesme makinaları MK1 ve MK2 olarak kodlanmıştır.

Parametreler eşit öneme sahip olarak düşünüldüğünde Maden Üretim Endeksi formülü sonucu bulunan değerler Çizelge 4, 5, 6 ve 7' de belirtilmiştir.

Çizelge 4. MH1 nolu ETK makinasına ait MPI değerleri

MH1 NOLU ETK	Kullanılabilirlik	Performans	Kullanım	MPI
1. Ay	96,30%	87,26%	24,06%	20,22%
2. Ay	96,77%	87,99%	18,84%	16,04%
3. Ay	94,95%	85,19%	31,00%	25,07%
4. Ay	98,5%%	91,32%	10,18%	9,16%

Çizelge 5. MH2 nolu ETK makinasına ait MPI değerleri

MH2 NOLU ETK	Kullanılabilirlik	Performans	Kullanım	MPI
1. Ay	97,41%	88,38%	24,06%	13,60%
2. Ay	97,85%	86,82%	18,84%	10,20%
3. Ay	94,98%	88,96%	31,00%	2,08%
4. Ay	97,59%	95,54%	10,18%	13,81%

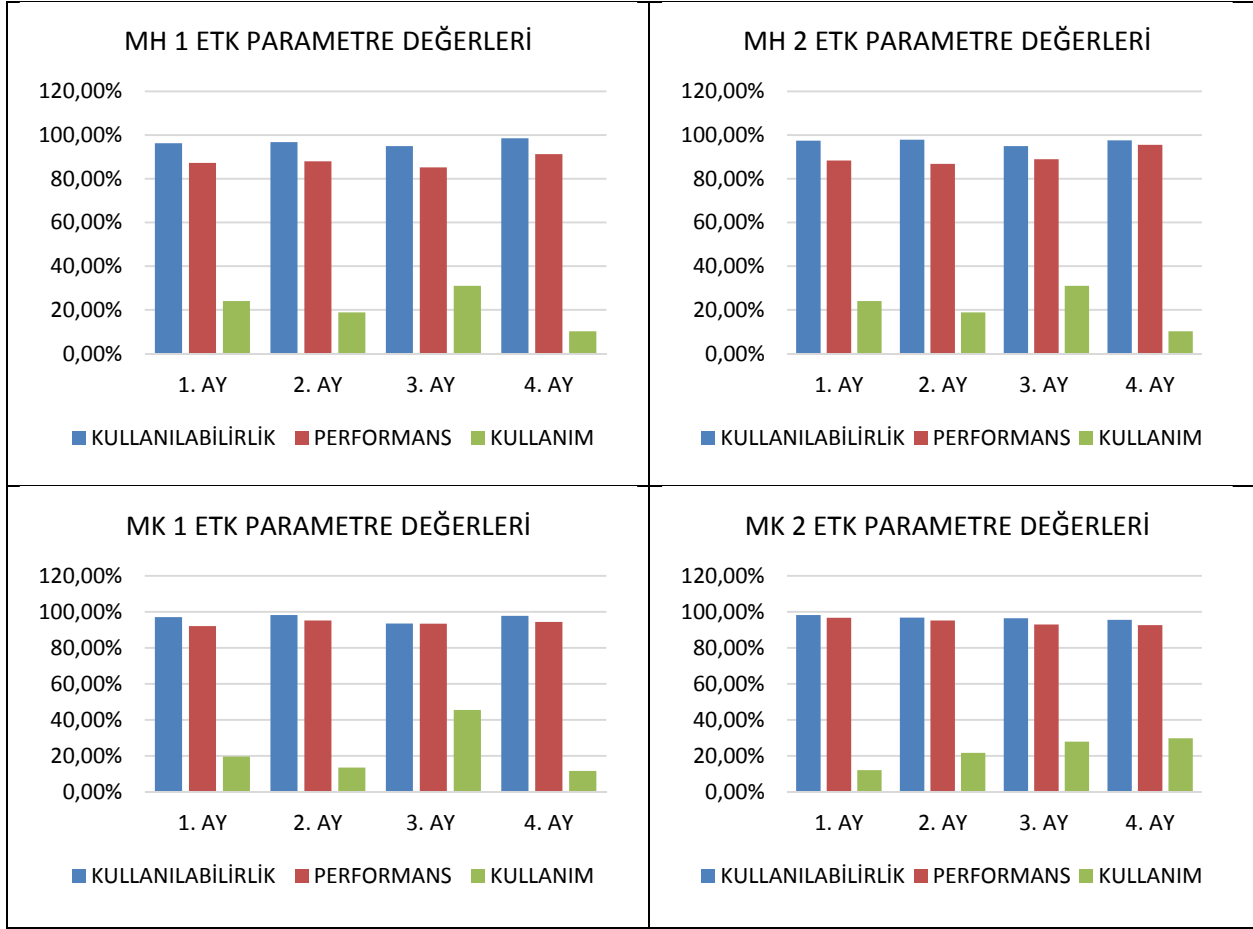
Çizelge 6. MK1 nolu ETK makinasına ait MPI değerleri

MK1 NOLU ETK	Kullanılabilirlik	Performans	Kullanım	MPI
1. Ay	97,04%	92,02%	19,60%	17,50%
2. Ay	98,21%	95,18%	13,44%	12,56%
3. Ay	93,44%	93,36%	45,48%	39,68%
4. Ay	97,78%	94,39%	11,57%	10,68%

Çizelge 7. MK2 nolu ETK makinasına ait MPI değerleri

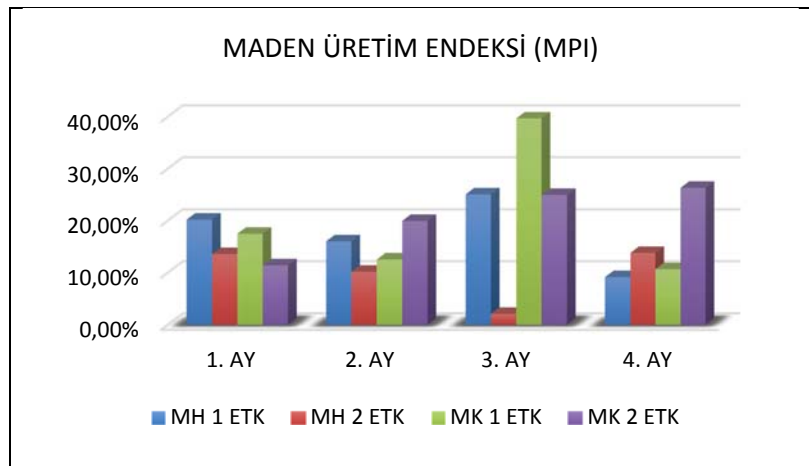
MK2 NOLU ETK	Kullanılabilirlik	Performans	Kullanım	MPI
1. Ay	98,15%	96,66%	12,03%	11,42%
2. Ay	96,77%	95,20%	21,67%	19,97%
3. Ay	96,40%	92,96%	27,86%	24,97%
4. Ay	95,54%	92,59%	29,76%	26,33%

Elmas tel kesme makinalarının “Kullanılabilirlik”, “Performans” ve “Kullanım” parametrelerine ait değerlerin grafiksel olarak gösterimi Şekil 3’de verilmiştir. Burada ekipmanlar kendi aralarında karşılaştırıldığında “Kullanılabilirlik” ve “Performans” oranlarının 80%-100% arasında değiştiği görülmüştür. Kullanım oranının üretim planlamasından dolayı değişken olduğunu söylemek mümkündür.



Şekil 3. ETK parametre değerleri

Parametre değerleri hesaplanan elmas tel kesme makinelerinin MPI değerlerinin birbirleri ile karşılaştırılması Şekil 4’de gösterilmiştir. Burada ilk iki ay ekipmanların etkinliği birbirine yakın olurken, 3. ayda MK1 kodlu raylı sistem ETK makinasından en etkin şekilde faydalanılmış, MH2 kodlu köprülü sistem ETK neredeyse kullanılmamıştır. 4. ayda da MK2 kodlu raylı sistem elmas tel kesme makinasının diğerlerine göre daha etkin kullanıldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4. Hesaplanan MPI değerleri

Uzman görüşleri sonucunda yapılan değerlendirmede parametrelerin ağırlıkları bulunarak Çizelge 8 ve Çizelge 9'da gösterilmiştir.

Çizelge 8. Köprülü sistem elmas tel kesme makinası için kullanılan parametrelerin ağırlıkları

Parametreler	Bulunan Ağırlıklar
▪ Kullanılabilirlik	0,328
▪ Performans	0,329
▪ Kullanım	0,342

Çizelge 9. Raylı sistem elmas tel kesme makinası için kullanılan parametrelerin ağırlıkları

Parametreler	Bulunan Ağırlıklar
▪ Kullanılabilirlik	0,337
▪ Performans	0,332
▪ Kullanım	0,331

Yapılan bu çalışmada her bir ekipmanın verimliliğini değerlendirmek için parametrelerin Eşit Önem Seviyesine ve Ağırlıklandırılmış Önem Seviyesine göre MPI değerleri ay bazında Çizelge 10, 11, 12 ve 13' de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 10. MH1 ETK MPI değerleri

	Eşit önem seviyesine göre MPI	Ağırlıklandırılmış önem seviyesine göre MPI
1. AY	20,22%	59,12%
2. AY	16,04%	54,80%
3. AY	25,07%	63,43%
4. AY	9,16%	45,60%

Çizelge 11. MH2 ETK MPI değerleri

	Eşit önem seviyesine göre MPI	Ağırlıklandırılmış önem seviyesine göre MPI
1. AY	13,60%	51,91%
2. AY	10,20%	47,23%
3. AY	2,08%	28,00%
4. AY	13,81%	52,18%

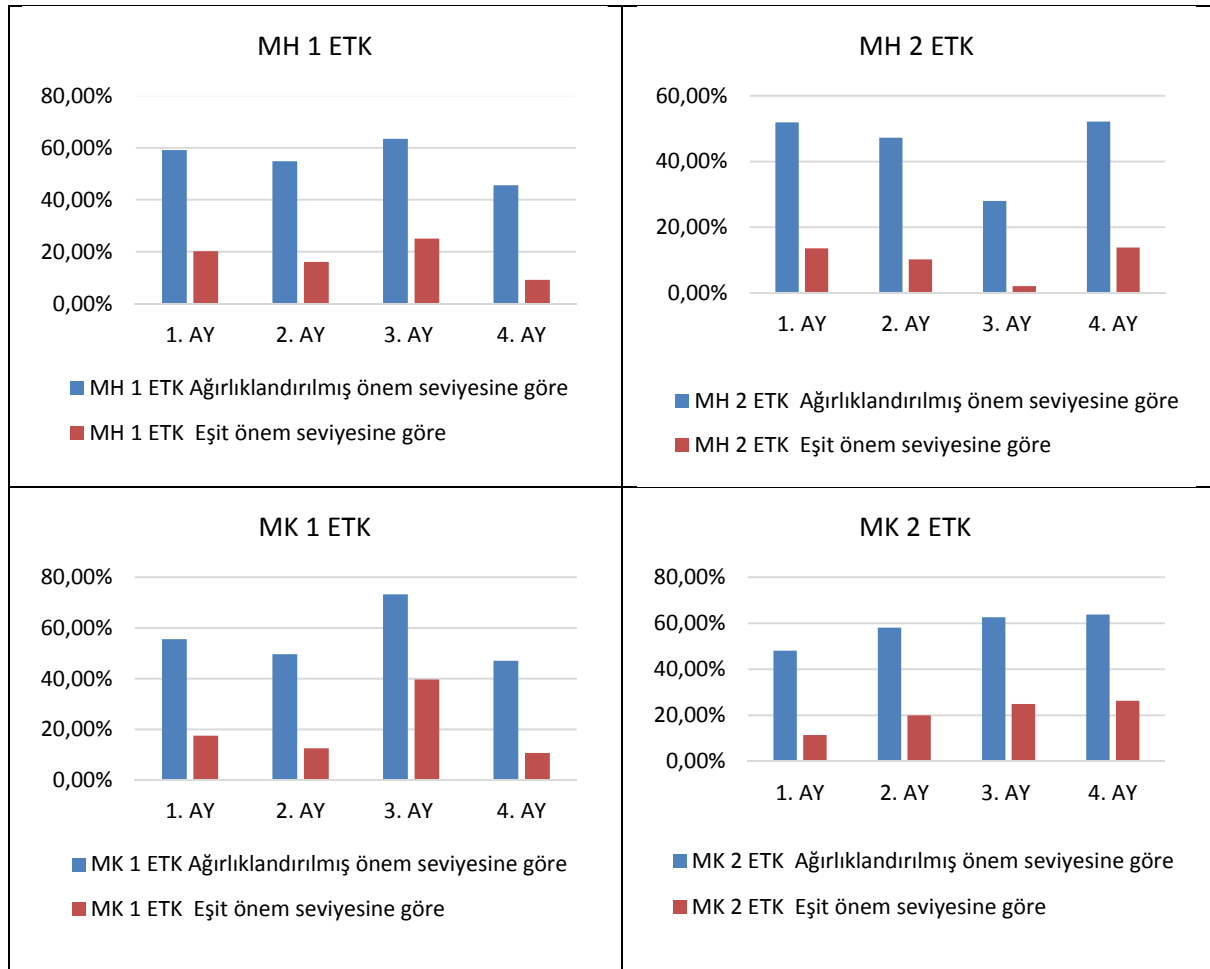
Çizelge 12. MK1 ETK MPI değerleri

	Eşit önem seviyesine göre MPI	Ağırlıklandırılmış önem seviyesine göre MPI
1. AY	17,50%	55,58%
2. AY	12,56%	46,69%
3. AY	39,68%	73,27%
4. AY	10,68%	47,04%

Çizelge 13. MK2 ETK MPI değerleri

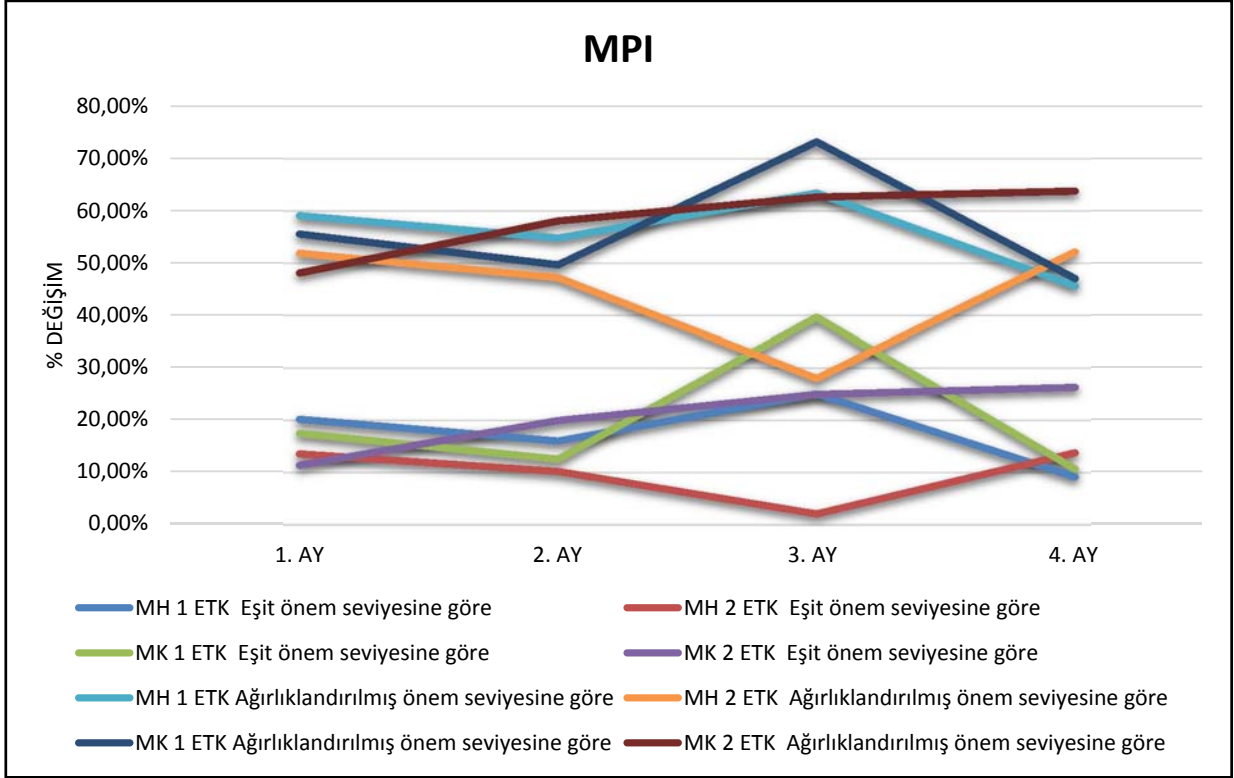
	Eşit önem seviyesine göre MPI	Ağırlıklandırılmış önem seviyesine göre MPI
1. AY	11,42%	48,10%
2. AY	19,97%	58,10%
3. AY	24,97%	62,66%
4. AY	26,33%	63,79%

İşletmede 4 adet ETK makinasından MH1 ve MK2 kodlu ekipmanların verimlilik ve etkinlik açısından daha istikrarlı olduğunu söylemek mümkündür. MH 2 kodlu ekipmanın üretim planlamasında daha az yer aldığı gözlemlenmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. ETK MPI değerleri

İşletmedeki 4 adet elmas tel kesme makinaları değerlendirildiğinde, Kullanılabilirlik, Performans ve Kullanım parametreleri sonucunda hesaplanan MPI'lar ve uzman görüşleri değerlendirilerek hesaplanan MPI'lar arasındaki ilişki Şekil 6'da görülmektedir. Burada, her iki MPI değerleri karşılaştırıldığında uzman görüşleri değerlendirmeye alındığı zaman ekipmanların verimliliklerinde artış olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 6. MPI

Sonuç olarak, bu çalışmada elmas tel kesme makinalarının çalışma parametreleri incelenerek verimlilikleri değerlendirilmiştir. Burada, Kullanım oranlarının Performans ve Kullanılabilirlik oranlarına göre düşük olduğu gözlemlenmektedir. Kullanım oranının düşük olması ekipmanın verimliliğinden çok, üretim planında yer almasına göre değişmektedir. Kullanılabilirlik oranı, her ekipmanda 90%'ların üzerinde hesaplanırken, Performans oranının Raylı sistem Elmas tel kesme makinalarında daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni raylı sistem ETK makinasının üretim planına daha az sokulması ve daha çok alt kesimde kullanılması olarak değerlendirilebilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi ÖYP-05553-DR-15 nolu proje kapsamında desteklenmiştir. Ayrıca çalışma sırasında Adalya Mermer Sanayi Ticaret A.Ş. firmasına ve yardımlarını esirgemeyen çalışanlarına teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Andras, I., Nan, M.S., Kovacs, I., Cristea, D., Tomescu, L.C., (2006). Research Regarding the OEE (Overall Equipment Effectiveness) Assessment of the Coal Open Pit Mines Production System. Annals of the University of Petroşani Mechanical Engineering, 8, 139-146.
- Andras, I., Nan, M.S., Kovacs, I., Cristea, D., Tomescu, L.C., (2007). Overall Equipment Effectiveness Assessment of the Open Pit Coal Mining Production System. 7th International Multidisciplinary Conference, Romanya.
- Ataei, M., Mikael, R., Sereshki, F., Ghaysari, N., (2012). Predicting the Production Rate of Diamond Wire Saw Using Statistical Analysis. Arab J Geosci, 5, 1289-1295. DOI 10.1007/s12517-010-0278-z.
- Brodny, J., Stecula, K., Tutak, M., (2016). Application of the TPM Strategy to Analyze the Effectiveness of Using a Set of Mining Machines. 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016, Bulgaria.

- Cai, O., Careddu, N., Mereu, M., Mulas, I., (2007). The Influence of Operating Parameters on the Total Productivity of Diamond Wire in Cutting Granite. *Industrial Diamond Review*, 67(3), 25-32.
- Çelik, M.Y., Ersoy, M., Yeşilkaya, L., Kayı, Z. 2017. "Mermer Ocaklarında Elmas Tel Kesme ve Zincirli Kollu Kesme Makinelerinin Birlikte Kullanımının İncelenmesi", *Politeknik Dergisi*, 20(2), 459-473.
- Eleren, A., Ersoy, M., (2011). Mermer Ocaklarında Elmas Tel ve Kollu Kesiciyle Kesme Teknolojilerinin İş Güvenliği Bakımında Karşılaştırılmasında Hata Türü Etki Analizi Yönteminin Uygulanması. *Türk Bilim Araştırma Vakfı Bilim Dergisi*, 4(1), 9-19.
- Elevli, S., Elevli, B., (2010). Performance Measurement of Mining Equipments by Utilizing OEE. *Acta Montanistica Slovaca*, 15(2), 95-101.
- Jain, S.C., Rathore, S.S., (2009). Role of Cut Size Area on the Performance of Diamond Wire Saw Machine in Quarrying of Marble. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 23(2), 79-91.
- Jain, S.C., Rathore, S.S., (2011). Prediction of Cutting Performance of Diamond Wire Saw Machine in Quarrying of Marble: A Neural Network Approach. *Rock Mech. Rock Eng*, 44, 367-371. DOI 10.1007/s00603-011-0137-6.
- Lanke, A.A., Hosienie H., Ghodrati, B., (2014). "Application Of Mine Production Index To Focus Improvement And Achieve Production Assurance", (Submitted For Publication). ISBN 978-91-7583-038-4 (Pdf).
- Mohammadi, M., Rai, P., Gupta, S., (2015). Performance Measurement of Mining Equipment. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 5(7).
- Özçelik Y., (1999). Mermercilikte Elmas Tel Kesme Makinelerinin Çalışma Koşullarının İncelenmesi, Doktora Tezi, H.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 242s.
- Özkan, E., Sariisik, G., Ceylan, S., (2015). Application and Productivity Analysis of New Channel opening Method in Natural Stone Quarries with Diamond Wire Cutting Machine. *Arab J Geosci*, 8, 1089-1098. DOI 10.1007/s12517-012-1230-9.
- Paraszczak, J., (2005). Understanding and Assessment of Mining Equipment Effectiveness. *Mining Technology*, 114(3), 147-151.
- Sariisik, A., Sariisik, G. 2012. "Investigation of the Cutting Performance of the Natural Stone Block Production in Quarries with Armed-Chained Cutting Machine", *Journal of Mechanical Engineering Science*, 227(6), 1291-1301.
- Stecula, K., Brodny, J., (2016). "Application of the OEE Model to Analyze the Availability of the Mining Armored Face Conveyor", 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016, ISBN 978-619-7105-56-8 / ISSN 1314-2704, June 28 - July 6, 2016, Book1 Vol. 2, 57-64 pp.
- Temiz, İ., Atasoy, E., Sucu, A., (2010). Toplam Ekipman Etkinliği ve Bir Uygulama. *Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Dergisi*, 12(4), 49-60.
- Waqas, M., Tairq, S.M., Shahzad, M., Ali, Z., Saqib, S., (2015). Performance Measurement of Surface Mining Equipment by Using Overall Equipment Effectiveness. *Pakistan Journal of Science*, 67(2), 212-216.

**MERMER OCAKLARINDA KULLANILAN AĞIR İŞ MAKİNELERİNDEN KAYNAKLI RİSKLERİN HATA TÜRÜ
ETKİ ANALİZİ YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**
*EVALUATION OF RISKS ARISING FROM HEAVY DUTY MACHINES USED IN MARBLE QUARRIES BY FAILURE
MODE AND EFFECTS ANALYSIS*

S. Kun

*Dokuz Eylül Üniversitesi, Bergama Meslek Yüksekokulu, İş Sağlığı ve Güvenliği Programı
(sermin.kun@deu.edu.tr)*

ÖZET

Mermer ocakları gerek açık gerekse yeraltı işletmeciliği olsun çalışılan ortam özelliği bakımından tozlu, sulu, gürültülü, ağır iş makinelerinin sürekli hareketli çalışır durumda olması nedeniyle iş sağlığı ve güvenliği (İSG) açısından pek çok risk içermektedir. Mermer ocak işletmeciliğinde, taşın kesilip ana kayadan ayrılmasından ebatlanmasına, nakliyesinden stoklanmasına kadar uzanan süreçte pek çok iş makinesi aktif olarak kullanılmaktadır. Kazı yükleme işlerinde kullanılan ekskavatörlerin, nakliye işlerinde kullanılan kamyonların, kaldırma taşıma işlerinde kullanılan vinçlerin, mermer bloklarının kesilmesi ve ebatlanması işlemlerini yapan elmas tel kesicilerin, kollu kesicilerin kullanımı sırasında pek çok iş kazası meydana gelmektedir. Hazırlanan bu çalışmada mermer ocaklarında kullanılan iş makinelerinden kaynaklı tehlike ve riskler belirlenerek hata türü etki analizi (HTEA) yöntemi ile alınacak önlemlerin öncelik sırası değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mermer ocak işletmeleri, hata türü etki analizi (HTEA), iş makineleri risk değerlendirmesi

ABSTRACT

Marble quarries contain many risks in terms of occupational health and safety due to the fact that dusty, watery, noisy, heavy duty machines are in continuous working condition in terms of both open and underground operations. In the quarry operation of marble, many construction equipments are actively used in the process ranging from cutting and separating the stone from the bedrock to its sizing, transportation and stocking. Many occupational accidents occur during the use of excavators used in excavation works, trucks for transportation, cranes used in hoisting and transport works, diamond wire cutters used in cutting and dimensioning of marble blocks. In this study, hazards and risks arising from the construction equipments used in marble quarries were determined and the priority order of the measures to be taken by failure mode and effects analysis (FMEA) method was evaluated.

Keywords: Marble quarry, failure mode and effects analysis (FMEA), construction equipment risk assessment

GİRİŞ

Türkiye, Dünya'nın en zengin doğal taş oluşumlarının bulunduğu Alp kuşağında yer almaktadır. Doğal taş bakımından, jeolojik yapısı itibarıyla zengin potansiyele sahip olan ülkemizde, bugünkü verilere göre 4 milyar m³ işletilebilir mermer, 2,8 milyar m³ işletilebilir traverten, 1 milyar m³ granit rezervi bulunmaktadır. Bu değerlere göre Türkiye dünya doğal taş rezervinin yaklaşık %40'ına sahiptir. Yapılan araştırmalarda, 650' ye varan renk ve dokuda mermer çeşidinin bulunduğu belirlenmiştir (Enerji ve Tabii

Kaynaklar Bakanlığı). Rezerv miktarı ve çeşitlilik dolayısıyla dünya pazarında da önemli bir yere sahiptir. Mermer, blok veya kesilmiş, parlatılmış olarak ihraç edilmektedir. 2019 yılı (Ocak-Ağustos) ihracat verilerine göre doğaltaş ihracatımız 4.608.470.382 kg. dır (İstanbul Maden İhracatçıları Birliği İstatistikler). Türkiye, 2018 yılında en fazla ihracat yapan ülke olarak ilk sırada yer alırken, bu sırayı İtalya ve Yunanistan takip etmiştir.

İhracatımızdaki artış, yeni yatırımlar ve mermer üretim potansiyelinin sürekli artışı ile devam ederken yeni teknolojilerin kullanıldığı işletmeler büyük istihdam kaynağı oluşturmaktadır. Çalışma ortamı içerisinde, üretim prosesleri, kullanılan makineler ve çalışanlar arasında sürekli bir etkileşim söz konusudur. Bu durum da çeşitli sağlık ve güvenlik sorunlarını beraberinde getirmektedir (Kun, S., 2018). Mermer ocak işletmeciliği madencilik sektörünün bir kolu olarak gerek yüksek tonajlı malzeme üretimi, gerek büyük tonajlı ağır iş makinelerinin kullanılması nedeni ile riskli sektörler arasında yer almaktadır.

Mermer üretimi açık veya yeraltı ocak işletmeciliği ile blok üretimi ve fabrikada blokların kesilmesi, ebatlanması, parlatılmasını kapsayan levha üretimi olmak üzere sınıflandırılır. Ocaklarda blok üretim yönteminin türünü belirleyen en önemli faktör, bloğun ana kütleden kesilmesi işleminde uygulanan yöntemdir. Günümüzde en yaygın olarak tercih edilen yöntemler, elmas telle kesme ve kollu kesicilerle kesme yöntemleridir (Ersoy vd., 2009).

Genel olarak işletme planlaması yapılmış, üzerindeki örtü tabakası sıyrılmış doğal taş üzerinde delikler delinerek kanal açılır, elmas tel kesme ile kesim yapılır, hidrolik krikolar, havalı yastıklar, ters kepçe loder ve dozerlerle taş ötelenir ve devrilir, kule veya gezer vinçler, değişik güçte loderler, ekskavatörler veya çelik halatlı yükleyici taşıyıcı kamyonlar kullanılarak blok kaldırılıp taşınır, ebatlanır ya da yüklenerek kamyonlar ile nakliye edilir. Teknolojinin de gelişmesi ile kullanılan makineler büyük kapasiteli dev iş makineleridir. Makineler, kapasiteleri ile orantılı yüksek titreşim ve gürültü potansiyeline sahiptirler. Doğal taşın kesimi sırasında ortamda toz oluşur. Açık işletme özelliği dolayısıyla çalışanlar doğa şartlarına (sıcak, soğuk, yağış, kar, güneş ışığı vb.) maruz kalırlar. İş makine ebatları büyük olduğundan manevra operasyonları tehlike kaynağı oluşturur. Üretilen malzeme tonajları yüksek olduğundan ergonomik koşullar önemlidir. Tüm bu işlemler sırasında çalışanlar ve iş makineleri aynı ortamda ortaklaşa çalışırlar. Bu durum tehlikeli ortam oluştururken, işçilerin tehlikeli davranışları ile birleştiğinde iş kazası meydana gelir.

İş kazalarının en temel özelliği aniden olması, çalışanı bedensel veya ruhsal tahribata uğratması, üretim prosesi, makine, malzeme kaybına sebep olmasıdır. Bu kayıplar sonucu işgücü kaybı, işyerinde çalışan diğer personelin psikolojik etkilenmesi sonucu verim kaybı, maddi zarar, ödenecek tazminatlar, kurum imajında zedelenme ve en geniş etkiye baktığımızda toplum psikolojisinde olumsuz etkilenme ve devletin uğradığı maddi zararlar sayılabilir.

Oysaki iş kazaları ve meslek hastalıkları İSG yönetim sistemlerinin koruma ve önleme temelli anlayışı, proaktif (öngörüye dayalı) yaklaşımı sayesinde önlenebilir. Bunu sağlamak için işletmelerin yapacağı yatırımların maliyeti, iş kazası ve meslek hastalığı sonucu oluşacak manevi ve maddi maliyetin çok altındadır. Çalışanların sağlığının ve güvenliğinin sağlanması, kaza ve hastalıkların en aza indirilmesi ile öncelikle kurumda iş verimliliği, ürün kalitesi, çalışanların kurum aidiyet duygusu, kurumun rekabet gücü artacaktır. Böylece işletmeler, maddi zarar, ölüm veya yaralanma ile sonuçlanan kazalardan kaynaklanan maddi, manevi, cezai yaptırım vb. olumsuz sonuçlardan korunabilecektir.

İş kazaları ve meslek hastalıklarını önleme yaklaşımında çalışma alanında kullanılan teknolojilerle (ekipman, maddeler ve işlemler) ilgili tehlikeler tanımlanmalı ve bunları ortadan kaldırmak veya kontrol altına almak için etkili önlemler alınmalıdır. Bu, güvenlik faktörlerinin yapılandırılması gerektiği ve çalışma koşullarının, organizasyonun ve yöntemlerin çalışanların özelliklerine ve kapasitelerine

uyarlanması gerektiği anlamına gelir. Değişen yeni teknolojinin tanıtımı yeterli bilgilendirme ve eğitim ile yapılmalıdır (Allı,B.O., 2008).

Çalışanların, mesleki riskleri fark edebildikleri, kolaylıkla anlayabildikleri ve çözüm önerilerine katkıda buldukları bir sistem, muhakkak ki istenilen bir sonuçtur. Anlatma ve anlama, algılama güçlüklerinin yaşandığı bir sistemin istenilen faydayı sağlamaması nihai bir gerçektir (Göztepe vd., 2016).

Bu çalışmada mermer ocağı işletmelerinde kullanılan makine ve ekipmanların oluşturduğu riskler ve risklerin sebepleri üzerinde durulmuş, hata türü etki analizi yöntemi (HTEA) kullanılarak örnek bir risk analizi yapılmıştır. Risk değerlendirmesi sonucunda oluşabilecek risklere karşı önlemler alınarak bu önlemlerin risk oluşumu üzerindeki etkisi incelenmiştir.

MERMER OCAKLARINDA MAKİNE KAYNAKLI TEHLİKELER

Mermer ocaklarında meydana gelen iş kazaları incelendiğinde bu kazaların büyük bir bölümünün elmas telin kopması, üst kademedan alt kademeye malzeme düşmesi, blokların kaldırılması, taşınması, iş makinelerinin geri manevra operasyonları, iş makinelerinin ehli olmayan kişiler tarafından ve yasalarda belirtilen hız sınırlarının üstünde kullanılması, makine kullanırken koruyucu teçhizatın devre dışı bırakılması, makineyi kapasitesinin üstünde kullanma, makineyi amaç dışında başka işlerde kullanma, etiketlenmemiş veya yetersiz etiketlenmiş malzeme, gerekli uyarı, ikaz işaret ve yazıların eksikliği, hareketli aksama sahip makinelerde parça fırlaması, makine kasnaklarına uzuv sıkışması, makine bakımlarının ve kontrollerinin ihmal edilmesi, basamak genişliği bırakılmayan ocaklarda yüksek şev altında çalışma, açıkta bırakılan kablolar, yetersiz yalıtım sonucunda ortaya çıkan kazalar olduğu görülmektedir. Bu kazalar sonucu ölüm, uzuv kaybı, ağır yaralanma gibi üzücü sonuçların yanı sıra, cezalar ve tazminatlar sonucu maddi kayıplar, çalışanların psikolojik yönden olumsuz etkilenmesi ile verimde düşüş yaşanmaktadır. Ayrıca ağır çalışma koşullarından, titreşimden kaynaklı kas ve iskelet sistemi rahatsızlıkları, yüksek desibelden kaynaklı işitme bozuklukları ve psikososyal nedenli rahatsızlıklar gibi hastalıklar görülmektedir.

