

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



EPOKSİ REÇİNE İLE YAPILAN DOĞAL TAŞ GÜÇLENDİRME
KALİTESİNİN İNCELENMESİ

ARİF MUTLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Şener CERYAN.....(Tez Danışmanı)
Doç. Dr. Hakan ELÇİ.....(Eş Danışman)
Doç. Dr. Murat YILMAZ
Dr. Öğr. Üyesi Gökhan BÜYÜKKAHRAMAN
Dr. Öğr. Üyesi Ali Kamil YÜKSEL

BALIKESİR, ŞUBAT - 2023

ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Epoksi Reçine İle Yapılan Doğal Taş Güçlendirme Kalitesinin İncelenmesi**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Arif MUTLU

ÖZET

**EPOKSİ REÇİNE İLE YAPILAN DOĞAL TAŞ GÜÇLENDİRME KALİTESİNİN
İNCELENMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ARİF MUTLU
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. ŞENER CERYAN)
(EŞ DANIŞMAN: DOÇ. DR. HAKAN ELÇİ)
BALIKESİR, ŞUBAT - 2023**

Ülkemiz sahip olduğu rezervler ile doğal taş madenciliği alanında avantajlı ülkeler arasındadır. Doğal taş ihracatımız toplam maden ihracatının yarıdan fazlasını karşılar. Doğal taş madenciliği taşın ocaktan blok olarak çıkarılması ile başlayan ve bu blokların yarı mamul olarak işlenmesini içeren bir süreçtir. Sürdürülebilirlik açısından hem blok üretiminde hem de blokların kesilerek levha haline getirilmesi sürecinde maksimum verim ve minimum atık hedeflenir. Blok verimi ve bir bloktan alınacak levha verimi tamamen doğal taşın jeolojik (yapısal) özelliklerine bağlıdır. Açık süreksizlik düzlemleri ocakta blok verimini kontrol ederken, kapalı süreksizlik düzlemleri ise bloktan alınacak levha verimini kontrol eder. Bu çalışmada kapalı süreksizlik düzlemleri içeren blokların file ve naylon ile kaplandıktan sonra negatif basınç altında epoksi reçineye doyurularak (bohçalama) yapılan güçlendirmenin kalitesi ölçülmüştür. Bu güçlendirme, bohçalama ile sağlamlaştırmış blokların katrakta kesilip levha haline getirilmesi ve levha haline getirilmiş taşın bir yüzeyinin yeniden epoksi reçine ve file ile güçlendirme süreçlerini içerir. Güçlendirmenin kalitesi, fabrika ortamında bohçalama ile güçlendirilmiş ve sonrasında bir yüzeyi epoksi ve file ile sağlamlaştırılmış 2 cm kalınlığındaki dört kireçtaşında fiziko-mekanik testler ile ölçülmüştür. Güçlendirme yapılan doğal taşların gözeneklik değerleri ve su emme değerleri %50-70 oranında azalmıştır. Yoğunlukları ve aşınma miktarlarında belirgin bir değişiklik olmamıştır. Güçlendirmenin en belirgin etkisi basma, çekme ve eğilme dayanımlarında olmuştur. Güçlendirme sonrası doğal taşların basma dayanımlarında % 200-250, çekme dayanımlarında % 220-350 ve eğilme dayanımlarında % 250-400 oranında artış olmuştur.

ANAHTAR KELİMELER: Doğal taş, doğal taş güçlendirme, bohçalama epoksi reçine.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF NATURAL STONE REINFORCEMENT QUALITY MADE WITH EPOXY RESIN

MSC THESIS

ARIF MUTLU

BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

GEOLOGICAL ENGINEERING

(SUPERVISOR:PROF. DR. ŞENER CERYAN)

(CO-SUPERVISOR:ASSOC. PROF. DR. HAKAN ELÇİ)

BALIKESİR, FEBRUARY - 2023

Our country is among the advantageous countries in the field of natural stone mining with its reserves. Our natural stone exports meet more than half of the total mineral exports. Natural stone mining is a process that starts with the extraction of the stone from the quarry as a block and includes processing these blocks as semi-finished products. In terms of sustainability, maximum efficiency and minimum waste are aimed both in the production of blocks and in the process of cutting the blocks into slabs. The block yield and the slab yield from a block depend entirely on the geological (structural) properties of the natural stone. Open discontinuity planes control the block yield in the quarry, while closed discontinuity planes control the slab yield from the block. In this study, the quality of the reinforcement made by impregnating the blocks with closed discontinuity planes with epoxy resin under negative pressure (bundling) after being covered with net and nylon was measured. This strengthening includes the processes of cutting bundling blocks with gangsaw and turning them into boards and reinforcing one surface of these boards with epoxy resin and net. The quality of the reinforcement was measured by physico-mechanical tests on four 2 cm thick limestone slabs, which were strengthened by bundling in the factory environment and then reinforced with epoxy and net on one surface. The porosity and water absorption values of the reinforced natural stones decreased by 50-70%. There was no significant change in their density and wear amount. The most obvious effect of the reinforcement was in the compressive, tensile and bending strengths. After strengthening, the compressive strength of natural stones increased by 200-250%, tensile strength by 220-350% and bending strength by 250-400%.

KEYWORDS: Natural stone, natural stone reinforcement, bundling, epoxy resin.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	viii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Önemi	2
1.2 Doğal Taşlarda Yapısal Kusurlar	2
1.3 Materyal ve Yöntem	3
1.4 Üretim Aşamaları	27
1.5 Önceki Çalışmalar	28
2. DOĞAL TAŞ GÜÇLENDİRMEDE KULLANILAN BAĞLAYICILAR	31
2.1 Epoksi Reçineler	31
2.2 Polyester Reçineler	31
2.3 Ultra Viole (UV) Reçineler	32
2.4 Mastikler	32
2.5 Çimento Dolgu	32
3. BLOK SAĞLAMLAŞTIRMA YÖNTEMLERİ	34
3.1 Vakum Pompası	34
3.2 Fırınsız Vakumlu Bohçalama	34
3.3 Fırınlı Vakumlu Bohçalama	41
3.4 Fırınlı Otoklavlı Bohçalama	41
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	42
4.1 Petrografik Analiz	42
4.2 Kimyasal Analiz	43
4.3 Görünür Yoğunluk Açık Gözeneklilik, Su Emme, Gerçek Yoğunluk, Toplam Gözeneklilik ve Atmosferik Basıncında Su Emme Deneyleri	44
4.4 Aşınma Direnci Deneyi	49
4.5 Geniş Diskli Aşınma Deneyi	49
4.6 Böhme Aşınma Deneyi	50
4.7 Basınç Dayanım Deneyi	52
4.8 İndirekt Çekme (Brezilyan) Deneyi	55
4.9 Yoğun Yük Altında Eğilme Dayanımı Deneyi	56
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	59
6. KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ	64

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: 2016-2020 Yılı doğal taş ihracat oranları.	2
Şekil 1.2: İzmir Menderes Aslanlar Mermer Ocağı blok istif sahası.....	3
Şekil 1.3: İzmir Menderes Aslanlar Mermer Ocağı süreksizlik içeren blok örneği.....	4
Şekil 1.4: İstenmeyen etkenlerden arındırma süreci.	4
Şekil 1.5: Yıkaması yapılan blok örneği.....	5
Şekil 1.6: İstifleme alanında taşınma esnasında kırılan blok örneği.....	5
Şekil 1.7: Kırılmış Olan Blok Görüntüsü.....	6
Şekil 1.8: İş makinası ile birbirine yaklaştırılan blok.	6
Şekil 1.9: Spanc ile birleştirilen kırık blok.....	7
Şekil 1.10: Maden sahasından kırık olarak gelen blok.	7
Şekil 1.11: Stok sahasında bohçalama için ön onarım yapılarak birleştirilen blok örneği. ...	8
Şekil 1.12: Onarılan bloğun satışa hazır levha hali.....	8
Şekil 1.13: Bloğa yayılma filesi uygulama aşaması	9
Şekil 1.14: Dört tarafı yayılma filesi ile kaplanmış blok örneği.	10
Şekil 1.15: Bloğun cam elyaf file ile kaplanması.	10
Şekil 1.16: Tamamı cam elyaf file ile sarılmış bohçalanmış blok örneği.....	11
Şekil 1.17: Hava emiş supabı takılmış blok örneği.....	11
Şekil 1.18: Hava emiş supabı yakından görüntüsü.	12
Şekil 1.19: Supabın emiş esnasında tıkanmasını engelleyen file detay örneği.....	12
Şekil 1.20: Epoksi emiş supabı takılmış blok örneği.....	13
Şekil 1.21: Naylonlama işlemi yapılmaya başlanmış blok örneği..	14
Şekil 1.22: Çift taraflı bant uygulaması yapılan naylonlama süreci.....	14
Şekil 1.23: Çift taraflı bant uygulaması yapıştırma süreci.....	15
Şekil 1.24: Hava emiş supaplarına hortumların takılma süreci.....	15
Şekil 1.25: Birleşimleri yapılan vakum hortum görüntüsü.	16
Şekil 1.26: Vakumlanmanın ilk başlama anı (naylon serbest halde)..	16
Şekil 1.27: Vakumlanma işleminin son safhası (naylon bloğa tamamen yapışmış durumda)	17
Şekil 1.28: Konik kesilen hortum görüntüsü	18
Şekil 1.29: 4 adet epoksi emiş hortumunun bantlanma aşaması.....	18
Şekil 1.30: Epoksi emiş hortumunun emiş supabına tam sızdırmazlık sağlaması için çift taraflı bant uygulaması.	19
Şekil 1.31: Epoksinin ilk yayılma görüntüsü.....	19
Şekil 1.32: Bloğun tamamının epoksi ile kaplanmış hali.....	20
Şekil 1.33: Blok bekleme sahası görüntüsü	21
Şekil 1.34: Katrakta kesimi yapılan blok örneği.....	21
Şekil 1.35: Bekleme alanına alınmış mermer levhalar.....	22
Şekil 1.36: Vakumlu levha taşıma sistemi.	22
Şekil 1.37: Mermer levha üzerine ilk kat epoksileme işlemi yapılmış levha örneği	23
Şekil 1.38: Fileleme işlemi yapılmış levha örneği.....	24
Şekil 1.39: Mala ile ikinci kat epoksileme işlemi yapılan levha örneği.....	24
Şekil 1.40: Rulo ile ikinci kat epoksileme yapılma işlemi.....	25
Şekil 1.41: Epoksili levhanın kurutma fırınına giriş anı.	25
Şekil 1.42: Arka yüzeyi epoksi ve file uygulaması yapılmış.....	26
Şekil 1.43: Ön yüzeyi epoksilenmiş cila hattı için hazırlanmış levha örneği.	26

Şekil 3.1: Hasarlı blok mermer.	34
Şekil 3.2: Çatlaklı blok mermer örneği.	35
Şekil 3.3: Blok üzerine file uygulaması.	35
Şekil 3.4: Blok Üzerine file ve naylon bohçalama.	36
Şekil 3.5: Bohçalama ve vakumlama yapılan blok.	36
Şekil 3.6: Bohçalama ve vakumlama yapılandıktan sonra epoksi emdirilen blok.	37
Şekil 3.7: Bohçalanmış ve epoksilenmiş blok.	37
Şekil 3.8: Katrakta kesimi yapılan blok.	38
Şekil 3.9: Katrakta kesimi yapılan blok.	38
Şekil 3.10: Fileleme ve epoksileme hattı.	39
Şekil 3.11: Bu tez kapsamında kullanılan fileleme ve epoksileme işlemi bitmiş levha.	39
Şekil 3.12: Filelenmiş, epoksilenmiş, parlatılmış levha teslim hazırlanmış levha.	40
Şekil 3.13: Filelenmiş, epoksilenmiş, parlatılmış levha teslim hazırlanmış levha.	40
Şekil 4.1: Bohçalama yöntemi ile sağlamlaştırılmış ve yüzeyleri cilalanmış doğal taşlar.	42
Şekil 4.2: Çalışmada kullanılan doğal taşların ince kesit görüntüsü.	43
Şekil 4.3: Örneklerin arşimet terazisinde ölçümü	45
Şekil 4.4: Güçlendirmenin doğal taşların yoğunluğuna etkisi.	49
Şekil 4.5: Güçlendirmenin doğal taşların gözeneklilik ve su emmesine etkisi.	49
Şekil 4.6: Geniş diskli aşınma deneyi düzeneği ve aşındırılmış örnekler.	50
Şekil 4.7: Böhme aşınma deneyi uygulaması.	51
Şekil 4.8: Güçlendirmenin doğal taşların aşınmasına etkisi.	52
Şekil 4.9: Disk makaslama deneyinin deney uygulaması.	53
Şekil 4.10: Disk makaslama deneyinin deney uygulaması	54
Şekil 4.11: İndirekt çekme deneyinin deney uygulaması	55
Şekil 4.12: Eğilme dayanımı deneyi öncesi ve sonrası görünümü.	57
Şekil 4.13: Güçlendirmenin doğal taşların eğilme ve basma indirekt çekme dayanımlarına etkisi.	58

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1: 2016-2020 Yılı Doğal Taş İhracat Oranları.....	1
Tablo 4.1: Modal Analiz Tablosu	43
Tablo 4.2: Çalışmalarda Kullanılan Doğal Taşların Ana Oksit Yüzdeleri ve Eser Elementleri.....	44
Tablo 4.3: Güçlendirme yapılmamış doğal taşların görünür yoğunluk , açık gözeneklilik ve su emme değerleri.....	46
Tablo 4.4: Güçlendirme yapılmış doğal taşların görünür yoğunluk , açık gözeneklilik ve su emme değerleri	47
Tablo 4.5: Güçlendirme yapılmamış doğal taşların gerçek yoğunluk ve toplam gözeneklilik değerleri	48
Tablo 4.6: Güçlendirme yapılmış doğal taşların gerçek yoğunluk ve toplam gözeneklilik değerleri	48
Tablo 4.7: Güçlendirme yapılmamış taşların disk aşınma ve böhme aşınma değerleri.....	51
Tablo 4.8: Güçlendirme yapılmış taşların disk aşınma ve böhme aşınma değerleri	51
Tablo 4.9: Güçlendirme yapılmamış doğal taşların disk makaslama indeksleri.....	54
Tablo 4.10: Güçlendirme yapılmış doğal taşların disk makaslama indeksleri	54
Tablo 4.11: Güçlendirme yapılmamış doğal taşların indirekt yöntemle hesaplanan basınç dayanımları.....	54
Tablo 4.12: Güçlendirme yapılmış doğal taşların indirekt yöntemle hesaplanan basınç dayanımları	55
Tablo 4.13: Güçlendirme yapılmamış doğal taşların indirekt çekme dayanımları	56
Tablo 4.14: Güçlendirme yapılmış doğal taşların indirekt çekme dayanımları	56
Tablo 4.15: Güçlendirme yapılmamış doğal taşların eğilme dayanımları	57
Tablo 4.16: Güçlendirme yapılmış doğal taşların eğilme dayanımları	57

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Çalışma konusunun belirlenmesinde göstermiş oldukları yönlendirme ve katkılarından dolayı danışman hocalarım Prof. Dr. Şener CERYAN ve Doç. Dr. Hakan ELÇİ' ye teşekkür ederim.

Çalışma konusunda faaliyet gösteren Marmados Marble (Denizli) firmasına ve Lion Art Stone (İzmir) firmasına ilgi ve desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Lisansüstü öğrenime devam etmem hususunda beni cesaretlendiren Dokuz Eylül Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği öğretim üyesi rahmetli Prof. Dr. Necdet TÜRK' ü saygıyla yâd ederim.

