

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KRİSTAL BOYUTUNUN MERMERLERİN
MALZEME ÖZELLİKLERİ İLE
DURABİLİTELERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Zübeyde GEZEN

Ocak, 2013

İZMİR

**KRİSTAL BOYUTUNUN MERMERLERİN
MALZEME ÖZELLİKLERİ İLE
DURABİLİTELERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ**

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı

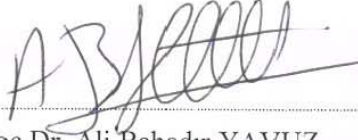
Zübeyde GEZEN

Ocak, 2013

İZMİR

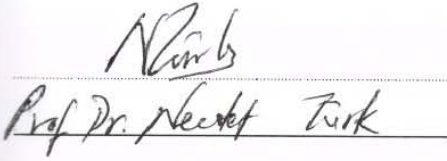
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

ZÜBEYDE GEZEN, tarafından DOÇ. DR. ALİ BAHADIR YAVUZ yönetiminde hazırlanan “KRİSTAL BOYUTUNUN MERMERLERİN MALZEME ÖZELLİKLERİ İLE DURABİLİTELERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

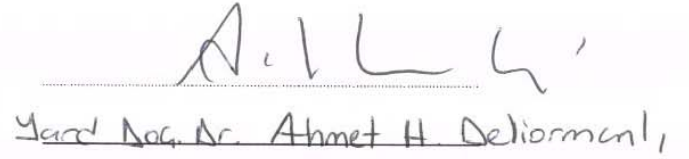


Doç.Dr. Ali Bahadır YAVUZ

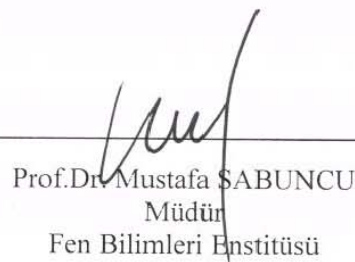
Yönetici



Jüri Üyesi



Jüri Üyesi



Prof. Dr. Mustafa SABUNCU
Müdür
Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŐEKKÖR

Bu alıŐma, bir dizi durabilite deneyi çerçevesinde yaklaşık bir yıllık bir laboratuvar çalıŐması sonucunda hazırlanmıştır. Çalışma için gerekli mermerler Torbalı'da bulunan Eminoğlu ve mermer fabrikalarından temin edilmiŐ ve deneyler için gerekli numuneler Dokuz Eylöl Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği Laboratuvarında hazırlanmıştır.

Yine bu çalışma boyunca desteğini benden esirgemeyen, değerli hocam Doç. Dr. A. Bahadır YAVUZ'a sabrı ve yardımları için çok teŐekkör ederim. Ayrıca katkılarından dolayı Prof.Dr. Necdet TÜRK, Yrd. Doç.Dr. İsmail İŐİNTEK ve Yrd. Doç.Dr. Cüneyt AKAL'a teŐekkör borç bilirim.

Numunelerin hazırlanması ve laboratuvar çalışmaları sırasında bana çok yardımcı olan Cemalettin PINARBAŐI' na ve kardeŐim Feride GEZEN 'e, tüm öğrenim hayatımda bana hep destek olan annem Sevi GEZEN ve babam Süleyman GEZEN' e sonsuz teŐekkör ederim.

Zübeyde GEZEN

KRİSTAL BOYUTUNUN MERMERLERİNİN MALZEME ÖZELLİKLERİ VE DURABİLİTELERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

ÖZ

Bu çalışmada, mermerlerin kristal boyu ve dokusuna bağlı olarak malzeme özellikleri ve durabiliteleri araştırılmıştır. Bu çalışma kapsamında Muğla bölgesinin çeşitli seviyelerinden farklı kristal boyutuna sahip örnekler toplandı. Deneysel testler için prizmatik boyutlarda örnekler hazırlandı. İlk olarak numunelerin minerolojik, petrografik, kimyasal, fiziksel ve mekanik gibi malzeme özellikleri belirlendi. İkinci aşamada laboratuvarında donma ve çözünme, ıslanma ve kuruma, tuz kristallenmesi (Na_2SO_4 , MgSO_4) gibi hızlandırılmış ayrıştırma testleri yapıldı ve bu testler sonrasında malzeme özelliklerindeki değişimler belirlendi. Çalışmanın son aşamasında ise farklı durabilite yöntemleri kullanarak mermerlerin durabilite özellikleri değerlendirildi.

Bu çalışmanın sonucunda ise, iri ve orta kristal boyutuna sahip mermerlerin, ince kristalli mermerlere göre hızlandırılmış ayrıştırma testlerinden daha fazla etkilendiği görülmüştür.

Anahtar sözcükler: Muğla mermerleri, durabilite, hızlandırılmış ayrıştırma testleri

GRAIN SIZE INFLUENCES ON THE MATERIAL PROPERTIES AND DURABILITY OF MARBLES

ABSTRACT

In this study, durability and material properties of marbles depending on crystal size and texture are investigated. In this study, the samples were collected from diverse layers, as having three different crystal sizes in Muğla region. These samples were prepared as prismatic dimension for experimental tests. First, material properties of specimens, which are mineralogical, petrographic, chemical, physical and mechanical, were determined. In the second stage, accelerated weathering tests, such as freezing and thawing, wetting and drying, salt crystallization (Na_2SO_4 , MgSO_4) were performed in laboratory condition and the changes of their material properties were determined after the weathering tests. The last stage of this study durability properties of marbles have been assessed by using different durability determination methods.

As a result of this work, the coarse and moderate crystal sized marbles have appeared to be more affected from the accelerated weathering tests than fine crystal sized marbles.

Keywords: Mugla marbles, durability, accelerated weathering tests.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ SINAVI SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	v
BÖLÜM BİR – GİRİŞ	1
1.1 Amaç ve Yöntem.....	1
BÖLÜM İKİ – ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	4
BÖLÜM ÜÇ – GENEL JEOLJİ.....	10
3.1 Bölgenin Genel Jeolojisi	10
BÖLÜM DÖRT – MİNEROLOJİK ÖZELLİKLER.....	15
4.1 İri Kristal Boyutuna Sahip Mermerler.....	15
4.2 Orta Kristal Boyutuna Sahip Mermerler	16
4.3 İnce Kristal Boyutuna Sahip Mermerler	17
BÖLÜM BEŞ – KİMYASAL ÖZELLİKLER	20
BÖLÜM ALTI – FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLER.....	24
6.1 Giriş	24
6.2 Fiziksel Özellikler	24
6.2.1 Özgül Ağırlık.....	25

6.2.2 Porozite	26
6.2.2.1 Görünür Porozite	27
6.2.2.2 Toplam Porozite	28
6.2.3 Birim Hacim Ağırlık	29
6.2.4 Ağırlıkça Su Emme	31
6.2.5 Boşluk Oranı.....	32
6.2.6 Ultrasonik Ses Hızı Tayini	33
6.3 Mekanik Özellikler	34
6.3.1 Tek Eksenli Basınç Direnci Deneyi	35
6.3.2 Darbe Direnci	38
6.3.3 Böhme Yüzeysel Aşınma Kaybı	40
6.3.4 Nokta Yükleme Dayanım İndeksi	42
6.3.5 Shore Sertliği	45
BÖLÜM YEDİ – DURABİLİTE ÖZELLİKLERİ	47
7.1 Giriş	47
7.2 Hızlandırılmış Ayrıştırma Deneyleri.....	48
7.2.1 Islanma Kuruma Deneyi.....	49
7.2.1.1 Islanma-Kuruma Deneyi Sonrası Muğla Mermerlerinin Kütle Kaybı.	56
7.2.1.2 Islanma-Kuruma Deneyi Sonrası Muğla Mermerlerinin Direnç Kaybı	58
7.2.2 Donma Çözünme Deneyi	61
7.2.2.1 Donma Çözünme Deneyi Sonrası Muğla Mermerlerinin Kütle Kaybı	69
7.2.2.2 Donma Çözünme Deneyi Sonrası Muğla Mermerlerinin Direnç Kaybı	71
7.2.3 Tuz Kristallenmesi Deneyleri.....	73
7.2.3.1 Na ₂ SO ₄ Tuz Kristallenmesi Deneyi	75
7.2.3.2 Na ₂ SO ₄ Tuz Kristallenmesi Deneyi Sonrası Muğla Mermerlerinin Kütle Kaybı	81

7.2.3.3 MgSO ₄ Tuz Kristallenmesi Deneyi.....	86
7.2.3.4 MgSO ₄ Tuz Kristallenmesi Deneyi Sonrası Muğla Mermerlerinin Kütle Kaybı	92
7.2.3.5 Hızlandırılmış Ayrıştırma Deneyleri Sonrası Ultrasonik Ses Hızı Tayini	97
7.3 Durabilite Değerlendirme Testleri.....	104
7.3.1 Kuru ve Suya Doygun Tek Eksenli Basınç Direnci Oranı.....	104
7.3.2 Doygunluk Katsayısı	106
7.3.3 Statik Kaya Durabilite İndeksi	107
7.3.4 Gözenek Boyutu Tayini.....	109
BÖLÜM SEKİZ – SONUÇLAR.....	113
KAYNAKLAR	122
EKLER.....	131

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Amaç ve Yöntem

Bu çalışma Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı yüksek lisans projesi kapsamında hazırlanmıştır. Mermerlerin kristal boyutlarının, malzeme ve durabilite özellikleri ile değişik çevresel koşullar altındaki davranışları üzerindeki etkisinin araştırıldığı bu çalışmada Muğla yöresinde iki farklı stratigrafik seviyeden üretilen farklı kristal boyutuna sahip üç ayrı mermer türü kullanılmıştır.

Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği laboratuvarında yürütülen bu çalışmada kullanılmak üzere, Muğla mermerlerinin işlendiği üç ayrı mermer fabrikasından alınan 10×70×100 cm boyutlarında üç adet kaya bloğundan, laboratuvar deneylerinde kullanılmak üzere 7×7×7 cm, 5×5×5 cm, 4×4×4 cm boyutlarında küp kaya numuneleri üretilmiştir.

Çalışmanın ilk aşamasında mermer numunelerinden üretilen ince kesitler polarizan mikroskop altında incelenerek mermerlerin minerolojik özellikleri ile kristal boyu dağılımları, ortalama kristal boyutları ile kristal sınırı ilişkileri araştırılmıştır. Minerolojik ve petrografik özellikleri belirlenen mermer numunelerinin kimyasal bileşim analizi Kanada ACME Laboratuvarı'nda ICP-MS (Kütle Spektrometresi) kullanılarak yapılmıştır.

Çalışmanın ikinci aşamasında mermer numuneleri üzerinde yürütülen laboratuvar deneyleri ile mermerlerin doymuş ve kuru birim hacim ağırlığı, görünür ve toplam porozite, gözenek boyu dağılımı, özgül ağırlık, ağırlıkça ve hacimce su emme, boşluk oranı, doymuşluk katsayısı ve sonik hız iletkenliği gibi fiziksel özellikleri ile tek eksenli basınç, darbe dayanımı, nokta yükleme dayanım indeksi, Shore sertliği ve Böhme yüzeysel aşınma kaybı gibi mekanik özellikleri saptanmıştır.

Çalışmanın üçüncü aşamasında mermerlerin petrografik, fiziksel, mekanik özelliklerine bağlı olarak değişen durabilite özellikleri kuru ve doygun basınç direnç oranı, doygunluk derecesi ve statik kaya durabilite indeksi yöntemleri kullanılarak belirlenmiştir. Mermerlerin ortalama gözenek boyutu ve gözenek boyu dağılımları Orta Doğu Teknik Üniversitesi Merkez Laboratuvarı'nda Poremaster 60 cihazı kullanılarak hesaplanmıştır.

Çalışmanın son aşamasında üç farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin değişik ayrıştırıcı çevresel koşullar altındaki davranış farklılıklarının saptanması amacıyla taze mermer numuneleri üzerinde ıslanma-kuruma, donma-çözünme, $MgSO_4$, Na_2SO_4 gibi hızlandırılmış ayrıştırma deneyleri uygulanmış ve her 10 periyotta bir mermer numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar, mermerlerin orijinal halde sahip oldukları fiziksel ve mekanik özellikleri mukayese edilmiştir.

Çalışmada kullanılan üç farklı kristal boyuna sahip olan beyaz renkli Muğla mermerleri göreceli olarak ince, orta ve iri kristalli mermerler olarak isimlendirilmiştir.

Tez kapsamında yürütülen laboratuvar deneyleri ve uyulan standartlar Tablo 1.1'de verilmiştir.

Tablo 1.1 Çalışma süresince yapılan deneyler ve uyulan standartlar

Analiz	Deney türü	Uyulan Standartlar
Minerolojik Analiz	Polarizan Mikroskop	-
Kimyasal Analiz	Atomic Absorption	-
Fiziksel Özellikler	Kuru Birim Hacim Ağırlık	TS 699
	Islak Birim Hacim Ağırlık	TS 699
	Özgül Ağırlık	TS 699 (1987)
	Görünür (Etkin) Porozite Su Emdirme Yöntemi İle	TS EN 1936
	Görünür (Etkin) Porozite Cıvalı Porozimetre İle	ASTM D 4404
	Toplam Porozite	TS EN 1936
	Ağırlıkça Su Emme	TS 13755
	Vakum Sonrası Ağırlıkça Su Emmesi	TS 13755
	Boşluk Oranı	TS 699
	Sonik Hız	ISRM 1981
Mekanik Özellikler	Tek Eksenli Basınç Direnci	BS EN 1926
	Nokta Yükleme İndeksi	ISRM (1985)
	Böhme Yüzeysel Aşınma Kaybı	TS 14157
	Shore Sertliği	ISRM (1978)
	Darbe Direnci	TS 699 (2009)
Durabilite Özellikleri	Doygunluk Katsayısı	RILEM 1980
	Gözenek Boyu Dağılımı	Cıvalı Porozimetre
	Suya Doymun Tek Eksenli Basınç Direnci	TS1926
	Kuru Tek Ekseni Basınç Direnci	TS1926
Hızlandırılmış Ayrıştırma Testleri	Donma-Çözünme Deneyi	TS 699
	Tuz Kristallenmesi Deneyi(MgSO ₄)	TS EN 12370
	Tuz Kristallenmesi Deneyi (Na ₂ SO ₄)	TS EN 12370
	Islanma-Kuruma Deneyi	RILEM 1980

BÖLÜM İKİ

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

(Thomachot-Schneider , C., Gommeaux, M., Fronteau, G., Oguchi, C.T., Eyssautier S., Kartheuser, B., 2002). Bir grup araştırmacı Belçika’da bulunan Orval Manastırı üzerinde bir çalışma yürütmüşlerdir. Çok eski bir tarihe dayanan Orval Manastırı Orta Çağda ve günümüzde birçok zarar görmüştür. Belli zamanlarda restorasyon çalışmaları yapılan manastır bataklıklarla çevrili bir vadide yer almaktadır. Bulunduğu konum itibariyle çevresel faktörlerden ve meteorolojik değişimlerden oldukça etkilenen manastırın mimarisi ve dış cephesi bozunmaya başlamıştır. Başlıca etkenlerin manastırın üzerinde bulunduğu kapiler yükselme zonları, biyolojik aktivite, oryantasyon ve tuz kristallenmesi olduğu saptanmıştır. Manastıra en çok zarar veren etkinin ise kapiler yükselme zonlarıyla sistematik olarak sürekli beslenen tuz kristallenmesinin olduğu belirlenmiştir. Mikroskobik çalışmalar ve kimyasal analiz sonuçları, Na_2SO_4 tuzlarının, manastırın yapımında kullanılan kireçtaşlarının tabakalar halinde ayrılmasına ve parçalanmasına sebep olduğunu göstermiştir. Ayrıca manastırda kullanılan kireçtaşlarının çıplak gözle görülebilen boşluklar içerdiği (200 μm) ve yüksek poroziteli bu kireçtaşlarının tuz etkisine karşı daha dayanımsız bir jeolojik yapıya sahip oldukları belirlenmiştir.

(Balboni, E., Espinosa-Marzal, R.M., Doehne, E., Scherer, G.M., 2011). Bu çalışmada MgSO_4 tuzlarının yer altı suyu ve yağışlarla taşlara nüfuz edip kuruması sırasında oluşturduğu hasarın büyüklüğü incelenmiştir. Arazi gözlemleri ve laboratuvar çalışmaları üzerinde yoğunlaşan bilim insanları MgSO_4 tuzlarının doğal taşların bozunmasıyla ilişkili olduğunu kesin sonuçlarla ispatlamışlardır. Doğal taşlar üzerinde termodinamik analizler yapılarak numunelerin içinde bulunan tuz solüsyonun kuruması ile kristalleşen MgSO_4 tuzlarının taşların kabarmasına ve kirli görünmesine sebep olduğu belirlenmiştir. Tuzun kayaca yerleştikten sonra gelen yağışların, kayaçta bulunan tuzların dehidrasyonu sonucu bir gerilim meydana getirdiği görülmüştür. Bu sebeple ıslanma kuruma süreçleri sonunda tuzun hidratasyonu ve kristallenmesi, doğal taşların ciddi bir hasara uğramasına ve bozunmasına yol açarlar. Tuz içeriği fazla olan solüsyonlar doğal taşları daha çabuk

tahrip ederken tuz içeriği az olan solüsyonlar taşların yorgun görünmesine sebep olurlar. Bu çalışmada tespit edilen bir diğer sonuç ise $MgSO_4$ içeren solüsyonların Na_2SO_4 içerikli diğer sıvılara oranla taşlar üzerinde daha hızlı bir etki yaratmasıdır.

(Ondrasina, J., Kirchner, D., Siegesmund, S., 2002). Farklı bileşimlere ve kayaç yapılarına sahip Palissandro, Sterzing ve Carrara mermerleri üzerinde inceleme yapılmıştır. Araştırmacılar bu mermerlerin -40 C° ile 60 C° lik sıcaklık aralığında gelişen termal dilatasyonu ölçmek için deneyler yapmışlardır. Uzun süreli donma çözünme deneyleri sonucunda hesaplanan Young modülü yardımıyla mermerlerdeki bozunma şiddeti hesaplanmaya çalışılmıştır. Kuru ve suya doyurulmuş numunelerin kullanıldığı deneyde ısınma ve soğuma süreçlerinin kayaçların malzeme özellikleri üzerinde önemli bir etki yarattığı tespit edilmiştir. Termal genleşme ve anizotropi, kalsit ve dolomitin termal genleşme altındaki davranışları ve bu minerallerin kristallerinin oryantasyonları ile açıklanabilir. Taze numuneler 204 seferlik donma çözünme deneyine tabi tutulmuştur. Carrara mermerlerinin Young modülünde azalma, porozitesinde ise artma gerçekleşmiştir. Kalsitik Sterzing ve Palissandro mermerlerinin Young modülündeki azalma ise Carrara mermerine oranla daha az olmuştur. Ayrıca sıcaklıkla ilgili deneyler sonucunda az miktarda fogopit içeren, paralel foliasyona sahip ve hidrik genleşmesi az olan Palissandro mermerlerinin boylarında ve gerilmelerinde farklılıklar meydana gelmiştir. Kristalleşen buzun büyümesi ile oluşan gerilme, tane sınırlarında kohezyon kaybına ve ileri derecede mikro çatlakların oluşmasına sebep olmuştur. Bu sebeple de her üç mermer türünde direnç kaybı gelişmiştir. Tüm bu deneyler sonucunda ise ısınma ve soğumanın doğal taşlar ve özellikle mermerler üzerinde bozunma süreçlerinin gelişmesini tetikleyen bir etki yarattığı tespit edilmiştir.

(Cassar, J., 2002). Bu çalışma Güney Avrupa'daki binalarda kullanılan Tersiyer yaşlı depolardan elde edilen ve Globugerina içeren kireçtaşlarının bozunma mekanizmalarının incelenmesi amacıyla yapılmıştır. Data sonuçlarına bakıldığında bozunma süreçlerinin çevresel faktörlerin kombinasyonundan ve kayacın litolojisinden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Globugerinalı kireçtaşlarının kullanıldığı Malta adalarından temin edilen, aynı çevresel koşullara sahip ancak daha çok bozulan Soll isimli kireçtaşı ve bu taşa oranla daha sağlam olan Franka isimli kireçtaşları incelenmiştir. Bu Globugerinalı iki kireçtaşının jeomekanik, minerolojik,

fiziksel özellikleri ve kimyasal bileşimleri birbirinden farklıdır. Her iki kireçtaşının bozunmasında denizel kökenli tuzların birincil parametre olarak ortaya çıktığı görülmüştür. Bu denizel tuzların özellikle toplam porozitesi düşük ancak yüksek oranda küçük boşluklar içeren Soll isimli kireçtaşı üzerinde daha belirgin bir deformasyona sebep olduğu tespit edilmiştir. Soll olarak adlandırılan kireçtaşları iri taneli minerallere sahip ve fosil odaları dolgulu olduğu, Franka kireçtaşlarının ise iri ve orta taneli minerallere sahip ve fosil odalarının boş olduğu saptanmıştır. İncelenen kireçtaşları deniz seviyesinin 100 m aşağısında oluşmuşlar ve bu düşük enerjili ortamda oluşan kireçtaşlarının kil ve karbonat sedimantasyonun yoğun olarak gerçekleştiği koşullar itibariyle toplam porozitesi ve gözenek boyutu düşüktür. Bütün bu oluşum koşulları sebebiyle yüksek oranda küçük gözeneğe sahip kireçtaşları eriyebilen tuzların kayaca kolayca nüfuz etmesi ve bu döngünün sürekli tekrarlanması sonucunda bozunmaya maruz kalırlar. Dolayısıyla küçük gözenek boyutuna sahip bu kireçtaşları zamanla yeniden kristalleşen tuzların etkilerine karşı daha dayanımsız hale gelirler.

(Zeisig, A., Sigesmund, S., Weiss, T., 2002). Mimaride yapıtaşı ve süsleme amaçlı kullanılan mermerler doğal ortamlarından çıkarıldıklarında bir çok faktörün işin içine girdiği kompleks bir bozunma sürecine girerler. Termal parametreler sebebiyle mermerler üzerinde oluşan fiziksel ayrışma ve deformasyon bozunmanın başlıca sebebi olarak tartışılmaktadır. Bu sebeple jeolojik özellikleri iyi bilinen ve birbirinden farklı 18 mermer üzerinde 20 C° ile 85 C° lik sıcaklık aralıklarında deneyler yapılmıştır. 20 C°, 40 C°, 60 C° ve 85 C° sıcaklıklarında ısınma ve soğuma süreçleri uygulanan mermerlerin kalsit ve dolomitten oluştuğu ve ortalama kristal boyutlarının 50 µm ile 3mm arasında değiştiği, tane sınır geometrileri granoblastik yapı ile tek granüler yapı şeklinde farklılaştığı tespit edilmiştir. Ayrıca minerallerin yönelimleri ve şekilleri de farklıdır. Mermerlerin bütün özellikleri belirlendikten sonra ısınma ve soğuma deneyleri yapılmış ve termal süreçlerin mermerler üzerinde olumsuz etkiler yarattığı belirlenmiştir. Ayrıca kayacın dokusunun hesaba katılmadan yapılan bir değerlendirilmenin doğru olamayacağı sonucuna varılmıştır. Kayacın dokusu termal genleşme şiddeti ve minerallerin yönelimleri üzerinde başlıca bir kontrol sağlar. Bunun yanında mermerlerin kimyasal bileşimleri, tane boyu ve tane sınır geometrileri, mermerlerin oluşumundan sonra gelişen mikro çatlakların da

içinde bulunduğu kompleks litoloji, anizotropik termal genleşme sebebiyle oluşan ileri kohezyon kaybını açıklayabilecek birçok faktörün bulunduğunu göstermiştir.

(Malaga-Starzec, K., Lindqvist, J.E., Schouenborg, B., 2002). Tarihi anıtların ve doğal yapıtaşların yapılmış çoğu binanın güncel durumları açıkça gösteriyor ki bu taşlar günlük ve mevsimsel sıcaklık değişimlerinin oluşturduğu ayrışma etkisi karşısında tamamen korumasızdırlar. Bu çalışmada biri kalsitik biri dolomitik olmak üzere iki farklı yapıya sahip mermerin sıcak etkisi karşısında porozitelerindeki değişim incelenmiştir. Numuneler 40 C° ile 200 C° arasında değişen sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde 40 C° ile 50 C° arasında mermerlerde intergranüler dekohezyonun başladığı tespit edilmiştir. Avrupa ülkelerinde yaz aylarında binaların yüzeyindeki sıcaklık kolaylıkla 40 C° ile 60 C° arasına yükselebilir. Deney sonuçlarına dönüldüğünde kalsitik karakterdeki mermerin dolomitik karakterli mermere göre daha hassas olduğu, sıcaklıktan daha fazla etkilendiği ve porozitesinde dolomit mermere oranla daha fazla bir artış yaşandığı belirlenmiştir. Bununla birlikte sıcaklık etkisi ile gerçekleşen bozunmanın şiddetini kayacın minerolojik, petrografik, gözenek boyutunun da etkilediği gözlenmiştir. Aynı zamanda sıcaklığın ayrışma süreçlerine yardımcı olduğu ve intergranüler dekohezyon üzerinde önemli bir etki yarattığı tespit edilmiştir.

(Weiss, T., Rasolofosoan, P.N.J, Siegesmund, S, 2002). Mermerler çoğunlukla sınırlı durabilite göstermelerine rağmen mimaride yapıtaşı olarak sıklıkla kullanılırlar. Bu sebeple farklı dokulara sahip değişik türdeki mermerlerin bozunmaya karşı korunması amacıyla mermerlerin doku ilişkileri ve bozunma sırasındaki ultrasonik ses hızları arasındaki ilişki incelenmiştir. Maksimum poroziteye sahip (% 1'den fazla) kuru numunelerin ultrasonik ses hızlarının ses 1km/sn'den 6 km/sn ye çıktığı saptanmış. Kalsitik ve dolomitik mermerlerin mineralleri anizotropik karakterli ve yaygın kafes şekilli oryantasyon göstermeleri sebebiyle ultrasonik ses hızı değerlerinin de değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Taşların oluşumundan sonra ve sıcaklık farklılıkları sebebiyle oluşan mikro çatlaklar da bu anizotropiyi yükseltme eğilimindedir. Özellikle Lasa mermerlerinde önceden oluşmuş mikroçatlaklar ultrasonik ses hızı değişimindeki anizotropiyi açıklar niteliktedir. Birçok mermer 100 C° nin üzerindeki bir sıcaklıktan termal olarak fazla etkilenir ve ultrasonik ses hızında 1km/sn azalma gerçekleşir. Modellemeler de

göstermiştir ki 0,005 mm ve daha küçük boyutlara sahip çatlakların yoğun bulunduğu mermerlerde ultrasonik ses hızı değerleri düşmüştür. Ayrıca termal etki sebebiyle genelde düşük poroziteye sahip mermerlerin bu etki sonucu ayrışma proseslerinin geliştiği ve porozitelerinin de arttığı görülmüştür.

(Ruedrich, J., Rieffel, Y., Pirskawetz, S., Alpermann, H., Joksch, U., Gengnagel, C., Weise, F., Plagge, R., Zhao, J., Siegesmund, S., 2011). Schlossbrucke, Carrara mermerlerinde yapılmış heykel ve tarihi anıtların bulunduğu, UNESCO dünya kültür mirası kapsamında koruma altına alınmış, Berlin'in merkezinde bulunan tarihi bir şehirdir. Bu tarih taşan heykellerin bulunduğu anıtlar üzerinde günümüzde hayli ciddi deformasyonların geliştiği görülmektedir. En önemli bozunma ise çoğu mermer tipinde karakteristik olarak gözlenen termal değişimler sonucu açığa çıkan mikro çatlaklardır. Carrara mermerlerinde görülen bozunma ise ileri derecede gelişen penetratif dokusal parçalanmalardır. İlerlemiş doku dekohezyonu heykel yüzeylerindeki kalsit kristallerinin şeker şeklinde birbirinden ayrılmasına sebep olmaktadır. Ayrıca mermer yüzeylerinde kimyasal çözünme prosesleri sonucu kabarmalar meydana gelmektedir. Sayısız restorasyon girişimlerine karşın bu objeler üzerinde önemli bir kirlenme gözlenmektedir. Civardaki yoğun araç trafiği (her gün ortalama 32.000 araç) ise mermerlerin bozunmasında birincil parametre olarak ortaya çıkmaktadır. Gaz bileşikleri, kurum, is, ince partiküller, lastik partiküller gibi katı materyaller, mikrobiyolojik koloniler mermer yüzeylerindeki kirlenmenin ve tuzlanmanın ana sebebi olarak ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte bozunmanın şiddetinin kış aylarında arttığı tespit edilmiştir. Bu aylardaki sıcaklık değişimlerinin ve hava kirliliğinin yanı sıra bu bozunmanın heykellerin yapımında kullanılan mermerlerin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinden de kaynaklandığı belirlenmiştir.

(Ruiz-Agudo, E., Lubelli, B., Sawdy, A., Van Hees, R., Price, C., Rodriguez-Navarro, C., 2010). İspanya'da bulunan San Jeronimo Manastırı içinde bulunduğu çevresel ortam sebebiyle tahrip olmaya başlamış ve bu çalışmada manastırın dış cephesinde gerçekleşen bozunmanın nedenleri araştırılmıştır. Manastırın yapımında kullanılan biomikritik kireçtaşları ve duvar boyası üzerinde oluşan tuz kristallerinin bu yapıya verdiği zararı tespit etmek için bir dizi test yapılmıştır. Termodinamik simülasyon, çevreyi tarayan monitörler, tuz ve nem analizleri tekniklerinin

kombinasyonu ile tuzun manastır üzerinde yarattığı problemlerin etkileri araştırılmıştır. Tuzun yoğun olarak bulunduğu örnekler toplanmış ve tuzun iklim şartları sonucu oluşan az miktarda klorit, nitrat ve jips ile birlikte epsomit formulu $MgSO_4$ olduğu tespit edilmiştir. Termodinamik simülasyon sonuçlarına göre tuzun bahar aylarından yaz aylarına doğru verdiği zararın kış aylarından bahar aylarına geçerken verdiği zarardan farklı olduğu sonucu çıkarılmıştır. Boyanmamış duvarlarda tuzların serpilmiş halde olduğu ve manastırın duvarlarında ciddi tahribatlar yarattığı belirlenmiştir.

(Yavuz, A.B., Topal, T., 2007). Ticari olarak işletilen ocaklardan elde edilen ve farklı dokusal özelliklere sahip altı Türk mermerinin, termal etkiye ve bununla birlikte tuz kristallenmesine karşı gösterdikleri direnci belirlemek amacıyla bir dizi yaşlandırma deneyi yapılmıştır. Yaşlandırma testlerinden önce ve sonra mermerlerin ağırlık, kuru ve doymuş birim hacim ağırlık, efektif porozite, ağırlıkça su emme, kuru ve suya doymuş ultrasonik ses hızları ve tek eksenli basınç direnci, Brazilian çekme gerilmesi, eğilme direnci, aşınma değeri ve darbe direnci gibi fiziko-mekanik özelliklerindeki oluşan değişiklikler saptanmıştır. Sonuçlar, mermerlerin tane boyları, tane sınırları ve tane boyu dağılımları ile birlikte değerlendirilerek, yaşlandırma testlerinden sonra tek tip bir değişme eğilimi gözlenmemiştir. Ağırlıkça su emme, efektif porozite, tek eksenli basınç direnci, sonik hızları ve aşınma değerleri mermerlerin kalite ve bozunma değerlerinin saptanması için iyi sonuçlar verirken, kütle kaybı, birim hacim ağırlık, Brazilian çekme gerilmesi ve darbe direnci deney sonuçları sağlıklı veriler vermemiştir. Sonuç olarak yaşlandırma testlerinden sonra küçük kristal boyutuna ve düzensiz tane sınırlarına sahip mermerlerin iri kristalli mermerlere nazaran bozunmaya karşı daha dirençli oldukları belirlenmiştir.

BÖLÜM ÜÇ

GENEL JEOLJİ

3.1 Bölgenin Genel Jeolojisi

Menderes Masifi, Türkiye'nin batısında Kuzeydoğu-Güneybatı uzanımlı olarak geniş bir alana yayılmış metamorfik kayalardan oluşmaktadır. Bu masif, üst kısımda güneye doğru uzanan Likya Napları ve kuzeyde İzmir-Ankara Zonu'nun bulunduğu melanj kayaları ile birlikte gnays, mikaşistler ve tabanda mermer yataklarının yer aldığı bölgesel metamorfizma geçirmiş kayalar içerir (Güngör ve Erdoğan, 2001; Güngör ve Erdoğan, 2002). Menderes Masifi, Alp-Himalaya kuşağının kuzey yönlü devamı olan Anatolit-Torit platformuna dahildir ve bu platform Triyas zamanında parçalanıp, yayılmış ve Neotetyen okyanusu içerisinde dallanarak açılmıştır (Şengör ve Yılmaz, 1981). Daha sonra Geç Kretase- Erken Eosen zamanında ana menderes metamorfizması, Batı Anadolu'da Menderes Masifi formasyonunun ve doğuda Pötürge ve Bitlis Masifi'nin gelişmesine sebep olmuştur. Yine bu dönemde Anatolit-Torit platformunda itme ve daralma rejimi gelişmiş ve buna bağlı olarak Menderes Masifi üzerindeki Likya Napları ve İzmir-Ankara Zonu içerisinde yer değiştirmeler meydana gelmiştir.

Bölgenin stratigrafisine bakıldığında Menderes Masifinin üst seviyelerindeki örtü serileri, kırıntılı ve karbonatlı kayaların ardalanması ile gelişen bir platformu temsil eder. Platform tipi mermer Geç Kretase'den Triyas'a kadar bir zaman aralığını içerisinde ardalanma gösterir ve bunlarında üzerinde Geç Kretase- Erken Eosen yaşlı fliş tipli detritik kayalar ve kırmızı pelajik mermerler bulunmaktadır (Güngör ve Erdoğan, 2002). Türkiye'nin güneybatısında yer alan Muğla bölgesi içerisindeki mermer yatakları genellikle Menderes Masifi metamorfiklerinin güneyindeki örtü serilerinin içinde uzun mercekler halinde yer alırlar.

Permo-Karbonifer yaşlı siyah mermerler sadece Ayhan Siyah Mermer Ocağı tarafından çört ve fillitlerin içerisinde küçük bir mermer merceğinden çıkarılır. Bu mermer piyasada Muğla Siyah olarak bilinir. Muğla Siyah mermeri farklı kalınlıkta kalsit bantları ve mercekler içerir. Ayrıca bu mermer bozunmuş yeşilimsi siyah renkten taze siyah renge kadar değişken bir yapı gösterir. Muğla Siyah mermerinin

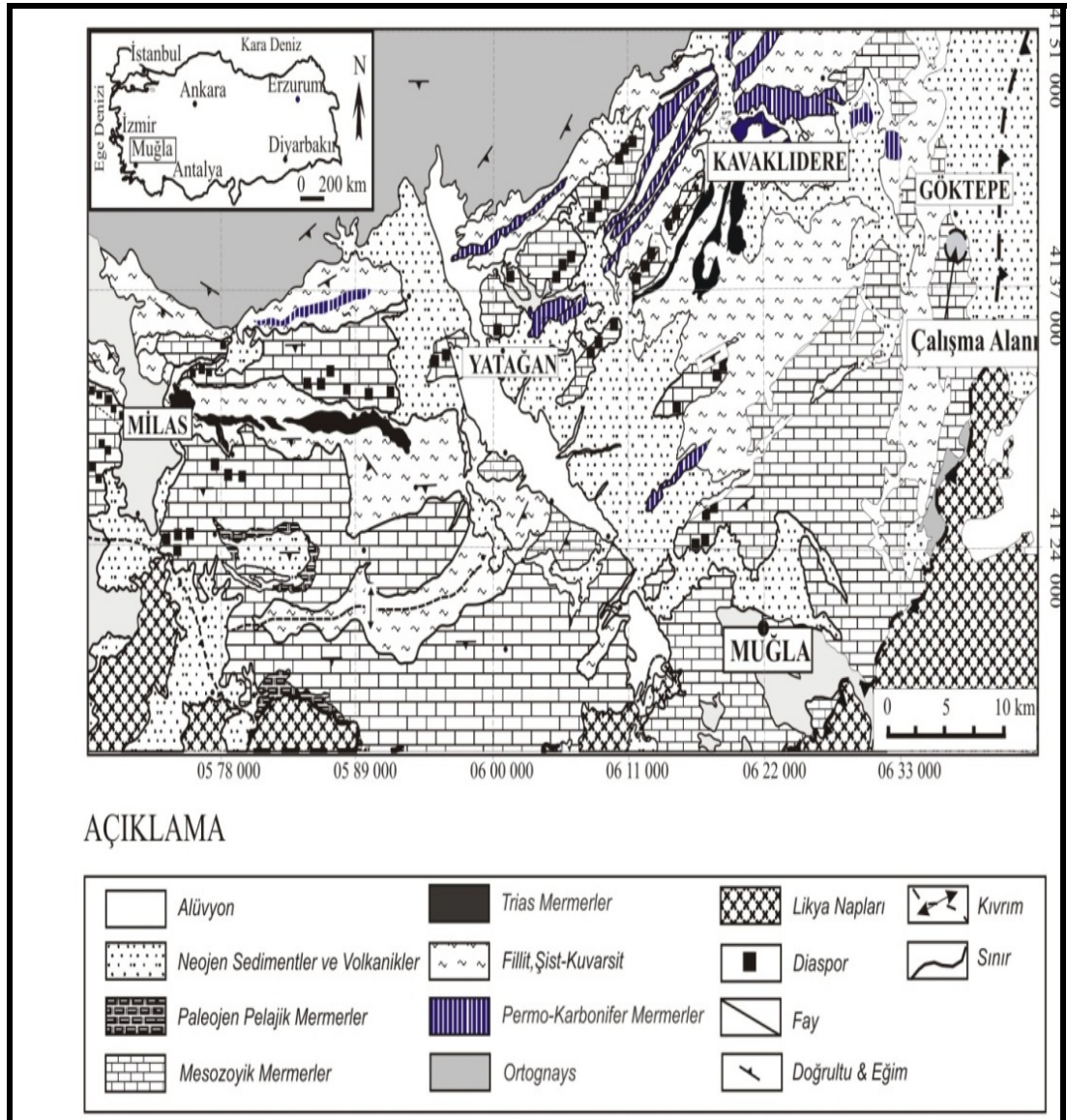
jeolojik rezervi 500,000 m³ olarak hesaplanmıştır ve ortalama 2,3×1,6×1,3 m boyutlarındaki mermer bloklarından yılda 5000 m³ lük üretim yapılmaktadır. Devamlı ve kalın bir karbonat platformu, Permo-Karbonifer yaşlı ardalanmalı seri üzerine uyumsuz olarak uzanmaktadır. Karbonat platformu, mor taban konglomerası ve meta-volkanik aratabakalı sıstlı seviyeler ve Triyas yaşlı mermer yatakları ile başlamaktadır. Triyas mermerlerinin jeolojik rezervi 20,000,000 m³ ve 1,5×1,5×0,8-2,4×2,4×0,8 m boyutlarındaki mermer bloklarının bulunduğu ocaktan yılda yaklaşık 100,000 m³ blok mermer üretimi yapılmaktadır (Yavuz, 2001; Natural Stones of Turkey, 2001). Farklı renk ve dokulara sahip Milas mermerleri, mermer endüstrisi içerisinde Milas Beyaz, Damarlı, İnci, Patlıcan, Leylak (lila) ve Limon gibi değişik isimlerle bilinir. Milas Beyaz mermeri, bozunmuş grimsi beyaz ve taze beyaz renklere sahiptir. Bu mermer yatağı çok iyi olmayan foliasyon düzlemleri bazen de patlıcan renkli damarlar içermektedir. Milas damarlı mermeri, sık mor damarlar ve eklem takımlarının farklı damarlarla kesilerek kapanması ve boşluklarının dolomitik mineraller ile çimentolanması sonucu oluşan yapıları ile Muğla Beyaz mermerinin farklılaşmış halidir. Milas Damarlı mermeri, orijinal kayacın çok geniş bir kısmına yayılmış kırıklar nedeniyle breşik görünümündedir. Breşik zonlar/bantlar, çimentolanmadan önce ve çimentolanma sırasında metamorfizma geçirerek kapanmış ince taneli karbonatlar ve Fe₂O₃ ile doldurulmuş birincil eklemlerdir. Milas İnci mermeri taze beyaz ve bozunmuş grimsi beyaz renklere sahiptir. Bu mermer grubu 1-5 cm çapında dolomit benekler içeren Milas Beyaz mermerinin farklılaşmış halidir. Dolomit beneklerinin bulunduğu bölgelerde ortalama mineral boyutu küçüktür (49-57 µm). Koyu lila renkli Milas Patlıcan mermerleri koyu mavi bantları ve iyi gelişmiş foliasyon düzlemleri içerir. Milas Leylak mermerleri mor renkli damarlar tarafından sık bir şekilde kesilmiş görünümündedir. Açık sarı renkli Milas Limon mermerleri iri kristal boyları ile Milas Beyaz mermerinin farklılaşmış halidir. Zımpara içeren Geç Kretase yaşlı mermer yatakları, Mesozoyik karbonat ardalanmalarının üzerinde bulunur ve bu yataklar yanal olarak devamlıdır. Beyaz-grimsi beyaz mermerler olarak bilinen Muğla Beyaz mermerleri, metamorfizma geçirmiş zımpara içeren Kretase karbonat ardalanmalarının üst seviyelerinden çıkarılır. Muğla Beyaz mermerlerinin jeolojik rezervi 100,000,000 m³, ocağın yıllık üretimi ise 100,000 m³ olarak hesaplanmıştır. Mermer blokları ortalama 2,5×1,5

$\times 1,5- 3,0 \times 1,7 \times 1,7$ boyutlarında üretilmektedir (Yapı, 2003). Muğla Beyaz mermeri granoblastik dokuda ve tane boyutu $600-768 \mu\text{m}$ olan % 100 kalsit minerallerinden oluşmaktadır. Zımpara ve çakıtaşı içeren stratigrafik seviyeler dolomit bantlar ve merccekler, zımpara ve kalsit merccekler ve çeşitli kalınlıklarda şist aratabakaları içerir. Zımpara merccekleri ve saçılmış halde zımpara taşıyan ocaklar üretime başladıktan kısa süre sonra ocağı terk etmek zorunda kalmaktadırlar. Çünkü saçılmış haldeki zımparalar aşırı sertlikleri sebebiyle telle kesim sırasında problemler yaratmaktadırlar. Paleosen çörtler içeren kırmızı pelajik kireçtaşlarının bulunduğu Kızılağaç formasyonu, Menderes Masifinin güneyinde bulunan Geç Kretase karbonat platformunun üzerinde uyumlu halde uzanmaktadır. Paleosen mermerler kırmızı, koyu kırmızı ve bordo renklidir ve piyasada Ege Bordo olarak bilinir. Ege Bordonun jeolojik rezervi $3,000,000 \text{ m}^3$ ve ocağın yıllık üretim kapasitesi $12,500 \text{ m}^3$ tür. Mermer blokları ortalama $1,5 \times 1,5 \times 8,0-2,5 \times 1,8 \times 1,2 \text{ m}$ boyutlarında üretilmektedir. Paleosen mermerler granoblastik dokuya sahip ve kuvars, amfibol, muskovit, epidot mineralleri ile birlikte kalsit mineralleri içerir (Yavuz, 2001; Natural Stones of Turkey, 2001).

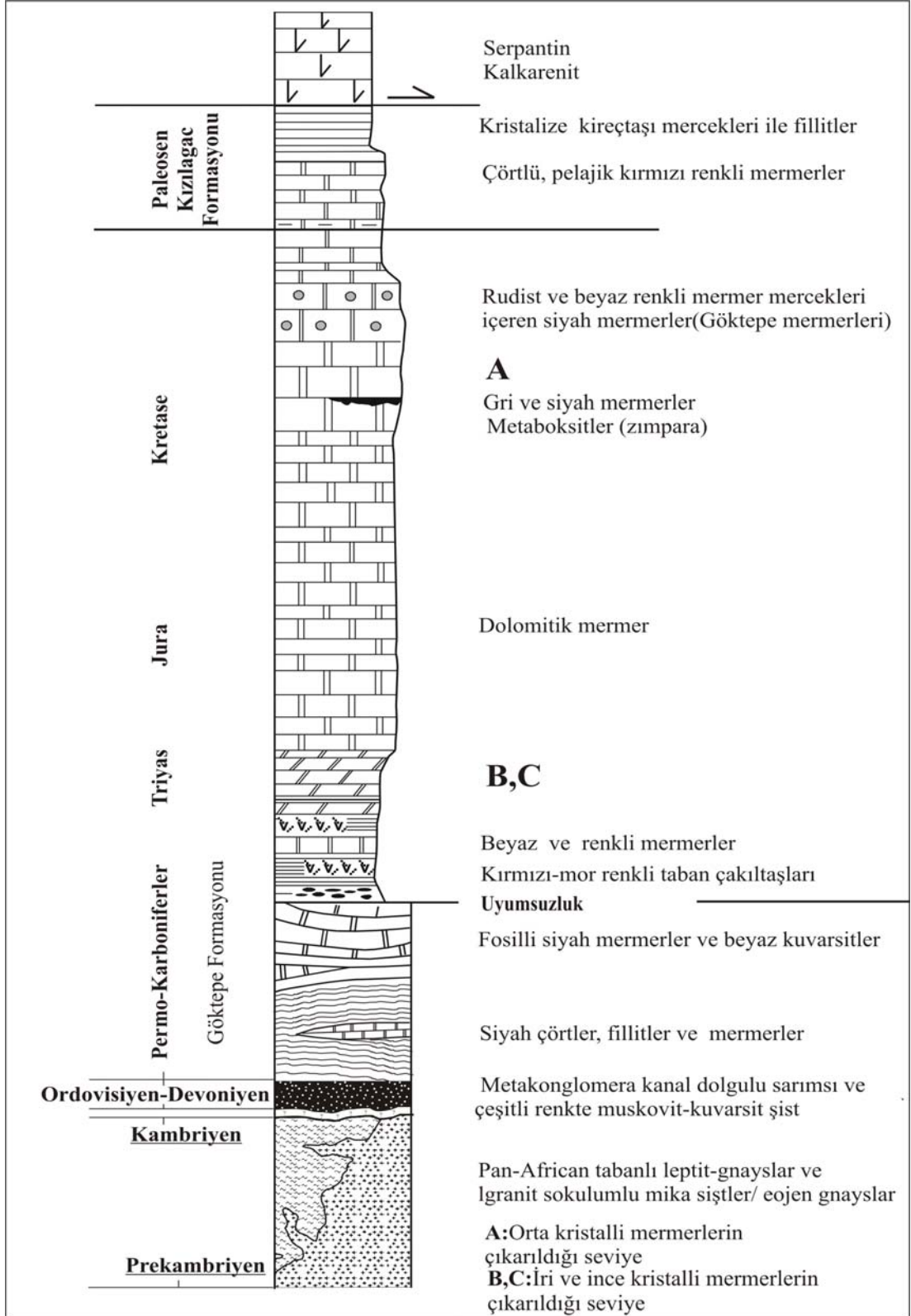


Şekil 3.1 Çalışmada kullanılan mermerlerin yer bulduru haritası (Güngör ve Erdoğan, 2001;

Yavuz ve diğerleri, 2005).