Açık ocak işletmeciliğinde ortalama yükseklikleri 6-10 m. olan basamaklar oluşturularak bu basamakların farklı boyutlarda dilimler halinde kesilmeleriyle üretim gerçekleştirilmektedir. Blok üretiminde yaygın olarak tercih edilen yöntemler, elmas telle kesme ve kollu kesicilerle kesme yöntemleridir. Elmas tel kesme yönteminde birbirine dik ve birbiriyle çakışan üç delik delinir , bu deliklerin ikisinden elmas boncuklu tel geçirilir, telin iki ucu tele burğu verdikten sonra birbirine bağlanır, bu tel, kesme makinesinin volanından da geçirilerek gerdirilir ve sonra volanın dönmesiyle tel delikler içerisinde hareket eder, volanın bağlı olduğu makinenin ray üzerinde geriye doğru çekilmesi ile kesme alanlarına su verilerek kesim gerçekleştirilir (Ersoy vd., 2009). Makinenin çalışması sırasında telin kopması halinde serbest kalan tel önceden tahmin edilemeyen geniş bir alanda kırbaç gibi hareket etmektedir. Büyük bir hız ile hareket eden tel temas ettiği her yere büyük zarar vermektedir. Ayrıca tel üzerinde dizili bulunan elmaslar, bilezikler, sıkma parçaları ve yaylar bir silahtan atılan kurşunlar gibi işletme alanına yayılmaktadır (Gümüş ve Akkoyun, 2018). Kollu kesici ile kesme yönteminde ise, zincirli ya da bantlı kollu kesici makineler kullanılır. Bu makineler belirlenen kol boylarında ana kayacın içine girerek kesim yaparlar. Kesme, ray döşenmesi, ray üzerine makinenin yerleştirilmesi ve makineye başlama komutu verilmesi şeklinde uygulanır. Elmas tel kesmeye göre uygulanmasının daha basit olmasının yanında, hızlı üretim sağlaması ve daha güvenli olması açısından avantaj sağlamaktadır (Ersoy vd., 2009).

İş makinelerinin kullanımında çalışanların vardiya aralarında iş makinelerinin içerisinde, yanında veya altında bulunması, operatör tarafından kullanılırken çalışma alanına girmesi, görevli olmayan kişilerin çalışma alanına girmesi, kişilerin kendi sorumluluğunda olmayan diğer makinelere müdahale etmesi, iş makinelerinin personel ulaşım aracı olarak kullanılması, iş makinelerinin kendilerine ayrılan çalışma sahasının dışında kullanılması, ehliyete sahip operatörler tarafından kullanılmaması, makinelerin

hareketli bölümlerine kontrol, yağlama, temizlik ve diğer sebeplerle el, kol, ayak, parmak vb. uzuvun sokulması, iş makinelerinde yüklerin askıda bekletilmesi, kamyonların damperleri açık bekletilmesi, hareket ve manevralarda yönlendirme için manevracı bulundurmamak, operatörün iş makinesini çalışır durumda terketmesi ve hız sınırlarının üstünde kullanması, tamir bakım işlerinin makine stop edilmeden yapılması gibi pek çok tehlikeli durum iş kazalarına sebep olmaktadır.

Ayrıca mermer ocaklarında her açık işletmede olduğu gibi kaynak makinesi, kompresör, jeneratör, hava hortumları, elektrik panosu, elektrik kabloları, kaynak için gerekli oksijen tüpleri gibi birçok araç ve gereç kullanılmaktadır. Bu araçların yönetmelik ve uyarı işaretlerini dikkate almaksızın kullanımı iş kazaları açısından tehlikeli durum oluşturmaktadır.

Tüm bu tehlikeli durumlara karşı önlem almada iş makinelerinin imalatında ve kullanımında güvenlik şartlarının belirlendiği "Makine emniyeti yönetmeliği" ve "İş ekipmanlarının kullanımında sağlık ve güvenlik şartları yönetmeliği" nde yer alan maddeler işletmelere rehber olacaktır. Bunun yanı sıra iş kazalarının oluşumunda diğer bir etmen olan tehlikeli davranışlara karşı önlem ise işletme stratejilerine uygun İSG yönetim sistemi ile çalışma ortamında tehlikelere karşı farkındalığı arttırma çalışmaları olmalıdır. İşverenin sorumluluğu yasal mevzuata uygun önlemleri alarak, çalışanları bilgilendirmek ve eğitmek iken, çalışanın görevi yüksek güvenlik farkındalığı ile alınan İSG kararlarını uygulamaktır.

MERMER İŞLETMELERİNDE MAKİNE KAYNAKLI RİSKLERİN HTEA ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Risk değerlendirmesi; işyerlerinin tüm birimlerini kapsayacak şekilde iş sağlığı ve güvenliği politikaların belirlenmesi, planlanma aşamasından başlamak üzere tehlikeleri tanımlama, riskleri belirleme ve analiz etme, sonuçlara göre alınacak önlemlerin kararlaştırılması, dökümantasyonu, uygulamaların sürekli kontrolü ile sürekli iyileştirme tabanlı olarak tüm çalışanların sürece dahil edilmesi, bilgilendirilmesi ile gerçekleştirilir. Etkin bir risk değerlendirmesi yapmada mevcut durumun gözden geçirilmesi de önem arz etmektedir. İşletmede daha önce meydana gelmiş meslek hastalığı, kaza, ramak kala olay raporları incelenmeli, ayrıca sektörde meydana gelen kazalar sürekli takip edilmelidir. Kazalarla, tehlikelerle direk karşı karşıya kalan çalışanlar sürece dahil edilmelidir. İş sağlığı ve güvenliği ile ilgili doğru çalışana doğru bilgilendirme ve eğitim sağlanmalıdır.

Kazaya sebep olacak tehlike noktalarının ve kaza şiddetinin belirlenmesinde, analizi yapan kişinin bilgi ve tecrübesi önemlidir. Analizde bir başka unsur da istatistiksel verilerdir. Hangi noktalarda, hangi sebeple, hangi sıklıkta kazalar yaşandığı ve bunların sonucunun ne olduğu bilinmeli ve değerlendirilmelidir (Ersoy vd., 2009).

Mermer endüstrisindeki bu kritik alanları tespit etmek ve ana elemanların her birini ayrı bir birim olarak ele almak, daha doğru ve kesin tehlike profili sağlamaktadır. Bu perspektifi, üç ana unsuru (İşyerinden kaynaklanan potansiyel tehlikeler, insanlarla ilgili potansiyel tehlikeler, yönetime bağlı potansiyel tehlikeler) ve bunlarla ilişkili tehlikeleri dikkate alarak daha iyi gösterebiliriz (Zahra vd., 2014).

Yapılan çalışmada mermer ocaklarında makine kaynaklı kazaların nedenleri incelenerek hangi konularda önlem alınması gerektiği belirlenmiştir. Çizelge 1 ve Çizelge 2' de HTEA yöntemi ile iş makinelerinden kaynaklı hata türleri saptanarak çözüm önerileri toplu olarak sunulmuştur. Bu yöntem, hataların etkisini ve bunları önlemenin adımlarını saptamaya yarayan sistematik bir yaklaşımdır. HTEA güvenilirlik mühendisliğinin bir parçası olarak ürün ve süreç hatalarını analiz eder.

Risklerin her biri bu yöntemde 3 parametre ile analiz edilir. Bu parametreler risk etkisi (şiddet), olma ihtimali (olasılık) ve sezilebilme durumu (fark edilebilirlik) dir. Belirlenen şiddet, olma olasılığı ve farkedilebilirlik değerlerinin çarpımı ile bulunan risk öncelik katsayısı, hata türlerini öncelik sırasına koymakta kullanılır (Çelikdemir, 2012).

Çizelge 1. HTEA yöntemi ile mevcut durum risk değerlendirme

Hata no	Hatanın cinsi	Risk	Mevcut durum			
			O	Ş	F	RÖS
1	Elmas telin kopması	Ağır yaralanma, uzuv kaybı, ölüm ve maddi zarar	8	8	9	576
2	Blokların kaldırılması, taşınması sırasında düşmesi, devrilmesi	Maddi zarar, çalışanlarda yaralanma, uzuv kaybı veya ölüm	5	8	6	240
3	Makine kullanırken koruyucu teçhizatın devre dışı bırakılması	Uzuv kaybı, yaralanma	7	6	3	126
4	Makinelerin hareketli aksamaları	Uzuv sıkışması, uzuv kaybı, yaralanma, parça fırlaması, maddi zarar	6	6	4	144
5	İş makinesinin personel ulaşım aracı gibi amacının dışında kullanılması	Makinenin arızalanması, işin aksaması, çevredeki çalışanlara ve uygunsuz giden üzerindeki işçiye zarar vermesi	7	7	3	147
6	Makinelerle ilgili uyarı, ikaz işaret ve yazıların eksikliği	Makine devrilme, yük devrilme, başka makineye veya çalışana çarpma, maddi zarar, yaralanma, ölüm	6	7	7	294
7	Makinelerin ehliyetli operatör tarafından kullanılmaması	İş verimliliğinde düşüş, çalışanlara çarpma, diğer iş makinelerine çarpma	4	6	8	192
8	İş makinelerinde yüklerin askıda bekletilmesi, kamyonların damperleri açık bekletilmesi	Maddi zarar, yaralanma veya ölüm	4	6	4	96
9	Operatörün iş makinesini çalışır durumda terketmesi	Yaralanma, ölüm, maddi zarar	7	6	7	294
10	Makinenin tamir bakımı sırasında operatörün dikkatli ve bilinçli davranmaması	Uzuv sıkışması, kırık, kalıcı iş görememezlik, 2. derece yanık, beyin sarsıntısı	3	5	7	105
11	İş makinesini hız limitlerinde kullanmama	Başka araca ya da çalışana çarpma, iş makinesinin devrilmesi	8	7	5	280
12	Açıkta bırakılan elektrik kabloları, yetersiz yalıtım	Yaralanma, yangın	7	8	8	448
13	Manevracı olmaması	Maddi zarar, yaralanma, ölüm	5	6	4	120
14	Makinelerden kaynaklı gürültü	Geçici veya kalıcı işitme kaybı	9	4	2	72
15	Makinenin çalışma alanına izinsiz girilmesi	Çalışana çarpma sonucu yaralanma ya da can kaybı	6	7	6	252

Çizelge 2. HTEA yöntemi ile önlem sonrası risk değerlendirme

Hata no	Hatanın cinsi	Alınacak Önlem	Değerlendirme			
			O	Ş	F	RÖS
1	Elmas telin kopması	Elmas telin sık kontrol edilmesi, telin sıkışmasının önlenmesi, makine işçi arasına koruyucu kalkan	6	4	7	168
2	Blokların kaldırılması, taşınması sırasında düşmesi, devrilmesi	İşlem sırasında operasyon bölgesine çalışan girmemesi, işlemin ehli kişiler tarafından yapılması	5	4	4	80
3	Makine kullanırken koruyucu teçhizatın devre dışı bırakılması	Makine koruyucuların sürekli kontrolü, koruyucusuz çalıştırmama, cezai yaptırım, çalışanın eğitimi	4	6	1	24
4	Makinelerin hareketli aksamaları	Koruyucu kapakları olmadan makineleri çalıştırmamak, cezai yaptırım, çalışan eğitimi	4	6	1	24
5	İş makinesini amacının dışında kullanılması personel ulaşım aracı vb.	Cezai yaptırımlar , operatörün ve çalışanların eğitimi	4	7	1	28
6	Makinelerle ilgili uyarı, ikaz işaret ve yazıların eksikliği	Yönetmelikte ve imalatçı tarafından belirtilen uyarı ve işaretlerin kontrolü, cezai yaptırım, eğitim	4	7	3	84
7	Makinelerin ehliyetli operatör tarafından kullanılmaması	İşe alımlarda iş makinesi operatörlük belgesi ve G sınıfı ehliyetin kontrolü	1	4	3	12
8	İş makinelerinde yüklerin askıda bekletilmesi, kamyonların damperleri açık bekletilmesi	İş makinelerinin çalışmadıkları zamanlarda tüm ekipmanları yerde park alanına çekilmiş olması ve kontrolü, cezai yaptırım, çalışan eğitimi	3	6	2	36
9	Operatörün iş makinesini çalışır durumda terketmesi	Operatör eğitimi, cezai yaptırım	5	6	5	150
10	Makinenin tamir bakımı sırasında operatörün dikkatli ve bilinçli davranmaması	Operatörün eğitilmesi, tamir bakımın profesyonel ekipler tarafından yapılması	1	2	3	6
11	İş makinesini hız limitlerinde kullanmama	Araçlara takometre takılmalı, araç takip sistemi kurulmalı	2	5	2	20
12	Açıktaki bırakılan elektrik kabloları, yetersiz yalıtım	Elektrik kablolarının sürekli kontrolü, topraklama ve yalıtımın yapılması	5	2	5	50
13	Manevracı olmaması	Manevracı görevlendirilmesi, eğitim	2	3	1	6
14	Makinelerden kaynaklı gürültü	Mevzuatta geçen sınırların üstüne çıkmamak, çalışana kişisel koruyucu donanım kullanırmak, eğitim	9	2	1	18
15	Makinenin çalışma alanına izinsiz girilmesi	Çalışanların bilgilendirilmesi, eğitimi, çalışma alanının emniyet şeridi ile ayrılması	3	7	3	63

SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada HTEA ile çalışma ortamında makinelerden kaynaklı tehlikelerin oluşma olasılığı, açığa çıkacak etki ve tehlikenin farkedilebilirlik dereceleri, sahalardan edinilen bilgilere dayanılarak 1-10 arasında derecelendirilmiştir. Olasılık (O), şiddet (Ş) ve farkedilebilirlik (F) değerlerinin çarpımı ile risk öncelik sayısı (RÖS) elde edilmiş ve elde edilen RÖS değeri en yüksek olan hata türünden başlayarak gerekli önlemler alınmıştır. Alınan önlemler sonrasında olasılık, şiddet ve farkedilebilirlik değerleri tekrar derecelendirilmiştir. Yapılan araştırma sonuçlarına göre mevcut durumda 100' ün üzerinde çıkan RÖS değerlerinin önlemler alındıktan ve uygulandıktan sonra 100 ve 100' ün altına düştüğü gözlenmiştir (Çizelge 2). Bunun anlamı çalışma ortamının daha güvenli hale geldiğidir.

Sonuçta önlem almaya RÖS değeri en yüksek çıkan hata türünden başlanmalıdır. Yapılan değerlendirmede en yüksek RÖS değeri 576 ile elmas telin kopması sebebiyle oluşan tehlikeli durumdan kaynaklı hata türü olmuştur. Yine açıkta bırakılan elektrik kabloları yetersiz yalıtım kaynaklı risk etkilerinden dolayı yüksek RÖS değerinde çıkmıştır. RÖS değeri 294 ile makinelerle ilgili uyarı, ikaz işaret ve yazıların eksikliği ve operatörün iş makinesini çalışır durumda terketmesi durumundaki tehlikeler, üçüncü sırada yer almaktadır. RÖS aynı olduğundan önlem alma önceliğine göre değerlendirildiğinde şiddet değeri yüksek olan makinelerle ilgili uyarı, işaret eksikliği ön sıradadır. Tespit edilen tehlikeler için RÖS değerleri önlemler alındıktan sonra tekrar değerlendirildiğinde RÖS' ün düştüğü saptanmış, en etkili önlemlerin mühendislik önlemleri, cezai yaptırım ve eğitim olduğu gözlenmiştir.

Daha güvenli bir çalışma ortamı yaratmak için; tehlikeyi tespit edip tehlikeyi kaynağında yok etmek, tehlikeli olanı daha az tehlikeli olanla değiştirmek, mühendislik önlemleri, idari önlemler almak, kişisel koruyucu donanım kullanımını şart ve zorunlu kılmak ile en önemlisi çalışanlarda İSG farkındalığını yaratarak İSG kültürü oluşturmaktır.

KAYNAKLAR

- Allı, B. O. (2008). Fundamental principles of occupational health and safety (second edition). International Labor Office; Geneva:ILO.
- Çelikdemir, H. (2012). Bir otomasyon hattında hata türü ve etkileri analizi uygulaması, Gazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2012
- Ersoy,M., Eleren,A., Şimşek, Ş. (2009). Hata türü ve etkileri analizi ile iş sağlığı ve güvenliği tabanlı süreçlerin iyileştirilmesi ve mermer ocak işletmelerinde bir uygulama, Madencilik cilt 48
- Göztepe,C., Erdim,B., Akyıldız,S. (2016). Mermer ocağı ve mermer fabrikasında risk değerlendirmesi ve isig uygunsuzluk izleme sistemi, http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/0f84ae93a432e17_ek.pdf?tipi=2&turu=H&sube=3
- Gümü, A., Akkoyun, Ö., (2018). Mermer ocak işletmeciliğinde sık karşılaşılan iş kazaları üzerine bir inceleme, http://www.dicle.edu.tr/a/oakkoyun/papers/mermer_is_kaza_ocak.pdf
- Kun, S. (2018). Ağır iş makinelerinin çalışma ortamında risk analizi ve yönetimi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Aralık 2018
- Zahra, M., Hashmi,I., Akhtar,N., (2014). Occupational health and safety issues in the marble industry and their potential measures, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 2, 1137-1140
<https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Dogal-Taslar>
<http://www.imib.org.tr/tr/istatistikler-2-2/>

**TERMAL ŞOKUN YAPI TAŞI OLARAK KULLANILAN DÖĞER (İHSANİYE-AFYONKARAHİSAR) TÜFÜNE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**
*INVESTIGATION OF THE THERMAL SHOCK EFFECT ON DÖĞER (İHSANİYE-AFYONKARAHİSAR) TUFF
USED AS BUILDING STONE*

M. Y. Çelik ¹, M. Sert ^{2,*}, Z. Arsoy ³

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksek Okulu, Doğal Yapı Taşları Programı, Türkiye

^{2,3}Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Türkiye

(*Sorumlu yazar: msert@aku.edu.tr)

ÖZET

Bozulma süreçleri, atmosfer ve çevresel etkilerin yanında kirlilik, insan müdahaleleri gibi bileşenlerin etkileşimi ile ilişkilidir. Meydana gelen bozulmalar, doğal taşların yapısal, fiziksel ve mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir. Tarihi yapılardaki ayrışmanın başlıca nedenlerinden birisi de atmosferik kaynaklı sıcaklık değişimleridir. Bu çalışmada Döğür tüflerine hızlandırılmış yaşlandırma yöntemlerinden birisi olan termal şok deneyi uygulanmıştır. Döğür tüflerinde meydana gelen değişiklikler kütle değişimi, ultrases ve tek eksenli basınç dayanımı gibi özellikler yardımıyla incelenmiştir. Termal şok etkisiyle gelişen ayrışmalar, ultrases dalga hızı ve tek eksenli basınç dayanımı gibi fiziko-mekanik parametrelerde değişiklikler meydana getirmiştir. Termal şok etkisi sonrası Döğür tüfünde kütle ağırlığı %0,326, ultrases geçiş hızı ise %7,15 oranında azalmıştır. Aynı şekilde dayanım azalması da %2,5 oranında gerçekleşmiştir.

Anahtar Kelimeler: Döğür tüfü, termal şok, yapı taşı, ayrışma, dayanım

ABSTRACT

Decay processes are associated with atmospheric and environmental impacts, as well as the interaction of components such as pollution and human interventions. The disturbances that have occurred, negatively affect the structural, physical and mechanical properties of natural stones. One of the main reasons for the deterioration of historical buildings is the atmospheric source temperature changes. In this study, thermal shock test which is one of the accelerated aging methods was applied to Döğür tuffs. Changes in tuffs were investigated by means of properties such as mass change, ultrasound and uniaxial compressive strength. Differences in physico-mechanical parameters such as ultrasound wave velocity and uniaxial compressive strength caused by thermal shock. After the thermal shock effect, the mass weight and the ultrasound velocity were decreased by 0,326% and 7,15%, respectively. In the same way, the decrease in uniaxial compressive strength was realized as 2,5%.

Keywords: Doger tuff, thermal shock, building stone, deterioration, strenght

GİRİŞ

Antik çağlardan beri inşaat teknolojisinde doğal taşlar, mükemmel bir yapı malzemesi olmuştur. Zaman içerisinde, atmosfer ve çevresel şartlardan kaynaklanan agresif saldırılar nedeniyle korumasız durumda olan doğal taşlar, bu durumdan olumsuz yönde etkilenmiştir. Değişik yer ve zamanlarda estetik özelliğe sahip önemli kültürel eserlerin yapımında tüfler de kullanılmıştır. Volkanik kökenli olan tüfler, bol bulunması ve kolay şekillendirilebilmesi gibi özelliklerinden dolayı mimaride yaygın olarak tercih

edilmiştir. Ancak gözeneklilik oranının yüksek olmasından dolayı atmosfer kaynaklı agresif etkilere karşı savunmasız durumda kalması önemli bir dezavantaj yaratmaktadır. Özellikle su emme, donma-çözülme, tuz kristallenmesi ve ısınma-soğuma gibi olaylar nedeniyle tüflerin diğer yapı taşlarına göre ayrışma oranı da yüksektir.

Doğal yapı taşları atmosfer ve çevresel etkilerin yanı sıra insan kaynaklı bozulmalara karşı da hassastır. Ayrışmanın neden olduğu yoğunluk, gözeneklilik ve ultrases dalga hızı gibi fiziko-mekanik parametrelerdeki değişiklikler, taş kalitesi ve dayanıklılığı üzerinde olumsuz bir etki yapmaktadır (García-del-Cura vd. 2012; Vázquez vd. 2013)

Tarihi yapılardaki ayrışmanın başlıca nedenlerinden birisi de sıcaklık değişimleridir. Eski ve yeni modern binalarda doğal taş bozulmasının etkileri sonucu oluşan özellikle mikro çatlaklar, cıvalı porozimetre, optik mikroskopi ve SEM (Taramalı Elektron Mikroskopisi) gibi yöntemlerle belirlenebilmektedir. Bu tür analizler için tarihi yapılardan her zaman örnek almak mümkün olamamaktadır. Bu nedenle, ayrışmanın belirlenmesi için modern ocaklardan örnekler alınarak doğal taşların uzun vadeli performansını benzetmek için laboratuvarlarda hızlandırılmış yaşlandırma deneyleri yapılmaktadır (Freire-Lista ve Fort, 2017). Bu hızlandırılmış yaşlandırma yöntemlerinden birisi de termal şok deneyidir. Termal şok deneyi, asidik ve tuzlu çözeltiler gibi ayrışma deneylerinde örneği kirletecek hiçbir madde içermeyen daha temiz bir deney yöntemidir. Bu nedenle restorasyon ve konservasyon amaçlı doğal taşlarda ayrışma ve mikro çatlakları belirlemek için daha uygundur (Murru vd. 2018).

Yangın gibi ani ve kısa süreli veya atmosfer etkilerinden birisi olan uzun süreli gündüz ve gece ısı farklılığının çok olduğu iklimlerdeki ani ısı değişiklikleri termal şok etkisi yaratmaktadır. Doğal taşın bileşiminde bulunan mineraller, ani ısı değişikliklerinde sıcak veya soğuğa hızlı bir şekilde uyum sağlayamaz. Bu nedenle de zaman içerisinde mikro çatlak oluşumu kaçınılmaz olur.

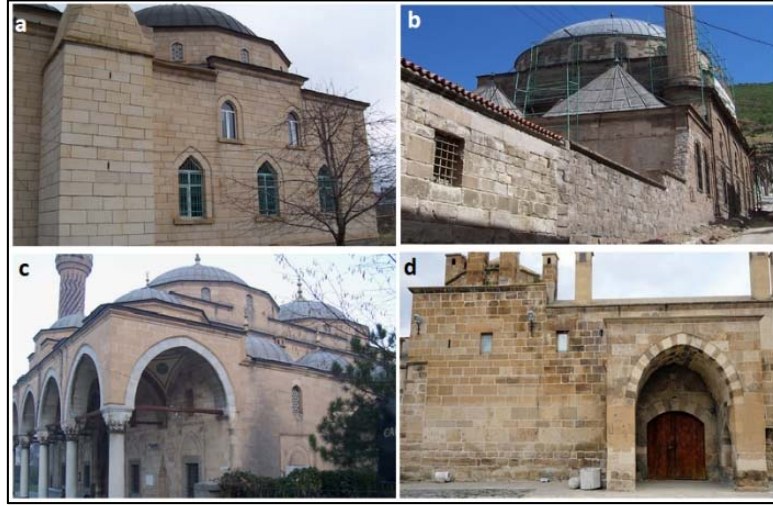
Termal şok hasarı, doğal taşların mineralojik bileşenlerinin iç ve dış kısımlarının diferansiyel ısı genleşmesi ve büzülmesinin bir sonucudur. Genleşme ve büzülme döngüleri, zaman içerisinde mikro çatlaklar ortaya çıkarabilmektedir. Termal genleşme, bu tür bir numunenin iç ve dış kısımlarının yanı sıra bireysel taneleri arasında da olabilir. Bu süreçler kümülatif yorgunluğa ve iç streslerin oluşmasına neden olur, bu da mikro kırılma için yeterli gerilme meydana getirebilir (Hale ve Shakoor, 2003). Termal şok ayrışması, büyük günlük sıcaklık değişimlerinin gözlemlendiği iklimlerde iyi bilinen bir olgudur ve güneş enerjisinin doğrudan etkisi altında kaya yüzeyinin alternatif ısınma ve soğumasının bir sonucudur (Yavuz vd., 2006). Mikro yapısal bozuşmalar sonucunda doğal taşların fiziksel ve mekanik özelliklerinde önemli değişiklikler olur (Shushakova vd. 2013). Termal şok hasarına ısı iletkenliğini ve difüzyonu kontrol eden mineralojik yapı ve doku, mineral büyüklüğü gibi petrografik özelliklerin yanı sıra tane sınırları ve gözeneklilik gibi mikro-yapısal özelliklerinin de etkisi vardır (Modestou vd. 2015).

Döğter tüflerinin termal şok etkilerini inceleyen bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Ancak literatürde, termal şok döngülerinin farklı yapı taşlarının özelliklerine etkileri üzerine araştırmalar bulunmaktadır (Hattema vd. 1998; Sousa vd. 2005; Yavuz 2011; Akbay vd. 2012; Khanlari ve Abdilor, 2015; Wang vd. 2016a; Wang vd. 2016b).

Bunlardan başka, Hale ve Shakoor (2003), altı farklı kumtaşında ısıtma ve soğuma, ıslatma ve kurutma, dondurma ve çözülme etkilerinin basınç dayanım değerlerine etkisini, Yavuz vd. (2006), 12 farklı karbonat kayasının laboratuvar koşullarında, 20 döngü için termal şok etkisinin özelliklerini, Labus ve Bochen (2012), kumtaşının petrografisine bağlı olarak yaşlandırma odasında hızlandırılmış deneylerle ayrışma etkisini, Demirdağ (2013), travertende çimento dolgusunun donma-çözülme ve termal şok döngülerinin yapısı üzerindeki etkilerini, Ghobadi ve Babazadeh (2015), Qazvin bölgesinden (batı İran) dokuz kumtaşının donma-çözülme, tuz kristallendirme ve ısıtma-soğutma gibi hızlandırılmış ayrışma

deneyleriyle ayrışma davranışlarını, Heidari vd. (2017) doğal koşullardaki kireçtaşlarının donma-çözülme, tuz kristallendirme, termal şok, ıslatma-kurutma yoluyla ayrışmasını incelemiştir.

Bu çalışmada, Afyonkarahisar yöresinde Selçuklu ve Osmanlı mimarisinde özellikle cami, han ve kervansaray gibi toplum hizmetine yönelik yapılarda sıklıkla kullanılmış olan Döğer tüflerinin termal şok etkisine karşı davranışı incelenmiştir. Yapımında Döğer tüflerinin kullanıldığı bazı tarihi ve güncel yapılar Şekil 1’de verilmiştir.

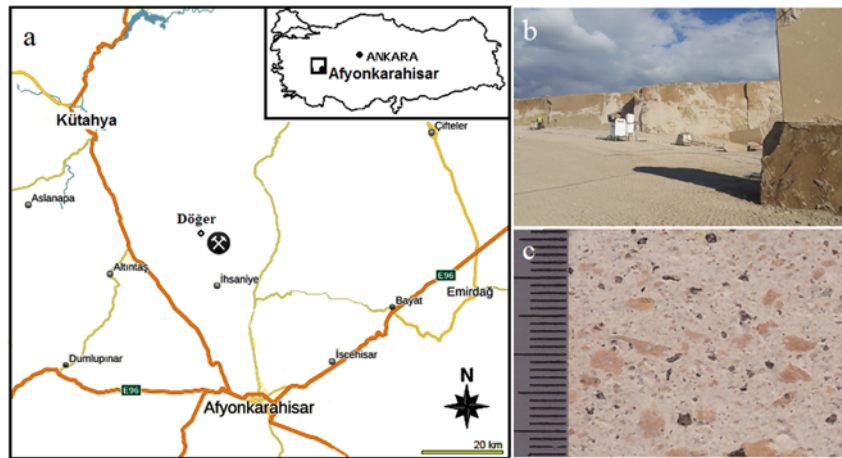


Şekil 1. Döğer tüfleri kullanılarak yapılan Afyonkarahisar civarındaki bazı güncel ve tarihi yapılar. a) Çakır köyü Cami (1970), b) Mevlevi Türbe Cami (1905), c) İmaret Cami (1472), d) Döğer kervansarayı (1434).

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Çalışmada kullanılan tüf örnekleri, Döğer–İhsaniye’de bulunan tüf ocağından alınmıştır. Örneklerin alındığı ocağın lokasyonu ve görünümü Şekil 2’de verilmiştir. Alınan bloklar Afyon Meslek Yüksekokulu mermer atölyesinde deneylerin yapılacağı standartlarda öngörülen boyutlara kesilmiştir. Tüfler açık krem sarımsı renkli olup yer yer kayaç parçaları içermektedir.



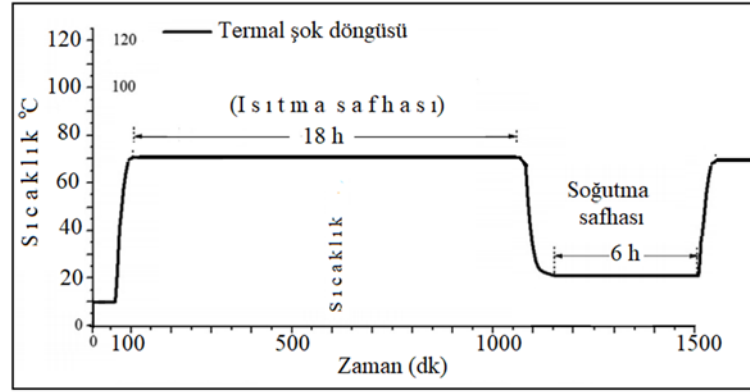
Şekil 2. Deneylerde kullanılan a) Döğer tüfü ocağının lokasyon haritası b) Döğer tüfü ocağının görünümü, c) Döğer tüfünün yüzey görünümü

Yöntem

Döğür tüflerinin termal şok etkisiyle yıpranmaya direnç özelliklerini belirleme deneyi öncesinde incelenen tüflerin bazı özellikleri belirleme amacıyla karakterizasyon testleri yapılmıştır. Özellikle termal şok etkisi ile doğrudan ilişkili olduğu düşünülen mineralojik-petrografik ve gözenek özellikleri belirlenmiştir. Petrografik incelemeleri için ince kesit hazırlanmış ve polarizan mikroskop incelemeleri, Nikon E200POL model polarizan mikroskopta gerçekleştirilmiştir. Mineral bileşimi için XRD analizleri Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi laboratuvarlarında, Bakır (Cu) X ışını tüpü kullanılarak Shimadzu marka XRD-6000 model cihaz ile yapılmıştır. Örneklerin gözenek boyutu dağılımları, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde (TUAM) cıvalı porozimetre Micromeritics Auto Pore IV 9500 cihazında belirlenmiştir.

Termal Şok Deneyleri

Döğür tüfünün termal şok etkisi ile yıpranmaya karşı direnç deneyleri TS EN 14066 standardına uygun olarak yürütülmüştür. Deneyler, döngüleri kendi otomatik yapabilen termal şok cihazında (test kabini) yapılmıştır. Deney prosedürü Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 3. Termal şok etkisi ile yıpranma direnci deney prosedürü (TS EN 14066).