Balıkesir, 2023

Arif MUTLU

1. GİRİŞ

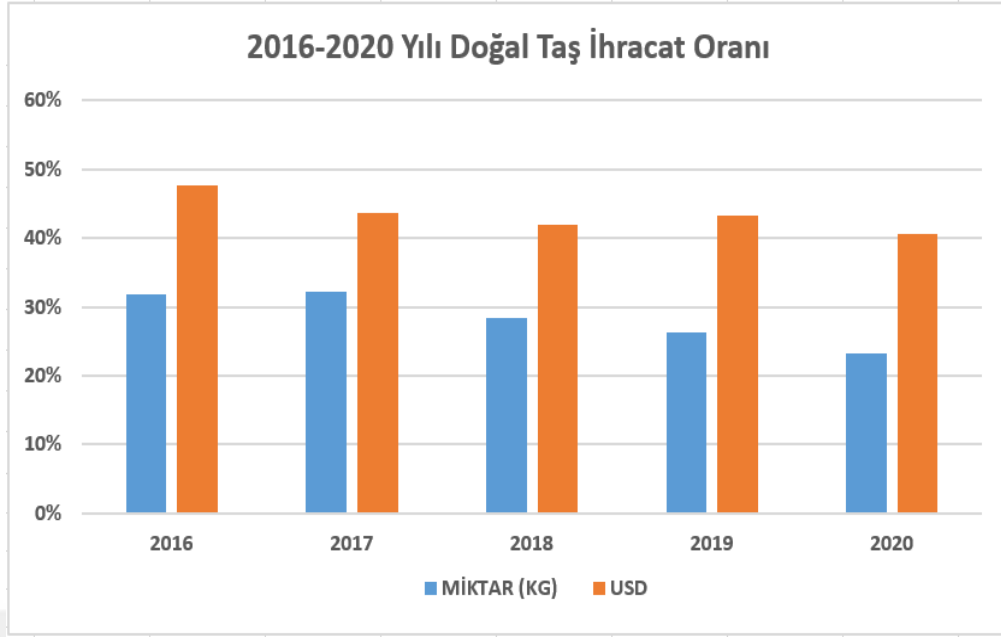
Doğal taşlar insanlığın yontma taş devrinden (M.Ö. 10.000) bu yana kullandıkları en önemli yapı malzemesidir. Yapı teknolojilerinin değişimi ile birlikte doğal taşların uygulama ve işleme yöntemi de değişmiştir. Günümüz mimarisinde özellikle prestijli projelerde doğal taşlara sıklıkla yer verilmektedir. Ancak kullanım amacına, kullanım yerine göre ve kullanılan doğal taşın niteliğine göre bazı problemler ortaya çıkmaktadır. Bunların başında, kullanılan doğal taşın bina statğine getirdiği fazladan yük yer alır. Bu durum daha ince kesilmiş doğal taş ihtiyacını ortaya koymuştur. Yine doğal taşların tektonik etkilerle ortaya çıkan, blok çıkarma esnasında fark edilmeyen; ancak katrakta kesildikten sonra ortaya çıkan zayıyata sebep olması gibi problemler karşımıza çıkarmaktadır.

2015 yılında üretim yapılan 10 milyon metreküplük doğal taşın %68'i karbonat kökenli doğal taşlardan oluştuğu görülmektedir. Sert taşlar içerisinde en fazla %17,34'lük oran ile bazalt, daha sonra %10,53 oran ile Andezit gelmektedir. Sırası ile Granit, Gabro ve Diyabaz ile genelde dekoratif amaçlı kullanılan Serpantin, İgnimbirit, Tüf, Oniks ve Kayrak Taşının (Şist ya da Sleyt) üretim oranı % 4,12'dir (Elçi vd. 2017).

Ülkemizin son yıllarda yapmış olduğu doğal taş ihracatına bakıldığında toplam maden ihracatının yarısına yakındır (Tablo 1.1), (Şekil 1.1).

Tablo 1.1: 2016-2020 yılı doğal taş ihracat oranları.

Ait Olduğu Yıl	Miktar (KG)	Değer (FOB) \$	Doğal Taş İhracat Oranı (KG) %	Doğal Taş İhracat Oranı (\$) %
2016 Doğal Taş İhracatı	6.516.856.033	1.805.525.186	0,319023135	0,476728528
2016 Toplam Maden İhracatı	20.427.534.292	3.787.323.563		
2017 Doğal Taş İhracatı	7.936.480.822	2.048.093.464	0,321369549	0,436857397
2017 Toplam Maden İhracatı	24.695.784.648	4.688.240.328		
2018 Yılı Doğal Taş İhracatı	7.461.584.888	1.908.292.267	0,283401563	0,418321261
2018 Toplam Maden İhracatı	26.328.665.289	4.561.786.463		
2019 Yılı Doğal Taş İhracatı	7.141.472.414	1.864.255.901	0,263074901	0,432410857
2019 Toplam Maden İhracatı	27.146.156.455	4.311.306.872		
2020 Yılı Doğal Taş İhracatı	6.468.473.922	1.736.574.684	0,232005512	0,406558143
2020 Toplam Maden İhracatı	27.880.690.761	4.271.405.494		



Şekil 1.1: 2016-2020 Yılı doğal taş ihracat oranları.

1.1 Çalışmanın Önemi

Doğal taşların kullanım alanlarına bakıldığında inşaat sektörü başta olmak üzere güzel sanatlar, dekorasyon, yapıların dış ve iç kaplamaları, sanatsal anıtlar, hediyelik ve süs eşyaları gibi alanlarda bol miktarda kullanılmaktadır (MTA, 2018).

Doğal taşların taşıma ve depolama süreçlerinde de meydana gelen mekanik davranışlar istenmeyen kırılma ve çatlamlar meydana getirmektedir.

Doğal taş endüstrisi kimyasalların kullanımı ile birlikte istenmeyen birçok olumsuz etkiden kurtulmuş ve verimini artırarak ekonomik olmayan birçok ocak ekonomik hale gelerek işletilir duruma gelme fırsatını bulmuştur. Özellikle mimari görseelliği fazla olan doğal taşlar mekanik açıdan daha kırılğan ve dayanıksızken kimyasalların kullanımı ile dayanıklılıkları artırılarak doğal taş seçenек yelpazesinin genişlemesine olanak sağlamıştır.

Dayanımı düşük olan doğal taşlara epoksi reçine uygulaması yapılarak çekme ve eğilme dayanımları incelenmektedir.

1.2 Doğal Taşlarda Yapısal Kusurlar

Süreksizlik, kaya kütlelerinde çekme dayanımına sahip olmayan veya çok düşük çekme dayanımına sahip olan zayıflık düzlemleridir. Bu zayıflık düzlemleri; tabakalanma düzlemi, eklem, fay, makaslama zonu, dilinim, şistozite vb. gibi jeolojik anlamdaki zayıflık düzlemleridir (Ulusal ve Sönmez, 2007).

Kayaçların doğal yapıtaşını kullanılabilişliğini etkileyen jeolojik parametreler ikiye ayrılır birincil jeolojik parametreler; mermer ocaklarının blok mermer üretimi esnasında kaya bloklarında kırılma ve parçalanmalara neden olan ve buna bağılı olarak mermer ocaklarındaki verimin düşmesine neden olan jeolojik parametrelerdir.

İkincil jeolojik parametreler ise mermer ocaklarında üretilen kaya bloklarının, mermer fabrikalarında kesilerek işlenmesi esnasında kırılmalara neden olan ve buna bağılı olarak fabrika üretim zayıyatını arttıran jeolojik parametreler ile kayacın renk ve desen homojenitesini bozarak ticari değerini düşüren ya da yok eden parametrelerdir (Yavuz vd. 2007).

1.3 Materyal ve Yöntem

Doğal taş sağlamlaştırma aşamalarına bakıldığında süreç şu şekilde gerçekleşir:

Mermer sahasında blok olarak çıkartılan doğal taş uygun nakliye yöntemi ile fabrikaya taşınır.(Şekil 1,2 ,Şekil 1,3)



Şekil 1.2: Bu tez kapsamında kullanılan doğal taş blokları.



Şekil 1.3: Bu tez kapsamında kullanılan, süreksizlik içeren doğal taş bloğu.

Blok bohçalamaya geçilmeden önce fabrika istif sahasında blok yüzeyinde bulunan toz gibi istenmeyen etkenlerden arındırılmak amacı ile temizlenerek su ile yıkanır.(Şekil 1.4, Şekil1.5)



Şekil 1.4: İstenmeyen etkenlerden arındırma süreci.



Şekil 1.5: Yıkaması yapılan blok örneği (Url 1).

daha sonrasında mevsim durumuna bağlı olarak doğal ortamda veya kapalı ortamda kurumaya bırakılır.

Kırık bloklar gerektiğinde uygun yöntemle birleştirilerek bohçalamaya hazır hale getirilir. (Şekil 1.6, Şekil 1.7, Şekil 1.8, Şekil 1.9, Şekil 1.10, Şekil 1.11)



Şekil 1.6: İstifleme alanında taşınma esnasında kırılan blok örneği.



Şekil 1.7: Kırılmış olan blok görüntüsü.



Şekil 1.8: İş makinası ile birbirine yaklaştırılan blok.



Şekil 1.9: Spanc ile Birleştirilen Kırık Blok.



Şekil 1.10: Maden sahasından kırık olarak gelen blok.



Şekil 1.11: Stok sahasında bohçalama için ön onarım yapılarak birleştirilen blok örneği.



Şekil 1.12: Onarılan bloğun satışa hazır levha hali.

Bohçalama süreci sağlamlaştırma işleminin en önemli ve özverili sürecidir, proses tüm aşamalarında hatayı kabul etmeyen ve dikkatli çalışmayı gerektiren bir süreçtir.

Temizliği ve yıkaması yapılan blok atölyede üzerine bloğun en dışında kalacak şekilde serilmiş bulunan naylon ve cam elyaf filenin serili bulunduğu çalışma tezgâhına getirilir ve yerleştirilir.

Daha sonra katrik kesim ekseninde epoksinin istenilen kalınlığı verebilmesi amacı ile bloğun 4 tarafına (alt ve üştü hariç) yayılma filesi tutturulur, tutturma işlemi için hızlı spreyci yapıştırıcılar kullanılabilir. (şekil 1.13, şekil 1.14)



şekil 1.13: Bloğa yayılma filesi uygulama aşaması.

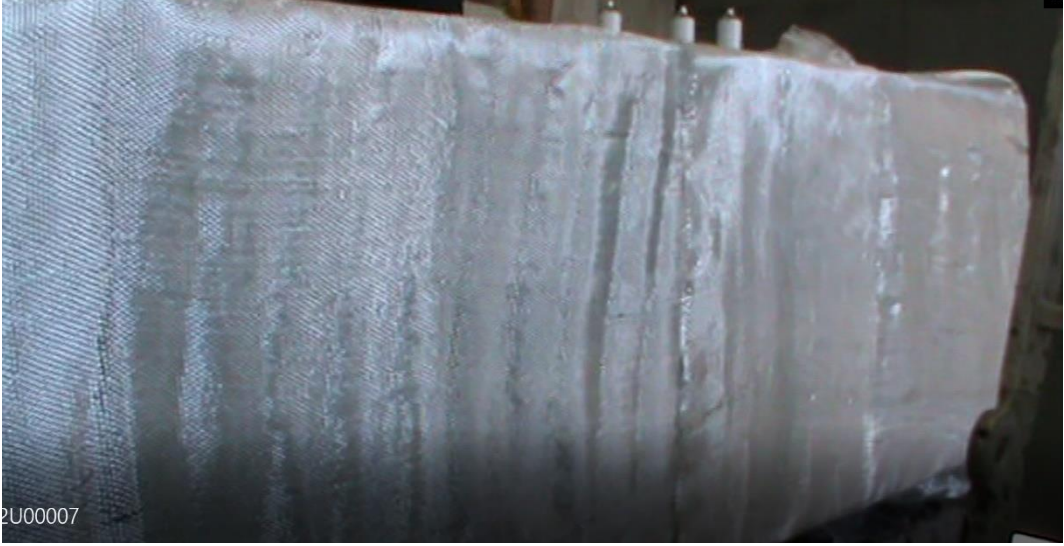


Şekil 1.14: Dört tarafı yayılma filesi ile kaplanmış blok örneği.

Dört tarafı yayılma filesi ile kaplanan bloğun her tarafı Cam elyaf örgü file ile tamamen kaplanıyor. (Şekil1.15, Şekil 1.16)

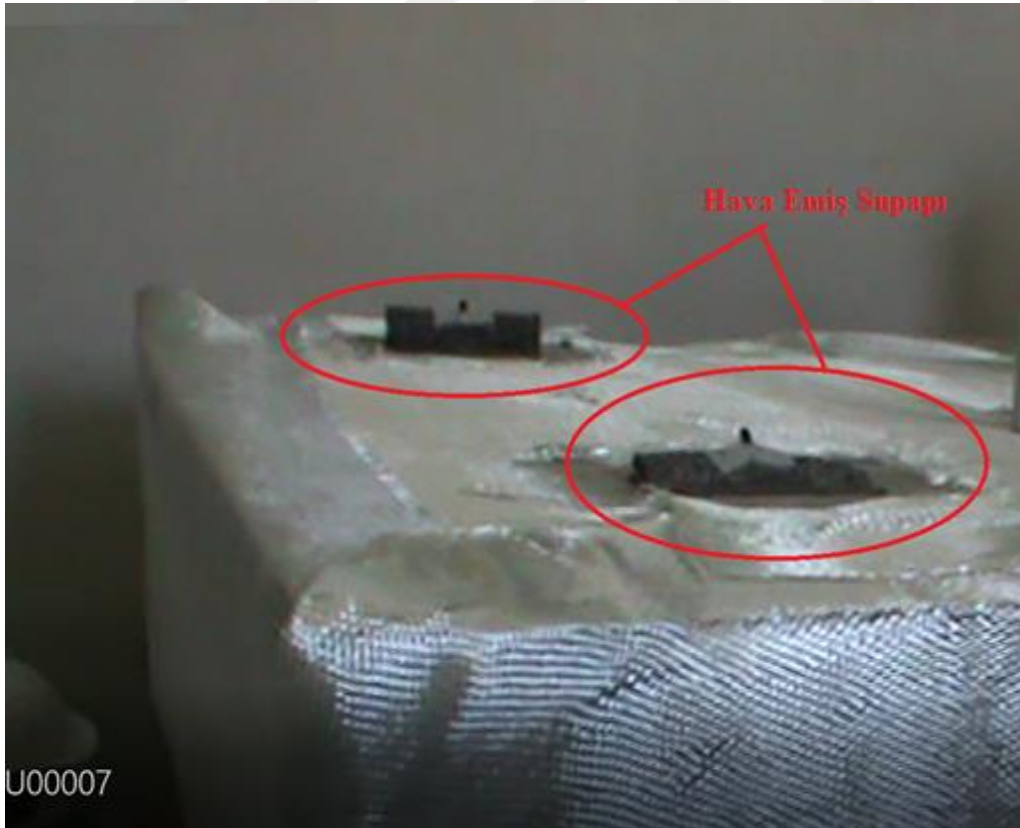


Şekil 1.15: Bloğun cam elyaf file ile kaplanması.



Şekil 1.16: Tamamı cam elyaf file ile sarılmış bohcalanmış blok örneği.

Hızlı yapıştırıcılar sayesinde cam elyaf file blok yüzeyinden kaymaması için sabitleniyor. Bloğun üst tarafına hava emiş supapları yerleştiriliyor ve ve epoksi emişi için ise bloğun yan taraflarına epoksi emiş supapları yerleştiriliyor. (Şekil 1.17, Şekil 1.18, Şekil 1.19, Şekil 1.20)



Şekil1.17: Hava emiş supabı takılmış blok örneği.



Şekil 1.18: Hava emiş supabı yakından görüntüsü.



Şekil 1.19: Supabın emiş esnasında tıkanmasını engelleyen file detay örneği.



şekil 1.20: Epoksi emiş supabı takılmış blok 6rneği.

Dağılma filesi ve cam elyaf fileleme s6reğlerinden sonra tezgâh ile blok arasına katlı vaziyette serilmiş bulunan naylonumuz açılır ve çift taraflı bantlar vasıtası ile hava sızdırmazlığı sağlanacak şekilde kaplanır. Bantlama işleminde naylonun u kısımlarının %50'si bantlanır diğer %50'si ile birleştirilerek tamamının bir biri ile yapışması sağlanır. (şekil 1.21, şekil 1.22, şekil 1.23)



Şekil 1.21: Naylonlama işlemi yapılmaya başlanmış blok örneği.



Şekil 1.22: Çift taraflı bant uygulaması yapılan naylonlama süreci.



Şekil 1.23: Çift taraflı bant uygulaması yapıştırma süreci.

Naylonun boşluğı bloğun üzerine toplandıktan sonra emiş supapları emiş hortumlarına geçirilerek tam sızdırmazlık sağlanabilmesi için çift taraflı bantlar supap ve borunun birleşim noktalarına sarılarak tam sızdırmazlık sağlanır. (Şekil 1.24, Şekil 1.25, Şekil 1.26)



Şekil 1.24: Hava emiş supaplarına hortumların takılma süreci.



Şekil 1.25: Birleşimleri yapılan vakum hortum görüntüsü.