Şekil 3.2 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin çıkarıldığı bölgenin jeolojik haritası (Candan ve Dora, 1998).



Şekil 3.3 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin çıkarıldığı bölgenin genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti (Konak ve diğerleri., 1987; Dora ve diğerleri, 2001 ve Güngör ve Erdoğan, 2002)

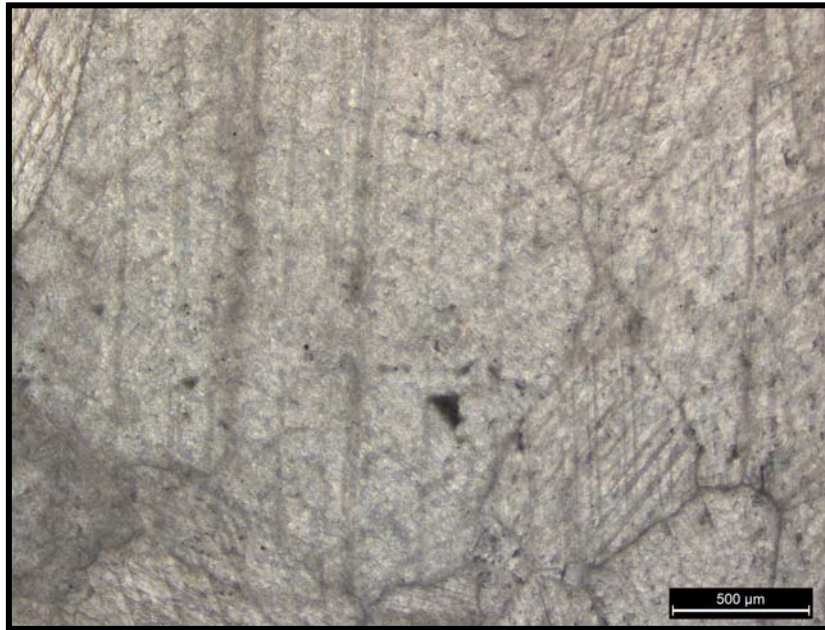
BÖLÜM DÖRT

MİNEROLOJİK ÖZELLİKLER

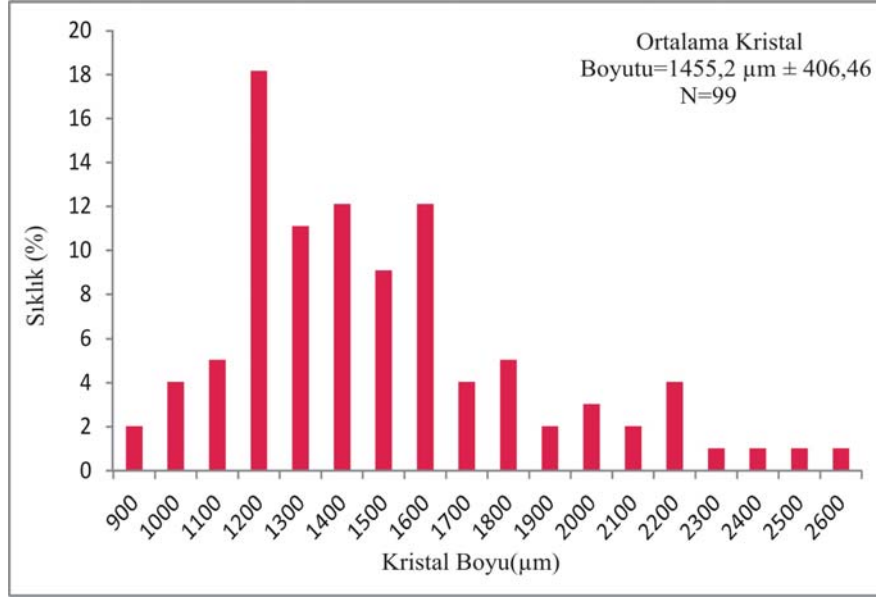
Çalışmada kullanılan üç farklı kristal boyutuna sahip mermer numunelerinden değişik yönlerde ince kesitler yapılmış ve bu kesitler alttan aydınlatmalı polarizan mikroskop yardımıyla incelenmiştir. Mermerlerin minerolojik bileşimleri, kristal boyutları, kristal boyu dağılımları ve kristal sınırı ilişkileri gibi petrografik özelliklerinin incelendiği bu çalışma kapsamında mermerlerin kristal boyutları oküler mikrometresi ile ölçülmüştür.

4.1 İri Kristalli Mermer

İri kristalli mermerlerin polarizan mikroskop altında yürütülen minerolojik ve petrografik incelemesi sonucunda kayacın % 100 kalsit minerallerinden oluştuğu, kristal boyutlarının 900 - 2600 μm arasında değiştiği ve ortalama kristal boyutlarının 1455,2 $\mu\text{m} \pm 406,76$ olduğu belirlenmiştir. Granoblastik doku gözlenen iri kristalli mermerlerin homeoblastik yapıda olduğu, tane sınırlarının düzgün, nadiren dalgalı ve poligonal yapıda olduğu belirlenmiştir.



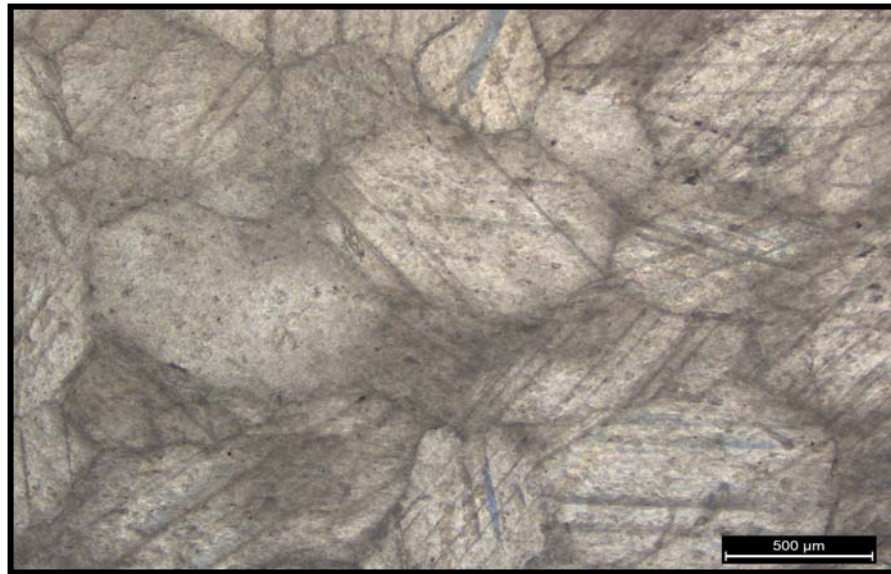
Şekil 4.1 İri kristalli mermerinin polarizan mikroskop altında görünümü



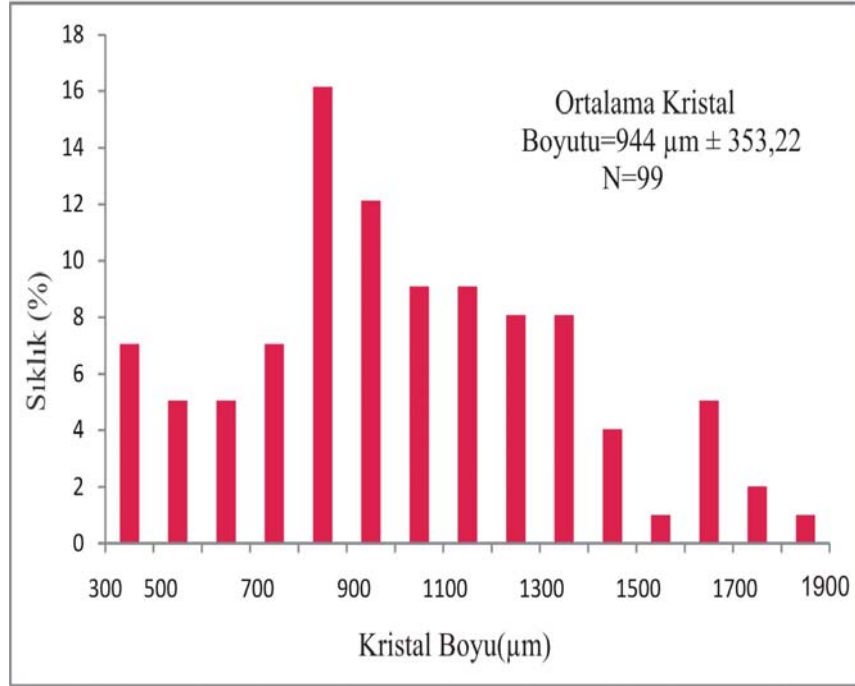
Şekil 4.2 İri kristalli mermerin tane boyu dağılım grafiği

4.2 Orta Kristalli Mermer

Granoblastik dokulu, monoblastik ve homeoblastik yapıya sahip olan orta kristalli mermerde tane sınırları genellikle düzgün olup nadiren dalgalı ve poligonal yapıdadır. %100 kalsit mineralinden oluşan orta kristalli mermerin kristal boyutlarının 400 - 1800 µm arasında değiştiği ve ortalama kristal boyutunun 944 µm ± 353,22 olduğu belirlenmiştir.



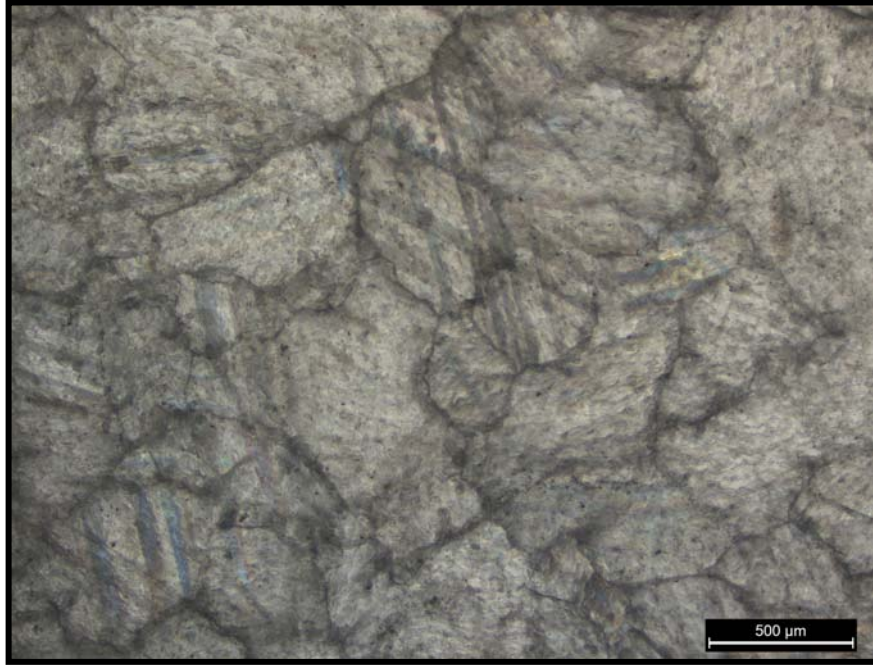
Şekil 4.3 Orta kristalli mermerin polarizan mikroskop altında görünümü



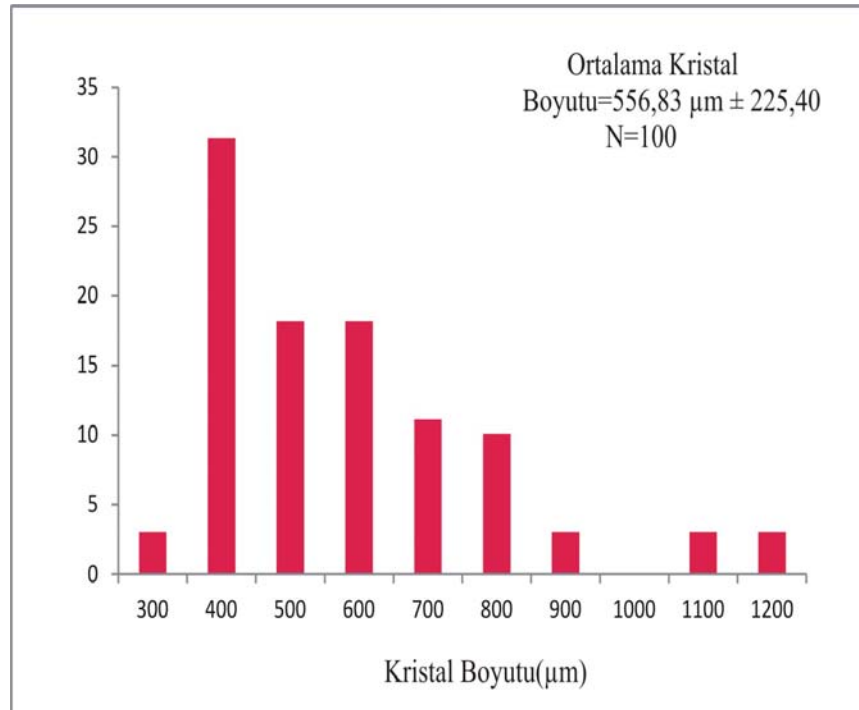
Şekil 4.4 Orta kristalli mermerin tane boyu dağılım grafiği

4.3 İnce Kristalli Mermer

Diğer iki mermer türüne göre çıplak gözle ayırt edilebilecek düzeyde küçük kristallerden oluşan ince kristalli mermerlerin mikroskopik incelenmesi sonrasında % 100 kalsit mineralinden oluştuğu belirlenmiştir. İnce kesit altında incelenen ince kristalli mermerlerin kristal boyutlarının 300 - 1800 µm arasında değiştiği belirlenmiştir. Ayrıca mermerin ortalama kristal boyutunun 556,83 µm ± 225,40 olduğu saptanmıştır. Mikroskop altında incelenen kesitte, ince kristalli mermerin kristallerinin tane sınırlarının düzgün olduğu ve kristallerin birbirlerine sıkı bir şekilde kenetlendikleri gözlenmiştir. Granoblastik doku gözlenen ince kristalli mermerin mortar ve homeoblastik yapı sunduğu, nadiren dalgalı ve poligonal eğilimli olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.5 İnce kristalli mermerin polarizan mikroskobu altında görünümü



Şekil 4.6 İnce kristalli mermerin tane boyu dağılım grafiği

Tablo 4.1 Farklı kristal boyutuna sahip mermerlerin minerolojik özellikleri

Tür	Mineral Bileşimi	N	Max-Min Tane Boyutu (µm)	Ortalama Tane Boyutu (µm)	Sınır	Doku	Yapı
İri Kristalli	% 100 Kalsit	99	900-2600	1455,2	Çoğunlukla Düzgün/Nadiren Dalgalı	Homeoplastik Granoplastik	Mozaik, poligonal eğilimli, üç nokta yapısı
Orta Kristalli	% 100 Kalsit	99	400-1800	944	Çoğunlukla Düzgün/Nadiren Dalgalı	Homeoplastik Granoplastik	Mozaik, poligonal eğilimli, üç nokta yapısı
İnce Kristalli	% 100 Kalsit	100	300-1800	566,83	Çoğunlukla Düzgün/Nadiren Dalgalı	Homeoplastik Granoplastik	Mozaik, poligonal eğilimli, üç nokta yapısı

N: İnce kesitte okunan kristal sayısı

BÖLÜM BEŞ

KİMYASAL ÖZELLİKLER

Kimyasal bileşim, kayaçların içindeki elementlerin oksit değerlerinin toplamıdır. Kimyasal analizlerde kayacın içindeki silisyum dioksit, demir oksit, alüminyum oksit, kalsiyum karbonat ve magnezyum karbonat yüzde oranları tespit edilir. Bu oranların toplamının % 100'e yaklaşması yapılan analizlerin doğruluğunun belirtmektedir (Boztaş ve diğ. 2009).

Muğla yöresine ait farklı kristal boyutuna sahip mermerlerden alınan örneklerin kimyasal analizleri Kanada, ACME Analytical Laboratories LTD'de yapılmış ve ICP-MS (Kütle Spektrometresi) kullanılarak majör ve iz elementleri saptanmıştır. Analiz sonuçları Tablo 5.1, 5.2, 5.3'de verilmiştir.

Mermerlerin kimyasal analiz sonuçlarına göre belirgin bir bileşim farkının gözlenmediği, iri kristalli mermerin SiO₂ oranının (% 0,11) diğer iki mermer türüne göre belirgin oranda yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca üç mermer türünün de MgO oranı % 1'in üzerinde olduğu belirlenmiştir.

Tablo 5.1 İri ,orta ve ince kristal boyutundaki numunelerin ana element analizi

<i>Metod</i>	<i>4A-4B</i>											
Analiz	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO(%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Kızdırma Kaybı (%)	Toplam (%)
İri Kristalli	0,11	<0,01	<0,04	1,16	55,30	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,002	43,4	99,94
Orta Kristalli	<0,01	<0,01	0,10	1,05	55,58	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,002	43,3	99,95
İnce kristalli	<0,01	<0,01	0,10	1,41	55,92	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,002	42,6	99,97

Tablo 5.2 İri, orta ve ince kristal boyutundaki numunelerin iz element analizi

<i>Metod</i>		<i>IDX</i>		
Kristal Boyutu		İri Kristalli	Orta Kristalli	İnce Kristalli
Ba	ppm	2	3	2
Be	ppm	<1	<1	<1
Co	ppm	<0.2	<0.2	<0.2
Cs	ppm	<0.1	<0.1	<0.1
Ga	ppm	<0.5	<0.5	<0.5
Hf	ppm	<0.1	<0.1	<0.1
Nb	ppm	0,7	0,2	0,1
Rb	ppm	<0.1	<0.1	<0.1
Sn	ppm	<1	<1	<1
Sr	ppm	201,8	208,8	118,0
Ta	ppm	<0.1	<0.1	<0.1
Th	ppm	0,3	<0.2	<0.2
U	ppm	0,9	0,1	<0.1
V	ppm	<8	<8	<8
W	ppm	<0.5	<0.5	<0.5

Tablo 5.3 İri, orta ve ince kristal boyutundaki numunelerin iz element analizi

<i>Metod</i>		<i>IDX</i>		
Kristal Boyutu		İri Kristalli	Orta Kristalli	İnce Kristalli
Zr	ppm	0,7	0,5	0,2
Y	ppm	1,6	4,5	3,3
La	ppm	0,5	1,6	1,4
Ce	ppm	<0.1	0,9	0,7
Pr	ppm	0,16	0,26	0,23
Nd	ppm	0,7	1,0	0,9
Sm	ppm	0,13	0,22	0,18
Eu	ppm	<0.02	0,05	0,05
Gd	ppm	0,11	0,27	0,25
Tb	ppm	0,01	0,04	0,04
Dy	ppm	0,12	0,30	0,24
Ho	ppm	0,02	0,07	0,05
Er	ppm	0,08	0,19	0,18
Tm	ppm	0,01	0,02	0,02
Yb	ppm	0,07	0,17	0,12
Lu	ppm	<0.01	0,02	0,02
Cu	ppm	0,7	0,5	<0.1
Pb	ppm	5,5	0,5	0,5
Zn	ppm	4	6	2
Ni	ppm	2,8	3,8	3,7

BÖLÜM ALTI

FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLER

6.1 Giriş

Tarih önce devirlerden bu yana doğal taşlar, birçok medeniyet tarafından yapı malzemesi olarak kullanılmıştır. Sağlamlığı, dayanıklılığı ve estetik özellikleri sebebiyle tercih edilen bu taşlar bir bakıma kullanıldıkları coğrafyanın kültürüne de girmiştir. Dünyanın çeşitli uygarlıklarında olduğu gibi Anadolu coğrafyasında da saray, hamam, heykel, anıtmezar gibi çok geniş bir kullanım yelpazesine sahip olan yapıtaşları günümüzde de geçerliliğini sürdürmektedir. Ancak bu kıymetli kayaçlar da ocaktan çıkarıldıkları andan itibaren hava, su, tuz, asit yağmurları, rüzgar ve beşeri sebeplerle hiç tükenmeyen bir deformasyon sürecine maruz kalırlar. Dolayısıyla bu doğal koşullar altında uzun süre dayanabilmeleri mümkün olmadığı için, kullanılacak doğal taşların malzeme özellikleri iyi belirlenmeli ve kullanım alanlarına ve yerlerine göre taşlar seçilmelidir (Yavuz 2001). Bu nedenle doğal taşların fiziko-mekanik özellikleri, taşların kullanım ömrü ve durabiliteleri açısından büyük önem arz etmektedir.

Çalışmanın bu bölümünde Muğla yöresine ait farklı kristal boyutuna sahip üç farklı mermer türünün fiziksel ve mekanik özelliklerinin saptamak amacıyla, laboratuvar ortamında bir dizi deney yapılmıştır.

6.2 Fiziksel Özellikler

İri, orta ve ince kristal boyuna sahip Muğla mermerlerinden üretilen değişik boyutlardaki prizmatik numuneler üzerinde Tablo 1.1’de belirtilen standartlara uygun olarak yürütülen laboratuvar deneyleri ile mermerlerin kuru ve doymuş birim hacim ağırlık, özgül ağırlık, etkin gözeneklilik, toplam porozite, ağırlıkça su emme, boşluk oranı, sonik hız gibi fiziksel özellikleri belirlenmiştir.

6.2.1 Özgül Ağırlık

Toz haline getirilen (< 0,63 mm) mermer numuneleri üzerinde piknometre kullanılarak ilgili standartlara uygun olarak yapılan özgül ağırlık deneyi sonucunda elde edilen sonuçlar Tablo 6.1’de verilmiştir.

Mermer örneklerinin özgül ağırlığı aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır:

$$G_s = \frac{(W_2 - W_1)}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_4)} \dots \dots \dots (1)$$

G_s = Özgül Ağırlık

W_1 = Piknometrenin ağırlığı (gr)

W_2 = Piknometre ile numunenin ağırlığı (gr)

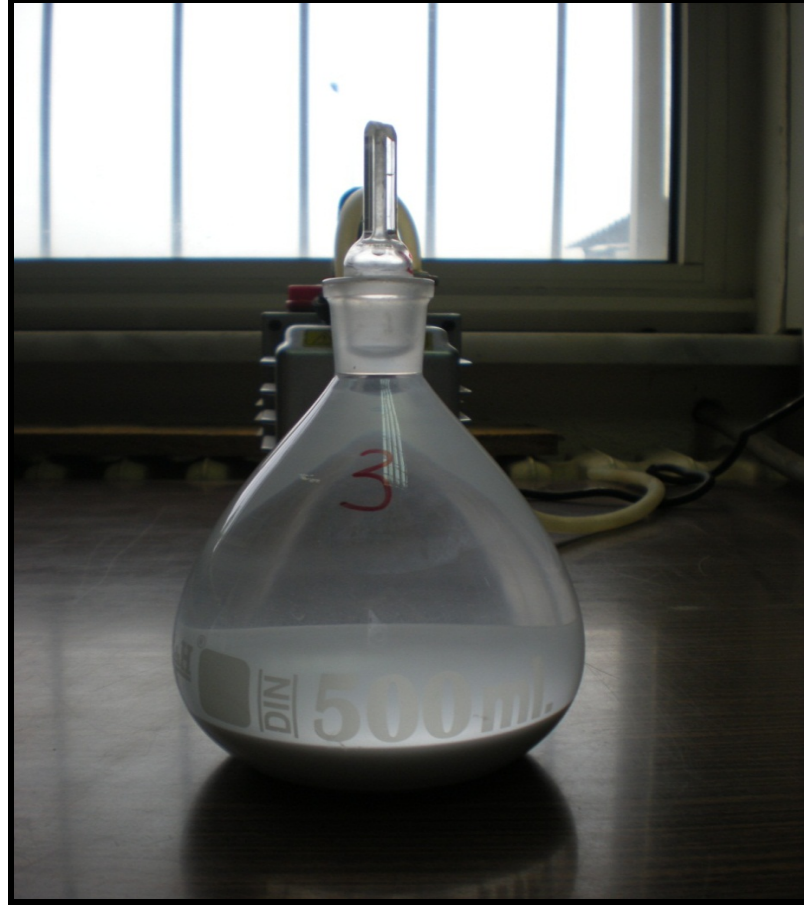
W_3 = Piknometre, numune ve suyun ağırlığı (gr)

W_4 = Piknometre ile suyun ağırlığı (gr)

Tablo 6.1 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin özgül ağırlıkları

Mermer Türü	N	Özgül Ağırlık
İri Kristalli Mermer	1	2,69
Orta Kristalli Mermer	1	2,72
İnce Kristalli Mermer	1	2,74

N: Deneyde kullanılan numune sayısı



Şekil 6.1 Özgül ağırlık deneyi

6.2.2 Porozite

Porozite, kayaçların en önemli fiziksel özelliklerinden biridir. Porozite etkin (görünür) ve toplam porozite olmak üzere ikiye ayrılır. Etkili porozite, kayacın içerisindeki birbiri ile bağlantılı olan gözeneklerin oluşturduğu boşluk hacminin toplam hacme oranı olarak ifade edilir. Toplam porozite, kayacın içerisindeki tüm boşlukların toplam hacme bölünmesi ile bulunur. Kayaçların yapı taşı olarak kullanılmasında önemli bir parametre olan porozite, yine bu kayaçların durabilitelerinde de belirleyici rol oynamaktadır. Örneğin etkin porozitesi yüksek olan bir kayaç dış ortamda bünyesine daha fazla su alarak donma-çözünme, ıslanma-kuruma gibi doğal olaylardan, düşük poroziteli aynı tür kayaca göre daha fazla etkilenip, daha çabuk deformasyona uğrayacaktır. (Erdoğan ve Yavuz 2004).

6.2.2.1 Görünür Porozite

Kayaçların etkin (görünür) poroziteleri su emdirme yöntemiyle ya da cıvalı ve helyum porozimetresi kullanılarak belirlenir. Bu çalışmada mermerlerin görünür poroziteleri su emdirme yöntemi ve cıvalı porozimetre kullanılarak iki farklı şekilde elde edilmiştir. Aşağıdaki eşitlikte Muğla mermerlerinin su emdirme yöntemiyle etkin porozitelerinin belirlenmesinde kullanılan eşitlik verilmiştir. (2)

$$n = (W_d - W_k) / ((V_t - (W_d - W_k)) \times 100) \dots \dots \dots (2)$$

n= Porozite (%)

W_d = Suya doymuş ağırlık (gr)

W_k = Kuru ağırlık (gr)

V_t = Toplam hacim (cm^3)

Kayacın toplam hacmi Arşimet sehпасı kullanılarak eşitlik 3'de verilen yöntemle belirlenmiştir.

$$V_t = W_d - W_{ds} \dots \dots \dots (3)$$

W_{ds} = Su içinde doymuş ağırlık (gr)

Tablo 6.2 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin su emdirme yöntemiyle saptanan görünür porozite değerleri

Mermer Türü	N	Görünür Porozite Değeri	
		Ortalama Standart Sapma (\pm)	Su emdirme Yöntemi (%)
İri Kristalli Mermer	35	Ortalama	0,12
		Standart Sapma	$\pm 0,03$
Orta Kristalli Mermer	35	Ortalama	0,08
		Standart Sapma	$\pm 0,01$
İnce Kristalli Mermer	35	Ortalama	0,13
		Standart Sapma	$\pm 0,02$

N: Deneyde kullanılan numune sayısı

Tablo 6.3 Kayaçların porozitelerine göre sınıflandırılmaları IAEG (Anon, 1979)

Kaya Sınıfı	Görünür porozite
Çok Düşük	≤ 1
Düşük	1-5
Orta	5-15
Yüksek	15-30
Çok Yüksek	≥ 30

Tablo 6.3 da görüldüğü üzere iri, orta ve ince kristalli Muğla mermerlerinin su emdirme yöntemiyle saptanan görünür porozite değerlerinin sırasıyla % 0,12, % 0,08, % 0,13 olduğu belirlenmiştir.

Anon 1979 sınıflandırmasına göre mermerlerin her üçü de “ çok düşük” poroziteli kaya sınıfına girmektedir.

6.2.2.2 Toplam Porozite

Muğla mermerlerinin toplam porozitesi aşağıda verilen eşitlik yardımıyla saptanmış ve sonuçlar Tablo 5.4 de verilmiştir.

$$p = (1 - (\rho_b / \rho_r)) \times 100 \dots \dots \dots (4)$$

p= Toplam Gözeneklilik (%)

ρ_r =Kuru Birim Hacim Ağırlık (kg/ cm³)

ρ_b = Özgül Ağırlık

Tablo 6.4 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin toplam porozite değerleri

Deney Adı	İri Kristalli Mermer	Orta Kristalli Mermer	İnce Kristalli Mermer
Toplam Porozite (%)	1,11	0,36	0,73

6.2.3 Birim Hacim Ağırlık

Kayaçlar, tanelerden (sert kısımlarından), su ve havadan oluşur. Genel olarak birim hacim ağırlık, belli bir hacimdeki kayacın aynı hacimdeki ağırlığına oranıdır (TS 699).

Birim hacim ağırlığı, kayacın içindeki boşluk, çatlak ve burada yer alan su miktarlarına göre değişik değerler alırlar. Birim hacim ağırlığı, numunenin ağırlığının tüm hacmine bölünmesi ile bulunur. Su ve hava tarafından doldurulan hacim “boşluk hacmi” olarak ifade edilir.

Kayaçların doğada buldukları haldeki birim hacim ağırlıklarına “doğal birim hacim ağırlığı”, bütün boşlukların su ile dolması halindeki birim hacim ağırlıklarına “doygun birim hacim ağırlığı” ve boşluklu kısımların hava ile dolu olması durumundaki birim hacim ağırlıklarına ise “kuru birim hacim ağırlığı” denir.

Bu bilgilerden anlaşılıyor ki birim hacim ağırlık, kayaçların fiziksel özellikleri içerisinde önem arz eden bir parametredir.

Birim hacim ağırlık, doğal taşların durabiliteleri ve dayanıklılıkları açısından da incelenen fiziksel özelliklerdendir. Zira yüksek birim hacim ağırlığına sahip kayaçlar genellikle düşük poroziteye sahiptir ve düşük su emme kapasitesi ile dayanımlı kaya grupları arasına girerler (Erdoğan ve Yavuz, 2004).

Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin kuru ve suya doygun birim hacim ağırlıkları aşağıdaki eşitlikler yardımıyla bulunmuştur.

$$\gamma_{kuru} = W_{kuru} / V_t \dots \dots \dots (5)$$

$$\gamma_{doygun} = W_{doygun} / V_t \dots \dots \dots (6)$$

$$\gamma_{kuru} = \text{Kuru Birim Hacim Ağırlık (gr/cm}^3\text{)}$$

$$\gamma_{doygun} = \text{Doygun Birim Hacim Ağırlık (gr/cm}^3\text{)}$$

$$W_{kuru} = \text{Kuru Ağırlık (gr)}$$

$$W_{doygun} = \text{Doygun Ağırlık (gr)}$$

V_t = Toplam Hacim (cm^3)

V_b = Boşluk Hacmi (cm^3)

Tablo 6.5 Muğla mermerlerinin kuru ve suya doymun birim hacim ağırlıkları

Mermer Türü	N	Ortalama Değer ± Standart Sapma	Kuru Birim Hacim Ağırlık Değeri (gr/cm^3)	Doymun Birim Hacim Ağırlık Değeri (gr/cm^3)
İri Kristalli Mermer	35	Ortalama	2,72	2,72
		Standart Sapma	±0,004	±0,004
Orta Kristalli Mermer	35	Ortalama	2,73	2,73
		Standart Sapma	±0,001	±0,001
İnce Kristalli Mermer	35	Ortalama	2,72	2,73
		Standart Sapma	±0,004	±0,004

N: Deneyde kullanılan numune sayısı

Muğla mermerleri üzerinde yapılan deney sonuçlarına göre kuru birim hacim ağırlıkları sırasıyla iri kristalli mermerler için $2,72 \text{ gr}/\text{cm}^3$, orta kristalli mermerler için $2,73 \text{ gr}/\text{cm}^3$, ince kristalli mermerler için $2,72 \text{ gr}/\text{cm}^3$ olarak hesaplanmıştır. Suya doymun birim hacim ağırlıkları iri kristalli mermerler için $2,72 \text{ gr}/\text{cm}^3$, orta kristalli mermerler için $2,73 \text{ gr}/\text{cm}^3$, ince kristalli mermerler için $2,73 \text{ gr}/\text{cm}^3$ olarak belirlenmiştir (Tablo 6.5).

Tablo 6.6 Kayaçların kuru birim hacim ağırlığına göre sınıflamaları IAEG (Anon, 1979a)

Kaya Sınıfı	Kuru Birim Hacim Ağırlık (gr/cm^3)
Çok Düşük	< 1,8
Düşük	1,8-2,2
Orta	2,2-2,55
Yüksek	2,55-2,75
Çok Yüksek	>2,75

6.2.4 Ağırlıkça Su Emme

Bir kayaç suya batırılacak olursa, içerisindeki birbiri ile ilişkili boşluklar, belli bir müddet içinde su ile dolar. Kayaçların bu özelliği onların fiziksel özellikleri açısından sınıflandırılmaları gereğini doğurmuştur.

Ağırlıkça su emme, TS 13755'e göre kayacın su emme kapasitesini belirtir. Kayacın emdiği su ağırlığının kuru ağırlığına oranını yüzdesel olarak ifade eder. Ağırlıkça su emme de diğer fiziksel özellikler gibi kayacın durabilitesi açısından ciddi bir önem arz etmektedir. Eğer kayacın, ağırlıkça su emme değeri belirlenen standartın üzerinde ise kayaç düşük durabiliteye sahip olur ve doğal çevre koşullarından fazlasıyla etkilenerek kısa sürede deforme olur (Erdoğan ve Yavuz 2004).

Muğla mermerlerinin ağırlıkça su emme değerleri aşağıdaki eşitlikten yararlanılarak hesaplanmıştır (Eşitlik 7).

$$A_w = (W_d - W_k) / W_k \times 100 \dots \dots \dots (7)$$

A_w = Ağırlıkça Su Emme (%)

W_k = Kuru Ağırlık (gr)

W_d = Doygun Ağırlık (gr)

Tablo 6.7 Muğla mermerlerinin ağırlıkça su emme değerleri

Mermer Türü	N	Ağırlıkça Su Emme (%)	
		Ortalama	Standart Sapma
İri Kristalli Mermer	35	Ortalama	0,05
		Standart Sapma	±0,01
Orta Kristalli Mermer	35	Ortalama	0,03
		Standart Sapma	±0,01
İnce Kristalli Mermer	35	Ortalama	0,05
		Standart Sapma	±0,01

N: Deneyde kullanılan numune sayısı

Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerleri üzerinde yapılan deneyler sonucunda mermerlerin ağırlıkça su emme değerleri sırasıyla iri kristalli mermer grubu için ortalama % 0,05, orta kristalli mermer grubu için % 0,03 ve ince kristalli mermer grubu için % 0,05 olarak hesaplanmıştır. (Tablo 6.7)

6.2.5 Boşluk Oranı

Boşluk oranı, kayaçların içerdiği boşluk hacminin, katı kısmının hacmine oranının yüzdesel ifadesidir. Porozite de olduğu gibi boşluk oranı da bize kayacın içindeki boşluk hacmini hesaplamakta yardımcı olmaktadır (TS 699).

Muğla mermerlerinin boşluk oranı aşağıdaki eşitlikten yararlanılarak hesaplanmıştır (Eşitlik 8).

$$e = (V_b / V_k) \times 100 \dots \dots \dots (8)$$

e = Boşluk oranı (%)

V_b = Boşluk Hacmi (cm³)

V_k = Katı Hacim (cm³)

Tablo 6.8 Muğla mermerlerinin boşluk oranı değerleri

Mermer Türü	N	Boşluk Oranı (%)	
		Ortalama	Standart Sapma
İri Kristalli Mermer	35	0,13	±0,03
		0,08	±0,02
Orta Kristalli Mermer	35	0,13	±0,02
		0,13	±0,02
İnce Kristalli Mermer	35	0,13	±0,02
		0,13	±0,02

N: Deneyde kullanılan numune sayısı

Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerleri üzerinde yapılan deneyler sonucunda boşluk oranları sırasıyla iri kristalli mermerler için ortalama % 0,13, orta kristalli mermerler için % 0,08, ince kristalli mermerler için % 0,13 olarak hesaplanmıştır (Tablo 6.8).

6.2.6 Ultrasonik Ses Hızı Tayini

Ultrasonik ses hızı tayini deneyi, kayaç numunelerinin içerisinden geçirilen makaslama (S) ve sıkışma (P) dalgalarının yayılma hızlarından yararlanılarak kayaç malzemesinin dinamik Young modülü ile dinamik Poisson oranının tayini amacıyla yapılır. Bu deney için kullanılan yöntem homojen, izotrop veya çok az anizotrop kayaçlarda uygulanabilir. Kayaçların, deney sonucunda belirlenen elastik sabitleri, laboratuvarda yapılan statik yöntemlerle veya arazide uygulanan tekniklerden elde edilen sonuçlarla çoğunlukla uyuşmaz ve genellikle daha yüksektir (Ulusay, 2005).

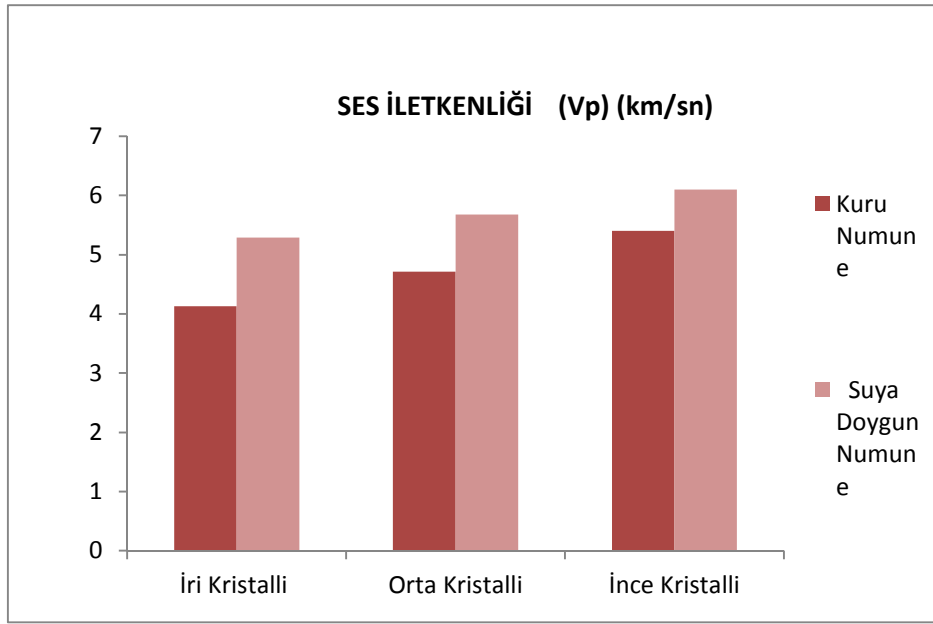
Ses, homojen kayaçlarda belirli bir hızda ilerlerken kayaçların içerisinde olması muhtemel süreksizliklere rastlayınca hızı azalır. Bu sebeple, kayaç içindeki çatlak yoğunluğu, çatlakların sıklığı ve bunların kayaçta oluşturdukları ikincil parametreler hakkında genel bir bilgiye ulaşılabılır (Davis 1972).

Bu çalışmada farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin taze numuneleri üzerinde ultrasonik ses hızı ölçümleri (V_p) yapılmış ve sonuçlar Tablo 6.9 ve Şekil 6.2’de verilmiştir.

Tablo 6.9 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin taze numunelerinin ultrasonik ses iletkenliğini değerleri

Mermer Türü	Ort \pm S.S	N	Taze Numune (km/sn)	
			Kuru	Islak
İri Kristalli Mermer	Ort.	35	4,13	5,29
	S.S		$\pm 0,83$	$\pm 0,77$
Orta Kristalli Mermer	Ort.	35	4,71	5,68
	S.S		$\pm 0,40$	$\pm 0,32$
İnce Kristalli Mermer	Ort.	35	5,40	6,10
	S.S		$\pm 0,28$	$\pm 0,21$

Ort: Ortalama S.S: Standart Sapma N: Numune Sayısı



Şekil 6.2 İri, orta ve ince kristalli Muğla mermerlerinin taze numunelerinin ultrasonik ses hızı iletkenliği

Taze numunenin ses iletkenliği iri kristalli mermerlerin kuru numunelerinde 4,13 km/sn, suya doymun numunelerinde 5,29 km/sn olarak hesaplanmıştır. Orta kristal boyutuna sahip mermerlerin ses iletkenliği kuru numunelerde 4,71 km/sn, suya doymun numunelerde 5,68 km/sn olarak hesaplanmıştır. İnce kristalli mermerlerin ses iletkenlikleri ise kuru numunelerde 5,40 km/sn, suya doymun numunelerde 6,10 km/sn olarak ölçülmüştür.

6.3 Mekanik Özellikler

Kayaçların, çeşitli gerilmeler altında davranışlarını belirleyen mekanik özellikleri vardır. Bugün gerek temel, gerek malzeme olarak kullanılacak taşların mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla laboratuvarlarda ve arazi çeşitli deneyler yapılmaktadır. Kayaçların kristallenme, çimentolanma, kompaksiyon, kenetlenme, süreksizliklerine ve ayrışma derecesine bağlı olarak, mekanik özelliklerinin büyük ölçüde değiştiği bilinmektedir (Erguvanlı, 1982). Ayrıca kayaç doymunluk derecesi ve su muhtevası gibi fiziksel özellikleri de mekanik özelliklerine etki etmektedir.

Bu çalışmada farklı kristal boyutuna sahip kaya bloklarından elde edilen küp ve prizmatik örnekler üzerinde Tablo da belirtilen ilgili standartlara bağlı kalınarak mermerlerin suya doymuş ve kuru tek eksenli basınç direnci, darbe direnci, kuru ve suya doymuş nokta yükü dayanım direnci ile Shore sertliği ve Böhme yüzeysel aşınma kaybı değerleri bulunmuştur (Tablo 6.10).

Tablo 6.10 Muğla mermerlerinin mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan deneyler ve bu deneylerde uyulan standartlar belirtilmiştir.

Deney Adı	Uygulanan Standartlar
Tek Eksenli Basınç Direnci	TS EN 1926
Darbe Direnci	TS 699
Nokta Yükü Dayanım İndeksi	ISRM 1985
Böhme Yüzeysel Aşınma Kaybı	TS 14157
Shore Sertliği	ISRM (2007)

6.3.1 Tek Eksenli Basınç Direnci Deneyi

Tek eksenli basınç direnci, yapı taşı olarak kullanılacak malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlemede en önemli parametredir. Tek eksenli basınç direnci, belli boyutlardaki kayaçların belli doğrultuda kırılmaya karşı gösterdikleri dayanıklılıktır. Gevrek malzemelerde, tek eksenli basınç deneylerinde numune alanında değişme olmadan kırılma meydana gelir. Daha sert nitelikteki kayaçlar ise tek eksenli basınç altında şekil değişikliğine uğrarlar. Kırılma yükünün altında, kayma çatlakları meydana geldiği anda, deney altındaki numunenin kesit alanı büyür. Bundan dolayı bu tür kayaçlarda tek eksenli basınç direnci, kırılma yükünün, kırılma anındaki alana oran olarak tanımlanır. Basınç altındaki taşlarda meydana gelen kırılma tip ve şekilleri kayacın litolojik özelliğine, gerilme tipine, süresine, sıcaklığına, boşluk suyu basıncına vb. özelliklerine göre farklılık gösterir (Erguvanlı, 1982).

Genel olarak tek eksenli basınç direnci belli bir yük altındaki kayaçların dayanımları hakkında bilgi verir. Bu bilgiler ışığında kayaçlar dayanım derecelerine

göre sınıflandırılır. Böylece yapı taşı olarak kullanılacak malzemenin dayanımları önceden hesaplanarak kullanılacak yere olan uygunluğu tespit edilir. Kayaçların bu gerilmeler altında kırılmaya karşı gösterdikleri direncin önceden belirlenmesi, bulunduğu alanda uzun dönem durabilitesi açısından son derece önemlidir (Erdoğan ve Yavuz 2004).



Şekil 6.3 Tek eksenli basınç direnci test aleti

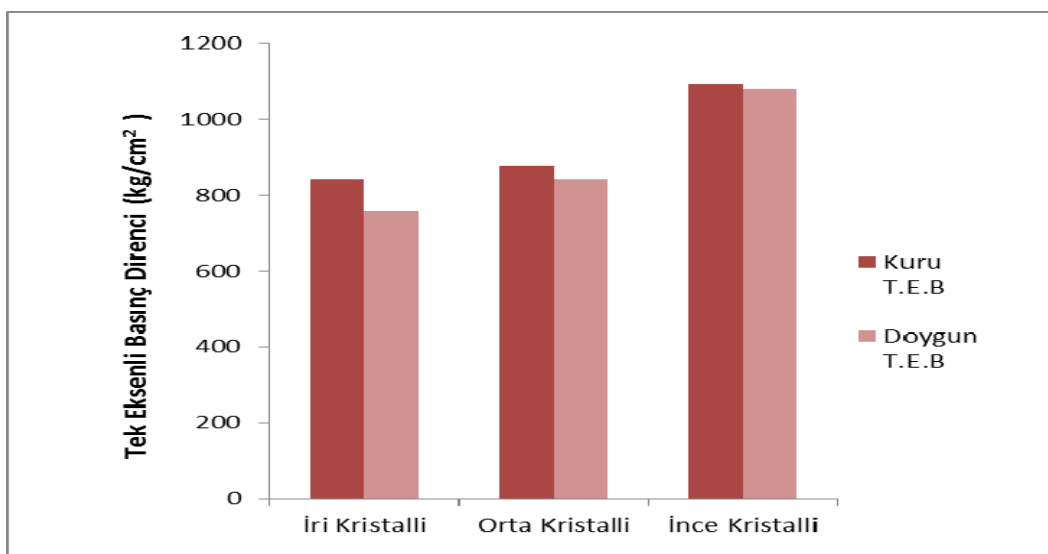
Muğla mermerlerinin tek eksenli basınç direnci deneyleri Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Kaya mekaniği laboratuvarında $7 \times 7 \times 7$ cm boyutundaki küp numuneler üzerinde Besmak Sematron marka 200 Ton 'luk tam otomatik hidrolik pres (Şekil 6.3) kullanılarak TS EN 1926 da öngörülen standartlara uygun olarak yapılmıştır. Kuru ve suya doymuş taze numuneler ile ıslanma-kuruma deneyi ve donma-çözünme deneyi sonrası elde kalan numuneler olmak üzere toplam 57 numune üzerinde tek eksenli basınç deneyi yapılmıştır. Bu numuneler taş parlatma makinesinde yüzeyleri düzeltilerek yüzeylerin birbirleri ile olan paralelligi ve parlaklığı sağlandıktan sonra deneye tabi tutulmuştur.