Deneylerde 10 adet 50x50x50 mm ebatlarında tüf örneği kullanılmıştır. Tüm örnekler, deney öncesinde 105 °C de 24 saat kurutulmuş ve kuru ağırlıkları kaydedilmiştir. Termal şok deneylerinde, 70°C sıcaklıkta 18 saat; arkasından 20 °C sıcaklıktaki damıtık su içerisine 6 saat bekletme işlemi 1 döngü olmak üzere toplam 20 döngü gerçekleştirilmiştir. Deneylerin yürütüldüğü test kabini ve örneklerinin görünümü Şekil 4’de verilmiştir. Deney sonucunda örnekler, sabit tartıma gelinceye kadar kurutularak tartılmış ve gerçekleşen ağırlık kayıplarını belirlenmiştir. Kütledeki değişim, %0,01 yaklaşımla Eş. 1’e göre hesaplanmıştır.

$$\Delta m = \frac{m_o - m_f}{m_o} \times 100 \quad (1)$$

(m_o : Deney öncesi kuru örneğin kütlesi, g, m_f : deney sonrası kuru örneğin kütlesi, g, Δm : kurutulmuş örneğin kütlesindeki değişim, %)

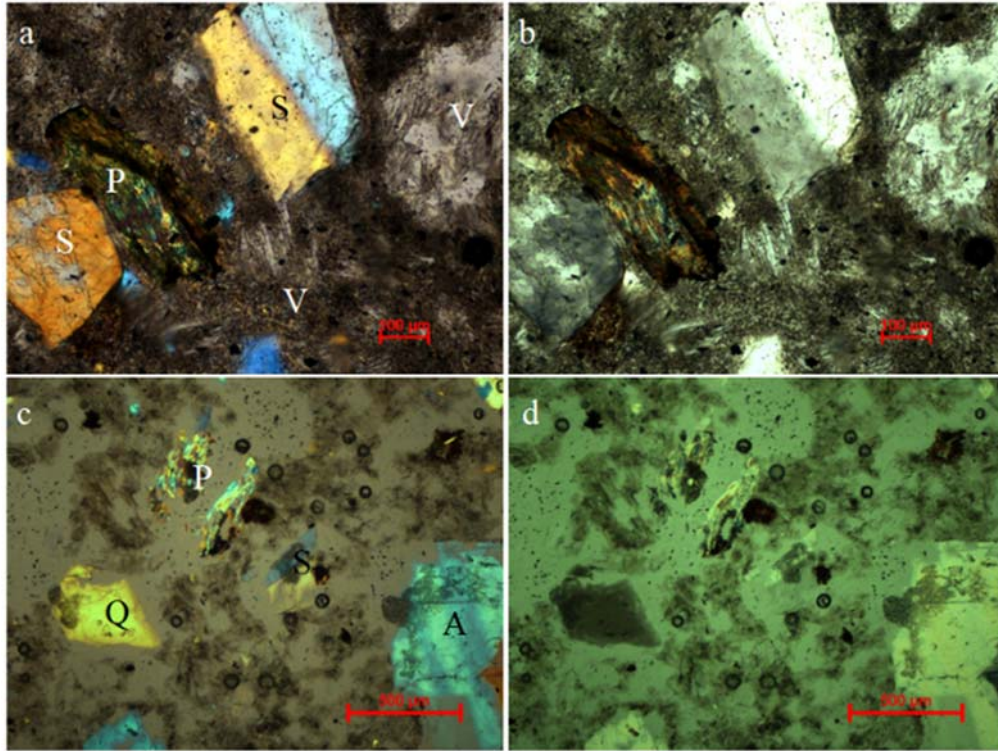


Şekil 4. Termal şok etkisi ile yıpranma direnci deneyi a) test kabini b) örneklerin görünümü

BULGULAR VE TARTIŞMA

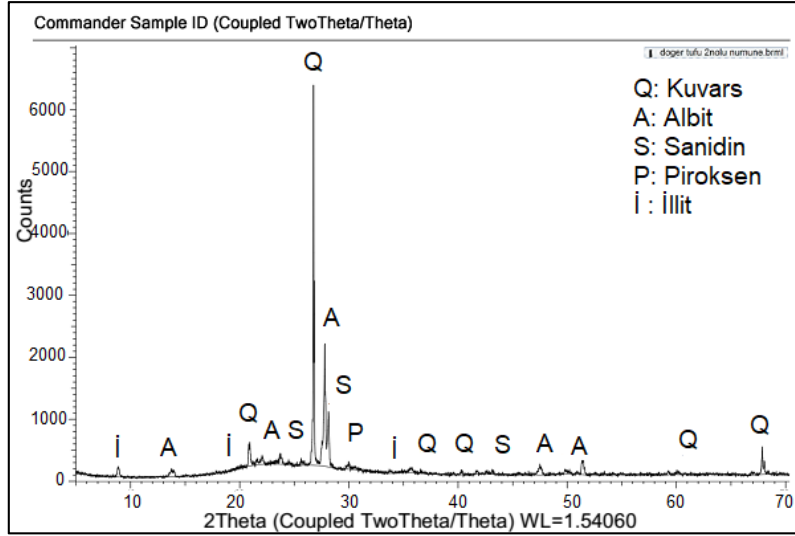
Mineralojik ve Petrografik Özellikleri

Döğür tufü kuvars, plajiyoklaz, sanidin, piroksen ve volkanik camdan meydana gelmiştir. Söz konusu mineraller feno kristal olarak gözlenmektedir. Sanidin ve piroksen mineralleri yer yer ayrışma izleri taşımaktadır. Matris ince kıymıklar şeklinde genellikle plajiyoklaz ve piroksen minerallerinden meydana gelmiş olup yer yer kayaç parçaları da içermektedir.



Şekil 5. Döğür tufü örneklerinin ince kesit görünüşleri. (a, c) Çift nikol, (b, d): Tek nikol. S: sanidin, Pj: plajiyoklaz, Q: kuvars, P: piroksen, V: volkanik camı.

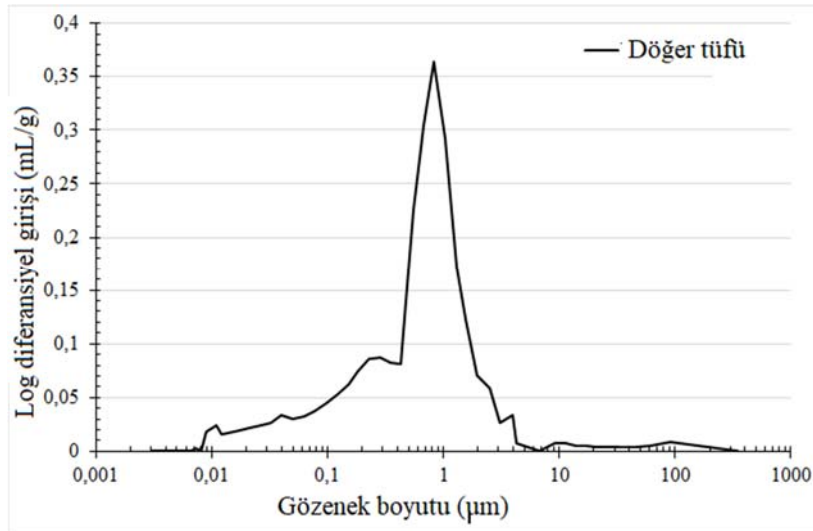
Döğer tufünün mineral bileşimini gösteren XRD pikleri Şekil 6'de verilmiştir. XRD analizi sonucunda tüflerin feldispat (albit ve sanidin), kuvars, illit ve piroksen minerallerinden meydana geldiği belirlenmiştir. İllit bir kil minerali olup feldispatların yer yer ayrışarak kile dönüştüğünü göstermektedir.



Şekil 6. Döğer tufünün mineral bileşiminin XRD piklerinin görünümü

Gözenek Boyut Dağılımı

Gözenek boyut dağılımı, doğal taşların ayrışma mekanizmaları ile doğrudan ilişkilidir. Donma-çözülme, su emme, kılcal su emme ve tuz kristallenme olaylarının yanı sıra termal şok etkisinin de sıcaklıkla beraber su emme ile ilişkili olduğu düşünüldüğünde gözenek boyut dağılımının önemi ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle deneylerde kullanılan tüflerin gözenek boyut dağılımı civalı porozimetre yöntemiyle belirlenmiş olup elde edilen grafik Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. İncelenen Döğer tufünün gözenek boyut dağılımı

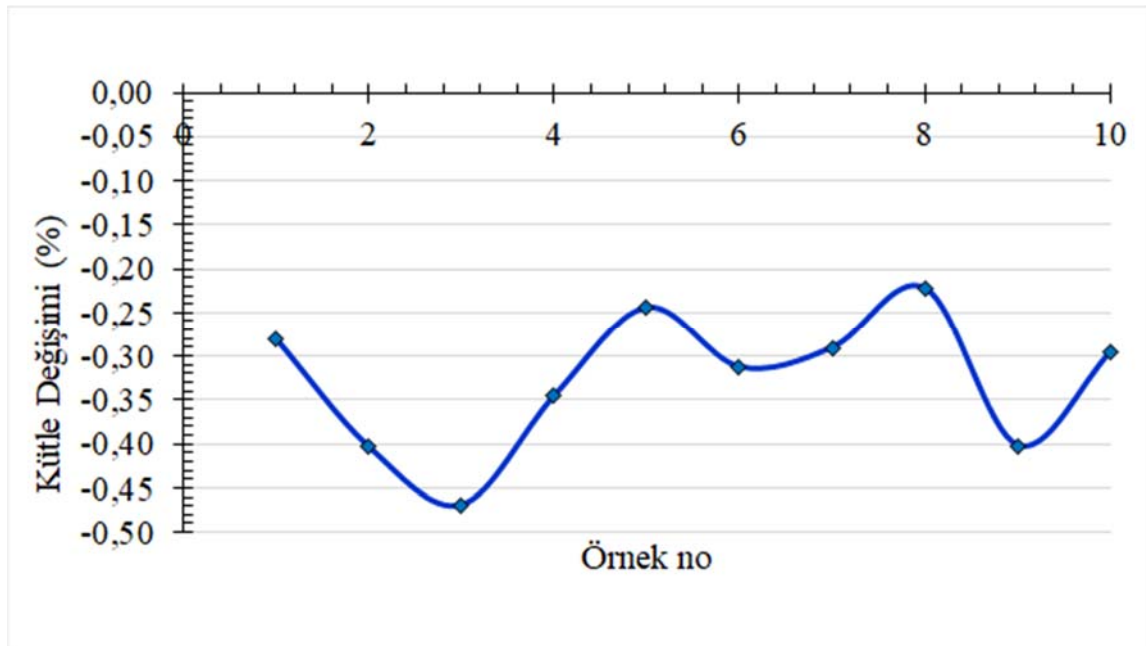
Döğer tüflerinin gözeneklilik oranı %42,03 olup 0,01-0,8 µm arasında bir gözenek boyut aralığı göstermektedir. Döğer tüfleri, unimodal dağılım (tek doruklu) bir dağılım sergilemektedir. Bu durumda Döğer tüflerinin mikro gözenek çapı dağılımına sahip olduğu söylenebilir.

Termal Şok Deneyi Sonrası Meydana Gelen Değişiklikler

İlgili standarda göre 20 döngü olarak uygulanan termal şok deneyleri sonrasında Döğer tüflerinde meydana gelen değişiklikler kütle değişimi, ultra ses ve tek eksenli basınç dayanımı gibi özellikler yardımıyla incelenmiştir.

Kütle Değişimi

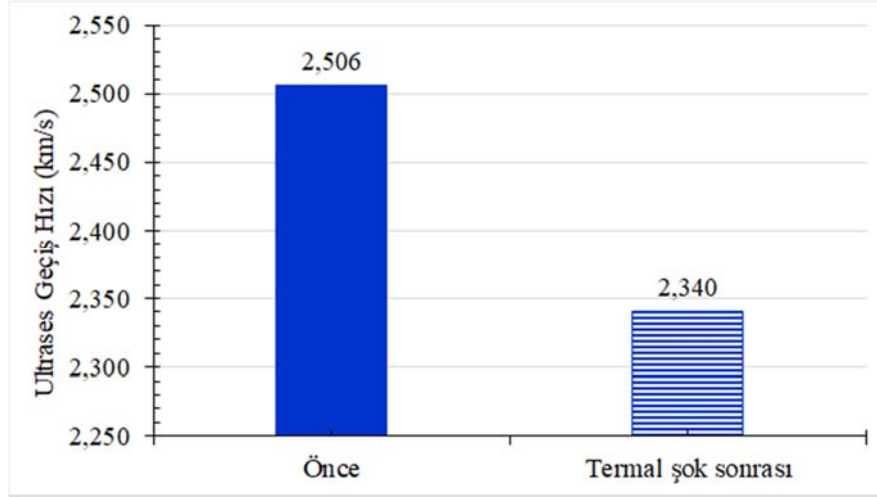
Döğer tüfünde termal şok etkisi sonrası meydana gelen kütle değişikliği %0,326 oranında azalmayla sonuçlanmıştır. Termal şok etkisi sonrası meydana gelen kütle değişikliği grafiği Şekil 8’de verilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda makro ölçekte Döğer tüfü örneklerinde fiziksel bir ayrışma görülmemiştir. Bu durumu kütle değişiminin çok düşük olması nedeniyle Döğer tüflerinin termal şok döngülerine karşı dayanıklı olduğu söylenebilir.



Şekil 8. Döğer tüfünü termal şok etkisi ile yıpranmaya direncin tayini deneyi kütle değişimi grafiği.

Ultrases Geçiş Hızı Değişimi

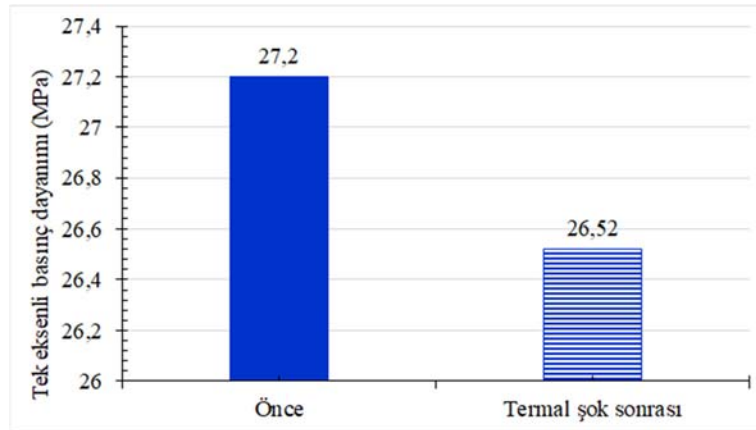
Doğal taşların yaşlandırma deneyleri sonrası meydana gelen malzeme içinde gelişen mikro çatlak ve gözeneklerin belirlenme yöntemlerinden birisi de tahribatsız bir yöntem olan ultrases yöntemidir. Döğer tüfünde termal şok etkisi sonrası meydana gelen ayrışmaların belirlenmesi amacıyla TS EN 14579 standardına uygun olarak ultrases geçiş hız ölçümleri yapılmıştır. Deney sonrası meydana gelen ultrases geçiş hızı değişiklikleri grafiği Şekil 9’da verilmiştir. Deney öncesi ayrışmamış taze örneklerde 2,506 km/s olan ultrases geçiş hızı değeri, deney sonrası 2,34 km/s’ye düşmüştür. Ultrases geçiş hızı %7,15 oranında azalmıştır. Sonuç olarak termal şok etkisi ile tüflerin içinde mikro çatlakların gelişmiş olduğu ve/veya var olan gözeneklerin de boyutlarının değişmiş olabileceği söylenebilir.



Şekil 9. Döğer tufünün termal şok etkisi ile yıpranmaya direncin tayini deneyi ultrases geçiş hızı değişimi grafiği

Tek eksenli Basınç Dayanımı Değişimi

Döğer tufünün termal şok etkisi ile yıpranmaya direncin tayini deneyi sonrası meydana gelen tek eksenli basınç dayanımı değişiklikleri grafiği Şekil 10'da verilmiştir. Deneyler TS EN 126 standardına göre yapılmıştır. Taze örneklerde 27,2 MPa olan tek eksenli basınç dayanımı değeri, termal şok deneyleri sonrasında 26,52 MPa'ya düşmüştür. %2,5 oranında meydana gelen basınç azalması termal şok etkisi nedeniyle oluşan mikro gözenek ve çatlaklara bağlıdır.



Şekil 10. Döğer tufünün termal şok etkisi ile yıpranmaya direncin tayini deneyi tek eksenli basınç dayanımı değişimi grafiği

SONUÇLAR

Hızlandırılmış yaşlandırma testleri, laboratuvar koşullarında bozulma ortamlarını simüle eder. Ayırmayı sağlayan ajanlara bağlı olarak doğal taşların bozulması hakkında bilgi vermek amacıyla gerçekleştirilir ve bu nedenle her bir bozulma işleminden sorumlu mekanizmaları araştırır. Bu çalışmada geleneksel bir yapı malzemesi olan Döğer tüflerinin termal şok etkisi ile yaşlandırma deneyleri yapılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler aşağıda özetlenmiştir.

Mikro gözenek çapı dağılımına sahip olan Döğer tüfleri, 0,1-0,8 µm arasında bir gözenek boyut aralığı göstermektedir. Döğer tüfünde termal şok etkisi sonrası meydana gelen kütle değişikliği %0,326 oranında azalırken ultrases geçiş hızı %7,15 oranında azalmıştır. Bu durum mikro gözenekli olan tüflerde mikro çatlak oluşumları ile hem kütle azalması hem de ultrases geçiş hızında azalmayla sonuçlanmıştır. Aynı şekilde dayanım azalması da %2,5 oranında gerçekleşmiştir. Termal şok etkisiyle gelişen ayrışmalar, ultrases dalga hızı ve tek eksenli basınç dayanımı gibi fiziko-mekanik parametrelerdeki değişiklikler meydana getirmiştir. Bu durum taş kalitesi ve dayanıklılığı üzerinde olumsuz bir etki yapmaktadır.

KAYNAKLAR

- Akbay, D., Efe, T., Şengün, N., Demirdağ, S., Altındağ, R., Koçcaz, C.E., 2012. Donma-çözülme ve termal şok koşullarının bazı mermerler üzerindeki etkilerinin incelenmesi. MERSEM'2012 8. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi, 13-15 Aralık 2012.
- Demirdağ, S. 2013. Effects of freezing-thawing and thermal shock cycles on physical and mechanical properties of filled and unfilled travertines. *Constr Build Mater*, 47, 1395–1401.
- Freire-Lista, D.M. Fort, R. (2017). Historical quarries, decay and petrophysical properties of carbonate stones used in the historical center of Madrid (Spain), *AIMS Geosci*. 3 (2) 284–302,
- García-del-Cura, M. Benavente, D. Martínez-Martínez, J. Cueto, N. (2012). Sedimentary structures and physical properties of travertine and carbonate tufa building stone, *Constr. Build. Mater*. 28 456–467,
- Ghobadi, M.H., Babazadeh, R., 2015. Experimental studies on the effects of cyclic freezing–thawing, salt crystallization, and thermal shock on the physical and mechanical characteristics of selected sandstones. *Rock Mech. Rock. Eng.* 48, 1001–1016.
- Hale, P.A., Shakoor, A., 2003. A laboratory investigation of the effects of cyclic heating and cooling, wetting and drying, and freezing and thawing on the compressive strength of selected sandstones. *Environ Eng Geosci*, 9 (2), 117–130.
- Hattema, M.H.H., Wolf, K-H.A.A., De Pater, C.J. 1998. The influence of steam pressure on thermal spalling of sedimentary rock: theory and experiments. *Int J Rock Mech Min Sci*, 35, 3–15.
- Heidari, M., Chastre, C., Torabi-Kaveh, M., Ludovico-Marques, M., Mohseni, H. 2017. Application of fuzzy inference system for determining weathering degree of some monument stones in Iran. *Journal of Cultural Heritage*, 25, 41–55.
- Khanlari, G., Abdilor Y, 2015. Influence of wet–dry, freeze–thaw, and heat–cool cycles on the physical and mechanical properties of Upper Red sandstones in central Iran. *Bull Eng Geol Environ*, 74, 1287–1300.
- Labus, M., Bochen, J. 2012. Sandstone degradation: an experimental study of accelerated weathering, *Environ Earth Sci*, 67, 2027-2042.
- Modestou, S. Theodoridou, M. Fournari, R. Ioannou, I. (2015). Physico-mechanical properties and durability performance of natural building and decorative carbonate stones from Cyprus, in: R. Prikryl, A. Török, M. Gómez-Heras, K. Miskovsky, M. Theodoridou (Eds.), *Sustainable Use of Traditional Geomaterials in Construction Practice*, Geological Society, Special Publications, London, pp. 145–162,
- Murru, A. Freire-Lista, D.M. Fort, R. Varas-Muriel M.J. Meloni, P. (2018). Evaluation of post-thermal shock effects in Carrara marble and Santa Caterina di Pittinuri limestone. *Construction and Building Materials* 186 1200–1211
- Shushakova, V. Fuller, E.R. Siegesmund, S. (2013). Microcracking in calcite and dolomite marble: microstructural influences and effects on properties, *Environ. Earth. Sci*. 69 (4) 1263–1279,
- Sousa, L.M.O., Suarez del Rio, L., Calleja, L., Ruiz de Argondona, V.G., Rey, A.R. 2005. Influence of microfractures and porosity on the physicomechanical properties and weathering of ornamental granites. *Eng Geol*, 77, 153–68.
- TS EN 14066. 2004. Doğal Taşlar-Deney Metotları-Termal Şok Etkisiyle Yıpranmaya Direncin Tayini. TSE. Ankara.

- TS EN 14579, Doğal taşlar-Deney yöntemleri-ses hızı ilerlemesinin tayini, TSE, Ankara, 14 s, 2006.
- TS EN 1926, Doğal taşlar-Deney yöntemleri-tek eksenli basınç dayanımı tayini, TSE, Ankara, 19 s, 2013.
- Vázquez, P. Alonso, F.J. Carrizo, L. Molina, E. Cultrone, G. Blanco, M. Zamora, I. (2013). Evaluation of the petrophysical properties of sedimentary building stones in order to establish quality criteria, *Constr. Build. Mater.* 41 868–878,
- Wang, P., Xu, J., Liu, S., Wang, H., Liu, S. 2016a. Static and dynamic mechanical properties of sedimentary rock after freeze-thaw or thermal shock weathering, *Engineering Geology*, 210, 148–157.
- Wang, P., Xu, J., Liu, S., Wang, H. 2016b. Dynamic mechanical properties and deterioration of red-sandstone subjected to repeated thermal shocks. *Engineering Geology*, 212, 44-52.
- Yavuz, H., Altındağ, R., Sarac, S., Uğur, I., Şengun, N., 2006. Estimating the index properties of deteriorated carbonate rocks due to freeze–thaw and thermal shock weathering. *Int J Rock Mech Min Sci*, 43, 767–775.
- 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.

DOĞAL TAŞLARIN TERMAL DAVRANIŞ PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ
DETERMINATION OF THERMAL BEHAVIOR PERFORMANCE OF NATURAL STONES

Mete KUN
Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Müh. Bölümü
(mete.kun@deu.edu.tr)

ÖZET

Gerek yapı ve kaplama gerekse dekoratif ve izolasyon amaçlı olarak değerlendirilen doğal taşların, inşaat ve yapı sektörlerinde kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Oluşum mekanizmaları gereği doğal taşların sahip oldukları termal karakteristik özelliklerin bilinmesi, var olan özelliklerin detaylı olarak ortaya konulması, doğal taşların olduğu kadar tüm doğal malzemeler içinde oldukça önemlidir. Doğal taşların yapıları gereği sahip oldukları ısıl davranışlarının belirlenmesi ve kızıl ötesi termografi ölçümlerinin yapılarak değerlendirilmesi, çalışmanın özünü oluşturmaktadır. Bu bağlamda çalışma içerisinde, farklı yörelere ait farklı köklerdeki doğal taşların termal özellikleri belirlenmiş, termografik ölçümleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. Buna göre, özellikle enerji verimliliğinin üst düzeyde olduğu günümüzde, doğal taşların amacına göre, doğru kullanımları belirlenebilecektir.

Anahtar sözcükler: Doğal taşlar, termal analiz, termografik ölçüm

ABSTRACT

The usage of natural stones, which are considered as structural and coating as well as decorative and isolation purposes, is increasing in structure and construction sectors. Due to the different formation mechanisms, it is important to know the thermal characteristic properties of natural stones and to present the existing features in detail in all natural materials as well as natural stones. Determination of the thermal behavior characteristics of natural stones due to their nature, thermal permeability coefficients and measurement of infrared thermography measurements are the essence of the study. In this context, the thermal properties of natural stone of different origin in different regions were determined, thermographic measurements were made and the results obtained were interpreted. According to this, especially when energy efficiency is at the highest importance level, the proper use of natural stones can be determined according to their purpose.

Keywords: Natural stones, thermal analysis, thermographic measurement

GİRİŞ

Doğal taşlar, dayanıklılığı, uzun ömürlü oluşları, görsel ve mimari açıdan sunduğu olanaklar ve bünyesinde barındırdıkları daha birçok özellik bakımından insanoğlunun varoluşundan günümüze kadar geçen süre içerisinde, kullanımı giderek artan hayatın bir parçası haline gelmiştir.

Günümüzde sıklıkla yapı, kaplama, dekorasyon ve bununla birlikte izolasyon amaçlı olarak değerlendirilen doğal taşların inşaat ve yapı sektörlerinde kullanımı, prestijli yapılarında hızlı artışı ile birlikte, giderek artmıştır. Kullanım yer ve olanakları oldukça fazla olan doğal taşların bu kullanım yerlerine göre doğru ve en yüksek verimle kullanımı bakımından sahip oldukları mekanik, kimyasal ve bazı karakteristik özelliklerinin detaylı olarak bilinmesi gerekmektedir. Bu bağlamda doğal taşların yapıları gereği sahip oldukları ısıl davranış özelliklerinin belirlenmesi ve kızıl ötesi termografi ölçümlerinin

yapılarak değerlendirmesi amacı ile hazırlanan bu çalışmada elde edilen bulgular gerek doğal taşların ısı özelliklerinin bilinerek doğru kullanılması gerekse günümüz enerji piyasasındaki etin rekabet ortamı nedeni ile mümkün olduğunca az enerji kullanımı ile istenilen sonuçlara ulaşılmayı hedefi bakımından önem arz etmektedir.

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 (Kun 2017, Tufan ve Kun 2014). Çalışmada, yalıtım ve yapı malzemeleri üzerinde yaygın olarak uygulanan kızılötesi termografi analizleri ve ısı geçirgenlik katsayısı ölçümleri bir arada değerlendirilerek, seçilen numunelerin ısı yalıtım performansları karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir. Malzeme karakterizasyonu amacı ile kullanılan kızılötesi termografi yöntemi, Demirdağ ve Gündüz (2003), Vosteen ve Schellscmidt (2003), Meola vd. (2004), Nilica ve Harmuth (2005), Meola (2007) ve Shi vd. (2007) gibi birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır. Bunlara ek olarak, çeşitli taş ve yalıtım malzemesinin 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.

YÖNTEM

Doğal taşların termografik özelliklerinin ve ısı davranışlarının tayini için, farklı örnekler üzerinde çalışmalar yapılmış ve Şekil 1’de bu örnekler verilmiştir. Örneklerin gerek ısı geçirgenlik gerekse termal görüntüleme analizlerinde kullanılacak biçimde boyutlandırılma işlemleri fabrikalarda hassas olarak yapılmıştır. Çalışma içerisinde termal görüntülemesi yapılan örneklerin tümü 60x60x2 ebatlarında boyutlandırılmıştır. Örneklerin ticari isimleri ve çalışma içerisinde verilen kodlar sırası ile; A₁: Akhisar bej mermer, A₂: Yeşilirmak Diyabaz; A₃: Aksaray yaylakgranit, A₄: Muğla Beyaz mermerolarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Termal görüntüleme testlerinde kullanılan örnekler

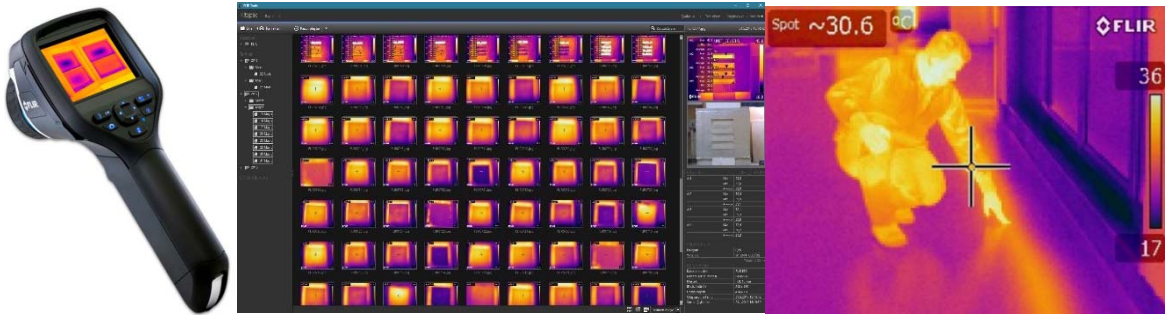
Termografi ya da termal görüntüleme yöntemi, nesnelerin yüzey sıcaklığını esas alan görüntünün genel yapısının ısıya göre oluşmuş renk ve Őekiller tarafından belirlenmesidir (Grinzato vd. 1998, Luong 2004). Bu yöntemde yüzeyden kızılötesi bantta yansıyan termal enerji, her bir enerji seviyesinin farklı 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), (60x60) ya da özel ölçülere kesilmiş örneklerin, tüm yüzeylerine aynı ısıyı verebilmesi amacı ile 1200°C sıcaklıklara dayanabilen sodyum silikat ve kuvars karışımı hamur ile kaplanmıştır. Bu hamur aynı zamanda yüksek fırın ve benzer ısı işlem cihazlarının rezistanlarının gizlenerek ortama homojen ısı yaymalarını sağlayan bir malzemedir. Geliştirilen bu cihazla, üzerine konumlandırılan örneğin homojen ısı alması sağlanmakta ayrıca rezistanlar ve hamur malzemesi arasına yerleştirilen termokupllar ile de cihaz yüzeyinin sıcaklık dağılımı her an ve homojen olarak kontrol edilebilmektedir. Termal görüntüleme işlemi için kullanılan termal kameraya ait teknik özellikler ise, Çizelge 1’de verilmektedir. Bu bağlamda, Isıl İşlem Laboratuvarında 60x60x2 cm boyutlarında dört farklı kökendeki doğal taşta, her bir doğal taş için en az 3 farklı örnek üzerinde termal testler yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Şekil 2’ de bu işlemler için kullanılan termal kamera ve yazılımı ile ilgili görseller verilmektedir.

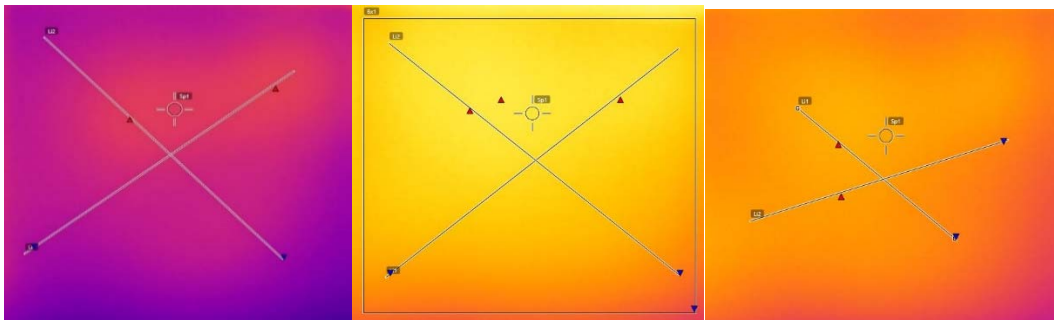
Çizelge 1. Termal kamera özellikleri

	Değerler
Termal çözünürlük	240 x 180 piksel
Termal hassasiyet	$\leq 0,05^{\circ}\text{C}$
Sıcaklık ölçüm aralığı	20°C / 650°C
Minimum fokus	0,4 metre



Şekil 2. Kullanılan termal kamera ve yazılımı

Deney düzeneğine yerleştirilen farklı örneklerin her biri 30 dakika boyunca 30⁰,45⁰ C ve 60⁰ C düzgün dağılımlı ısıya maruz bırakılmış ve her yüzey sıcaklıkları her 10 dakikada bir, termal kamera ile okunarak kaydedilmiştir. Aşağıda A1 kodlu Akhisar Bej mermeri örneğinin, çalışmaya konu olan 60°C sıcaklığa maruz bırakıldığında, yüzeyinin farklı zaman aralıklarında çekilen ve yazılım ile işlenen termal görüntüleri örnek olarak verilmektedir (Şekil 3).



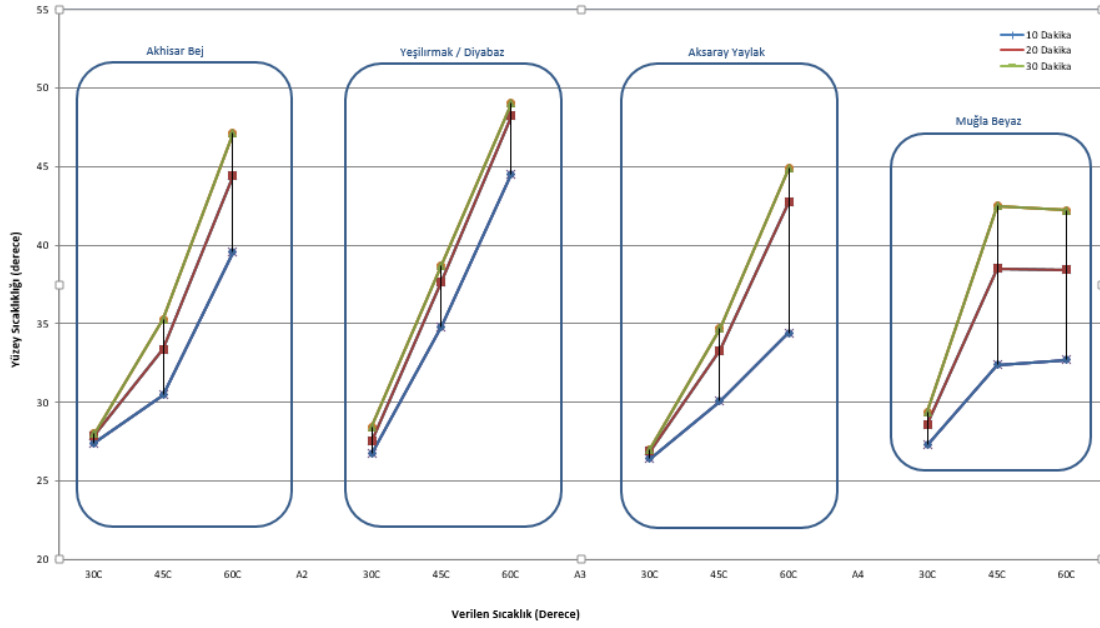
Şekil 3. Akhisar Bej mermer örneğinin 60°C ısı kaynağı üzerinde 10-20 ve 30 dakika sonrası yüzey sıcaklığına ait termografik görüntüleri.

Aşağıda Çizelge 2' de çalışma içerisinde kullanılan örneklere ait farklı sıcaklık (°C) ve zaman (dak) aralıklarında yapılan yüzey sıcaklığı okumaları detaylı olarak verilmektedir.