Vakum supaplarının 4 noktası birleşme “T” leri ile birleştirilerek vakum pompasının vanasına bağlanır ve vana açılarak vakumlama işlemi başlatılır. (Şekil 1.26, Şekil 1.27)



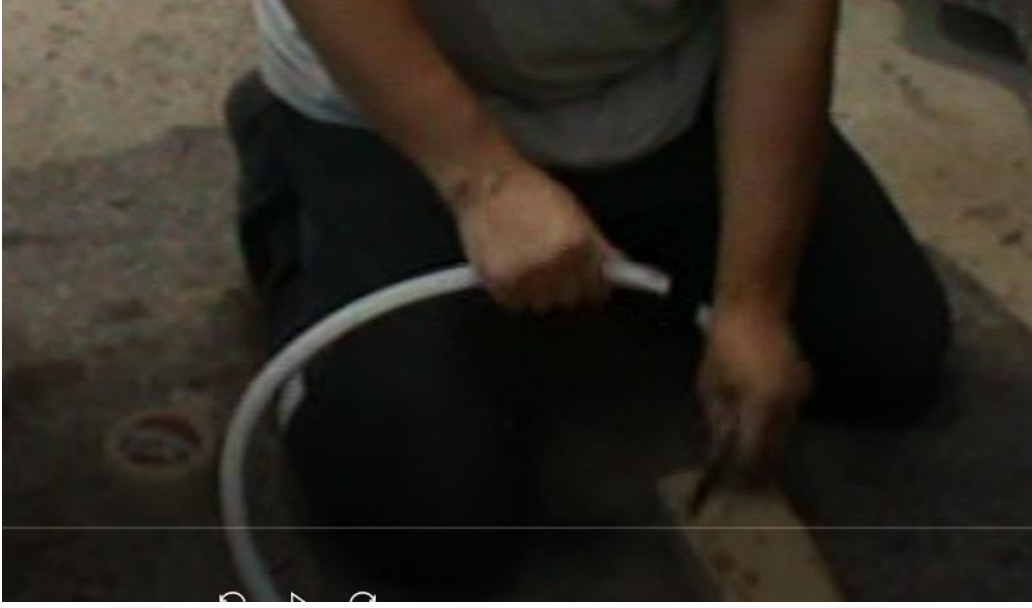
Şekil 1.26: Vakumlamanın ilk başlama anı (naylon serbest halde).



Şekil 1.27: Vakumlanma işleminin son safhası (naylon bloğa tamamen yapışmış durumda).

Vakumlama işlemi -0,95 Bar'a geldiğinde epoksi emdirme için hazırlıklar yapılır, epoksi kovaasına girecek olan boru kısmı konik bir şekilde kesilerek epoksi emişinin tıkanmaması sağlanır. Bloğun 4 yan yüzeyinden epoksi emdirmesi yapılır. Burada dikkat edilmesi gereken önemli hususlar;

- A) Epoksi emiş hortumlarının kova tabanına değerek tıkanmaması için konik kesilir. (Şekil 1.28)
- B) 4 adet epoksi emiş hortumunun koordinasyonunu sağlamak için 4 hortum birbirine bantlanır. (Şekil1.29)
- C) Epoksi emiş hortumu emiş supabına takılırken tam sızdırmazlık sağlaması için çift taraflı bant ile boru etrafına rulo yapılır ve öyle takılır. (Şekil 1.30)
- D) Epoksi emdirilme sırasında vakum hattının çalışması kesilmemeli ve kurlenme bitene kadar (10-24 saat) devam etmelidir. (Şekil 1.31, Şekil 1.32, Şekil 1.33)



Şekil 1.28: Konik kesilen hortum görüntüsü.



Şekil 1.29: 4 adet epoksi emiş hortumunun bantlanma aşaması.



Şekil 1.30: Epoksi emiş hortumunun emiş supabına tam sızdırmazlık sağlaması için çift taraflı bant uygulaması.



Şekil 1.31: Epoksinin ilk yayılma görüntüsü.



Şekil 1.32: Bloğun tamamının epoksi ile kaplanmış hali.

Hazırlanan epoksi karışımı $3/4$ oranında epoksi, $1/4$ oranında ise sertleştiriciden oluşmaktadır.

İşlenen bloğun rengine göre epoksi renklendirilebilir.

Epoksi emdirilme süreci tamamlandıktan sonra blok kullanılan epoksinin kürlenme zamanına bağlı olarak $25 - 30C$ derece de 8-12 saat arasında tezgâhtan alınabilir. Hava sıcaklığının düşmesine bağlı olarak bu süre 24 saate kadar uzayabilmektedir.

Kürlenmesi tamamlanan blok katrakta kesilmek üzere bekleme sahasına alınır. Bekleme sahasında 15-24 gün arası tam kürlenme için beklenir. (Şekil 1.33)



Şekil 1.33: Blok bekleme sahası görüntüsü.

Kürlenmesi tamamlanan bloklar katrağa alınarak uygun ölçülerde dilimlenir. (Şekil 1.34)



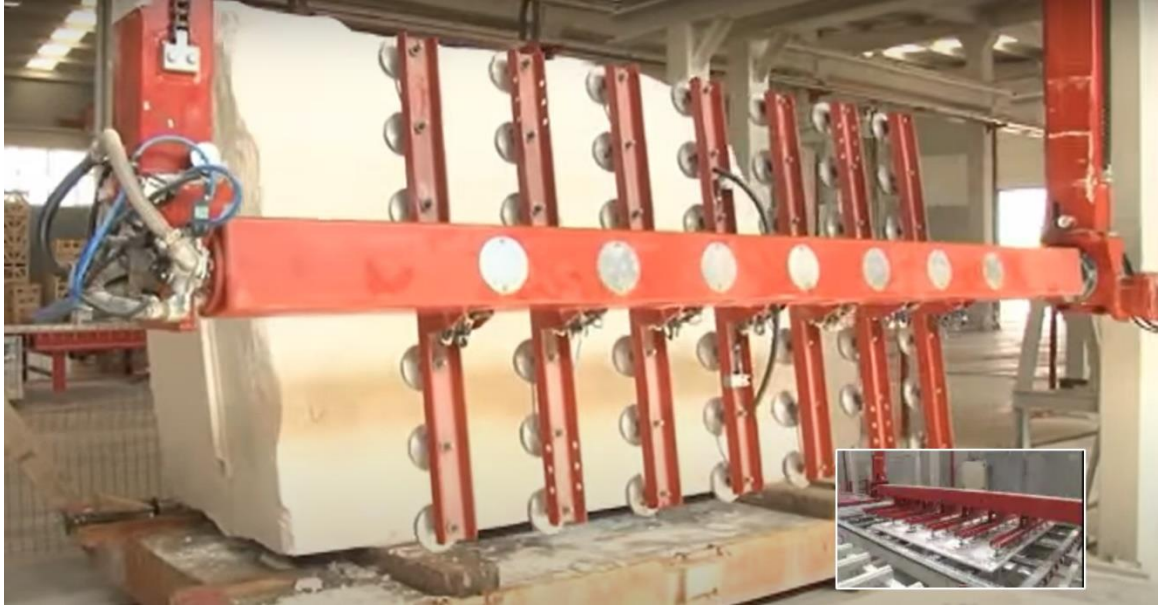
Şekil 1.34: Katrakta kesimi yapılan blok örneği (Url 1).

Dilimlenmesi yapılarak levha haline gelen blok kuruma için bekleme bölümüne alınır ve kuruyan levhalar arka yüzeyine file ve epoksi kaplanması amacı ile çalışma tezgâhına alınır ve epoksi ile sağlamlaştırma filesi uygulanır. (Şekil 1.35,)



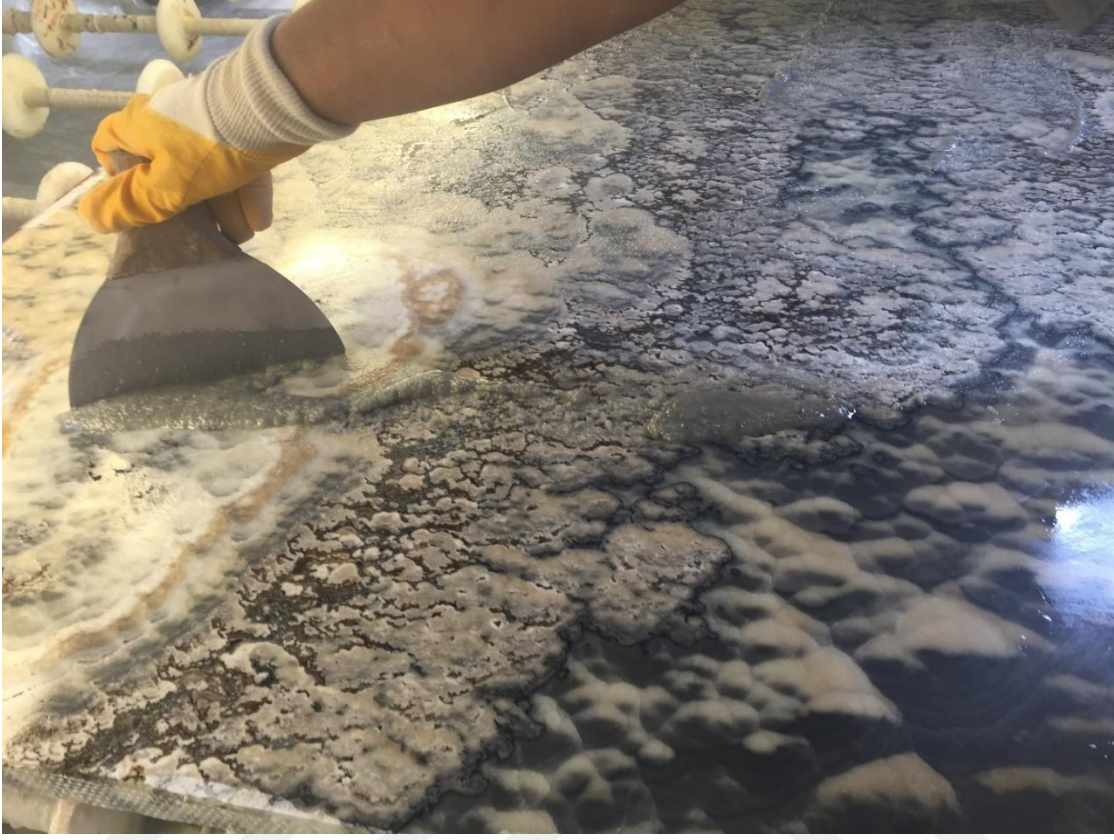
Şekil 1.35: Bekleme alanına alınmış mermer levhalar.

Bekleme ve kuruma süresi tamamlanan levhalar vakumla levha taşıma sistemi ile çalışma tezgahına alınır. (Şekil 1.36)



Şekil 1.36: Vakumlu levha taşıma sistemi

Çalışma tezgahına alınan levha üzerine önce bir miktar epoksi dökülür ve bir mala, çek pas, veya rulo yardımı ile levhanın tamamına dağıtılır.(Şekil 1.37)



Şekil 1.37: Mermer levha üzerine ilk kat epoksileme işlemi yapılmış levha örneği.

Daha sonra ilk kat epoksileme işlemi tamamlanan levha üzerine Mesh (örgü gözü) ebatları 4 x 4 mm. olan, alkali ortamlara dayanımlı, 160 gr./m² ağırlıkta emprenye cam tülü file kullanılarak kaplanır. (Şekil 1.38)

Gerilme Dayanımı: min. 1900 N/5cm.

Gerilme Dayanımı: min. 1200 N/5cm. (%5 NaOH çözeltisi testinde)

Gerilme Dayanımı: min. 1250 N/5cm. (Hızlı testte)

TS EN 13496' ya uygun olarak üretilmiş ve CE belgeli bir file kullanılmaktadır.



Şekil 1.38: Fileleme işlemi yapılmış levha örneği.

Fileleme işleminin ardından ikinci kat epoxileme yapılır bir mala, boya rulosu veya çek pas yardımı ile dağıtılır. (Şekil 1.39, Şekil 1.40)



Şekil 1.39: Mala ile ikinci kat epoksileme işlemi yapılan levha örneği.



Şekil 1.40: Rulo ile ikinci kat epoksileme yapılma işlemi.

İkinci kat epoksilemenin ardından epoksinin prizini alabilmesi için fırınlama işlemi yapılır.(Şekil 141)



Şekil 1.41: Epoksili levhanın kurutma fırınına giriş anı.

Fırınlanma işlemi tamamlanan levha tekrar bekleme alanına alınarak cilalama öncesi için cila olacak ön yüzeyde epoksilenerek kuruma işleminin ardından cila hattına verilerek cilalanma süreci gerçekleşir. (Şekil 1.42, Şekil 1,43)



Şekil 1.42: Arka yüzeyi epoksi ve file uygulaması yapılmış kuruma işlemi tamamlanmış levha örneği.



Şekil 1.43: Ön yüzeyi epoksilenmiş cila hattı için hazırlanmış levha örneği.

1.4 Üretim Aşamaları

BLOK BOHÇALAMA



- Blok file ve naylon ile bohçalanır.
- Vakum emiş ve epoksi verme uçları konulur.
- Sızdırmaz naylonlama yapılır.
- İki taraflı ekleme bandı ile naylonlama işlemi sızdırmaz hale getirilir

BLOK VAKUMLAMA



- Vakum emiş ucundan -0,65 ...-0,95 bar 6vakum yapılır. İçeride kalan hava alınır

BLOK EPOKSİLEME



- Negatif basınç altında olan bohçalı bloğa epoksi emdirilir.
- 16-24 saat ön kurutma yapılır. Depo alanına sevk edilir. 15-28 gün arası prizlenmesi için bırakılır

MERMER BOYUTLANDIRMA



- Blok katrağa kesilerek levha haline getirilir
- İstenilen boyutta kesilerek kurutmaya hazır hale gelir.

KURUTMA



- Genellikle Yazın doğal yollar tercih edilir
- Hava dönüşümü olan fanlı fırınlarda yapılır (egzost oranı %10-15 olmalıdır). Doğal taşın yaklaşık ~40-50 °C 'ye kadar ısınması beklenir

EPOKSİ UYGULAMA



- Tezgâh veya masalarda el ile uygulanır.
- Fileleme işlemi yapılacaksa bu süreçte uygulanır.
- Fayans veya ince ebatta üretim yapılacaksa taşın her 2 yüzeyinde epoksi uygulanır

MANİPÜLASYON



- Genellikle yazın doğal yollar tercih edilir
- Kısın kurutma odaları veya şartlandırılmış mahaller kullanılır
- Bech fırın veya elevatör ile de uygulanır

- Bu işlem için ~30-40°C sıcaklık yeterlidir ve yaklaşık 40 dk ile 2,5 saat arasında değişir

POLİMERİZASYON



- Bu işlemde tam sertleşme sağlanmalıdır
- Doğal yollar kullanıldığında 24 saat bekletilir
- Daha hızlı istenen özel durumlarda sıcaklık derecesi yükseltilerek süre 8 saate kadar düşürülebilir

ÇİLA HATTI - SELEKSİYON PAKETLEME

1.5 Önceki Çalışmalar

Bu çalışmayla alakalı olarak daha önceden benzer konularda yapılmış çalışmalar incelenmiş ve bu çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Çetin (2001); Yaptığı çalışmada epoksi bazlı çatlak içi tutkallar, dolgu mumları, polyester dolgular, çatlak verimini arttırmaya yönelik uygulamalarla üretime etkilerini göstermişlerdir. Bunlara ek olarak yarı mamul olarak çıkarılan doğal taşların verimini arttırmak için gerekli yöntemleri anlatmaktadır. Gözenekli doğal taşların polyester dolguyla, çatlaklı doğal taşların ise epoksi bazlı çatlak içi tutkalın faydalı olacaklarını tespit etmiştir. Epoksinin doğal taşların üretimindeki veriminde önemli bir malzeme olduğunu vurgulamıştır. Doğal taşların çatlak durumuna göre file kullanımını, kurutma yapılması gerektiğini, nem oranına göre 12 ve 24 saat kurutulup bekletilmesini önermiştir.

Acar (2003); Kayaçların oluşum esnasında veya daha sonraki zamanlarda hareketler sonucu yapılarında kırık, çatlak ve gözenekler meydana gelir, Kayaçların yapısında bulunan bu çatlaklar üretim aşamasında fire vermekte ve üretimdeki verimi azaltmaktadır. Kayaçların yapısında meydana gelen gözenekler ise ürünün ticari değerinin azaltmaktadır. İyileştirme yöntemleri kullanılarak yeni nesil teknoloji yardımıyla verim oranının artırılması yönünde çalışmalar yapılmaktadır. Bu yöntemler epoksi, polyester vb. kimsayallardır. Bu çalışmada kayaçlarda belirlenen problemlerin belirlenmesi ve uygulanacak yöntemlerin ekonomik yönü tartışılmıştır.