Tablo 6.11 Taze Muğla mermerleri üzerinde yapılan tek eksenli basınç direnci deneyi sonuçları

Mermer Türü	Ortalama Değer ± Standart Sapma	Kuru T.E.B Direnci (kg/cm ²)	N	Suya Doymun T.E.B Direnci (kg/cm ²)	N
İri Kristalli Mermer	Ortalama	839,48	5	759,64	4
	Standart Sapma	± 185,28		± 220,25	
Orta Kristalli Mermer	Ortalama	878,59	5	839,62	4
	Standart Sapma	± 105,17		± 149,88	
İnce Kristalli Mermer	Ortalama	1090,89	5	1081,59	3
	Standart Sapma	±128,35		±149,88	

N: Deneyde kullanılan numune sayısı

Taze numuneler üzerinde yapılan tek eksenli basınç deneyi sonuçları kuru numuneler için sırasıyla iri kristalli mermerlerde 839,48 kg/cm², orta kristalli mermerlerde 878,59 kg/cm², ince kristalli mermerlerde 1090,89 kg/cm² olarak ölçülmüştür. Suya doymun numunelerde tek eksenli basınçlar sırasıyla iri kristalli mermerlerde 759,64 kg/cm², orta kristalli mermerlerde 839,62 kg/cm², ince kristalli mermerlerde 1081,59 kg/cm² olarak ölçülmüştür (Tablo 6.11).



Şekil 6.4 Taze Muğla mermerlerinin kuru ve suya doymun tek eksenli basınç direnci değerleri

Deere ve Miller sınıflamasına göre Muğla mermerlerinin iri ve orta kristal boyutuna sahip olanları “orta dirençli kaya”, ince kristal boyutuna sahip olanları ise “yüksek dirençli kaya” grubuna girmektedir (Tablo 6.12).

Tablo 6.12 Kayaçalarda tek eksenli basınç dirençlerine göre sınıflandırılması (Deere and Miller, 1996)

Kaya Sınıfı	Tek Eksenli Basınç Direnci (kg/cm ²)
Çok Yüksek Dirençli Kaya	>2000
Yüksek Dirençli Kaya	2000-1000
Orta Dirençli Kaya	1000-500
Düşük Dirençli Kaya	500-250
Çok Düşük Dirençli Kaya	<250

6.3.2 Darbe Direnci

Kayaçların, yapıtaşı olarak kullanılmadan önce darbe direnci değerinin belirlenmesi gerekmektedir. İnşaat sektöründe, döşeme ve kaplama taşı olarak kullanılacak olan doğal taşın darbe direncinin ilgili standartlarda olması gerekir (Erdoğan ve Yavuz 2004).

Darbe direnci deneyi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği Laboratuvarında Ünal Mühendislik A.Ş firmasınınca üretilen Darbe Dayanım cihazı kullanılarak 4×4×4 cm lik boyutlarda 13 adet küp numune üzerinde TS 699 standartlarına uygun olarak yapılmıştır (Şekil 6.5).

$$D=n \times (n+1) \dots \dots \dots (9)$$

D =Darbe direnci (kgfcm/cm³)

n =Kırılmaya neden olan darbe sayısı



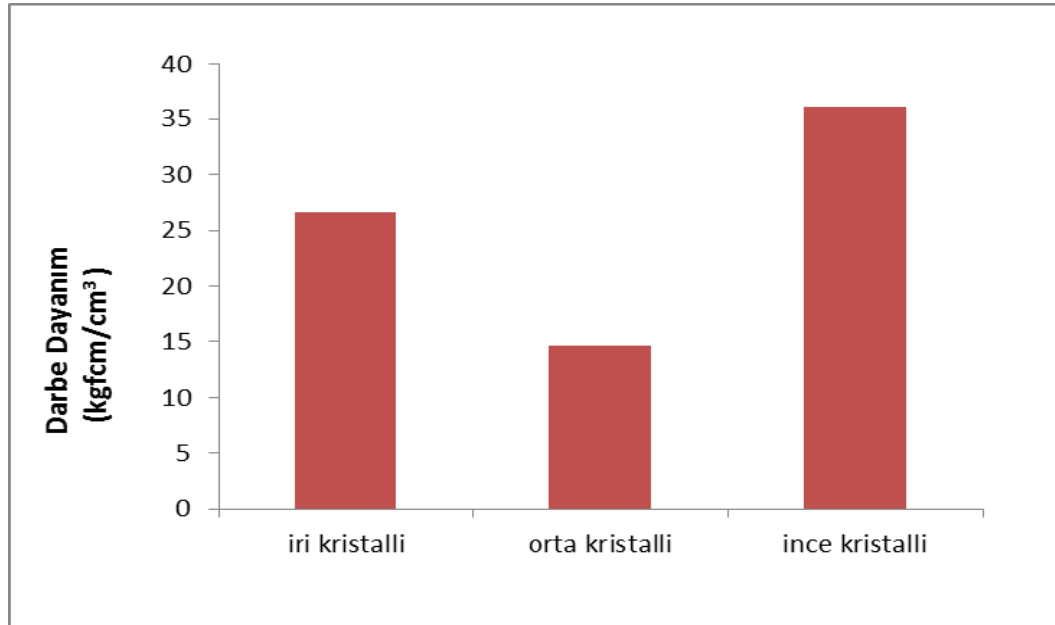
Şekil 6.5 Darbe direnci aleti

Tablo 6.13 Muğla mermerlerinin darbe direnci deney sonuçları

Mermer Türü	N	Darbe Sayısı (değişim aralığı)	Darbe Direnci (kgfcm/cm ³)	
			Ortalama	Standart Sapma
İri Kristalli Mermer	3	5-6	Ortalama	26,67
			Standart Sapma	±5,77
Orta Kristalli Mermer	3	4-5	Ortalama	14,67
			Standart Sapma	±4,62
İnce Kristalli Mermer	4	4-9	Ortalama	36
			Standart Sapma	±25,46

N: Deneyde kullanılan numune sayısı

Farlı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin darbe direnci deneyleri sırasıyla iri kristalli mermer için 26,67 kgfcm/cm³, orta kristal boyutuna sahip mermer için 14,67 kgfcm/cm³, ince kristalli mermer için 36 kgfcm/cm³ olarak saptanmıştır (Tablo 6.13).



Şekil 6.6 Farklı kristal boyutundaki Muğla mermerlerinin darbe dirençleri arasındaki ilişki

6.3.3 Böhme Yüzeysel Aşınma Kaybı

Taban ve merdiven plakasında kullanılan mermer plakaları, özellikle insan trafiğinin yoğun olduğu yerlerde, zaman içerisinde sürtünmenin etkisiyle aşınmaktadır. Bu alanlarda kullanılacak levhaların aşınma kayıplarının önceden laboratuvar koşullarında belirlenmesi, uygun taş seçimine olanak sağlamaktadır. Doğal kayaların sürtünme etkisiyle uğrayacakları aşınma kayıpları, laboratuvarda “Böhme Yüzeysel Aşınma Deneyi” yardımıyla bulunmaktadır (Erdoğan 1991).

Böhme Yüzeysel Aşınma Kaybı deneyi için gerekli numuneler Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği laboratuvarında hazırlanmıştır. Deney, Ünal Mühendislik A.Ş tarafından üretilen Böhme cihazı ile farklı kristal boyutuna sahip mermerlerden hazırlanmış 7×7×7 cm boyutlarında küp numuneler üzerinde, TS 14157 ye uygun olarak yapılmıştır.

Farklı kristal boyutlarına sahip Muğla mermerlerinin deney sonucunda Böhme yüzeysel aşınma kaybı değerleri sırasıyla iri kristalli mermer grubu için 16,92 cm³ /50 cm², orta kristalli mermer grubu için 14,46 cm³ /50 cm², ince kristalli mermer grubu için 14,25 cm³ /50 cm² olarak hesaplanmıştır (Tablo 6.14).

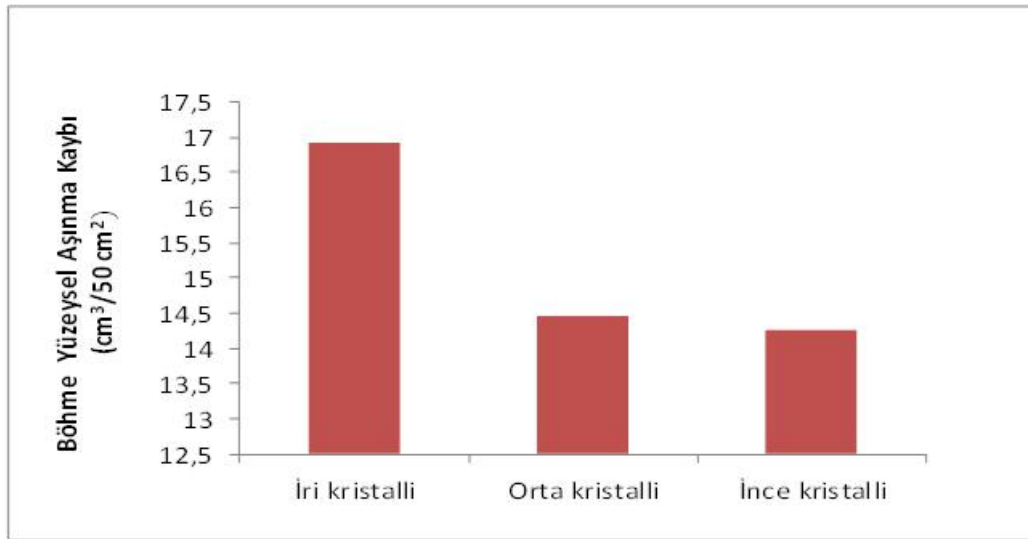


Şekil 6.7 Böhme yüzeysel aşındırma deneyi aleti

Tablo 6.14 Çalışmada kullanılan Muğla Mermerlerinin Böhme yüzeysel aşınma kaybı

Mermer Türü	N	Böhme Yüzeysel Aşınma Kaybı ($\text{cm}^3 / 50 \text{ cm}^2$)	
		Ortalama	Standart Sapma
İri kristalli Mermer	3	Ortalama	16,92
		Standart Sapma	$\pm 0,33$
Orta kristalli Mermer	3	Ortalama	14,46
		Standart Sapma	$\pm 0,77$
İnce Kristalli Mermer	3	Ortalama	14,25
		Standart Sapma	$\pm 0,89$

N: Deneyde kullanılan numune sayısı



Şekil 6.8 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin Böhme yüzeysel aşınma kaybı değerleri arasındaki ilişki

6.3.4 Nokta Yükleme Dayanım İndeksi

Kayaçların direnç özelliklerinin saptanmasında kullanılan deneylerden biri de nokta yükleme deneyidir. Bu deney mekanik özelliklerin tayinin de önemli bir parametre olarak kullanılır. Bu deney değişik şekillerdeki numuneler üzerinde uygulanabileceği gibi, silindirik kaya numunelerinin eksen doğrultusunda bir düzlem içinde, noktasal yükleme uygulanarak da yapılabilir. Uygulanan noktasal gerilme sebebi ile yükleme düzlemine dik doğrultuda oluşan çekme gerilmeleri altında kaya numunesi kırılır (Erguvanlı, 1982).

Çeşitli kayalarda yapılan nokta yükleme deneylerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi sonucu nokta yükleme çekme dirençleri ile kayaların basınç dirençleri arasında doğrusal bir bağlantı olduğu ortaya çıkmıştır (Erguvanlı, 1982).

Deney Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği laboratuvarında 5×5×5 cm boyutundaki küp numuneler üzerinde uygulanmıştır. Deney, Besmak marka nokta yükleme deneyi aleti ile ISRM 1984 ye uygun olarak, 24 küp numune üzerinde yapılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 6.15' te verilmiştir.

Nokta yükleme direncini bulmak için aşağıdaki eşitlikten faydalanılmıştır.

$$I = P/De^2 \dots \dots \dots (10)$$

I = Düzeltilmemiş nokta yük dayanım indeksi (kg/cm²)

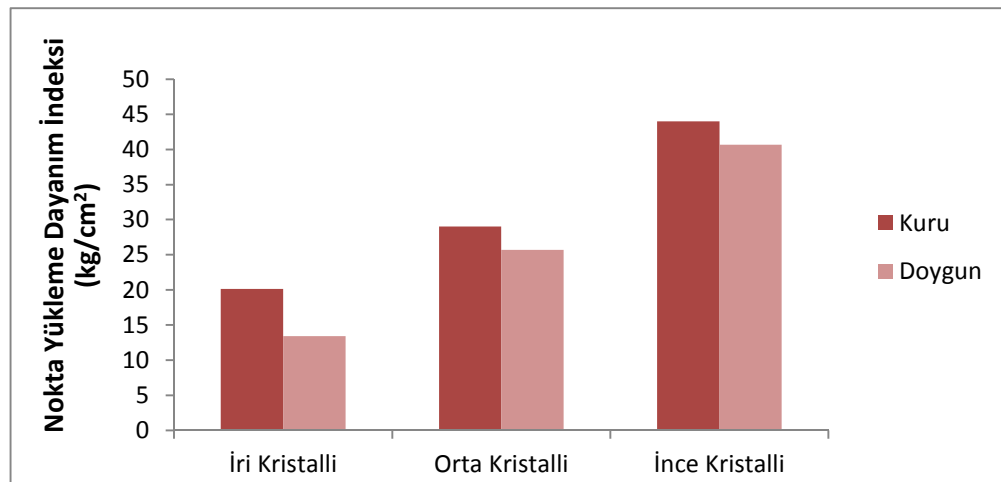
P = Kırılma Yüğü (kg)

De² = Eşdeğer çap (cm)

Tablo 6.15 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerin nokta yükleme değerleri

Mermer Türü	N	Kuru Numune (I _{S50}) (kg/cm ²)	N	Islak Numune (I _{S50}) (kg/cm ²)
		Ortalama ± Standart Sapma		Ortalama ± Standart Sapma
İri Kristalli Mermer	4	20,13 ± 4,69	2	13,42 ± 3,59
Orta Kristalli Mermer	4	29 ± 6,83	6	25,71 ± 13,44
İnce Kristalli Mermer	4	44 ± 9,80	3	40,67 ± 9,02

N: Deneyde kullanılan numune sayısı



Şekil 6.9 Muğla mermerlerinin kuru ve suya doygun örneklerinin nokta yükleme dayanım grafiği

Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin kuru numuneleri üzerinde yapılan nokta yükleme dayanım indeks değerleri iri kristalli mermer için 20,13 kg/cm², orta kristalli mermer için 29 kg/cm², ince kristalli mermer için 44 kg/cm² olarak hesaplanmıştır. Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin ıslak numuneleri üzerinde yapılan nokta yükleme dayanım indeks değerleri iri kristalli mermerler için 13,42 kg/ cm², orta kristalli mermerler için 25,71 kg/ cm², ince kristalli mermer için 40,67 kg/ cm² olarak hesaplanmıştır (Şekil 6.9,Tablo 6.15).

Tablo 6.16 Kayaçların nokta yükleme dirençlerine göre sınıflandırılmaları (Bieniawski, 1976)

Kaya Sınıfı	Nokta Yükleme Dayanım İndeksi (kg/ cm ²)
Çok Yüksek Dirençli Kaya	>80
Yüksek Dirençli Kaya	80-40
Orta Dirençli Kaya	40-20
Düşük Dirençli Kaya	20-10
Çok Düşük Dirençli Kaya	<10

Kuru numuneler üzerinde yapılan nokta yükleme deneyinin sonuçları kullanılarak Bieniawski sınıflandırmasına göre ince kristalli mermerlerin “Yüksek Dirençli Kaya”, orta kristal boyutuna sahip mermerlerin “Orta Dirençli Kaya” , iri kristalli mermerleri ise “Düşük Dirençli Kaya” grubuna girdiği belirlenmiştir.



Şekil 6.10 Nokta yükleme dayanım aleti

6.3.5 Shore Sertliği

Shore sertliği, tek eksenli basınç dayanımı gibi zayıf kayaçların mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan aynı zamanda numunelere zarar vermeyen ve çok yaygın bir şekilde kullanılan bir yöntemdir. Shore Sertlik İndeksi deneyi, küçük çaplı ve sivri uçlu bir çekicin, parlatılmış kayaç yüzeyine düşürüldükten sonra, sıçrama yüksekliğinin tespitine dayanan bir deneydir.

Kayaçların yüzeysel sertliklerinin belirlenmesinde sıkça kullanılan bir deney olan Shore Sertlik İndeksi deneyi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Muğla yöresine ait farklı kristal boyutuna sahip üç mermer grubundan 5×5×1 cm boyutlarında levhalar kesilmiş ve bu numunelerin birer yüzeyleri parlatılmıştır.

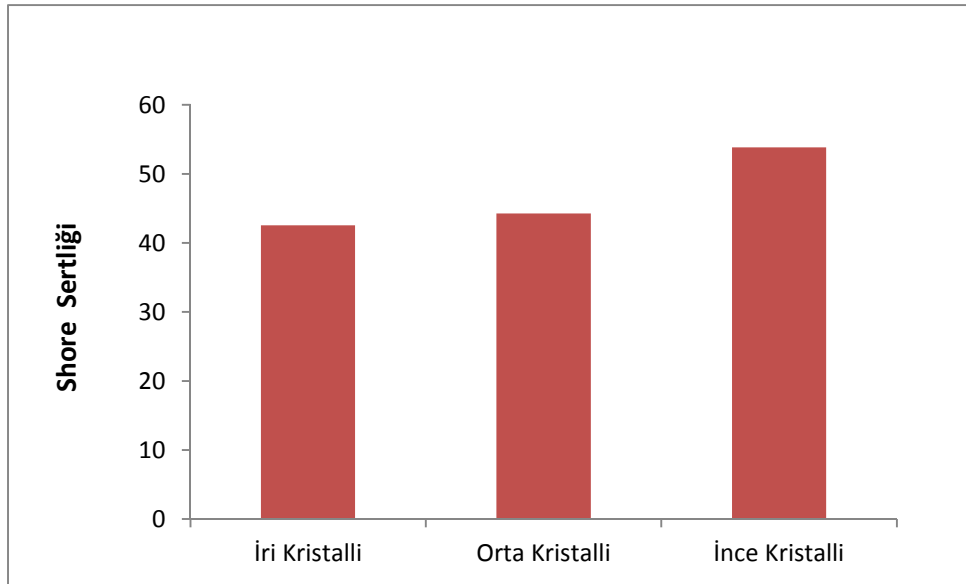


Şekil 6.11 Shore sertlik indeksi deneyi aleti

Tablo 6.17 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin Shore sertliği

Shore Sertlik İndeksi	N	Ortalama \pm Standart Sapma
İri Kristalli Mermer	50	42,58 \pm 4,53
Orta Kristalli Mermer	50	44,26 \pm 6,50
İnce Kristalli Mermer	50	53,84 \pm 4,19

N: Vuruş sayısı



Şekil 6.12 Farklı kristal boyutuna sahip mermerlerin Shore sertlikleri

Farklı kristal boyutlarına sahip Muğla mermerlerinin Shore sertliği iri kristalli mermerlerde 42,58, orta kristal boyutuna sahip mermerlerde 44,26, ince kristalli mermerlerde ise 53, 84 olarak ölçülmüştür (Tablo 6.17).

BÖLÜM YEDİ

DURABİLİTE ÖZELLİKLERİ

7.1 Giriş

Durabilite, kayaçların çevre koşulları içerisinde bozunmaya karşı direncini ve zaman içerisinde şeklini, boyutunu, dayanımını ve orijinal görüntüsünü koruma kabiliyetinin ölçülmesidir (Sims 1991, Bell 1993).

Ocaktan çıkarılan ve yapıtaşı olarak kullanılan kayaçlar günlük sıcaklık farklarından ciddi bir şekilde etkilenirler. Bu sıcaklık farkları kayaçlarda genleşme ve büzölmelere sebep olur ki bu da kayacın içerisinde farklı yönde ve farklı büyüklükte basınçlara sebep olur. Bu sıcaklık değişimleri kayaçlarda kılcal çatlakların oluşmasına yol açar ve sürekli tekrarlanan bu değişim zamanla kayaçta daha büyük ve fazla fissürlerin oluşmasına sebep olur. Çatlaklar ise bu döngü sebebi ile kayaçları deforme ederek onların parçalar ve ufalar. Çöllerdeki kumlar bu büyük sıcaklık değişimleri sonucu oluşur. Minerallerde ise kimisi homojen kimisi heterojen şekilde genleşir. Mermerlerin ve kireçtaşlarının ana minerali olan kalsit ise ana eksen boyunca çok genleşirken, diğer yönde büzölme gösterir. Sıcaklık değişim döngüsü içerisinde farklı yönlerde bir araya gelmiş bir kalsit mineralinin ara boşluklarında çatlaklar meydana gelebilir ve ortamda su da bulunuyorsa bu süreç daha hızlı işler hale gelebilir. Bu sayede boşluk oranı artan kayaçta deformasyonlar da artar ve kayaç zamanla parçalanarak dökülür (Küçükkaya 1995).

Özenle seçilen, kötü atmosfer şartlarında bile uzun süre dayanıklılığını koruyan kayaçlar belli bir süre sonunda bozulmakta ve bazen bozunmasının hızlanması ile kayacın durabilitesi tamamen kaybolabilmektedir. Kayaçlardaki bu bozunmanın sebeplerinin başında doğa koşulları gelirken taşın jeolojik yapısıyla ilgili problemlerde buna önemli ölçüde katkıda bulunur. Taşın kullanım yeri ve amacının yanında, dokusunda ve yapısındaki uygunsuzluklar ilerde oluşacak durabilite zafiyetine zemin hazırlar (Küçükkaya 1995).

Durabilite, mühendislik projelerinde kullanılan doğal yapıtaşlarının maruz kaldığı değişik özelliklerdeki çevresel ve iklimsel bozucu parametreler karşısında

gösterdikleri direnç olarak tanımlanabilir. Bu çevresel faktörler ıslanma-kuruma, donma-çözünme, ısınma-soğuma, tuz kristallenmesi ve biyolojik aktiviteler başta olmak üzere çok çeşitlilik gösterir. Bu faktörler zamanla kayacın ciddi şekilde bozunmasına ve nihayetinde kayacın kullanılamaz hale gelmesine sebep olur (Siegesmund ve Ruedrich 2011, Stück ve diğ.,2011, Reudrich ve diğ.,2011, Koralay ve diğ., 2011, Steinberger 2003, Topal ve Sözen 2003, Topal ve Doyuran 1997, Yavuz 2006).

Kayaçların mimaride ve diğer yapı inşaatlarında kullanılmadan önce değişik çevresel ayrıştırıcın bulunduğu ortamdaki davranışlarını belirleme amacıyla laboratuvar ortamında hızlandırılmış bozunma deneyleri yapılır. Islanma- kuruma, donma- çözünme ve Na_2SO_4 ve MgSO_4 tuz kristallenmesi deneyleri bu amaçla yapılan öncelikli deneylerdir (Yavuz 2006, Topal ve Doyuran 1997, Topal ve Sözen 2003).

Kayaçların çevre koşulları altındaki davranışlarını belirlemek amacıyla geliştirilmiş çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Su emme kapasitesi, gözenek boyu dağılımı, ıslak ve kuru tek eksenli basınç direnç oranları, statik durabilite indeksi ve slake durabilite indeksi bu yöntemlerden bazılarıdır (Topal ve Doyuran 1997).

Bu çalışmada farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinden alınan bloklardan elde edilen numuneler üzerinde ıslanma-kuruma, donma-çözünme ile Na_2SO_4 ve MgSO_4 tuz kristallenmesi deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki değişiklikler ve deney sonrası kütle kayıpları hesaplanmıştır. Ayrıca kayaçların durabiliteleri, doygunluk katsayısı, gözenek boyu dağılımı ve ıslak kuru tek eksenli basınç direnç oranı ve statik kaya durabilite indeksi yöntemleri ile ayrı ayrı belirlenmiştir.

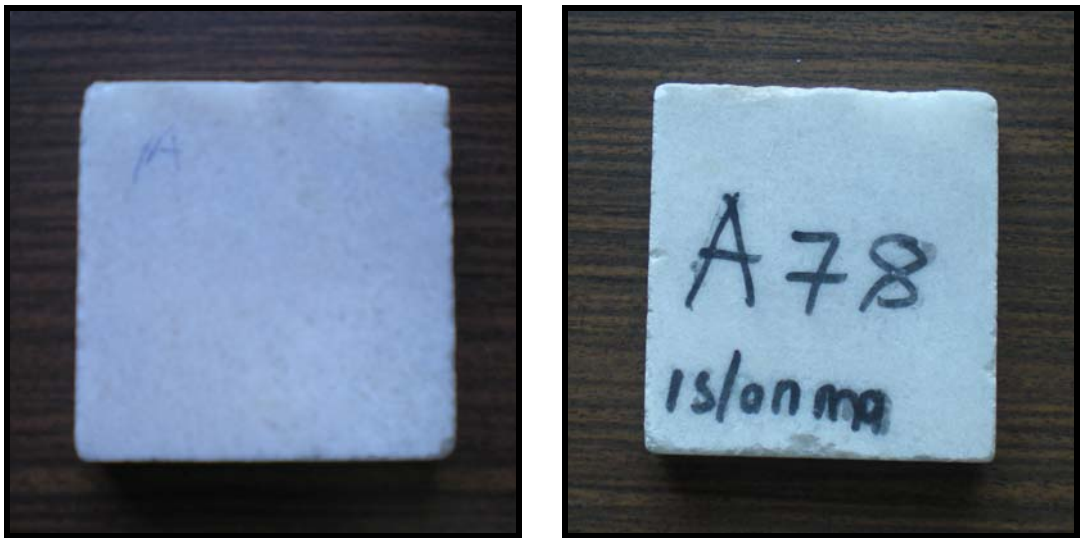
7.2 Hızlandırılmış Ayrıştırma Deneyleri

Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerleri üzerinde ıslanma-kuruma, donma-çözünme ve tuz kristallenmesi (Na_2SO_4 , MgSO_4) deneyleri yapılarak, mermerlerin ayrıştırıcı çevresel koşullar altında bozunmaya karşı gösterdikleri direnç saptanmış ve durabiliteleri hakkında bilgi edinilmiştir.

7.2.1 İslanma Kuruma Deneyi

İslanma kuruma deneyi doğal yapıtaşı olarak kullanılacak kayaçların durabilitelerinin belirlenmesi amacıyla kullanılan bir deneydir (Yavuz 2006, Topal ve Sözen 2003, Topal 2009, Rossi-Manaresi 1976, Knöfel ve diğ., 1987). Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin ıslanma-kuruma deneyi sonrası fiziksel özellikleri, kütle kaybı ve tek eksenli basınç direncindeki değişim incelenmiştir. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Kaya Mekaniği laboratuvarında deney için 7×7×7 cm boyutlarındaki küp numuneler hazırlanmıştır. Bu numuneler TS 699 uygun olarak ıslanma-kuruma deneyine tabi tutulmuştur. Deney 60 periyot sonunda tamamlanarak her 10 periyota bir mermerlerin birim hacim ağırlıkları, poroziteleri, ağırlıkça su emmeleri ve boşluk oranları gibi fiziksel özellikleri bulunmuştur. Ayrıca mermerlerin her 10 periyotta bir toplam kütle kayıpları ve tek eksenli basınç dirençleri bulunmuştur.

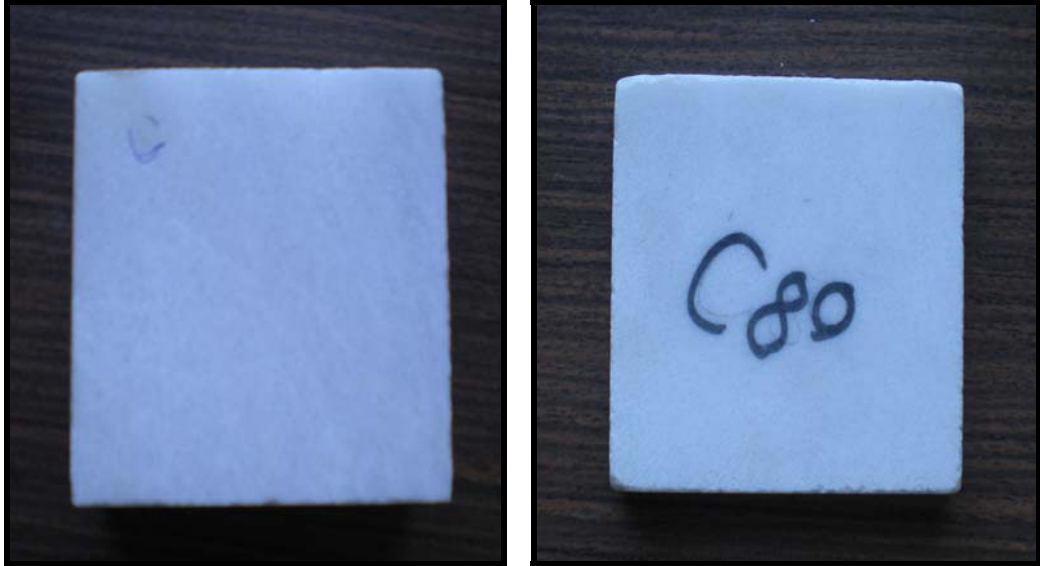
Deney için hazırlanmış olan numuneler 6 saat boyunca içinde saf su bulunan kaba yerleştirilir. Bu süre sonunda kaptan çıkarılan numuneler 70 ± 5 °C lik etüve yerleştirilir en az 12 saat kurutulduktan sonra, etüvden çıkarılarak soğuma için oda sıcaklığında 30 dakika bekletilir. Böylelikle bir periyot tamamlanmış olur ve her 10 periyot sonunda numunelerin terazide kuru, suya doymun ve su içinde ağırlıkları ölçülerek fiziksel özellikleri bulunmuş olur.



Şekil 7.1 İri kristalli mermerlerin ıslanma–kuruma deneyi öncesi ve sonrası görünümü



Şekil 7.2 Orta kristal boyutuna sahip mermerlerin ıslanma–kuruma deneyi öncesi ve sonrası görünümü

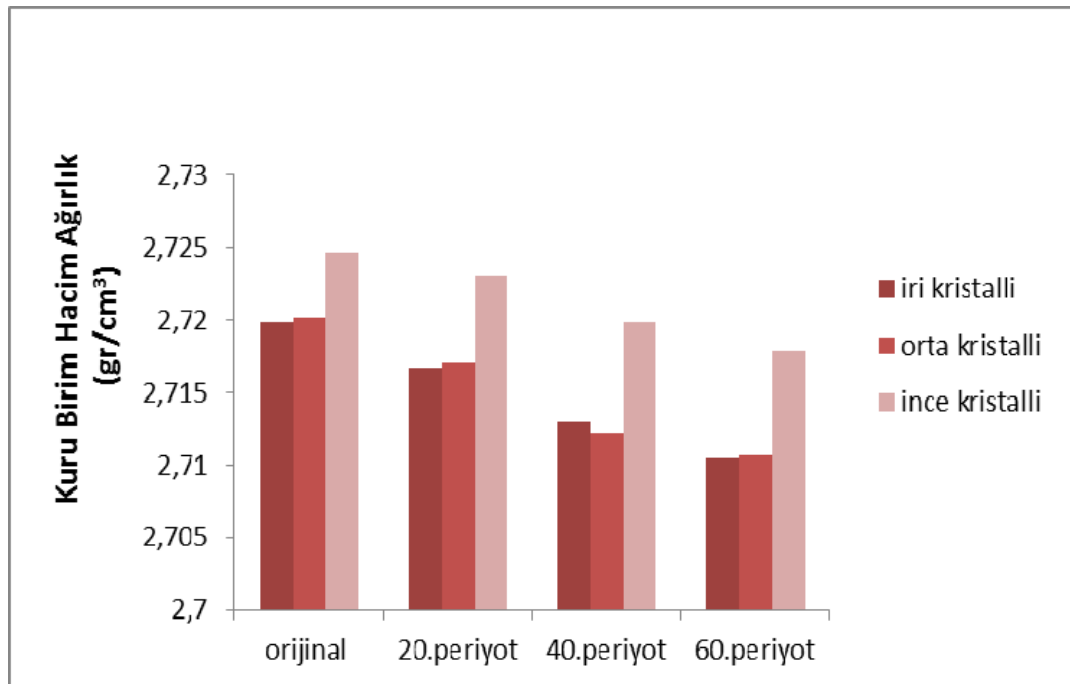


Şekil 7.3 İnce kristalli mermerlerin ıslanma–kuruma deneyi öncesi ve sonrası görünümü

Islanma- kuruma deneyine başlamadan önce bu deney için hazırlanmış olan $7 \times 7 \times 7$ cm boyutlarındaki küp numunelerinin fiziksel özellikleri hesaplanmış ve her 10 periyot sonrası numunelerin fiziksel özellikleri baştan hesaplanarak orijinal numunelerin fiziksel özellikleri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 7.1,7.2, 7.3).

Tablo 7.1 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin ıslanma-kuruma deneyi boyunca kuru birim hacim ağırlığındaki değişim

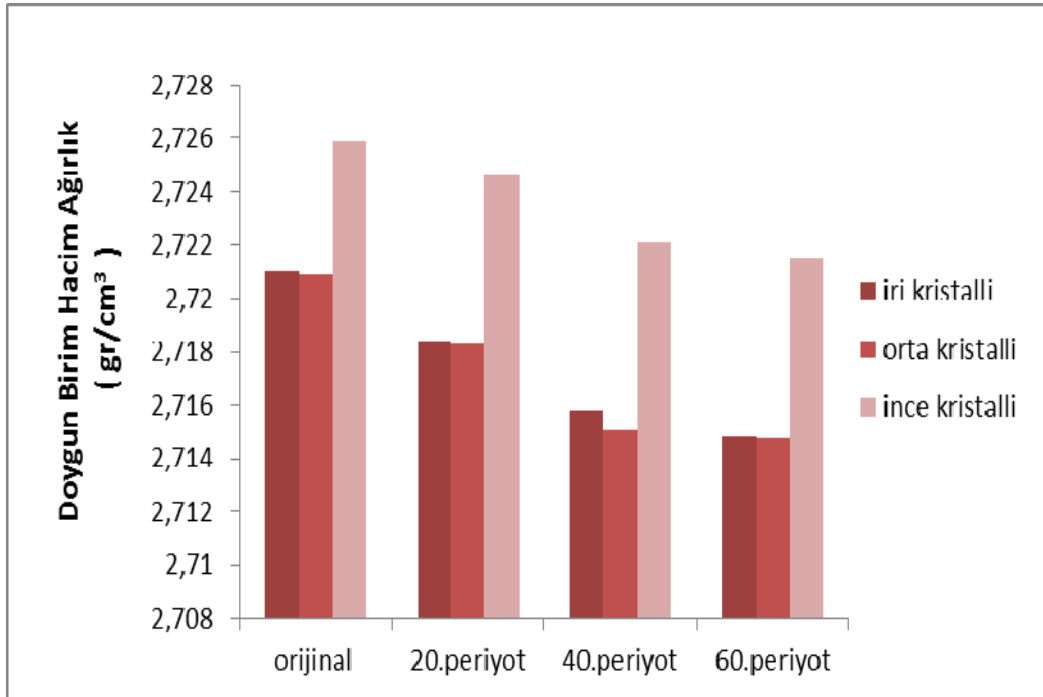
Mermer Türü	Kuru Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)			
	Taze Numune	20.Periyot	40.Periyot	60.Periyot
İri Kristalli	2,71984	2,716747	2,712948	2,710494
Orta Kristalli	2,720178	2,717033	2,712268	2,710673
İnce Kristalli	2,724631	2,723135	2,719892	2,717855



Şekil 7.4 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin ıslanma-kuruma deneyi boyunca kuru birim hacim ağırlığındaki değişim grafiği

Tablo 7.2 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin ıslanma-kuruma deneyi boyunca kuru birim hacim ağırlığındaki değişim

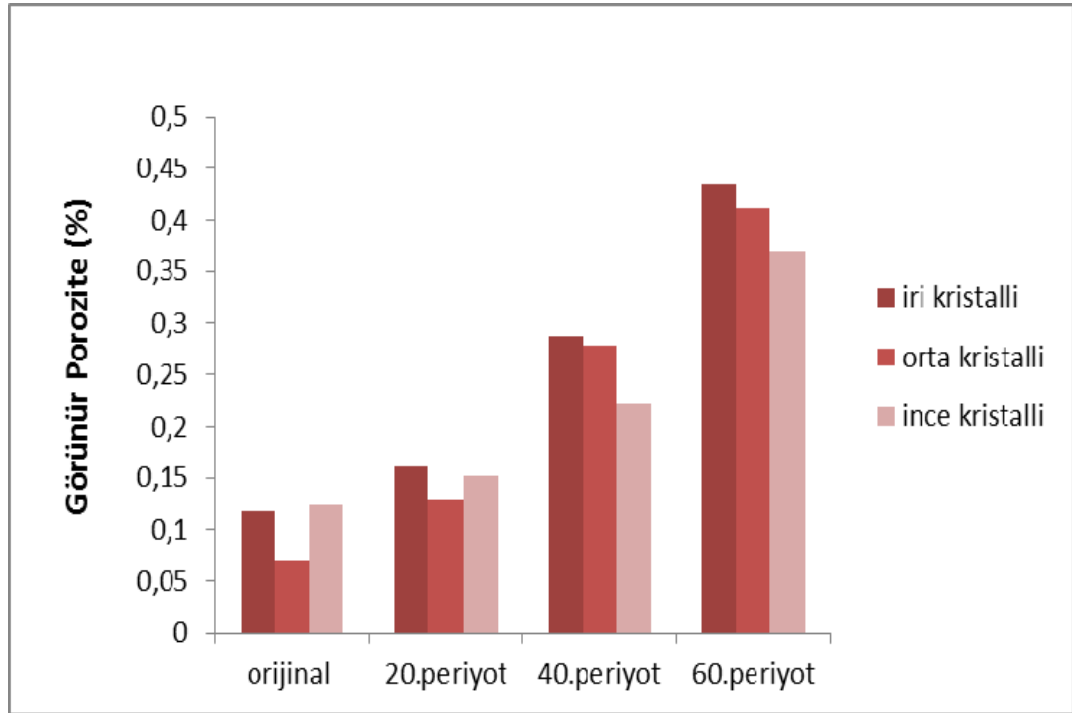
Mermer Türü	Doygun Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)			
	Taze Numune	20.Periyot	40.Periyot	60.Periyot
İri Kristalli	2,72104	2,718356	2,715825	2,714834
Orta Kristalli	2,72088	2,718312	2,715046	2,714792
İnce Kristalli	2,72587	2,724648	2,722111	2,72155



Şekil 7.5 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin ıslanma-kuruma deneyi boyunca doymuş birim hacim ağırlığındaki değişim

Tablo 7.3 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin ıslanma-kuruma deneyi boyunca görünür porozitelerindeki değişim

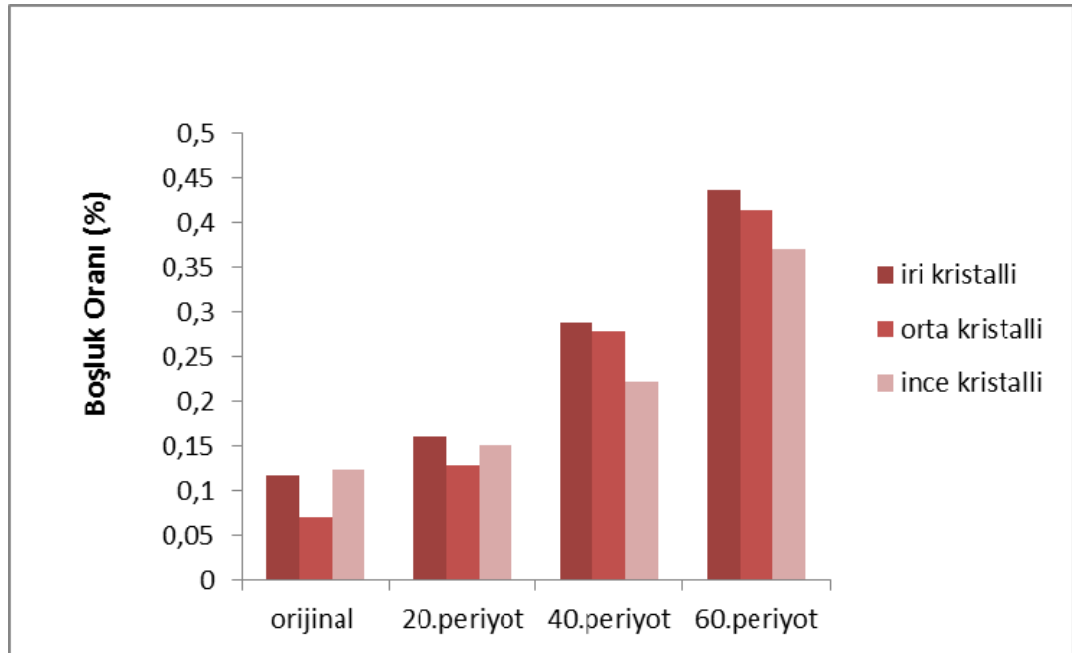
Mermer Türü	Görünür Porozite (%)			
	Taze Numune	20.Periyot	40.Periyot	60.Periyot
İri Kristalli	0,11734	0,160896	0,287693	0,433953
Orta Kristalli	0,070168	0,127974	0,277849	0,411938
İnce Kristalli	0,12363	0,151307	0,221908	0,369509



Şekil 7.6 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin ıslanma-kuruma deneyi boyunca görünür porozitelerindeki değişim grafiği

Tablo 7.4 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin ıslanma-kuruma deneyi boyunca boşluk oranlarındaki değişim

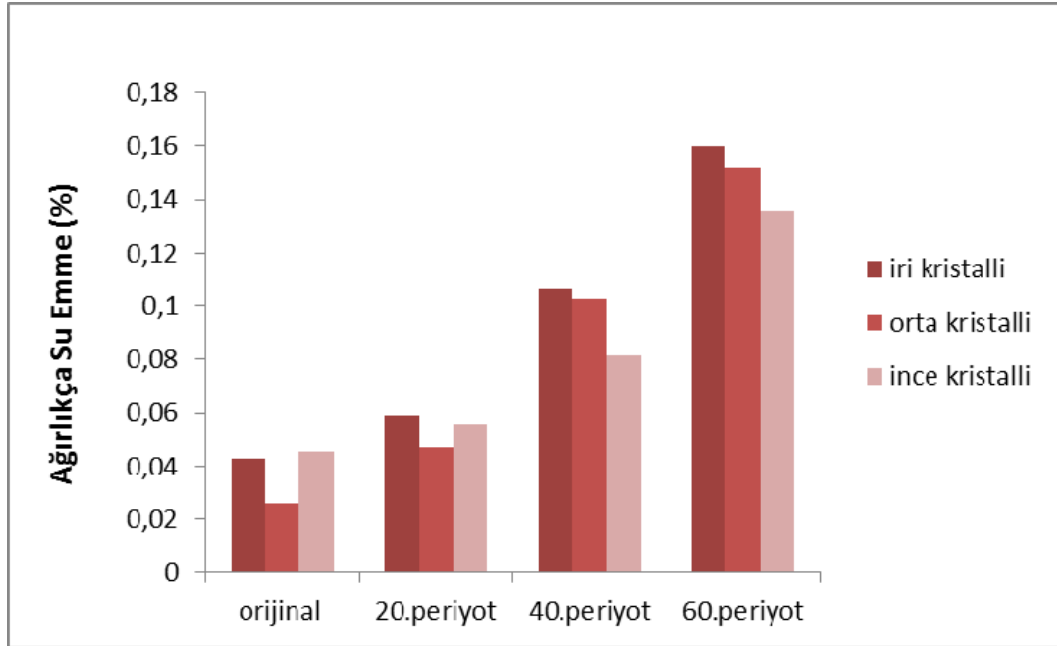
Mermer Türü	Boşluk Oranı (%)			
	Taze Numune	20.Periyot	40.Periyot	60.Periyot
İri Kristalli	0,11746	0,161171	0,288541	0,435869
Orta Kristalli	0,070218	0,128138	0,278629	0,413738
İnce Kristalli	0,123785	0,151538	0,222408	0,370895



Şekil 7.7 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin ıslanma-kuruma deneyi boyunca boşluk oranlarındaki değişim grafiği

Tablo 7.5 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin ıslanma-kuruma deneyi boyunca ağırlıkça su emme değerlerindeki değişim

Mermer Türü	Ağırlıkça Su Emme (%)			
	Taze Numune	20.Periyot	40.Periyot	60.Periyot
İri Kristalli	0,04312	0,05921	0,106038	0,160086
Orta Kristalli	0,025796	0,0471	0,102444	0,152007
İnce Kristalli	0,04537	0,055561	0,081582	0,135952



Şekil.7.8 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin ıslanma-kuruma deneyi boyunca boşluk oranlarındaki değişim grafiği

Islanma-kuruma deneyi 60.periyot sonrası iri kristalli Muğla mermerlerinin kuru birim hacim ağırlığında % 0,34, doygun birim ağırlığında % 0,23 oranında azalma, boşluk oranında % 271,07, ağırlıkça su emme değerinde % 271,14, porozitesinde %

269,88 oranında artma görülmüştür. Orta kristal boyutuna sahip mermerlerin kuru birim hacim ağırlığında % 0,35, doymun birim ağırlığında % 0,22 azalma, boşluk oranında % 489,22 ağırlıkça su emme değerinde % 489,27, porozitesinde % 487,08 oranında artma gerçekleşmiştir. İnce kristalli mermer numunelerinin kuru birim hacim ağırlığında % 0,25, doymun birim ağırlığında % 0,16 azalma, boşluk oranında % 199,63, ağırlıkça su emme değerinde % 199,65 porozitesinde % 198,88 oranında artma görülmüştür.