Çizelge 2. Farklı sıcaklık ve zaman aralıklarında ölçülen yüzey sıcaklıkları (°C)

Örnek adı/No	Sıcaklık (°C)	10 Dakika	20 Dakika	30 Dakika
<u>A1 (Akhisar Bej/Kireçtaşı)</u>				
Bej mermer / Örnek 1	30	27,6	27,7	27,8
	45	30,6	33,6	35,6
	60	39,4	44,4	47
Bej mermer / Örnek 2	30	27,4	28	28,1
	45	30,4	33,2	35,1
	60	39,7	44,7	47,2
Bej mermer/ Örnek 3	30	27,3	28	28,2
	45	30,5	33,2	35,2
	60	39,5	44,2	47
<u>A2 (Yeşilirmak/Diyabaz)</u>				
Diabaz / Örnek 1	30	26,8	27,6	28,2
	45	34,8	38	39
	60	44,7	48,3	49,3
Diabaz/ Örnek 2	30	26,6	27,5	28,9
	45	35	37,3	38,1
	60	44,5	47,9	
Diabaz/ Örnek 3	30	26,8	27,5	28,3
	45	34,7	37,8	39
	60	44,9	48,5	49,1
<u>A3 (Aksaray Yaylak/Granit)</u>				
Granit / Örnek 1	30	26,4	26,9	27,1
	45	30,1	33,4	34,7
	60	35,5	42,9	44,9
Granit / Örnek 2	30	26,5	27	27
	45	30,2	33,2	34,5
	60	35,4	42,7	45
Granit / Örnek 3	30	26,4	26,8	27
	45	30	33,2	34,9
	60	35,4	42,6	44,9
<u>A4 (Muğla Beyaz/Gerçek Mermer)</u>				
Beyaz / Örnek1	30	27,4	28,8	29,5
	45	32,6	38,9	42,6
	60	32,8	38,8	42,4
Beyaz/ Örnek2	30	27,3	28,5	29,3
	45	32,3	38	42,2
	60	32,7	38,1	42
Beyaz / Örnek3	30	27,1	28,5	29,4
	45	32,2	38,6	42,5
	60	32,5	38,4	42,3

Şekil 4' de, Çizelge 2'de verilen zaman aralıklarında (10–20–30 dak.) ve sıcaklık değerlerinde yüzeyden okunan sıcaklık dağılımları, çalışmada ele alınan dört farklı kayaç tipinin, üç farklı örneğine ait sonuçlarının ortalama değerleri grafiksel olarak verilmektedir.



Şekil 4. Örneklerin 30 - 45 - 60°C sıcaklığa maruz bırakıldığında, farklı zamanlarda okunan yüzey sıcaklık değerleri.

Ayrıca örneklerin özellikle 60°C ısıtıldıktan sonra, ilksel sıcaklığa (oda sıcaklığı) dönme süreleri de dakika cinsinden belirlenmiştir. 60 °C ısıtılan örneklerden aldığı ısıyı en uzun sürede geri vererek oda sıcaklığına dönen örnek A4 kodlu Muğla beyaz örneğidir. Muğla beyazı sırası ile Akhisar bej (A1) , Aksaray Yaylak (A3) ve Yeşilirmak (A2) örnekleri takip etmektedir.

SONUÇ ve DEĞERLENDİRMELER

Günümüzde sıklıkla yapı, kaplama, dekorasyon ve bununla birlikte izolasyon amaçlı olarak değerlendirilen doğal taşların inşaat ve yapı sektörlerinde kullanımı, prestijli yapılarında hızlı artışı ile birlikte, giderek artmış ve artmaktadır.

İnşaat sektöründe kullanılan mamul malzemeler içerisindeki payı giderek artan doğal taşların sahip oldukları tekno-mekanik özelliklerinin bilinmesinin yanı sıra, özellikle enerji kavramının oldukça etkin bir şekilde ele alındığı günümüzde, doğal taşların kullanım ve tercihlerinde ısıl davranışlarının da bilinmesi oldukça önemlidir.

Doğal taşların yapıları gereği sahip oldukları ısıl davranış özelliklerinin belirlenmesi ve 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, 20 ve 30 dakikalık sürelerde ölçülmüştür. Burada amaç özellikle alttan yada duvardan (yandan) yapılan ısıtma sistemlerinin son katmanı olarak tercih edilen doğal taşların, çeşitliliğe göre gösterdikleri performansların tayini olarak belirlenmiştir.

Buna göre; her üç sıcaklık için de geçerli olmak üzere (30°C, 45°C ve 60°C) aldığı ısıyı yüzeye en çok ileten A2 kodlu Yeşilirmak diyabaz örneği olduğu, 20 ve 30 dakikalık maruziyette Akhisar Bej (A1) ile Aksaray Yaylak (A3) benzer özellikler gösterirken, 10 dakikalık sıcaklık maruziyetinde, Akhisar Bej (A1) örneğinin daha fazla termal geçirgenliğe sahip olduğu gözlenmiştir.

Bununla birlikte A4 olarak kodlanan Muğla Beyaz (Gerçek Mermer) örneği, diğer örneklerle nazaran termografik olarak farklı bir davranış sergilemektedir. Özellikle 45°C ve 60°C ölçümlerinde ısıya maruz kalma süresi artsa da, aldığı ısıyı yüzeye yansıtmadığı, ayrıca sıcaklığın 45°C den 60°C çıktığında, yüzeyden ölçülen değerlerin birbirlerine çok yakın olduğu (iki değerde ~42,5°C) gözlenmiştir. Bu durum Muğla Beyaz mermerinin sıcaklığı içene hapsedip, yüzeye veya dışarıya diğer örnekler kadar yansıtmadığını göstermektedir. Ayrıca örneklerin soğuma eğilimleri incelendiğinde ısıyı içerisinde en uzun süre muhafaza eden örneğin de Muğla Beyaz olduğu saptanmıştır.

Çalışma sonucunda, kızılötesi termografi analiz yönteminin, doğal taşların ısıl performanslarını değerlendirmede verimli olarak kullanılabilmesi için fiziksel özelliklerin yanı sıra kayaçların petrografik ve kimyasal özellikleri ile birlikte irdelenmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Aksi durumda benzer fiziksel özelliklere (porozite, birim ağırlık vb..) sahip kayaçların, çok farklı ve uyumsuz ısıl özellikler göstermesi mümkündür. Benzer yapıdaki kayaçların ortaya koydukları farklı termal davranışların daha net olarak ortaya konulabilmesi için araştırmanın bundan sonraki bölümlerinde kayaçların mineral bileşimleri, porozite durumları vb.. özellikler araştırılarak sonuçları değerlendirilecektir.

TEŞEKKÜR

Yazar, Dokuz Eylül Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne 2013.KB.FEN.022 no'lu projeye olan desteklerinden dolayı teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- Al-Kassir, A.R, Fernandez, J, Tinaut, F.V, Castro, F. (2005). Thermographic study of energetic installations. *Applied Thermal Engineering*, 25, 183-190.
- Avdelidis, N.P, Kouj, M, Ibarra-Castanedo, C, Maldague, X. (2007). Thermographic studies of plasteredmosaics. *Infrared Physics&Tech.*, 49, 254-256.
- Barreira, E, Freitas, V.P. (2007). Evaluation of building materials using infrared thermography. *Construction and Building Materials*, 21, 218-224.
- Demirdağ, S, Gündüz, L. (2003). The characteristics of pumice and analysis of thermal insulation. 18th International Mining Congress and Exhibition, (pp.10-13).
- Durmuş, G, Görhan, G. (2009). Evaluation of termographic images with respect to thermal conductivity. *Journal of Technical-Online*, 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. (pp.181-196), Afyon.
- Kun, M. (2017). Granitik kayaçların termal özelliklerinin değerlendirilmesi. Türkiye 9. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi, (pp. 389-394), Antalya.
- Kun, M, Tufan, B. (2015). Farklı doğaltaşların ısıl yalıtım performanslarının değerlendirilmesi. Türkiye 24. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi,(pp.181-196), Antalya
- Luong, M.P.(2004). Mechanical performance of wood construction materials, 16th World Conference on Nondestructive Testing, (pp.1-9), Montreal-Canada.
- Meola, C, Carlomango, M, Gierleo, L, (2004). The use of infrared thermograpy for materials characterization. *Journal of Materials Processing Tech.*, 155-156, 1132-1137.
- Meola, C, DiMaio, 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.
- Meola, C.(2007). Infrared thermograpy of masonrystructures. *Infrared Physics&Technology*, 49, 228-233.

- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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, (pp.1-9), Czech Republic.
- Vosteen, H.D, Schellschmidt, R. (2003). Influence of temperature on thermal conductivity, thermal capacity and thermal diffusivity for different types of rock. *Physics and Chemistry of the Earth*, 28, 499-509.

INDIA GRANITES IN THE WORLD MARKET; UNDERSTANDING OF MARKETING, SALES AND TRADE

N. Mehar

Hasnain Granites India Pvt. Ltd.
 (*Corresponding author: hasnaingranites@gmail.com)

ABSTRACT

India has one of the highest granite reserves in the world. With a varied diversity of more than 110 shades, India accounts for over 20 percent of the total granite reserves across the world. The total granite reserves in the India are estimated around 13.87 Crore tonnes and it is one of the largest exporters of granite and granite products in the world.

Despite the global competition from the countries like China, Brazil, and Saudi Arabia, the Indian granite exports still maintain a 4% annual growth rate over the last few years. According to the latest trading data, India exported total 1.65 million tonnes in volume, or the equivalent of US\$839 million in value of granite and granite products to the global market in 2016, representing over 39.3% of the world's total granite exports in that year. The revenue from the granite exports in India is the largest in the stone exports industry. Granite exporters in India export most of its granite to China (55%), the UK (18%), and the US (5%).

Each country has unique soil and granite stones. Granite from India is very different compared to world granite and it cannot be copied. The unique appearance of Indian granite is definitely a competitive advantage that should be considered when planning export strategies.

The CAPEXIL [formerly known as the Chemicals and Allied Products Export Promotion Council] set up by the Government of India has been playing an important role in promoting exports of granite and granite based products. All India Granites and Stone Association (Bangalore) has also been playing an equally important role in promoting granite industry by organizing international trade fairs on granite and other stones in India every four years. The leading exporters and importers have widely participated in these trade fairs both from India and abroad. The interaction among the key players in such gatherings help the industry to generate export orders and also acquire the latest technical know-how about the developments in the granite industry in India.

Keywords: India granites, marketing

INVITED PAPER

What is the size of the natural stone trade sector in India?

India has a remarkable variety of natural stones that include granite, marble, sandstone, limestone, slate, and quartzite, spread out all over the country.

India leads in production of natural stones followed by China India is a major exporter of natural stone and granite, About twenty-seven per cent of the natural-stone products in the international market are from India.

What are your views on Indian natural stone sector? What is the potential of the sector?

India has been able to improve its comparative advantage based on superior-quality stone and low prices. As a result of rapid adoption of advanced mining technology and a concomitant increase in its processing expertise, India has established itself as one of the most dynamic stone producers and traders in the world.

What are your opinions about Turkish natural stones? Are Turkish natural stones preferred in India?

Closely connected to global shipping lanes, Turkey is easily able to send its stone around the world by cost-effective sea freight.

Turkey's main stone export products is marble blocks. In Turkey more than 400 different colors textures and patterns of natural stones are found that gained appreciation about their quality in the world markets. Marble and travertine being in the first place.

Turkish Natural Stone is preferred in India Along with other countries Marble Because it is Free from any cracks or other defects There is a wide range of colors, consistency in quality, Sufficient to yield big blocks and Decorative arrangements of colors and crystal compositions are possible which make it possible to use them in the production of exclusive products.

What do you think about the Turkish natural stone price policy? How are the prices compared to the world market?

Turkey is the 1st largest exporting country in the world in marble and travertine Natural stone exports have developed rapidly in the last ten years. All this is because Turkish Natural Stone Price and Very much compatible with the world market.

What are the legal difficulties in the natural stone sector in your country?

Stone sector in India include bonded labour, child labour, and unhealthy and unsafe work environments resulting in injury and death of labour . The quarry sector is largely unregulated and most workers are undocumented and unorganised In addition, there are a substantial number of unlicensed and illegal quarries in India

How do you see the marble sector and investments in Turkey?

Turkey contains a mass of natural stone deposits. This abundant supply puts Turkey in a leading position in world exports. Largescale private companies have invested in processing plants, which has pushed forward technological development in the industry. 10 years earlier, the sector shows impressive annual growth, establishing Turkey as the third-biggest world supplier of marble and granite.

How do you see the technical problems of Turkish stones?

The marble of superior grade do not need any chemical reinforcement like other marble products But, there are certain types of marbles which do have high salt content. These marble slabs have very low percent of iron content They have some disadvantages like the cracks, salt, efflorescence and discolouration & low polish durability in certain marble tiles but this can be avoided by using various chemical products.

Could you please compare the technologies of both countries in natural stone production?

Current production technology, methods, craftsmanship and ease of transportation, Turkey is one of the leading countries in natural stone industry.

That is why the plants processing the stones are able to create the desired product with commercially high standards of quality. Even though the companies in the Turkish natural stone market are moderate in their size, they are standardized and well organized through associations and unions.

How do you trade natural stones from customs to the last stage? Could you tell us about the stages such as loading, shipping?

First we get an Export Order and after confirmation of order we manufacture the goods and do pre shipment inspection after good are ready we packed, marked and labeled the good and appoint an clearing and forwarding agent who reserve space on the ship through which goods are to be sent to the importer and do Port Formalities and Customs Clearance

We also send Shipment Advice to the Importer and finally submit the shipment documents to buyer bank for collection.

How do you see the future of the marble industry in the world? What are the expectations?

Natural stone is becoming ever more popular for different applications, from use in large-scale construction projects to small do-it-yourself home renovations. In addition to traditional markets already accustomed to using natural stone, new markets in the Middle East and Southeast Asia are now increasingly aware of the benefits of marble and granite. Not only are houses of worship and other ceremonial structures using natural stone in construction, but also modern office complexes, hotels and airports.. The natural stone sector is also benefiting from the increasing popularity of natural stone baths and pools.

With greater availability of different varieties and the rise of new stone suppliers from Asian countries such as China and India, the price of natural stone has dropped significantly.

With the decrease in marble and granite prices and the growing number of middle- and high-income households in Asia and the Middle East, the potential customer base for natural stone has increased dramatically. While more households may have the budget to use marble and granite for home decor, natural stone has sustained its prestigious image And the global volume of the natural stone trade is increasing

ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL OPTIMIZATION OF ORNAMENTAL STONE BLOCK CUTTING WITH A 3D ALGORITHM

DOĞAL TAŞ KESİMİNDE 3 BOYUTLU ALGORİTMA KULLANARAK EKONOMİK VE ÇEVRESEL OPTİMİZASYON YAPIMI

E. Şirin^{1*}, S. Bonduà¹

¹*Bologna University, Department of Civil, Chemical, Environmental and Material Engineering
Bologna Üniversitesi, İnşaat, Kimya, Çevre ve Metalürji Mühendisliği Departmanı
(ece.sirin@studio.unibo.it, sirinece@gmail.com)*

ÖZET

Bu çalışma Poggio Imperiale, Foggia, İtalya bölgesindeki açık kireçtaşı ocağında bir basamak için, çevresel ve ekonomik optimum blok kesme boyutlarını araştırmaktadır. Kireçtaşı blok kesimi işlemleri ile ortaya çıkan atık miktarı minimize edilerek blok geri dönüşüm oranının artırılması, ekonomik kazançları koruyarak sağlanmıştır. SlabCutOpt, Bologna Üniversitesi-DICAM bölümünde blok kesme optimizasyonu için geliştirilmiş bir programdır. Bu çalışmada, SlabCutOpt programı kullanılarak 10 farklı alternatif blok boyutunun analizi gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar maksimum geri dönüşüm oranının %43 olduğunu belirtmektedir. Optimum blok boyutu aynı zamanda en yüksek ekonomik getiriyi sağladığı için en kazançlı blok boyutu olarak belirlenmiştir. Toplam basamağın blok kesim işlemi için, en düşük toz emisyonunun elmas tel kesici ile başarıldığı ve değerlerinin toplam basamak hacminin %2,52 -0,3'ü arasında olduğu belirlenmiştir. Eco-Label standartları değerlendirildiğinde, yüzey alanı 15 m²'den düşük olan blok boyutlarının markanın 'doğal kaynak atıkları' için belirlediği %25'lik alt sınır kriterine uyduğu belirlenmiştir. Bu çalışma sonucu, yüzey alanı 6 m² ve 14 m² arasında olan blok boyutları optimal ekonomik ve çevresel çözüm olarak tavsiye edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kireçtaşı, taş kesme, taşocağı, ekonomi, çevresel etki, optimizasyon, algoritma

ABSTRACT

This paper focuses on finding the environmental and economic optimum block dimension for the cutting of natural stone in a limestone quarry located in Poggio Imperiale, Foggia, Italy. By minimizing the produced waste volume, the block recovery ratio was increased by protecting the profitability of the quarry. The software SlabCutOpt is a tool developed at DICAM – University of Bologna - for block cutting optimisation. For this research, 10 different block dimension alternatives were analysed by using SlabCutOpt software. The results analysis indicates the highest recovery ratio can be up to 43%. The optimum block dimension was also found to be the most profitable dimension with the highest economical return. For the cutting operation of the entire block, the lowest dust emissions were achieved when extracting blocks with the diamond wire cutter, where the total dust volume was between 2.52-0.3% of the total bench volume. When the 'Natural Resource Waste' criteria of Eco-Label were considered and the 25% threshold value was applied, the block dimensions with surface areas values lower than 15 m² were found to be suitable. For the case study, block dimensions having surface area values between 6 m² and 14 m² were suggested as the optimal economic and environmental solution.

Keywords: Limestone, stone cutting, quarrying, economy, environmental impact, optimization, algorithm

INTRODUCTION

Mining is one of the primary economic activities providing resources for industry today. Natural stone production in quarries is one of the key sectors in mining activities. One of the most important factors in natural stone production is the pricing of the produced blocks and slabs. The price of ornamental stone blocks and slabs increases with their surface areas. However, one of the biggest concerns during the production stage is the presence of fractures or discontinuities within the stone block. Natural stones are nowadays extracted after extensive exploration. Exploitation is carried out using a range of different techniques and, according to the position of the ore and the physical and chemical properties of the surrounding rock, the method of production is determined.

The impact of industrial activity on the environment is equally one of the main concerns of today's industries, not only important but also an obligatory factor to be considered when conducting industrial activity thanks to recent regulation. The main environmental concerns surrounding quarrying operations include energy consumption; environmental pollution; and waste production. However, waste production is a highly notable factor in terms of its environmental impact and the economic effect it can have on a quarry. Natural stones are a non-renewable resource, therefore waste production in quarrying operations should be minimized in order to maintain circularity. As natural stone wastes make for up to 25% of the entire waste generated by economic activities in Europe, it is crucial to take the necessary and precautionary measures (Directive 2008/98/EC on waste (Waste Framework Directive, 2008).

Site Characteristics

The area of interest for the research was a limestone quarry located in Poggio Imperiale, Foggia, Italy, which belongs to the basin 'Apricena' which is the biggest mining area in the region of 'Apulia' with an aerial coverage of 24.1 km². The characteristics of the bench are related to its limestone formation, which consists of ultra-fine-grained beige-white micritic limestone which belongs to the "Fiorito Succession" (Reina, 2015). The quarry itself consists the applications of several mining methods which capture drilling/blasting and diamond wire cutting. In light of the complicated formation of the quarry, fracture characteristics, as well as the layout of the limestone ore in the area, the quarry itself makes use of several mining methods including drilling/blasting and diamond wire cutting. The location of the quarry is shown in Figure 1.

The bench in question was characterized by two sets of sub-vertical fractures which were named as Set-1 and Set-2 (Elkarmoty et al. 2018). The bench measures 27.00 m x 65.00 m x 3.95 m and belongs to a limestone quarry. In Figure 1, the bench in focus for this case study can be found together with the fracture sets in the area.



Figure 1. a) Site Location b) Bench of the case study (Elkarmoty et al. 2018)

METHODOLOGY

The research uses a fracture model taken from previous research by *Bonduà and Elkarmoty* for the bench in interest, with a 3D **Ground Penetrating Radar System (GPRS)** using transmission speeds of 250 and 750 MHz. The GPRS method considers the discontinuities as 3D models instead of deeming them as plane models (Elkarmoty et al. 2018). The obtained 3D fracture model was visualized via the software 'ParaView' to gain a better understanding of the bench and its fractures. Subsequently, the possible block cutting dimensions were determined. The research applies the algorithm of SlabCutOpt in order to test each block cutting dimension alternative. The results of the SlabCutOpt software was then analysed in terms of recovery ratio, waste volume, total earnings, production costs, dust emissions and the Eco-Label standards.

SlabCutOpt Software

The SlabCutOpt Software works with a defined domain and it is a software written in C++ language. The domain of the software works by inserting the bench boundaries and the 3D fracture model of the bench as the input files (Elkarmoty et al. 2016). A hypothetical 3D cutting grid is then created for the bench. The 3D cutting grid is then rotated and translated (in the 3 Cartesian Directions) several times. The intersections between the hypothetical cutting grid and the fracture model are the focus of the software. This application is performed by using a segment/triangle intersection algorithm (Guigue and Devillers, 2003). The algorithm considers the fractures in triangles and checks if the blocks of the hypothetical grid intersects with the triangles, for each rotation angle and orientation face(x-y-z). The software has an input and output system and runs by inserting the main input file '**SlabCutOpt.par**' which has the 'par' extension. The file is an ASCII file and contains parameters like; geometrical parameter of the domain for the investigated area, block dimensions, the orientation and translation step parameters and options about the operating mode and the output model.

The software generates two types of output files; firstly, the '**Results.log**' file in which each line contains: the orientation of the cutting grid, the translation used, the number of blocks inside the domain, the number of blocks with non-intersection (recoverable blocks); and, secondly, the '**vtu**' files for each generated cutting grid, a vtu file is generated to allow 3D visualization. A colour for each rock type is assigned to each block to allow easy identification of blocks inside the domain, intersected blocks and non-intersected blocks. This way, it becomes possible to visualize the intersected and non-intersected grids on the ParaView software. The optimum cutting angle for each block dimension is defined as "the angle that gives the highest number of non-intersecting blocks". The program can test several block dimensions at a time. By inserting alternative block cutting dimensions to the software both the optimum block cutting angle and the block dimension can be determined.

ANALYSIS & RESULTS

For this research, 10 different block dimensions with surface area values between 6-24 m² and volumes between 1-8 m³ were tested in the SlabCutOpt software and the results were subsequently analysed and interpreted. The aim of the analysis was to evaluate the selection of block dimensions **economically** and **environmentally**. For the SlabCutOpt analysis, the research inputs the 3D-fracture model of the bench, the site boundaries and the 10 different block dimensions. Each block dimension was assigned to a dimension number between 0-9 and the list of the block dimensions with their surface area, volume and assigned block numbers can be seen below (Table 1).

The SlabCutOpt software was ran with the 10 block dimensions and a results report was extracted. The output data, which can be found in Table 2, delivered the optimum solution for each block dimension and the angle of the cutting through the 'Tetha', 'Phi', 'Csi' angles on the x-y-z plane

and the number of non-intersecting blocks for each alternative block cutting dimension. Subsequently, the Paraview software was used to visualize the block fitting each dimension's optimum solution. At Appendix A, the resulting ParaView visual which displays the bench, the fractures and the fitted blocks can be found. For the ParaView example of the block fitting, dimension No.1 was chosen.

Table 1. Block Dimensions, Volume and Surface Area

Dimension # No	<i>x_dim</i> [m]	<i>y_dim</i> [m]	<i>z_dim</i> [m]	Block Volume [m³]	Block Surface Area [m²]
0	2.00	2.00	1.00	4.00	16.00
1	1.00	1.00	1.00	1.00	6.00
2	1.00	1.50	1.50	2.25	10.50
3	2.00	2.00	2.00	8.00	24.00
4	2.00	1.50	1.00	3.00	13.00
5	1.25	1.25	1.25	1.95	9.38
6	1.25	1.50	1.25	2.34	10.63
7	2.00	1.25	1.25	3.13	13.13
8	2.00	1.50	1.25	3.75	14.75
9	1.50	1.50	1.50	3.38	13.50

Table 2. Output Data of SlabCutOpt

Dimension # No	<i>x_dim</i> [m]	<i>y_dim</i> [m]	<i>z_dim</i> [m]	<i>Tetha</i>	<i>Phi</i>	<i>Csi</i>	Volume [m³]	Non-Intersecting Block Number
0	2.00	2.00	1.00	0.500	0.500	-0.500	4.000	358
1	1.00	1.00	1.00	-0.500	-0.500	-0.500	1.000	2979
2	1.00	1.50	1.50	-0.500	-0.750	0.250	2.250	1049
3	2.00	2.00	2.00	0.500	0.500	-0.500	8.000	104
4	2.00	1.50	1.00	0.000	-0.750	-0.500	3.000	504
5	1.25	1.25	1.25	-0.625	0.375	-0.625	1.953	1314
6	1.25	1.50	1.25	-0.625	-0.750	-0.625	2.344	1013
7	2.00	1.25	1.25	0.500	0.375	-0.625	3.125	626
8	2.00	1.50	1.25	0.000	-0.750	-0.625	3.750	511
9	1.50	1.50	1.50	-0.250	-0.750	0.250	3.375	487

Economic Evaluation

The economic evaluation of the output data consists in examining the: *recovery ratio*, *selling price & total earnings and the production costs*. By using the output data of the SlabCutOpt software, each point contributing in the economic evaluation of the bench interest was studied to determine the block dimension(s) offering the best economic outcome in terms of production and profitability.

Recovery Ratio

After the results of the optimum solutions for each block dimension were gathered, the calculations regarding the total usable block volume and the total waste volume were completed. The equations pertaining to said calculations can be seen below [Equation(1), (2)].,

$$V_{usable} [m^3] = N_{oNonIntersect} \times V_{block} [m^3] \quad (1)$$

$$V_{Waste} [m^3] = V_{bench} - V_{usable} [m^3] \quad (2)$$

$$R = \frac{V_{usable}}{V_{bench}} * 100 [\%] \quad (3)$$

By using the calculated usable block volume and waste volume, the recovery ratio of each optimum solution was calculated using Equation (3) and was then plotted as the block volume was chosen as the variable, which can be seen in Figure 2. The recovery ratio was found to have a linearly decreasing trend with the increasing block volume. The highest recovery ratio was calculated as 43% and belonged to block No.1, that measured 1m³ in volume and had dimensions of '1 m x 1 m x 1 m'. This was associated with the fractions of the bench that had both vertical and horizontal alignment; therefore, the bigger blocks were not able to fit in spaces that smaller volume blocks did.

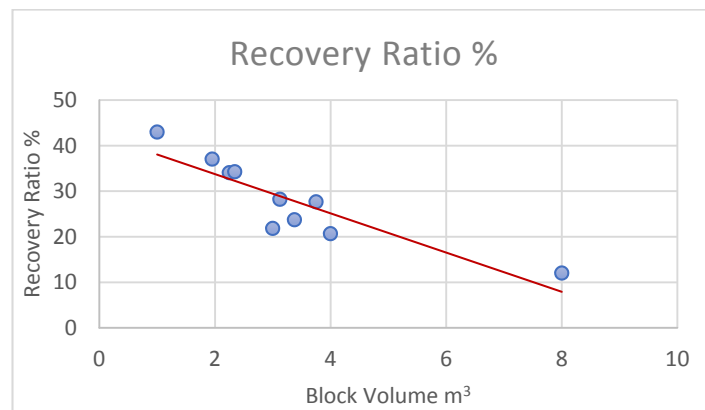


Figure 2. Recovery Ratio

Selling Price & Earnings

For the ornamental stone industry, one of the core aspects is the economic value of the blocks/slabs it produces. The slab/block prices have an increasing trend with the increasing surface area as it is hard to produce blocks with larger surface areas without intersecting any fractures. According to the research paper of Bonduà and Elkarmoty in 2018, the term *Relative Money Value* (RMV) was found as a representation of block/slab cutting prices. The RMV of a block is a unit less number found as a proportion of the block selling prices with accordance to their surface area values according to the Bonduà and Elkarmoty research in 2018; the research also plots the RMV values with changing surface areas, the plot can be seen on Figure 3 (Elkarmoty et al. 2018). In this study the RMV of the optimum solution of each block dimension was calculated according to the data in Figure 3. The results of the calculated RMV values for the 10 different block dimensions were interpreted according to linear regression and the Total RMV obtainable by selecting each block dimension was superimposed together with the usable block volume and waste volume, according to the surface area values, the graphs can be seen in Figure 4.

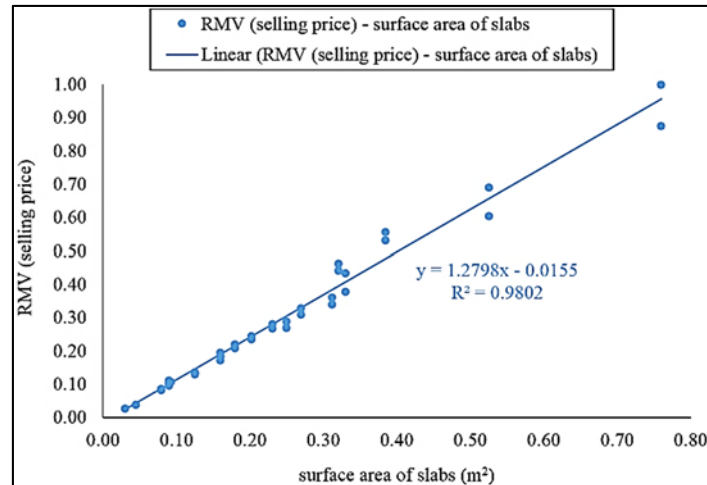


Figure 3. Relative Money Value trend vs Surface Area (Elkarmoty et al. 2018)

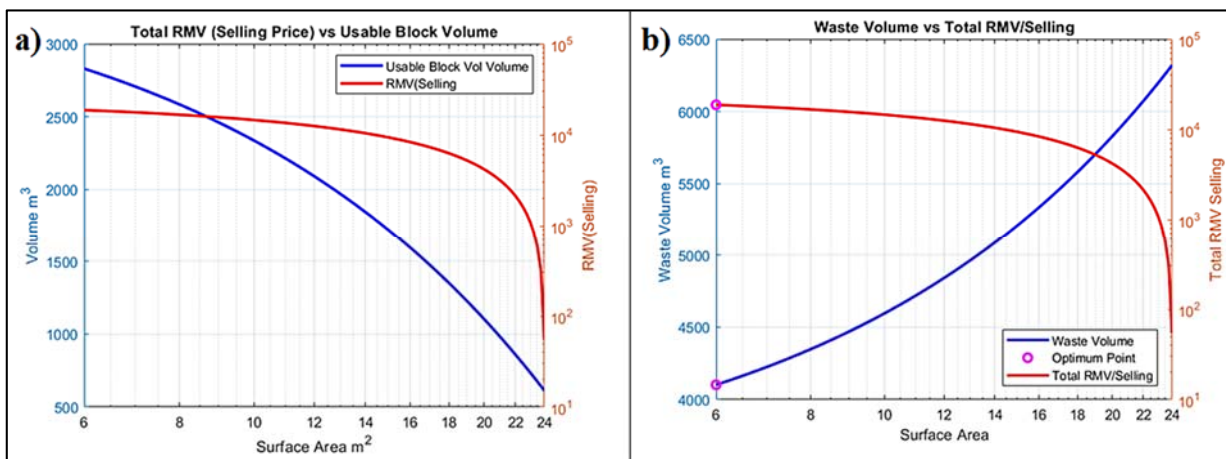


Figure 4. a) Total RMV vs Usable Block Volume b) Waste Volume vs Total RMV

In Figure 4b, the optimal point was where the waste value was at its minimum and the total RMV was at its maximum, this corresponded with the surface area volume of 6 m². The optimal point corresponded to the block No.1 with the volume of 1m³ and dimensions of '1 m x 1 m x 1 m'. The block dimension No.1 showed a total earning value of 22823.00 RMV, 45% more earnings than the second block dimension having the highest total RMV value.

Production costs

The production of each block has a certain cost, it is important to plan the production where the cost of production and the total RMV (earnings) meet at an optimal economic point. According to research done in 2008, the average production cost of unpolished marble per m² was calculated as 6.48\$ (Akkoyun and Ankara, 2009) for this study the production cost of each m² of block was calculated accordingly. The total production cost of each block dimension was calculated and plotted while linear regression was applied to the data. The "Total RMV" and "Total Production Cost" graphs were superimposed with a log-scale. From Figure 5 it can be seen that; the total production cost had its highest value where the total RMV values were also the highest. This was related with higher production costs of block dimensions with smaller surface areas, as the total producible block quantity increases with decreasing block surface area, as seen in Figure 2. The analysis indicated an arguable optimal

economical point as both the production costs and the RMV values had their highest values at the same point in Figure 5. When considering the relativity of the total RMV (earnings) and production costs of the quarry, this analysis indicated arguable results in terms of the economic evaluation of the quarry. The economic optimum for the quarry was suggested to be obtainable through the selection of block dimensions having surface areas between 6-10 m².

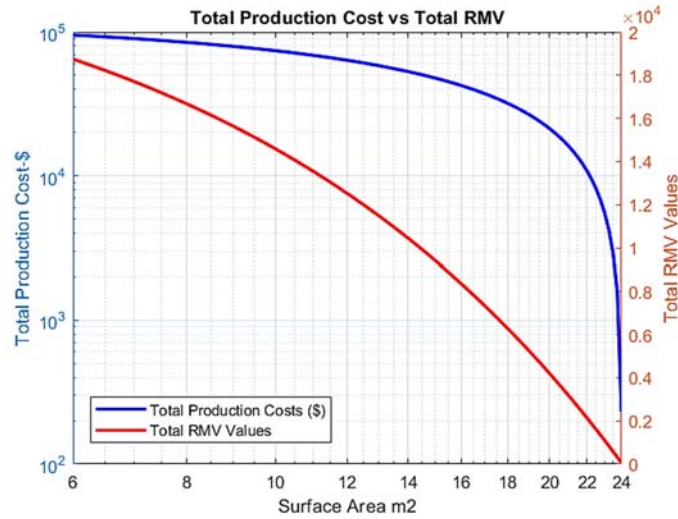


Figure 5. Total Production Cost vs Total RMV

Environmental Evaluation

The environmental evaluation of the bench concerned the focus areas: dust emissions and evaluation of the waste volume according to the Eco-Label Standards. The final aim of the research was to determine an optimal area where high profitability and low environmental footprint meet.

Dust Emissions

The choice of cutting tools have a great impact on quarries in terms of; time, energy, water consumption and dust emissions, where dust emissions are a threat both to the environment and workers of the quarry (Çelik vd., 2017). It is important to select the best fitting cutting tool to decrease the total dust emissions to bring operations in line with environmental concerns and the workers safe and health. The total dust amount for cutting each block dimension was calculated according to the thickness of each cutting method used. The total emitted dust by using the tools “Garrone 340 Chainsaw Cutter (electric)” and “PELLEGRINI TELEDIAM 80 Diamond-Wire Cutter” were compared in order to draw a comparison between the tools together by analysing the dust emissions of each block dimension. The blade thickness of the chainsaw was taken as 5cm where the diamond wire cutters thickness was taken as 1 cm according to the values taken from the catalogue of the brands Garrone and Pellegrini (Pellegrini Diamond Wire Saws, 2018; Garrone, 2019).