Sarışık ve Şentürk (2003); Yaptıkları çalışmada Türkiye'nin batı bölgesinde bulunan mermer sahalarındaki fabrikalarda iyileştirme yöntemlerini araştırmışlardır. Türkiye'de mermer sektörünün ülke ekonomisine katkısı olduğunu vurgulamışlardır. Ancak mermerlerde bulunan çatlakların iyileştirilmesi gerektiğini önermişlerdir. İyileştirme

yöntemleri olarak epoksi, polyester, UV reçine, mastik vb. olarak belirtmişlerdir. Epoksinin verimi en çok arttırdığını, gözenekli kayalarda ise polyesterin kullanılarak verimi arttırdığını söylemişlerdir.

Öztekin (2007); Hazırladığı çalışmada polyester ve epoksi uygulamaları hakkında bilgi sunmuş ve üretim verimine etkisi araştırmıştır. Kullanılan yöntemlerin üretime etkisi gözlenmiştir. Farklı formasyonlarda bulunan mermerlerde farklı özellikler gözlendiğini tespit etmiştir. Bu çalışmada sıcaklıkla mukavemet değerinin ters orantılı olduğu tespit edilmiştir. Düşük hava sıcaklığını olan bölgelerde ve çok soğuk bölgelerdeki dış cephe kaplamalarında epoksi yönteminin kullanılmasını önermiştir.

Dağ, Cevheroğlu ve Ayhan (2008); İki farklı doğaltaş türüne polyester reçine, epoksi reçine ve UV reçine gibi iyileştirme yöntemleri kullanılarak bunların etkileri araştırılmıştır. Epoksi reçinenin ekonomik olarak uygun olduğu belirtilmiştir. Epoksiye bağlı olarak kırılmanın azaldığını belirtmişlerdir. UV reçinenin ise ekonomik olmadığı gözlenmiştir.

Gökdemir (2010); Yaptığı çalışmada farklı formasyonlara ait mermerlerden elde edilen farklı tip ürünlere (plaka, blok ve strip) uygulanacak güçlendirme yöntemlerinin üretim verimine etkisini araştırmıştır, ve bu iyileştirmenin işletmelere katkısına değinmiştir. Farklı formasyonlardaki mermerin içinde bulundurduğu çatlak veya gözenek türüne bağlı olarak direkt uygulanan bir yöntem olmadığı, her formasyonun çatlak türüne göre güçlendirme yapılması gerektiği vurgulanmıştır.

Efe vd (2012); Yaptıkları çalışmada üç ayrı formasyona ait mermerin ham ve epoksi ile güçlendirilmiş halleri arasında deneyler yaparak karşılaştırma yapmışlardır. Yaptıkları deneyler sonucunda epoksi ile güçlendirilmiş mermerlerin daha dayanımlarının arttığını gözlemlemişlerdir. Termal şok etkisinin tam tersi olarak dayanımda düşüş gözlemlemişlerdir.

Zontur (2012); Akdeniz bölgesinde yer alan mermerlerin yapısında bulunan çatlaklarda epoksi ile iyileştirme yapıldıktan sonra kayacın yapısındaki değişim ve üretimdeki verim artışı incelemiştir.

López-Buendía vd. (2013); Doğal taşlar; mekanik ve yüksek dayanım özelliklerinden dolayı yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Mekanik özellikler bakımından kritik olan zayıflık düzlemleri için güçlendirme yapılması gerektiğini vurgulamışlardır. Epoksi reçine yardımıyla, yüksek verim elde edilebileceğini ileri sürmüşlerdir.

Başığit vd. (2014); Mermerlerde kullanılan epoksi uygulamalarının dayanıma direk etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Farklı bölgelerden alınan silindirik numunelere kaya mekaniği deneyleri uygulanmıştır. Epoksilenmiş mermerlerin ham mermerlere göre yüksek sonuçlar verdiklerini belirtmişlerdir.

Özkahraman (2017); Epoksi ile iyileştirilmiş doğal taşlardan elde edilen plakaların, doğal taşın ham haline göre daha dayanıklı olduğu gözlemiştir.

Bilim, Dünder ve Kekeç (2018); Dünyada gelişmişlik düzeyi arttıkça görsellik de artmıştır. Görselliğe bağlı olarak doğal taşlar da sıklıkla kullanılmaktadır. İnşaat sektörünün gelişmesine bağlı olarak doğal taş kullanımına olan ihtiyaç da artmıştır. Doğal taş madenciliği ve işletmeciliği konusunda Türkiye önemli ülkelerden biridir. Türkiye doğal taş sektöründe öncü bir noktadadır. Üretim prosesleri ve geniş ürün yelpazesıyla de iyi bir konumdadır.

Bilici (2019); Mermerlerde güçlendirme yöntemi olarak kullanılan epoksi ve polyesterlerin uygulamalarını incelemiştir. Bu çalışmaya göre epoksi yönteminin daha kontrollü, polyester uygulamasının ise daha basit olduğu belirtilmiştir. Epoksi yöntemi kılcal çatlaklara etki ederken, polyester daha yüzeysel bir yöntem olduğunu belirtmiştir. Epoksi uygulamasının polyester uygulamasına göre daha düşük kürlenme gösterdiği tespit edilmiştir.

Kubat, (2020); Epoksi uygulamalarında mermerlerin yapılarının detaylı incelenmesi gerektiğini belirtmiştir. Kullanılan numunenin tamamen kurutulması gerektiğini, kullanılan filenin uygun seçilmesini, epoksi uygulaması yapan kişinin sürekli olarak değişmemesinin gerektiğini belirtmiştir. Jeo istatistiksel sonuçların karşılaştırılması yapılmıştır. Al₂O₃ 'ün artışı MgO miktarını, SiO₂ 'nin artışı ile MgO ve Al₂O₃ miktarını, K₂O'nun artışı MgO, Al₂O₃, SiO₂, Cl miktarlarını arttırmaktadır.

Çelik ve Demirdağ, (2022); Yapı malzemeleri endüstrisinde doğal taşlar önemli bir yer işgal eder. Üretim aşamasında çatlaklı doğal taşların, blok halinden plaka haline getirilene kadar yüksek kayıplar meydana gelmektedir. Epoksi yardımıyla güçlendirme yapılan doğal taşlarda dağılma ve parçalanma en aza düşürülmeye çalışılmaktadır. Bu çalışmada epoksi uygulanmış doğal taş ile uygulanmamış doğal taş arasındaki farklar incelenmiştir.

2. DOĞAL TAŞ GÜÇLENDİRMEDE KULLANILAN BAĞLAYICILAR

2.1 Epoksi Reçineler

Epoksi reçineler, epoksiyi oluşturan oksijen atomuyla eter halkasının birleşmesi sonucu oluşan makro moleküllü reçinelerdir. Bu makro moleküler uygun şartlarda kürendiklerinde çapraz bağlanır, oldukça yüksek sayılabilecek mukavemet ve yapışma kabiliyeti ile güçlü büyük molekül zincirleri oluştururlar. Bu özellikler epoksi reçineleri doğal taş sağlamlaştırma ve çatlakları tamirde avantajlı duruma getirir. Mikro gözenekli bazı doğal taşlarda, cilalamadan önce epoksi uygulaması yapılmaktadır. Buradaki temel amaç mikro gözenekleri doldurup pürüzsüz bir yüzey elde etmek ve cila ile parlaklığı arttırmaktır. Su emmesi yüksek doğal taslara cilalama öncesi epoksi uygulanarak geçirgenliği azaltma ve parlaklığını arttırma uygulamaları sıklıkla yapılır (Öztekin, 2007) Epoksi Almanya’da 1939 yılında I.G. Farben Industrie tarafından bulunmuş ve yer döşemelerinde, yapıştırıcılarda ve takviyeli plastik üretiminde kullanılmıştır (Öztekin, 2007).

2.2 Polyester Reçineler

Polyester zincirli eter işlevleri ile bağlı motiflerin birleşmesinden oluşan polimerlere denir. Uygulama sırasında reçineye eklenen peroksit ve sonrasında yapılan ısı uygulaması ile polimerleşmesi sağlanır. Polyester reçineler, doğal taşların gözeneklerini doldurmak ve çok zayıf olmayan doğal taşların güçlendirilmesi için uygundur. Uygulandıkları yüzeylerde elle dokunulduğunda karşılaşılan yapışkanlık hissini gidermek amacı ile parafin içeriği olan polyester reçineler tercih edilir. Polyester reçineler yüksek esnekliğe sahiptir. Kürlenme zamanları değişmekle birlikte tezgâhlar, tünel fırınlar, elevatör fırınlar gibi farklı uygulama yöntemleri ile özellikleri kaybolmadan kullanılabilirler. Doğal taşın arka yüzeyine fileli veya filesiz olarak, ön yüzeyinde ise renklendirilmiş veya şeffaf olarak uygulanır. Eğer ön yüze uygulandığında doğal taşın cila kalitesi önemli oranda artır. Spatula ile taşın çatlak ve gözeneklerine görülerek doldurmak en yaygın uygulama yöntemidir. Epoksiyle kıyaslandığında polyester reçineler kısa kürlenme süresi ile yüksek cila alma kapasitesi ve maliyeti ile daha avantajlıdır (Öztekin, 2007).

2.3 Ultra Viole (UV) Reçineler

Işık enerjisi uygulandığında reaksiyona uğrayarak kimyasal ve mekanik yapısı değişen, polyester esaslı polimerlerdir. Doğal taş dolgu ve doğal taş çatlak tamir uygulamalarında, UV reçine kullanma ihtiyacı manipülasyon (dokunulduğunda ele ve tutucu vantuzlara yapışmayacak sertliğe ve kendi ağırlığını taşıyabilecek seviyeye ulaşma durumu) süresini kısaltma talepleri ile geliştirilmiştir. UV reçine, UV lambalar altında kürlendiği zaman kısa sürede yüzeyde ki ince bir film tabakası, ısınmanın oluşmasıyla hızlı bir şekilde polimerize olarak yapışkanlığını kaybederek sertleşme gerçekleşmektedir. Geleneksel reçinelerin bir, iki saatlik manipülasyon süreleri, UV reçine ile birkaç dakikaya indirilmiştir. Diğer bir avantajı da, perdeleme yöntemi ile otomatik olarak uygulanma özelliği sayesinde bant hızı yüksek strip hatlarında büyük kolaylık sağlamakta ve reçinenin tas yüzeyine düzgün olarak yayılmasını kolaylaştırmaktadır. Manipülasyon süresi çok kısa olduğundan uygulama gerçekleşmesinden hemen sonra malzeme hızla stoklanabilir ve böylelikle üretim süresi kısalmır. (Öztekin, 2007).

2.4 Mastikler

Mastik dolgular genelde polyester reçineler, kalsiyum, bazı aminler , homojenleştirici ve hızlandırıcı katkı maddeleri ile karıştırılması sonucu elde edilir. Her türlü doğal taşta istenilen renklendiriciler ile kullanılabilir. Uygulandığı yüzey, uygulamadan çok kısa süre sonra (7-10 dakika) cilalanabilir. Hızlandırıcı ve uygun fırınlar kullanılması ile bu zaman 3 dakika gibi kısa bir süreye indirmek mümkündür. Böylelikle ara vermeden çalışmaya imkân sağlar. Ve dahası UV mastikler kullanılarak, cila verme süresi çok daha kısaltmak mümkündür. El ile uygulandığı için görülen tüm gözeneklerin ve çatlakların doldurulmasını mümkün kılar. Çimentodan daha pahalı olmasına rağmen, ileri teknolojiye sahip İspanya ve İtalya ülkelerde çoğunlukla traverten dolgusunda yaygın olarak kullanılır. Çimentoya göre avantajlıdır (Öztekin, 2007).

2.5 Çimento Dolgu

Gözenekli doğal taşların, genellikle de travertenlerin gözeneklerini ve boşluklarını doldurmak amacı ile kullanılan bir dolgu türüdür. Bu dolgu uygulamadaki tecrübeye bağlı olarak farklı türlerde karışım yapılarak hazırlanır. Çimento dolgu, beyaz çimento, mikronize kalsit, kaolen, renklendirici oksitler en son bağlayıcı bir tutkal ile karıştırılarak elde edilir. Uygulamadan sonraki kürlenme süresi taşın özelliklerine, karışımın türüne ve hava

etmenlerine bağlı olarak değişir. Karışımda kullanılacak hızlandırıcılarla ve krleme kabinleri ile kürlenme süresi 32 saate kadar kısaltmak mümkündür (ztekin, 2007).



3. BLOK SAĞLAMLAŞTIRMA YÖNTEMLERİ

3.1 Vakum Pompası

Vakum pompası ile kapalı bir ortam içerisindeki gaz molekülleri vakumlanarak kap içerisindeki molekül sayısı atmosferde bulunan molekül sayısından daha az hale getirilir. Başka bir ifade ile kapalı bir birimden gaz moleküllerini kaldırmaya yarayan bir cihazdır.

V-VC serisi, V-VC döner kanatlı vakum pompaları standart versiyonda hava soğutmalıdır. Yüksek ortam sıcaklıkları için bir yağ-su soğutucusu mevcuttur. Egzoz havası, yerleşik bir sis filtresinde temizlenir yağsız çalışmayı sağlayan çok yüksek ayırma verimliliği ile tüm çalışma koşullarında etkilidir.

3.2 Fırınsız Vakumlu Bohçalama

Mermer blok fırına sokulmadan, doğal koşullarda kuruduğu kadarıyla filelenip, bohçalanıp, (-) 0,85 ila (-) 0,95 bar vakum altında epoksi emdirildikten sonra fırına sokmadan epoksinin kürlenene kadar vakum altında tutulur. Bu yöntemde bloğun içinde nem kaldıysa epoksi çatlaklara girse bile kürlenmeyebilir. Fırınsız kürlenme süresi çok uzun olduğundan vakumda bir dalgalanma olduğunda çatlaklara giren epoksi geri çıkabilir. Epoksinin çatlaklara girme mesafesi ortalama 1-5 cm arasındadır. Gerekirse kullanılan epoksi taşın rengine uygun olarak renklendirilebilir (Elçi vd., 2021), (Şekil 3.1-3.13)



Şekil 3.1: Hasarlı blok mermer.



Şekil 3.2: Çatlaklı blok mermer örneği.



Şekil 3.3: Blok üzerine file uygulaması.



Şekil 3.4: Blok Üzerine file ve naylon bohçalama.



Şekil 3.5: Bohçalama ve vakumlama yapılan blok.



Şekil 3.6: Bohçalama ve vakumlama yapılandıktan sonra epoksi emdirilen blok.



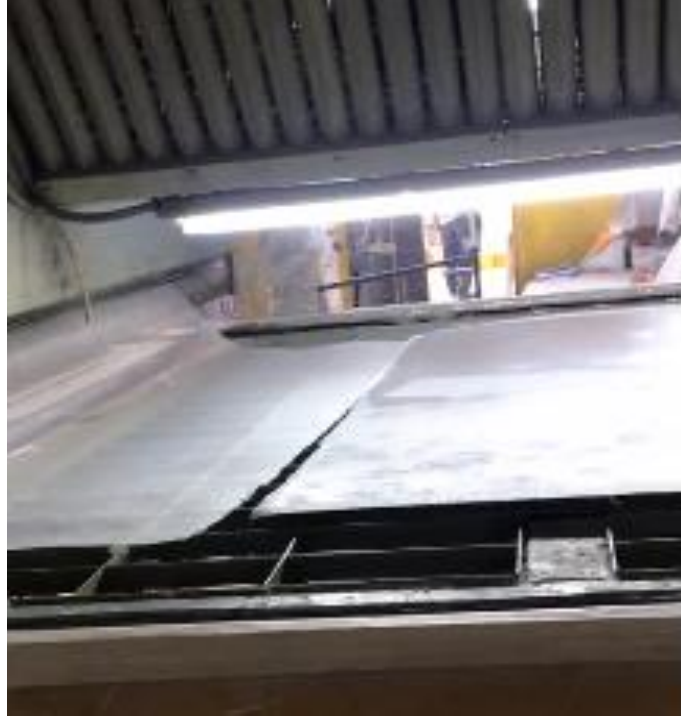
Şekil 3.7: Bohçalanmış ve epoksilenmiş blok.



Şekil 3.8: Katrakta kesimi yapılan blok.