7.2.1.1 İslanma-Kuruma Deneyi Sonrası Farklı Kristal Boyutuna Sahip Muğla Mermerlerinin Kütle Kaybı

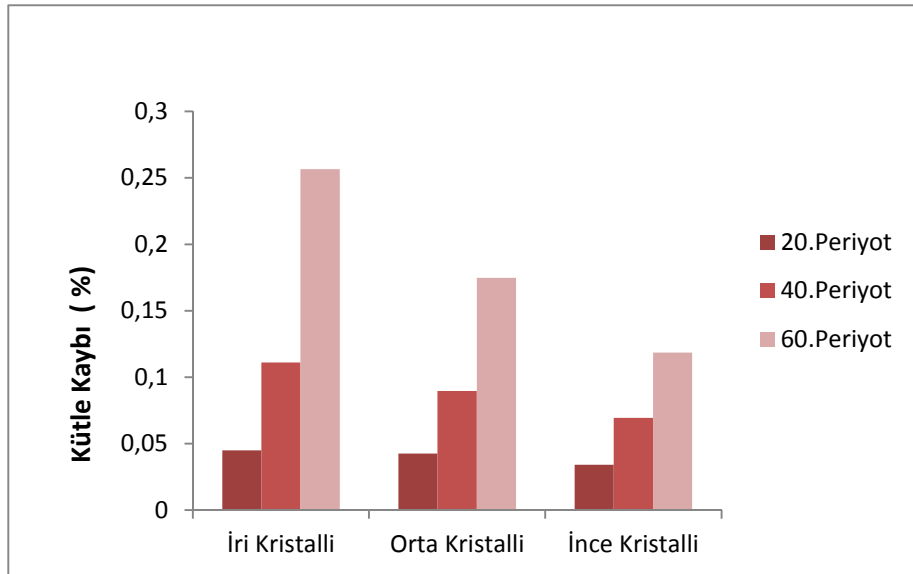
Farklı kristal boyutuna sahip mermer gruplarının ıslanma- kuruma deneyi sonunda kuru ağırlıkları $\pm 0,01$ hassasiyetle tartılarak deneyin başında ölçülen kuru ağırlıkları ile kıyaslanmıştır. Deney sonucunda oluşan kütle kaybı aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmış ve Tablo 7.6'da verilmiştir.

$$W=(W_1-W_2)/W_1 \times 100 \dots \dots \dots (11)$$

W =Deney sonu kütle kaybı (%)

W₁ =Deney başlamadan önceki kuru ağırlık (gr)

W₂ =Deney sonrası kuru ağırlık (gr)



Şekil 7.9 Muğla mermerlerinin ıslanma-kuruma deneyi sonrası kütle kaybı

Tablo 7.6 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin ıslanma kuruma deneyi sonrası kütle kaybı

Mermer Türü	N	Islanma Kuruma Sonrası Kütle Kaybı Ortalama (%)		Standart Sapma
		20.Periyot Sonu	40.Periyot Sonu	
İri Kristalli Mermer	5	20.Periyot Sonu	0,045	0,007731
		40.Periyot Sonu	0,111087	0,017685
		60.Periyot Sonu	0,256523	0,061718
Orta Kristalli Mermer	5	20.Periyot Sonu	0,04255	0,004068
		40.Periyot Sonu	0,089644	0,008033
		60.Periyot Sonu	0,174654	0,04087
İnce Kristalli Mermer	5	20.Periyot Sonu	0,034206	0,003669
		40.Periyot Sonu	0,069443	0,005721
		60.Periyot Sonu	0,118416	0,007714

N: Deneyde kullanılan numune sayısı

Toplamda 60 periyot olan ıslanma kuruma deneyi sonucunda iri kristalli Muğla mermerlerinde 20.periyot sonunda % 0,04, 40.periyot sonunda % 0,11 ve 60.periyot sonunda % 0,26 oranında kütle kaybı geliştiği belirlenmiştir. Orta kristalli Muğla mermerlerinde 20.periyot sonunda % 0,04, 40.periyot sonunda % 0,09 ve 60.periyot sonunda % 0,17 oranında kütle kaybı geliştiği belirlenmiştir. İnce kristalli Muğla mermerlerinde 20.periyot sonunda % 0,03, 40.periyot sonunda % 0,07 ve 60.periyot sonunda % 0,12 oranında kütle kaybı geliştiği belirlenmiştir.

7.2.1.2 İslanma-Kuruma Deneyi Sonrası Farklı Kristal Boyutuna Sahip Muğla Mermerlerinin Direnç Kaybı

Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerleri ıslanma kuruma deneyine tabi tutulmuştur. Her bir gruptan 5'er tane olmak üzere 13 adet 7×7×7 cm boyutundaki numunelerin ıslanma kuruma deneyi sonunda 200 tonluk hidrolik pres yardımıyla tek eksenli basınç direnci saptanmış ve taze numuneler üzerinde yapılan tek eksenli basınç direnci deneylerinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır (Şekil 7.12). 80 periyotluk ıslanma-kuruma deneyi sonrasında iri kristalli mermerlerde % 9,37, orta kristal boyutuna sahip mermerlerde % 26,16, ince kristalli mermerlerde % 19,74 oranında tek eksenli basınç direnci kaybına uğradıkları aşağıdaki formül yardımıyla saptanmıştır (Tablo 7.7).



Şekil 7.10 İslanma kuruma deneyi sırasındaki Muğla mermerlerinin yüzey görüntüleri



Şekil 7.11 İslanma kuruma deneyi sırasındaki Muğla mermerlerinin yüzey görüntüleri

Tablo 7.7 İri, orta ve ince kristalli Muğla mermerlerinin ıslanma-kuruma deneyi sonrası tek eksenli basınç direnci ortalamaları

Mermer Türü	N	İslanma Kuruma Deneyi Sonrası Direnç Değişimi		
		Ortalama Değer ± Standart Sapma (SD)	Deney Öncesi Kuru TEBD (kg/cm ²)	Deney Sonrası Kuru TEBD (kg/cm ²)
İri Kristalli Mermer	3	Ortalama	839,48	760,75
		Standart Sapma	± 185,28	± 78,57
Orta Kristalli Mermer	5	Ortalama	878,59	657,51
		Standart Sapma	± 105,17	± 109,24
İnce Kristalli Mermer	5	Ortalama	1090,89	875,51
		Standart Sapma	±128,35	±130,79

N:Deneyde kullanılan numune sayısı

Islanma kuruma sonrası direnç kaybı aşağıdaki formül yardımıyla bulunmuştur.

$$f = (\delta_1 - \delta_2) / \delta_1 \times 100 \dots \dots \dots (12)$$

f = Deney sonunda meydana gelen direnç kaybı (%)

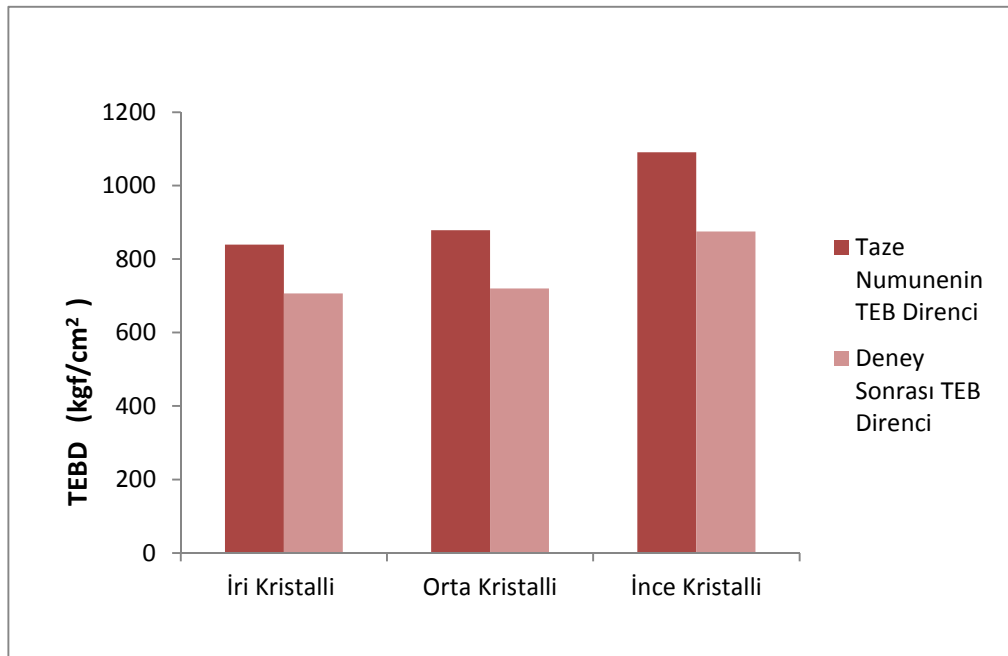
δ_1 = Taze numunelerin tek eksenli basınç direnci ortalaması (kgf/cm²)

δ_2 = Deney sonrası numunelerin tek eksenli basınç direnci ortalaması (kgf/cm²)

Tablo 7.8 Islanma kuruma deneyi sonrası tek eksenli direnç kaybı

Mermer Türü	N	Direnç Kaybı (%)
İri Kristalli Mermer	3	9,37
Orta Kristalli Mermer	5	25,16
İnce Kristalli Mermer	5	19,74

N: Numune kullanılan numune sayısı



Şekil 7.12 .İri, orta ve ince kristalli Muğla mermerlerinin taze numune ile ıslanma kuruma deneyi sonrası tek eksenli basınç direnci karşılaştırması

7.2.2 Donma Çözünme Deneyi

Donma, mimaride yapıtaşı olarak kullanılan doğal taşlar üzerinde ciddi deformasyonlara yol açan çevresel bir faktördür. Donma çözünme deneyinde kullanılan örnekler nem değişimi ve sıcaklık nedeniyle gerilmelere maruz kalıp bozunmaya başlarlar ve bu etki-tepki durumu kayaçtan kayaca değişiklik gösterir. Bu sebeple termohidrik faktörler ve nem sebebiyle meydana gelen genişleme doğal taşın kullanılabilirliği ve kullanım ömrü açısından önemli parametrelerdir (Siegesmund ve diğ., 2011).

Donma çözünme deneyi, suyun donarak buzun olduğu zaman kayaç içerisinde oluşabilecek gerilemeyi üretmek ve taşta yarattığı tahribatı gözlemlemek amacıyla yapılmaktadır (Topal, 1999).

Nem ve atmosferik değişimler doğal taşların bozunmasına sebep olan ve süreci hızlandıran olumsuz faktörlerdir. Nemli ortamlarda don ve sıcaklık farklılıkları kayacın içerisinde gerilmeler yaratarak, içeride ve dışarıda parçalanmalara ve kopmalara neden olmaktadır (Küçükaya, 1995).

Donma ve çözünme süreçleri sonucunda taşta oluşan deformasyonu belirlemek amacıyla bir dizi deney yapılmaktadır. Bu etkiler genellikle bir miktar su içeren örneklerde 0 °C' nin altında ve üstündeki çeşitli sıcaklıklarda elde edilmektedir. Çözeltinin buz haline gelmesinin nedeni bilinmektedir. Buzun kristalleşmeye başlaması ve büyümesi sonucunda taşın içinde çatlakların ve parçalanmaların gelişmesi gözlenir. Su normal atmosferik koşullarda 0 °C de donmaktadır. Ancak kayaçların içerisindeki su 0 °C altında kristalleşmeye başlar (Rossi-Doria, 1985; Siegesmund ve diğ., 2011).

İklimlere ve mevsimlere bağlı olarak gelişen donma çözünme süreçleri sonrasında kayacın gözenek ve çatlaklarındaki sular doğal taşlar içerisinde bozunmaya sebep olmaktadır. Donan su, donma sırasında suyun hacminin % 9 oranında genişmesi sebebiyle gözenekler içerisinde bir basınç oluşturmaktadır.

Genleşen suyun sebep olduğu bu basınç, kayacın çekme gerilmesine ulaşır. Donma-çözünme sonucunda kayaç içerisinde yeni mikro çatlaklar gelişir ve önceden var olanlar daha da derinleşir, genişler. Bu nedenle çözünme sonrasında su gözenekler içerisinde rahatlıkla yer değiştirip göç edebilir (Yavuz ve diğ., 2006).

Donma çözünme deneyi, bir hızlandırılmış durabilite deneyi olup bu döngü sonrasında doğal taşlar üzerinde mevsimsel ve iklimsel hareketliliklerin sebep olduğu fiziksel ve mekanik değişiklikler ve doğal taşlarda meydana gelen kütle kayıplarını önceden tahmin edebilmemiz konusunda kolaylık sağlamaktadır (Topal ve Doyuran, 1997; Siegesmund ve Ruedrich, 2011).

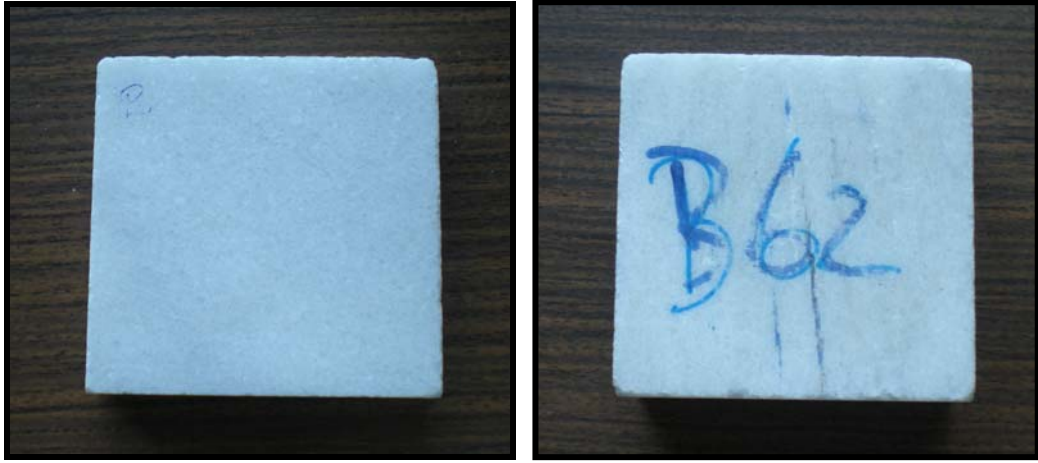
Bu çalışmada farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinden alınan $7 \times 7 \times 7$ cm ebatlarındaki 15 numune üzerinde TS 699 standartlarına bağlı kalınarak donma çözünme deneyi yapılmıştır. Deneyin sonucunda numunelerde oluşan kütle kaybı hesaplanarak, birim hacim ağırlık, porozite, ağırlıkça su emme, boşluk oranı gibi fiziksel özellikler ile tek eksenli basınç direnci değişimleri belirlenmiştir.

Donma-çözünme deneyi için hazırlanan $7 \times 7 \times 7$ cm boyutlarındaki küp numuneler numunelerin deneye başlamadan önce fiziksel özellikleri bulunduktan sonra dondurucuya yerleştirilir. -20 °C ye kadar düşen sıcaklıkta 6 saat bekletilen numuneler bu süre sonunda dondurucudan çıkartılarak içinde su bulunan kaba tamamı su içinde kalacak şekilde yerleştirilir. Böylelikle bir periyot tamamlanmış olur ve donmuş numunelerin çözülmesi sağlanır.

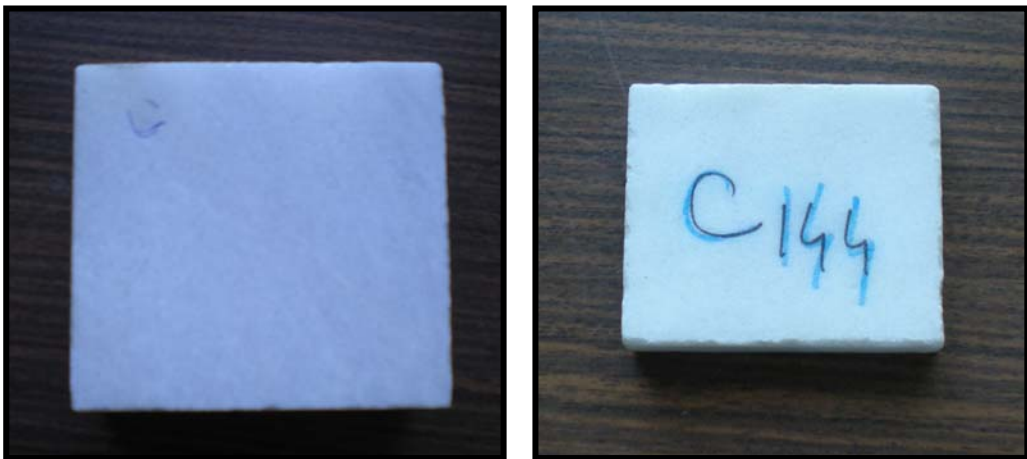
Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerleri üzerinde yapılan 30 periyotluk donma çözünme deneyi sonrası numunelerin kuru ve doygun birim hacim ağırlıkları, boşluk oranları, ağırlıkça su emme ve porozite gibi fiziksel özellikleri her 10 periyotta bir belirlenmiş ve bu özellikler deneye başlamadan önceki fiziksel özellikleri ile kıyaslanmıştır.



Şekil 7.13 İri kristalli mermerlerin donma-çözünme deneyi öncesi ve sonrası görünümü



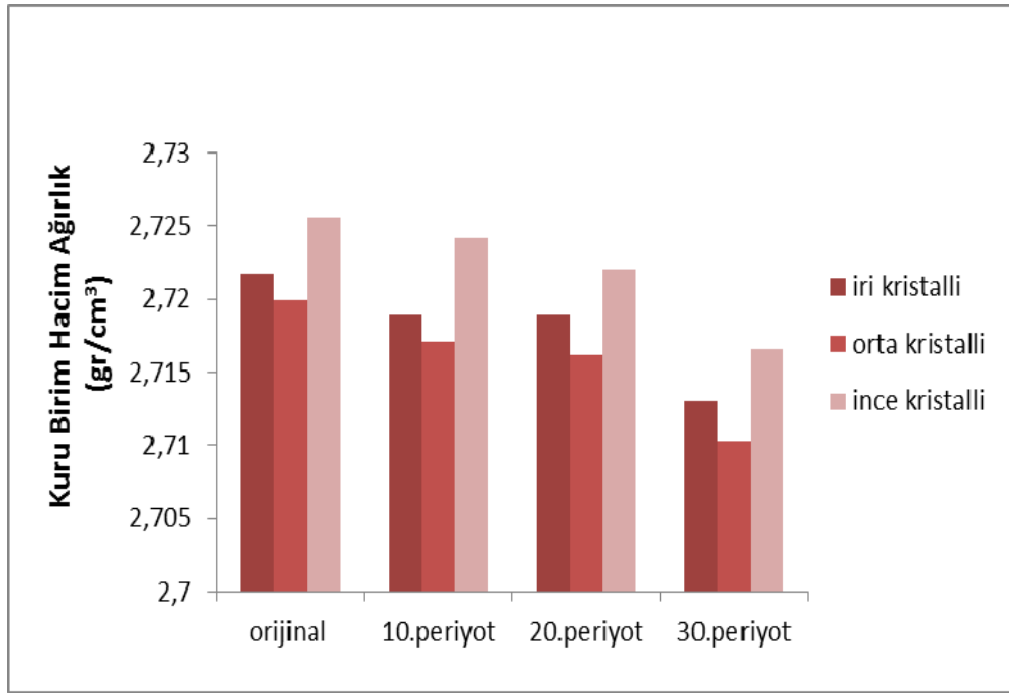
Şekil 7.14 Orta kristallimermerlerin donma-çözünme deneyi öncesi ve sonrası görünümü



Şekil 7.15 İnce kristalli mermerlerin donma-çözünme deneyi öncesi ve sonrası görünümü

Tablo 7.9 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin donma-çözünme deneyi boyunca kuru birim hacim ağırlığındaki değişim

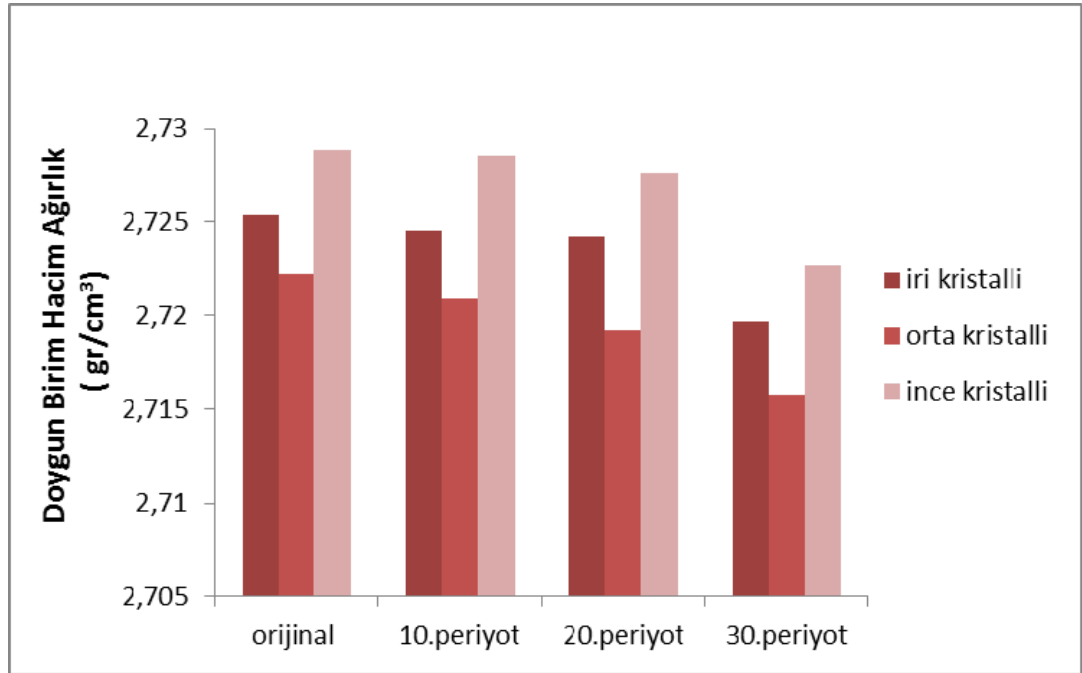
Mermer Türü	Kuru Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)			
	Taze Numune	10.Periyot	20.Periyot	30.Periyot
İri Kristalli	2,721732	2,718859	2,718904	2,713036
Orta Kristalli	2,719948	2,7171	2,716134	2,710318
İnce Kristalli	2,725545	2,724194	2,721987	2,716567



Şekil 7.15 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin donma çözünme öncesi ve sonrası kuru birim hacim ağırlığındaki değişim

Tablo 7.10 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin donma-çözünme deneyi boyunca doygun birim hacim ağırlığındaki değişim

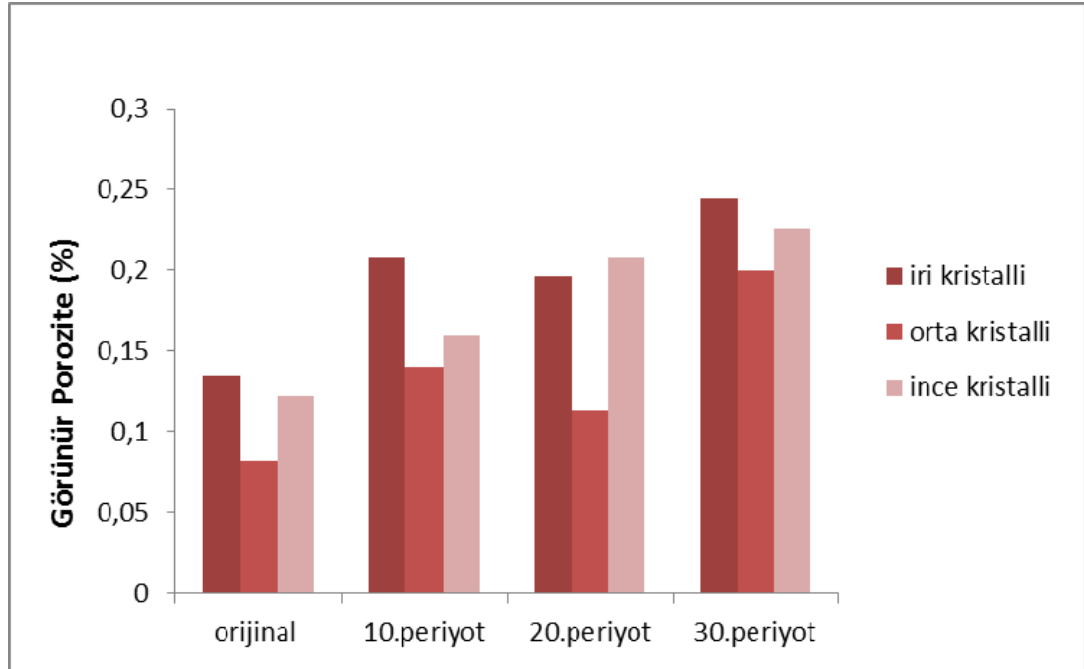
Mermer Türü	Doygun Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)			
	Taze Numune	10.Periyot	20.Periyot	30.Periyot
İri Kristalli	2,725398	2,724503	2,724254	2,719674
Orta Kristalli	2,72219	2,720897	2,719213	2,715729
İnce Kristalli	2,728869	2,728551	2,727639	2,722697



Şekil 7.16 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin donma çözünme öncesi ve sonrası doygun birim hacim ağırlığındaki değişim

Tablo 7.11 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin donma-çözünme deneyi boyunca görünür porozite değerindeki değişim

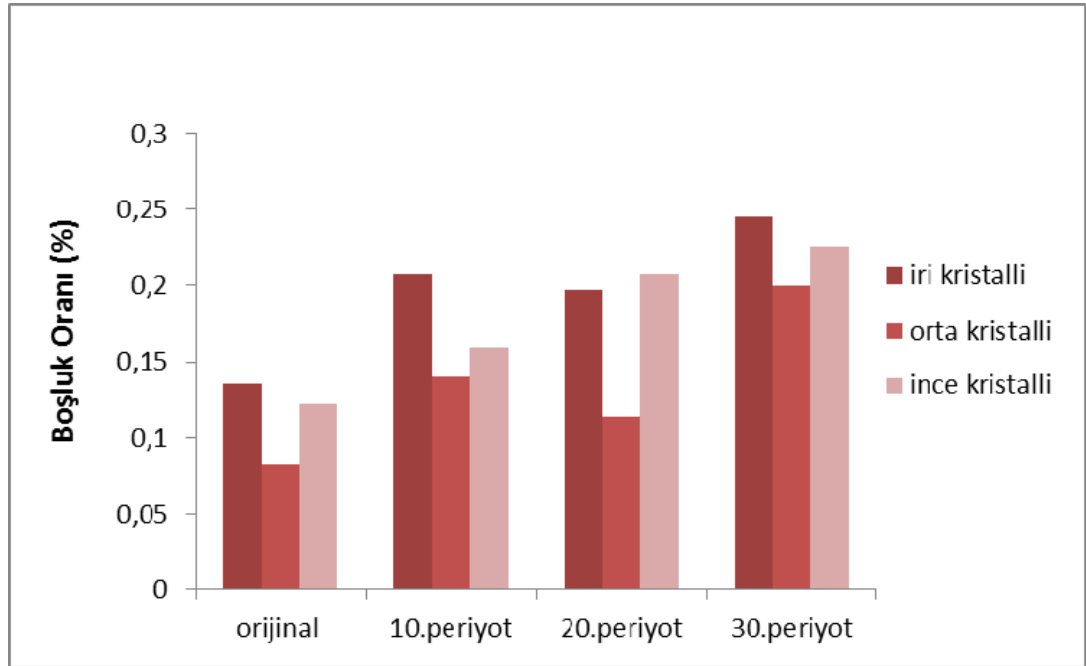
Mermer Türü	Görünür Porozite (%)			
	Taze Numune	10.Periyot	20.Periyot	30.Periyot
İri Kristalli	0,134541	0,207101	0,19639	0,244119
Orta Kristalli	0,082369	0,139545	0,113215	0,199241
İnce Kristalli	0,121792	0,159653	0,207192	0,225124



Şekil 7.17 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin donma çözünme öncesi ve sonrası görünür porozitelerindeki değişim

Tablo 7.12 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin donma-çözünme deneyi boyunca boşluk oranındaki değişim

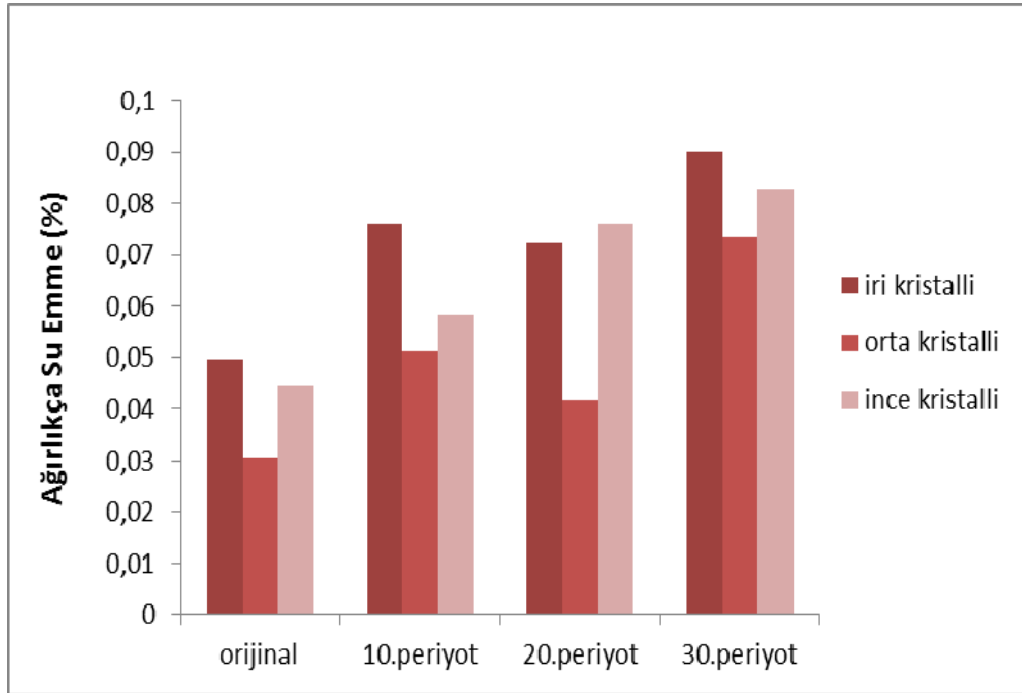
Mermer Türü	Boşluk Oranı (%)			
	Taze Numune	10.Periyot	20.Periyot	30.Periyot
İri Kristalli	0,134731	0,207534	0,196793	0,244742
Orta Kristalli	0,082437	0,139741	0,113372	0,199653
İnce Kristalli	0,121942	0,15991	0,207626	0,225636



Şekil 7.18 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin donma çözünme öncesi ve sonrası boşluk oranındaki değişim

Tablo 7.13 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin donma-çözünme deneyi boyunca ağırlıkça su emme değerindeki değişim

Mermer Türü	Ağırlıkça Su Emme (%)			
	Taze Numune	10.Periyot	20.Periyot	30.Periyot
İri Kristalli	0,049439	0,076163	0,07225	0,090003
Orta Kristalli	0,030283	0,051358	0,041686	0,073518
İnce Kristalli	0,044681	0,058603	0,076115	0,082863



Şekil 7.19 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin donma çözünme öncesi ve sonrası ağırlıkça su emme değerindeki değişim

Donma-çözünme deneyi 30.periyot sonrası iri kristalli Muğla mermerlerinin kuru birim hacim ağırlığında % 0,32, doymun birim ağırlığında % 0,128 azalma, boşluk oranında % 81,65, ağırlıkça su emme değeriinde % 82,05, porozitesinde % 81,45 oranında artma görülmüştür. Orta kristal boyutuna sahip mermerlerinin kuru birim hacim ağırlığında % 0,35, doymun birim ağırlığında % 0,31 azalma, boşluk oranında % 142,19 ağırlıkça su emme değeriinde % 142,77 porozitesinde % 141,89 oranında artma gerçekleşmiştir. İnce kristalli mermer numunelerinde ise kuru birim hacim ağırlığında % 0,33, doymun birim ağırlığında % 0,29 azalma, boşluk oranında % 85,04, ağırlıkça su emme değeriinde % 85,46 porozitesinde % 84,84 oranında artma görülmüştür (Şekil 7.15, 7.16, 7.17, 7.18, 7.19).

7.2.2.1 Farklı Kristal Boyutuna Sahip Muğla Mermerlerinin Donma Çözünme Sonrası Kütle Kaybı

Muğla mermerleri üzerinde 40 çevrim donma çözünme deneyi uygulanarak kayacın deney öncesi kuru ağırlığı ve deney sonrası kuru ağırlığı karşılaştırılmıştır. Aşağıdaki eşitlik yardımı ile de numunelerde donma çözünme deneyi sonrasında oluşan kütle kayıpları hesaplanmıştır (Eşitlik 13).

$$W=(W_1-W_2)/W_1 \times 100 \dots \dots \dots (13)$$

W =Deney sonu kütle kaybı (%)

W₁ =Deney başlamadan önceki kuru ağırlık (gr)

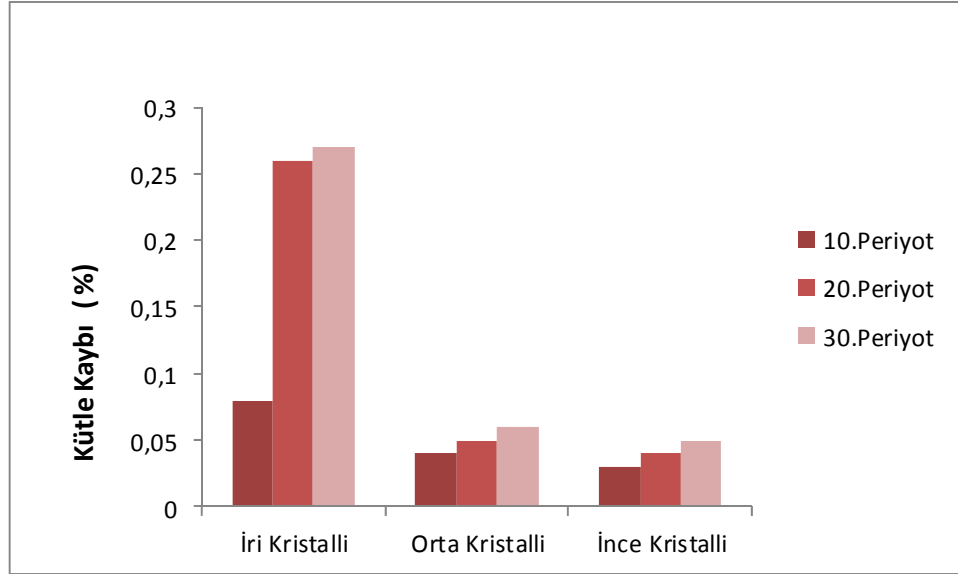
W₂ =Deney sonrası kuru ağırlık (gr)

Donma çözünme deneyi sonrası kütle kaybı ortalamaları iri kristalli mermerlerde 10.periyot sonunda % 0,08, 20.periyot sonunda % 0,26, 30.periyot sonunda % 0,27 oranında kütle kaybı geliştiği belirlenmiştir. Orta kristal boyutuna sahip mermerlerde 10.periyot sonunda % 0,04, 20.periyot sonunda % 0,05, 30.periyot sonunda % 0,06 oranında kütle kaybı geliştiği belirlenmiştir. İnce kristalli mermerlerde 10.periyot sonunda % 0,03, 20.periyot sonunda % 0,04, 30.periyot sonunda % 0,05 oranında kütle kaybına maruz kaldıkları görülmüştür (Şekil 7.14).

Tablo 7.14 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin donma çözünme deneyi sonrası kütle kaybı

Mermer Türü	N	Donma Çözünme Sonrası Kütle Kaybı Ortalama (%)		Standart Sapma
		10.Periyot Sonu	20.Periyot Sonu	
İri Kristalli Mermer	5	10.Periyot Sonu	0,08	±0,07
		20.Periyot Sonu	0,26	±0,27
		30.Periyot Sonu	0,27	±0,27
Orta Kristalli Mermer	5	10.Periyot Sonu	0,04	±0,01
		20.Periyot Sonu	0,05	±0,02
		30.Periyot Sonu	0,06	±0,03
İnce Kristalli Mermer	5	10.Periyot Sonu	0,03	±0,003
		20.Periyot Sonu	0,04	±0,01
		30.Periyot Sonu	0,05	±0,01

N: Deneyde kullanılan numune sayısı



Şekil 7.20 Muğla mermerlerinin donma-çözünme deneyi sonrası kütle kaybı

7.2.2.2 Farklı Kristal Boyutuna Sahip Muğla Mermerlerinin Donma Çözünme Sonrası Direnç Kaybı

Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin 40 periyot donma çözünme deneyine tabi tutulan numuneleri deney sonrası tek eksenli basınç direnci aletinde kırılmış ve elde edilen sonuçlar taze mermer numunelerinin tek eksenli basınç direnci ile karşılaştırılmıştır ve eşitlik 13 kullanılarak mermerlerin donma çözünme deneyi sonrası direnç kayıpları % olarak belirlenmiştir (Tablo 7.17).

Tablo 7.17 İri, orta ve ince kristalli Muğla mermerlerinde donma-çözünme deneyi sonrası tek eksenli direnç kaybı değerleri

Mermer Türü	Direnç Kaybı (%)
İri Kristalli Mermer	8,96
Orta Kristalli Mermer	14,63
İnce Kristalli Mermer	7,05

Donma çözünme deneyine tabi tutulan Muğla mermerlerinin tek eksenli basınç dirençlerinde iri kristalli mermerler için % 8,96, orta kristalli mermerler için % 14,63 ve ince kristalli grup için % 7,05 oranında direnç kaybı geliştiği belirlenmiştir (Şekil 7.21).

Donma çözünme deneyi sonrası Muğla mermerlerinin direnç kaybı aşağıdaki eşitlik yardımıyla bulunmuştur.

$$f = (\delta_1 - \delta_2) / \delta_1 \times 100 \dots \dots \dots (14)$$

f =Deney sonunda meydana gelen direnç kaybı (%)

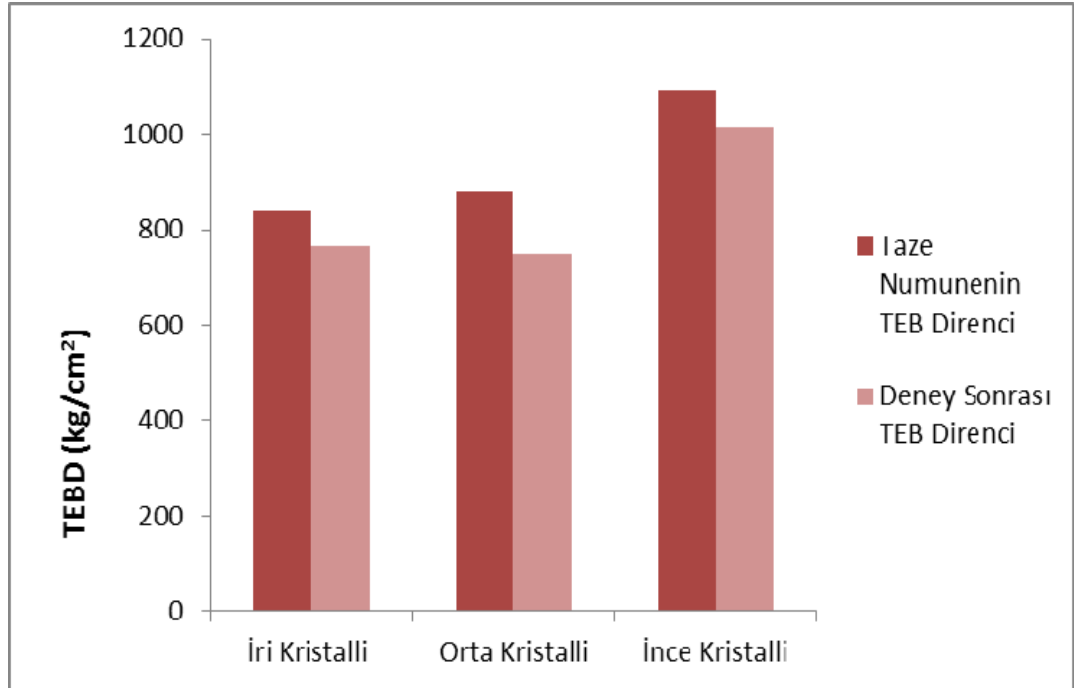
δ_1 =Taze numunelerin tek eksenli basınç direnci ortalaması (kgf/cm²)

δ_2 =Deney sonrası numunelerin tek eksenli basınç direnci ortalaması (kgf/cm²)

Tablo 7.18 Donma-çözünme deneyi sonrası tek eksenli basınç direnci ortalamaları

Mermer Türü	Donma Çözünme Deneyi Sonrası Direnç Değişimi				
	Ortalama Değer Standart Sapma	N	Kuru TEBD (kg/cm ²)	N	Deney Sonrası Kuru TEBD (kg/cm ²)
İri Kristalli Mermer	Ortalama	3	839,48	4	764,24
	Standart Sapma		± 185,28		± 202,27
Orta Kristalli Mermer	Ortalama	5	878,59	5	750,02
	Standart Sapma		± 105,17		± 242,73
İnce Kristalli Mermer	Ortalama	5	1090,89	5	1014,02
	Standart Sapma		±128,35		±133,84

N:Deneyde kullanılan numune sayısı



Şekil 7.21 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin taze ve donma çözünme deneyi sonrası tek eksenli basınç dirençlerinin karşılaştırılması

Tablo 7.19 Islanma-kuruma ve donma-çözünme sonrası Muğla mermerleri üzerinde yapılan tek eksenli basınç direnci deneyi sonuçları

Mermer Türü	Ortalama Değer ± Standart Sapma	Islanma-Kuruma Deneyi Sonrası (kg/ cm ²)	N	Donma- Çözünme Deneyi Sonrası (kg/ cm ²)	N
İri Kristalli Mermer	Ortalama	760,75	3	764,24	4
	Standart Sapma	± 155,92		± 202,27	
Orta Kristalli Mermer	Ortalama	657,71	5	750,02	5
	Standart Sapma	± 235,82		± 242,73	
İnce Kristalli Mermer	Ortalama	875,51	5	1014,02	5
	Standart Sapma	±130,79		±133,84	

N: Deneyde kullanılan numune sayısı

Islanma-kuruma deneyi sonrası numuneler üzerinde yapılan tek eksenli basınç deneyi sonuçları sırasıyla iri kristalli mermer için 760,75 kg/cm², orta kristalli mermer için 720,28 kg/cm², ince kristalli mermer için 875,51 kg/cm² olarak ölçülmüştür. Donma- çözünme deneyi sonrası numuneler üzerinde yapılan tek eksenli basınç deneyi değerleri ise sırasıyla iri kristalli mermer için 764,24 kg/cm², orta kristalli mermer için 750,02 kg/cm², ince kristalli mermer için 1014,02 kg/cm² olarak ölçülmüştür (Tablo 7.19).

7.2.3 Tuz Kristallenmesi Deneyleri

Tarihsel süreç boyunca mimaride ve yapılarda kullanılan doğal taşlarda tuz ayrışması arkeolojik nesnelerin ve buluntuların bozunmasında birinci derecede etki eden faktör olarak belirlemiştir (Schaffer 1932, Lewin 1982).

Kayacın içerisinde tuzun kristal hale gelmesi sonucunda oluşan fiziksel gerilmenin gözenekli taşlara zarar verdiği bilinmektedir (Herodotus 420 BC, Luquer 1895, Taber 1916, Jutson 1918).

Doğal taşlar, insanlığın kültürel mirası içerisinde birçok arkeolojik ve mimari anıtları içerisine alan çeşitli yapı ve heykellerde kullanılmıştır. Bu eşsiz miras sadece

estetik açıdan kıymetli olduğu kadar gelecek nesillere de aktarmamız ve korumamız gereken bir kaynak teşkil etmektedir. Tuz hasarını içeren çeşitli ayrışma süreçleri, kültürel emanetlerimizin bozunmasına ve tahrip olmasına sebep olmaktadır (Winkler, 1994).

Tuzun mimaride kullanılan doğal taşlara zarar vermesine engel olmak ve kültürel mirasımızın korumak için yapılan araştırmalar ve izlenen yöntemler ciddi önem arz etmektedir (Torraca 1982, Amoroso & Fassina 1983, Goudie & Viles 1997).

Kayacın içerisindeki boşluklarda tuz kristalleşir ve buna çiçeklenme adı verilir. Kristallenme sırasında kayacın gözeneklerinde basınç sürekli artar ve kayacın kırılma çatlakları meydana gelmeye başlar. Çiçeklenmenin devamı ile birlikte taş kabarmaya başlar ve deforme olur ve tuz taşın yüzeyinde birikerek kirliliğe sebep olur (Küçükaya, 1995).

Çözülebilir başlıca tuzlar arasında [$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$] (alçı taşı), Na_2SO_4 (sodyum sülfat), MgSO_4 (magnezyum sülfat), K_2SO_4 (potasyum sülfat) ve NaCl (sodyum klorür) gelir. Sıcaklık yükseldiğinde tuz çözeltisinin doyma noktası yükselir. Çevresindeki tuz kristalleri de çözünür. Düşüğünde ise tekrar kristalleşir. Tuzların hidrasyon dereceleri arttıkça, hacimde büyüdükleri için parçalanma etkileri de artar (Arnold 1999).

Mimaride ve çeşitli alanlarda kullanılan doğal yapıtaşlarında çeşitli nedenlerle tuzlanma oluşmaya başlar ve bu tuzlanma kayacın durabilitesini olumsuz yönde etkileyerek kayacın çok kısa bir sürede bozunmasına sebep olur. Bu sebeple tuz kristallenmesi kaya durabilitesinin bozulmasındaki en önemli faktörlerdendir. Bütün bunlar göz önüne alındığında görülüyor ki Na_2SO_4 tuz kristallenmesi deneyi kayaların durabilitesinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Yavuz 2001).

Porozite, buharlaşma ve kapilarite yardımıyla kayacın içerisine doğru ilerleyen suyun hareketini etkileyerek, gözenekli taşlardaki tuz kristallenmesi ile doğrudan ilişkili olduğu bilinmektedir (Lucas 1925, Mamillian 1993).