In Figure 6, the dust percentages in total bench volume and in total waste volume can be seen for both the Chain Saw and the Diamond Wire cutting tool. The Diamond Wire cutting tool was observed to create much less dust than the Chain Saw cutter as the thickness of the Chain Saw cutter is five times that of the Diamond Wire cutting tool. As the surface area increases the total dust amount decreases due to the lower recovery ratio of blocks with larger surface areas. Although, it should be noted that the blocks with lower recovery ratio result with higher waste volumes. The Chain Saw cutter was observed to emit dust up to the 12.76% of the total bench volume, while the Diamond Wire cutting

tool had lower dust emission which was maximum 2.52% of the total bench volume which belonged to the block No.1, with the surface area value of 6 m² and volume of 1m³. The dust emissions achieved with the diamond wire cutter were analysed to be between 2.52-0.3%. In conclusion, the Diamond Wire Cutter was recommended due to its lower dust emissions.

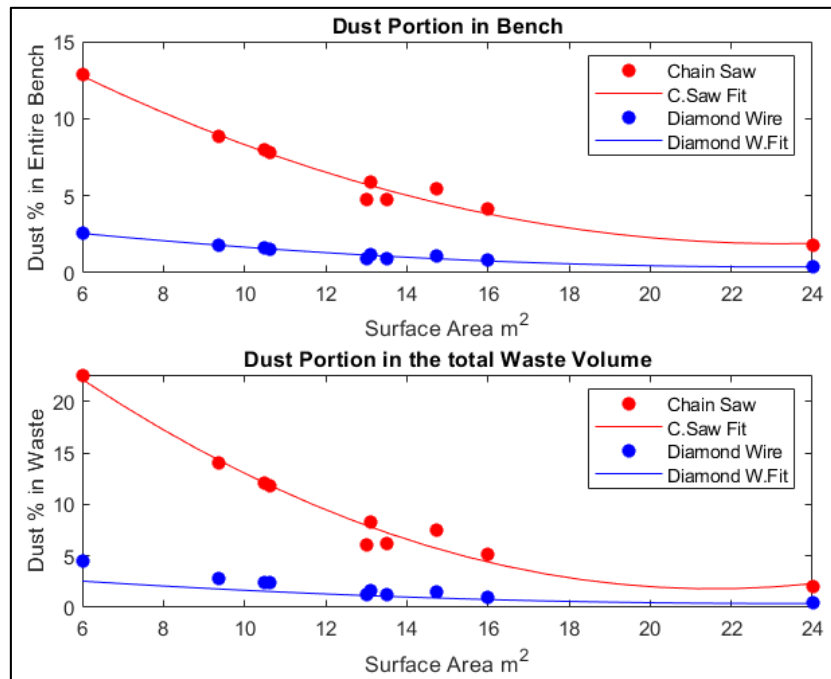


Figure 6. Dust emissions vs the total bench volume and total waste volume

Eco-Label Standards

The European Eco-Label is a label which is given to companies across many different fields whose operations are highly efficient and comply with sustainability standards (Gazi et al., 2013). For this paper, the Eco-Label standards were considered in order to determine the environmental and economic optimal point for the quarry. The Eco-Label 'Natural Resource Waste' criteria require above 25% recovery as a threshold for quarries; while, in order to meet the excellence level above 50 % of recovery needs to be obtained', the threshold and the excellence level can also be seen in Figure 7 (E.C. European Union, 2009). The results for each tested block dimension were compared to the threshold and excellence level. In order to do so, the recovery ratio found for each block dimension was used and plotted after modelling by means of linear regression. The inserted threshold and excellence levels were superimposed on the graph, in the log scale on both the x-y planes, in order to determine the sustainability level of the quarry, the resulting graph can be found below in Figure 7.

According to Figure 7, none of the block dimensions in the range of 6-24 m² surface area were found to pass the Eco-Label Excellence limit. On the other hand, the dimensions with lower surface areas than 15 m² were found to pass the threshold of 25%, natural resource waste. In order to comply with the Eco-Label Threshold, block dimensions with higher surface areas than 15 m² were not suggested to be used for production, and block dimensions with surface areas lower than 15 m² were suggested for this case study. The block dimension corresponding to the highest recovery ratio (43%) was that with the surface area value of 6 m² and volume of 1m³ which corresponded to the dimension No.1.

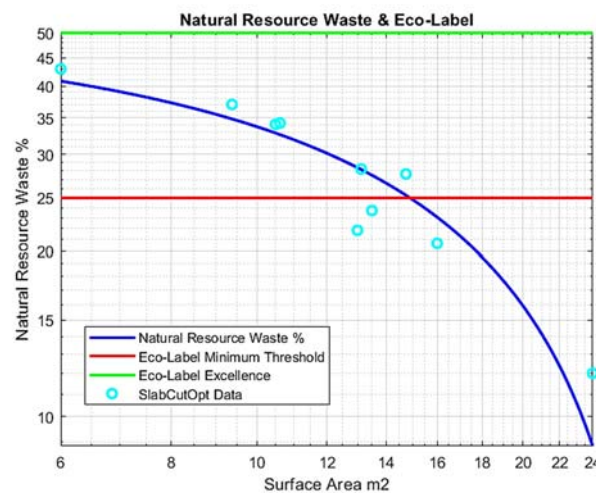


Figure 7. Natural Resource Waste vs Block Surface Area with Eco-Label Standards

DISCUSSION

The presented case study focuses on the optimization solutions considered for a bench which measured 27.00 m x 65.00 m x 3.95 m in the limestone quarry located in Poggio Imperiale, Foggia, Italy, belonging to the 'Apricena' basin. In this project, by using the SlabCutOpt algorithm, 10 block dimensions were tested, and an economic and environmental analysis was carried out in order to find the optimal block dimension interval for the bench located in the limestone quarry. Throughout the analysis, topics such as recovery ratios, RMV (earnings), production costs, dust emissions, waste volume together with the Eco-Label standards, were considered.

After gathering the outputs of the SlabCutOpt software, the recovery ratio was calculated and the block dimension with the optimum solution was found to be block dimension no.1, having the dimensions '1m x 1m x 1m', a surface area of 6 m² and a volume of 1m³. The total waste amount for dimension No.1 was calculated as 3953.25 m³, while the recovery ratio was 43%. The RMV values obtainable by selecting each block dimension's optimal solution was calculated and block dimension No.1, which had the highest RMV with a value of 22823.00 RMV, presented 45% more in potential earnings compared with the second block dimension with the highest total RMV value. When the plotted RMV values were superimposed with the waste volumes resulted by selecting each block dimension, the highest RMV value was observed at the point where the lowest waste volume was calculated; therefore, the surface area 6m² belonging to block No.1 was considered as an optimal point.

The production cost and total RMV values were compared through the linear regression curves interpreted. The superimposed graphs of the two parameters showed that the highest RMV and production costs were obtained at the same point, where the selected block dimension was '1 m x 1 m x 1 m' of block dimension No.1. This indicated and arguable optimal economic point for the selection of the best fitting block dimension and the block dimensions with the surface area interval of 6-10 m² were suggested.

The highest dust emission was observed for the chain saw cutter, for block dimension no. 1, where 12.76% of the bench was calculated to be lost as dust while this value was 2.52 % for the diamond wire cutter, which showed more optimal results.

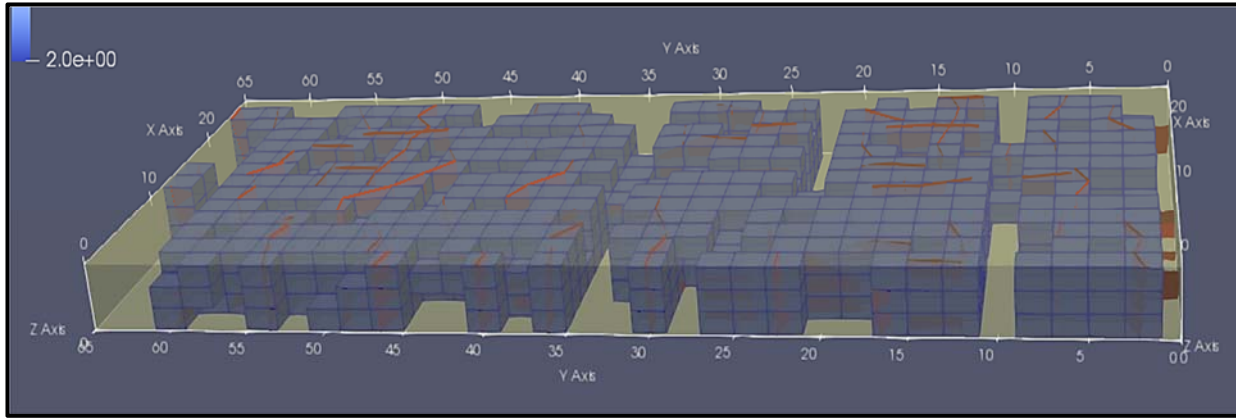
Finally, the Eco-Label standards were applied for the bench in question. This was carried out in order to observe the fitting of the actual data for an environmental standard that indicates high prestige

in industry. For industries eager to obtain the label, Eco-Label sets a minimum of 25% threshold for the recovery ratio, while the label awards industries with the excellence level for values over 50%. The recovery ratio of each block dimension and the linear regression curve was compared with the threshold and the excellence level. The results indicated that using block dimensions higher than 15 m² did not comply with the threshold value of 25%. Nonetheless, none of the block dimension's recovery ratio was found to comply with the Eco-Label excellence level. The highest value came from block dimension no. 1, with the value of 42% recovery. According to the Eco-Label guideline, the value of 43% indicates a 'good' recovery ratio. The analysis suggested the usage of block dimensions having surface areas between 6-15 m², while the lower surface area values showed a better fit and are suggested in terms of environmental standards.

Ultimately, the block dimension No.1 was found as the best fitting dimension when economic and environmental parameters were considered. When the economic and environmental aspects were considered, block dimensions in the 6-14 m² surface area range were suggested as the optimal solution for extraction and recovery of natural stone from the quarry and the "Diamond Wire Cutter" was found to be the optimum cutting tool when compared to the "Chain Saw Cutter", when considering dust emissions and the energy consumption.

REFERENCES

- European Commission (2008) Directive 2008/98/EC on waste (Waste Framework Directive), EU Commission, Brussels, Belgium.
- E.C. European Union (2009) 2009/607/EC-Establishing the ecological Criteria for the award of the Community Eco-Label to hard coverings, Official Journal of the European Union.
- Elkarmoty, M., Bonduà S., Bruno, R. (2018) A 3D Algorithm for an optimized cutting of slabs from ornamental stone blocks, Geosciences MDPI.
- Elkarmoty, M., Bonduà, S., Bruno, R. (2016) SlapCutOpt, 2016. [Online]. Available: <https://site.unibo.it/softwarecam/en/software/slabcutopt>. [Accessed 06 2019].
- Garrone (2018) Officine Garrone S.n.n di Garrone Marco & C. 2018. [Online]. Available: <http://www.garrone.com/products.aspx?page=M.C.R.H.%20340%20elettrica&lang=en>.
- Gazi, A., Skevis, G., Founti, M. (2013) Potential for Implementation of Environmental Management Systems & the EU Ecolabel in the Marble Sector, Key Engineering Materials Vol.548, 157-171.
- Guigue, P., Devillers, O., (2003) Fast and Robust Triangle-Triangle Overlap Test Using Orientation Predicates, Journal of Graphics Tools, 8(1):25-32.
- Akkoyun, O., Ankara, H. (2009) Cost of quality management: An empirical study from Turkish Marble Industry, Academic Journals, vol. Vol.4 (11), no. November, 2009, 1275-1285.
- Celik, M., Ersoy, M., Yeşilkaya, L., Kayı, Z. (2017) Investigation of Using Diamond Wire Cutting and Chain Saw Machines Combination in Quarries, Journal of Polytechnic, 459-473.
- Pellegrini (2018) Diamond Wire Saws, 2018. [Online]. Available: http://www.pellegrini.net/allegati/TD_80.pdf.
- Reina, M. A. (2015) Environmental background in Apricena quarries (Apulia, Southern Italy), in G. Lollino, A. Manconi, F. Guzzetti, M. Culshaw, P. Babrowski, F. Luino (Eds.), Eng. Geol. Sac. Territ Vol. 5 Urban Geol., 1-1400.

APPENDICES**APPENDIX A Visualizing the Optimum Solution for Dimension No#1 in ParaView**

WATER SATURATION EFFECT ON THE TENSILE STRENGTH AND FAILURE MODE OF SOME NATURAL STONES

SUYA DOYURMANIN ÇEŞİTLİ DOĞALTAŞLARIN ÇEKME DAYANIMI VE YENİLME TİPİ ÜZERİNE ETKİLERİ

S. Yaşar

*Karadeniz Technical University, Mining Engineering Department
(Corresponding author: seyasar@ktu.edu.tr)*

ABSTRACT

This study puts emphasis on the reduction of the strength and variation of the failure mode in the indirect tension tests of some natural stones under different moisture states. In this respect, two andesite and three tuff samples which contain no visible flaws were subjected to indirect tensile strength tests using the Brazilian disc method. Three moisture cases were investigated in the study; oven-dry, air-dry and fully saturated. Once the tension tests were carried out, photographs of the broken samples were taken to investigate the changes in the failure mode. As a result, it has been deduced that tensile strengths of the samples were highly reduced with the presence of water and natural humidity. Additionally, it has been deduced that the failure mode of the samples, mainly, shifts to central fracturing with the presence of natural moisture and saturation.

Keywords: Natural stones, tensile strength, strength reduction, failure mode

ÖZET

Bu çalışmada, çeşitli doğal taşların farklı nem durumları için çekme dayanımlarının ve yenilme tiplerinin değişimi incelenmiştir. Bu amaç için, görünür süreksizlik içermeyen iki farklı andezit ve üç farklı tuf numunesi Brazilian disk yöntemi ile dolaylı çekme dayanımı deneyine tabi tutulmuştur. Üç farklı nem durumu için inceleme yapılmıştır; fırın-kurusu, hava-kurusu ve tam doygun. Çekme dayanımı deneylerinin ardından kırılan numunelerin fotoğrafları çekilerek yenilme tiplerindeki değişimler incelenmiştir. Sonuç olarak, doğal nem ve suya doyurma ile numunelerin çekme dayanımlarının önemli oranda azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, numunelerin birçoğu için nem ve su varlığında yenilme tipinin diğer tiplerden merkezi çatlamaya dönüştüğü tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Doğal taşlar, çekme dayanımı, dayanımda azalma, yenilme tipi

INTRODUCTION

Mechanical properties of rocks are sensitive to the testing and environmental conditions such as loading rate, platen type, moisture content etc. Moisture or water presence in rocks is one of the main factors controlling the strength and failure mode of the rocks, and the effect of the water saturation on the mechanical properties of rocks have been investigated for a long time (Obert et al., 1946). An extensive literature survey about the water weakening effect was proposed by the author (Yasar, 2019).

While most of the studies concentrated on the weakening effect of water on the uniaxial compressive strength, lesser amount of study focused on the strength reduction in tension. Broch (1974) was first to investigate the strength reduction in tension tests. On the other hand, even though numerous studies investigated the effect of saturation, a limited number of the studies concentrated on

the variation of the failure type or mode, especially in tension tests. Wong and Jong (2014) handled this subject using a high-speed camera to capture the failure type variation in tension tests for a gypsum specimen. Furthermore, most of the studies on the saturation affect dealt with the sedimentary rocks, especially with the sandstones. There is a paucity of the experimental data for tensile strength and failure mode of igneous rocks which are frequently preferred natural stones for buildings and coatings.

This paper investigated the water weakening effect and failure mode change due to water presence in tension tests for highly used natural stones such as andesites and tuffs. Homogenous rock samples with no visible flaws were selected during the execution of the study and indirect tensile strength tests were applied on these samples with three moisture cases. Additionally, failure mode changes were investigated due to the water presence and results were discussed with the relevant literature.

EXPERIMENTAL STUDIES

Sample Selection and Preparation

Homogenous rock samples which contain no visible flaws were used in the experimental campaign. Two different andesite and three different tuff samples were used during the study which were mainly obtained from the quarries located near Trabzon. Rock block samples were cored with a NX-type diamond core bit and the samples were sawn carefully to produce high quality representative samples. Sample preparation stage was carried out according to the recommendations of ISRM (1981) and height to diameter ratio of the samples were fixed to 1:2. 30 samples were prepared for each rock type which sums a total of 150 samples. Three moisture cases were applied in the study which are oven-dry (case 1), saturated (case 2) and air-dry (case 3). Oven-dry samples were held in an oven at 105 C° for 24 hours until they lose their moisture content and store in a desiccator until the execution of the tension tests. Saturated samples were simmered in water at least 48 hours to maintain a fully saturated condition and once they have reached a fully saturated state, they were subjected to tensile strength test. Finally, air-dry samples were, firstly, dried in an oven and then exposed to the atmospheric humidity in an open laboratory environment for three months.

Indirect Tension Tests

Since it is very difficult to obtain the tensile strength of the rock materials directly, in general, indirect methods are preferred in the literature and the Brazilian disc method is the most widely used indirect method for tensile strength determination of rock materials. The test involves the diametrical loading of a disc shaped sample until the specimen fails which creates a tensile stress zone in the loading direction. After the test, the failure load was recorded, and the tensile strength of the rock is computed using the Eq.1.

$$\sigma_t = \frac{2P}{\pi Dt} \quad (1)$$

where σ_t is the tensile strength (MPa), P is the failure load (N), D is the diameter of the specimen (mm), and t is the thickness of the specimen (mm). The tensile strength of the rocks was determined using the Brazilian disc method with the standard jaw seen in Figure 1 according to the recommendations of ISRM (2007). Loading rate was applied as 0.2 kN/s and ten replications were made for each rock sample and moisture case. Tensile strength for three moisture cases were recorded as σ_{to} , σ_{ts} and σ_{ta} for oven-dry samples, saturated samples and air-dry samples, respectively. At total, 150 tests were accomplished.



Figure 1. The standard jaw used in the tension test

RESULTS AND DISCUSSIONS

Discussion on the Strength Reduction

Results of the tension tests were presented in Table 1. It was clearly seen from the table that strength of the rocks highly decreased once the moisture or water meets with the rock sample. The weakening effect is most pronounced in the tuff 3 sample with a reduction up to 57.6% with the change of the oven-dry state to saturated state. The reduction values, for other samples, are observed as 42.4%, 38.8%, 23.7% and 14.9% for tuff 1, andesite 2, tuff 2 and andesite 1, respectively. Tensile strength of the tuffs and andesites are prone to the moisture content which was evidenced in previous studies (Kleb and Vásárhelyi, 2003; Erguler and Ulusay, 2009; Hashiba and Fukubi, 2015). Even though, the present literature includes many studies about the weakening effect of water on compressive strength, lesser studies focused on sensitivity of the tensile strength, especially for tuffs and andesites.

Table 1. Results of the indirect tensile strength tests

Rock Sample	σ_{to} (MPa)	σ_{ta} (MPa)	σ_{ts} (MPa)
Andesite 1	5.52	4.96	4.70
Andesite 2	10.14	7.73	6.20
Tuff 1	8.18	7.68	4.71
Tuff 2	8.94	8.27	6.80
Tuff 3	7.29	5.57	3.09

σ_{to} : Tensile strength for oven-dry samples; σ_{ts} : Tensile strength for saturated samples; σ_{ta} : Tensile strength for air-dry samples

On the other hand, it is worth to note here that the natural moisture content which can be gained by the sample in an open laboratory environment has a significant effect on the mechanical strength. A little amount of moisture can lead to a high amount of strength reduction such as 23.8%, 23.6%, 10.1%, 7.2% and 6.1% for andesite 2, tuff 3, andesite 1, tuff 2 and tuff 1, respectively. It is important to note here that while the highest strength reduction has been seen in tuff 3 with full saturation, andesite 2 demonstrated the highest strength reduction in air-dry conditions.

The underlying mechanism behind the strength reduction in this rock group, on the other hand, has not been investigated in this paper. A complex mechanism and couplings of different mechanisms are involved in the strength reduction due to the water saturation which can be listed as follows: (1) fracture energy reduction; (2) capillary tension decrease; (3) pore pressure increase; (4) frictional reduction; and (5) chemical and corrosive deterioration (van Eeckhout, 1976). It can be stated that coupling of these causes might be accused of the strength reduction.

Discussion on the Failure Mode

Basu et al (2013) investigated the failure modes in the Brazilian tests and used a similar terminology with Tavallali and Vervoort (2010) and defined four main modes of failure shown in Figure 2 which are central (C), non-central (NC), central + layer activation (CL), central multiple (CM). The non-central modes are, generally, characterized with a curved failure path starting from the contact points of the loading platens. Central and multiple central failure modes are generally stated to be result of a high strain energy stored in the radially loaded disc sample and results in a high tensile stress (Basu et al., 2013). Central and layer activation mode might be seen in the samples which contain anisotropy and layering (Tavallali and Vervoort, 2010; Basu et al., 2013).

Broken samples were photographed after tension tests to investigate the failure modes and the photos of the broken samples are given in Figure 3 and Figure 4. Additionally, a summary on the number of failed samples by means of failure type was given in Table 2. As it is clear from the table, there is no central and layer activation (CL) type failure in this rock sample group which can be attributed to the anisotropy and the rock sample group in this study do not contain anisotropy. On the other hand, except tuff 3 sample, all samples have shown a tendency to change their failure mode from others to central fracture (C) by the presence of moisture and water. This may be stated as the most significant outcome of the study. However, underlying mechanism of this tendency is out of the scope of the paper and should be investigated theoretically in further studies. In this regard, findings of this study might be accepted as a preliminary study and might pave the way for future studies on this subject.

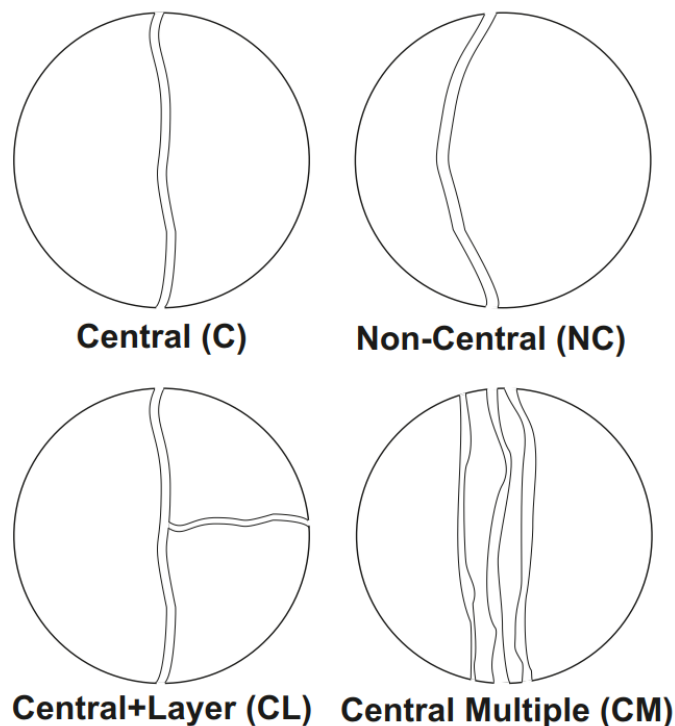


Figure 2. Failure modes in the Brazilian disc test (Tavallali and Vervoort 2010; Basu et al. 2013).

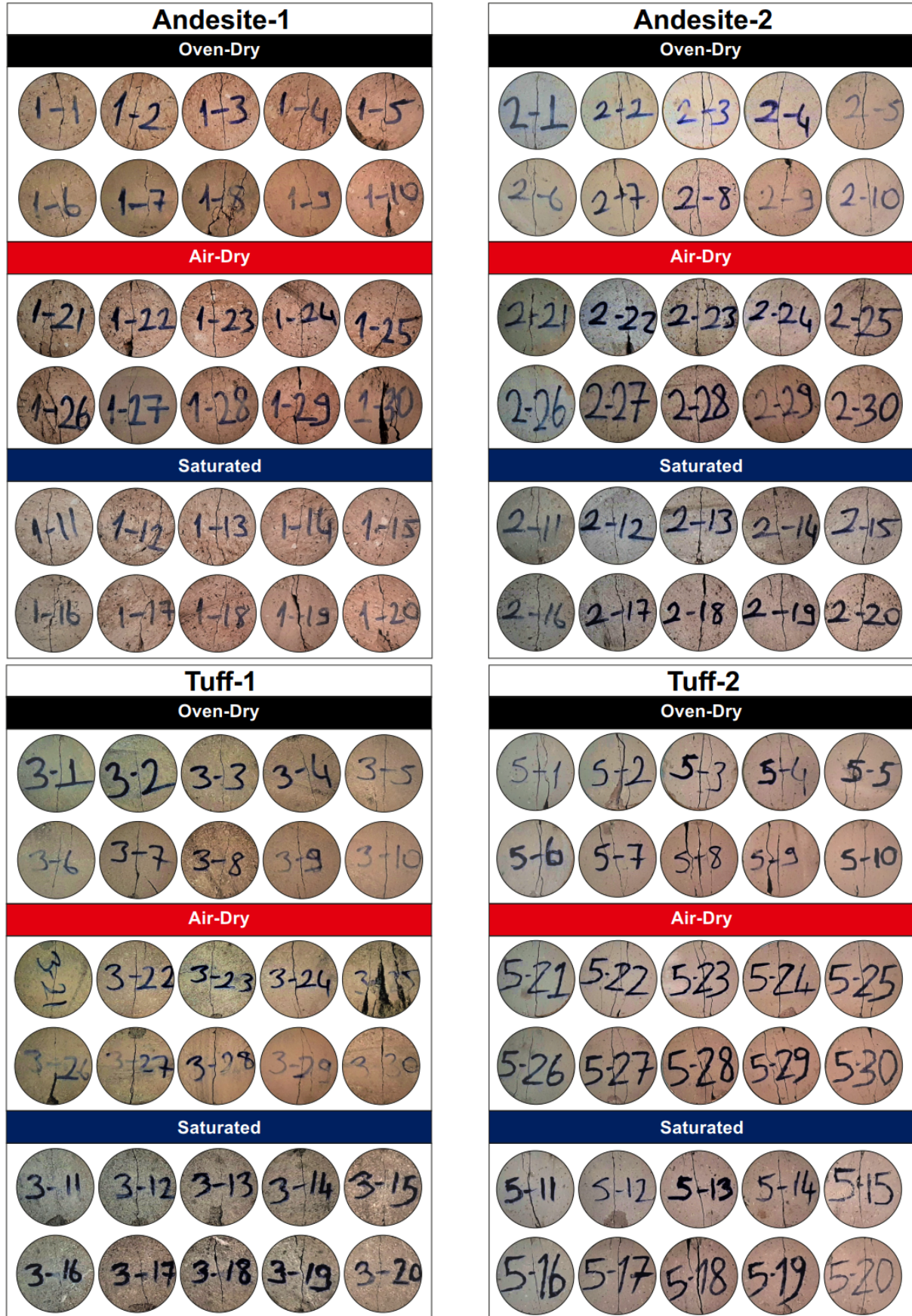


Figure 3. Photos of the broken samples in the tension tests (Andesite-1, Andesite-2, Tuff-1, Tuff-2)

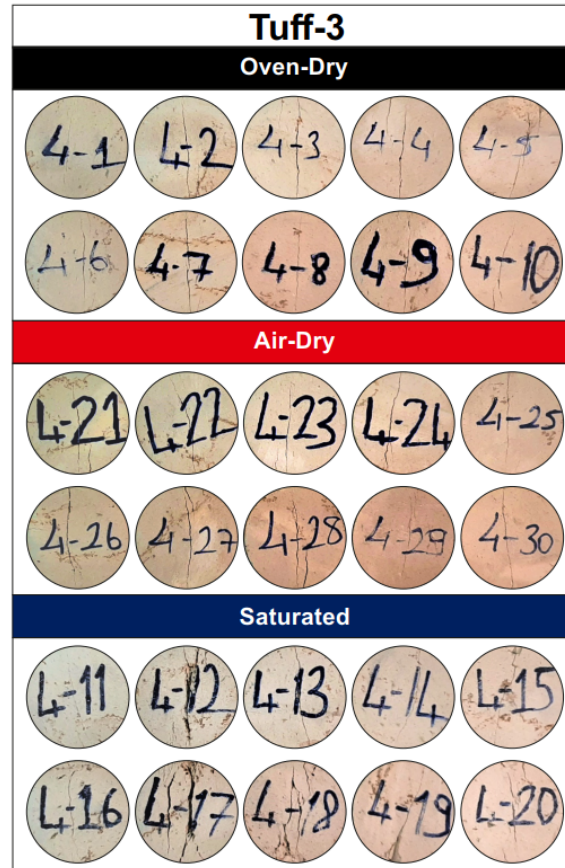


Figure 4. Photos of the broken samples in the tension tests (Tuff-3)

Table 2. Failure modes of the samples for different moisture contents

Failure Mode	Oven-dry				Air-dry				Saturated			
	C	NC	CL	CM	C	NC	CL	CM	C	NC	CL	CM
Andesite 1	5	3		2	8	2			6	4		
Andesite 2	8			2	9	1			10			
Tuff 1	9	1			9			1	10			
Tuff 2	3	1		6	4			6	9			1
Tuff 3	7	2		1	7	1		2	5	2		3

CONCLUSIONS

This paper summarizes the results of a series of tension tests under different moisture states for different types of igneous natural stones such as tuffs and andesites. Indirect tensile strength tests were applied on the disc shaped samples in three different moisture states which are oven-dry, air-dry and saturated. It has been found that the tensile strength of the tuffs and andesites highly reduced with the presence of natural moisture and water. Furthermore, without investigating the underlying mechanism, changes in the failure mode were investigated using the post-failure photos. As a general trend, it has

been found that most of the samples changed the failure mode to central fracture with fully water saturation except a tuff sample. The results of this study are promising for further studies. The underlying mechanism for the strength reduction and the failure mode change in tension tests will be a significant subject to investigate.

ACKNOWLEDGEMENTS

The effort of my undergraduate students, now mining engineers, Semih Çetin and Nuh Soner Özcan during sample preparation and testing are highly acknowledged.

REFERENCES

- Basu, A., Mishra, D. A., Roychowdhury, K. (2013). Rock failure modes under uniaxial compression, Brazilian, and point load tests. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 72, 457-475.
- Broch, E. (1974). The influence of water on some rock properties. 3rd Congress of the International Society for Rock Mechanics (pp 33–38). Montreal.
- Erguler, Z. A. and Ulusay, R. (2009). Water-induced variations in mechanical properties of clay-bearing rocks. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 46, 355–370.
- Hashiba, K. and Fukubi, K. (2015). Effect of water on the deformation and failure of rock in uniaxial tension. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 48, 1751-1761.
- ISRM (1981). Suggested methods for the rock characterization, testing and monitoring. ISRM Commission on Testing Methods, Pergamon Press, 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, Compilation Arranged by the ISRM Turkish National Group Ankara, Turkey.
- Kleb, B. and Vásárhelyi, B. (2003). Test results and empirical formulas of rock mechanical parameters of rhyolitic tuff samples from Eger's cellars. *Acta Geologica Hungarica*, 46, 301-312.
- Obert, L., Windes, S. L., Duvall, W. I. (1946). Standardized tests for determining the physical properties of mine rock. U.S. Bureau of Mines, R.I. 3891.
- Tavallali, A. and Vervoor, t A. (2010). Effect of layer orientation on the failure of layered sandstone under Brazilian test conditions. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 47, 313–322.
- Van Eeckhout, E. M. (1976). The mechanisms of strength reduction due to moisture in coal mine shales. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanical Abstracts*, 13, 61–67.
- Wong, L. N. Y. and Jong, M. C. (2014). Water saturation effects on the Brazilian tensile strength of gypsum and assessment of cracking processes using high-speed video. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 47, 1103-1115.
- Yasar, S. (2019). Influence of the water saturation on the mechanical strength of some igneous rocks. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering* (Under Review).

**ÇİMENTO HAM MADDESİ OLARAK KULLANILABİLECEK DOĞALTAŞ ATIKLARININ
ÖĞÜTÜLEBİLİRLİKLERİNİN İNCELENMESİ**
*INVESTIGATION OF GRINDABILITY OF NATURAL STONE WASTES TO BE USED AS CEMENT
RAW MATERIAL*

A. Vahap Korkmaz^{1*}

¹*Afyon Kocatepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar*

**Sorumlu Yazar: av.korkmaz06@gmail.com*

ÖZET

Çimento başta olmak üzere cevher hazırlama, seramik ve eczacılık gibi birçok endüstriyel alanda boyut küçültme işlemi yaygın olarak uygulanmakta ve enerjinin verimsiz kullanıldığı bir işlem olarak kabul edilmektedir. Çimento endüstrisinde yüksek tonajlarda malzeme öğütüldüğü için özgül öğütme enerjisi büyük bir önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, Portland çimentosunun ana hammaddelerine alternatif olarak farklı türdeki doğaltaş atıklarının öğütülebilirlikleri araştırılmıştır. En kolay ve en zor öğütülebilen ham maddeler tespit edilmiştir. Karadeniz bölgesinde faaliyet gösteren bir mermer fabrikasından alınan doğaltaş atıkları, kil taşı ve alçı taşı numuneleri ile farklı sürelerde (4, 8, 12, 15 ve 30 dk) ayrı ayrı öğütme deneyleri yapılmıştır. Ayrıca, her bir numunenin Hardgrove (HGI) ve Bond İş indeksi değerleri belirlenmiştir. Doğaltaş atıkları, kil taşı ve alçı taşı numuneleri HGI değerleri sırasıyla 86,37; 127,95 ve 89,83 bulunmuştur. HGI hesaplanan İş indeksi değerleri ise sırasıyla 9,47; 7,78 ve 9,27'dir. Bu sonuçlara göre en kolay öğütülebilen çimento ham maddesi kil taşı olarak belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Doğal taş atıkları, çimento ham maddeleri, öğütme, çimento, enerji

ABSTRACT

Dimension reduction process is widely applied in many industrial fields such as cement preparation, ore preparation, ceramics and pharmacy and it is accepted as a process where energy is used inefficiently. In the cement industry, specific grinding energy is of great importance as high tonnages of material are ground. In this study, the grindability of different types of natural stone wastes was investigated as an alternative to the main raw materials of Portland cement. The easiest and most difficult grinding materials were identified. Natural stone wastes, clay stone and gypsum samples taken from a marble factory operating in the Black Sea region and separate grinding tests were carried out at different times (4, 8, 12, 15 and 30 minutes). In addition, Hardgrove (HGI) and Bond Work index values of each sample were determined. HGI values of natural stone wastes, clay stone and gypsum samples were 86,37; 127,95 and 89,83. Work index values calculated for HGI are 9,47; 7,78 and 9,27. According to these results, the most easily grindable cement raw material was determined as clay stone.