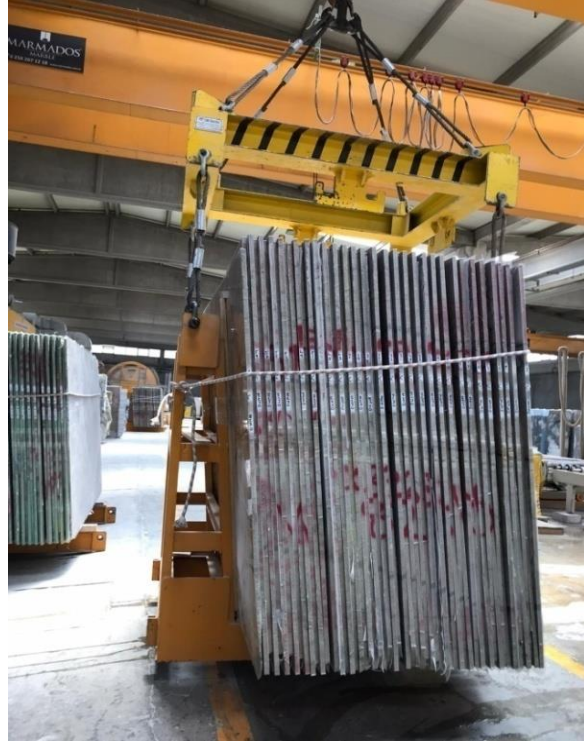
Şekil 3.9: Katrakta kesimi yapılan blok.



Şekil 3.10: Fileleme ve epoksileme hattı.



Şekil 3.11: Bu tez kapsamında kullanılan fileleme ve epoksileme işlemi bitmiş levha.



Şekil 3.12: Filelenmiş, epoksilenmiş, parlatılmış levha teslim hazır levha.



Şekil 3.13: Filelenmiş, epoksilenmiş, parlatılmış levha teslim hazır levha.

3.3 Fırınlı Vakumlu Bohçalama

Vakumlama öncesi mermer blok, taş cinsi ve blok büyüklüğüne göre uygun sıcaklık ve uygun süreyle kurutulur. Tam kuruma sağlandıktan sonra blok bohçalanarak -0,85, -0,95 bar vakum altında epoksi emdirilip, uygun sıcaklık ve süreyle kürlenir. Epoksinin çatlaklara girme mesafesi ortalama iki ile 10 cm arasındadır. İstenirse /gerekirse kullanılan epoksi taşın rengine uygun olarak renklendirilebilir (Gurmas, 2020).

3.4 Fırınlı Otoklavlı Bohçalama

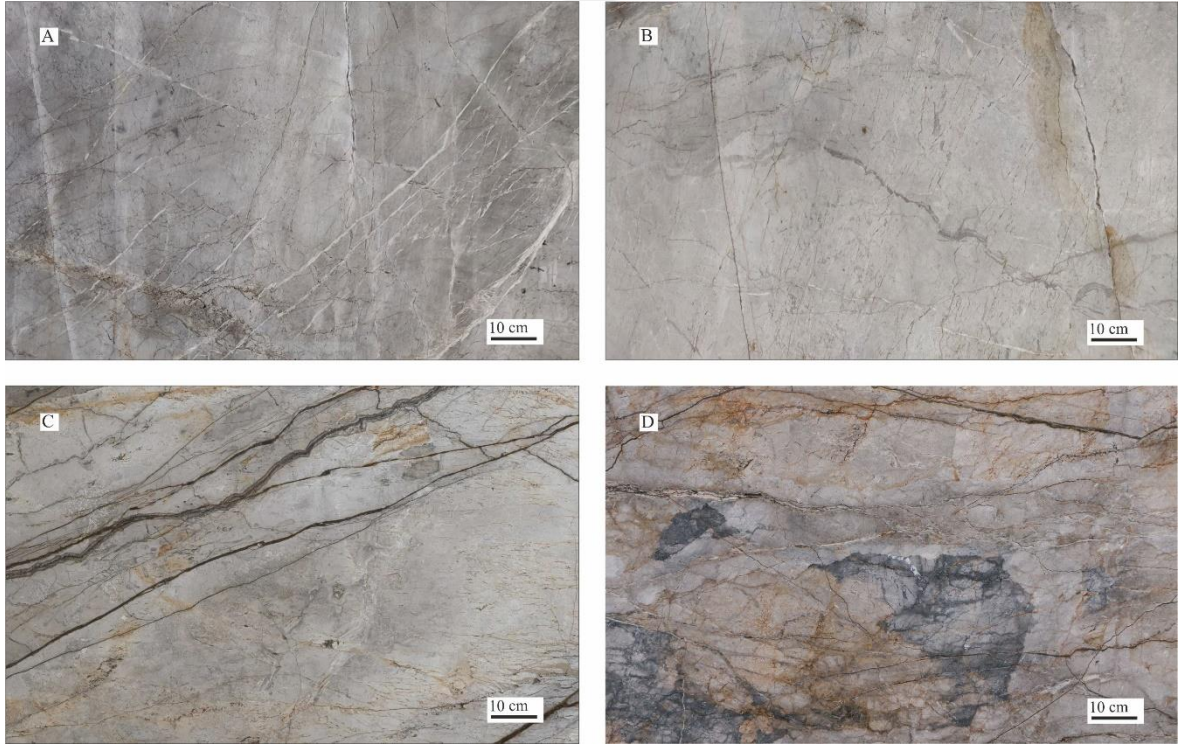
Vakumlama öncesi mermer blok, taş cinsi ve blok büyüklüğüne göre uygun sıcaklık ve uygun süreyle kurutulur. Tam kuruma sağlandıktan sonra blok bohçalanarak -0,85, -0,95 bar vakum altında epoksi emdirilir. Epoksi emdirme işleminden sonra basınçla blok içine epoksi sokmak üzere bloğa ilave epoksi beslenir. Beslenen ilave epoksi otoklavda bohça çevresine uygulanan 6 bar basınç ile blok içine itilir. Otoklavdan çıkarılan epoksi basılmış blok uygun sıcaklık ve süreyle kürlenir (pişirilir). Epoksinin çatlaklara girme mesafesi ortalama 20 ile 40 cm arasındadır. Derinlemesine epoksi basıldığı için, ilk iki yöntemle göre epoksi sarfiyatı % 30 - % 70 artabilir. İstenirse /gerekirse kullanılan epoksi taşın rengine uygun olarak renklendirilebilir (Gurmas,2020).

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1 Petrografik Analiz

Çalışmada kullanılan her bir doğal taşın (Şekil 4.1) iki adet ince kesit hazırlanarak TS EN 12407 (TSE, 2019)'a göre Olympus BX41 markalı polarizan mikroskop ile 2X büyütmede petrografik analiz yapılmış ve mineral yüzdeleri (modal analizi) belirlenmiştir. Ayrıca süreksizlik içeren ve epoksi ile güçlendirilmiş örneklerden de ince kesit hazırlanarak, mikroskop altında epoksinin süreksizlik yüzeyine yayılımı kontrol edilmiş ve fotoğraflanmıştır.

Çalışmada kullanılan doğal taşların büyük oranda kalsit mineralinden oluştuğu, kalsit minerali ile birlikte az oranda (% 3) dolomit minerali ve kuvars minerali (%1-2) içerdiği gözlemlenmiştir. İncelenen doğal taşların tümü kireçtaşıdır ve kireçtaşını oluşturan mineraller ve oranı (modal analizi) Tablo 4.1'de. Doku ağırlıklı sınıflamasında (Dunham, 1962) vaketaşı-istiftaşı, bileşim ağırlıklı sınıflamasında (Folk, 1959) biyosparit, biyopelmikrit ve biyopelsparit olarak adlandırılmıştır (Tablo 4.1). Petrografik analizi yapılan doğal taşların ince kesit görüntüleri ise Şekil 4,2'de verilmiştir.

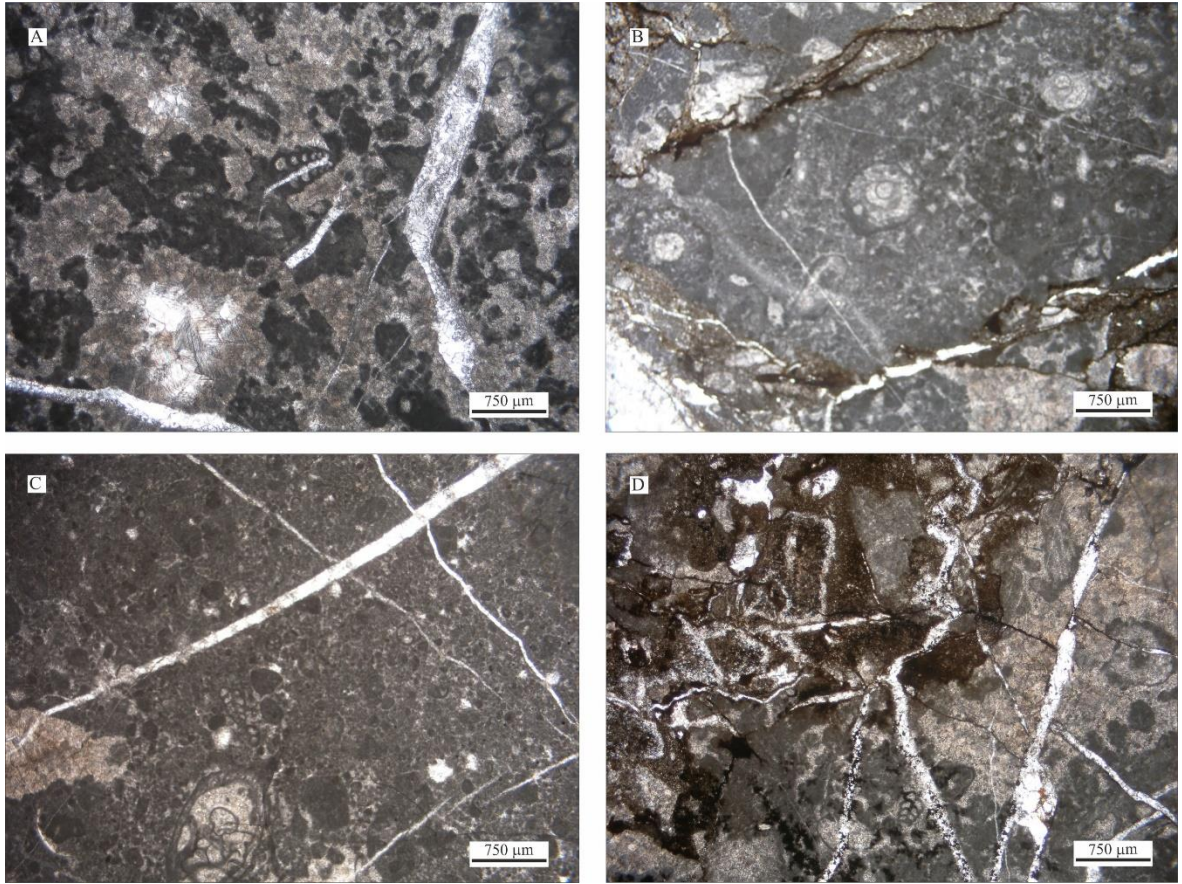


Şekil 4.1: Bohçalama yöntemi ile sağlamlaştırılmış ve yüzeyleri cilalanmış doğal taşlar. (A:Silver River Plain1, B:Silver River Plain2 C:Silver River, D:Silver Fantastic)

İncelenen kireçtaşları megaladon ve foraminefer fosilleri yanı sıra kalsit damarları ve kapalı süreksizlikler içerir. Kapalı süreksizlik düzlemleri boyunca demir oksit sıvımaları gözlenir. Dolomit ve kuvars mineralleri de bu süreksizlik düzlemleri boyunca gelişmiştir.

Tablo 4.1: Modal analiz tablosu.

Örnek No	Mineral (%)			Sınıflama		Litoloji
	Kalsit	Dolomit	Kuvars	Folk 1959	Dunham 1962	
A	97	3	-	Biyosparit	Vaketsi-İstiftaşı	Kireçtaşı
B	98	1	1	Biyosparit	Vaketsi-İstiftaşı	Kireçtaşı
C	98	-	2	Biyopelmikrit	Vaketsi-İstiftaşı	Kireçtaşı
D	98	-	2	Biyopelsparit	Vaketaşı-İstiftaşı	Kireçtaşı



Şekil 4.2: Çalışmada kullanılan doğal taşların ince kesit görüntüsü. (A:Silver River Plain1, B:Silver River Plain2 C:Silver River, D:Silver Fantastic)

4.2 Kimyasal Analiz

Doğal taşların kimyasal özellikleri ise Bureau Veritas (Kanada) Laboratuvarında Endüktif Eşleşmiş Plazma Emisyon Spektrometresi (ICP-ES) metodu kullanılarak ana oksitleri (%) ve nadir toprak elementleri belirlenmiştir (Tablo 4.2).

Tablo 4.2: Çalışmada kullanılan doğal taşların ana oksit yüzdeleri ve eser elementleri.

No	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cr ₂ O ₃	Ba	Ni	Sr	Zr	Y	Nb	Sc	KK*Toplam	
	%											ppm					%			
A	0.1	<0.01	0.12	0.26	55.68	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.03	0.002	<5	<20	118	<5	<3	<5	<1	43.7	99.98
B	0.15	<0.01	0.12	0.24	55.72	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.03	0.002	<5	<20	121	<5	<3	<5	<1	43.7	99.99
C	1.78	0.04	0.19	0.23	54.33	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.34	<0.002	165	<20	119	<5	<3	<5	<1	43.0	99.96
D	1.75	0.05	0.20	0.21	54.38	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.34	<0.002	145	<20	109	<5	<3	<5	<1	43.0	99.98

*KK: Kızdırma kaybı

4.3 Görünür Yoğunluk, Açık Gözeneklilik, Gerçek Yoğunluk, Toplam Gözeneklilik ve Atmosfer Basıncında Su Emme Deneyleri

Örneklerin görünür yoğunluğu, açık gözenekliliği TS EN 1936 (TSE, 2010), ağırlıkça su emme değeri ise TS EN 13755 (TSE, 2014) standardında önerilen prosedüre göre ve 7x7x2 cm boyutunda hazırlanan örneklerden belirlenmiştir. Hazırlanan örnekler, 48 saat suya doymuş hale getirildikten sonra Arşimet terazisi düzeneğinde öncelikle su içindeki ağırlığı (m_h) daha sonra da kuru yüzey doymuş ağırlığı (m_s) tartılmıştır (Şekil 4.3). Son olarak örnekler etüv içerisinde 105 °C sıcaklıkta 48 saat boyunca değişmez kütleye kadar kurutulmanın ardından son ağırlıkları (kuru) (m_d) tartılmıştır. Tartı işleminden elde edilen sonuçlar TS EN 1936 da önerilen formüllerle örneklerinin açık gözeneklilik ile görünür yoğunlukları, TS EN 13755 aşağıdaki formülden hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 4.3 ve 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.3: Örneklerin arşimet terazisinde ölçümü.

Görünür Yoğunluk:

Görünür yoğunluk, P_b (kg/m^3), kurutulmuş numunenin kütlesinin görünür hacmine oranı şeklinde tanımlanır (TS EN 1936, TSE 2010).

$$P_b : \frac{m_d}{m_s - m_h} * P_{rh} \quad (4.1)$$

m_d (gr): Kuru örneğin kütlesi (gr)

m_h (gr): Su içerisine batırılmış örneğin kütlesi (gr)

m_s (gr): Doygunlaştırılmış örneğin kütlesi (gr)

Prh: Ölçüm yapılan sıcaklıktaki suyun yoğunluğu (kg/m³)

Açık Gözeneklilik:

Açık gözeneklilik, Po (%) örneğin açık olan gözeneklerinin hacmi ile görünür hacmine oranı şeklinde tanımlanabilir. (TS EN 1936, TSE 2010).

$$Po = \frac{ms-md}{ms-mh} * 100 \quad (4.2)$$

md(gr): Kuru numunenin kütlesi (gr)

mh(gr): Su içerisine batırılmış örneğin kütlesi (gr)

ms8gr): Doymunlaştırılmış örneğin kütlesi (gr)

Su Emme Deneyi

Çalışmada kullanılan doğal taşların su emme değerleri (Ab) TS EN 13755 (TSE, 2014)'e uygun olarak belirlenmiştir. Doğal taşların kuru ağırlıkları (md) ve kuru yüzey doymun ağırlıkları (ms) kullanılarak aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır.

$$Ab = \frac{ms-md}{md} * 10 \quad (4.3)$$

Tablo 4.3: Güçlendirme yapılmamış doğal taşların görünür yoğunluk, açık gözeneklilik ve su emme değerleri.

Numune No	Görünür Yoğunluk (Pb), (kg/m ³)	Açık Gözeneklilik (Po), (%)	Ağırlıkça Su emme (Ab), (%)	n
A	2706 ± 10	1,500 ± 0,168	0,554 ± 0,064	6
B	2642 ± 34	1,839 ± 1,232	0,701 ± 0,478	6
C	2642 ± 21	1,743 ± 0,787	0,662 ± 0,303	6
D	2591 ± 10	3,534 ± 0,263	1,383 ± 0,110	6

n: Deney tekrar sayısı

Tablo 4.4: Güçlendirme yapılmış doğal taşların görünür yoğunluk, açık gözeneklilik ve su emme değerleri.