7.2.3.1 Na_2SO_4 Tuz Kristallenmesi Deneyi

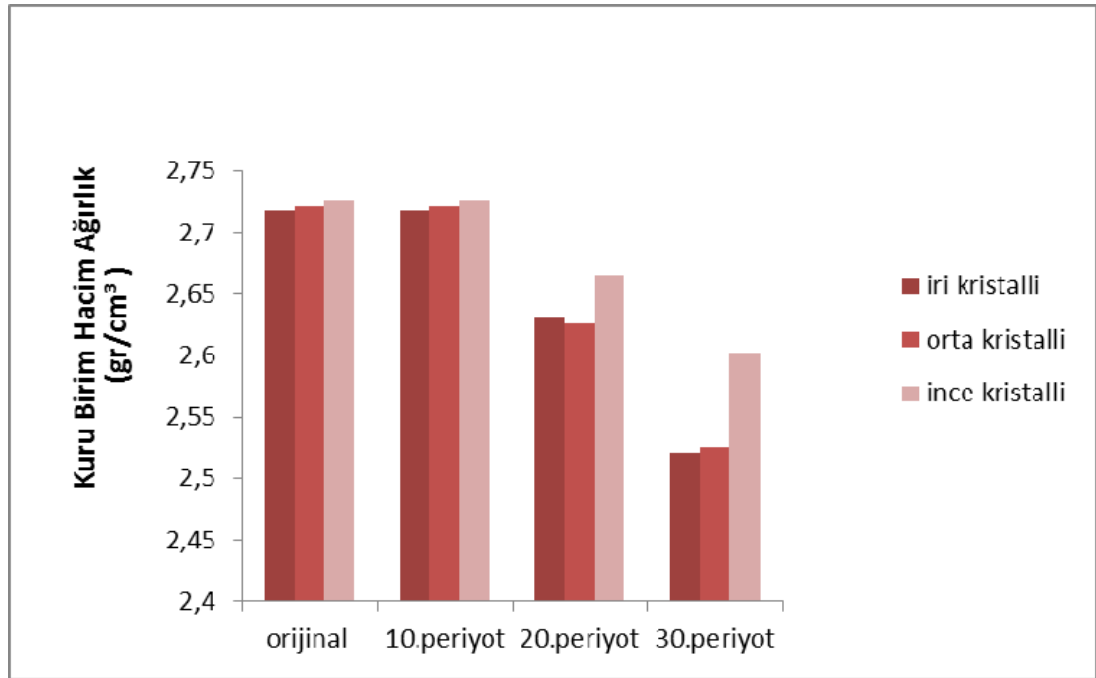
Tuz kristallenmesi deneyinde, doğal çevresel etkenlerin oluşturduğu tuz kristallenmesi ve bunun doğurduğu etkilerin laboratuvar koşullarında oluşturularak kayada yarattığı hasarı belirlemeye çalışılır (RILEM 1980, Rossi-Doria 1985, Topal 1997).

Deneye başlamadan önce % 14 lük sodyum sülfat çözeltisi hazırlanır. Çözeltinin yoğunluğu kullanımdan önce kontrol edilir. Daha sonra önceden kurutulmuş numuneler kaplara aralarında mesafe kalacak şekilde yerleştirilir ve üzerini tamamen kapatana kadar sodyum sülfat çözeltisi eklenir. 2 saat çözelti içerisinde bekletilen numuneler çıkarılarak 105 ± 5 °C lik etüve koyulur. En az 16 saat etüve kalan numuneler çıkarılarak soğumaya bırakılır ve 2 saat oda sıcaklığında bekletilen numuneler tekrar sodyum sülfat çözeltisine daldırılır. Böylece 1 periyot tamamlanmış olur.

Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerleri üzerinde Na_2SO_4 tuz kristallenmesi deneyi yapabilmek için Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği laboratuvarında deney için $7 \times 7 \times 7$ cm boyutlarında toplam 15 tane küp numunesi hazırlanmıştır. Deney TS EN 12370 de öngörüldüğü şekilde yapılmıştır. Standartta numunelerin 15 periyot tuz kristallenmesi deneyine tabi tutulması önerilmektedir. Ancak Muğla mermerleri yüksek durabiliteli kayalar olması nedeni ile bu kaya grubu üzerinde toplam 30 periyot uygulanmış ve her 10 periyot sonrasında kayaların porozitesi, birim hacim ağırlıkları, ağırlıkça su emmeleri ve boşluk oranları gibi fiziksel özellikleri ile kütle kaybı değerleri bulunmuştur.

Tablo 7.20 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin Na₂SO₄ deneyi boyunca kuru birim hacim ağırlığındaki değişim

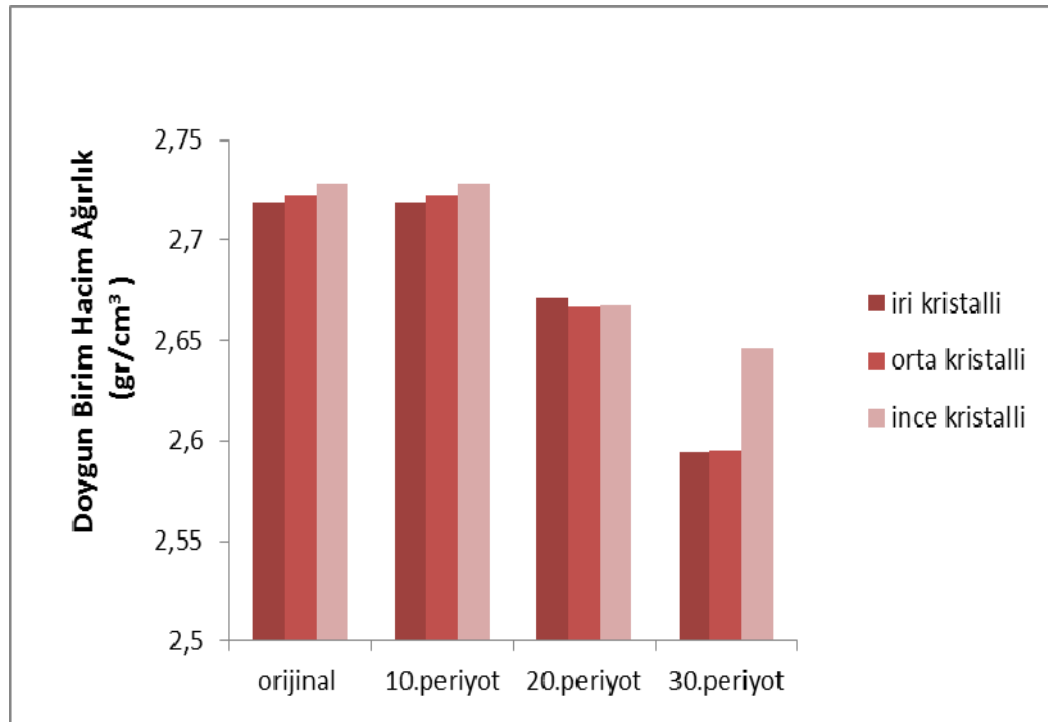
Mermer Türü	Kuru Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)			
	Taze Numune	10.Periyot	20.Periyot	30.Periyot
İri Kristalli	2,717758	2,717758	2,630153	2,52105
Orta Kristalli	2,721279	2,721279	2,626202	2,525733
İnce Kristalli	2,726584	2,726584	2,665566	2,602527



Şekil 7.22 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin deney öncesi ve sonrası kuru birim hacim ağırlığındaki değişim

Tablo 7.21 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin Na₂SO₄ deneyi boyunca doygun birim hacim ağırlığındaki değişim

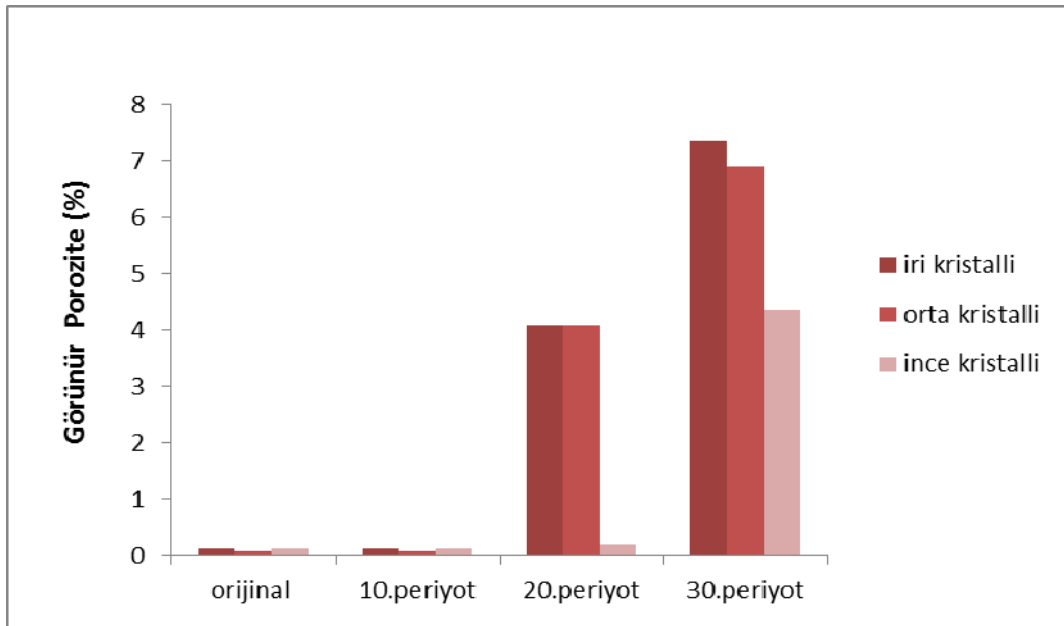
Mermer Türü	Doygun Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)			
	Taze Numune	10.Periyot	20.Periyot	30.Periyot
İri Kristalli	2,719151	2,719151	2,670927	2,594599
Orta Kristalli	2,722091	2,722091	2,666986	2,594759
İnce Kristalli	2,727923	2,727923	2,667589	2,646188



Şekil 7.23 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin deney öncesi ve sonrası doygun birim hacim ağırlığındaki değişim

Tablo 7.22 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin Na_2SO_4 deneyi boyunca görünür porozitelerindeki değişim

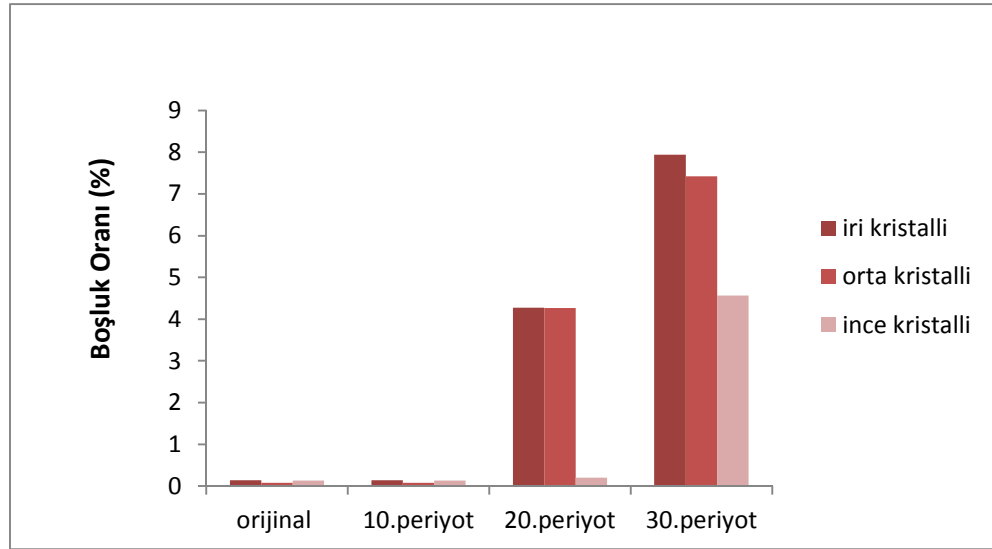
Mermer Türü	Görünür Porozite (%)			
	Taze Numune	10.Periyot	20.Periyot	30.Periyot
İri Kristalli	0,139317	0,139317	4,077321	7,354906
Orta Kristalli	0,081207	0,081207	4,078383	6,902573
İnce Kristalli	0,133935	0,133935	0,202247	4,366122



Şekil 7.24 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin deney öncesi ve sonrası görünür porozite değerlerindeki değişim

Tablo 7.23 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin Na_2SO_4 deneyi boyunca boşluk oranlarındaki değişim

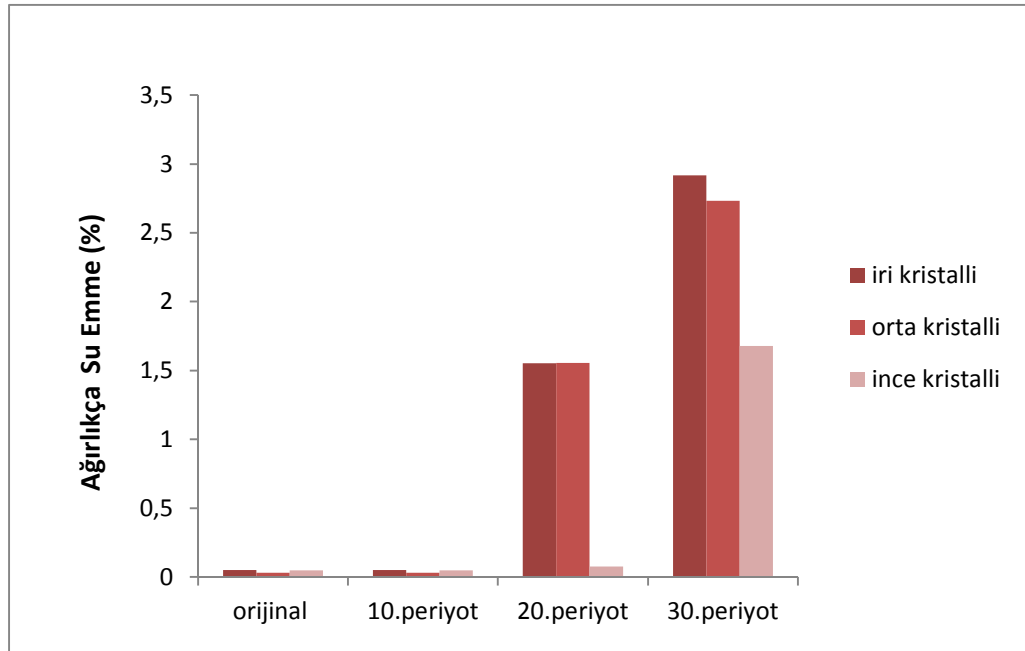
Mermer Türü	Boşluk Oranı (%)			
	Taze Numune	10.Periyot	20.Periyot	30.Periyot
İri Kristalli	0,139514	0,139514	4,275961	7,943209
Orta Kristalli	0,081275	0,081275	4,264773	7,41724
İnce Kristalli	0,134116	0,134116	0,202818	4,566979



Şekil 7.25 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinden deney öncesi ve sonrası boşluk oranındaki değişim

Tablo 7.24 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin Na₂SO₄ deneyi boyunca ağırlıkça su emme değerlerindeki değişim

Mermer Türü	Ağırlıkça Su Emme (%)			
	Taze Numune	10.Periyot	20.Periyot	30.Periyot
İri Kristalli	0,051262	0,051262	1,554157	2,917877
Orta Kristalli	0,029845	0,029845	1,555948	2,733073
İnce Kristalli	0,049122	0,049122	0,075904	1,678345



Şekil 7.26 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin deney öncesi ve sonrası ağırlıkça su emme oranındaki değişim

Tuz (Na₂SO₄) kristallenmesi deneyinde 30. Periyot sonrası iri kristalli Muğla mermerlerinin kuru birim hacim ağırlığında % 7,28 doygun birim ağırlığında % 4,62 azalma, boşluk oranında % 5828,75 ağırlıkça su emme değerinde % 5826,53 porozitesinde % 5394,45 oranında artma geliştiği saptanmıştır. Orta kristalli Muğla

mermerlerinin kuru birim hacim ağırlığında % 7,14, doymun birim ağırlığında % 4,63 azalma, boşluk oranında % 5628,28, ağırlıkça su emme değerinde % 8464,58 porozitesinde % 7849,91 oranında artma olduğu gözlenmiştir. İnce kristalli Muğla mermerlerinde ise numunelerinin kuru birim hacim ağırlığında % 4,55, doymun birim ağırlığında % 2,99 azalma, boşluk oranında % 3341,68, ağırlıkça su emme değerinde % 3353,15, porozitesinde % 3194,11 oranında artma görülmüştür.

7.2.3.2 Tuz (Na_2SO_4) Kristallenmesi Deneyi Sonrası Muğla Mermerlerinin Kütle Kaybı

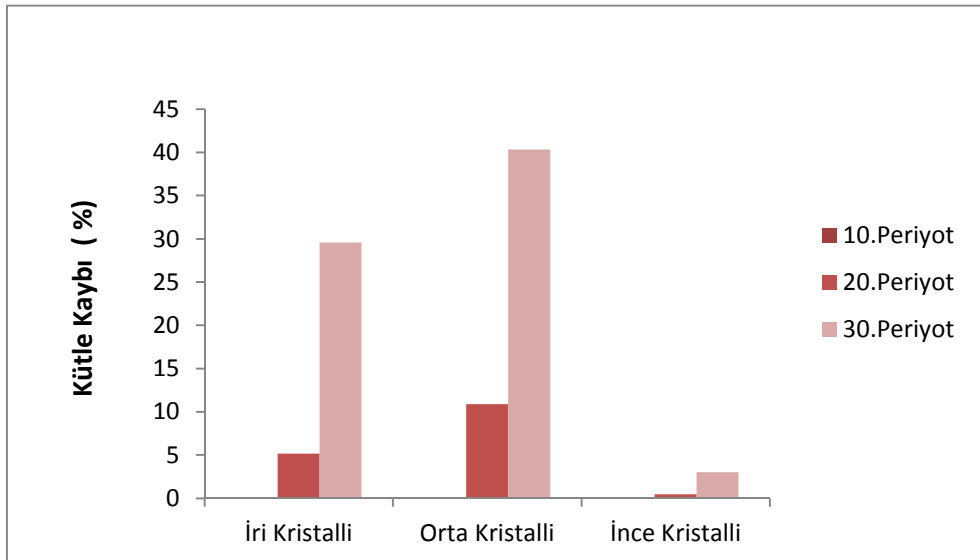
Na_2SO_4 tuz kristallenmesi deneyine tabi tutulmuş $7 \times 7 \times 7$ cm boyutundaki küp numunelerin kuru ağırlıkları her 10. periyotun sonunda $\pm 0,01$ hassasiyetle tartılarak deneye başlamadan önceki kuru ağırlıkları ile karşılaştırılmıştır. Kütle kaybı aşağıdaki eşitlik kullanılarak bulunmuş ve sonuçlar Tablo 7.25 de verilmiştir.

$$W = (W_1 - W_2) / W_1 \times 100 \dots \dots \dots (15)$$

W = Tuz kristallenmesi deneyi sonu kütle kaybı (%)

W_1 =Deney başlamadan önceki kuru ağırlık (gr)

W_2 =Deney sonrası kuru ağırlık (gr)



Şekil 7.27 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin Na_2SO_4 tuz kristallenmesi deneyi sırasında ve deney sonrasındaki kütle kaybı değerleri

Tablo 7.25 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin tuz (Na_2SO_4) kristallenmesi sonrası kütle kaybı.

Mermer Türü	N	Na ₂ SO ₄ Tuz Kristallenmesi Sonrası Kütle Kaybı Ortalama (%)		Standart Sapma
		10.Periyot Sonu	20.Periyot Sonu	
İri Kristalli Mermer	5	10.Periyot Sonu	0,00	±0,00
		20.Periyot Sonu	5,14	±3,87
		30.Periyot Sonu	29,58	±10,04
Orta Kristalli Mermer	3	10.Periyot Sonu	0,00	±0,00
		20.Periyot Sonu	10,90	±8,81
		30.Periyot Sonu	40,32	±45,84
İnce Kristalli Mermer	5	10.Periyot Sonu	0,00	±0,00
		20.Periyot Sonu	0,47	±0,20
		30.Periyot Sonu	3,03	±1,44

30 periyot sonunda tamamlanan tuz kristallenmesi deneyi sonrası kütle kaybı iri kristalli mermerlerde 10.periyot sonunda % 0,00, 20.periyot sonunda % 5,14, 30.periyot sonunda % 29,58 olduğu belirlenmiştir. Orta kristalli mermerlerde 10.periyot sonunda % 0,00, 20.periyot sonunda % 10,90, 30.periyot sonunda % 40,32 olduğu belirlenmiştir. İnce kristalli mermerlerde 10.periyot sonunda % 0,00, 20.periyot sonunda % 0,47, 30.periyot sonunda % 3,03, oranında kütle kaybına maruz kaldıkları görülmüştür (Şekil 7.27).



Şekil 7.29 Orta kristal boyutuna sahip mermer numunelerinin Na_2SO_4 tuz kristallenmesi deneyi öncesi ve sonrası görünümü



Şekil 7.30 .İnce kristalli mermerlerin tuz kristallenmesi deneyi öncesi ve sonrası görünümü

7.2.3.3 Mg SO₄ Tuz Kristallenmesi Deneyi

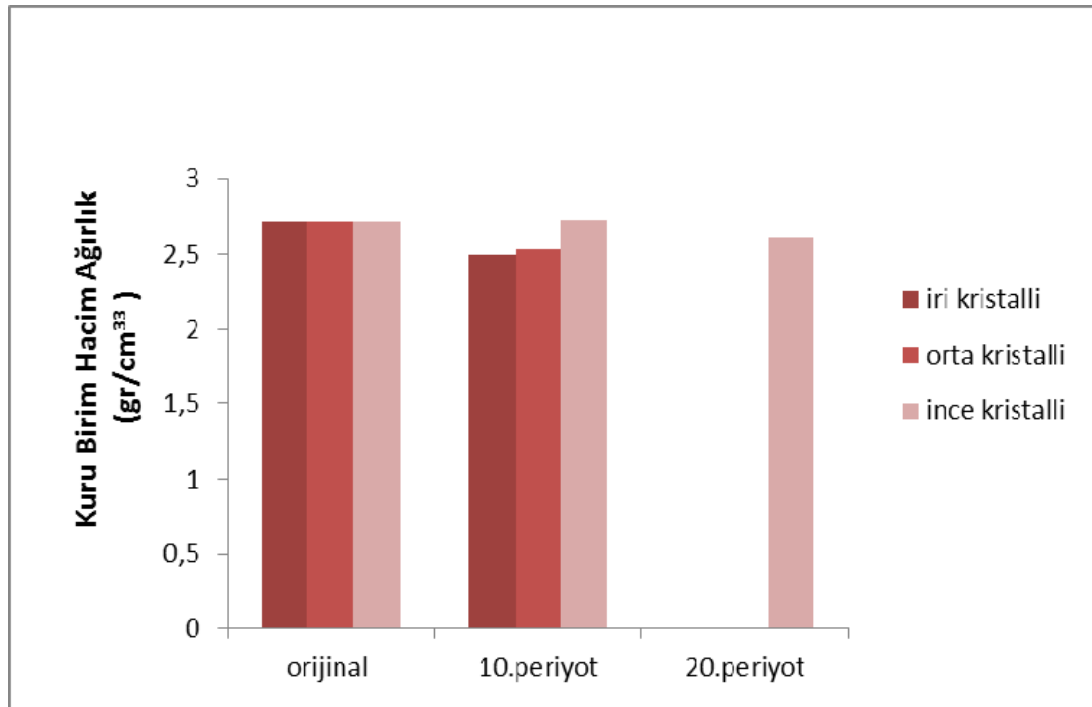
Tuz kristalizasyonu taş bozunmaları içerisinde en tahrip edici ve en yaygın olanıdır. Gözenekli kayaların tümünde kimyasal bileşimleri farklı olsa bile donma çözünme, iklim değişikliği, atmosferik olaylar ve hava kirliliği olmaksızın taşa zarar verebilmektedir. Suda eriyebilen tuzlar su vasıtası ile taşınarak kayacın gözeneklerine ve çatlaklarına yerleşebilirler. Bu da buharlaşma ile gerçekleşir ki buharlaşma sonucunda tuz kılcal kanallarda ve taşın yüzeyinde birikir. Kılcal çatlaklara yerleşen tuz osmos etkisi ile tuzun sürekli kayacın içerisinde birikmesine sebep olur (Topal, 1997).

Deneye başlamadan önce magnezyum sülfat çözeltisi hazırlanır. Önceden hazırlanmış numuneler bir kabın içerisine birbirlerine değmeyecek şekilde yerleştirilir. Kap ile numuneler arasında 20 mm açıklık bulunmalıdır. Kaba yerleştirilen numunelerin üzerine magnezyum sülfat çözeltisi dökülür ve çözeltinin numunelerin üstünü tamamen kaplayacak şekilde olmasına dikkat edilir. $17 \pm 0,5$ saat boyunca çözeltide kalan numuneler bu süre sonunda kaptan çıkarılır ve 2 saat boyunca süzülür. Süzülme işlemi tamamlandıktan sonra 110 ± 5 °C lik etüvde 24 ± 1 saat boyunca kurutulur. Kurutma işleminden sonra etüvden çıkarılan numunelerin $5 \pm 0,25$ saat sürecince oda sıcaklığına gelmesi sağlanır ve bu işlem ile 1 periyot tamamlanmış olur.

Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerleri üzerinde yapılan 20 periyotluk tuz (Mg SO₄) deneyi sonrası numunelerin kuru ve doygun birim hacim ağırlıkları, boşluk oranları, ağırlıkça su emme ve porozite gibi fiziksel özellikleri her 10 periyot sonrasında belirlenmiş ve bu özellikler deneye başlamadan önceki fiziksel özellikleri ile kıyaslanmıştır. 20. Periyot sonunda iri ve orta kristalli Muğla mermerleri tamamen parçalanmıştır ve bu sebeple grafiklerde deney sonrası fiziksel özelliklerine ait veriler bu periyotta görünmemektedir.

Tablo 7.26 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin Mg SO₄ deneyi boyunca kuru birim hacim ağırlığındaki değişim

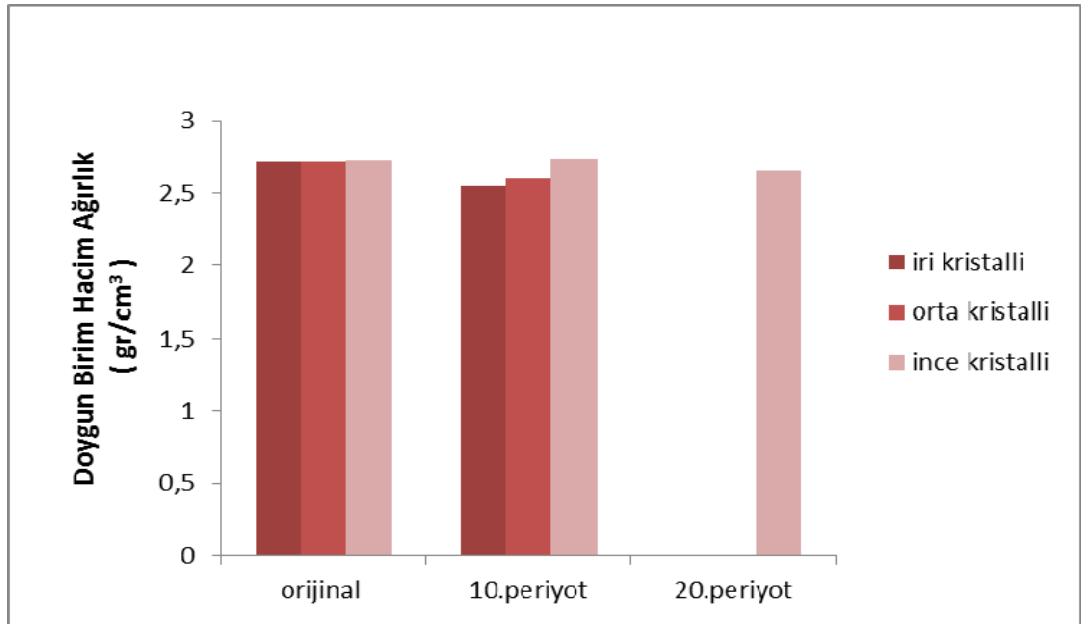
Mermer Türü	Kuru Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)		
	Taze Numune	10.Periyot	20.Periyot
İri Kristalli	2,717954	2,494953	0
Orta Kristalli	2,720019	2,534036	0
İnce Kristalli	2,723733	2,733922	2,619



Şekil 7.31.Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin MgSO₄ tuz kristallenmesi deneyi öncesi ve sonrası kuru birim hacim ağırlığındaki değişim

Tablo 7.27 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin Mg SO₄ deneyi boyunca doymun birim hacim ağırlığındaki değişim

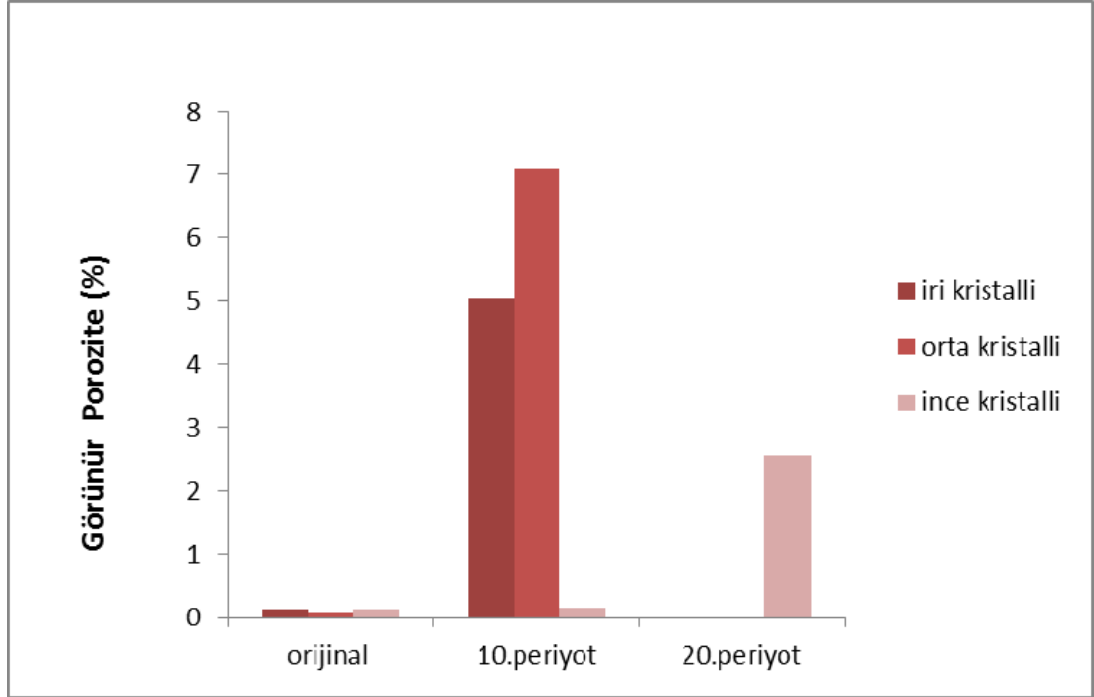
Mermer Türü	Doymun Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)		
	Taze Numune	10.Periyot	20.Periyot
İri Kristalli	2,719204	2,545356	0
Orta Kristalli	2,720776	2,604741	0
İnce Kristalli	2,724945	2,735455	2,653045



Şekil 7.32 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin MgSO₄ tuz kristallenmesi deneyi öncesi ve sonrası doymun birim hacim ağırlığındaki değişim

Tablo 7.28 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin Mg SO₄ deneyi boyunca görünür porozite değerlerindeki değişim

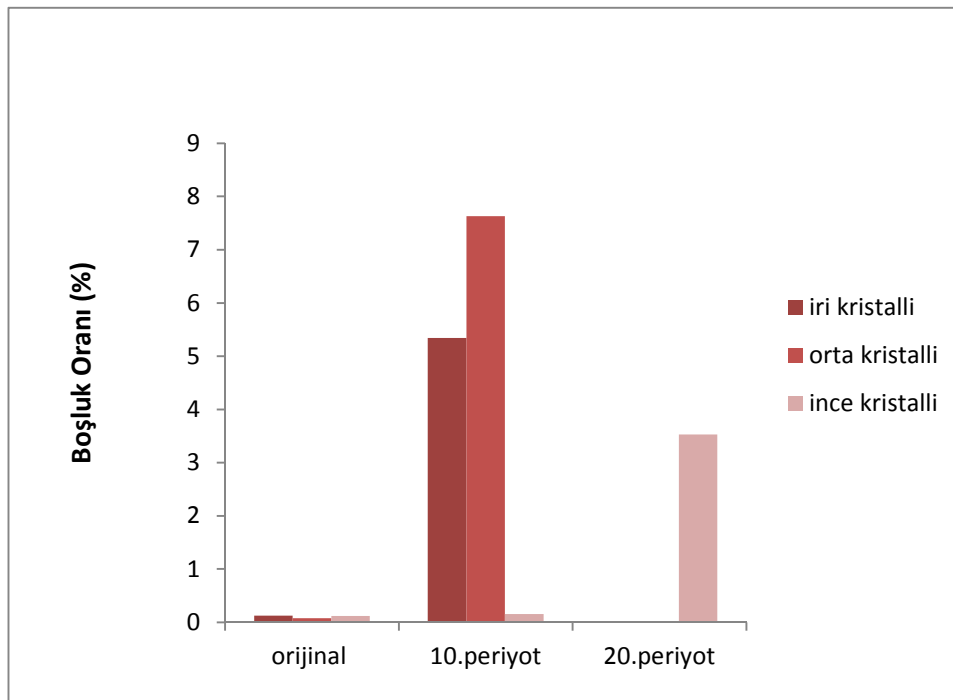
Mermer Türü	Görünür Porozite (%)		
	Taze Numune	10.Periyot	20.Periyot
İri Kristalli	0,125031	5,040251	0
Orta Kristalli	0,075693	7,070544	0
İnce Kristalli	0,121137	0,153278	2,553403



Şekil 7.33 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin MgSO₄ tuz kristallenmesi deneyi öncesi ve sonrası görünür porozite değerlerindeki değişim

Tablo 7.29 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin Mg SO₄ deneyi boyunca boşluk oranı değerlerindeki değişim

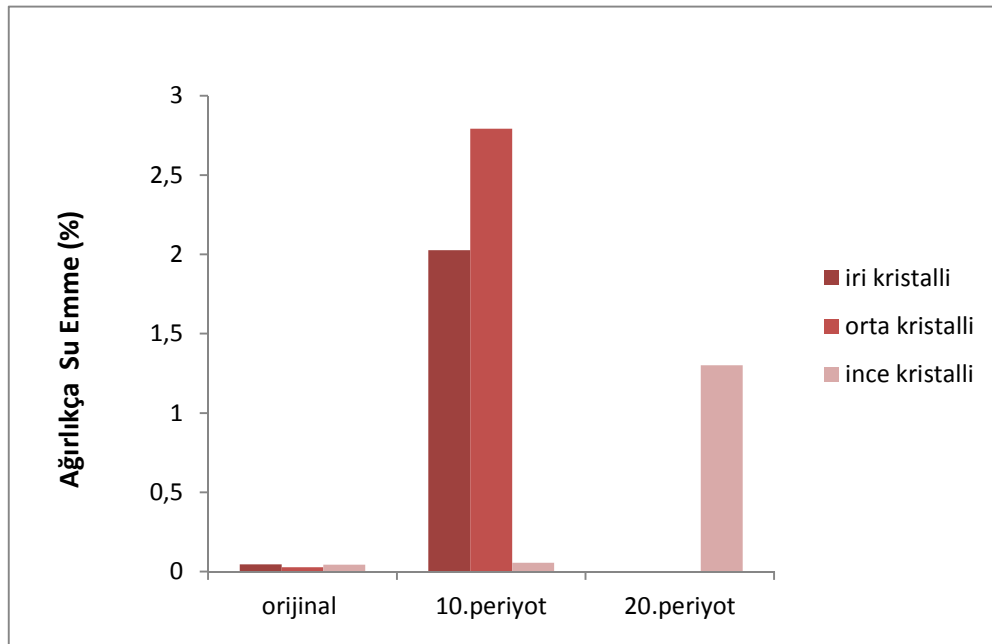
Mermer Türü	Boşluk Oranı (%)		
	Taze Numune	10.Periyot	20.Periyot
İri Kristalli	0,125191	5,342532	0
Orta Kristalli	0,075751	7,629148	0
İnce Kristalli	0,121293	0,153528	3,526703



Şekil 7.34 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin MgSO₄ tuz kristallenmesi deneyi öncesi ve sonrası boşluk oranındaki değişim

Tablo 7.30 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin Mg SO₄ deneyi boyunca ağırlıkça su emme değerlerindeki değişim

Mermer Türü	Ağırlıkça Su Emme (%)		
	Taze Numune	10.Periyot	20.Periyot
İri Kristalli	0,046	2,026337	0
Orta Kristalli	0,027828	2,792673	0
İnce Kristalli	0,04446	0,056062	1,300749



Şekil 7.35 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin MgSO₄ tuz kristallenmesi deneyi öncesi ve sonrası ağırlıkça su emme değerindeki değişim

Tuz (MgSO₄) kristallenmesi deneyi 20. periyot sonrası iri kristalli Muğla mermerlerinin kuru birim hacim ağırlığında % 6,59, doymun birim ağırlığında % 5,14 azalma, boşluk oranında % 3307,04 ağırlıkça su emme değerinde % 3317,22 porozitesinde % 3102,55 oranında artma olduğu belirlenmiştir. Orta kristalli Muğla

mermerlerinin kuru birim hacim ağırlığında % 4,55, doymun birim ağırlığında % 2,84 azalma, boşluk oranında % 3919,77, ağırlıkça su emme değerinde % 3949,37 porozitesinde % 5749,70 oranında artma saptanmıştır. İnce kristalli mermer numunelerinin kuru birim hacim ağırlığında % 3,87, doymun birim hacim ağırlığında % 2,66 azalma, boşluk oranında % 3073,99, ağırlıkça su emme değerinde % 3353,15, porozitesinde % 2948,73 oranında artma görülmüştür (Şekil 7.31, 7.32,7.33, 7.34, 7.35).

7.2.3.4 Tuz ($Mg SO_4$) Kristallenmesi Deneyi Sonrası Muğla Mermerlerinin Kütle Kaybı

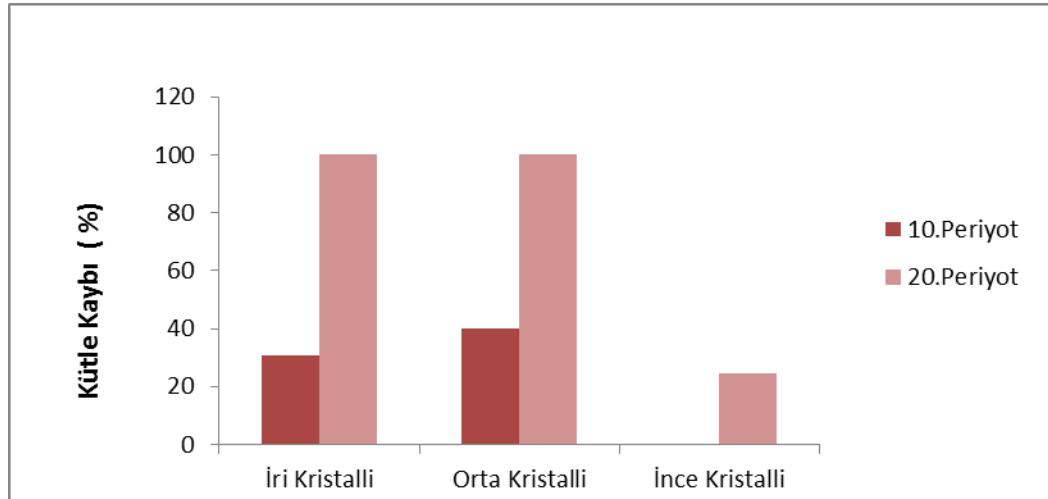
$MgSO_4$ tuz kristallenmesi deneyine tabi tutulmuş $7 \times 7 \times 7$ cm boyutundaki küp mermer numunelerin kuru ağırlıkları her 10 periyotun sonunda $\pm 0,01$ hassasiyetle tartılarak deneye başlamadan önceki kuru ağırlıkları ile karşılaştırılmıştır. Tuz kristallenmesi deneyi sonrası kütle kaybını bulabilmek için aşağıdaki eşitlik kullanılmış ve bulunan sonuçlar Tablo 7.31 de verilmiştir (Eşitlik 16).

$$W = (W_1 - W_2) / W_1 \times 100 \dots\dots\dots(16)$$

W = $Mg SO_4$ tuz kristallenmesi deney sonu kütle kaybı (%)

W_1 =Deney başlamadan önceki kuru ağırlık (gr)

W_2 =Deney sonrası kuru ağırlık (gr)



Şekil 7.36 Muğla mermerlerinin $MgSO_4$ deneyi sonrası kütle kaybı

Tablo 7.31 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin tuz ($MgSO_4$) kristallenmesi sonrası kütle kaybı

Mermer Türü	N	Mg SO ₄ Sonrası Kütle Kaybı Ortalama (%)		Standart Sapma
İri Kristalli Mermer	5	10.Periyot Sonu	30,53	±30,51
		20.Periyot Sonu	100	100
Orta Kristalli Mermer	5	10.Periyot Sonu	40,10	±23,14
		20.Periyot Sonu	100	±100
İnce Kristalli Mermer	5	10.Periyot Sonu	0,00	±0,00
		20.Periyot Sonu	24,44	±10,96

N: Deneyde kullanılan numune sayısı

20.periyot sonunda tamamlanan tuz kristallenmesi deneyi kütle kaybı ortalamaları iri kristalli Muğla mermerlerinde 10.periyot sonunda % 30,53, 20.periyot sonunda % 100 olarak hesaplanmıştır. Orta kristalli Muğla mermerlerinin kütle kaybı 10.periyot sonunda % 40,10, 20.periyot sonunda %100 olarak belirlenmiştir. İnce kristalli Muğla mermerlerinin ise 10.periyot sonunda % 0,00, 20.periyot sonunda % 24,44 değerlerinde kütle kaybına maruz kaldıkları görülmüştür (Şekil 7.36).



Şekil 7.37 İri kristalli mermer grubunun $MgSO_4$ deneyi öncesi ve 10. , 20. periyot sonrası görünümü



Şekil 7.38 Orta kristal boyutuna sahip mermerlerin $MgSO_4$ deneyi öncesi ve 10., 20.periyot sonrası görünümü



Şekil 7.39 İnce kristalli mermerlerin $MgSO_4$ deneyi öncesi ve 10., 20. periyot sonrası görünümü

Tuz kristallenmesi deneyi devam ederken bazı örnekler parçalanmış ve deneyden çıkarılmıştır.

7.2.3.5 Hızlandırılmış Ayırıştırma Deneyleri Sonrası Ultrasonik Ses Hızı Tayini

İri, orta ve ince kristal boyutuna sahip Muğla mermerleri üzerinde ıslanma kuruma, donma çözünme, Na_2SO_4 ve MgSO_4 hızlandırılmış ayırıştırma deneyleri yapıldıktan sonra ultrasonik ses iletkenlikleri hesaplanmıştır.

Taze numunenin ses iletkenliği iri kristalli Muğla mermerlerinin kuru numunelerinde 4,13 km/sn, ıslak numunelerinde 5,29 km/sn; orta kristalli Muğla mermerlerinin kuru numunelerinde 4,71 km/sn, ıslak numunelerinde 5,68 km/sn; ince kristalli Muğla mermerlerinin kuru numunelerinde 5,40 km/sn, ıslak numunelerinde 6,10 km/sn olarak ölçülmüştür.

Islanma kuruma deneyi sonrası ses iletkenliği iri kristalli Muğla mermerlerinin kuru numunelerinde 3,32 km/sn, ıslak numunelerinde 4,53 km/sn; orta kristalli Muğla mermerlerinin kuru numunelerinde 2,67 km/sn, ıslak numunelerinde 3,69 km/sn; ince kristalli Muğla mermerlerinin kuru numunelerinde 3,45 km/sn, ıslak numunelerinde 4,12 km/sn olarak hesaplanmıştır.

Donma çözünme deneyi sonrası iri kristalli Muğla mermerlerinin kuru numunelerinde 2,81 km/sn, ıslak numunelerinde 4,36 km/sn; orta kristalli Muğla mermerlerinin kuru numunelerinde 2,78 km/sn, ıslak numunelerinde 3,87 km/sn; ince kristalli Muğla mermerlerinin kuru numunelerinde 3,64 km/sn, ıslak numunelerinde 5,04 km/sn olarak ölçülmüştür.

Na_2SO_4 deneyi sonrası ses iletkenliği iri kristalli Muğla mermerlerinin kuru numunelerinde 3,83 km/sn, ıslak numunelerinde 4,05 km/sn; orta kristalli Muğla mermerlerinin kuru numunelerinde 3,93 km/sn, ıslak numunelerinde 4,32 km/sn; ince kristalli Muğla mermerlerinin kuru numunelerinde 3,98 km/sn, ıslak numunelerinde 4,32 km/sn olarak hesaplanmıştır.

MgSO_4 deneyi sonrası ses iletkenliği iri kristalli Muğla mermerlerinin kuru numunelerinde 3,81 km/sn, ıslak numunelerinde 4,72 km/sn; orta kristalli Muğla mermerlerinin kuru numunelerinde 4,26 km/sn, ıslak numunelerinde 4,84 km/sn; ince kristalli Muğla mermerlerinin kuru numunelerinde 4,46 km/sn, ıslak numunelerinde 5,14 km/sn olarak ölçülmüştür.