Keywords: Natural stone wastes, cement raw materials, grinding, cement, energy

GİRİŞ

Çimento, çeşitli hammaddelerin öğütülüp pişirilmesi ve elde edilen klinkerin katkı maddeleri ile tekrar öğütülmesi sonucunda elde edilen bir yapı malzemesidir. Çimento üretiminde en yaygın kullanılan hammaddeler; kalker, kil, alçı taşı ve trastrır. Hammadde özelliklerindeki değişiklikler çimento

kalitesindeki değişmelere yol açmaktadır. Ayrıca ürün kalitesinin tüm üretim sırasında tutarlı olması, bu süre içinde hammadde kalitesinde değişmelere neden olmaktadır (Özgür, 1996).

Çimento başta olmak üzere cevher hazırlama, seramik ve eczacılık gibi birçok endüstriyel alanda boyut küçültme işlemi yaygın olarak uygulanmakta ve enerjinin verimsiz kullanıldığı bir işlem olarak kabul edilmektedir. Bu endüstrilerin birçoğunda yüksek tonajlarda malzeme öğütüldüğü için özgül öğütme enerjisi büyük bir önem kazanmaktadır. Öğütme için kullanılan enerjinin ise ancak % 1 veya daha azı yeni yüzeyler oluşturmak için kullanılmaktadır (Austin, vd., 1993). Dünyada harcanan toplam enerjinin %2'si kadarının çimento üretim prosesinde harcandığı (Deniz vd., 2001) düşünülünğünde, öğütme sistemlerinde gerçekleştirilecek en ufak bir iyileştirme harcanan enerji miktarında önemli tasarruflar sağlamaktadır. Bu bağlamda artan enerji fiyatlarının da etkisiyle, özellikle 70'li yıllardan bu yana enerji tasarrufu sağlayan yeni öğütme sistemleri geliştirme yönünde önemli çabalar vardır. Bu sayede, konvansiyonel yöntemler olarak tanımlanan bilyalı ve dik değirmenlerde yapılan gelişmelere ek olarak, yüksek basınçlı merdaneli presler, düşey şoklu değirmenler, Horomill ve Cemax geliştirilerek enerji tüketimlerinde önemli tasarrufların sağlanması mümkün olmuştur. (Genç, 2016 ; Madloul vd., 2011).

Bu çalışmada, Portland çimentosunun ana hammaddelerinden olan kalker yerine doğal taş atıkları (DTA), kil ve alçı taşının öğütülebilirlikleri araştırılmıştır. En kolay ve en zor öğütülebilen ham maddeler tespit edilmiştir. Bu kapsamda farklı sürelerde öğütme deneyleri ve Hardgrove testleri yapılmıştır.

ÇİMENTO ÜRETİM TEKNOLOJİSİ

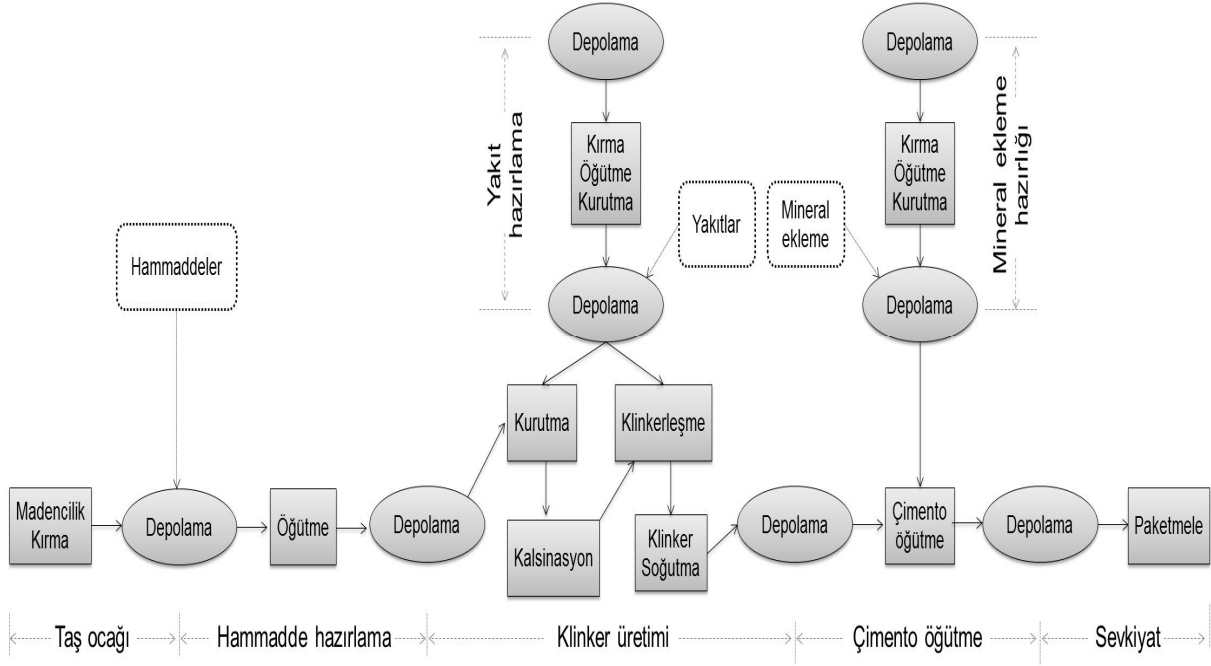
Çimento Üretim Prosesi

Çimento üretimi $CaCO_3$ 'ün ön kalsinasyonu ile başlar. Bu işlem sırasında CaO oluşurken CO_2 açığa çıkar. Devamında CaO, yüksek sıcaklıkta (1400-1500°C) silis, alümina ve demir oksitle reaksiyona girerek silikatları, aluminatları ve kalsiyum ferritleri içeren klinker oluşturur. Daha sonra klinker, alçı taşı ve diğer katkı maddeleri ile birlikte öğütülerek çimento elde edilir (Şekil 1). Çimento üretiminde kullanılan üretim proses aşamaları açıklanmıştır (Korkmaz, 2012). Bu yöntemlerin tamamı için ortak olan proses adımları;

- Taş ocağı,
- Hammadde hazırlama,
- Yakıt hazırlama,
- Klinker üretimi,
- Mineral ekleme hazırlığı,
- Çimento öğütme ve paketlemedir.

Çimento üretiminde kullanılacak olan yöntem, hammaddenin durumuna göre (kuru veya yaş) belirlenmektedir. Farklı üretim yöntemleri arasındaki fark, ekipman tasarımı, çalışma yöntemi ve yakıt tüketimi bakımındandır. Tüm dünya'da en yaygın olarak uygulanan proses, kuru procestir.

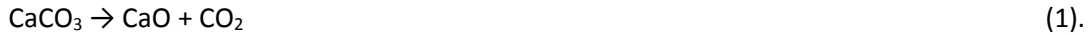
TS EN 197-1 standardına göre CEM çimentoları olarak adlandırılan genel amaçlı çimentolar 5 ana tip içerisinde toplanmaktadır; CEM I - Portland Çimentosu, CEM II - Portland Kompoze Çimentosu, CEM III- Portland Yüksek Fırın Cürüflu Çimento, CEM IV - Puzolanik Çimento, CEM V -Kompoze Çimentosudur. Çimento üretiminde uygulanan prosesler Şekil 1'de gösterilmiştir (Kaya, 2010).



Şekil 2. Çimento üretim prosesleri

Çimento üretiminin ilk aşaması çimento hammaddelerinin yer kabuğundan çıkarılmasıdır. Çimento üretiminde kullanılan en yaygın hammaddeler kireçtaşı ve kildir. İlave olarak; demir cevheri, boksit, şist, kum v.b. yardımcı malzemeler de kullanılmaktadır. Taş ocağından gelen ham maddeler ara depolamada homojenize edildikten sonra, kuru ve yarı kuru prosesler için önceden tanımlanmış oranlarda karıştırılarak değirmenlere beslenir. Değirmenlerde, öğütme ve kurutma işlemleri yapılarak, tane boyutu ortalama 20 mikrona indirilir ve “farin” üretilir. Öğütme işlemi ile üretilen farin veya çimento harcının herhangi bir fırın sistemine beslenmeden önce optimum kıvamı elde etmek için tekrar homojenleştirilmesi gereklidir. Homojenleştirilen farin silolarda, çimento harcı ise tanklarda veya silolarda depolanır.

Farin silosunda tartılarak alınan farin, siklonlardan ya da ızgaralardan oluşan bir ön ısıtıcıya beslenir. Birkaç kademedeki ön ısıtıcıda, farin ile döner fırından gelen sıcak gaz temas ederek ön kalsinasyon işlemi gerçekleşir. (Farin, yaklaşık 1000°C'ye kadar ısıtılır ve % 90 oranında kalsine olur.



Ön ısıtmadan sonra; farin, yakılan yakıt ve klinkerleşme reaksiyonları ile döner fırına girer, burada fırının eğimi sayesinde gravite ile aşağıya doğru hareket eder, yaklaşık 1400-1500 °C'ye kadar ısıtılarak pişirilir ve kalsine olur. Fırına giren hammadde sıcaklığı yükselerek çıkış ağzına doğru ilerler. Sıcaklığı 1400 °C'ye ulaştığında klinker meydana gelir. Döner fırından 1300 °C'de çıkan klinker çimentonun sertleşme özelliği için önemli bir bileşen olan alit (trikalsiyum silikat) oluşumunu sağlamak için ani olarak soğutulur ve sıcaklığı 100 °C'nin altına düşürülür ve klinker stokholünde stoklanır (Öztürk, 2016).

Klinkerin bir miktar alçı taşı ve çimento tipine bağlı olarak puzolan, kalker, uçucu kül v.b. gibi katkıları ile karıştırılarak öğütülmesi sonucu çimento elde edilir. Belirli miktarda alçı taşı katılarak öğütülen klinkere “Portland Çimentosu” denir. İlave katkı katılarak öğütülen ve “katkılı çimento” olarak isimlendirilen çimentolar, katkı cinsi ve miktarına göre (Portland kompoze çimento, Puzolanik çimento, Kompozit çimento vb.) isimlendirilir. Çimentonun öğütülmesinde yaygın olarak bilyalı değirmenler

kullanılır. İnce toz halinde öğütülen çimento, silolarda stoklanır. Bu silolardan çimento boşaltma işlemini başlatmak ve sürdürmek için basınçlı hava kullanılmaktadır. Çimento, dökme çimento olarak veya torba içine paketlenerek sevkiyatı gerçekleştirilebilir (Korkmaz, 2012).

Çimento Hammaddelerinin Öğütülmesi

Çimento üretiminde harcanan enerjinin büyük bir bölümü öğütme işlemi için kullanılmaktadır. Üretilen çimentonun tipi ve incelik gereksinimlerine bağlı olarak enerji tüketimi 30-50 kws/t çimento aralığında değişmektedir. Buna dayanarak öğütme devrelerinde enerji verimliliği önem kazanmakta ve yeni ekipman alternatifleri geliştirilmektedir. Enerji dışında öğütme sisteminin tasarlanmasında dikkate alınması gereken faktörler; öğütme enerjisi, ürün kalite sürekliliği, test edilmiş ve güvenilir ekipman, uygun işletme koşulları, değişik çimento tiplerine yakınlık, düşük yatırım maliyeti ve minimum sayıda ekipmadır (Gouda, 1981).

Öğütme devrelerinin performansının ölçülmesi ve devrede yer alan ekipmanların performanslarının izlenmesi işletme performansını arttıran önemli etkenlerden biridir. Devrede meydana gelen ani performans değişimlerinin zamanında tespiti ve bunlara zamanında müdahale, koruyucu bakıma yardımcı olmak gibi nedenlerden dolayı devre performanslarının belirli zaman aralıklarında izlenmesi gerekmektedir (Gouda, 1981).

Çimento öğütme devrelerinde gerek fırın koşullardaki değişime gerekse de farklı tipteki çimento üretimine bağlı olarak çok farklı boyut dağılımına sahip malzemeler devreye besleme olarak verilmektedir. Sistem içerisinde beslemeden ürün kademesine kadar olan aşamalardaki gözlenen tane boyu dağılımları bu iki eğrinin arasında kalmaktadır. Öğütme devrelerinin performanslarının belirlenebilmesi için izlenecek en önemli analitik yöntem tane boyu dağılımlarının belirlenmesidir. Tane boyu dağılımlarının belirlenmesi ile birlikte devre etrafındaki madde denkliliğinin sağlanarak performansların değerlendirilmesi mümkün olmaktadır. Tane boyu dağılımlarının belirlenebilmesi amacıyla pek çok teknik bulunmaktadır. Bu yöntemlerden en önemlisi eleme yöntemidir. Ancak tipik bir çimento öğütme devresinde malzemenin büyük bir kısmının ince fraksiyonlarda olması nedeniyle (üründe % 9' ı 40 mikronun altında) elek analizi dışındaki tekniklere de ihtiyaç duyulmaktadır. Pek çok uygulamada elek analizi ile diğer tekniklerin birleşimi kullanılmaktadır.

Malzemelerin belirli bir darbe yüklemesi sonucunda kırıldıktan sonra alt tane boylarına gösterdikleri karakteristik dağılım kırılma dağılım fonksiyonu olarak ifade edilmektedir. Kırılma dağılım fonksiyonunun belirlenmesinde farklı yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemlerden ağırlık düşürme test yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Kırılma dağılım fonksiyonunun belirlenmesi modelleme çalışması sırasında kırılma hızı, taşınma hızı gibi parametrelerin hesaplanmasında veri girişi sağlamakla birlikte örnekleme çalışmalarında değirmen içerisinde gözlenmekte olan bazı öğütme problemlerinin açıklanmasına da yardımcı olmaktadır (Korkmaz, 2012).

Öğütülebilirlik, malzemenin ufalamaya karşı direnci olarak tanımlanmaktadır (Çolak, 2018). Öğütülebilirlik değerinin belirlenmesi için çeşitli test yöntemleri bulunmaktadır. Bunlar klinker öğütülebilirliği için Bond İş İndeksi, Zeissel Yöntemi, PM-VTI Yöntemi, F.L.Smidth yöntemleridir (Aksarı, 1990). Yaygın olarak kullanılan yöntem ise Bond öğütülebilirlik testidir (Bond, 1954). Literatürde sonsuz büyüklükteki bir malzemenin %80' inin 100 mikronun altına geçmesi için gerekli enerji olarak tanımlanan Bond iş indeksi, aynı zamanda malzemenin kırılmaya ve öğütülmeye karşı olan direncini göstermektedir. Bond iş indeksi değerinin yüksek olması, malzemenin öğütülmeye karşı direncinin yüksek olduğu anlamına gelmektedir (Altun ve Ölmez, 2001).

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalarda, Karadeniz bölgesinde faaliyet gösteren bir çimento fabrikasının çimento hammaddeleri ve doğal taş fabrikası atıkları (mermer ve traverten atığı) kullanılmıştır. Söz konusu fabrikada portland çimentosu üretilmekte ve bu çimentonun üretiminde kalker (kireç taşı), doğaltaş atıkları, kil taşı ve alçı taşı kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında malzemeler çeşitli kırıcılarda kırılıp hazırlandıktan sonra farklı sürelerde öğütülmüş ve öğütülebilirlikleri incelenmiştir. Ayrıca, Hardgrove öğütülebilirlik deneyleri yapılmış ve bu değerlerden yola çıkılarak iş indeksi değerleri hesaplanmıştır.

Malzeme

Deneysel çalışmalarda kullanılan doğal taş atığı, kil ve alçı taşının kimyasal analiz sonuçları Çizelge 1 ve Çizelge 2’de verilmiştir. Analizler Karadeniz bölgesinde faaliyet gösteren bir çimento fabrikasının çimento laboratuvarında yapılmıştır. Çizelge 1’deki verilere göre, DTA’da %53,45 oranında CaO, kil taşında ise %63,00 oranında SiO₂ bulunmaktadır. Çizelge 2’den, alçı taşının %88,44’ü dihidrat alçıdan (2 molekül sulu alçı), %3,07’si anhidrit alçıdan oluşmaktadır. Anhidrit alçı, susuz kalsiyum sülfat (CaSO₄) anlamına gelmektedir. Hidrat terimi kristal yapısında su olan bileşikler için kullanılır.

Çizelge 1. Doğal taş atığı ve kil taşının kimyasal analiz sonuçları

İçerik	DTA (%)	Kil Taşı (%)
SiO ₂	3,83	63,00
Al ₂ O ₃	0,51	11,24
Fe ₂ O ₃	0,23	5,99
CaO	53,45	5,22
MgO	1,38	2,09
Na ₂ O	0,02	0,39
K ₂ O	0,03	1,33
SO ₃	0,19	0,09
Diğer	1,12	0,40
Kızdırma Kaybı	39,24	10,25
Toplam	100,00	100,00

Çizelge 2. Alçı taşının kimyasal analiz sonuçları

İçerik	(%)
Bulunan SO ₃	42,90
Bulunan kristal su	18,54
Bulunan kızdırma kaybı	21,57
Dihidrat alçı	88,44
Anhidrit alçı	3,07
CaCO ₃	6,95
Toplam	98,46
Tayin edilemeyen kısım	1,54
Toplam	100,00
Dihidrattan SO ₃	41,12
Rutubet	2,50

Şekil 2'de gösterilen çimento hammaddeleri, öncelikli olarak havada kurutulmuştur. Bir çimento fabrikasında bu hammaddeler termal kurutmaya maruz bırakılmadan havada kurutularak tesise beslenmektedir. Dolayısıyla hammaddelerin içerisinde az da olsa bünye nemi bulunmaktadır. Yapılan ön çalışmalarda havada kuru DTA'da %0.25 nem, kil taşında %5,8, alçı taşında ise %4,5 nem tespit edilmiştir. Hammaddeler öğütme deneylerinden önce sırasıyla çeneli ve merdaneli kırıcılardan geçirilerek tamamı 8 mm'nin altına indirilmiştir. Daha sonra 1mm'lik elekten elenmiş, elek altı ayrılarak elek üstü ile öğütme deneyleri yapılmıştır. 1 mm'nin altındaki malzemenin değirmene beslenmemesinin nedeni, değirmene her defasında homojen beslemenin yapılmak istenmesidir. Bu yüzden, değirmene beslenen tane boyutu daha dar bir fraksiyon olan -8+1 mm aralığındaki ($d_{80} \sim 6\text{mm}$) çimento hammaddesidir. Boyutu -8+1 mm olan çimento hammaddeleri, Şekil 3'de gösterilen laboratuvar ölçekli bilyalı değirmen ile 4, 8, 12, 15 ve 30 dk öğütme sürelerine tabi tutulmuş ve ardından kuru elek analizi yapılarak elek altı eğrileri çizilmiştir. Çimento hammaddelerinin öğütülmesindeki amaç, çimento üretimi için gerekli olan tane boyutunun (en az %80'inin 75 mikronun altında olması istenir) elde edilmesidir.



Şekil 2. Öğütme deneylerinde kullanılan portland çimentosu hammaddeleri



Şekil 3. Deneysel çalışmalarda kullanılan laboratuvar ölçekli bilyalı değirmen

Portland çimentosu hammaddelerinin HGI (Hardgrove Index) değerlerinin saptanması için standart Hardgrove değirmeni kullanılmıştır. Hardgrove değirmeninde hammaddeler önce havada kurutulmuş ve ayrı ayrı öğütülerek HGI değerleri saptanmıştır. Daha sonra, HGI- W_i dönüşüm formülleri kullanılarak W_i (iş indeksi) değerleri hesaplanmış ve elde edilen W_i değerleri literatür verileri ile karşılaştırılmıştır.

Yöntem

Hardgrove testi

Orijinal Hardgrove testi, Ralph M. Hardgrove tarafından farklı kömürlerin öğütülebilirliklerinin karşılaştırılması amacıyla 1929 yılında Amerika'da geliştirilmiştir (Hardgrove, 1932; Anon,1998). Bu teste, besleme tane boyutu $-1.18+0.6$ mm (18x30mesh) olan 50 gr havada kurutulmuş kömür örneği Hardgrove değirmeninde öğütülür. Öğütme işlemi değirmenin 60 devir yapması ile sonlandırılır. Daha sonra öğütülmüş malzeme 75 mikronluk bir elekten elenir ve elek altına geçen kömür ağırlığı (gr) aşağıdaki formülde "M" yerine yazılır (Anon,1998; Kemal ve Arslan, 2009). Genellikle bu yöntem kömürün öğütülebilirliğinin saptanması için kullanılmaktadır.

$$\text{HGI} = 13.6 + 6.93 \times M \quad (\text{Okan vd., 2004}) \quad (2).$$

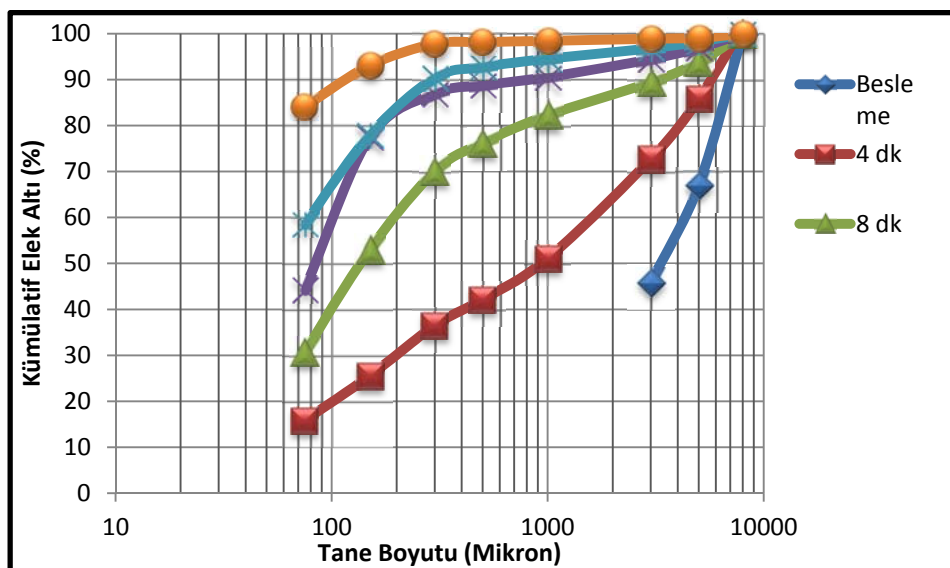
Bulunan HGI değerine göre aşağıdaki yorumlar yapılabilmektedir:
 HGI>70 ise malzeme kolay öğütülebilir,
 HGI=50-70 ise orta derecede öğütülebilirliğe sahip bir malzemedir,
 HGI=30-50 ise zor öğütülebilir bir malzemedir.

Yöntemin kolay ve doğru sonuç vermesi nedeniyle daha sonraki yıllarda standardize edilmiştir. ASTM d-409 olarak bilinen standart Hardgrove testinde, kömürün öğütülmesi standart Hardgrove Öğütülebilirlik Makinesinde yapılmaktadır (Tichanek, 2008).

BULGULAR

Öğütme Sonuçlarının Değerlendirilmesi

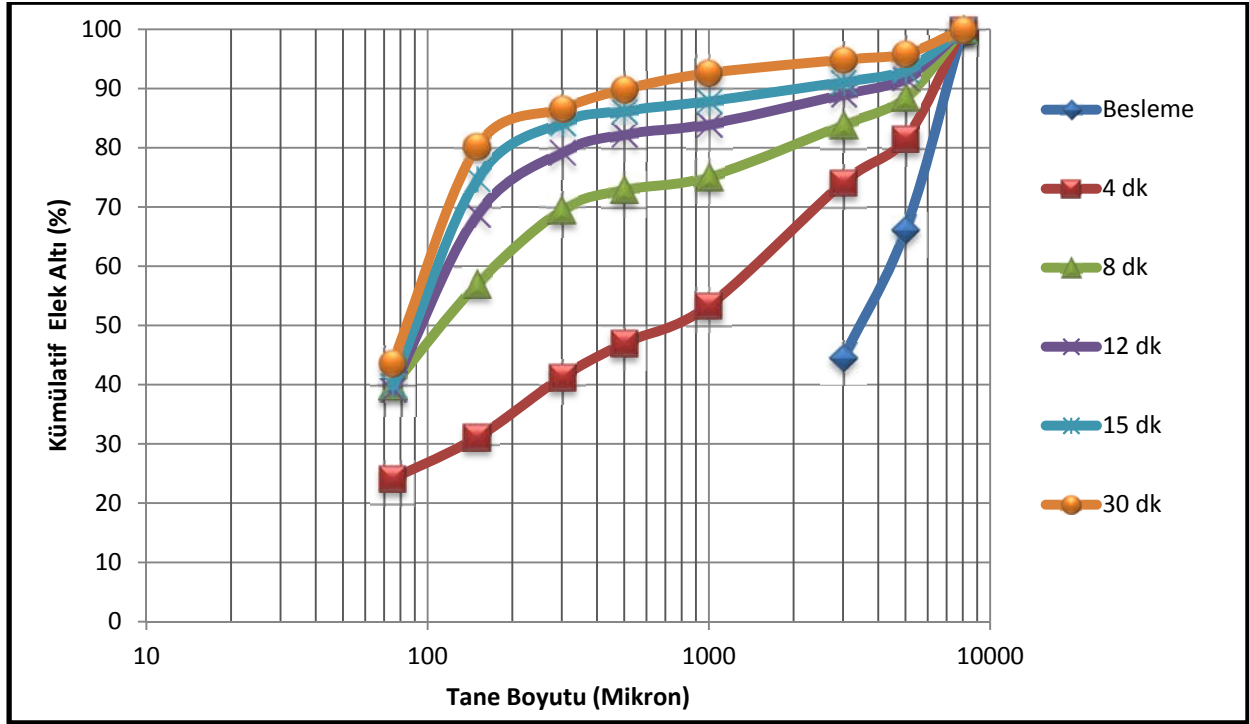
DTA hammaddesinin bilyalı değirmende ayrı ayrı 4, 8, 12, 15 ve 30 dk öğütülmesi sonucunda elde edilen ürünlerin boyut dağılımları Ek Açıklamalar bölümünde sunulan çizelgelerde verilmiştir. Ayrıca, farklı öğütme süreleri sonunda elde edilen ürünlerin kümülatif elek altı eğrileri ise Şekil 4'de topluca gösterilmiştir.



Şekil 4. DTA farklı sürelerde öğütülmesi ile elde edilen ürünlerin elek altı eğrileri

Çimento hammaddelerinden kalkerin d_{80} boyutunun 75 mikrondan daha ince boyutta olması istenir. Buna göre şekil 4' den de görülebileceği gibi, kalkere alternatif olarak kullanılacak olan DTA'nın yaklaşık 30 dk'lık bir öğütme işlemi sonucunda 75 mikron tane boyutunun altına indiği görülmektedir.

Kil taşı hammaddesinin bilyalı değirmende ayrı ayrı 4, 8, 12, 15 ve 30 dk öğütülmesi sonucunda elde edilen ürünlerin boyut dağılımları Ek Açıklamalar bölümünde sunulan tablolarda verilmiştir. Ayrıca, farklı öğütme süreleri sonunda elde edilen ürünlerin kümülatif elek altı eğrileri ise Şekil 5.'de topluca gösterilmiştir.

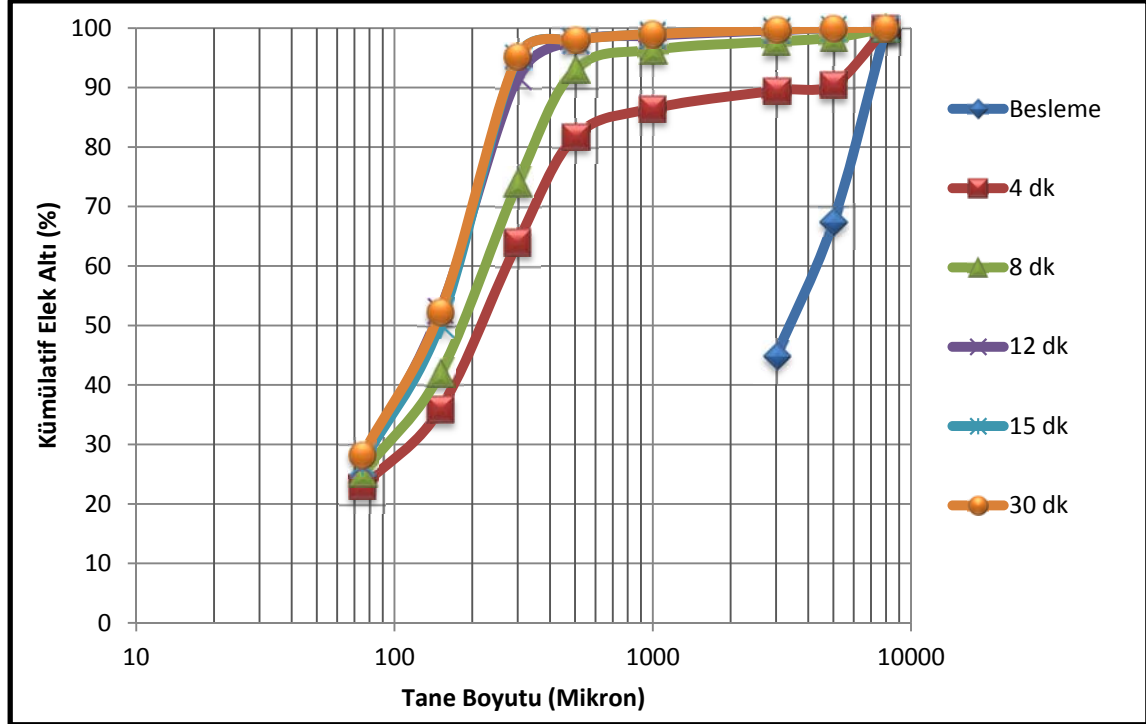


Şekil 5. Kil taşının farklı sürelerde öğütülmesi ile elde edilen ürünlerin elek altı eğrileri

Çimento hammaddelerinden kil taşının d_{80} boyutunun 75 mikrondan daha ince boyutta olması istenir. Ancak kil taşı ile 30 dk sonunda 75 mikron tane boyutuna inilememiştir. Bunun nedeninin, havada kurutulmuş olan kil taşının içeriğinde bünye neminin bulunması ve bu nemin eleme işleminde topak oluşturarak zorluk yaratmasıdır.

Alçı taşı hammaddesinin bilyalı değirmende ayrı ayrı 4, 8, 12, 15 ve 30 dk öğütülmesi sonunda elde edilen ürünlerin boyut dağılımları Ek Açıklamalar bölümünde sunulan tablolarda verilmiştir. Ayrıca, farklı öğütme süreleri sonunda elde edilen ürünlerin kümülatif elek altı eğrileri ise Şekil 6'da topluca gösterilmiştir.

Çimento hammaddelerinden alçı taşının d_{80} boyutunun 75 mikrondan daha ince boyutta olması istenir. Ancak alçı taşı ile 30 dk sonunda 75 mikron tane boyutuna inilememiştir. Bunun nedeninin, havada kurutulmuş olan alçı taşının içeriğinde bünye neminin bulunması ve bu nemin eleme işleminde topak oluşturarak zorluk yaratmasıdır.



Şekil 6. Alçı taşının farklı sürelerde öğütülmesi ile elde edilen ürünlerin elek altı eğrileri

Hardgrove Öğütülebilirlik Testleri Sonuçları

Portland çimentosu hammaddelerine uygulanan orijinal Hardgrove testi sonucunda Çizelge 3'deki sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca, HGI değerleri Bond'un 1954 yılında önerdiği bir eşitlikle iş indeksi (W_i) değerlerine dönüştürülmüştür. HGI değerinin iş indeksine dönüşüm formülü aşağıda verilmiştir (Bond,1954).

$$W_i = \frac{88}{HGI^{0.5}}$$

Çizelge 1. DTA, Kil taşı ve Alçı taşı hammaddelerinin HGI ve W_i değerleri

Hammadde	HGI (-)	W_i (kws/st)
DTA	86,37	9,47
Kil Taşı	127,95	7,78
Alçı Taşı	89,83	9,27

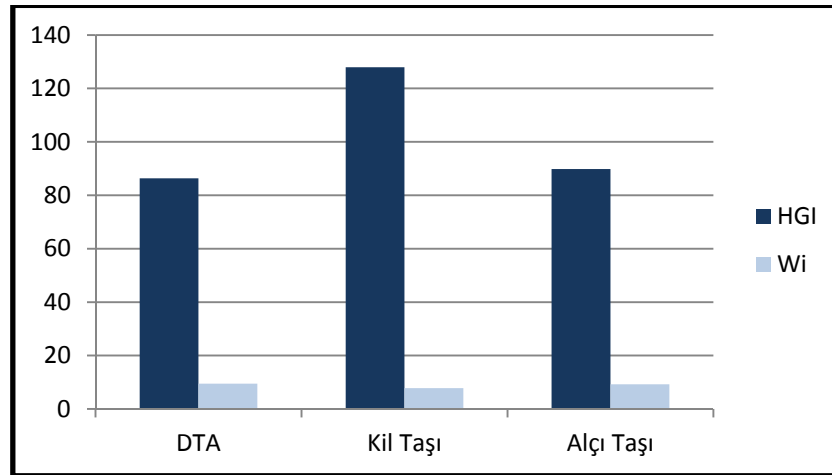
Yukarıdaki HGI sonuçlarına göre portland çimento hammaddelerinin hepsinin HGI değeri 70'in üzerinde çıkmıştır. Buna göre bu hammaddeler kolay öğütülebilen hammaddelerdir. Diğer taraftan, Bond iş indeksleri aşağıda verilen Çizelge 4' e göre yorumlanacak olursa; hammaddelerin tamamının kolay ve orta öğütülebildiği açıkça görülmektedir.