Numune No	Görünür Yoğunluk (Pb), (kg/m ³)	Açık Gözeneklilik (Po), (%)	Ağırlıkça Su emme (Ab), (%)	n
A	2711 ± 15	0,716 ± 0,229	0,264 ± 0,085	6
B	2677 ± 51	0,680 ± 0,314	0,254 ± 0,115	6
C	2647 ± 12	1,340 ± 0,099	0,506 ± 0,037	6
D	2588 ± 24	1,057 ± 0,237	0,408 ± 0,087	6

n: Deney tekrar sayısı

Gerçek Yoğunluk

Çalışmada kullanılan doğal taşların gerçek yoğunluk değeri TS EN 1936 (TSE, 2007)' de önerildiği şekilde piknometre yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Bu yöntem için örnekler çeneli kırıcıda kırılarak uygun elekten (63 mikron) geçirilmiştir. 63 mikron boyutundaki toz kayış örneğinden 5 gr (me) alınarak piknometreye doldurulmuştur. Piknometreye bir miktar saf su eklenerek çalkalanmış vesonrasında su içinde asılı tanelerin piknometrenin alt tabanına çökmesi için belli bir süre (2 saat) beklenmiştir. Sonrasında piknometre vakum pompasına bağlanarak su içerisindeki hava kabarcıklarının tamamen çıkması sağlanmıştır. Devamında piknometre saf su ile doldurulmuş ve tıraşlı kapağı kapatılarak taşıyan sular kuru bir bez yardımı ile silinerek tartılmıştır (m₁). En son olarak piknometre boşaltılıp yıkanmıştır ve tamamen saf su ile doldurularak tıraşlı kapak kapatılarak tartılmıştır (m₂). Doğal taşların gerçek yoğunlukları aşağıda verilen eşitlikten hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 4.5 ve 4.6'da ve güçlendirmenin doğal taşların yoğunluk, gözeneklilik ve su emme değerlerine olan etkisi Şekil 4.4 ve 4.5'de verilmiştir.

*Hesaplama;

$$Pr = \frac{me}{m_2 + me - m_1} * Prh \quad (4.4)$$

m_e(gr) : öğütülerek kurutulmuş örneğin kütlesi (gr)

m₂(gr) : suyla doldurulmuş piknometrenin kütlesi (gr)

m₁(gr): su ve öğütülmüş örnek ile dolu olan piknometrenin kütlesi (gr)

Pr: **Örneğin** reel yoğunluğu (kg/m³)

Prh: **Suyun** yoğunluğu (kg/m³)

Toplam Gözeneklilik

Toplam gözeneklilik (p) numunenin toplam gözeneklerinin hacminin, numunenin görünür hacmine oranının yüzdesel ifadesidir (TS EN 1936, TSE 2007) ve aşağıdaki eşitlikten hesaplanır (Tablo 4.5).

$$p = \frac{\frac{1}{p_b} - \frac{1}{p_r}}{\frac{1}{p_b}} \times 100 \left(1 - \frac{p_b}{p_r} \right) \times 100 \quad (4.5)$$

Tablo 4.5: Güçlendirme yapılmamış doğal taşların gerçek yoğunluk ve toplam gözeneklilik değerleri.

Numune No	Gerçek Yoğunluk (Pb), (kg/m ³)	Toplam Gözeneklilik (Po), (%)	n
A	2710 ± 4	1,1979 ± 0,186	3
B	2690 ± 6	2,855 ± 1,089	3
C	2680 ± 3	2,146 ± 0,502	3
D	2580 ± 3	3,605 ± 0,414	3

n: Deney tekrar sayısı

Tablo 4.6: Güçlendirme yapılmış doğal taşların gerçek yoğunluk ve toplam gözeneklilik değerleri.

Numune No	Gerçek Yoğunluk (Pb), (kg/m ³)	Toplam Gözeneklilik (Po), (%)	n
A	2719 ± 10	0,747 ± 0,312	3
B	2701 ± 7	1,340 ± 0,099	3
C	2701 ± 7	1,484 ± 0,448	3
D	2625 ± 6	1,511 ± 0,403	3

n: Deney tekrar sayısı

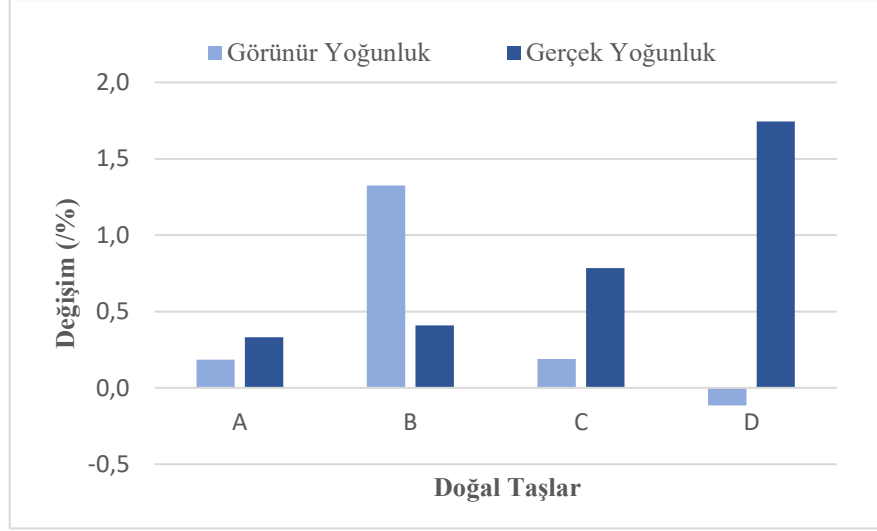
Güçlendirmenin doğal taşların fiziksel ve mekanik özelliklere olan etkisi aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır

$$\Delta G = G_0 - G_1 \quad (4.5)$$

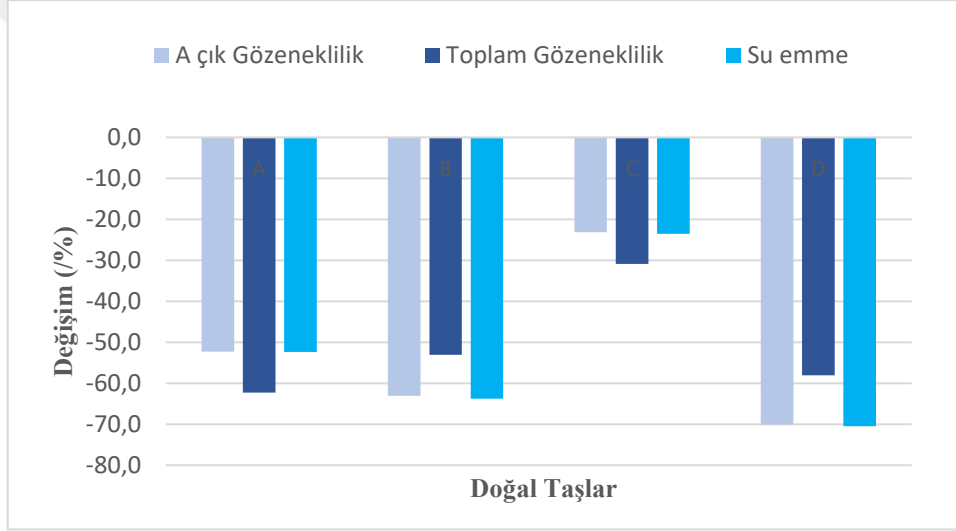
ΔG = Güçlendirme oranı (%)

G_0 = Güçlendirme yapılmamış doğal taşa belirlenenin fiziksel veya mekanik özellik

G_1 = Güçlendirme yapılmış doğal taşa belirlenenin fiziksel veya mekanik özellik



Şekil 4.4: Güçlendirmenin doğal taşların yoğunluğuna etkisi



Şekil 4.5: Güçlendirmenin doğal taşların gözeneklilik ve su emmesine etkisi

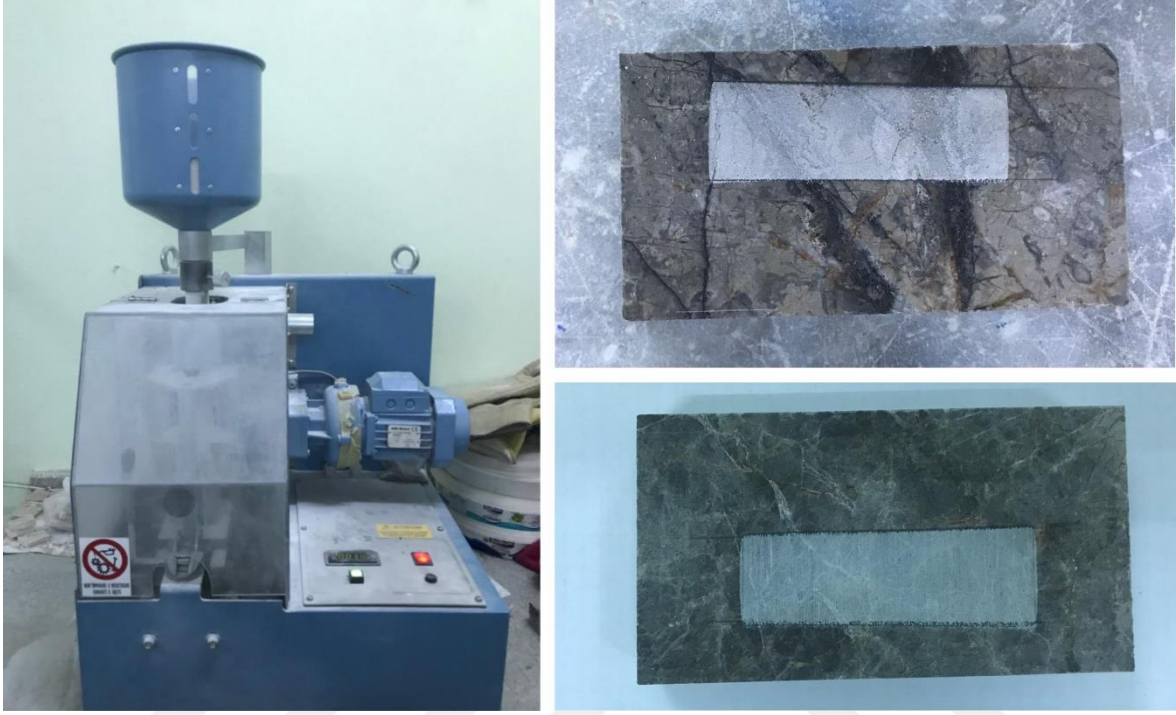
4.4. Aşınma Direnci Deneyi

Çalışmada kullanılan doğal taşların aşınma dirençleri TS EN 14157 (TSE, 2005) standardında ifade edilen yöntemlerden “Böhme Deneyi” ve “Geniş Diskli Aşınma Deneyleri” yöntemleri kullanılarak yapılmıştır.

4.5. Geniş Diskli Aşınma Deneyi

Deney dönmekte olan bir diskin doğal taş yüzeyi üzerinde oluşturduğu oyuk boyutunun (mm) üç noktadan ölçme prensibine dayanır. Deneyde kullanılan doğal taş örnekleri 2x6x10 cm ölçülerinde hazırlanarak eğilme dayanımı ölçümü gerçekleştirilmiştir. Örneklerin geniş diskli deney aletine yerleştirilmesi sonrası, dönmekte olan disk ile örnek yüzeyi arasında

aşındırıcı olarak, ergimiş olan beyaz alümina (5 litre) akışı sağlanarak yapılan deney toplamda diskin 75 defa dönmesi ile tamamlanmıştır. Dönen diskin kayaçların birleşim yüzeyinde aşındırıcı toz ile birlikte oluşturduğu oyuğun büyüklüğü 3 noktadan ölçümlenerek yapılarak ortalama değeri alınarak hesaplanmıştır (Şekil 4.6 ve Tablo 4.7).



Şekil 4.6: Geniş diskli aşınma deneyi düzeneği ve aşındırılmış örnekler.

4.6. Böhme Aşınma Deneyi

7x7x2 cm³ boyutlarında hazırlanan doğal taş örnekleri 294 newton'luk yük uygulanmış olan dönen diskin üzerine yerleştirilerek 20 g aşındırıcı malzeme (korindon) kullanılarak 22 tur dönmesi sağlanarak bu durum 16 kez tekrarlanır. Toplamda 352 tur aşındırılan doğal taşların aşınmaya karşı olan direnci, mm³ cinsinden hacmin azalması olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.7 ve Tablo 4.8). Güçlendirmenin doğal taşların aşınmasına olan etkisi Şekil 4.8'de verilmiştir.

Örneğin hacminde ki ortalama kayıp (ΔV) şeklinde, 16 döngüden sonra aşındırıcının sebep olduğu aşınma ise;

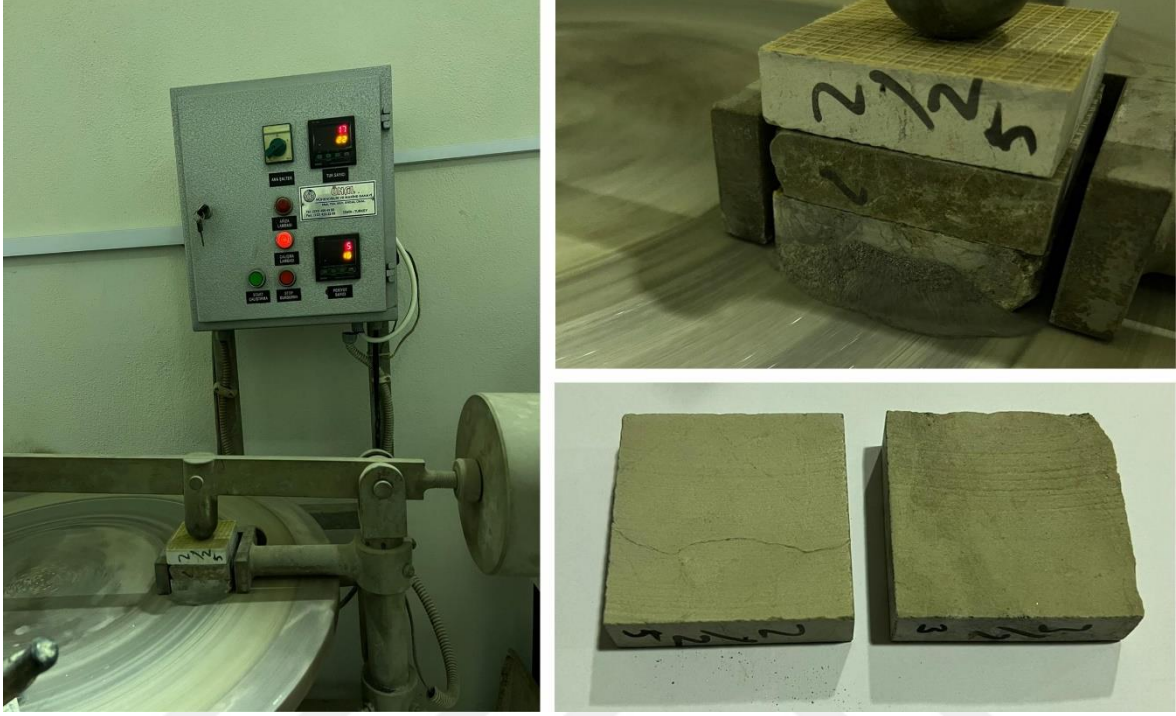
$\Delta V = V_1 - V_2$ şeklinde ifade edilir.

Burada;

ΔV : mm^3 yaklaşımla, 16 döngüden sonraki hacim kaybı (mm^3)

V_1 : Aşınmadan önceki numune hacmi (mm^3).

V_2 : Aşınmadan sonraki numune hacmi (mm^3).



Şekil 4.7: Böhme aşınma deneyi

Tablo 4.7: Güçlendirme yapılmamış taşların disk aşınma ve böhme aşınma değerleri.