Tablo 7.32 Ultrasonik ses iletkenliğinin, taze ve hızlandırılmış ayrıştırma deneylerine maruz kalmasından sonraki değişimi

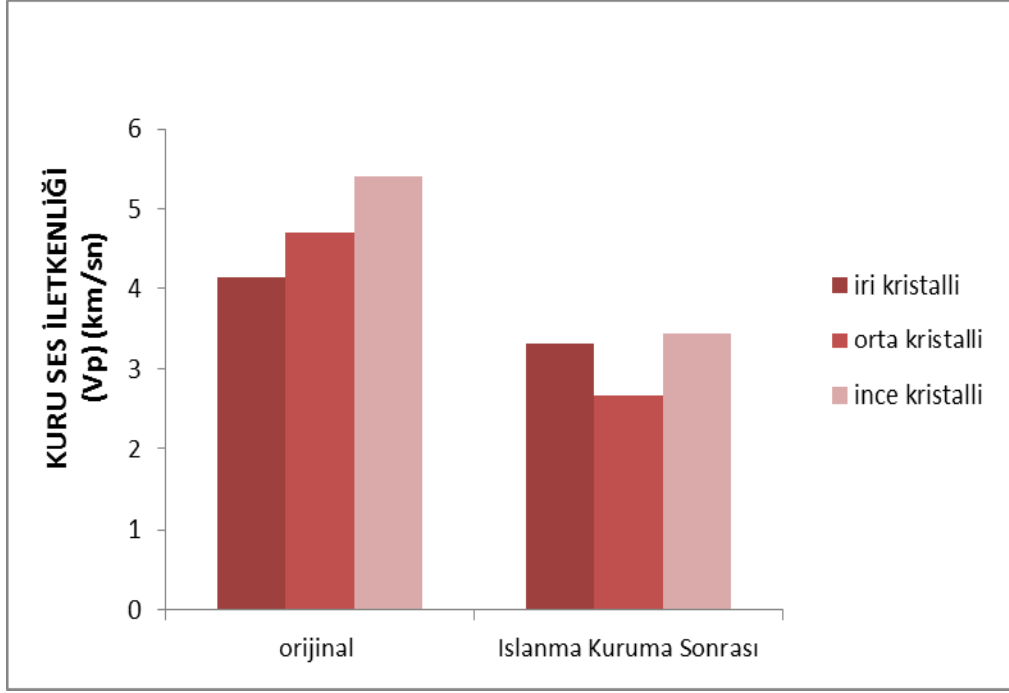
Mermer Türü	Ort ± S.S	N	Taze Numune (km/sn)		N	Islanma Kuruma Sonrası (km/sn)		N	Donma Çözünme Sonrası (km/sn)	
			Kuru	Islak		Kuru	Islak		Kuru	Islak
İri Kristalli	Ort.	35	4,13	5,29	5	3,32	4,53	5	2,81	4,36
	S.S		±0,83	±0,77		±0,43	±0,37		±1,02	±1,05
Orta Kristalli	Ort.	35	4,71	5,68	5	2,67	3,69	5	2,78	3,87
	S.S		±0,40	±0,32		±0,28	±0,38		±0,51	±0,51
İnce Kristalli	Ort.	35	5,40	6,10	5	3,45	4,12	5	3,64	5,04
	S.S		±0,28	±0,21		±0,19	±0,36		±0,33	±0,25

Ort: Ortalama S.S: Standart Sapma N: Numune Sayısı

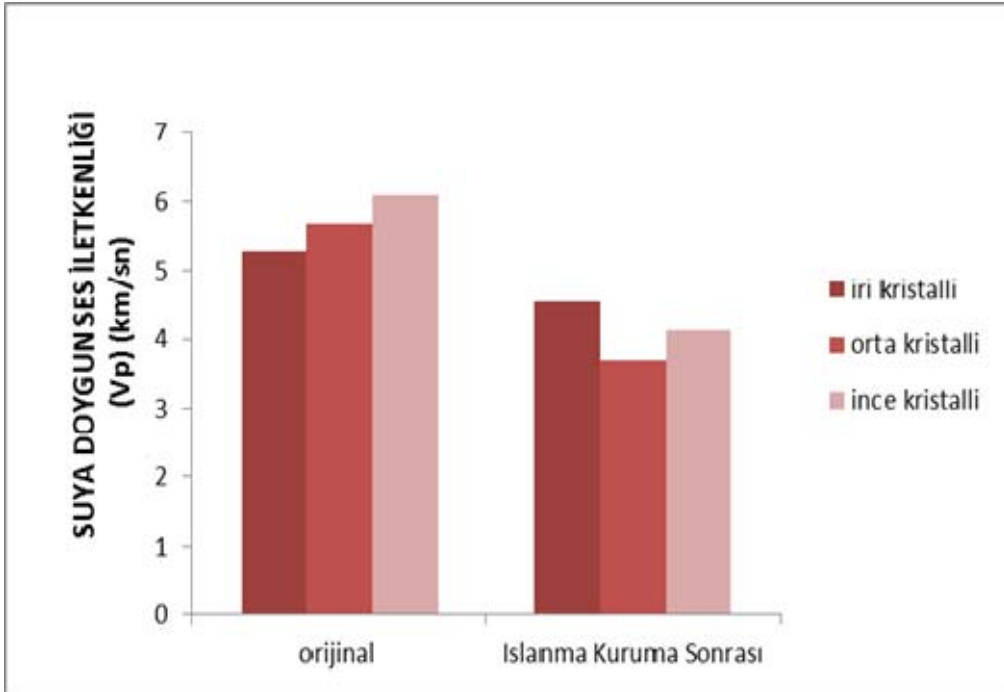
Tablo 7.33 Ultrasonik ses iletkenliğinin, taze ve hızlandırılmış ayrıştırma testleri sonrası değişimi

Mermer Türü	Ort ± S.S	N	Taze Numune (km/sn)		N	Mg SO ₄ Deneyi Sonrası (km/sn)		N	Na ₂ SO ₄ Deneyi Sonrası (km/sn)	
			Kuru	Islak		Kuru	Islak		Kuru	Islak
İri Kristalli	Ort.	35	4,13	5,29	5	3,81	4,72	5	3,83	4,05
	S.S		±0,83	±0,77		±0,66	±0,44		±0,31	±0,31
Orta Kristalli	Ort.	35	4,71	5,68	5	4,26	4,84	5	3,93	4,32
	S.S		±0,40	±0,32		±0,22	±0,41		±0,18	±0,21
İnce Kristalli	Ort.	35	5,40	6,10	5	4,46	5,14	5	3,98	4,23
	S.S		±0,28	±0,21		±0,13	±0,43		±0,29	±0,35

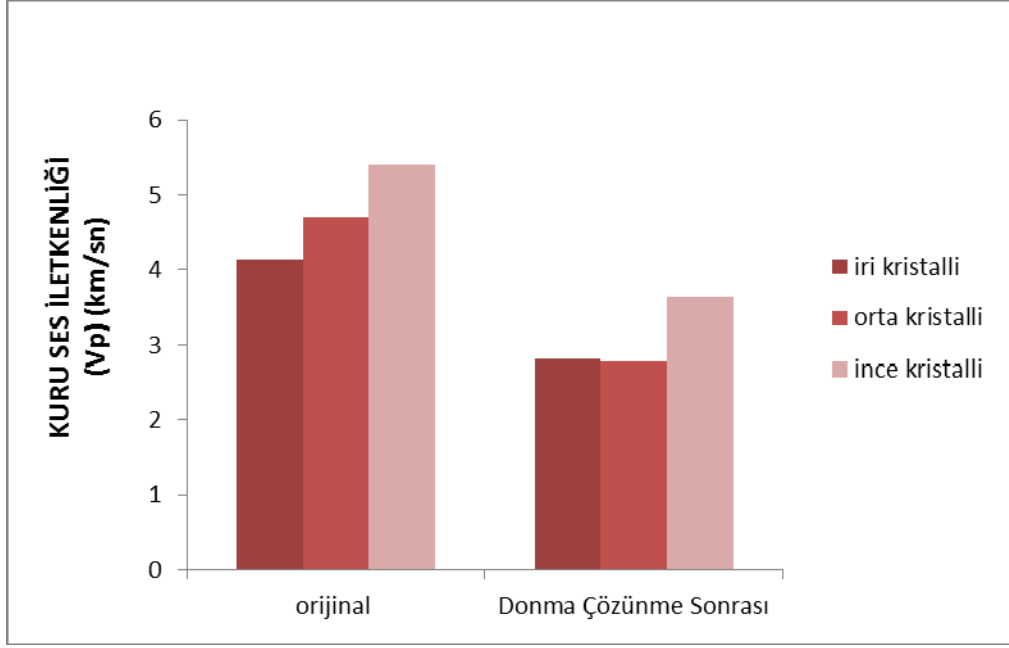
Ort: Ortalama S.S: Standart Sapma N: Numune Sayısı



Şekil. 7.40 Kuru ultrasonik ses hızı iletkenliğinin taze numune ve ıslanma kuruma deneyi sonrası değişimi



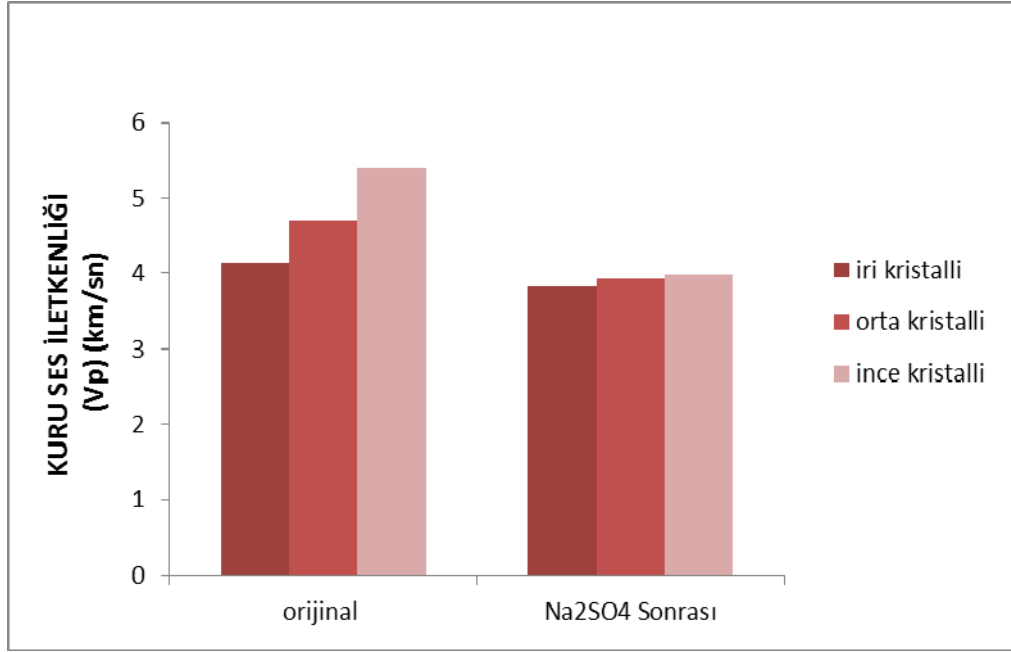
Şekil 7.41 Suyu doymun ultrasonik ses hızı iletkenliğinin taze numune ve ıslanma kuruma deneyi sonrası değişimi



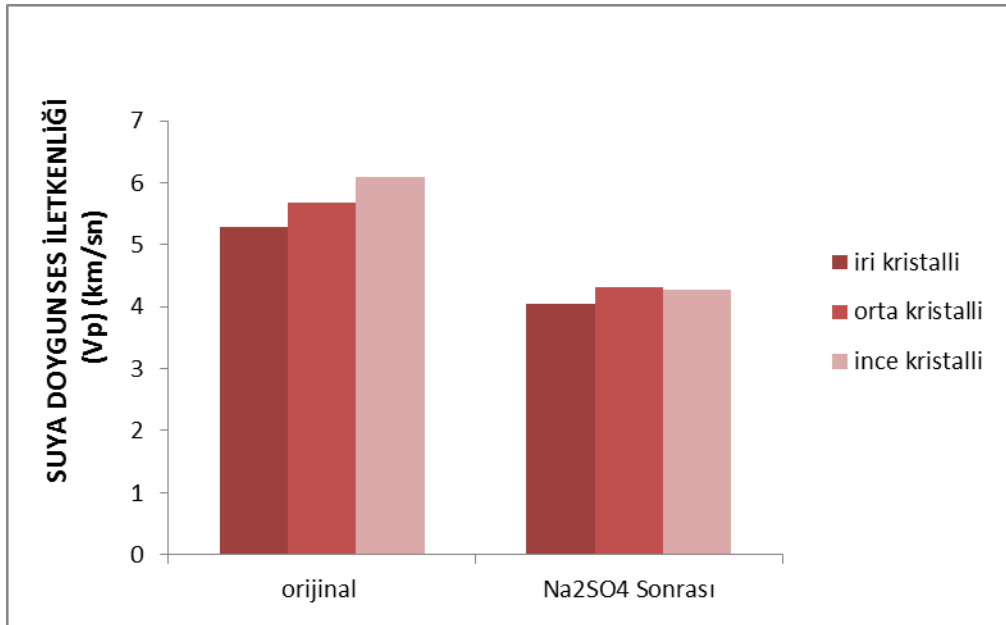
Şekil 7.42 Kuru ultrasonik ses hızı iletkenliğinin taze numune ve donma çözünme deneyi sonrası değişimi



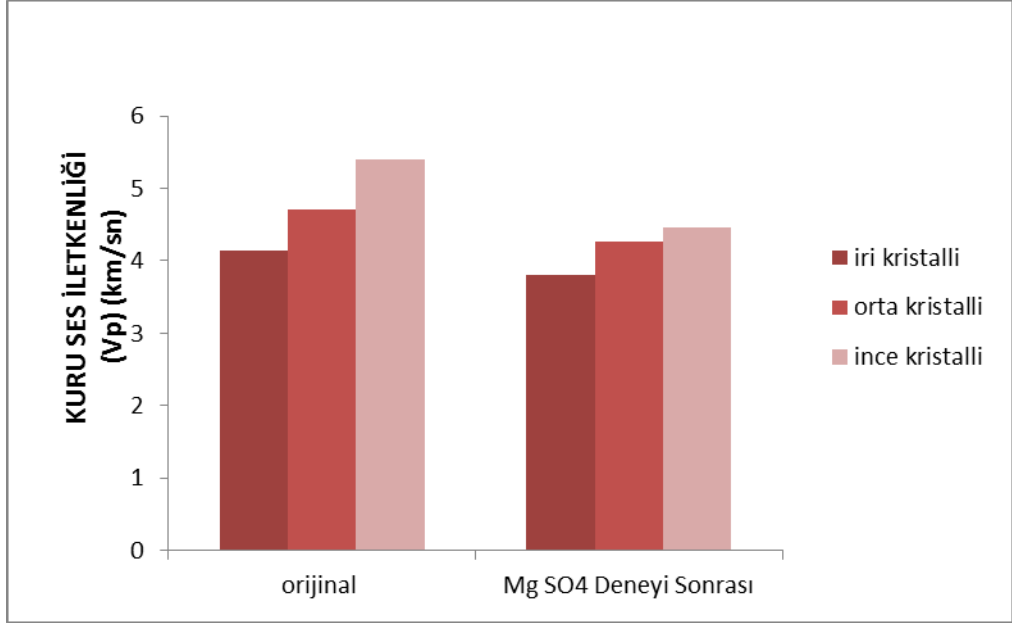
Şekil 7.43 Suyu doymun ultrasonik ses hızı iletkenliğinin taze numune ve donma çözünme deneyi sonrası değişimi



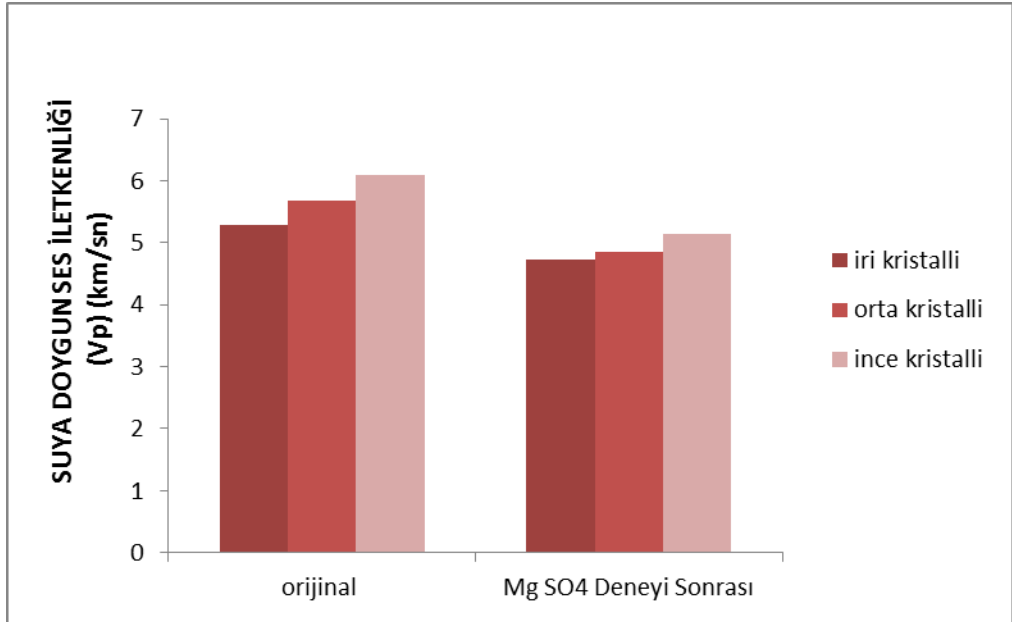
Şekil 7.44 Kuru ultrasonik ses hızı iletkenliğinin taze numune ve Na₂ SO₄ deneyi sonrası değişimi



Şekil 7.45 Suya doymun ultrasonik ses hızı iletkenliğinin taze numune ve Na₂ SO₄ deneyi sonrası değişimi



Şekil 7.46 Kuru ultrasonik ses hızı iletkenliğinin taze numune ve $MgSO_4$ deneyi sonrası değişimi



Şekil 7.47 Suyu doymun ultrasonik ses hızı iletkenliğinin taze numune ve $MgSO_4$ deneyi sonrası değişimi

7.3 Durabilite Değerlendirme Testleri

Taşın durabilitesi, o taşın geniş bir zaman diliminde orijinal boyutunun, şeklinin, mukavemetinin ve görünüşünün bozunmaya karşı gösterdiği direncin ölçüsüdür (Bell 1980, 1993; Sims 1991; Topal and Doyuran 1997a). Doğal taşın durabilitesi, onun malzeme özellikleri ve yapıtaşı olarak kullanıldıktan sonraki çevresel özellikleri ile ilişkilidir (Topal 1997).

7.3.1 Kuru ve Suya Doymun Tek Eksenli Basınç Direnci Oranı

Winkler (1993), kayaçların suya doymun ve kuru tek eksenleri arasındaki oranın kayacın durabilitesinin saptanmasında kullanılabileceğini belirtmiştir (Tablo 7.34)

Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin durabilitelerinin saptanması için gereken $7 \times 7 \times 7$ cm boyutlarında küp numuneler kesilerek, bu numuneler üzerinde kuru ve suya doymun halde tek eksenli basınç direnci deneyi yapılmıştır ve sonuçlar Tablo 7.35 de verilmiştir.

Tablo 7.34 Kuru ve suya doymun kuru tek eksenli basınç direnci oranına göre kaya durabilite sınıflaması (Winkler, 1993)

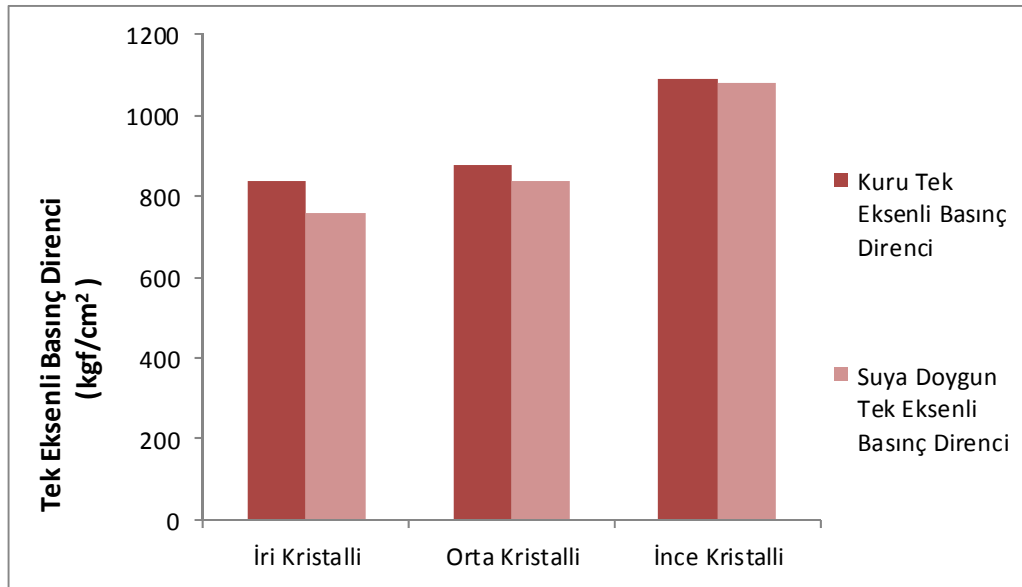
Sınıflandırma	Direnç Oranı (%)
Çok İyi	>90
İyi ve Güvenli	90-80
Daha Fazla Deney Gerekli	80-70
Hidrik Kuvvetler ve Donma Etkisine Karşı Güvensiz	70-60
Çok Düşük Kaliteli	<60

TS EN 1926' ya uygun olarak suya doymun $7 \times 7 \times 7$ cm boyutlu küp numuneler üzerinde yapılan TEBD deneyi sonucunda farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin kuru ve suya doymun TEBD oranının iri kristalli mermerler için % 90,49, orta kristal boyutuna sahip mermerler için % 95,56 ince kristalli mermerler için % 99,15 olarak hesaplanmıştır (Şekil 7.48, Tablo 7.35).

Tablo 7.35 Farklı kristal boyuta sahip Muğla mermerlerinin kuru ve suya doymun tek eksenli basınç direnci ortalamaları

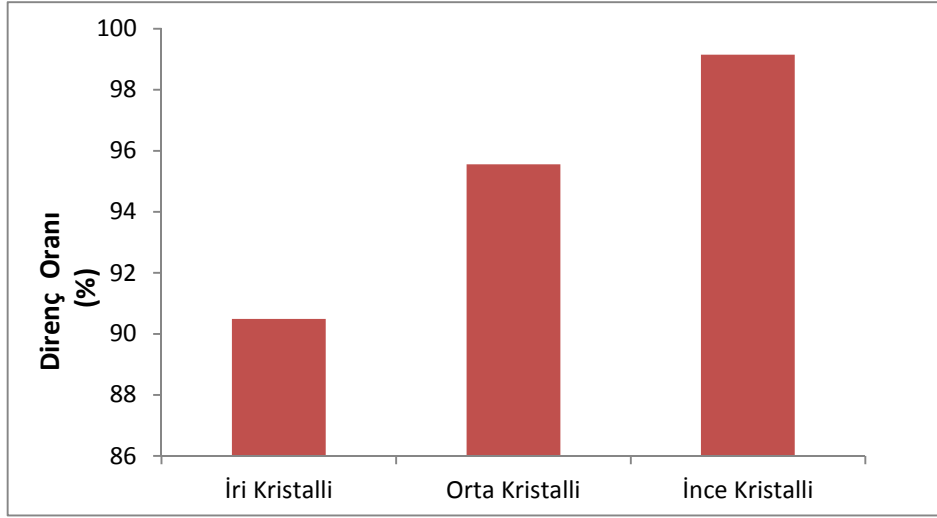
Mermer Türü	N	Kuru TEBD (kgf/cm ²)	N	Suya Doymun TEBD (kgf/cm ²)	Direnç Oranı (%)
İri Kristalli Mermer	5	839,48 ± 185,28	4	759,64 ± 220,25	90,49
Orta Kristalli Mermer	5	878,59 ± 105,17	4	839,62 ± 149,88	95,56
İnce Kristalli Mermer	5	1090,89 ± 128,35	3	1081,59 ± 149,88	99,15

N: Deneyde kullanılan numune sayısı



Şekil 7.48 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin kuru ve suya doymun tek eksenli basınç direnci karşılaştırması

Tablo 7.35 ve Şekil 7.49’da görüldüğü üzere farklı kristal boyutundaki Muğla mermerlerinin kuru tek eksenli basınç direnci ve suya doymun tek eksenli basınç direnci değerleri arasında belirgin bir farklılık bulunmamaktadır. Bu nedenle Muğla mermerleri Winkler (1993) sınıflandırmasına göre çok iyi durabiliteli kayalar grubuna girmektedir (Tablo 7.34).



Şekil 7.49 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerin direnç oranları

7.3.2 Doyunluk Katsayısı

Kayacın doyunluk katsayısı, belirli bir süre içinde kayacın atmosferik şartlar altındaki ağırlıkça su emme değerinin (%), vakum altında tutularak hesaplanan ağırlıkça su emme değerine (%) oranıdır (RILEM, 1980; TS 699, 1987). Eğer bu oran 0,8 den büyük olursa, kayaç donma çözünme etkilerine karşı daha düşük durabilite gösterir (TS 699, 1987; Topal ve Doyuran, 1997b; Yavuz, 2012). Vakum öncesi ağırlıkça su emme değeri bulunan numuneler, saf su ile doldurulmuş bir kaba yerleştirilerek ağzı kapatılır. Vakumlu desikatör yardımıyla 48 saat boyunca numunelerin içerisindeki hava boşaltılır ve deney sonrası numunelerin kuru ve suya doyun ağırlıkları ölçülerek yeni ağırlıkça su emme değeri bulunur. Deney öncesi ve deney sonrası ağırlıkça su emme değerlerinin birbirlerine bölünmesiyle doyunluk katsayısı elde edilir (Eşitlik 17).

Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin doyunluk katsayısı aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmış, bulunan sonuçlar Tablo 7.36' da verilmiştir.

$$\text{Doyunluk Katsayısı} : \frac{\text{Vakum öncesi ağırlıkça su emme (\%)}}{\text{Vakum sonrası ağırlıkça su emme (\%)}} \dots\dots\dots(17)$$

Tablo 7.36 Farklı kristal boyutuna sahip mermerlerin atmosferik şartlar altında ve vakum sonrası ağırlıkça su emmeleri ve doygunluk katsayıları

Mermer Türü	Atmosferik Şartlar Altında Ağırlıkça Su Emme (%)	N	Vakum Sonrası Ağırlıkça Su Emme (%)	N	Doygunluk Katsayısı
İri Kristalli Mermer	0,058 ± 0,028	4	0,090 ± 0,053	4	0,64
Orta Kristalli Mermer	0,049 ± 0,005	3	0,051 ± 0,005	3	0,96
İnce Kristalli Mermer	0,052 ± 0,02	3	0,054 ± 0,004	3	0,96

N: Deneyde kullanılan numune sayısı

Atmosferik şartlar altında ağırlıkça su emme değeri iri kristalli mermerler için % 0,058, orta kristal boyutuna sahip mermerler için % 0,049, ince kristalli mermerler için %0,052; vakum sonrası ağırlıkça su emme değeri iri kristalli mermerler için 0,090, orta kristal boyutuna sahip mermerler için % 0,051, ince kristalli mermerler için % 0,054 olarak hesaplanmıştır. Bu veriler kullanılarak hesaplanan doygunluk katsayısı iri kristalli mermerler için 0,64, orta kristal boyutuna sahip mermerler için 0,96, ince kristalli mermerler için 0,96 olarak hesaplanmıştır (Tablo 7.36).

7.3.3 Statik Kaya Durabilite İndeksi

Fookes ve diğ. (1988), statik kaya durabilite indeksini (RDI_S) doğal taşların durabilitelerinin belirlenmesi için önermiştir. RDI_S, kuru ve doygun nokta yükü direnci ortalaması (I_{S(50)}), sodyum sülfat deneyi (5 devir) sonrası kütle kaybı (%), atmosferik basınç altında ağırlıkça su emme (%), doygun yüzey kuru özgül ağırlık gibi dört mühendislik parametresi yardımıyla aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır (Topal and Doyuran 1997a,b).

$$RDI_S = \frac{(I_{s(50)} - 0.1(SST + 5WA))}{SG_{ssd}} \dots\dots\dots(18)$$

RDI_S = Statik kaya durabilite indeksi

$I_{s(50)}$ = Kuru ve doygun nokta yükü direnci ortalaması (kgf/cm^2)

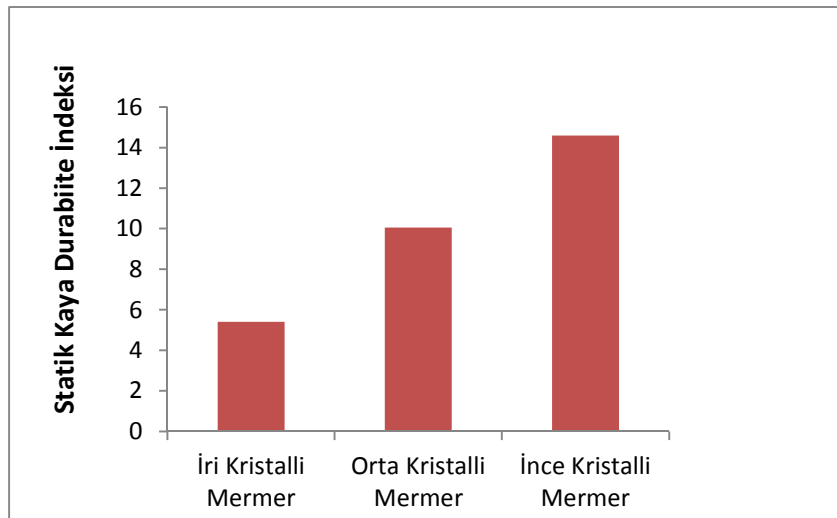
SST = Sodyum sülfat deneyi sonrası kütle kaybı (%)

WA = Ağırlıkça su emme (atmosferik basınç altında)(%)

SG_{ssd}=Doygun yüzey kuru birim hacim ağırlık (gr/cm^3)

Tablo 7.37 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin statik kaya durabilite indeks değerleri

Mermer Türü	Statik Kaya Durabilite İndeksi
İri Kristalli Mermer	5,41
Orta Kristalli Mermer	10,05
İnce Kristalli Mermer	14,60



Şekil 7.50 Muğla mermerlerinin statik kaya durabilite indeks grafiği

Tablo 7.38 Fookes (1988) Statik Kaya Durabilite Sınıflaması

RDI's Değeri	Durabilite Sınıfı
>2,5	Mükemmel
2,5-(-1)	İyi
(-1)-(-3)	Orta
< (-3)	Zayıf

Fookes (1988) sınıflamasına göre iri, orta ve ince kristal boyutuna sahip her üç kaya türü de mükemmel durabilite sınıfına girmektedir.

7.3.4 Gözenek Boyutu Tayini

Gözenek boyutu tayini (PSD) kayaçların içerisinde mevcut bulunan ve dışarıdan giren sıvıların gözenekler içerisinde hareket edebilmesi ve artmasını kontrol eden, kayacın durabilitesini belirlemede önemli ve temel bir faktördür (Vos 1976, Punuru ve diğ. 1990, Benavente ve diğ. 2004, Török ve diğ. 2005, Yu ve Oguchi 2010).

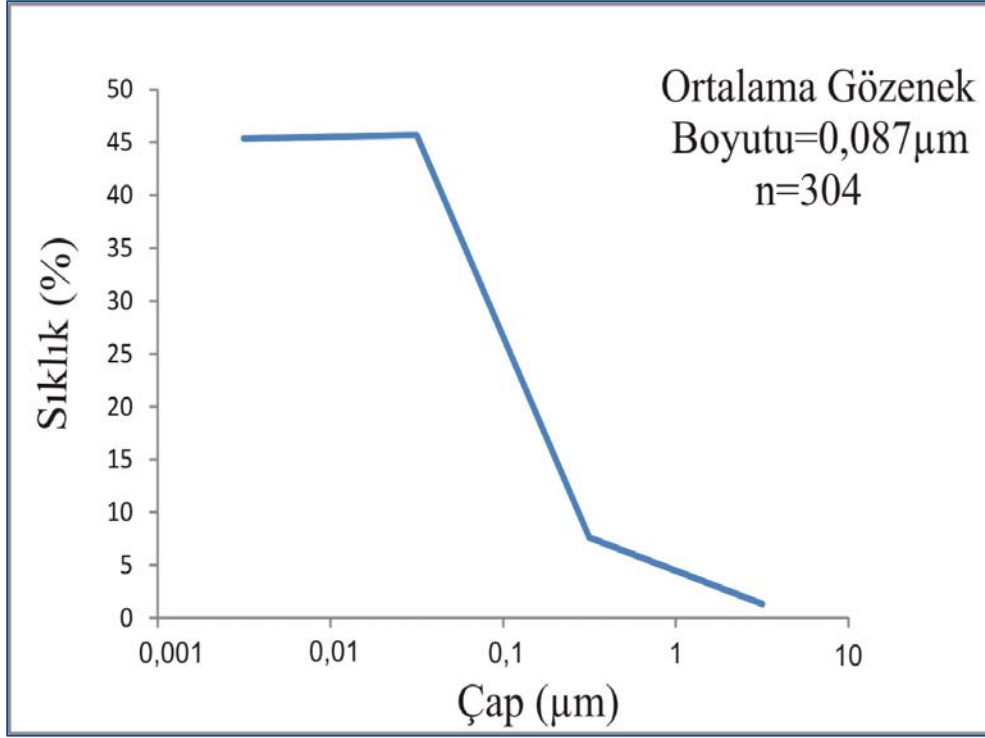
Gözenek boyutu tayinin doğal taşların durabilitesinde çevresel etkilerden ve özellikle donma çözünme süreçlerinde önemli bir parametre olarak ele alınmalıdır. Larsen ve Candy (1969) kayacın içerisinde bulunan gözenek suyunun kayacın dışına atılmadığı kritik gözenek boyutunu 5 μm 'nin altında olduğunu belirtmiştir. Gözenek boyu dağılımı, donma çözünme süreçleri sonucunda kayacın durabilitesi açısından kritik bir değer taşır (Topal ve Doyuran 1997). Bu sebeple 5 μm 'den daha küçük gözenek boyutuna sahip kayaçlar donma ve çözünme koşullarında daha kolay etkilenirler (Topal ve Doyuran 1997).

Kayaçların ve doğal yapıtaşlarında tuz kristallenmesi etkisine karşı gelişebilecek hasarın derecesini kayacın gözenek boyutu belirler. Örneğin bir taş düşük poroziteye sahip ise ve ciddi derecede mikro boyutta gözenek içeriyorsa tuza karşı dayanıksız ve zayıf olabilir. Özellikle mikro gözeneklerin ortalama gözenek boyutu farklı ise toplamda aynı poroziteye sahip iki kayacın deformasyonunun ölçüsü farklı olabilir. Bunun yanında mikroporozite, tuz kristallenmesi etkisinin en önemli ve etkili nedeni

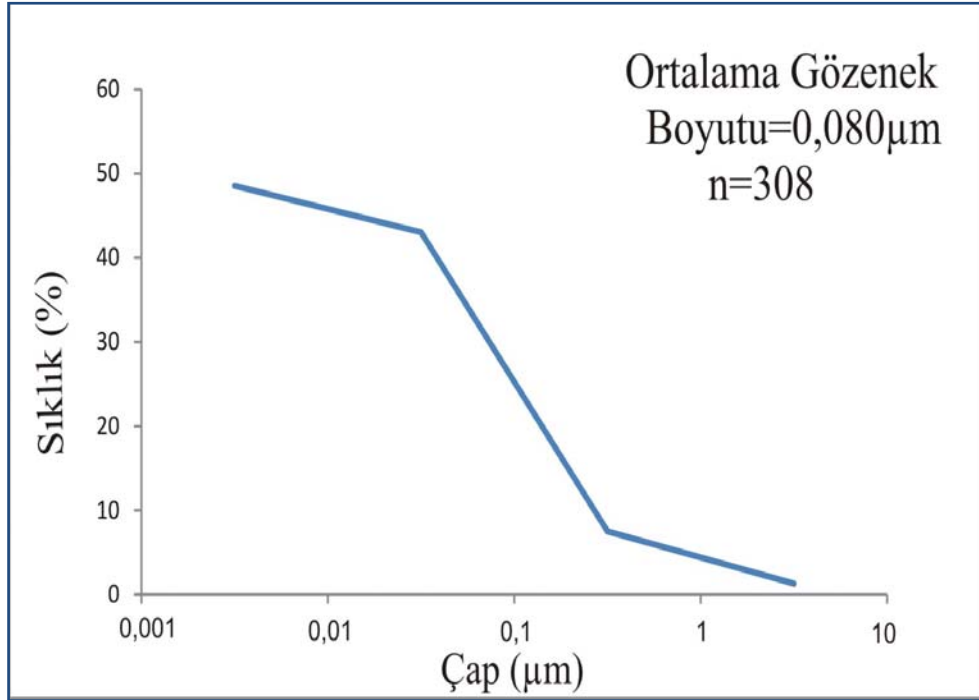
olarak gösterilir (Schaffer 1932, Sperling ve Cooke 1985, Ordóñez ve diğ. 1997, Yu ve Oguchi 2010). Bunun yanında yapılan çalışmalar da gözenekli kayalarda tuz kristallenmesinin oluşturduğu hasarı mikrogözeneklerle ilişkilendirir (Wellman ve Wilson 1965, Scherer 1999, Flatt 2002, Stiger 2005a,b, Yu ve Oguchi 2010). Ayrıca çeşitli laboratuvar ve teori çalışmalarında kristalizasyon etkisini mikro gözeneklerin daha da kolaylaştırdığı saptanmıştır. Bu çalışmalar şu bulgulara ulaşılmıştır; gözene yarıçapı 0,05 μm 'den daha küçük (Steiger, 2005b, Scherer, 2006), 0,1 μm (Ordóñez ve diğ. 1997), 0,5 μm (Punuru ve diğ.1990, Rossi-Manaresi ve Tucci 1991), 1 μm (Benavente ve diğ.2004), 2,5 μm (Fitzner, 1988, Mod'd ve diğ. 1996) ve gözenek yarıçapı 0,5 ile 5 μm (Zehnder ve Arnold 1989, , Yu ve Oguchi 2010) arasında olmalıdır.

Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerleri homojen yapıdadırlar ve gözenek boyutu için civa porozimetresi yöntemi kullanılmıştır.

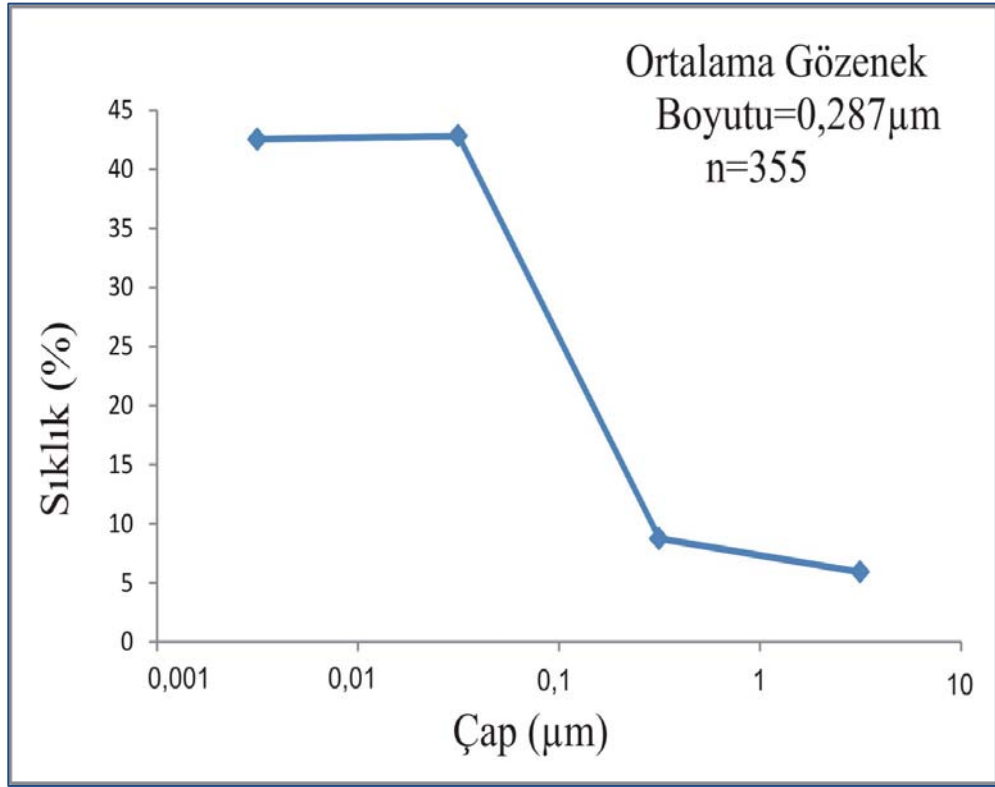
Bu çalışmada, farklı kristal boyutlarına sahip Muğla mermerlerinin gözenek boyu tanımlaması, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Merkez Laboratuvarı'nda civalı porozimetre ile (Pore Master 60 cihazı kullanılarak) yapılmıştır. Elde edilen veriler kullanılarak her üç kaya grubunun gözenek boyu dağılım grafikleri çıkarılmış, ortalama görünür gözeneklilik ve ortalama gözenek boyu değerleri hesaplanmıştır. Muğla mermerlerinden iri kristalli mermer grubunun efektif porozitesi % 0,06 ile % 0,24, orta kristal boyutuna sahip mermer grubunun % 0,06 ile % 0,13, ince kristalli mermer grubunun % 0,09 ile % 0,17 arasında değişiklik göstermektedir. Civalı porozimetre yöntemi kullanılarak ölçülen gözenek boyu ise iri kristalli mermerlerde 7,476 μm ile 0,00427 μm , orta kristal boyutuna sahip mermerlerde 7,483 μm ile 0,00428 μm , ince kristalli mermerlerde ise 7,556 μm ile 0,00427 μm arasında değiştiği tespit edilmiştir.



Şekil 7.51 İri kristalli Muğla mermerlerinin gözenek boyu dağılım grafiği



Şekil 7.52 Orta kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin gözenek boyu dağılım grafiği



Şekil 7.53 İnce kristalli Muğla mermerlerinin gözenek boyu dağılım grafiği

İri kristalli mermerlerin görünür porozitesi % 0,12, cıvalı porozimetre yöntemi ile ölçülen ortalama gözenek boyu 0,087 μm olarak tespit edilmiştir. Orta kristal boyutuna sahip mermerlerin görünür porozitesi % 0,08, cıvalı porozimetre yöntemi ile ölçülen ortalama gözenek boyu 0,080 μm olarak hesaplanmıştır. İnce kristalli mermerlerde ise görünür porozite % 0,13, cıvalı porozimetre yöntemi ile ölçülen ortalama gözenek boyu 0,287 μm olarak hesaplanmıştır.

BÖLÜM SEKİZ

SONUÇLAR

Muğla yöresine ait farklı kristal boyutuna sahip kayaçların deneye tabi tutulmadan önceki fiziksel ve mekanik özellikleri şöyledir. İri kristalli mermerlerin özgül ağırlığı 2,69, görünür porozitesi % $0,12 \pm 0,03$, toplam porozitesi % 1.11, kuru birim hacim ağırlığı $2,72 \pm 0,004 \text{ gr/cm}^3$, doymun birim hacim ağırlığı $2,72 \pm 0,004 \text{ gr/cm}^3$, ağırlıkça su emme değeri % $0,05 \pm 0,01$, doymunluk katsayısı 0,64, boşluk oranı % $0,13 \pm 0,03$, kuru tek eksenli basınç dayanımı ortalama $839,48 \pm 185,28 \text{ kg/cm}^2$, suya doymun tek eksenli basınç dayanımı ortalama $759,64 \pm 220,25 \text{ kg/cm}^2$, Böhme yüzeysel aşınma kaybı ortalama $16,92 \pm 0,33 \text{ cm}^3 / 50 \text{ cm}^2$, darbe direnci ortalama $26,67 \pm 5,77 \text{ kgfcm/cm}^3$, kuru numunenin nokta yükü dayanım indeksi $20,13 \pm 4,69 \text{ kg/cm}^2$, suya doymun numunenin nokta yükü dayanım indeksi $13,42 \pm 3,59 \text{ kg/cm}^2$, Shore sertlik indeksi $42,58 \pm 4,53$ olarak hesaplanmıştır (Tablo 8.1)

Orta kristal boyutuna sahip mermerlerin özgül ağırlığı 2,72, görünür porozitesi % $0,08 \pm 0,01$, toplam porozitesi % 0,36, kuru birim hacim ağırlığı $2,73 \pm 0,001 \text{ gr/cm}^3$, doymun birim hacim ağırlığı $2,73 \pm 0,001 \text{ gr/cm}^3$, ağırlıkça su emme değeri % $0,03 \pm 0,01$, doymunluk katsayısı 0,9, boşluk oranı % $0,08 \pm 0,02$, kuru tek eksenli basınç dayanımı ortalama $878,59 \pm 105,17 \text{ kg/cm}^2$, suya doymun tek eksenli basınç dayanımı ortalama $883,21 \pm 162,33 \text{ kg/cm}^2$, Böhme yüzeysel aşınma kaybı ortalama $14,46 \pm 0,77 \text{ cm}^3 / 50 \text{ cm}^2$, darbe direnci ortalama $14,67 \pm 4,62 \text{ kgfcm/cm}^3$, kuru numunenin nokta yükü dayanım indeksi $29 \pm 6,83 \text{ kg/cm}^2$, suya doymun numunenin nokta yükü dayanım indeksi $25,71 \pm 13,44 \text{ kg/cm}^2$, Shore sertlik indeksi $44,26 \pm 6,50$ olarak hesaplanmıştır (Tablo 8.1)

İnce kristalli mermerlerin özgül ağırlığı 2,74, görünür porozitesi % $0,13 \pm 0,02$, toplam porozitesi % 0,73, kuru birim hacim ağırlığı $2,72 \pm 0,004 \text{ gr/cm}^3$, doymun birim hacim ağırlığı $2,73 \pm 0,004 \text{ gr/cm}^3$, ağırlıkça su emme değeri % $0,05 \pm 0,01$, doymunluk katsayısı 0,96, boşluk oranı % $0,13 \pm 0,02$, kuru tek eksenli basınç dayanımı ortalama $1090,89 \pm 128,35 \text{ kg/cm}^2$, suya doymun tek eksenli basınç dayanımı ortalama $1081,59 \pm 149,88 \text{ kg/cm}^2$, Böhme yüzeysel aşınma kaybı

ortalama $14,25 \pm 0,89 \text{ cm}^3 / 50 \text{ cm}^2$, darbe direnci ortalama $36 \pm 25,46 \text{ kgf cm/cm}^3$, kuru numunenin nokta yükü dayanım indeksi $44 \pm 9,80 \text{ kg/ cm}^2$, suya doymun numunenin nokta yükü dayanım indeksi $40,67 \pm 9,02 \text{ kg/ cm}^2$, Shore sertlik indeksi $53,84 \pm 4,19$ olarak hesaplanmıştır (Tablo 8.1)

İri kristalli Muğla mermerlerinin ıslanma-kuruma deneyi sonrası kuru birim hacim ağırlığında % 0,16, doymun birim ağırlığında % 0,10, azalma, boşluk oranında % 137,14, ağırlıkça su emme değerinde % 137,19, porozitesinde % 136,71 oranında artma olduğu belirlenmiştir. Orta kristal boyutuna sahip mermer numunelerin kuru birim hacim ağırlığında % 0,29, doymun birim ağırlığında % 0,18 azalma, boşluk oranında % 488,64 ağırlıkça su emme değerinde % 441,81 porozitesinde % 440,19 oranında artma gözlenmiştir. İnce kristalli mermer numunelerinin kuru birim hacim ağırlığında % 0,04, doymun birim ağırlığında % 0,01 azalma, boşluk oranında % 66,99, ağırlıkça su emme değerinde % 66,91 porozitesinde % 66,83 oranında artma görmüştür (Tablo 8.1).

Islanma kuruma deneyi sonrası kütle kaybı iri kristalli mermerlerde 20.periyot sonunda % $0,04 \pm 0,01$, 40.periyot sonunda % $0,11 \pm 0,02$, 60.periyot sonunda % $0,26 \pm 0,06$ olarak belirlenmiştir. Orta kristal boyutuna sahip mermerlerde kütle kaybı 20.periyot sonunda % $0,04 \pm 0,00$, 40.periyot sonunda % $0,09 \pm 0,01$, 60.periyot sonunda % $0,17 \pm 0,04$ olarak gerçekleşmiştir. İnce kristalli mermerlerde kütle kaybı ise 20.periyot sonunda % $0,03 \pm 0,00$, 40.periyot sonunda % $0,07 \pm 0,01$, 60.periyot sonunda % $0,12 \pm 0,01$).Islanma-kuruma deneyi sonrasında iri kristalli mermerlerde % 9,37, orta kristal boyutuna sahip mermerlerde % 25,16, ince kristalli mermerlerde % 19,74 değerinde tek eksenli basınç direnci kaybına uğradıkları belirlenmiştir (Tablo 8.1).