Çizelge 2. İş indeksi değerine göre öğütülebilirlik sonuçları (Bond,1954)

İş indeksi (Wi)	6-9	10-14	15-20	>20
Öğütülebilirlik	KOLAY	ORTA	ZOR	ÇOK ZOR

Hesaplanan iş indeksi değerlerinin literatür verileri ile karşılaştırılması durumunda, elde edilen sonuçların literatür verileri ile uyumluluk içerisinde olduğu görülmüştür. Örneğin; Nitta vd. (2002) yapmış olduğu bir çalışmada, 22 farklı kireçtaşı numunesinin Bond iş indeksi değerini belirlemiş ve İş indeksi değerlerinin 7,75 ile 18,18 kws/st arasında değiştiğini belirtmiştir. Yıldız (2015) ise, kitabında vermiş olduğu tabloda, iş indeksi değerlerini kireçtaşı için 11,61 kwh/st, kil taşı için 7,10 kws/st, alçı taşı için 8.16 kws/st, çimento klinkeri için 13,49 kws/st olarak belirtmiştir. Avşar ve Hoşten (1997) Set Ankara Çimento fabrikasının stok sahasından aldıkları kalker ve tras için iş indeksi değerlerini sırasıyla 12,28 ve 10,92 kws/st olarak bulmuşlardır.

Sonuç olarak; DTA, kil taşı ve alçı taşı hammaddeleri için bu çalışmada hesaplanan iş indeksi değerleri literatür verileri ile yaklaşık olarak benzer sonuçlar vermiştir. Portland çimentosu hammaddelerinin deneyler sonucunda elde edilen HGI ve İş indeksi değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 7' de gösterilmiştir.



Şekil 7. Portland çimentosu hammaddelerinin HGI ve Wi değerlerinin karşılaştırılması

SONUÇLAR

Bu çalışmada, portland çimentosu hammaddelerinin öğütülebilirliği incelenmiştir. Karadeniz bölgesinde faaliyet gösteren bir çimento fabrikasından alınan kil taşı, alçı taşı ve mermer fabrikası doğal taş atık numuneleri ile ayrı ayrı öğütme deneyleri yapılmıştır. Ayrıca, her bir numunenin Hardgrove ve Bond İş indeksi değerleri belirlenmiştir. Doğaltaş atıkları, kil taşı ve alçı taşının HGI değerleri sırasıyla 86,37; 127,95 ve 89,83 bulunmuştur. İş indeksi değerleri ise sırasıyla 9,47; 7,78 ve 9,27 bulunmuştur. Buna göre portland çimentosu hammaddelerinden en kolay öğütülebilen malzeme kil taşıdır. Daha sonra alçı taşı ve en zor öğütülebilen ham madde doğal taş atıklarıdır. Ancak, farklı sürelerdeki (4, 8, 12, 15 ve 30 dk) öğütme deneylerinde sonuçların iş indekseleri ile uyumlu olmadığı görülmüştür. Bunun muhtemel nedeninin, havada kurutulmuş malzemelerde bünye neminin bulunması ve bu nemin doğal taş atıkları, kil ve alçı taşında farklı düzeylerde bulunması ve eleme esnasında topak oluşturarak elek gözlerinde tıkanmalara neden olmasıdır. Yapılan ön çalışmalarda havada kuru doğal taş atığında %0,25 nem, kil taşında %5,8 alçı taşında ise %4,5 nem tespit edilmiştir. Bu çalışmada, havada kuru malzemelerle deneylerin yapılmasının nedeni, çimento tesislerinde havada kuru malzeme ile öğütmenin yapılması ve Hardgrove testinin standardında havada kuru malzeme ile çalışma zorunluluğunun bulunmasıdır.

KAYNAKLAR

- Aksarı, B. (1990). Balıkesir Çimento Fabrikası İçin Hammadde Seçimi, Hacettepe Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi.
- Altun, A. Ölmez, N. (2001). Comparative investigations of microstructure and grindability of cement clinker, *J. Ore Dressing, Cevher Hazırlama Dergisi*, 6, 1-8.
- Anon, (1998). Hardgrove grindability index, *ACARP Report*, 1-8.
- Austin, L.G., Weller, K.R., and Lim, I.L., 1993, Phenomenological modelling of the high pressure grinding rolls, *XVIII. International mineral processing congress*, 23-28 May 1993 Sydney, 87-95.
- Bond, F.C. (1954). Crushing And Grinding Calculations, *CIM Bulletin*, 466-472.
- Çolak, S. S. (2018). Çimento Öğütme Uygulamalarında Bilya Ve Malzeme Özelliklerinin Bilya Aşınma Sonuçları Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi (Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Deniz, V., Erkan D., Ve Alyıldız V. (2001). Kalker Ve Klinker Örneğinde Kırılma Kinetiği Üzerine Bilya Çapının Etkisi, 4. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, 271-277,
- Genç, Ö. (2016). *Energy Efficient Technologies In Cement Grinding*. Intech.
- Gouda G.R. (1981). Technical Aspects Of Comminution In The Cement Industry, *World Cement Technology*, 112-122.
- Hosten, C., ve Avsar, C. (1998). Grindability of mixtures of cement clinker and trass. *Cement and concrete research*, 28(11), 1519-1524.
- Kaya, G. (2010). *Farklı Konsantrasyonlarda Uçucu Kül Kullanımının Çimento Özellikleri Üzerine Etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Osman Paşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kemal, M., Arslan, V. (2009). Kömür hazırlama teknolojisi. DEÜ Yayını, s. 53.
- Korkmaz, A. (2012). *Klinker Ana Komponentlerin Öğütme Ve Çimento Dayanımları Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Madloul, N. A., Saidur, R., Hossain, M. S., and Rahim, N. A. (2011). A Critical Review On Energy Use And Savings In The Cement Industries. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 15(4), 2042-2060.
- Nitta, S., Bissombolo, A., Furuyama, T., and Mori, S. (2002). Relationship between Bond's work index (Wi) and uniformity constant (n) of grinding kinetics on Tower mill milling limestone. *International journal of mineral processing*, 66(1-4), 79-87.
- Okan, S. Akçın N., Toroğlu İ. (2004). Kömürün Öğütülebilirliği İle Dayanım Ve İndeks Özellikleri Arasındaki İlişkileri, Türkiye 14 Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, 02-04 Haziran 2004 Zonguldak, Türkiye.
- Özgür, S. (1996) Türkiye Çimento Sanayii Ve Üretilen Çimento Türleri
- Öztürk, E. (2016). *Çimento Sektöründe Alternatif Hammadde Ve Alternatif Yakıt Kullanımının Çevresel Yararlarının Değerlendirilmesi* (Master's Thesis, Namık Kemal Üniversitesi).
- Tichanek, F. (2008). Contribution To Determination Of Coal Grindability Using Hardgrove Method, *Geoscience engineering*, 27-32.

PATLAYICI MADDELERİN KULLANILDIĞI MADEN OCAKLARINDAKİ İŞ GÜVENLİĞİ DEĞERLENDİRMELERİ
OCCUPATIONAL SAFETY EVALUATIONS IN MINES WITH EXPLOSIVE MATERIALS

A. Tosun*

Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü ve Bergama Meslek Yüksekokulu
*(*Sorumlu yazar: abdurrahman.tosun@deu.edu.tr)*

ÖZET

Madencilik sektöründe üretim genel olarak açık işletme ve kapalı işletme olarak yapılmaktadır. Kapalı işletme olarak üretilen madenlerin bir kısmı, açık işletme olarak üretilen madenlerin de büyük bir kısmında patlayıcı maddeler kullanılmaktadır. Patlayıcı madde kullanımına bağlı olarak birçok iş kazası meydana gelmektedir. Bu kazalar genellikle hassas patlayıcı maddelerin uzun süre depolanmasından kaynaklanan kazalar, patlayıcı maddelerin taşınması ve kullanılması sırasında oluşan kazalar, uygun gecikme aralığının ve sıkılamanın yapılmaması durumunda oluşan taş savrulması kazaları ve grizu içeren maden ocaklarında uygun patlayıcı maddelerin kullanılmaması durumlarında oluşan kazalardır. Bu yüzden patlayıcı maddeler ile üretim yapılan maden ocaklarında iş güvenliğinin önemi büyüktür. Bu bildiride ülkemizde patlayıcı maddelerin kullanılması sırasında meydana gelen iş kazaları tartışılıp mevcut patlayıcı maddeler yönetmeliğinde yer alan ve yer almayan bölümlerin iş güvenliğinin sağlanması için gerekli öneriler sunulacaktır.

Anahtar Sözcükler: Patlatma, iş kazası, iş güvenliği

ABSTRACT

Generally, the production in the mining sector is carried out as open pit and underground pit. Explosives are used in some of the mines produced as underground pit enterprises and in most of the mines produced as open pit enterprises. Many occupational accidents occur due to the use of explosives. These accidents are generally accidents caused by long-term storage of sensitive explosives, accidents during transportation and use of explosives, flyrock accidents that occur in the absence of proper delay and stemming, and in case of not using suitable explosive materials in mines containing methane gas. Therefore, occupational safety is of great importance in the mines where explosives are produced. In this paper, occupational accidents that occur during the use of explosives in our country will be discussed and necessary suggestions will be presented to ensure the occupational safety of the sections included in the present explosive regulation and not included.

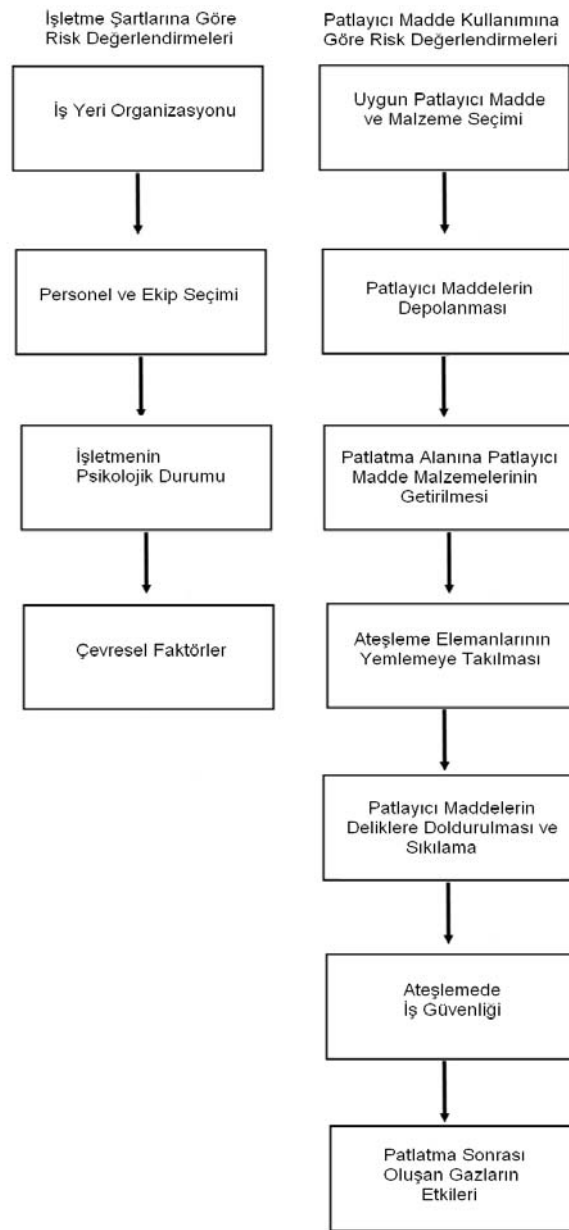
Keywords: Blast, occupational accident, work security

GİRİŞ

Ülkemiz iş kazalarında dünyada üçüncü, Avrupa'da birinci sırada yer almaktadır. Maden kazaları son yıllarda belirgin olarak artmaktadır. SGK ve SSK istatistik kaza kayıtlarına göre, 2002-2015 yılları arası 1399 insan maden kazalarında hayatını kaybetmiştir (Bayraktar B. vd., 2018).

Genel olarak madencilik sektöründe üretim açık işletme ve kapalı işletme olarak yapılmaktadır. Kapalı işletme olarak üretilen madenlerin bir kısmı, açık işletme olarak üretilen madenlerin de büyük bir kısmında patlayıcı maddeler kullanılmaktadır.

SGK istatistiklerine göre madenlerde meydana gelen iş kazalarının yüzde 20'si patlayıcı madde kullanımına bağlı olarak meydana gelmektedir. İlgili kazalar incelendiğinde Şekil 1'de gösterilmekte olan sınıflandırılma yapılabilir. Söz konusu sınıflandırmada işletme şartlarına göre oluşabilecek kazalar işyerinin organizasyonu, personel seçimi, işletmenin psikolojik durumu ve çevresel faktörlerden kaynaklanan kazalar olurken; patlayıcı madde kullanımına göre oluşabilecek kazalar da genellikle hassas patlayıcı maddelerin uzun süre depolanmasından kaynaklanan kazalar, patlayıcı maddelerin taşınması ve kullanılması sırasında oluşan kazalar, uygun gecikme aralığının ve sıkılamanın yapılmaması durumunda oluşan taş savrulması kazaları ve grizu içeren maden ocaklarında uygun patlayıcı maddelerin kullanılmaması durumlarında oluşan kazalardır. Bu yüzden patlayıcı maddeler ile üretim yapılan maden ocaklarında iş güvenliğinin önemi büyüktür. Oluşabilecek bu kazaların önlenmesi için elektronik kapsül kullanımı, patlatma sırasında yüksek çözünürlüklü fotoğraf çekimi ve ANFO yerine emülsiyon türü patlayıcı maddelerin kullanımı gibi yeni patlatma teknolojilerinin patlatma işlemlerinde uygulanması sağlanabilir.



Şekil 1. Patlayıcı Madde Kullanımı Sırasında Oluşabilecek Kazaların Nedenleri

İŞLETME ŞARTLARINA GÖRE RİSK DEĞERLENDİRMELERİ

Mevcut patlayıcı madde tüzüğünde işyeri organizasyonu, patlatma ekibinin özellikleri, işletmenin psikolojik durumu ve çevresel faktörler ile ilgili herhangi bir düzenleme bulunmamaktadır. Bu nedenle söz konusu faktörlerin mevcut tüzükte nasıl olması gerektiği ile ilgili bazı öneriler aşağıda irdelenmiştir.

İşyeri Organizasyonu

Açık işletme madenciliğinde delme patlatma sırasında iş organizasyonu, çalışmalarını etkileyen bir faktördür. Birbirinden bağımsız birçok ekibin birlikte çalışmak zorunda olduğu açık işletme madenciliğinde çalışan ekiplerin çalışmalarının birbirini etkilememesi için çok iyi bir organizasyon gereklidir. Patlatma yapılacağı sırada uyarı ve çalışanlar arasında haberleşme çok iyi yapılmadığı durumlarda kazalar meydana gelebilir. Her ekip kendi güvenliğini sağlasa bile patlatma işleminden sorumlu bir koordinatör, çalışmalarını sırasında patlatma bölgesini zorunlu olarak kullanan diğer personellerle iletişimi sağlayıp patlatma bölgesini kontrol altına almalıdır. Hangi ekibin hangi noktalardan sorumlu olduğu kesin olarak belirlenmelidir.

Personel ve Ekip Seçimi

Patlatma işlemlerini gerçekleştirecek olan ekibin mevcut patlayıcı madde tüzüğüne göre patlatma konusunda iş tecrübesinin yüksek olması, iş güvenliği konularında eğitilmiş olması ve patlatma konusunda çok iyi bilgi ve beceriye sahip olması büyük önem arz etmektedir. Patlatma ekibi, patlatma deliklerini kısa sürede ve uygun patlayıcı madde miktarıyla doldurup yeterli sıkılamayı da çok iyi bir şekilde yapması gerekmektedir. Örneğin patlatma ekibi delikler arasındaki bağlantı kablolarını çok iyi bir şekilde oluşturması gerekir. Bağlantılar arasında herhangi bir kopukluk olması durumunda tüm delikler patlamayabilir. Bu durumda patlamamış delikler büyük tehlike arz edecektir. Bütün bunların hassas bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için patlatma ekibinin ancak konuyla ilgili yüksek bilgi ve tecrübeye sahip olmasına bağlıdır.

İşletmenin Psikolojik Durumu

Patlatma yapılan işletmelerde patlatma ekibi arasında acelecilik, birbirleri arasındaki kötü iletişim ve üstleri tarafından yapılan baskı orada bir karmaşaya sebep olacaktır. Hassas olarak çalışmayı gerektiren patlatma işlemlerinde bu durum, bazı istenmeyen tehlikeler oluşturabilir. Patlatma ekibine, işlerin çok sıkıştığı durumlarda bile zamansal olarak acele ettirilmemelidir ve onlar arasında iyi bir iletişim kurmaları sağlanmalıdır. Bazen işletmede birçok olumsuz durum biraraya gelebilir. Personel bu durumlarda bile olumsuz olaylara karşı soğukkanlılıkla yaklaşım panik yapmamalıdır.

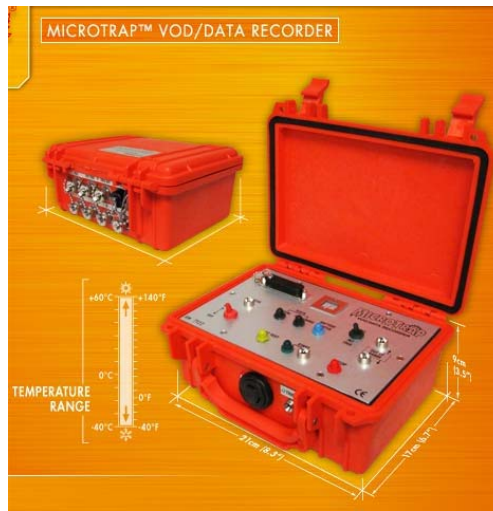
Çevresel Faktörler

Çalışma sırasında ortaya çıkan gürültü, toz ya da ekskavatör ve dragline gibi büyük araçların yerlerinin değiştirilmesi çevresel faktörler olarak patlatma bölgesinde olumsuz etkiler yaratabilir. Bu durumlar ateşleme personelinin patlatma bölgesini tam olarak görememesini sağlayıp zamansız ateşleme yapmasını sağlayabilir. Bunun sonucunda da bazı kazalar meydana gelebilir. Bu yüzden patlatma yapılacağı sırada patlatma bölgesinde görüş alanı hâkimiyeti sağlanıp tam olarak emin olunduktan sonra ateşleme işlemi yapılmalıdır.

PATLAYICI MADDE KULLANIMINA GÖRE RİSK DEĞERLENDİRMELERİ

Uygun Patlayıcı Madde ve Malzeme Seçimi

Mevcut patlayıcı madde tüzüğünde uygun patlayıcı madde seçimi ile ilgili herhangi bir düzenleme bulunmamaktadır. Oysa ki, patlatma işlemi yapılmadan önce patlatılacak alana uygun patlayıcı madde seçimi, miktarı ve ateşleme elemanlarının tespit edilmesi son derece önemlidir. Gereğinden güçlü ve fazla patlayıcı madde kullanılması taş savrulmalarını artırarak bir takım kazalar oluşturabilir. Patlayıcı maddenin gücünü belirleyen detonasyon hızı ve kullanılan patlayıcı maddenin miktarıdır. Ancak patlatılacak alanın süreksizlik özelliklerine ve kayacın fiziksel özelliklerine göre uygun güce sahip patlayıcı madde kullanmak gerekir. Şekil 2’de görülen detonasyon hızı kaydedici teknolojisine ile patlayıcı maddelerin detonasyon hızı ölçülebilir. Ölçülen detonasyon hızına göre patlatma bölgesinde taş savrulmalarının olmaması için patlayıcı madde miktarı ayarlanabilir.



Şekil 2. Detonasyon hızı kaydedici

Patlatma bölgesinde patlatma deliklerine doldurulan patlayıcı maddeler fazla kaldığında onların gereksiz yere taşınmalarını ve tekrar depolanmalarını gerektirecektir. Açılmış hassas patlayıcı maddelerin taşınması ve tekrar depolanması da birtakım tehlikeler oluşturacaktır. Açık ocak patlatmalarında genellikle nitrogliserin esaslı patlayıcı madde ile birlikte yüksek oranda ANFO kullanılmaktadır. Son zamanlarda dünyada emülsiyon türü patlayıcı maddeler geliştirilip nitrogliserin esaslı patlayıcı madde ve ANFO yerine daha güvenli olması nedeniyle kullanılmaya başlanmıştır. ANFO sudan etkilenen bir patlayıcı madde türü olduğundan patlatma deliklerinde su bulunması durumunda hiç veya bir kısmı patlamayabilir. Bu durum patlatma sonrasında birtakım tehlikeler oluşturabilir. Ayrıca emülsiyon türü patlayıcı maddeler nitrogliserin esaslı patlayıcı maddelere göre darbe, çarpma gibi etkilere karşı daha az hassastır. Favreau and Favreau (2002), Preece & Chung, 2001 and Preece & Chung, 2002, Dare-Bryan, Wade and Randall (2001), and Katsabanis and Liu (1997) bilgisayar simülasyonu kullanarak kayaç tipi ve dayanımına göre uygun patlayıcı maddeler önermiştir.

Patlayıcı Maddelerin Depolanması

Patlayıcı maddeler çok tehlikeli ve hassas olduğundan depolanması son derece önemlidir. Aşağıda mevcut patlayıcı maddeler tüzüğünde bulunan iş güvenliği kapsamında patlayıcı maddelerin depolanması sırasında oluşabilecek kazalar ve bunların önlenmeleri değerlendirilmiştir.

- a) Patlayıcı maddeler, kapsüller ve infilaklı fitil gibi ateşleme sistemleri, kanun ve tüzüklere uygun, temiz, kuru, rutubetsiz ve iyi havalandırılmalı depolarda kilitli olarak korunmalıdır. Aksi takdirde nitrogliserin esaslı gibi patlayıcı maddeler neme ve suya karşı dayanıksız olduğu için patlatma sırasında tam olarak patlamayabilir. Bu durum, patlatılan malzemenin yüklenmesi sırasında tehlike oluşturabilir.
- b) Yüksek şiddetli patlayıcı maddeler kapsüle karşı duyarlı olduğu için birbirlerinden ayrı olarak depolanmalıdır, kapsüller de infilaklı fitile karşı duyarlıdır. Bu yüzden infilaklı fitiller de kapsüller ile birlikte değil, patlayıcı maddelerle birlikte depolanmalıdır.
- c) Özellikle detonasyon hızı yüksek olan patlayıcı maddeler ve ateşleme sistemleri hassas olduğundan onların yakınında, taşınmasında ve depo içerisinde sigara içilmemeli ve açık alev çıkartılmamalıdır.
- d) Depo içerisinde metal aletlerle çalışma yapılmamalıdır. Metal aletlerin oluşturacağı herhangi bir kıvılcım depo içinde büyük tehlike oluşturabilir.
- e) Patlayıcı maddelerin kutuları örselenmemeli, düşürülmemeli ve sürüklenmemelidir. Aksi takdirde hassas patlayıcı maddeler tehlike oluşturabilir.
- f) Açılmış patlayıcı madde kutuları öncelikle tüketilmelidir.
- g) Patlayıcı ve ateşleyici maddeler başka malzemelerle birlikte taşınmamalıdır. Patlayıcı maddeler ve kapsüller birbirine karşı duyarlı olduğundan ayrı ayrı taşınmalıdır.
- h) Patlayıcı maddelerde bozulma fark edildiğinde, kullanılmamalı ve yerinden kaldırmadan üretici firma ile temas kurulmalıdır. Nitrogliserin esaslı patlayıcı maddelerde kusma gibi bozulmalar görülebilir. Bu tür patlayıcı maddeler çok hassas olduğundan bu durumda çok tehlikeli olabilirler.

Patlatma Alanına Patlayıcı Madde Malzemelerinin Getirilmesi

Patlatma yapılacak alanda son derece dikkatli ve düzenli bir şekilde çalışılmalıdır. Bu sayede patlatma alanındaki karmaşıklıklar önlenip delikler arasındaki bağlantıların doğru bir biçimde kurulması ve her deliğe gerektiği kadar patlayıcı madde konulması sağlanacaktır. Aşağıda patlatma yapılmadan önce oluşabilecek tehlikeli durumlar ve bu tehlikeleri en aza indirmek için yapılması gereken işlemler tartışılmıştır. Bu kurallar için her ne kadar açık işletme patlatmaları temel alınsa da, yeraltı ve tünel çalışmalarında da prensip olarak aynıdır.

- a) Patlatma sahasına gerekli miktarda kapsül ve patlayıcı getirilmelidir. Gereğinden fazla patlatma malzemesinin getirilmesi durumunda patlatılacak ayna üzerinde bir karmaşıklık oluşup delikler arası bağlantılar yanlış kurulabilir. Bu durum, patlatma sırasında ve sonrasında tehlike oluşturabilir.
- b) Mümkün olduğu sürece kapsüller ve patlayıcılar en son ana kadar ayrı ayrı korunmalıdır.
- c) Patlatılacak alanda karmaşıklık oluşmaması için patlayıcı maddeler, patlatma deliklerinin yanına küçük miktarlar halinde dağıtılmalıdır.
- d) Her seferinde delik başına bir patlayıcı kutusu getirilmelidir. Boşalan kutu ve artıklar toplanmalı, yeni patlayıcı almaya giderken de bunlar biriktirme yerlerinde bırakılmamalıdır.

Ateşleme Elemanlarının Yemlemeye Takılması

Patlatma deliğinin dibine yüksek patlayıcı gücüne sahip yemleme denilen bir patlayıcı madde konur. Bu patlayıcı maddeyi patlatabilmek için içine patlatma gücü daha az olan kapsüller yerleştirilir. Yüksek şiddete sahip patlayıcı madde, sürtünme ve darbelere karşı hassas olduğundan kapsüllerin bu patlayıcı maddelere takılması sırasında son derece dikkatli olunması gerekmektedir.

Aşağıda yine mevcut patlayıcı madde tüzüğüne uygun olarak yapılması gereken işlemler değerlendirilmiştir.

- a) Hangi ateşleme yöntemi kullanılırsa kullanılsın, yemlemenin patlayıcıya takılması, deliğe doldurma aşamasında olmalıdır.

- b) Kapsüller yemleme kartuşunun içine zorla sokulmamalıdır. Kartuş içine öncelikle ahşap çubuk ile uygun derinlikte yuva açılmalıdır. Bu durumda kapsülün patlayıcı maddeyi zorlaması önlenecektir.
- c) Kapsül, patlatma deliğinin dibinde yerinden çıkmaması için yemlemeye iyi bir şekilde takılmalıdır.
- d) Elektrikli kapsül kullanıldığında, kapsül kabloları yemlemeye bir veya iki yerinden bağ yapılmalıdır. Bu sayede deliğe sarkıtırken daha güvenli olacaktır.
- e) İnfilaklı fitil denilen kapsül kabloları çok duyarlı olup kapsülü patlatmada kullanılır. Kapsül kabloları iletkenlerden ve akım kaynaklarından uzak tutulmalıdır. Kablo uçları dikkatli şekilde sıyırılmalıdır. Şimşekli havalarda tüm çalışmalar durdurulmalıdır.
- f) Ateşleme sistemi yemleme kartuşuna takıldıktan sonra, kartuşa çok özen gösterilmeli, düşürülmemeli ve deforme edilmemelidir.
- g) Kapsülün patlatılmasında kullanılan fitilin depolamada ve kullanımı sırasında, su ile temasından ve hasar görmesinden sakınılmalıdır. Fitili kapsüle takarken ucundan biraz kesmek, ıslanma gibi herhangi bir olasılığa karşı yararlı olacaktır.
- ı) Emniyetli fitili kapsül yuvasına boşluk kalmayacak şekilde oturtmalı ve kapsül pensesi ile sıkılmalıdır.

Patlayıcı Maddelerin Patlatma Deliklerine Doldurulması ve Sıkılama

Açık ocak madenciliğinde patlatma sırasında meydana gelen kazaların önemli bir kısmı taş savrulmalarından kaynaklanmaktadır. Patlatma deliklerine patlayıcı maddeler doldurulduktan sonra patlatma deliklerine, yaklaşık olarak delik boyunun yüzde otuzu kadar sıkılama yapılmaktadır. Sıkılamanın iyi bir şekilde yapılması, patlayıcı maddenin enerjisinin tümünü patlatılacak aynaya vermesini ve taş savrulmalarının en az düzeyde olmasını sağlayarak daha emniyetli bir patlatma işleminin yapılmasını mümkün kılar.

Dünyada son yıllarda patlatma deliklerinde kaya kilidi adı verilen bir sistem kullanılmaya başlanmıştır. Bu sistem ile taş savrulmaları oldukça azaltılmıştır. Şekil 3'te dört bölüm halinde gösterilen sistemde önce çapı, patlatma delik çapının yüzde 90'ı kadar olan bir kaya kilidi seçilir. Kaya kilidinin içine $\frac{1}{2}$ ile $\frac{1}{3}$ ' ü kadar kum doldurulur ve delik içindeki patlayıcı maddenin delik çapının 1,5 m. si kadar üstüne yerleştirilir (<http://www.abtechinc.biz/>). Bu sistem ile daha emniyetli patlatmalar yapılabilir. Mevcut patlayıcı madde tüzüğüne bu şekilde sıkılamanın yapılması gerektiği eklenmelidir.



Şekil 3. Kaya Kilidi sisteminin Kullanımı (Advanced Blasting Technology, Inc. • P.O. Box 598 • Watertown, NY 13601 USA)

Ateşlemede İş Güvenliği

Elektrikli kapsüllerin hatalı kullanımından kaynaklanan iş kazaları günümüzde de azımsanmayacak boyutlardadır. Bu kazalar; elektriksel yüklü havalarda patlatma yapma, cep telefonunu patlatma bölgesine sokma, elektrikli kapsül test edilirken uygun olmayan test cihazı kullanma, kapsül testinde manyeto kullanma gibi hatalı davranışlardan kaynaklanmıştır.

Son zamanlarda dünyada elektronik kapsüller geliştirilip kullanılmaya başlanmıştır. Elektronik kapsüllerde voltaj düzenleyicisi olduğundan verilen voltajı depo edip her zaman sabit tutar. Sahip olduğu digital sayaç ile verilen voltajı sıfıra kadar azaltıp sayaç üzerindeki düğmeye basıldığında depo ettiği voltajı ateşleme mekanizmasına gönderir. Bu yüzden elektronik kapsüller, elektrikli kapsüllerin neden olduğu kazaları yüksek miktarda önlemektedir.

Aşağıda ateşlemede, mevcut tüzüğe uygun olarak dikkat edilmesi gereken kurallar değerlendirilmiştir.

- a) Kapsül ve bağlantı kabloları yeterli uzunlukta olmalıdır. Çok fazla bağlantı kabloları akım kaçacağına sebep olabilir.
- b) Tüm bağlantılar yetkili bir ateşçi tarafından yapılmalıdır.
- c) Kablo bağlantıları ıslak ve sulu ortamlarda görevlerini yapabilmesi için bantla izole edilmelidir.
- d) Herhangi bir şekilde zamansız ateşlemenin gerçekleşmemesi için ateşçi manyeto kolu veya anahtarını ateşlemeyi yapmaya kadar yanında bulundurmalıdır.
- e) Kablolar taşınırken yerde sürüklenmemeli, bu kablo koruyucusunun zarar görmesine neden olacaktır.
- f) Bağlantı kablosu olası kısa devrelere karşı test edilmelidir.
- g) Devre manyeto kullanılmadan önce ohm metre ile test edilmelidir.
- h) Ateşçi ateşleme hattına elektrik akımını vermeden önce bütün önemli güvenlik kurallarının yerine getirildiğinden emin olmalıdır.
- i) Açıkça anlaşılır bir sinyal verilmelidir.
- k) Patlama alanına girişler tamamen kontrol altına alınmalı, patlatmadan önce kimse bu alana sokulmamalıdır. Patlatma aynasının önünde kimsenin durmasına izin verilmemelidir. Ateşçinin ve patlatma sırasında saklanan kişilerin saklanacakları bölgeleri çok iyi seçmeleri gerekir. Patlatmada meydana gelen kazaların çoğu yanlış yer seçiminden meydana gelmektedir.
- l) Patlatma sahasına patlatma işleminden hemen sonra girilmemelidir. Patlatmayı gerçekleştiren akım herhangi bir nedenle kapsüle geç gidebilir. Emniyet açısından elektrikli kapsül kullanılan alanlara beş dakika sonra girilmesi gerekmektedir. Geçerli bir süre geçtikten sonra patlatma alanında patlamamış patlayıcı maddelerin olup olmadığı kontrol edilmelidir. Tecrübeler sayesinde alana bakarak bütün deliklerin patlayıp patlamadığı anlaşılabilir.

Patlatma Sonrası Oluşan Gazların Etkileri

Patlama sırasında bütün patlayıcı maddeler zehirli gazlar üretir. Bu nedenle özellikle yeraltı maden ocaklarında patlatma yapıldıktan sonra gerekli havalandırma sağlanmalı ve çalışma bölgesine dönerken gazın dağıldığından emin olunmalıdır. Yeraltı madenlerinde mümkünse sulayarak, çözümlü gazlar havadan yok edilmelidir. Ülkemizde son dönemlerde yeraltı kömür ocaklarında grizu patlamaları çok sık olarak görülmektedir. Yeraltı kömür madenlerinde patlayıcı maddelerin zorunlu olarak kullanıldığı durumlarda grizu patlamasının oluşmaması için patlayıcı madde olarak antigrizutin tipi patlayıcı maddeler kullanılmalıdır.

KANADA NOVA SCOTIA BÖLGESİNE AİT PATLAYICI MADDE TÜZÜĞÜ İNCELEMELERİ

Madencilik faaliyetlerinin özellikle patlatma işlemlerinin yoğun olarak yapıldığı 12 Mart 2013'te kabul edilen Kanada'nın Nova Scotia bölgesine ait patlayıcı madde iş güvenliği tüzüğü'nün (N.S. Reg. 54/2013) Türkiye'deki patlayıcı madde iş güvenliği tüzüğü'nde olmayan veya eksik olan kısımları incelenmiştir.

Nova Scotia tüzüğüne göre patlatma bölgesinde yanlış veya şüpheli bir deliğin olması durumunda (patlamamış delik gibi), patlatmadan sonra herhangi bir yangının oluşması durumunda, taş savrulmasından dolayı herhangi birinin yaralanması ya da herhangi bir aracın zarar görmesi durumunda ve taş fırlamasıyla taşların işyerinin sınırları dışına çıkması durumunda bir "patlatma olayı" meydana gelmiş demektir. Bu durumda bir işveren danışmanının ve patlatmadan sorumlu personelin patlatma olayı raporu hazırlayıp olayın gerçekleştiği zamanı takiben 24 saat içinde hükümetin resmi iş güvenliği birimine vermeleri gerekmektedir.