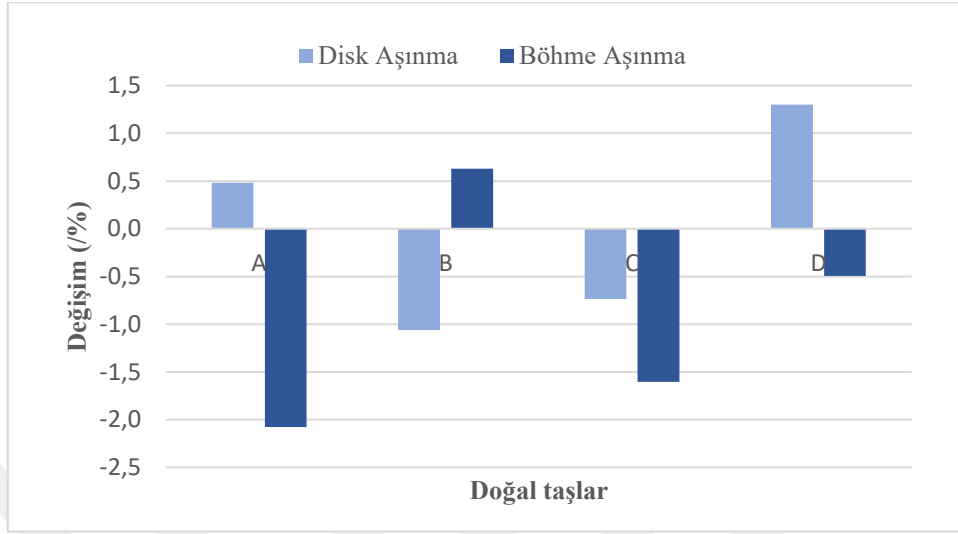
Numune No	Geniş Diskli Aşınma (mm)	Böhme Aşınma (mm^3)	n
A	$20,80 \pm 0,67$	15880 ± 720	3
B	$20,75 \pm 0,70$	15120 ± 880	3
C	$21,77 \pm 0,56$	17460 ± 1230	3
D	$22,31 \pm 0,63$	18190 ± 790	3

n: Deney tekrar sayısı

Tablo 4.8: Güçlendirme yapılmış taşların disk aşınma ve böhme aşınma değerleri.

Numune No	Geniş Diskli Aşınma (mm)	Böhme aşınma (mm^3)	n
A	$20,70 \pm 0,99$	15550 ± 750	3
B	$20,97 \pm 0,72$	15215 ± 810	3
C	$21,93 \pm 0,54$	17180 ± 1045	3
D	$22,02 \pm 0,78$	18100 ± 780	3

n: Deney tekrar sayısı



Şekil 4.8: Güçlendirmenin doğal taşların aşınmasına etkisi.

4.7. Basınç Dayanımı Deneyi

Çalışmada kullanılan doğal taşların kalınlıkları 2 cm ile sınırlı olduğundan dolayı, basınç dayanımları doğal taşların basınç dayanımlarını belirlemek için önerilen (TS EN 1926, TSE 2013) standart yöntem kullanılamamıştır. Çalışmada kullanılan doğal taşların basınç dayanımı belirlemek için ISRM (2007)'in önerdiği şekilde dolaylı yönden, disk makaslama indeksi deneyi için hazırlanan örneklerden belirlenmiştir.

2 cm kalınlığındaki doğal taş levhalarından 54 mm çaplı karotlar alınarak, bu karotlar 10 mm kalınlıkta kesilerek deney numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan deney numuneleri disk makaslama aparatına yerleştirilmiş ve bu aparatta eğilme dayanımı presine yerleştirilmiştir. Daha sonra yükleme yapılarak numunenin 10-60 saniye arasında kırılması sağlanmıştır (Şekil 4.9 ve 4.10). Kırılma anındaki yük kayıt edilerek, disk makaslama indeksi değeri aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır ve sonuçlar Tablo 4.9 ve 4.10'da verilmiştir. Doğal taşların indirekt basınç dayanımları da eşitlik 4.9 kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 11 ve 4.12'de verilmiştir.

$$BPI_c = 3499 * D^{-1,3926} * t^{-1,1265} * F_{TD} \quad (4.8)$$

Burada;

BPI_c: Çap ve kalınlık düzeltmesi uygulanarak hesaplanmış disk makaslama dayanım indeksi (MPa)

D: Örnek Çapı (mm)

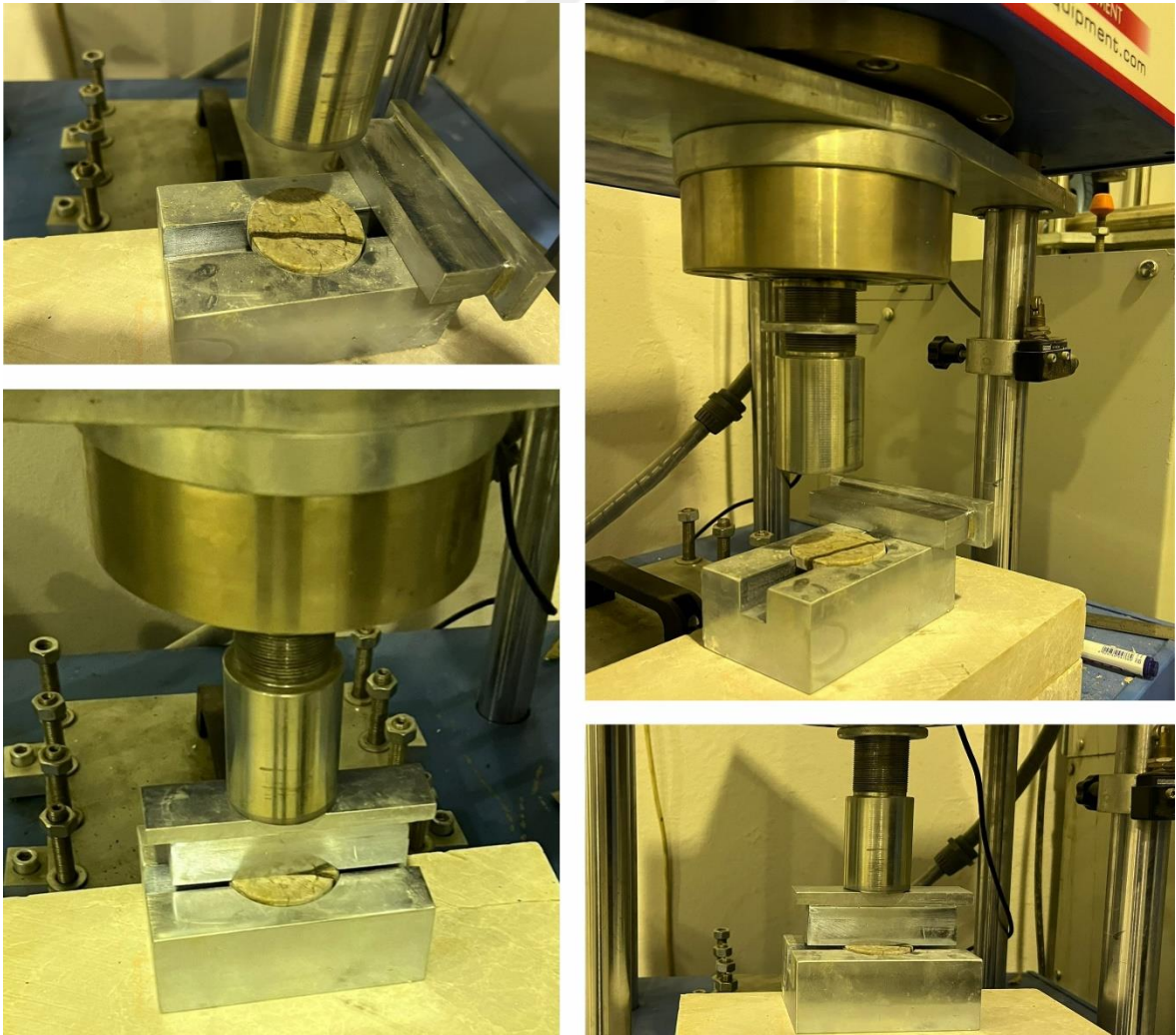
t: Örnek kalınlığı (mm)

F_D: Yenilme anında t kalınlığında ve D çapındaki örneğe uygulanan yük (kN)

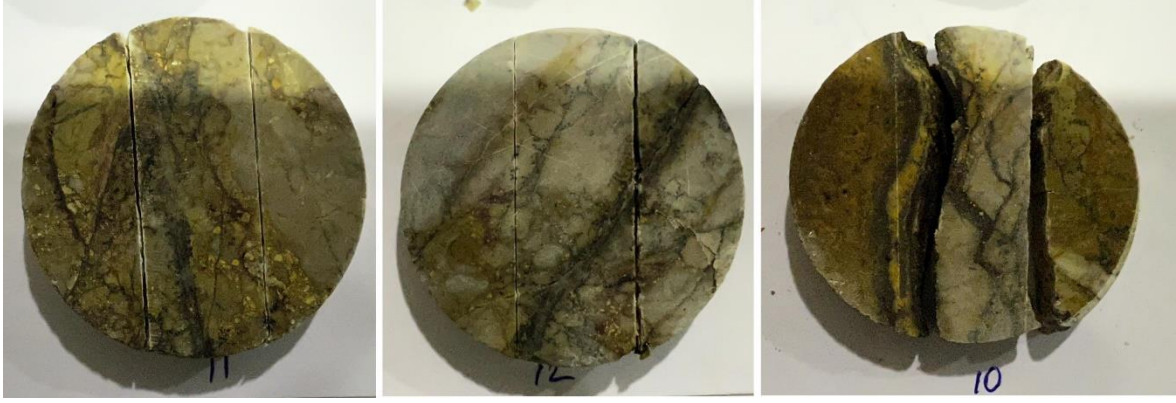
Örneklerin tek eksenli basınç dayanımları (σ_c), BPI_c değerleri kullanılarak aşağıdaki eşitlikten tahmin edilir.

$$\sigma_c = 5,1 \text{ BPI}_c \quad (4.9)$$

bu eşitlik kullanılarak σ_c 'nin en fazla % 20' ye kadar bir hata payıyla kestirimi mümkündür.



Şekil 4.9: Disk makaslama deneyinin deneyi uygulanması



Şekil 4.10: Disk makaslama deneyinin deneyi uygulanması

Tablo 4.9: Güçlendirme yapılmamış doğal taşların disk makaslama indeksleri.

Numune No	Disk Makaslama İndeksi (BPI _c), (MPa)			n
	En düşük BPI _c	En yüksek BPI _c	Ortalama BPI _c	
A	7,23	16,00	12,13 ± 3,04	6
B	5,66	16,00	12,14 ± 3,60	6
C	0,00	7,24	3,32 ± 2,90	6
D	0,00	5,97	3,36 ± 2,90	6

n: Deney tekrar sayısı

Tablo 4.10: Güçlendirme yapılmış doğal taşların disk makaslama indeksleri

Numune No	Disk Makaslama İndeksi (BPI _c), (MPa)			n
	En düşük BPI _c	En yüksek BPI _c	Ortalama BPI _c	
A	11,27	16,22	13,84 ± 1,76	6
B	10,84	16,44	13,84 ± 2,00	6
C	2,58	7,24	5,10 ± 1,66	6
D	2,17	6,59	4,54 ± 1,73	6

n: Deney tekrar sayısı

Tablo 4.11: Güçlendirme yapılmamış doğal taşların indirekt yöntemle hesaplanan basınç dayanımları.

Numune No	Basınç Dayanımı (σ _c), (MPa)			n
	En düşük dayanım	En yüksek dayanım	Ortalama dayanım	
A	36,88	81,59	61,88 ± 15,51	6
B	28,59	81,59	61,91 ± 18,38	6
C	0	36,94	16,95 ± 15,14	6
D	0	33,61	17,12 ± 14,75	6

n: Deney tekrar sayısı

Tablo 4.12: Güçlendirme yapılmış doğal taşların indirekt yöntemle hesaplanan basınç dayanımları

Numune No	Basınç Dayanımı (σ_c), (MPa)			n
	En düşük dayanım	En yüksek dayanım	Ortalama dayanım	
A	57,88	82,73	70,55 ± 8,99	6
B	55,29	83,84	70,59 ± 10,21	6
C	13,17	36,94	25,99 ± 8,46	6
D	14,06	33,61	23,13 ± 8,83	6

n: Deney tekrar sayısı

4.8. İndirekt Çekme (Brazilyan) Deneyi

Çalışmada kullanılan doğal taşların çekme dayanımları ISRM (1981 ve 2007), TS 7456 (TSE, 1989) ve TS 699 (TSE, 2009)'da önerilen dolaylı yönden çekme dayanımı yöntemine göre belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan 2 cm kalınlığındaki doğal taşlardan 54 mm çaplı karotlar alınmıştır ve bu karotlar yükleme çenelerine yerleştirilip sonrasında prese konularak örnekler kırılıncaya kadar yükleme yapılmıştır (Şekil 4.11).

Doğal taşların çekme dayanımları (σ_t) aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır. Ve sonuçlar Tablo 4.13 ve 4.14'de verilmiştir.

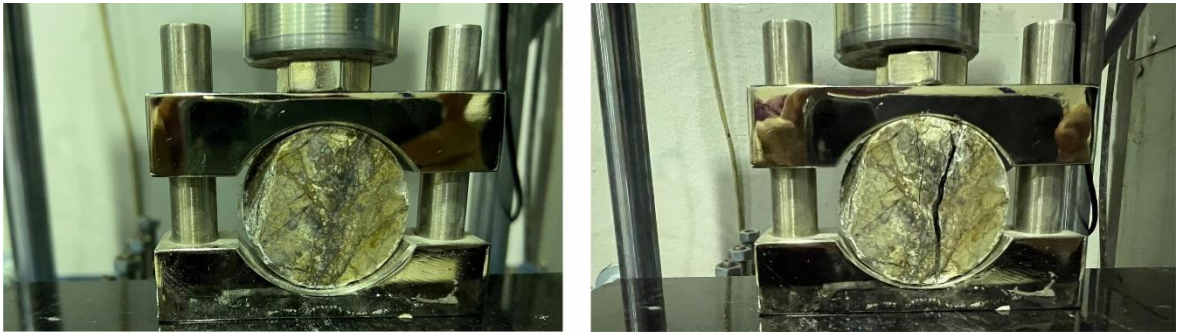
$$\sigma_t = (0,636 * f) / Dt \quad (4.10)$$

Burada

F: Örneğin yenilmesi anında uygulanan yük (kN)

D: Örnek Çapı (mm)

t: Örnek kalınlığı (mm)



Şekil 4.11: İndirekt çekme deneyinin deneyi uygulanması

Tablo 4.13: Güçlendirme yapılmamış doğal taşların indirekt çekme dayanımları.

Numune No	İndirekt Çekme Dayanımı (σ_t), (MPa)			n
	En düşük dayanım	En yüksek dayanım	Ortalama dayanım	
A	4,16	11,98	8,20 ± 3,02	6
B	6,72	12,77	9,53 ± 2,17	6
C	0	7,57	3,91 ± 3,38	6
D	0	7,34	4,10 ± 3,25	6

n: Deney tekrar sayısı

Tablo 4.14: Güçlendirme yapılmış doğal taşların indirekt çekme dayanımları

Numune No	İndirekt Çekme Dayanımı (σ_t), (MPa)			n
	En düşük dayanım	En yüksek dayanım	Ortalama dayanım	
A	6,52	11,98	10,16 ± 2,81	6
B	7,77	16,42	12,16 ± 3,11	6
C	7,58	13,47	9,58 ± 2,44	6
D	7,63	11,46	9,12 ± 3,06	6

n: Deney tekrar sayısı

4.9. Yoğun Yük Altında Eğilme Dayanımı Deneyi

Çalışmada kullanılan doğal taşların yoğun yük altında bükülme dayanımları TS EN 12372 (TSE, 2013)'e göre eni kalınlığın 3 katı, boyları ise kalınlığın 6 katı olacak şekilde kesilmiştir. Hazırlanan numuneler, daha sonra iki silindirik mesnet üzerine konularak kademeli bir şekilde arttırılan yük ile numunenin kırılması sağlanmıştır (Şekil 4.12). Doğal taşların yoğun yük altında bükülme dayanımı aşağıdaki eşitlikten hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 4.14 ve 4.15'de verilmiştir. Güçlendirmenin doğal taşların basma, çekme ve eğilme dayanımlarına etkisi ise Şekil 13'de verilmiştir.

$$R_{tf} = \frac{3Fl}{2bh^2} \quad (4.6)$$

Sonuçlar 0.1 MPa yaklaşımla MPa şeklinde ifade edilir.