Donma çözünme deneyi sonucunda iri kristalli mermer numunelerinin kuru birim hacim ağırlığında % 0,18, doymun birim ağırlığında % 0,14 azalma, boşluk oranında % 74,76, ağırlıkça su emme değerinde % 74,90, porozitesinde % 74,59 oranında artma gözlenmiştir. Orta kristal boyutuna sahip mermer numunelerin kuru birim hacim ağırlığında % 0,20, doymun birim ağırlığında % 0,15 azalma, boşluk oranında % 152,35 ağırlıkça su emme değerinde % 152,55, porozitesinde % 152,02 oranında artma gözlenmiştir. İnce kristalli mermer numunelerinin kuru birim hacim

ağırlığında % 0,06, doygun birim ağırlığında % 0,05 azalma, boşluk oranında % 97,32, ağırlıkça su emme değerinde % 97,06, porozitesinde % 97,08 oranında artma görmüştür. Donma çözünme deneyi sonrası kütle kaybı ortalamaları iri kristalli mermerlerde 10.periyot sonunda % $0,08 \pm 0,07$, 20.periyot sonunda % $0,26 \pm 0,27$, 30.periyot sonunda % $0,27 \pm 0,27$ olarak saptanmıştır. Orta kristal boyutuna sahip mermerlerde kütle kaybı 10.periyot sonunda % $0,04 \pm 0,01$, 20.periyot sonunda % $0,05 \pm 0,02$, 30.periyot sonunda % $0,06 \pm 0,03$ olarak gözlenmiştir. İnce kristalli mermerlerde kütle kaybı 10.periyot sonunda % $0,03 \pm 0,003$, 20.periyot sonunda % $0,04 \pm 0,01$, 30.periyot sonunda % $0,05 \pm 0,01$ olarak saptanmıştır (Tablo 8.1).

Donma çözünme deneyi sonrasında Muğla mermerlerinin iri kristallilerinde % 4,53, orta kristal boyutuna sahip mermerlerinde % 14,63 ve ince kristalli mermerlerinde % 7,05 oranında direnç kaybı geliştiği gözlenmiştir (Tablo8.1).

NaSO₄ Tuz kristallenmesi deneyi 30. Periyot sonrası iri kristalli Muğla mermerlerinin kuru birim hacim ağırlığında % 7,28 doygun birim ağırlığında % 4,62 azalma, boşluk oranında % 5828,75 ağırlıkça su emme değerinde % 5826,53 porozitesinde % 5394,45 oranında artma gözlenmiştir. Orta kristal boyutuna sahip mermerlerin kuru birim hacim ağırlığında % 7,14, doygun birim ağırlığında % 4,63 azalma, boşluk oranında % 5628,28, ağırlıkça su emme değerinde % 8464,58 porozitesinde % 7849,91 oranında artma gözlenmiştir. İnce kristalli mermer numunelerinin kuru birim hacim ağırlığında % 4,55, doygun birim ağırlığında % 2,99 azalma, boşluk oranında % 3341,68, ağırlıkça su emme değerinde % 3353,15, porozitesinde % 3194,11 oranında artma görmüştür (Tablo 8.1).

30.periyot sonunda tamamlanan tuz kristallenmesi deneyi kütle kaybı ortalamaları iri kristalli mermerlerde 10.periyot sonunda % $0,00 \pm 0,00$, 20.periyot sonunda % $5,14 \pm 3,87$, 30.periyot sonunda % $29,58 \pm 10,04$ olarak belirlenmiştir. Orta kristal boyutuna sahip mermerlerin kütle kaybı 10.periyot sonunda % $0,00 \pm 0,00$, 20.periyot sonunda % $10,90 \pm 8,81$, 30.periyot sonunda % $40,32 \pm 45,84$ olarak belirlenmiştir. İnce kristalli mermerlerde kütle kaybı ise 10.periyot sonunda % $0,00 \pm 0,00$, 20.periyot sonunda % $0,47 \pm 0,20$, 30.periyot sonunda % $3,03 \pm 1,44$, değerlerinde kütle kaybına maruz kaldıkları görülmüştür (Tablo 8.1).

Tuz ($MgSO_4$) kristallenmesi deneyi 20. periyot sonrası Muğla mermerlerinin iri kristalli mermer grubu numunelerinin kuru birim hacim ağırlığında % 6,59, doygun birim ağırlığında % 5,14 azalma, boşluk oranında % 3307,04 ağırlıkça su emme değerinde % 3317,22 porozitesinde % 3102,55 oranında artma, orta kristal boyutuna sahip mermer grubundaki numunelerin kuru birim hacim ağırlığında % 4,55, doygun birim ağırlığında % 2,84 azalma, boşluk oranında % 3919,77, ağırlıkça su emme değerinde % 3949,37 porozitesinde % 5749,70 oranında artma, ince kristalli mermer numunelerinin kuru birim hacim ağırlığında % 3,87, doygun birim ağırlığında % 2,66 azalma, boşluk oranında % 3073,99, ağırlıkça su emme değerinde % 3353,15, porozitesinde % 2948,73 oranında artma görülmüştür (Tablo 8.1).

20.periyot sonunda tamamlanan tuz kristallenmesi deneyi kütle kaybı ortalamaları iri kristalli mermerlerde 10.periyot sonunda % $30,53 \pm 30,51$, 20.periyot sonunda % 100 ± 100 ; orta kristal boyutuna sahip mermerlerde 10.periyot sonunda % $40,10 \pm 23,14$, 20.periyot sonunda % 100 ± 100 ; ince kristalli mermerlerde 10.periyot sonunda % $0,00 \pm 0,00$, 20.periyot sonunda % $24,44 \pm 10,96$ değerlerinde kütle kaybına maruz kaldıkları görülmüştür (Tablo 8.1).

Ses hızı iletkenliği deneyinde numunelerin deney öncesi ve deney sonrası ses hızı iletkenliği değerleri bulunmuş ve karşılaştırılmıştır. Taze numunenin ses iletkenliği iri kristalli mermerlerde kuru 4,13 km/sn, ıslak 5,29 km/sn; orta kristal boyutuna sahip mermerlerde kuru 4,71 km/sn, ıslak 5,68 km/sn; ince kristalli mermerlerde kuru 5,40 km/sn, ıslak 6,10 km/sn olarak ölçülmüştür. Islanma kuruma deneyi sonrası iri kristalli mermerlerde kuru 3,32 km/sn, ıslak 4,53 km/sn; orta kristal boyutuna sahip mermerlerde kuru 2,67 km/sn, ıslak 3,69 km/sn; ince kristalli mermerlerde kuru 3,45 km/sn, ıslak 4,12 km/sn olarak hesaplanmıştır. Donma çözünme deneyi sonrası ses hızı iletkenliği iri kristalli mermerlerde kuru 2,81 km/sn, ıslak 4,36 km/sn; orta kristal boyutuna sahip mermerlerde kuru 2,78 km/sn, ıslak 3,87 km/sn; ince kristalli mermerlerde ise kuru 3,64 km/sn, ıslak 5,04 km/sn olarak ölçülmüştür (Tablo 8.1).

MgSO₄ deneyi sonrası ses hızı iletkenliği iri kristalli mermerlerde kuru 3,81 km/sn, ıslak 4,72 km/sn; orta kristal boyutuna sahip mermerlerde kuru 4,26 km/sn, ıslak 4,84 km/sn; ince kristalli mermerlerde ise kuru 4,46 km/sn, ıslak 5,14 km/sn olarak ölçülmüştür. Na₂SO₄ deneyi sonrası ses hızı iletkenliği ise iri kristalli mermerlerde kuru 3,83 km/sn, ıslak 4,05 km/sn; orta kristal boyutuna sahip mermerlerde kuru 3,93 km/sn, ıslak 4,32 km/sn; ince kristalli mermerlerde ise kuru 3,98 km/sn, ıslak 4,32 km/sn olarak ölçülmüştür (Tablo 8.1).

Muğla mermerlerinin kuru ve doymuş tek eksenli basınç direnç oranı iri kristalli mermerlerde % 90,49, orta kristal boyutuna sahip mermerlerde % 95,56 ince kristalli mermerler de % 99,15 olarak hesaplanmıştır. Doymuşluk katsayısı iri kristalli mermerlerde 0,64, orta kristal boyutuna sahip mermerlerde 0,96, ince kristalli mermerlerde 0,96 olarak hesaplanmıştır. Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin statik kaya durabilite indeksi iri kristalli mermerlerde 5,41, orta kristal boyutuna sahip mermerlerde 10,05 ve ince kristalli mermerlerde 14,60 olarak hesaplanmıştır (Tablo 8.1).

Muğla mermerlerinin iri kristal boyutuna sahip olanlarının efektif porozitesi % 0,06 ile % 0,24, orta kristal boyutuna sahip olanlarının efektif porozitesi % 0,06 ile % 0,13, ince kristal boyutuna sahip olanlarının efektif porozitesi % 0,09 ile % 0,18 arasında değişmektedir (Tablo 8.1). Cıvalı porozimetre yöntemi kullanılarak ölçülen gözenek boyu ise iri kristalli mermerlerde 7,476 µm ile 0,00427 µm, orta kristal boyutuna sahip mermerlerde 7,483 µm ile 0,00428 µm, ince kristalli mermerlerde ise 7,556 µm ile 0,00427 µm arasında değiştiği tespit edilmiştir (Tablo 8.1).

İri kristalli mermerlerin görünür porozitesi % 0,12, cıvalı porozimetre yöntemi ile ölçülen ortalama gözenek boyu 0,087 µm olarak tespit edilmiştir. Orta kristal boyutuna sahip mermerlerin görünür porozitesi % 0,08, cıvalı porozimetre yöntemi ile ölçülen ortalama gözenek boyu 0,080 µm olarak hesaplanmıştır. İnce kristalli mermerlerde ise görünür porozite % 0,13, cıvalı porozimetre yöntemi ile ölçülen ortalama gözenek boyu 0,287 µm olarak hesaplanmıştır (Tablo 8.1).

Tablo 8.1 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin durabilite deneyleri sonuçları

DURABİLİTE DENEYLERİ			
Deney	İri Kristalli Mermer Ortalama \pm S. S	Orta Kristalli Mermer Ortalama \pm S.S	İnce Kristalli Mermer Ortalama \pm S.S
Islanma Kuruma Deneyi Sonrası Kütle Kaybı (%)	0,26 \pm 0,06	0,17 \pm 0,04	0,12 \pm 0,01
Islanma Kuruma Deneyi Sonrası Direnç Kaybı (%)	9,37	25,16	19,74
Donma Çözünme Deneyi Sonrası Kütle Kaybı (%)	0,27 \pm 0,27	0,06 \pm 0,03	0,05 \pm 0,01
Donma Çözünme Deneyi Sonrası Direnç Kaybı (%)	8,96	14,63	7,05
Islanma Kuruma Sonrası T.E.B (kg/cm ²)	760,75 \pm 155,92	657,51 \pm 109,24	875,51 \pm 130,79
Donma Çözünme Sonrası T.E.B (kg/cm ²)	764,24 \pm 202,27	750,02 \pm 242,73	1014,02 \pm 133,84
Kuru ve Suyu Doygun T.E.B Direnç Oranı (%)	90,49	95,56	99,15
Statik Kaya Durabilite İndeksi	5,41	10,05	14,60
Tuz Kristallenmesi Sonrası (Na ₂ SO ₄) Kütle Kaybı (%)	29,58 \pm 10,04	40,32 \pm 45,84	3,03 \pm 1,44
Tuz Kristallenmesi Sonrası (Mg SO ₄) Kütle Kaybı (%)	100 \pm 100	100 \pm 100	24,44 \pm 10,96
Atmosferik Şartlar Altında Ağırlıkça Su Emmesi (%)	0,058 \pm 0,028	0,049 \pm 0,005	0,052 \pm 0,02
Vakum Sonrası Ağırlıkça Su Emmesi (%)	0,090 \pm 0,053	0,051 \pm 0,005	0,054 \pm 0,004
Doygunluk Katsayısı	0,64	0,96	0,96

Tablo 8.1 Farklı kristal boyutuna sahip Muğla mermerlerinin durabilite deneyleri sonuçları

DURABİLİTE DENEYLERİ			
Deney	İri Kristalli Mermer Ortalama \pm S. S	Orta Kristalli Mermer Ortalama \pm S.S	İnce Kristalli Mermer Ortalama \pm S.S
Ses Hızı İletkenliği (Taze Numune- Kuru) (km/sn)	4,13	4,71	5,40
Ses Hızı İletkenliği (Taze Numune- Doygun) (km/sn)	5,29	5,68	6,10
Ses Hızı İletkenliği (İslenme Kuruma Deneyi Sonrası) Kuru (km/sn)	3,32	2,67	3,45
Ses Hızı İletkenliği (İslenme Kuruma Deneyi Sonrası) Doygun (km/sn)	4,53	3,69	4,12
Ses Hızı İletkenliği (Donma Çözünme Deneyi Sonrası) Kuru (km/sn)	2,81	2,78	3,64
Ses Hızı İletkenliği (Donma Çözünme Deneyi Sonrası) Doygun (km/sn)	4,36	3,87	5,04
Ses Hızı İletkenliği (Na ₂ SO ₄ Deneyi Sonrası) Kuru (km/sn)	3,83	3,93	3,98
Ses Hızı İletkenliği (Na ₂ SO ₄ Deneyi Sonrası) Doygun (km/sn)	4,05	4,32	4,32
Ses Hızı İletkenliği (Mg SO ₄ Deneyi Sonrası) Kuru (km/sn)	3,81	4,26	4,46
Ses Hızı İletkenliği (Mg SO ₄ Deneyi Sonrası) Doygun (km/sn)	4,72	4,84	5,14

Çalışmada kullanılan Muğla mermerlerinin tane sınırlarının düzgün, nadiren dalgalı ve poligonal yapıda olduğu belirlenmiştir. Ayrıca ortalama kristal boyutlarının iri kristalli mermerlerde 1455,2 μm , orta kristal boyutuna sahip mermerlerde 944 μm , ince kristalli mermerlerde 556,83 μm olduğu belirlenmiştir.

Kimyasal analizleri yapılan Muğla mermerlerinin CaO oranları % 55,30 -55,92, MgO oranlarının % 1,05- 1,41, SiO₂ oranı iri kristalli mermerlerde % 0,11, orta ve ince kristallilerde ise <0,01 olduğu belirlenmiştir. Bu verilere göre her üç mermer grubunun da kalsitik mermerler olduğu anlaşılmıştır.

Muğla mermerlerinin petrografik özellikleri ve dokuları, tane sınır ilişkileri ve fiziksel özellikleri benzerlik göstermektedir. Ancak mermerlerin kristal boyutları ve cıvalı porozimetre ile belirlenen gözenek boyutları arasında belirgin farklılıkları gözlenmiştir. Cıvalı porozimetre sonuçlarına göre her üç mermer grubunun da gözenek boyutları 5 μm den düşük ancak ince kristalli mermerin gözenek boyutunun (0,287 μm) diğer iki mermer grubundan yüksek çıktığı belirlenmiştir.

Kayacın mekanik özelliklerinden kuru ve ıygun tek eksenli basınç dirençleri, nokta yükleme dirençleri, darbe dirençleri, Shore sertlikleri ve Böhme yüzeysel aşınma kayıplarına bakıldığında ince kristalli Muğla mermerlerinin iri ve orta kristalli mermerlere oranla daha dayanımlı kayaçlar oldukları belirlenmiştir.

İnce kristalli mermerlerin Statik kaya durabilite indeksi (% 14,60) ,iri kristalli (% 5,41) ve orta kristalli (% 10,05) mermerlere oranla daha yüksek çıkmıştır. Fookes (1998) tarafından önerilen Statik kaya durabilite indeksi sınıflamasına göre ince kristalli mermerlerin daha yüksek durabilite sahip oldukları saptanmıştır. Kuru- doygun tek eksenli basınç direnç oranı ince kristalli mermerlerde % 99,15, iri kristalli % 90,49 ve orta kristal boyutuna sahip mermerlerden % 95,56 olarak belirmiştir., Winkler (1993) tarafından önerilen kuru- doygun tek eksenli basınç direnç oranı sınıflamasına göre ince kristalli mermerlerin en yüksek durabiliteye sahip olduğu belirlenmiştir.

Doygunluk katsayısı hesaplanan mermerlerin iri kristalli mermerlerde 0,64, orta kristalli mermerlerde 0,96 ve ince kristalli mermerlerde 0,96 çıkmıştır. Bu verilere göre iri kristalli mermerlerin daha yüksek durabiliteye sahip oldukları saptanmış böylece bu deneyin mermerlerde iyi sonuç vermediği belirlenmiştir.

Tuz kristallenmesi sonuçları değerlendirildiğinde kütle ve direnç kayıpları ince kristalli mermerlerde iri ve orta kristalli mermerlere oranla daha az gerçekleştiği ve böylece ince kristalli mermerlerin daha yüksek durabiliteye sahip olduğu saptanmıştır. Donma çözünme ve ıslanma kuruma deneyleri sonuçlarında da ince kristalli mermerlerde kütle ve direnç kaybı daha az gelişmiş ve bu mermerlerin daha yüksek durabiliteli bir kayaç olduğu belirlenmiştir.

Ultrasonik ses hızı değerlerinde her üç mermerin de orijinal kayadaki ses hızı değerleri birbirine benzer çıkmış ancak ıslanma-kuruma ve donma çözünme deneyleri sonrasında en az değişim ince kristalli mermerlerde çıkarak bu mermerlerin daha yüksek durabiliteli olduğu saptanmıştır.

Deneyleri sonuçları daha önce farklı kristal boyutlarına sahip mermer üzerinde yapılan donma-çözünme (Yavuz ve diğ. 2005) ve Na_2SO_4 tuz kristallenmesi (Yavuz ve Topal 2007) çalışmaları ile karşılaştırılmıştır. Donma çözünme deneyi sonuçları kıyaslandığında her iki çalışmada da mermerlerin kristal boyutu büyüdükçe kütle ve direnç kaybında artış yaşandığı gözlenmiştir (Şekil 8.1). Na_2SO_4 tuz kristallenmesi sonuçları kıyaslandığında ise mermerlerin kristal boyutu arttıkça görünür porozite, ağırlıkça su emme ve kütle kaybında artış, kuru ve suya doymuş ses hızı iletkenliklerinde azalma olduğu saptanmıştır (Şekil (8.2)).

KAYNAKLAR

- Amorosso, G. G ve Fassina, V. (1983). Stone decay and conservation: Atmospheric pollution, cleaning, consolidation and protection. Materials Science Monographs, 11, *Elsevier*, Amsterdam.
- Arnold, A. (1999). Methodology of the study on decay, weathering and conservation of monuments, *ICCROM*, 13th international course on the technology of stone conservation, Unpublish Lecture Notes, Venice.
- ASTM D 4404. (1984). Standarts Test Method for Determination of Pore Volume and Pore Volume Distribution of Soil and Rock by Mercury Intrusion Porosimetry, *ASTM International*.
- Balboni, E., Espinosa-Marzal, R.M., Doehne, E. ve Scherer, G.M.. (2011). Can drying and re-wetting of magnesium sulfate salts lead to damage of stone? *Environment Earth Science* 63, 1463–1473
- Bell, F. G. (1980). *Engineering Geology and Geotechnics*. Butter Worth and Co. Ltd., London, 497 p
- Bell, F. G. (1993). *Engineering Geology*. Blackwell Scientific Publications, London 82 p.
- Benavente, D., Garcíadel Cura, M.A., Fort, R., Ordóñez, S. (2004). Durability estimation of porous building Stones from pore structure and strength. *Engineering Geology* 74, 113-127.
- Bieniawski, Z.T. (1976). *Rock mass classification in rock engineering*. Proc. Symp. Exploration for rock engineering, Johannesburg.
- Boztaş, C., Yapıcı, N., Anıl, M. (2009). Yeşilova-Kağılcık (Burdur) kireçtaşlarının mermer olarak değerlendirilmesi. *Çukurova Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Dergisi* 24, 247-255.

- Candan, O. ve Dora, O.Ö. (1998). *Generalized geological map of the Menderes Massif*, western Turkey. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İzmir (Unpublished).
- Cassar, J. (2002). Deterioration of the Globigerina Limestone of the Maltese Islands. *Natural Stone, Weathering Phenomena, Conservation Strategies and Case Studies*. Geological Society, London. Special Publication, 205, 33-49.
- Davis W.R. ve Brough R. (1972). *Ultrasonic techniques in ceramic research and testing*. Ultrasonics, May.
- Deere, D. U. ve Miller, R. P. (1966). Engineering classification and index properties for intact rock: Report AFWL-TR-65-116, *Air Force Weapons Laboratory (WLDC) Kirtland Air Force Base*, New Mexico
- Dora, O.Ö., Candan, O., Kaya, O., Koray, E., Dür, S. (2001). Revision of “Leptitgneisse” in the Menderes Massif, a supracrustal metasedimental origin. *International Journal of Earth Sciences* 89, 386-851.
- Erdoğan, B. (1991). Mermerlerde aşınma kaybına ilişkin düşünceler: *Mermer Yapı ve Dekorasyon Dergisi*, 12, 11-14.
- Erdoğan, B. ve Yavuz, A.B. (2004). Kayaçların yapı taşı olarak kullanılabilirliğini belirlemede fiziko mekanik özelliklerin önemi: *Natural Stone Dergisi*, 6, 22-229.
- Fitzner, B. (1988). Porosity properties of naturally or artificially weathered sandstone. In : Ciabach, J. (Ed.), *Proceedings of the 6th international congress on deterioration and conservation of stone*, Toru, Poland, Pp. 236-245.
- Flatt, R.J. (2002). Salt damage in porous materials: How high supersaturations are generated. *Journal of Crystal Growth* 242, 435-454.
- Goudie, A.S. ve Viles, H.A. (1997). Salt weathering hazards. *John Wiley*, Chichester.

- Güngör, T. ve Erdoğan, B. (2001). Emplacement age and direction of the Lycian nappes in the Söke-Selçuk Region, Western Turkey. *Int. J. Earth Sci. (Geolo Rundschau)* 89, 874 - 882.
- Güngör, T. ve Erdoğan, B. (2002). Tectonic signification of mafic volcanic rocks in a Mesozoic sequence of the Menderes Massif, Western Turkey. *Int. J. Earth Sci. (Geolo Rundschau)* 91, 386-397.
- Herodotus, (420 BC). History : “ *I Observed....That salt exuded from the soil to such an extent as event to injure the pyramids*” . 2.12 (Book 2).
- ISRM (1978). *Suggested method for determining of the shore scleroscope hardness*. Ed. E.T. Brown 211 pp. Pergamon Pres U.K.
- ISRM (1981). *Rock Charakterization, Testing and Monitoring: ISRM Suggested Methods*, E. T. Brown, E. T. (Ed), Brown 211 pp. Pergamon Pres U.K.
- ISRM (1985). *Suggested method for determining poind load strength*. *Int. J. Rock. Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.* 22, 51-60.
- ISRM (2001). *Rock charakterization, testing and monitoring*. In: Brown, E. T. (Ed), *International Society For Rock Mechanics Suggested Methods*. Pergamon Pres, Oxford, 211 pp.
- Jutson, J. T. (1918). The influence of salts in rock weathering in sub-arid western Australia. *Royal society of Victoria, Proceedings*, 30, 165-172.
- Konak, N., Akdeniz., N. ve Öztürk, E.M. (1987). Geology of the South of Menderes Massif. In IGCP POJ.5.Field excursion guide book Western Anatolia, Turkey. *Bull.Min.Res.Expl.Inst. Turkey*, 42-53.
- Knöfel, S. (1987). Physicochemical weathering reactions as a formulary for time-lapsing ageing tests, *Materials and Structures. Vol. 20*, Pp.127-145.
- Küçükkaya, A.G. (1995). *Taşların bozunma nedenleri koruma yöntemleri*, Pp. 43-95.

- Larsen, T. ve Candy, P.D. (1969). Identification of frost susceptible particles in concrete aggregates. *National Cooperative Research Program*, report 66. Highway research board, Washington, DC.
- Lewin, S.Z. (1982). The mechanism of masonry decay through crystallization. In: Conservation of historic stone building and monuments. *National Academy of Sciences*, Washington, DC, 120-144.
- Lucas, A. (1925). *Antiques, their restoration and preservation*. Arnold E. And Co., London 29 pp.
- Luquer, L. Mcl. (1895). The relative effects of frost and the sulfate of soda efflorescence tests on building stones. *Transactions, American Society of Civil Engineers* 33, 235-256.
- Malaga-Starzec, K., Lindqvist, J.E. ve Schouenborg., B. (2002). Experimental study on the variation in porosity of marbles as a function of temperature. *Natural Stone, Weathering Phenomena, Conservation Strategies and Case Studies. Geological Society*, London. Special Publication, 205, 81-88.
- Mamillian, M. (1993). Méthodes d' evaluation de l' état d' alterations des pierres des monuments. In: Theiel, M.-J. (Ed.), Conservation of stone and other materials, *Proceedings of the International RILEM/UNESCO Congress*. RILEM Proc. 21, Pp. 775-783.
- Mod'd, B.K., Howarth, R.J. ve Bland, C.H. (1996). Rapid prediction of building research establishment limestone durability classform porosity and saturation. *Quarterly Journal of Engineering Geology* 29, 285-297.
- Ondrasina, J., Kirchner, D. ve Siegesmund, S. (2002). Freeze-thaw cycles and their influence on marble deterioration: a long-term experiment. *Natural Stone, Weathering Phenomena, Conservation Strategies and Case Studies. Geological Society*, London. Special Publication, 205, 9-18.

- Ordóñez, S., Fort, R. ve García del Cura, M.A. (1997). Pore size distribution and the durability of a porous limestone. *Quarterly Journal Of Engineering Geology* 30, 221-230.
- Punuru, A.R., Chowdhury, A.N., Kulshreshtha, N.P. ve Gauri, K.L. (1990). Control of porosity on durability of limestone at The Great Sphinx, Egypt. *Environmental Geology And Water Science* 15, 225-232.
- R.I.L.E.M. (1980). Recommended tests to measure the deterioration of stone and to assess the effectiveness of treatment methods, Comission 25-PEM. *Material structures*. Vol. 13, Pp. 175-253.
- Rossi-Doria, P. R. (1985). Laboratory tests on artistic stonework, the deterioration on conservation of stone. *Studies and documents on the cultural heritage*.
- Rossi-Manaresi, R. (1976). Causes of decay and conservation treatments of the tuff of Castel Dell'ova In Naples, Proc. 2.Nd. *Int. Symp. On the deterioration of building stones*. Athens Pp. 233-248.
- Rossi-Manaresi, R., Tucci, A. (1991). Pore structure and the disruptive or cementing effect of salt crystallization in various types of stone. *Studies in conservation* 36, 53-58.
- Ruedrich, J., Rieffel, Y., Pirskawetz, S., Alpermann, H., Joksch, U., Gengnagel, C., Weise, F., Plagge, R., Zhao, J. ve Siegesmund, S. (2011). Development and assessment of protective winter covers for marble statues of the Schlossbrücke, Berlin. *Environ Earth Sci* 63, 1823–1848
- Ruedrich, J., Kirchner, D., Siegesmund, S. (2011b). Physical weathering of building stones induced by freeze- thaw action: a laboratory long –term study. *Environ Earth Sci*, 63, 1573-1586.
- Ruiz-Agudo, E., Lubelli, B., Sawdy, A., Van Hees, R., Price, C. ve Rodriguez-Navarro, C. (2011). An integrated methodology for salt damage assessment and remediation: the case of San Jero'nimo Monastery, Granada, Spain. *Environ Earth Sci* 63, 1475–1486

- Schaffer, R.J. (1932). The weathering of natural building stones. Special report no. 18, *Building Research Establishment*, Garston.
- Scherer, G.W. (1999). Crystallization in pores. *Cement and Concrete Research* 29, 1347-1358.
- Scherer, G.W. (2006). Internal stress and cracking in stone and masonry. In: Kontsa-Gdoutos, M.S. (Ed.), *Measuring, monitoring and modeling concrete properties, proceedings of 16th European Conference of Fracture*. Alexandroupolis, Greece, Pp. 669-673.
- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y. (1981). *Tethyan evolution of Turkey; a plate tectonic approach*. *Tectonophysics* 75, 181- 241.
- Sims, I. (1991). Quality and durability of stone for construction. *Q. J. Eng. Geol.* 24, 67-73.
- Steiger, M. (2005a). Crystal growth in porous materials-I: The crystallization pressure of large crystals. *Journal of Cryst Growth* 282, 455-469.
- Steiger, M. (2005b). Crystal growth in porous materials-II: influence of crystal size on the crystallization pressure, *Journal of Cryst Growth* 282, 470-481.
- Steinberger, E. (2003). Volcanic tuffs from Hesse (Germany) and their weathering behaviour. *Environ Geol* 46, 378-390.
- Stück, H., Siegesmund, S. ve Rüdrieh, J. (2011). Weathering behaviour and construction suitability of dimension Stones from the Drei Gleichen area (Thuringia, Germany) *Environ. Geol.* 63, 1763-1786.
- Taber, S. (1916). The growth of crystals under external pressure. *American Journal of Science* 41, 532-556.
- Thomachot-Schneider , C., Gommeaux, M., Fronteau, G., Oguchi, C.T., Eyssautier, S., Kartheuser, B.(2011). A comparison of the properties and salt weathering susceptibility of natural and reconstituted stones of the Orval Abbey, Belgium. *Environment Earth Science* 63, 1447–1461

- Topal, T. (1997). Accelerated weathering in the Cappadocian tuff. *In: Preceedings of the international symposium on geology and environment, İstanbul, Pp 281-291.*
- Topal, T. ve Doyuran, V. (1997b). Engineering geological properties and durability assesment of the Cappadocian tuff. *Eng Geol 47*, 175-187.
- Topal, T. (1999). Accelerated weathering in The Cappadocian Tuff. *International Symposium On Geology and Environment.*
- Topal, T., Sözen, B. (2003). Deterioration mechanism of tuffs in Midas monument. *Eng Geol 68*, 201-233.
- Torraca, G. (1982). Porous building materials. Materials science for Architectural Conservation (2nd Edn). *ICCROM*, International centre for the study of the preservation and restoration of cultural property, Rome.
- Török A., Forgo L. Z., Vogt T., Löbens S., Siegmund S. ve Weiss T. (2005). The influence of lithology and pore size distribution on the durability of acid volcanic tuffs, Hungary. Building Stone from Diagnosis to Concervation. *Geological Society, Special Publication 251-259.*
- TS 699 (2009). *Doğal Yapı Taşları- İnceleme ve Laboratuvar Deney Metodları (Natural building stone- Methods of inspection and laboratory testing) Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara (in Turkish) 36 p.
- TS 1910 (1977). *Doğal Yapı Taşları*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara (in Turkish) 6 p.
- TS 1926 (2000). *Doğal Yapı Taşları- Deney Metodları- Basınç Dayanımı Tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 2513 (1977). *Doğal Yapı Taşları*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara (in Turkish) 6 p.
- TS 11137 (1991). *Mermerlerin yapı ve kaplama taşı olarak kullanımı*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- TS 13755 (2003). *Doğal Yapı Taşları- Deney Metodları- Atmosfer Basıncında Su Emme Tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TSEN 14157 (2005). *Doğal Taş- Aşınma Direncinin Tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TSEN 1936 (2001). *Doğal Yapı Taşları- Deney Metodları- Gerçek Yoğunluk, Görünür Yoğunluk, Toplam ve Açık Gözeneklilik Tayini*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TSEN 12370 (2001). *Doğal Yapı Taşları- Deney Metodları-Tuz Kristallenmesinin Direncinin Tayini (Natural stone test methods-Determining of resistance to salt crystallisation*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara (in Turkish) .
- Ulusay, R., Gökçeoğlu, C., Binal, A. (2005). Kaya mekaniği laboratuvar deneyleri, *TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları:58*.
- Vos, B.H., (1976), Water absorption and drying of materials. In: Rossi-Manaresi, R (Ed.), *The conservation of stone I, Centro Per La Conservazione Dele Sculture All' apperto*, Bologna, Pp. 679-694.
- Yapı, (2003). Türk yapı sektörü raporu. *Mimarlık, Kültür ve Sanat Dergisi Eki 264*, 99-106, İstanbul.
- Yavuz, A. B. (2001). *Muğla Yöresi Mermer Ocaklarında Blok Mermer Üretimini Etkileyen Jeolojik Parametreler*, Unpublished, PhD Thesis, Dokuz Eylül University Graduate School of Natural and applied Sciences, İzmir, Turkey.
- Yavuz, A. B., Turk, N. ve Koca M.Y. (2005). Geological parameters affecting the marble production in the quarries along the southern flank of the Menderes Massif, in SW Turkey. *Engineering Geology 80*, 214-241
- Yavuz, A. B. (2006). Deterioration of the volcanic kerb and pavement stones in a humid environment in the city centre of İzmir, Turkey. *Environ Geol 51*, 211-227.

- Yavuz, A.B. ve Topal, T. (2007). Thermal and salt crystallization effects on marble deterioration: Examples from Western Anatolia, Turkey. *Engineering Geology* 90, 30–40.
- Yavuz, A. B. (2012). Durability assessment of the Alaçatı tuff (Izmir) in western Turkey. *Environ Geol* 67, 1909–1925.
- Yu S. ve Oguchi T.C. (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.
- Weiss, T., Rasolofosoan, P.N.J ve Siegesmund, S. (2002). Ulrtasonic wave velocities as a diagnostic tool for the quality assesment of marble. *Natural Stone, Weathering Pheonomena, Conservation Strategies and Case Studies. Geological Society, London. Special Publication, 205*, 149-164.
- Wellman, H.W. ve Wilson, A.T. (1965). Salt weathering, a neglected geological erosive agent in coastal and arid enviroments. *Nature* 205, 1097-1098.
- Winkler, E. M. (1993). Discussion and Reply On “ The Durability of Sandstone As a Building Stone, Especially In Urban Environments”. *Bull. Assoc. Eng. Geol.* 30, 99-101.
- Winkler, E. M. (1994). Stone in architecture, *Springer- Verlag*, Berlin.
- Zeisig, A., Sigesmund, S. ve Weiss, T.(2002). Thermal expansion and its control on the durability of marbles. *Natural Stone, Weathering Pheonomena, Conservation Strategies and Case Studies. Geological Society, London. Special Publication, 205*, 65-80.
- Zehnder, K. ve Arnold, A. (1989). Crystal growth in salt efflorescesce. *Journal of Crystal Growth* 97, 513-521.

EKLER

EK 1 İRİ ,ORTA VE İNCE KRİSTAL BOYUTUNDAKİ NUMUNELERİN ANA ELEMENT ANALİZİ

<i>Metod</i>	<i>4A-4B</i>											
Analiz	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Mg O (%)	Ca O (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Kızdırma Kaybı (%)	Toplam (%)
İri Kristalli	0,11	<0,01	<0,04	1,16	55,30	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,002	43,4	99,94
Orta Kristalli	<0,01	<0,01	0,10	1,05	55,58	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,002	43,3	99,95
İnce kristalli	<0,01	<0,01	0,10	1,41	55,92	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,002	42,6	99,97

EK 2 FARKLI KRİSTAL BOYUTUNA SAHİP MUĞLA MERMERLERİ'NİN İZ ELEMENT ANALİZLERİ

<i>Metod</i>		<i>IDX</i>		
<i>Kristal Boyutu</i>		<i>İri Kristalli</i>	<i>Orta Kristalli</i>	<i>İnce Kristalli</i>
Zr	ppm	0,7	0,5	0,2
Y	ppm	1,6	4,5	3,3
La	ppm	0,5	1,6	1,4
Ce	ppm	<0.1	0,9	0,7
Pr	ppm	0,16	0,26	0,23
Nd	ppm	0,7	1,0	0,9
Sm	ppm	0,13	0,22	0,18
Eu	ppm	<0.02	0,05	0,05
Gd	ppm	0,11	0,27	0,25
Tb	ppm	0,01	0,04	0,04
Dy	ppm	0,12	0,30	0,24
Ho	ppm	0,02	0,07	0,05
Er	ppm	0,08	0,19	0,18
Tm	ppm	0,01	0,02	0,02
Yb	ppm	0,07	0,17	0,12
Lu	ppm	<0.01	0,02	0,02
Cu	ppm	0,7	0,5	<0.1
Pb	ppm	5,5	0,5	0,5
Zn	ppm	4	6	2
Ni	ppm	2,8	3,8	3,7

EK 3 FARKLI KRİSTAL BOYUTUNA SAHİP MUĞLA MERMERLERİ'NİN
FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

İri Kristalli Mermer

No	Kuru Ağırlık (gr)	Doygun Ağırlık (gr)	Su İçerisinde Ağırlık (gr)	Boşluk (cm ³)	Hacim (cm ³) Arşimet
1	942,78	943,24	596,35	0,46	346,89
2	955,93	956,33	604,93	0,40	351,40
3	951,90	952,36	603,25	0,46	349,11
4	921,49	921,88	582,63	0,39	339,25
5	930,69	931,01	588,62	0,32	342,39
6	953,46	953,92	604,73	0,46	349,19
7	938,12	938,71	593,05	0,59	345,66
8	944,98	945,55	598,14	0,57	347,41
9	911,42	911,82	577,45	0,40	334,37
10	941,87	942,17	595,68	0,30	346,49
11	925,76	926,17	585,38	0,41	340,79
12	935,63	936,12	591,79	0,49	344,33
13	926,48	926,97	586,72	0,49	340,25
14	926,66	927,22	585,91	0,56	341,31
15	928,10	928,53	586,95	0,43	341,58
16	917,01	917,42	580,56	0,41	336,86
17	939,21	939,73	594,51	0,52	345,22
18	937,39	937,80	592,79	0,41	345,01
19	918,15	918,49	580,37	0,34	338,12
20	935,87	936,33	591,56	0,46	344,77
21	938,87	939,26	594,08	0,39	345,18
22	931,07	931,47	588,90	0,40	342,57
23	919,76	920,03	581,36	0,27	338,67
24	930,60	930,81	588,05	0,21	342,76
25	928,31	928,87	587,45	0,56	341,42
26	938,57	938,97	594,15	0,40	344,82
27	944,07	944,47	596,93	0,40	347,54
28	928,30	929,11	586,36	0,81	342,75
29	933,02	933,43	590,03	0,41	343,40
30	929,26	929,57	587,43	0,31	342,14
31	956,09	956,52	605,22	0,43	351,30
32	936,92	937,31	592,07	0,39	345,24
33	926,60	926,92	586,07	0,32	340,85
34	924,49	924,93	584,78	0,44	340,15
35	925,20	925,60	584,79	0,40	340,81

No	Porozite (%)	Kuru B.H.A (gr/cm ³)	Doygun B.H.A (gr/cm ³)	Boşluk Oranı (%)	Ağırlıkça Su Emme (%)
1	0,1326	2,7178	2,7191	0,1328	0,0488
2	0,1138	2,7203	2,7215	0,1140	0,0418
3	0,1318	2,7266	2,7280	0,1319	0,0483
4	0,1150	2,7163	2,7174	0,1151	0,0423
5	0,0935	2,7182	2,7192	0,0935	0,0344
6	0,1317	2,7305	2,7318	0,1319	0,0482
7	0,1707	2,7140	2,7157	0,1710	0,0629
8	0,1641	2,7201	2,7217	0,1643	0,0603
9	0,1196	2,7258	2,7270	0,1198	0,0439
10	0,0866	2,7183	2,7192	0,0867	0,0319
11	0,1203	2,7165	2,7177	0,1205	0,0443
12	0,1423	2,7172	2,7187	0,1425	0,0524
13	0,1440	2,7229	2,7244	0,1442	0,0529
14	0,1641	2,7150	2,7167	0,1643	0,0604
15	0,1259	2,7171	2,7183	0,1260	0,0463
16	0,1217	2,7222	2,7234	0,1219	0,0447
17	0,1506	2,7206	2,7221	0,1509	0,0554
18	0,1188	2,7170	2,7182	0,1190	0,0437
19	0,1006	2,7155	2,7165	0,1007	0,0370
20	0,1334	2,7145	2,7158	0,1336	0,0492
21	0,1130	2,7199	2,7211	0,1131	0,0415
22	0,1168	2,7179	2,7191	0,1169	0,0430
23	0,0797	2,7158	2,7166	0,0798	0,0294
24	0,0613	2,7150	2,7156	0,0613	0,0226
25	0,1640	2,7190	2,7206	0,1643	0,0603
26	0,1160	2,7219	2,7231	0,1161	0,0426
27	0,1151	2,7164	2,7176	0,1152	0,0424
28	0,2363	2,7084	2,7108	0,2369	0,0873
29	0,1194	2,7170	2,7182	0,1195	0,0439
30	0,0906	2,7160	2,7169	0,0907	0,0334
31	0,1224	2,7216	2,7228	0,1226	0,0450
32	0,1130	2,7138	2,7150	0,1131	0,0416
33	0,0939	2,7185	2,7194	0,0940	0,0345
34	0,1294	2,7179	2,7192	0,1295	0,0476
35	0,1174	2,7147	2,7159	0,1175	0,0432
Ort	0,1248	2,7182	2,7195	0,1250	0,0459
S.S	0,0311	0,0041	0,0041	0,0312	0,0114

Orta Kristal Boyutuna Sahip Mermer

No	Kuru Ağırlık (gr)	Doygun Ağırlık (gr)	Su İçerisinde Ağırlık (gr)	Boşluk (cm ³)	Hacim (cm ³) Arşimet
1	928,95	929,18	587,74	0,23	341,44
2	930,26	930,50	588,53	0,24	341,97
3	922,03	922,24	583,36	0,21	338,88
4	944,56	944,79	597,49	0,23	347,30
5	926,68	926,97	586,20	0,29	340,77
6	940,81	941,13	595,35	0,32	345,78
7	920,75	921,00	582,38	0,25	338,62
8	925,30	925,60	585,31	0,30	340,29
9	937,53	937,80	593,07	0,27	344,73
10	930,10	930,37	588,55	0,27	341,82
11	930,44	930,80	588,44	0,36	342,36
12	926,43	926,70	586,23	0,27	340,47
13	938,65	938,91	594,09	0,26	344,82
14	912,39	912,65	577,43	0,26	335,22
15	912,94	913,17	577,99	0,23	335,18
16	940,05	940,34	594,63	0,29	345,71
17	950,67	950,94	601,46	0,27	349,48
18	945,92	946,18	598,45	0,26	347,73
19	929,54	929,78	588,11	0,24	341,67
20	940,35	940,60	594,86	0,25	345,74
21	932,27	932,71	589,85	0,44	342,86
22	925,56	925,82	585,82	0,26	340,00
23	952,45	952,73	602,78	0,28	349,95
24	931,21	931,48	588,94	0,27	342,54
25	942,84	943,12	596,53	0,28	346,59
26	932,38	932,62	589,94	0,24	342,68
27	958,16	958,41	606,08	0,25	352,33
28	928,69	928,95	587,48	0,26	341,47
29	939,26	939,53	594,44	0,27	345,09
30	934,41	934,70	590,96	0,29	343,74
31	935,02	935,26	591,44	0,24	343,82
32	928,90	929,20	587,72	0,30	341,48
33	943,42	943,68	596,71	0,26	346,97
34	936,78	937,05	592,67	0,27	344,38
35	936,89	937,18	592,48	0,29	344,70

No	Porozite (%)	Kuru B.H.A (gr/cm ³)	Doygun B.H.A (gr/cm ³)	Boşluk Oranı (%)	Ağırlıkça Su Emme (%)
1	0,0674	2,7307	2,7214	0,0674	0,0248
2	0,0702	2,7203	2,7310	0,0702	0,0258
3	0,0620	2,7208	2,7214	0,0620	0,0228
4	0,0662	2,7397	2,7304	0,0663	0,0243
5	0,0851	2,7394	2,7202	0,0852	0,0313
6	0,0925	2,7208	2,7218	0,0926	0,0340
7	0,0738	2,7391	2,7399	0,0739	0,0272
8	0,0882	2,7392	2,7200	0,0882	0,0324
9	0,0783	2,7396	2,7304	0,0784	0,0288
10	0,0790	2,7210	2,7218	0,0791	0,0290
11	0,1052	2,7377	2,7388	0,1053	0,0387
12	0,0793	2,7210	2,7218	0,0794	0,0291
13	0,0754	2,7321	2,7229	0,0755	0,0277
14	0,0776	2,7218	2,7325	0,0776	0,0285
15	0,0686	2,7237	2,7344	0,0687	0,0252
16	0,0839	2,7392	2,7200	0,0840	0,0308
17	0,0773	2,7202	2,7310	0,0773	0,0284
18	0,0748	2,7203	2,7210	0,0748	0,0275
19	0,0702	2,7306	2,7313	0,0703	0,0258
20	0,0723	2,7398	2,7205	0,0724	0,0266
21	0,1283	2,7391	2,7304	0,1285	0,0472
22	0,0765	2,7322	2,7230	0,0765	0,0281
23	0,0800	2,7217	2,7325	0,0801	0,0294
24	0,0788	2,7385	2,7393	0,0789	0,0290
25	0,0808	2,7203	2,7211	0,0809	0,0297
26	0,0700	2,7208	2,7315	0,0701	0,0257
27	0,0710	2,7395	2,7202	0,0710	0,0261
28	0,0761	2,7397	2,7204	0,0762	0,0280
29	0,0782	2,7218	2,7226	0,0783	0,0287
30	0,0844	2,7384	2,7392	0,0844	0,0310
31	0,0698	2,7395	2,7202	0,0699	0,0257
32	0,0879	2,7202	2,7211	0,0879	0,0323
33	0,0749	2,7390	2,7398	0,0750	0,0276
34	0,0784	2,7202	2,7210	0,0785	0,0288
35	0,0841	2,7380	2,7388	0,0842	0,0310
Ort	0,0790	2,7302	2,7310	0,0791	0,0291
S.S	0,0119	0,0013	0,0012	0,01190	0,0044