Patlatma kazalarının önemli bir kısmını elektrikli kapsülden oluşmaktadır. Elektrikli kapsüller radyo frekanslarına karşı duyarlı olduğu için patlatmayı yapan yetkili personel ve işveren, patlatma yapılmadan önce işyeri yakınlarındaki halkın kullandığı caddelerde bile radyo frekanslarının kapatılması uyarısını yapmalıdırlar. Patlatma sonrası yine haber verilmelidir. İşveren patlatma yapılan iş yerinde bir veya daha fazla patlatma danışma komitesi oluşturmalıdır. Özel patlatma gerektiren durumlarda bu komitelere danışılmalıdır. Patlayıcı maddeler sadece özel elbiselerle taşınabilir. Yanlış patlamış herhangi bir patlatma deliği olduğunda 30 dakika süresince beklenmeli daha sonra müdahalede bulunulmalıdır. Patlamamış veya yarı patlamış deliğe müdahalede bulunurken yeni baştan patlatma yapıyormuş gibi güvenlik önlemleri alınır.

SONUÇLAR

Patlayıcı maddeler çok hassas ve tehlikeli oldukları için oluşabilecek herhangi bir kaza ölümcül olabilmektedir. Bu yüzden işletmede oluşabilecek kazaların hepsi değerlendirilip risk analizleri yapılmalıdır. Özellikle mevcut patlayıcı madde tüzüğü'nde bulunmayan ve işletme şartlarını oluşturan işyeri organizasyonu, ekip seçimi, işletmenin psikolojik durumu ve çevresel faktörlerin risk değerlendirmeleri yapıp söz konusu tüzüğe eklenmesi sağlanmalıdır. Patlayıcı madde kullanımına göre risk değerlendirmelerinden olan uygun patlayıcı madde seçimi ve kilit yöntemiyle sıkılmanın yapılması yukarıda da açıklandığı gibi mevcut tüzüğe eklenmesi sağlanmalıdır.

Patlatma işlemleri yapılırken tüm işlemlerin patlayıcı madde tüzüğüne uygun olarak yapılması gerekmektedir. Patlatma işlemleri çok riskli ve tehlikeli durumlar içerdiğinden bu tür işlemlerde işletmeler, maddi olarak tasarruf sağlamamalıdır. Patlayıcı madde kullanımında yeni teknolojiler sürekli takip edilip patlatma bölgelerinde kullanımları sağlanmalıdır. Ülkemizde yeraltı kömür ocaklarında grizu patlamaları son dönemlerde sık sık meydana gelmektedir. Bu ocaklarda patlatma işlemleri yapılırken mutlaka antigrizutin tipi patlayıcı madde kullanılıp çok dikkatli olunması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Bayraktar, B., Uyguçgil, H. ve Konuk, A. (2018). Türkiye madencilik sektöründe iş kazalarının istatistiksel analizi, Bilimsel Madencilik Dergisi, Özel sayı, 85-90.

Dare-Bryan, P., Wade, L. and Randall, M. (2001). Computer modeling of bench blasting for grade control. In: Proceedings of the 27th annual conference on explosives and blasting technique, Vol. 1, International Society of Explosives Engineers.

<http://www.abtechinc.biz/>.

http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/sgk/tr/kurumsal/istatistik/sgk_istatistik_yilliklari.

- Favreau, R.F. and Favreau, P. (2002). How to design a blast with computer simulations. In: Proceedings of the 28th annual conference on explosives and blasting technique, Vol. I, International Society of Explosives Engineers, (pp. 475–483). Cleveland, OH.
- Kanada Nova Scotia bölgesine ait patlayıcı madde ve iş güvenliği tüzüğü, 2013.
- Katsabanis, P.D. and Liu, L. (1997). Application of numerical modeling to practice blast design. In: Proceedings of the 23rd annual conference on explosives and blasting technique, International Society of Explosives Engineers, (pp. 113–123). Cleveland, OH.
- Preece, D.S. and Chung, S.H. (2001). Development and application of a 3-D rock blast computer modeling capacity using discrete elements—DMCBLAST_3D. In: Proceedings of the 27th annual conference on explosives and blasting technique, Vol. I, International Society of Explosives Engineers, (pp. 11–18). Cleveland, OH.
- Preece, D.S. and Chung, S.H. (2002). Multi-blasthole, multi-row, detonation delay timing simulation of rock blasting using DMCBLAST_3D. In: Proceedings of the 28th annual conference on explosives and blasting technique, Vol. I, International Society of Explosives Engineers, (pp. 339–348). Cleveland, OH.

TÜRKİYE’DE DOĞAL TAŞ/MERMECİLİK EĞİTİMİ: MEVCUT DURUM VE ÖNERİLER
VOCATIONAL TRAINING in MARBLE: CURRENT SITUATION, PROBLEMS AND PROPOSITION FOR SOLUTIONS in TURKEY

M. Yurdakul^{1*}, H. Akdaş²

¹ *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Kuyumculuk ve Mücevher Tasarımı Bölümü*

(*Sorumlu yazar: murat.yurdakul@bilecik.edu.tr)

² *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü*

ÖZET

Geçmişten günümüze Anadolu coğrafyasında mermer ve doğal taşlar, tarihin her diliminde, farklı amaçlarla yaygın olarak kullanılmıştır. Özellikle M.Ö. 10.000’e tarihlenen Göbekli Tepe’nin keşfi ile Anadolu coğrafyasında doğal taş işlemeciliği kavramı 12.000 yıl geriye kadar ulaşan bir kapsamda ele alınmalıdır. Hem sanatsal amaçlarla hem de yapı taşı olarak doğal taşın kullanımında önemli bir merkez olan Anadolu’da taş ve taş işlemeciliği ile ilgili de önemli bir bilgi birikimi mevcuttur. Tarihin taş işlemeciliği üzerine kurulan ve ilk eğitim kurumu M.Ö 80’li yıllara tarihlenen Afrodisias Heykelticilik Okulu’dur. M.Ö. 1.yy ile MS 6.yy arasında aktif olarak eğitim faaliyetlerini sürdüren bu okulda heykel yapımına geç arkaik döneme kadar devam edilmiştir. Afrodisias’ta yapılan önemli eserlerde, özellikle lahit yapımında ve kabartmalarda uzman olan yaratıcı sanatçıların imzası bulunmaktadır. Tüm dünyada taş yapı geleneğinin oluşmasında, işletilen antik ocaklar ve okullar ile köklü bir geleneğe ve katkıya sahip olan Türkiye’de hali hazırda mermercilik eğitimi, özellikle son yıllarda istenilen düzeyde sürdürülememektedir. Bu çalışmada Türkiye’de mermer-doğal taş eğitimi veren eğitim kurumlarının genel yapısı incelenmiştir. Bu bağlamda öğrenci sayıları, ders içerikleri, öğrenci genel profili ele alınmış olup gelecekte kurgulanması gereken eğitim modeline ve mevcut sorunlara çözüm önerileri sunulmuştur.

Anahtar Sözcükler: Mermercilik, eğitim, Türkiye, ortaöğretim, üniversite.

ABSTRACT

From past to present, marble and natural stones have been widely used in every part of history for different purposes in Anatolian geography. Especially BC. With the discovery of Göbekli Tepe dated to 10,000, the concept of natural stone processing in Anatolian geography should be handled within a scope that dates back to 12,000 years. There is also an important accumulation of knowledge about stone and stone processing in Anatolia, which is an important center for the use of natural stone both for artistic purposes and as a building stone. Aphrodisias School of Sculpture is the first educational institution established on the stone processing of history and dated to the 80s BC. In the Aphrodisias School of Sculpture, which was actively involved in educational activities between the first century BC and the sixth century BC, sculpture construction continued until the late Archaic period. Significant works of Aphrodisias are the signature of creative artists, especially experts in the construction of sarcophagi and reliefs. Turkey has made very important contributions to the world of natural stone processing tradition. In Turkey, already marble education, especially not at the desired level in recent years. In this study, the overall structure of Turkey in the marble-natural stone educational institutions offering education were examined. In this context, the number of students, course contents, student general profile have been handled and solutions have been offered to the existing education model and problems that need to be established in the future.

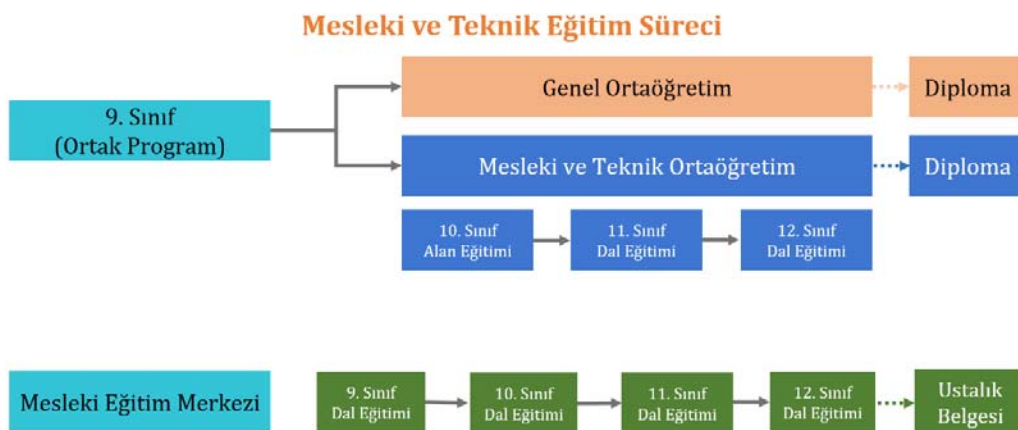
Keywords: Vocational education, marble, Turkey.

GİRİŞ

Geçmişten günümüze Anadolu coğrafyasında, antik dönemlerin tamamında doğal taş kullanımı oldukça yaygındır. Alp Himalaya kuşağında yer alan Türkiye’de sadece günümüzde değil Küçük Asya olarak tanımlanan bölgede, antik çağlardan beri doğal taş işlemeciliği yapılmaktadır (Waelkens ve Moens, 1990; Brilland ve Gnoli, 1973). Özellikle sanatsal anlamda dünyanın en büyük mermercilik okulu sayılan Afrodisias’ta sadece sanatsal taş yontuculuğu değil aynı zamanda Roma’nın da her türlü taş eser tedariki işleri de yapılıyordu (Atalay, 2014). Bugünkü anlamda mesleki eğitimin ortaya çıkışıyla birlikte mermercilik eğitimi genel olarak Avrupa ülkelerinde orta öğretim düzeyinde de dini vakıflar ve sektörel kuruluşların desteklediği okullarda daha çok sanatsal temelde verilen eğitim modelinde sürdürülmüştür (Aycan, 2007). Türkiye’de ise mermercilikle ilgili sektörel tartışma mecralarının tamamında eğitim konusuna dikkat çekilmektedir (Hacımustafaoğlu ve Elçi 2018). Özellikle nitelikli iş gücü ihtiyacına yönelik yapılan çalışmalarda eğitim sorununa ait veriler ve çözüm önerileri de birçok kurum tarafından raporlaştırılmıştır (Denizli Sanayi Odası, 2015; Kacı, 2017; Müdürlüğü 2018). Bu raporlarda nitelikli iş gücü, insan kaynağını geliştirmek, eğitim, ara eleman sorunu, mevcut iş gücünün sektörel bilgilere sahip olmaması gibi konulara dikkat çekilmektedir (Fırat Kalkınma Ajansı, 2011). İhracat anlamında önemli başarılar elde edilen doğal taş sektörünün son 15 yılında, eğitim sisteminde yapılan değişiklikler ile sadece doğal taş sektöründe değil tüm sektörlerde kalifiye eleman ihtiyacı dikkat çekmektedir. Son yıllarda değişen kanunlarla; Mermer-Doğal Taş Özel İmalat Elemanı (Seviye 4) Ulusal Yeterliliği 5544 sayılı Mesleki Yeterlilik Kurumu (MYK) Kanunu ile anılan Kanun uyarınca çıkartılan 19/10/2015 tarihli ve 29507 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Ulusal Meslek Standartlarının ve Ulusal Yeterliliklerin Hazırlanması Hakkında Yönetmelik ve 27/11/2007 tarihli ve 26713 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Mesleki Yeterlilik Kurumu Sektör Komitelerinin Kuruluş, Görev, Çalışma Usul ve Esasları Hakkında Yönetmelik hükümlerine göre ilgili kuruluşlarca hazırlanan yeterliliklerle meslekte çalışacak elemanlara bir takım yasal zorunluluklar da henüz uygulama aşamasında olmamakla birlikte hukuki zorunluluk haline gelecektir. Literatürden de görüldüğü gibi doğal taş alanında eğitilmiş insan gücünün yetiştirilmesi, sektörün en önemli problemlerinden biri haline gelmiştir. Bu çalışmada ortaöğretim düzeyinden lisans düzeyine kadar olan aşamalarda mermer ve doğal taş alanında çalışabilecek doğal taş meslek elemanı yetiştirebilecek kurum ve kuruluşlar ile bunların son 5 yılında yaşanan değişimler incelenmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda mermer ve doğal taş meslek elemanı yetiştirme hususunda yapılması gerekenler ile ilgili önerilerde bulunulmuştur.

TÜRKİYE’DE ORTAÖĞRETİM DÜZEYİNDE MERMERCİLİK EĞİTİMİ

Milli Eğitim Bakanlığı verilerine göre Türkiye’de mesleki ve teknik eğitimde 3750 okul ve kurum bulunmaktadır. Türkiye’de genel anlamda mesleki eğitim süreci 9. Sınıftan sonra başlayarak 10. Sınıfta alan eğitimi 11 ve 12. Sınıflarda dal eğitimi şeklinde sürmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Türkiye’de Mesleki ve Teknik Eğitim Süreci (Milli Eğitim Bakanlığı, 2019).

Hâlihazırda mesleki eğitim Anadolu Meslek ve Anadolu Teknik programlarında eğitim ve öğretim faaliyetleriyle sürdürülmektedir. Anadolu meslek programlarında meslekî beceri geliştirmeye yönelik dersler, Anadolu teknik programlarında ise akademik becerileri geliştirmeye yönelik dersler ağırlıklıdır. 52 alan ve 204 dalda meslekî ve teknik eğitim faaliyetleri sürdürülmektedir. Eğitim süresi 4 yıldır. Meslekî ve teknik Anadolu liselerinin 9. sınıfında diğer liselerle (fen, sosyal bilimler, Anadolu liseleri vb.) aynı dersler okutulmaktadır. Mesleki Eğitim Merkezlerinde de 9. sınıftan 12. sınıfa kadar sadece dal eğitimi verilmektedir.

Mesleki eğitim merkezlerinde sürdürülen çıraklık eğitimi zorunlu eğitim kapsamındadır. Çıraklık eğitimini bitiren öğrenciler istekleri doğrultusunda fark derslerini tamamlayarak diploma almaları halinde yükseköğretime gidebilme hakkına sahiptir. Bu bağlamda Mesleki eğitim merkezine devam eden öğrenciler, 10. sınıftan itibaren her ders yılı sonunda yılsonu beceri sınavına alınır. 11. sınıfın sonunda girilen beceri sınavı kalfalık, 12. sınıfın sonunda girilen beceri sınavı ustalık sınavı olarak uygulanır. İşyeri sahibi, aday çırağı ve çırağı çalıştırmaya başlamadan velisi, vasisi veya reşit ise kendisi ile yazılı işlemlerde beceri eğitimi sözleşmesi yapmak zorundadır.

Mesleki eğitim merkezlerinde ustalık eğitimi almak üzere çırak öğrenci kaydı yapılmaktadır. Çıraklık öğrencilik şartları; en az ortaokul veya imam-hatip ortaokulu mezunu olmak. Bünyesi ve sağlık durumu gireceği mesleğin gerektirdiği işleri yapmaya uygun olmak. Aday çırak ve çıraklar; öğrenci statüsünde olup, her türlü öğrencilik haklarından yararlanır. Aday çırak ve çıraklar, mesleğin özelliğine göre haftada sekiz saatten az olmamak üzere okulda genel ve mesleki eğitim görürler.

Tüm mesleki eğitim sürecinde öğrenciler liseyi bitirdiklerinde eğitim gördükleri alan ve dalda hem diploma hem de iş yeri açma belgesine sahip olup teknisyenlik unvanı kazanırlar.

Mesleki eğitimde, 214 dal arasında mermer ve doğal taş işlemeciliği ile ilgili 1 dal bulunmaktadır. Mesleki eğitim alanları içerisinde Makine Teknolojisi alanı içerisinde 117. Dal olarak "Mermer İşleme" dalı yer almaktadır. Makine Teknolojisi alanında toplam 6 dal bulunmaktadır, bunlar; Bilgisayar Destekli Endüstriyel Modelleme, Bilgisayar Destekli Makine Ressamlığı, Bilgisayarlı Makine İmalatı, Endüstriyel Kalıp, Makine Bakım Onarım ve Mermer İşleme dallarıdır.

Milli Eğitim Bakanlığı web sayfasında Makine Teknolojisi alanının eğitim ve kariyer olanakları sekmesinde "Makine Teknolojisi alanında eğitim almış kişiler, kamu veya özel sektöre ait işletmelerde (otomotiv, gemi, uçak, sınıai tesisler) çalışabilecekleri gibi kendi iş yerlerini de açabilirler. CNC mekanik imalat atölyelerinde, kalıp ve prototip yapan imalathanelerde, imalat ve komple resimlerin tasarlanıp çizildiği bürolarda, mekanik bakım atölyelerinde, mermer ve model imalatı yapan işletmelerde iş bulabilirler" ibaresi yer almaktadır. Bu tanımlamanın ne kadar doğru olduğu ya da doğal taş-mermer sektöründeki iş tanımına ne kadar uyduğu tartışılır. Bunun yanında Milli Eğitim Bakanlığı'nın yine aynı sayfasında eğitim ve kariyer olanakları sekmesinde Makine Teknolojisi Alanını bitiren bir öğrencinin geçiş yapabileceği ön lisans programlarında doğal yapı teknolojisi programı yer alırken Lisans Programları tablosunda Maden Mühendisliği Bölümü yer almamaktadır (Çizelge 1) (<http://meslekitanitim.meb.gov.tr/#alandal>, Erişim Tarihi 04.11.2019).

Çizelge 1. Makine teknolojisi alanından geçiş yapılabilecek lisans programları

Makine Teknolojisi	Öğretim Programları	Öğretim süresi
LİSANS	Biyomedikal Mühendisliği	4
	Endüstriyel Tasarım Mühendisliği	4
	Enerji Sistemleri Mühendisliği	4
	Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği	4
	İmalat Mühendisliği	4
	İş Sağlığı ve Güvenliği	4
	Makine Mühendisliği	4
	Mekatronik Mühendisliği	4
	Metalurji ve Malzeme Mühendisliği	4
	Otomotiv Mühendisliği	4

Makine Teknolojisi Alanı Mermer İşleme Dalı'nın yer aldığı okul ve iller Çizelge 2'de sunulmaktadır.

Çizelge 2. Makine teknolojisi alanı mermer işleme dalı bulunan okullar ve buldukları yerler

	İl	İlçe	Okul/Kurum Adı
1	AFYONKARAHİSAR	İSCEHİSAR	İscehisar Hacı Süleyman Selek Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi
2	AMASYA	MERKEZ	Şehit Gültekin Tırpan Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi
3	ANTALYA	KEPEZ	Antalya Akdeniz Sanayi Sitesi Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi
4	BİLECİK	MERKEZ	Bilecik Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi
5	DENİZLİ	ÇİVRİL	Mesleki Eğitim Merkezi
6	DENİZLİ	KALE	Mesleki Eğitim Merkezi
7	DENİZLİ	PAMUKKALE	Atatürk Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi
8	ELAZIĞ	MERKEZ	Gazi Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi
9	ISPARTA	SENİRKENT	Senirkent Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi
10	İZMİR	URLA	Urla Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi
11	KAYSERİ	MELİKGAZİ	Ağırnas Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi
12	KONYA	BEYŞEHİR	Beyşehir Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi
13	MERSİN	SİLİFKE	Silifke Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi
14	MUĞLA	MENTEŞE	Muğla Şehit Ziya İlhan Dağdaş Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi
15	OSMANİYE	DÜZİÇİ	Mesleki Eğitim Merkezi
16	ŞANLIURFA	EYYÜBİYE	Mesleki Eğitim Merkezi
17	UŞAK	EŞME	Mesleki Eğitim Merkezi

Çizelge 2'den de görüldüğü gibi Türkiye'de toplam 17 farklı eğitim kurumunda Mermer İşleme Eğitimi verilmektedir. Bu 17 kurumdan 5 tanesi Mesleki Eğitim Merkezi, 12 tanesi ise Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi'dir.

Bu çalışmada Mesleki Eğitim Merkezleri ile birlikte toplam 17 Eğitim Kurumu telefonla ayrı ayrı aranmış ve mevcut durum ile kontenjanlar hakkında bilgi alınmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 3'te sunulmaktadır.

Çizelge 3. Mermer işleme dalında eğitim veren eğitim kurumları ve mevcut durum

	2019 Öğrenci Sayısı	Alan Öğretmeni	Atölye	Mevcut Durum Açıklamalar
İscehisar Hacı Süleyman Selek Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi	11	1	Yok	2018 yılından beri yeni öğrenci almıyor
Şehit Gültekin Tırpan Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi	0	Yok	Yok	2018 yılında açıldı. Öğrenci talep etmiyor. Sektörden elaman isteniyor.
Antalya Akdeniz Sanayi Sitesi Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi	0	0	Yok	2017 Yılında Açıldı. Mermer İşleme Bölümü yok.
Bilecik Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi	0	1	1	2000 yılından beri öğrencisi yok.
Çivril Mesleki Eğitim Merkezi	1 (10. ve 11. Sınıflarda 1'er kişi).	0	0	2015 yılındaki yönetmelik değişikliğinden sonra öğrenci geldi.
Kale Mesleki Eğitim Merkezi	1 (12. Sınıfta)	0	0	
Pamukkale Atatürk Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi	0	0	0	Alan açılmadı, öğrenci hiç olmadı.
Elazığ Gazi Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi	0	0	0	2005 yılında gündeme gelen bölüm hiçbir zaman öğrenci almadı
Senirkent Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi	0	0	0	En son 2018'de mezun vermiş
Urla Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi	0	0	0	
Ağırnas Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi	0	0	0	2019 yılında açıldı. 9 ve 10. Sınıflarda Makine Teknolojisi öğrencisi var ama dal seçimi yok.
Beyşehir Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi	0	0	0	2015 yılında açıldı. Hiçbir zaman öğrenci bulamadı. Ticaret Odası iş garantisi sunuyor ama öğrenci yok.
Silifke Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi	0	0	0	Hiçbir zaman öğrenci olmadı.
Muğla Şehit Ziya İlhan Dağdaş Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi	0	0	0	Hiçbir zaman öğrenci kaydı olmadı.
Düzici Mesleki Eğitim Merkezi	3	0	0	Ders yapılmıyor.
Eyyübiye Mesleki Eğitim Merkezi	2 (12. sınıfta)	0	0	
Eşme Mesleki Eğitim Merkezi	0			

Türkiye’de Yükseköğretim Düzeyinde Mermercilik Eğitimi

Doğal Yapı Taşları Teknolojisi Programı Türkiye’de yükseköğretim alanları içerisinde doğal taş eğitiminin verildiği tek program olarak devam etmektedir. Yükseköğretim Kurulunca ön lisans programları, 2009 yılında Uluslararası Standart Eğitim Sınıflaması dikkate alınarak sınıflandırılmıştır. Belirlenen ön lisans program adları, meslek yüksekokullarında bölüm ve program açma ile eş değerliklerin yapılmasında 2009-2010 eğitim ve öğretim yılından bu yana uygulanmaktadır. Bu bağlamda 2009 yılında Mermer Teknolojisi, Mermercilik gibi isimler anılan program adı Doğal Yapı Taşları Teknolojisi Programı olarak değiştirilmiştir. Bu programdan mezun olan öğrenciler Doğal Taş Teknikeri olarak anılırlar. 2008 yılında Türkiye’de yer alan Mermer Teknolojisi ve Mermercilik adlarıyla faaliyet gösteren programlar Çizelge 4’te sunulmaktadır

Çizelge 4. 2008 yılı doğal yapı taşları teknolojisi programı bulunan üniversiteler ve meslek yüksekokulları.

ÜNİVERSİTE	YÜKSEKOKUL	PROGRAM	PUAN TÜRÜ	KONTENJAN
AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ	Afyon MYO	Mermer Teknolojisi	EA-1	40
		Mermer Teknolojisi (İÖ)	EA-1	40
AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ	İscehisar MYO	Mermer Teknolojisi	EA-1	40
BİLECİK ÜNİVERSİTESİ	Bozüyük MYO	Mermer Teknolojisi	EA-1	30
MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ	Bucak Emin Gülmez Teknik Bilimler MYO	Mermer Teknolojisi	EA-1	30
		Mermer Teknolojisi (İÖ)	EA-1	30
DİCLE ÜNİVERSİTESİ	Diyarbakır MYO	Mermer Teknolojisi	EA-1	20
FIRAT ÜNİVERSİTESİ	Maden MYO	Mermercilik	EA-1	50
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ	Torbalı MYO	Mermercilik	EA-1	60
MUĞLA ÜNİVERSİTESİ	Yatağan MYO	Mermercilik	EA-1	30
CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ	Sivas MYO	Mermer Teknolojisi	EA-1	40

2018 yılı itibarıyla Doğal Yapı Taşları Teknolojisi Programlarına ait bilgiler Çizelge 5’te sunulmaktadır.

Çizelge 5. 2018 yılı doğal yapı taşları teknolojisi programı bulunan üniversiteler ve meslek yüksekokulları (<https://yokatlas.yok.gov.tr/>, Erişim Tarihi: 04.11.2019)

	ÜNİVERSİTE	OKUL ADI	KONTENJAN	YERLEŞEN	KAYIT YAPTIRAN
1	Afyon Kocatepe Üniversitesi	Afyon MYO	15	16	13
2	Dicle Üniversitesi	Diyarbakır T. Bilimler MYO	41	41	35
3	Dokuz Eylül Üniversitesi	Torbalı MYO	40	41	35
4	Mardin Artuklu Üniversitesi	Midyat MYO	21	10	8
5	Muğla Sıtkı Koçman Üniv.	Yatağan MYO	21	21	17

SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye’de mesleki teknik eğitimin ilk ayağı olan mesleki ve teknik ortaöğretimde 9.sınıf genel ortaöğretimle ortak olmakla birlikte mesleki ve teknik ortaöğretim 10, 11 ve 12. Sınıflardan sonra diploma ile sonlanmaktadır. Bir yılı ortak olmak üzere toplam 4 yıllık eğitimin 10. Sınıfında alan eğitimi 11 ve 12. Sınıflarda dal eğitimi sürdürülmektedir. Bunun yanında eski adı çıraklık eğitim merkezi ya da çıraklık okulu olan yeni adıyla mesleki eğitim merkezlerinde 9, 10, 11 ve 12. Sınıflarda direkt dal eğitimi ve bu 4 yılın sonunda da ustalık belgesi verilmektedir. Türkiye’de mesleki ve teknik eğitim sürecinde 52 alan ve 204 dalda sürdürülen eğitim sürecinde Makine Teknolojisi alanında Mermer İşleme dalı yer almaktadır. Mermer işleme dalı bulunan ve örgün öğretim veren okul sayısı Milli Eğitim Bakanlığı verilerine göre 12 adettir. Bu 12 okul; Afyonkarahisar, Amasya, Antalya, Bilecik, Denizli, Elazığ, Isparta, İzmir, Kayseri, Konya, Mersin, Muğla illerinde yer almaktadır. Ancak Milli Eğitim Bakanlığı verilerine göre 12 ilde sürdürülen eğitim içerisinde sadece İncehisar’da öğrenci sayısı 11 olup diğer okulların hiç birinde öğrenci bulunmamaktadır. Sadece Çivril, Kale, Düziçi ve Eyyübiye Mesleki Eğitim Merkezlerinde 3 ve 3ten az sayıda öğrenci bulunmaktadır (Çizelge 3). Yine bu okullar arasında 10. Sınıfta sadece 1 öğrenciyle Çivril Mesleki Eğitim Merkezi eğitim öğretim faaliyetlerini sürdürmektedir. Tüm okullarla yapılan telefon görüşmelerinde okul müdürleri ve müdür yardımcıları ile temas kurulmuş olup genel kanı; ilgili dallarda öğrenci olmamasının sebebinin sektörden destek olmasına rağmen öğrencilerin başka dal tercih ettikleri yönündedir. Bunun yanında öğrencilerin genel olarak mermerciliği “ağır iş” olarak tanımladığı da dile getirilmiştir. Söz konusu eğitim öğretim kurumlarının Afyonkarahisar dışındaki hiç birinde mermer işleme dalında laboratuvar ya da atölye imkanlarının olmadığı ve branş öğretmenlerinin de yer almadığı dikkat çekmektedir. Bunun yanında ilgili programların Milli Eğitim Bakanlığı sayfasında ders programları incelendiğinde program içeriğinin Mermer İşleme ya da yükseköğretimdeki adıyla Doğal Yapı Taşları Teknolojisi alanını iyi tanımlayamadığı düşünülmektedir. Aynı durum yine Milli Eğitim Bakanlığı web sayfasında yer alan ve Çizelge 1’de sunulan tabloda da dikkat çekmektedir. Zira Mermer İşleme dalının yer aldığı Makine Teknolojisi eğitim alanının lisans alanları sayılırken Maden Mühendisliği bölümüne tabloda yer verilmemiştir. Mermer İşleme dalı mezunu bir öğrencinin Maden Mühendisliği bölümüne geçiş yapabileceği mutlaka tariflenmelidir. Genel olarak değerlendirilecek olursa Mermer İşleme Dalı’nın Makine Teknolojisi alanına uygunluğu yeniden değerlendirilmelidir. Milli eğitim Bakanlığı dahilinde yer alan mesleki ve teknik Anadolu liselerinde Mermer İşleme dalının aday öğrencilere daha iyi tanıtılması ve sektörün cazip olanakları öğrencilere mutlaka detaylı olarak anlatılmalıdır.

Bunun yanında yükseköğrenim kulvarında mermerciliğin ilgili tek bölümü, Doğal Yapı Taşları Teknolojisi Programıdır. 2009 yılında Uluslararası Standart Eğitim Sınıflaması dikkate alınarak sınıflandırılan bu bölümün 2009 yılından önceki adları mermer teknolojisi ya da mermercilik iken adı geçen yılda tüm programlar Doğal Yapı Taşları Teknolojisi Programı olarak yeniden isimlendirilmişlerdir. Bu isim değişikliğinden önceki yıl olan 2008 yılı Mermer Teknolojisi ya da Mermercilik Programları incelendiğinde 8 üniversitede 9 farklı meslek yüksekokulunda ikinci öğretim programlarıyla birlikte eğitim öğretim faaliyetlerinin sürdüğü görülmektedir (Çizelge 4). Çizelge 4 detaylı incelendiğinde toplam kontenjanın 2008 yılında 410 kişi olduğu dikkat çekmektedir. Ancak isim değişikliği ile birlikte öğrencilerin yeni bölüm adını kavrayamadığı, doğal taş terimini mermercilikle ilişkilendiremediği düşünülmektedir. 2008 yılında günümüz rakamlarına gelindiğinde 2018 yılı itibarı ile 5 farklı üniversite ve 5 farklı meslek yüksekokulunda okul birincileri kontenjanlarıyla birlikte kontenjan sayısının 138’e düştüğü çok sayıda meslek yüksekokulunda öğrenci yokluğu nedeniyle Mermercilik ya da Mermer Teknolojisi Programlarının kapandığı dikkat çekmektedir. Yine Çizelge 5’te yer alan verilere göre kontenjanların tamamının dolmasına rağmen toplam 138 kontenjana kayıt yaptıran öğrenci sayısının 108 olduğu görülmektedir.

Türk maden ihracatının yaklaşık %60’ını tek başına gerçekleştiren doğal taş sektöründe en önemli sorunlardan birisinin kalifiye eleman bulma zorluğu olduğu sektöre yaygın olarak bilinmektedir. Özellikle ihracat anlamında bu kadar önemli bir sektörün hem mesleki eğitim hem de yükseköğrenim

kulvarında bu kadar az sayıda bölüm ve kontenjanla temsil ediliyor olması tüm eğitim sürecinin yeniden planlanması gerektiğine dair önemli bulgular sunmaktadır.

Tüm bunların yanında hâlihazırda yürürlükte olan Mesleki Yeterlilik Belgesi ve onun getirdiği zorunluluklar da eğitim perspektifinde yeniden değerlendirilmelidir. Nitelikli iş gücünün sağlanması nitelikli bir eğitim programı, nitelikli öğreticiler ve nitelikli laboratuvar ve atölye imkânlarıyla sağlanacağı unutulmamalıdır.

KAYNAKLAR

- Atalay, R. (2014). Afrodisyas Heykel Okulu. *Ulakbilge Sosyal Bilimler Dergisi*, 2 (3), 140-149.
- Aycan, İO. (2007). Türkiye’de Mermercilik ve Geleceği. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tez Çalışması*.
- Brillant R., Ranerio G. (1973). Marmora Romana. *American Journal of Archeology*, 77 (1). 106-107.
- Denizli Sanayi Odası. (2015). Denizli Mermer Sektörü Nitelikli İşgücü İhtiyaç Analizi Raporu.
- Fırat Kalkınma Ajansı (2011). Elazığ Mermer Raporu.
- Hacımustafaoğlu R., Elçi, H. (2018). Mermer Sektörünün Bugünü ve Geleceğine Yönelik Öneriler. *Mesleki Bilimler Dergisi* 7 (2). 370-375.
- <http://www.meb.gov.tr> (Erişim Tarihi: 04.11.2019).
- <http://www.yokatlas.yok.gov.tr> (Erişim Tarihi 04.11.2019).
- Kacır, S. (2017). Bilecik Eskişehir Bursa Kalkınma Ajansı Bilecik Mermer Sektörü Raporu.
- Milli Eğitim Bakanlığı (2019). Mesleki ve Teknik Eğitim Süreci.
- Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı. (2018). Doğal Taşlar Sektör Raporu.
- Waelkens, M.P., Moens L. (1990). The Quarrying Techniques of the Greek World. In Marble, Art Historical and Scientific Perspective on Ancient Sculpture. J. Paul Getty Museum.