R_{tf}: Yoğun yük altında bükülme dayanım (MPa)

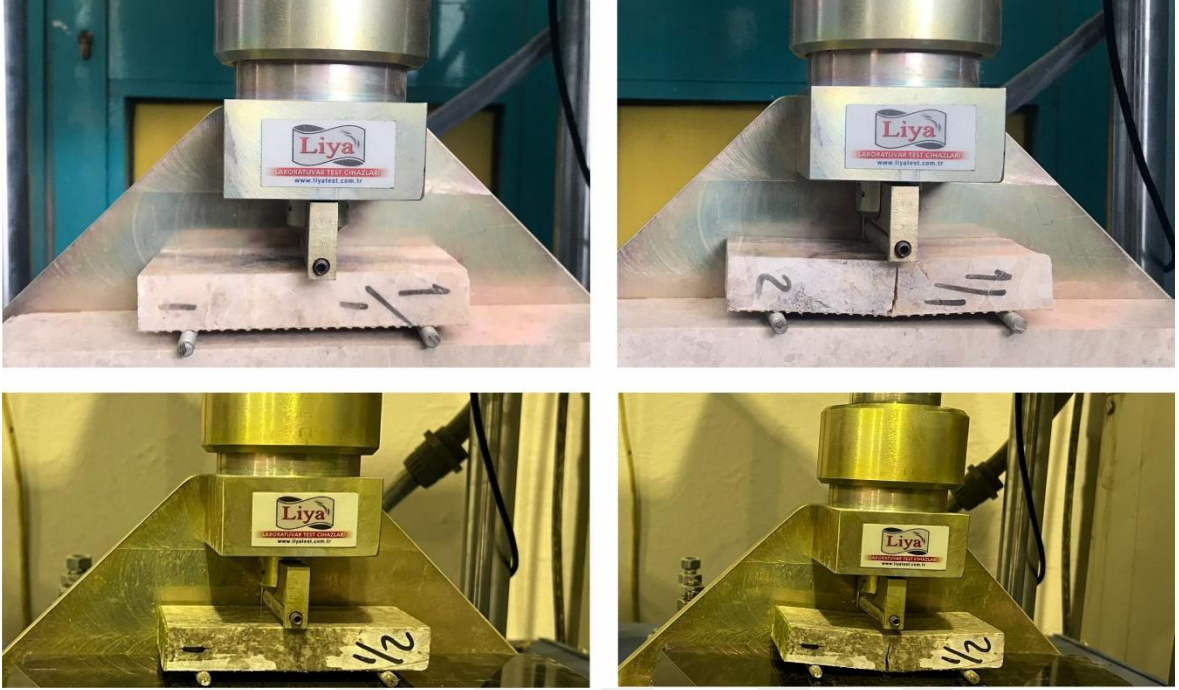
F: Kırılma yükü (N)

l: Destek silindirleri arasındaki mesafe (mm)

b: Örneğin kırılma düzlemine bitişik olan genişliği (mm)

h: Örneğin kırılma düzlemine bitişik olan kalınlığı (mm)

L: Örneğin tam uzunluğu (mm)



Şekil 4.12: Eğilme dayanımı deneyi öncesi ve sonrası görünüm.

Tablo 4.15: Güçlendirme yapılmamış doğal taşların eğilme dayanımları.

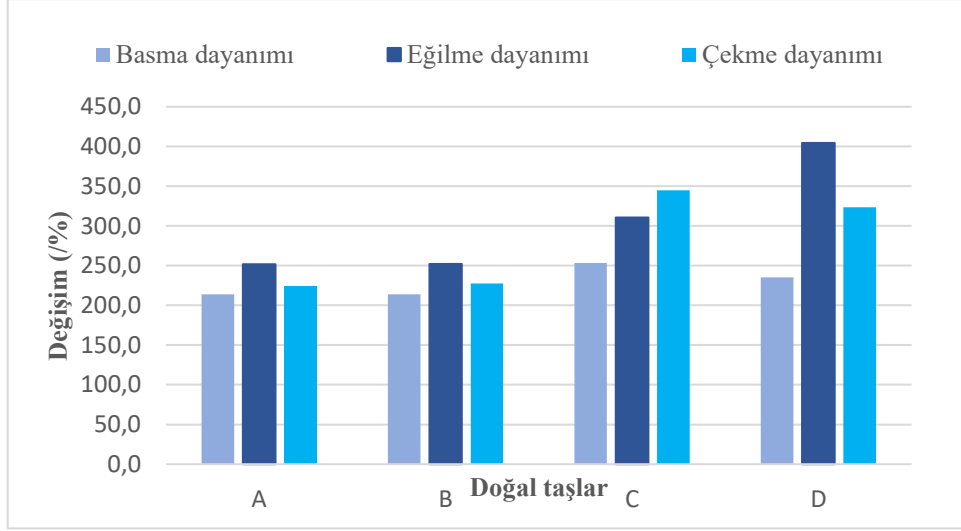
Numune No	Eğilme Dayanım (Rtf), (MPa)			n
	En düşük dayanım	En yüksek dayanım	Ortalama dayanım	
A	2,82	14,00	10,45 ± 4,92	6
B	5,04	16,78	10,89 ± 4,24	6
C	0	10,47	6,92 ± 3,92	6
D	0	9,67	4,24 ± 3,92	6

n: Deney tekrar sayısı

Tablo 4.16: Güçlendirme yapılmış doğal taşların eğilme dayanımları.

Numune No	Eğilme Dayanım (Rtf), (MPa)			n
	En düşük dayanım	En yüksek dayanım	Ortalama dayanım	
A	8,05	19,23	15,86 ± 4,00	6
B	11,77	22,66	16,57 ± 4,15	6
C	7,84	17,95	14,66 ± 3,59	6
D	9,44	16,67	12,91 ± 2,32	6

n: Deney tekrar sayısı



Şekil 4.13: Güçlendirmenin doğal taşların eğilme, indirekt çekme ve basma dayanımlarına etkisi

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Literatürde epoksi bağlayıcı kullanılarak doğal taşlara yapılan güçlendirme ile ilgili çalışmaların büyük çoğunluğu fabrika üretim aşamasında bloktan elde edilecek plaka verimini artırmaya yönelik çalışmalardır. Bu güçlendirmeler plaka bütünlüğünü sağlayan ve sonrasında güçlendirmenin üretim verimine olan etkisini incelemişlerdir. Güçlendirme ile plaka veriminde önemli ölçüde bir artış olduğunu belirtmişlerdir. Ek olarak epoksi ile yapılan güçlendirmenin diğer kimyasal bağlayıcılar ile yapılan güçlendirmelere nazaran daha kısa kürlenme süresine sahip olduğunu ve daha ekonomik olduğunu belirtmişlerdir (Çetin, 2001; Acar, 2003; Sarıışık ve Şentürk 2003; Dağ ve diğ., 2008; Gökdemir, 2010; Zontur, 2012; López-Buendía ve diğ., 2013; Bilici, 2019; Çelik ve Demirdağ, 2022).

Bununla birlikte az sayıda da olsa epoksi ile doğal taşta yapılan güçlendirmenin, doğal taşın dayanımını artırdığını belirten çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmaların ortak özelliği ise deney numunesinin epoksi ile güçlendirilmesi ve sonrasında deneye tabi tutulmasıdır (Öztekin, 2007; Efe, Akbay ve diğ., 2012; Başıyigit , Bayram ve Tunçdemir, 2014).

Bu tez çalışması kapsamında ise fabrika ortamında bohçalama yöntemi ile güçlendirilmiş ayırık veya zayıf dayanımlı blokların, güçlendirme sonrası katrakta kesilerek levha haline getirilmesi, sonrasında bir yüzeyi epoksi ve file ile sağlamlaştırılması, diğer yüzeyinin de sadece epoksiyle gözenek ve çatlaklarının doldurulması sonrasında elde edilen iki cm kalınlığındaki doğal taş levhalarında, güçlendirmenin kalitesi doğal taş testleri ile belirlenmiştir.

Güçlendirme yapılan doğal taşların gözeneklik değerleri ve su emme değerleri %50-70 oranında azalmıştır. Yoğunlukları ve aşınma miktarlarında belirgin bir değişiklik (% 1-2) olmamıştır. Güçlendirmenin en belirgin etkisi basma, çekme ve eğilme dayanımlarında olmuştur. Güçlendirme sonrası doğal taşların basma dayanımlarında % 200-250, çekme dayanımlarında % 220-350 ve eğilme dayanımlarında % 250-400 oranında artış olmuştur.

Bunun yanı sıra fabrika ortamında yapılan güçlendirme ve sonrasında yarı işlenmiş ürün elde etme sürecinde, programlı ve standart bir üretim, üretimde kalite güvencesi ve sürekliliği elde edildiği görülmüştür.

Güçlendirme ile sağlamlaştırılan levhaların yükleme-boşaltma, nakliye ile ortaya çıkan zayıfları ve satışı sonrası yaşanan problemler önemli ölçüde azalır.

Hem blok hem de sonrasında levha sağlamlaştırma maliyeti her ne kadar doğal taşın litolojik ve yapısal özelliklerine bağlı olarak değişse de, genel olarak m² maliyetini % 6 ila % 10 arasında bir oranda artırır. Bununla birlikte nihai ürünün satış fiyatına ise % 35 oranında bir değer katar.

Epoksi reçine ile süreksizlikleri sağlamlaştırılan ve gözenekleri doldurulan doğal taşlar kullandıkları yerlerde de servis ömürleri süresince sorunsuz bir şekilde durabil olarak kalabilmektedir. Sorunsuz ve kaliteli doğal taşlar, artan rekabet ortamında rengi ve deseni kadar müşteri memnuniyeti için de vazgeçilmez bir unsurdur.

Ayrıca inşaat sektöründeki eğilim, doğal taş bina kaplamasından dolayı bina yükünü azaltma yönündedir. Bu nedenle sağlamlaştırılarak çok daha ince kesilmiş hafif taşların, talep görme olasılığı yüksektir.

Ek olarak daha ince kesim ile bir bloktan alınan taş miktarı metrekare olarak önemli oranda artar.

6. KAYNAKLAR

- Acar, H., (2003). Doğal Taşlarda Çatlak Tamir ve Gözenek Dolgu Sistemleri. *Türkiye IV. Mermer Sempozyumu*.
- Başıyigit, M., Bayram, O. ve Tunçdemir, H. (2014). An Application of Epoxy and Polyurethane on Various Marbles to Enhance Cuttability. *ISRM Bölge Sempozyumu*, Vigo, İspanya.
- Bilici, E.(2019). *Finike-Turunçova Bölgesindeki Limra Mermerlerinin Jeolojik Özelliklerinin Belirlenmesi ve Blok Verimini Arttırıcı Yöntemlerin Araştırılması* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Tez Merkezi veri tabanından erişildi. (Tez no. 605411).
- Bilim, N., Dündar, S. ve Kekeç, B.(2018). Doğal Taş Üretimimizin Genel Görünümü ve Ülkemiz İçin Önemi. 2. *Uluslararası Bilimsel Çalışmalarda Yenilikçi Yaklaşımlar Sempozyumu*, 3, 117.120
- Çetin, F.(2001). Gözenek ve Çatlak Tamir Uygulama Örnekleri ve Bu Uygulamaların İşletmelere Getirdiği İlave Kazançlar. *Türkiye III. Mermer Sempozyumu Bildirileri Kitabı*, 445-449, Afyon.
- Çelik, T. Ve Demirdağ, S.(2022). Epoksi Reçinenin Kuruma Durumunun Bej Doğal Taşın Eğilme Dayanımına Etkisi. *2nd International Congress of Engineering and Natural Sciences Studies*.
- Dağ, A., Cevheroğlu, S. ve Ayhan, M. (2008). Evaluation of Filling Methods Applied to Some Marbles from Diyarbakir Region of Turkey. *Asian Journal of Chemistry*, 2733-2740.
- Dunham, R. J. (1962). Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: W. E. Ham (ed.), *Classification of Carbonate Rocks*, American Association Petroleum Geologist, 1, 108-121
- Efe, T., Akbay, D., Demirbağ, S. ve Şengün, N.(2007). Bej Mermerlerde Epoksi Uygulamasının Atmosferik Şartlar Altında Kayacın Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklere Etkisi. 8. *Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi*, Afyon.
- Elçi H., Hacımustafaoğlu R., Yılmaz M., Yılmaz Ö., 2017. Ham Madde Kaynağı Olarak Doğal Taş Artıkları, Torbalı – İzmir Örneği. *Uluslararası Madencilik ve Çevre Sempozyumu*, Bildiriler Kitabı. 1029-1042. 27-29 Eylül 2017. Bodrum, Muğla
- Elçi, H., Mutlu, A., Ceryan, Ş. ve Hacımustafaoğlu, R. (2021). Doğal Taşlarda Vakumlu Blok Sağlamaştırma (Bohçalama) Yöntemi. *Global Conference on Engineering Research (Globcer'21)*. Proceedings Book, 493-502.
- Folk, R. L. (1959). Practical petrographic classification of limestones, American Association Petroleum Geologist, 43, 1-38.

- Gökdemir, F.(2010). *Mermer Blok, Plaka ve Striplerine Uygulanan Kimyasal Dolgu Güçlendirme Yöntemlerinin Verimliliklerinin Araştırılması* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Tez Merkezi veri tabanından erişildi. (Tez no.275437).
- Gurmas, 2022 <https://www.gurmas.com/projelerimiz/ozel-projeler/temmer-mermer-otoklavli-blok-guclendirme-sistemi/> erişim tarihi: 01.12.2022
- I.S.R.M, Suggested Methods: Rock Characterization, Testing and Monitoring., *Pargemon Press*, London, 1981.
- I.S.R.M., The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring, Ankara, 2007.
- Kubat, Ö. (2020). *Saklıkent Bölgesi (Korkuteli, Antalya) Mermerlerinin Jeolojisi, Fiziko Mekanik, Kimyasal Özellikleri, Mermer Plakası Epoksi Uygulamasında Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Önerileri* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Tez Merkezi veri tabanından erişildi. (Tez no. 633409).
- López-Buendía, A.M., Guillem, C., Cuevas, J.M., Mateos, F. and Montoto, M.(2013). Natural stone reinforcement of discontinuities with resin for industrial processing. *Engineering Geology* 166, 39–51.
- MTA, 2018. (Dünyada ve Türkiye’de Doğal Taşlar MTA Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı Mart 2018)
- Özkahraman, H.T. (2017). The Advantages of Epoxy Resin in Marble Surface Treatment. *9th International Marble and Natural Stones Congress and Exhibition of Turkey*, 115-119.
- Öztekin, L. (2007). *Mermerlerde Uygulanan Kimyasallar, Epoksi Polyester Uygulanmış Mermerlerde Çekme ve Eğilme Dayanım-Sıcaklık İlişkisi* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Tez Merkezi veri tabanından erişildi. (Tez no.222722).
- Sarıışık, A ve Şentürk, A. (2003). Doğaltaş Tamirinde Epoksi, Polyester, Mastik Dolgulu ve Çimentolu Dolguların Uygulama Kriterleri. *Türkiye IV Mermer Sempozyumu Bildirileri Kitabı*, 533-565, Afyon.
- TS 7654, Kayaçların Çekme Mukavemetinin Dolaylı (İndirekt) Metotla Tayini, , *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1989.
- TS EN 14157, Doğal taş - Aşınma direncinin tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2005.
- TS EN 1926, Doğal Taşlar – Deney Metotları – Basınç Dayanımı Tayini, , *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2007.
- TS EN 12372, Doğal Taşlar – Deney Metotları – Yoğun Yük Altında Bükülme Dayanımı Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2007.
- TS EN 12407, Doğal Taşlar – Deney Metotları Petrografik İnceleme, , *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2019.

TS 699, Tabii Yapı Taşları – Muayene ve Deneş Metotları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2009.

TS EN 13755, Doğal Taşlar - Deneş Metotları - Atmosfer Basıncında Su emme Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2014.

TS EN 1936, Doğal taşlar - Deneş metotları – Gerçek yoğunluk, Görünür Yoğunluk, Toplam ve Açık Gözeneklilik Tayini, , *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2010

Ulusay, R., ve Sönmez, H., (2007) Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: 60, Ankara. (2. Baskı).

Url 1. Marmados Marble <http://www.marmados.com.tr/production.aspx>, Nisan 2020.

Yavuz, A.B, Elçi, H. ve Topal T.(2007). Belevi (Selçuk – İzmir) Mermerlerinin Jeolojisi ve Mühendislik Jeolojisi. *Erdoğan Yüzer Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu*, İstanbul.

Zontur, Ö.,(2012). *Zayıf Kireçtaşı Plakalarının Kimyasal Yöntemle İyileştirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Tez Merkezi veri tabanından erişildi. (Tez no. 325442).



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Arif MUTLU

Doğum tarihi ve yeri :

e-posta :

Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Lisans	Dokuz Eylül Üniversitesi /Jeoloji Mühendisliği/	2017
Lisans	Anadolu Üniversitesi /İşletme Fakültesi	2007
Ön Lisans	Ege Üniversitesi /Ege MYO /Endüstriyel Elektronik	2001
Lise	Buca Endüstri Meslek Lisesi	1999