İnce Kristalli Mermer

No	Kuru Ağırlık (gr)	Doygun Ağırlık (gr)	Su İçerisinde Ağırlık (gr)	Boşluk (cm ³)	Hacim (cm ³) Arşimet
1	933,54	933,94	591,18	0,40	342,76
2	954,14	954,64	604,99	0,50	349,65
3	946,71	947,10	599,30	0,39	347,80
4	955,35	955,83	605,38	0,48	350,45
5	946,15	946,53	599,02	0,38	347,51
6	945,97	946,43	599,98	0,46	346,45
7	935,98	936,37	592,42	0,39	343,95
8	966,05	966,53	612,34	0,48	354,19
9	950,47	950,83	601,80	0,36	349,03
10	944,08	944,51	598,10	0,43	346,41
11	947,86	948,38	600,93	0,52	347,45
12	948,83	949,31	600,97	0,48	348,34
13	949,55	949,99	601,69	0,44	348,30
14	955,43	955,91	605,61	0,48	350,30
15	940,73	941,14	596,21	0,41	344,93
16	933,65	933,96	590,40	0,31	343,56
17	948,66	949,00	600,30	0,34	348,70
18	942,07	942,46	596,60	0,39	345,86
19	946,99	947,44	600,40	0,45	347,04
20	963,61	964,23	610,99	0,62	353,24
21	948,29	948,75	601,22	0,46	347,53
22	930,52	930,91	589,02	0,39	341,89
23	923,39	923,81	584,72	0,42	339,09
24	952,25	952,65	602,78	0,40	349,87
25	933,37	933,77	590,95	0,40	342,82
26	947,30	947,77	600,50	0,47	347,27
27	945,92	946,45	600,06	0,53	346,39
28	944,45	944,88	598,21	0,43	346,67
29	951,65	952,18	604,12	0,53	348,06
30	926,88	927,29	586,87	0,41	340,42
31	949,60	950,03	601,70	0,43	348,33
32	934,82	935,16	591,33	0,34	343,83
33	940,61	940,97	595,27	0,36	345,70
34	937,81	938,28	593,59	0,47	344,69
35	931,67	932,14	590,09	0,47	342,05

No	Porozite (%)	Kuru B.H.A (gr/cm ³)	Doygun B.H.A (gr/cm ³)	Boşluk Oranı (%)	Ağırlıkça Su Emme (%)
1	0,1167	2,7236	2,7248	0,1168	0,0428
2	0,1430	2,7288	2,7303	0,1432	0,0524
3	0,1121	2,7220	2,7231	0,1123	0,0412
4	0,1370	2,7261	2,7274	0,1372	0,0502
5	0,1093	2,7227	2,7237	0,1095	0,0402
6	0,1328	2,7305	2,7318	0,1330	0,0486
7	0,1134	2,7213	2,7224	0,1135	0,0417
8	0,1355	2,7275	2,7288	0,1357	0,0497
9	0,1031	2,7232	2,7242	0,1032	0,0379
10	0,1241	2,7253	2,7266	0,1243	0,0455
11	0,1497	2,7280	2,7295	0,1499	0,0549
12	0,1378	2,7239	2,7252	0,1380	0,0506
13	0,1263	2,7262	2,7275	0,1265	0,0463
14	0,1370	2,7275	2,7288	0,1372	0,0502
15	0,1189	2,7273	2,7285	0,1190	0,0436
16	0,0902	2,7176	2,7185	0,0903	0,0332
17	0,0975	2,7206	2,7215	0,0976	0,0358
18	0,1128	2,7238	2,7250	0,1129	0,0414
19	0,1297	2,7288	2,7301	0,1298	0,0475
20	0,1755	2,7279	2,7297	0,1758	0,0643
21	0,1324	2,7287	2,7300	0,1325	0,0485
22	0,1141	2,7217	2,7228	0,1142	0,0419
23	0,1239	2,7231	2,7244	0,1240	0,0455
24	0,1143	2,7217	2,7229	0,1145	0,0420
25	0,1167	2,7226	2,7238	0,1168	0,0429
26	0,1353	2,7278	2,7292	0,1355	0,0496
27	0,1530	2,7308	2,7323	0,1532	0,0560
28	0,1240	2,7243	2,7256	0,1242	0,0455
29	0,1523	2,7342	2,7357	0,1525	0,0557
30	0,1204	2,7228	2,7240	0,1206	0,0442
31	0,1234	2,7262	2,7274	0,1236	0,0453
32	0,0989	2,7188	2,7198	0,0990	0,0364
33	0,1041	2,7209	2,7219	0,1042	0,0383
34	0,1364	2,7207	2,7221	0,1365	0,0501
35	0,1374	2,7238	2,7252	0,1376	0,0504
Ort	0,1254	2,7249	2,7261	0,1256	0,0460
S.S	0,0178	0,0037	0,0038	0,01786	0,0065

EK 4 FARKLI KRİSTAL BOYUTUNA SAHİP MUĞLA MERMERLERİ'NİN KURU TEK EKSENLİ BASINÇ DAYANIMLARI

Kristal Sınıfı	No	Kenar 1 (mm)	Kenar 1 (mm)	Alan (cm ²)	Kırılma Yüğü (kg)	Kuru T.E.B Direnci (kg/cm ²)	Ort.	S.S (±)
İri Kristalli	26	70,59	70,56	49,81	500,80	1005,45	839,48	185,28
	27	70,75	70,11	49,60	327,30	659,84		
	29	70,42	70,50	49,65	347,20	699,35		
	31	70,53	70,86	49,98	533,80	1068,08		
	35	70,27	70,05	49,22	376,40	764,67		
Orta Kristalli	22	70,55	70,2	49,53	453,6	915,88	878,59	105,17
	23	70,83	71,57	50,69	441	869,94		
	24	70,49	70,55	49,73	493,2	991,74		
	26	69,64	70,32	48,97	444,4	907,48		
	28	70,24	70,05	49,20	348,3	707,88		
İnce Kristalli	21	70,1	70,46	49,39	547,6	1108,67	1090,89	128,35
	23	70,33	70,47	49,56	543,27	1096,15		
	24	69,88	70,79	49,47	473,6	957,39		
	31	70,29	70,54	49,58	639,8	1290,37		
	33	70,46	70,52	49,69	497,8	1001,84		

Ort: Ortalama S.S: Standart Sapma T.E.B: Tek Eksenli Basınç Direnci

EK 5 FARKLI KRİSTAL BOYUTUNA SAHİP MUĞLA MERMERLERİ'NİN DOYGUN TEK EKSENLİ BASINÇ DAYANIMLARI

Kristal Sınıfı	No	Kenar 1 (mm)	Kenar 1 (mm)	Alan (cm ²)	Kırılma Yüğü (kg)	Doğun T.E.B Direnci (kg/cm ²)	Ort.	S.S (±)
İri Kristalli	21	69,94	70,26	49,14	443,50	902,53	759,64	220,25
	23	70,40	69,95	49,24	278,70	565,95		
	24	70,10	70,77	49,61	286,40	577,31		
	25	69,92	69,97	48,92	485,70	992,78		
Orta Kristalli	31	70,03	69,9	48,95	402,4	822,05	839,62	149,88
	33	70,11	70,42	49,37	383,1	775,95		
	34	69,73	70,69	49,29	348,7	707,42		
	35	70,14	69,59	48,81	514	1053,05		
İnce Kristalli	22	71,26	69,82	49,75	461,5	927,57	1081,59	149,88
	25	69,54	70,42	48,97	533,9	1090,26		
	29	69,86	70,42	49,20	603,6	1226,94		

Ort: Ortalama S.S: Standart Sapma T.E.B: Tek Eksenli Basınç Direnci

EK 6 FARKLI KRİSTAL BOYUTUNA SAHİP MUĞLA MERMERLERİ'NİN
DARBE DİRENCİ DENEY SONUÇLARI

Darbe Direnci Darbe					
Kristal Sınıfı	No	Darbe Sayısı (n)	Darbe Dayanımı (kgfcm/cm ³)	Ortalama	S.S. (±)
İri Kristalli	A	6	30	26,67	5,77
	B	5	20		
	C	6	30		
Orta Kristalli	a	4	12	14,67	4,62
	b	4	12		
	c	5	20		
İnce Kristalli	1	4	12	36,00	25,46
	2	6	30		
	3	9	72		
	4	6	30		

EK 7 FARKLI KRİSTAL BOYUTUNA SAHİP MUĞLA MERMERLERİ' NİN
BÖHME AŞINMA DİRENCİNE KARŞI DAYANIMI

Kristal Sınıfı	No	Kenar 1 (mm)	Kenar 2 (mm)	Alan (cm ²)	Doygun Ağırlık (gr)	Sudaki Ağırlık (gr)	Hacim (cm ³)
Başlangıç							
İri Kristalli	32	70,11	70,08	49,13	937,30	592,37	344,93
	33	70,08	70,17	49,18	926,93	585,00	341,93
	34	70,32	70,45	49,54	924,82	585,02	339,80
Orta Kristalli	25	70,38	70,16	49,39	943,23	596,74	346,49
	27	70,19	70,23	49,29	958,53	606,29	352,24
	29	70,24	70,12	49,25	939,57	594,58	344,99
İnce Kristalli	28	70,22	70,18	49,28	944,84	598,57	346,27
	32	70,56	70,15	49,49	935,14	591,85	343,29
	34	70,41	70,34	70,53	938,12	593,08	345,04

Kristal Sınıfı	No	Doygun Ağırlık (gr)	Sudaki Ağırlık (gr)	Hacim (cm ³)	Hacim Kaybı (cm ³)	Ort.	S.S (±)
Böhme Sonrası							
İri Kristalli	32	892,67	564,91	327,76	17,17	16,92	0,33
	33	885,35	559,97	325,38	16,55		
	34	880,60	557,83	322,77	17,03		
Orta Kristalli	25	907,36	574,88	332,48	14,01	14,46	0,77
	27	922,66	584,44	338,22	14,02		
	29	900,08	570,43	329,65	15,34		
İnce Kristalli	28	910,55	577,64	332,91	13,36	14,25	0,89
	32	898,52	569,47	329,05	14,24		
	34	901,23	571,33	329,90	15,14		

EK 8 FARKLI KRİSTAL BOYUTUNA SAHİP MUĞLA MERMERLERİ'NİN
KURU NOKTA YÜKLEME DAYANIM İNDEKSİ

Kuru Numune Nokta Yükleme Dayanım İndeksi						
Kristal Sınıfı	No	Kırılma Yüğü (kg)	d (cm)	Nokta Yüğü Dayanım İndeksi (kg/cm ²)	Ort.	S.S (±)
İri Kristalli	A1	362,81	5	14,51	20,13	4,69
	A2	500	5	20		
	A3	650	5	26		
	A4	500	5	20		
Orta Kristalli	B1	500	5	20	29,00	6,83
	B2	700	5	28		
	B3	800	5	32		
	B4	900	5	36		
İnce Kristalli	C1	900	5	36	44,00	9,80
	C2	1400	5	56		
	C3	1200	5	48		
	C4	900	5	36		

EK 9 FARKLI KRİSTAL BOYUTUNA SAHİP MUĞLA MERMERLERİ'NİN
DOYGUN NOKTA YÜKLEME DAYANIM İNDEKSİ

DoYGun Numune Nokta Yükleme Dayanım İndeksi						
Kristal Sınıfı	No	Kırılma Yüğü (kg)	d (cm)	Nokta Yüğü Dayanım İndeksi (kg/cm ²)	Ort.	S.S (±)
İri Kristalli	A1	399,09	5	15,96	13,42	3,59
	A2	272,11	5	10,88		
Orta Kristalli	B1	900	5	36	25,71	13,44
	B2	800	5	32		
	B3	900	5	36		
	B4	500	5	20		
	B5	500	5	20		
	B6	900	5	36		
İnce Kristalli	C1	1250	5	50	40,67	9,02
	C2	1000	5	40		
	C3	800	5	32		
			5			

EK 10 FARKLI KRİSTAL BOYUTUNA SAHİP MUĞLA MERMERLERİ'NİN
SHORE SERTLİK İNDEKSİ

Shore Sertlik İndeksi			
Okunan Değer Sayısı	İri Kristalli	Orta Kristalli	İnce Kristalli
1	35	50	60
2	40	45	50
3	40	40	53
4	35	45	48
5	40	56	55
6	40	60	55
7	40	40	60
8	35	40	50
9	40	40	50
10	35	40	51
11	40	45	61
12	35	40	55
13	40	40	52
14	40	35	48
15	45	40	53
16	45	45	55
17	45	40	55
18	40	35	50
19	45	45	54
20	45	45	60
21	50	40	55
22	50	60	50
23	50	60	60
24	45	40	52
25	40	45	55

Shore Sertlik İndeksi			
Okunan Değer Sayısı	İri Kristalli	Orta Kristalli	İnce Kristalli
26	40	45	60
27	45	40	51
28	50	56	55
29	45	55	55
30	45	46	52
31	45	35	57
32	40	45	55
33	50	40	45
34	40	45	48
35	48	45	45
36	41	45	55
37	49	50	52
38	36	35	60
39	42	40	52
40	45	40	55
41	42	50	50
42	45	45	55
43	45	45	50
44	50	45	51
45	41	39	55
46	35	41	53
47	48	40	52
48	40	40	60
49	45	40	62
50	42	55	60
Ortalama	42,58	44,26	53,84
Standart Sapma (±)	4,53	6,50	4,19

EK 11 FARKLI KRİSTAL BOYUTUNA SAHİP MUĞLA MERMERLERİ'NİN
ISLANMA KURUMA SONRASI FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN DEĞİŞİMİ VE
KÜTLE KAYBI

20. Periyot

Kristal Sınıfı	No	Kuru Ağırlık (gr)	Doygun Ağırlık (gr)	Sudaki Ağırlık (gr)
İri Kristalli	A1	942,33	942,83	595,79
	A2	955,57	956,18	604,44
	A3	951,36	952,17	602,68
	A4	921,12	921,58	582,20
	A4	930,31	930,72	588,12
Orta Kristalli	B1	928,60	929,02	587,27
	B2	929,90	930,35	588,14
	B3	921,62	922,08	582,92
	B4	944,12	944,55	597,07
	B5	926,26	926,69	585,68
İnce Kristalli	C1	933,21	933,77	590,97
	C2	953,84	954,44	604,70
	C3	946,43	946,90	598,99
	C4	954,98	955,47	605,05
	C5	945,81	946,32	598,66

Kristal Sınıfı	No	Kütle Kaybı Ortalama (%)	Kütle Kaybı Standart Sapma (%)	Hacim (cm ³)	Kuru B.H.A (gr/cm ³)
İri Kristalli	A1	0,04	0,01	347,04	2,72
	A2			351,74	2,72
	A3			349,49	2,72
	A4			339,38	2,71
	A4			342,60	2,72
Orta Kristalli	B1	0,04	0,00	341,75	2,72
	B2			342,21	2,72
	B3			339,16	2,72
	B4			347,48	2,72
	B5			341,01	2,72
İnce Kristalli	C1	0,03	0,00	342,80	2,72
	C2			349,74	2,73
	C3			347,91	2,72
	C4			350,42	2,73
	C5			347,66	2,72

Kristal Sınıfı	No	Kuru B.H.A Ortalama	Doygun B.H.A	Doygun B.H.A Ortalama	Porozite (%)	Porozite Ort
İri Kristalli	A1	0,003	2,72	0,003	0,14	0,16
	A2		2,72		0,17	
	A3		2,72		0,23	
	A4		2,72		0,14	
	A4		2,72		0,12	
Orta Kristalli	B1	0,003	2,72	0,003	0,12	0,13
	B2		2,72		0,13	
	B3		2,72		0,14	
	B4		2,72		0,12	
	B5		2,72		0,13	
İnce Kristalli	C1	0,001	2,72	0,001	0,16	0,15
	C2		2,73		0,17	
	C3		2,72		0,14	
	C4		2,73		0,14	
	C5		2,72		0,15	

Kristal Sınıfı	No	Boşluk Oranı (%)	Boşluk Oranı Ortalama	Ağırlıkça Su Emme (%)	Ağırlıkça Su Emme Ortalama
İri Kristalli	A1	0,14	0,16	0,05	0,06
	A2	0,17		0,06	
	A3	0,23		0,09	
	A4	0,14		0,05	
	A4	0,12		0,04	
Orta Kristalli	B1	0,12	0,13	0,05	0,05
	B2	0,13		0,05	
	B3	0,14		0,05	
	B4	0,12		0,05	
	B5	0,13		0,05	
İnce Kristalli	C1	0,16	0,15	0,06	0,06
	C2	0,17		0,06	
	C3	0,14		0,05	
	C4	0,14		0,05	
	C5	0,15		0,05	

40. Periyot

Kristal Sınıfı	No	Kuru Ağırlık (gr)	Doygun Ağırlık (gr)	Sudaki Ağırlık (gr)
İri Kristalli	A1	941,84	942,84	595,46
	A2	954,86	956,05	604,04
	A3	950,62	951,70	602,10
	A4	920,67	921,39	581,82
	A4	929,57	930,57	587,61
Orta Kristalli	B1	928,18	929,18	586,98
	B2	929,45	930,33	587,77
	B3	921,22	922,14	582,56
	B4	943,74	944,61	596,63
	B5	925,72	926,81	585,32
İnce Kristalli	C1	932,94	933,82	590,71
	C2	953,44	954,28	604,26
	C3	946,00	946,64	598,55
	C4	954,66	955,46	604,64
	C5	945,56	946,26	598,31

Kristal Sınıfı	No	Kütle Kaybı Ortalama (%)	Kütle Kaybı Standart Sapma (%)	Hacim (cm ³)	Kuru B.H.A (gr/cm ³)
İri Kristalli	A1	0,11	0,02	347,38	2,71
	A2			352,01	2,71
	A3			349,60	2,72
	A4			339,57	2,71
	A4			342,96	2,71
Orta Kristalli	B1	0,09	0,01	342,20	2,71
	B2			342,56	2,71
	B3			339,58	2,71
	B4			347,98	2,71
	B5			341,49	2,71
İnce Kristalli	C1	0,07	0,01	343,11	2,72
	C2			350,02	2,72
	C3			348,09	2,72
	C4			350,82	2,72
	C5			347,95	2,72

Kristal Sınıfı	No	Kuru B.H.A Ortalama	Doygun B.H.A	Doygun B.H.A Ortalama	Porozite (%)	Porozite Ort
İri Kristalli	A1	0,007	2,71	0,005	0,29	0,29
	A2		2,72		0,34	
	A3		2,72		0,31	
	A4		2,71		0,21	
	A4		2,71		0,29	
Orta Kristalli	B1	0,008	2,72	0,006	0,29	0,28
	B2		2,72		0,26	
	B3		2,72		0,27	
	B4		2,71		0,25	
	B5		2,71		0,32	
İnce Kristalli	C1	0,005	2,72	0,004	0,26	0,22
	C2		2,73		0,24	
	C3		2,72		0,18	
	C4		2,72		0,23	
	C5		2,72		0,20	

Kristal Sınıfı	No	Boşluk Oranı (%)	Boşluk Oranı Ortalama	Ağırlıkça Su Emme (%)	Ağırlıkça Su Emme Ortalama
İri Kristalli	A1	0,29	0,29	0,11	0,11
	A2	0,34		0,12	
	A3	0,31		0,11	
	A4	0,21		0,08	
	A4	0,29		0,11	
Orta Kristalli	B1	0,29	0,28	0,11	0,10
	B2	0,26		0,09	
	B3	0,27		0,10	
	B4	0,25		0,09	
	B5	0,32		0,12	
İnce Kristalli	C1	0,26	0,22	0,09	0,08
	C2	0,24		0,09	
	C3	0,18		0,07	
	C4	0,23		0,08	
	C5	0,20		0,07	

60. Periyot

Kristal Sınıfı	No	Kuru Ağırlık (gr)	Doygun Ağırlık (gr)	Sudaki Ağırlık (gr)
İri Kristalli	A1	940,50	942,02	594,78
	A2	953,69	955,35	603,55
	A3	948,74	950,47	601,15
	A4	919,89	921,09	581,46
	A4	927,89	929,30	586,73
Orta Kristalli	B1	927,58	929,21	586,83
	B2	928,95	929,83	587,68
	B3	920,65	921,86	582,46
	B4	942,65	944,15	596,28
	B5	924,52	926,36	584,80
İnce Kristalli	C1	932,51	933,85	590,67
	C2	952,98	954,48	604,30
	C3	945,53	946,68	598,51
	C4	954,15	955,28	604,54
	C5	945,11	946,42	598,25

Kristal Sınıfı	No	Kütle Kaybı Ortalama (%)	Kütle Kaybı Standart Sapma (%)	Hacim (cm ³)	Kuru B.H.A (gr/cm ³)
İri Kristalli	A1	0,26	0,06	347,24	2,71
	A2			351,80	2,71
	A3			349,32	2,72
	A4			339,63	2,71
	A4			342,57	2,71
Orta Kristalli	B1	0,17	0,04	342,38	2,71
	B2			342,15	2,72
	B3			339,40	2,71
	B4			347,87	2,71
	B5			341,56	2,71
İnce Kristalli	C1	0,12	0,01	343,18	2,72
	C2			350,18	2,72
	C3			348,17	2,72
	C4			350,74	2,72
	C5			348,17	2,71

Kristal Sınıfı	No	Kuru B.H.A Ortalama	Doygun B.H.A	Doygun B.H.A Ortalama	Porozite (%)	Porozite Ort
İri Kristalli	A1	0,009	2,71	0,006	0,44	0,43
	A2		2,72		0,47	
	A3		2,72		0,50	
	A4		2,71		0,35	
	A4		2,71		0,41	
Orta Kristalli	B1	0,010	2,71	0,006	0,48	0,41
	B2		2,72		0,26	
	B3		2,72		0,36	
	B4		2,71		0,43	
	B5		2,71		0,54	
İnce Kristalli	C1	0,007	2,72	0,004	0,39	0,37
	C2		2,73		0,43	
	C3		2,72		0,33	
	C4		2,72		0,32	
	C5		2,72		0,38	

Kristal Sınıfı	No	Boşluk Oranı (%)	Boşluk Oranı Ortalama	Ağırlıkça Su Emme (%)	Ağırlıkça Su Emme Ortalama
İri Kristalli	A1	0,44	0,44	0,16	0,16
	A2	0,47		0,17	
	A3	0,50		0,18	
	A4	0,35		0,13	
	A4	0,41		0,15	
Orta Kristalli	B1	0,48	0,41	0,18	0,15
	B2	0,26		0,09	
	B3	0,36		0,13	
	B4	0,43		0,16	
	B5	0,54		0,20	
İnce Kristalli	C1	0,39	0,37	0,14	0,14
	C2	0,43		0,16	
	C3	0,33		0,12	
	C4	0,32		0,12	
	C5	0,38		0,14	

EK 12 FARKLI KRİSTAL BOYUTUNA SAHİP MUĞLA MERMERLERİ'NİN
ISLANMA KURUMA DENEYİ SONRASI TEK EKSENLİ BASINÇ DİRENÇİ
DEĞERİ VE DİRENÇ KAYBI

Kristal Sınıfı	No	Kenar 1 (mm)	Kenar 1 (mm)	Alan (cm ²)	Kuru T.E.B Direnci (kg/cm ²)	Ort.	S.S (±)
İri Kristalli	22	70,00	70,00	49,00	670,82	760,75	78,57
	25	70,00	70,00	49,00	795,31		
	28	70,00	70,00	49,00	816,12		
	28	70,00	70,00	49,00	816,12		
Orta Kristalli	23	70,00	70,00	49,00	701,43	657,51	109,24
	24	70,00	70,00	49,00	793,67		
	26	70,00	70,00	49,00	492,86		
	29	70,00	70,00	49,00	653,88		
	31	70,00	70,00	49,00	645,71		
İnce Kristalli	24	70,00	70,00	49,00	712,45	875,51	130,79
	27	70,00	70,00	49,00	1015,51		
	28	70,00	70,00	49,00	918,37		
	29	70,00	70,00	49,00	966,12		
	30	70,00	70,00	49,00	765,1		

Kristal Sınıfı	No	Deney Öncesi Kuru T.E.B (kg/cm ²)	Deney Sonrası Kuru T.E.B (kg/cm ²)	Direnç Kaybı
İri Kristalli	22	839,48	760,75	9,37
	25			
	28			
Orta Kristalli	23	878,59	657,51	25,16
	24			
	26			
	29			
	31			
İnce Kristalli	24	1090,89	875,51	19,74
	27			
	28			
	29			
	30			

EK 13 FARKLI KRİSTAL BOYUTUNA SAHİP MUĞLA MERMERLERİ'NİN
DONMA DENEYİ SONRASI FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ VE KÜTLE KAYBI

10.Periyot

Kristal Sınıfı	No	Kuru Ağırlık (gr)	Doygun Ağırlık (gr)	Sudaki Ağırlık (gr)
İri Kristalli	A6	953,04	953,81	604,43
	A7	937,28	937,91	592,26
	A8	944,40	945,22	597,71
	A9	911,11	911,81	577,16
	A10	940,03	940,68	594,40
Orta Kristalli	B6	940,50	940,99	595,02
	B7	920,42	920,85	581,92
	B8	924,71	925,22	584,90
	B9	937,14	937,65	592,68
	B10	929,81	930,26	588,12
İnce Kristalli	C6	945,73	946,30	599,83
	C7	935,67	936,15	592,16
	C8	965,78	966,38	612,10
	C9	950,15	950,73	601,58
	C10	943,82	944,37	597,88

Kristal Sınıfı	No	Kütle Kaybı Ortalama (%)	Kütle Kaybı Standart Sapma (%)	Hacim (cm ³)	Kuru B.H.A (gr/cm ³)
İri Kristalli	A6	0,08	0,07	349,38	2,73
	A7			345,65	2,71
	A8			347,51	2,72
	A9			334,65	2,72
	A10			346,28	2,71
Orta Kristalli	B6	0,04	0,01	345,97	2,72
	B7			338,93	2,72
	B8			340,32	2,72
	B9			344,97	2,72
	B10			342,14	2,72
İnce Kristalli	C6	0,03	0,003	346,47	2,73
	C7			343,99	2,72
	C8			354,28	2,73
	C9			349,15	2,72
	C10			346,49	2,72

Kristal Sınıfı	No	Kuru B.H.A Ortalama	Doygun B.H.A	Doygun B.H.A Ortalama	Porozite (%)	Porozite Ort
İri Kristalli	A6	0,003	2,73	0,002	0,22	0,21
	A7		2,71		0,18	
	A8		2,72		0,24	
	A9		2,72		0,21	
	A10		2,72		0,19	
Orta Kristalli	B6	0,003	2,72	0,002	0,14	0,14
	B7		2,72		0,13	
	B8		2,72		0,15	
	B9		2,72		0,15	
	B10		2,72		0,13	
İnce Kristalli	C6	0,001	2,73	0,001	0,16	0,16
	C7		2,72		0,14	
	C8		2,73		0,17	
	C9		2,72		0,17	
	C10		2,73		0,16	

Kristal Sınıfı	No	Boşluk Oranı (%)	Boşluk Oranı Ortalama	Ağırlıkça Su Emme (%)	Ağırlıkça Su Emme Ortalama
İri Kristalli	A6	0,22	0,21	0,08	0,08
	A7	0,18		0,07	
	A8	0,24		0,09	
	A9	0,21		0,08	
	A10	0,19		0,07	
Orta Kristalli	B6	0,14	0,14	0,05	0,05
	B7	0,13		0,05	
	B8	0,15		0,06	
	B9	0,15		0,05	
	B10	0,13		0,05	
İnce Kristalli	C6	0,16	0,16	0,06	0,06
	C7	0,14		0,05	
	C8	0,17		0,06	
	C9	0,17		0,06	
	C10	0,16		0,06	

20.Periyot

Kristal Sınıfı	No	Kuru Ağırlık (gr)	Doygun Ağırlık (gr)	Sudaki Ağırlık (gr)
İri Kristalli	A6	953,04	953,65	604,26
	A7	936,85	937,76	592,06
	A8	943,56	944,31	597,18
	A9	904,74	905,35	573,06
	A10	939,80	940,30	594,26
Orta Kristalli	B6	940,44	940,89	594,95
	B7	920,35	920,75	581,97
	B8	924,48	925,02	584,59
	B9	937,19	937,71	592,29
	B10	930,63	930,66	588,10
İnce Kristalli	C6	945,72	946,46	599,70
	C7	935,66	936,37	592,06
	C8	965,67	966,51	611,90
	C9	950,00	950,62	601,36
	C10	943,47	944,17	597,55

Kristal Sınıfı	No	Kütle Kaybı Ortalama (%)	Kütle Kaybı Standart Sapma (%)	Hacim (cm ³)	Kuru B.H.A (gr/cm ³)
İri Kristalli	A6	0,26	0,27	349,39	2,73
	A7			345,70	2,71
	A8			347,13	2,72
	A9			332,29	2,72
	A10			346,04	2,72
Orta Kristalli	B6	0,05	0,02	345,94	2,72
	B7			338,78	2,72
	B8			340,43	2,72
	B9			345,42	2,71
	B10			342,56	2,72
İnce Kristalli	C6	0,04	0,01	346,76	2,73
	C7			344,31	2,72
	C8			354,61	2,72
	C9			349,26	2,72
	C10			346,62	2,72

Kristal Sınıfı	No	Kuru B.H.A Ortalama	Doygun B.H.A	Doygun B.H.A Ortalama	Porozite (%)	Porozite Ort.
İri Kristalli	A6	0,003	2,73	0,002	0,17	0,20
	A7		2,71		0,26	
	A8		2,72		0,22	
	A9		2,72		0,18	
	A10		2,72		0,14	
Orta Kristalli	B6	0,004	2,72	0,004	0,13	0,11
	B7		2,72		0,12	
	B8		2,72		0,16	
	B9		2,71		0,15	
	B10		2,72		0,01	
İnce Kristalli	C6	0,004	2,73	0,003	0,21	0,21
	C7		2,72		0,21	
	C8		2,73		0,24	
	C9		2,72		0,18	
	C10		2,72		0,20	

Kristal Sınıfı	No	Boşluk Oranı (%)	Boşluk Oranı Ortalama	Ağırlıkça Su Emme (%)	Ağırlıkça Su Emme Ortalama
İri Kristalli	A6	0,17	0,20	0,06	0,07
	A7	0,26		0,10	
	A8	0,22		0,08	
	A9	0,18		0,07	
	A10	0,14		0,05	
Orta Kristalli	B6	0,13	0,11	0,05	0,04
	B7	0,12		0,04	
	B8	0,16		0,06	
	B9	0,15		0,06	
	B10	0,01		0,00	
İnce Kristalli	C6	0,21	0,21	0,08	0,08
	C7	0,21		0,08	
	C8	0,24		0,09	
	C9	0,18		0,07	
	C10	0,20		0,07	

30.Periyot

Kristal Sınıfı	No	Kuru Ağırlık (gr)	Doygun Ağırlık (gr)	Sudaki Ağırlık (gr)
İri Kristalli	A6	952,94	953,82	603,68
	A7	936,61	937,66	591,29
	A8	943,51	944,52	596,52
	A9	904,68	905,24	572,47
	A10	939,73	940,45	593,64
Orta Kristalli	B6	940,42	941,24	594,29
	B7	920,32	921,03	581,31
	B8	924,45	925,23	584,00
	B9	936,60	937,26	591,66
	B10	929,69	930,14	587,43
İnce Kristalli	C6	945,63	946,46	599,08
	C7	935,61	936,26	591,16
	C8	965,59	966,43	611,27
	C9	949,93	950,73	600,74
	C10	943,4	944,21	596,94

Kristal Sınıfı	No	Kütle Kaybı Ortalama (%)	Kütle Kaybı Standart Sapma (%)	Hacim (cm ³)	Kuru B.H.A (gr/cm ³)
İri Kristalli	A6	0,27	0,27	350,14	2,72
	A7			346,37	2,70
	A8			348,00	2,71
	A9			332,77	2,72
	A10			346,81	2,71
Orta Kristalli	B6	0,06	0,03	346,95	2,71
	B7			339,72	2,71
	B8			341,23	2,71
	B9			345,60	2,71
	B10			342,71	2,71
İnce Kristalli	C6	0,05	0,01	347,38	2,72
	C7			345,10	2,71
	C8			355,16	2,72
	C9			349,99	2,71
	C10			347,27	2,72

Kristal Sınıfı	No	Kuru B.H.A Ortalama	Doygun B.H.A	Doygun B.H.A Ortalama	Porozite (%)	Porozite Ort.
İri Kristalli	A6	0,009	2,72	0,008	0,25	0,24
	A7		2,71		0,30	
	A8		2,71		0,29	
	A9		2,72		0,17	
	A10		2,71		0,21	
Orta Kristalli	B6	0,10	2,71	0,008	0,24	0,20
	B7		2,71		0,21	
	B8		2,71		0,23	
	B9		2,71		0,19	
	B10		2,71		0,13	
İnce Kristalli	C6	0,009	2,72	0,008	0,24	0,23
	C7		2,71		0,19	
	C8		2,72		0,24	
	C9		2,72		0,23	
	C10		2,72		0,23	

Kristal Sınıfı	No	Boşluk Oranı (%)	Boşluk Oranı Ortalama	Ağırlıkça Su Emme (%)	Ağırlıkça Su Emme Ortalama
İri Kristalli	A6	0,25	0,24	0,09	0,09
	A7	0,30		0,11	
	A8	0,29		0,11	
	A9	0,17		0,06	
	A10	0,21		0,08	
Orta Kristalli	B6	0,24	0,20	0,09	0,07
	B7	0,21		0,08	
	B8	0,23		0,08	
	B9	0,19		0,07	
	B10	0,13		0,05	
İnce Kristalli	C6	0,24	0,23	0,09	0,08
	C7	0,19		0,07	
	C8	0,24		0,09	
	C9	0,23		0,08	
	C10	0,23		0,09	

EK 14 FARKLI KRİSTAL BOYUTUNA SAHİP MUĞLA MERMERLERİ'NİN
DONMA ÇÖZÜNME DENEYİ SONRASI TEK EKSENLİ BASINÇ DİRENÇİ
DEĞERİ VE DİRENÇ KAYBI

Kristal Sınıfı	No	Kenar 1 (mm)	Kenar 1 (mm)	Alan (cm ²)	Kuru T.E.B Direnci (kg/cm ²)	Ort.	S.S (±)
İri Kristalli	21	70,00	70,00	49,00	951,43	764,24	202,27
	23	70,00	70,00	49,00	482,04		
	24	70,00	70,00	49,00	853,88		
	28	70,00	70,00	49,00	769,59		
Orta Kristalli	24	70,00	70,00	49,00	882,45	750,02	242,73
	25	70,00	70,00	49,00	674,29		
	27	70,00	70,00	49,00	617,35		
	29	70,00	70,00	49,00	1111,02		
	30	70,00	70,00	49,00	712,65		
İnce Kristalli	22	70,00	70,00	49,00	1109,39	1014,00	133,84
	24	70,00	70,00	49,00	906,12		
	25	70,00	70,00	49,00	1197,35		
	26	70,00	70,00	49,00	965,31		
	27	70,00	70,00	49,00	891,84		

Kristal Sınıfı	Deney Öncesi Kuru T.E.B (kg/cm ²)	Deney Sonrası Kuru T.E.B (kg/cm ²)	Direnç Kaybı
İri Kristalli	839,43	764,24	8,96
Orta Kristalli	878,59	750,02	14,63
İnce Kristalli	1090,89	1014,02	7,05

EK 14 FARKLI KRİSTAL BOYUTUNA SAHİP MUĞLA MERMERLERİ'NİN TUZ KRİSTALLENMESİ DENEYİ (Na_2SO_4) SONRASI FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

20.Periyot

Kristal Sınıfı	No	Kuru Ağırlık (gr)	Doygun Ağırlık (gr)	Sudaki Ağırlık (gr)	Kütle Kaybı Ort.± S.S	Hacim (cm^3)
İri Kristalli	A11	904,57	914,39	571,63	5,14 ±3,87	342,76
	A12	915,44	926,14	579,82		346,32
	A13	903,17	912,60	572,03		340,57
	A14	842,13	858,95	536,45		322,50
	A15	838,81	859,57	537,59		321,98
Orta Kristalli	B11	930,32	938,11	587,83	10,90 ±8,81	350,28
	B12	912,83	925,08	579,03		346,05
	B13	906,45	922,35	577,16		345,19
	B14	724,29	738,58	460,35		278,23
	B15	833,8	849,42	529,72		319,70
İnce Kristalli	C11	944,16	945,50	588,23	0,47 ±0,20	357,27
	C12	945,88	946,18	597,43		348,75
	C13	941,98	942,45	584,14		358,31
	C14	952,16	953,34	600,14		353,20
	C15	935,86	936,16	582,76		353,40

Kristal Sınıfı	No	Kuru B.H.A (gr/cm ³)	Doygun B.H.A (gr/cm ³)	Porozite (%)	Boşluk Oranı (%)	Ağırlıkça Su Emme (%)
İri Kristalli	A11	2,64	2,67	2,86	2,95	1,09
	A12	2,64	2,67	3,09	3,19	1,17
	A13	2,65	2,68	2,77	2,85	1,04
	A14	2,61	2,66	5,22	5,50	2,00
	A15	2,61	2,67	6,45	6,89	2,47
Ortalama Standart Sapma		2,63 0,02	2,67 0,01	4,08 1,66	4,28 1,83	1,55 0,65
Orta Kristalli	B11	2,66	2,68	2,22	2,27	0,84
	B12	2,64	2,67	3,54	3,67	1,34
	B13	2,63	2,67	4,61	4,83	1,75
	B14	2,60	2,65	5,14	5,41	1,97
	B15	2,61	2,66	4,89	5,14	1,87
Ortalama Standart Sapma		2,63 0,02	2,67 0,01	4,08 1,20	4,26 1,30	1,56 0,47
İnce Kristalli	C11	2,64	2,65	0,38	0,38	0,14
	C12	2,71	2,71	0,09	0,09	0,03
	C13	2,63	2,63	0,13	0,13	0,05
	C14	2,70	2,70	0,33	0,34	0,12
	C15	2,65	2,65	0,08	0,08	0,03
Ortalama Standart Sapma		2,67 0,04	2,67 0,04	0,20 0,14	0,20 0,14	0,08 0,05

30.Periyot

Kristal Sınıfı	No	Kuru Ağırlık (gr)	Doygun Ağırlık (gr)	Sudaki Ağırlık (gr)	Kütle Kaybı Ort.± S.S	Hacim (cm ³)
İri Kristalli	A11	590,55	609,52	375,00	29,58 ±10,04	234,52
	A12	612,92	629,00	386,78		242,22
	A13	759,46	781,62	479,6		302,02
Orta Kristalli	B11	856,84	878,60	539,66	40,32 ±45,84	338,94
	B13	255,93	263,42	162		101,42
İnce Kristalli	C11	927,44	940,93	587,06	3,03 ±1,44	353,87
	C12	929,16	946,32	587,24		359,08
	C13	903,64	919,73	571,59		348,14
	C14	938,83	953,44	594,12		359,32
	C15	899,87	915,65	568,98		346,67

Kristal Sınıfı	No	Kuru B.H.A (gr/cm ³)	Doygun B.H.A (gr/cm ³)	Porozite (%)	Boşluk Oranı (%)	Ağırlıkça Su Emme (%)
İri Kristalli	A11	2,52	2,60	8,09	8,80	3,21
	A12	2,53	2,60	6,64	7,11	2,62
	A13	2,51	2,59	7,34	7,92	2,92
Ortalama Standart Sapma		2,52 0,01	2,59 0,01	7,35 0,73	7,94 0,85	2,92 0,29
Orta Kristalli	B11	2,53	2,59	6,42	6,86	2,54
	B13	2,52	2,60	7,39	7,97	2,93
Ortalama Standart Sapma		2,53 0,00	2,59 0,00	6,90 0,68	7,42 0,79	2,73 0,27
İnce Kristalli	C11	2,62	2,66	3,81	3,96	1,45
	C12	2,59	2,64	4,78	5,02	1,85
	C13	2,60	2,64	4,62	4,85	1,78
	C14	2,61	2,65	4,07	4,24	1,56
	C15	2,60	2,64	4,55	4,77	1,75
Ortalama Standart Sapma		2,60 0,01	2,65 0,01	4,37 0,41	4,57 0,45	1,68 0,17

EK 14 FARKLI KRİSTAL BOYUTUNA SAHİP MUĞLA MERMERLERİ'NİN
TUZ KRİSTALLENMESİ DENEYİ (MgSO₄) SONRASI FİZİKSEL
ÖZELLİKLERİ

10.Periyot

Kristal Sınıfı	No	Kuru Ağırlık (gr)	Doygun Ağırlık (gr)	Sudaki Ağırlık (gr)	Kütle Kaybı Ort.± S.S	Hacim (cm ³)
İri Kristalli	A16	882,26	897,63	556,67	30,53 ±30,51	340,96
	A17	897,07	909,11	566,13		342,98
	A18	418,89	432,17	264,78		167,39
Orta Kristalli	B16	409,22	422,78	260,53	40,10 ±23,14	162,25
	B17	725	741,47	456,7		284,77
İnce Kristalli	C16	935,32	935,87	593,34	0,00 ±0,00	342,53
	C17	951,17	951,56	603,48		348,08
	C18	944,57	944,96	599,55		345,41
	C19	948,19	948,94	602,29		346,65
	C20	964,76	965,34	612,78		352,56

Kristal Sınıfı	No	Kuru B.H.A (gr/cm ³)	Doygun B.H.A (gr/cm ³)	Porozite (%)	Boşluk Oranı (%)	Ağırlıkça Su Emme (%)
İri Kristalli	A16	2,59	2,63	4,51	4,72	1,74
	A17	2,62	2,65	3,51	3,64	1,34
	A18	2,50	2,58	7,93	8,62	3,17
Ortalama Standart Sapma		2,57 0,06	2,62 0,04	5,32 2,32	5,66 2,62	2,08 0,96
Orta Kristalli	B16	2,52	2,61	8,36	9,12	3,31
	B17	2,55	2,60	5,78	6,14	2,27
Ortalama Standart Sapma		2,53 0,02	2,60 0,00	7,07 1,82	7,63 2,11	2,79 0,74
İnce Kristalli	C16	2,73	2,73	0,16	0,16	0,06
	C17	2,73	2,73	0,11	0,11	0,04
	C18	2,73	2,74	0,11	0,11	0,04
	C19	2,74	2,74	0,22	0,22	0,08
	C20	2,74	2,74	0,16	0,16	0,06
Ortalama Standart Sapma		2,73 0,00	2,74 0,00	0,15 0,04	0,15 0,04	0,06 0,02

20.Periyot

Kristal Sınıfı	No	Kuru Ağırlık (gr)	Doygun Ağırlık (gr)	Sudaki Ağırlık (gr)	Kütle Kaybı Ort.± S.S	Hacim (cm ³)
İri Kristalli	A16 A17 A18	-	-	-	-	-
Orta Kristalli	B16 B17	-	-	-	-	-
İnce Kristalli	C17 C18 C19	599,79 746,77 797,2	608,38 754,64 808,49	377,94 471,33 504,02	24,44 ±10,96	230,44 283,31 304,47

Kristal Sınıfı	No	Kuru B.H.A (gr/cm ³)	Doygun B.H.A (gr/cm ³)	Porozite (%)	Boşluk Oranı (%)	Ağırlıkça Su Emme (%)
İri Kristalli	A16	-	-	-	-	-
	A17	-	-	-	-	-
	A18	-	-	-	-	-
Ortalama Standart Sapma		-	-	-	-	-
Orta Kristalli	B16	-	-	-	-	-
	B17	-	-	-	-	-
Ortalama Standart Sapma		-	-	-	-	-
İnce Kristalli	C17	2,60	2,64	3,73	3,87	1,43
	C18	2,64	2,66	2,78	2,86	1,05
	C19	2,62	2,66	3,71	3,85	1,42
Ortalama Standart Sapma		2,62 0,02	2,65 0,01	3,40 0,54	3,53 0,58	1,30 0,21

EK 15 FARKLI KRİSTAL BOYUTUNA SAHİP MUĞLA MERMERLERİ'NİN DENEY ÖNCESİ VE DENEY SONRASI SES İLETKENLİĞİ DEĞERLERİ

Taze Numune

Kristal Sınıfı	No	Ölçülen Değer(ms) Kuru	Ölçülen Değer(ms) Doygun	Kenar Uzunluğu (mm)	Kuru Ses İletkenliği (µm)	Doygun Ses İletkenliği (µm)
İri Kristalli	1	14,1	11,6	70,03	4,97	6,04
	2	16,0	13,1	70,79	4,42	5,40
	3	16,0	12,1	70,23	4,39	5,80
	4	13,0	11,1	70,47	5,42	6,35
	5	16,1	13,5	69,76	4,33	5,17
	6	15,1	11,6	70,11	4,64	6,04
	7	27,1	19,0	70,66	2,61	3,72
	8	19,4	18,0	70,11	3,61	3,90
	9	14,0	11,1	69,81	4,99	6,29
	10	17,5	13,1	70,90	4,05	5,41
	11	14,0	11,6	69,97	5,00	6,03
	12	17,0	13,0	70,63	4,15	5,43
	13	16,6	12,4	70,46	4,24	5,68
	14	15,4	14,9	70,06	4,55	4,70
	15	14,1	11,6	70,24	4,98	6,06
	16	15,5	13,1	70,13	4,52	5,35
	17	14,6	12,0	69,97	4,79	5,83
	18	19,0	15,4	70,30	3,70	4,56
	19	15,5	11,8	69,35	4,47	5,88
	20	20,8	11,6	70,50	3,39	6,08
	21	13,6	12,5	70,28	5,17	5,62
	22	14,0	11,8	70,11	5,01	5,94
	23	22,1	16,9	69,25	3,13	4,10
	24	26,0	18,0	70,34	2,71	3,91
	25	16,3	13,4	70,04	4,30	5,23
	26	16,0	13,0	70,66	4,42	5,44
	27	16,5	14,0	70,64	4,28	5,05
	28	35,5	18,3	70,30	1,98	3,84
	29	21,0	14,9	70,55	3,36	4,73
	30	14,1	11,1	70,27	4,98	6,33
	31	17,0	13,5	71,04	4,18	5,26
	32	28,6	16,7	70,46	2,46	4,22
	33	19,9	14,7	70,28	3,53	4,78
	34	17,4	12,5	69,66	4,00	5,57
	35	18,0	14,0	69,82	3,88	4,99
Ortalama ±Standart Sapma					4,13±0,83	5,29±0,77

Taze Numune

Kristal Sınıfı	No	Ölçülen Değer (ms) Kuru	Ölçülen Değer(ms) Doygun	Kenar Uzunluğu (mm)	Kuru Ses İletkenliği (µm)	Doygun Ses İletkenliği (µm)
Orta Kristalli	1	15,7	12,4	70,97	4,52	5,72
	2	16,6	14,0	70,28	4,23	5,02
	3	14,6	12,0	69,48	4,76	5,79
	4	16,6	13,1	70,93	4,27	5,41
	5	16,5	13,5	71,20	4,32	5,27
	6	15,5	12,6	69,98	4,51	5,55
	7	16,1	12,5	70,18	4,36	5,61
	8	15,6	13,5	69,43	4,45	5,14
	9	13,1	11,5	71,35	5,45	6,20
	10	16,1	12,6	71,24	4,42	5,65
	11	13,1	11,6	70,59	5,39	6,09
	12	14,1	11,6	69,30	4,91	5,97
	13	13,4	12,0	70,44	5,26	5,87
	14	14,0	12,1	70,09	5,01	5,79
	15	14,6	11,6	68,35	4,68	5,89
	16	14,1	12,0	70,56	5,00	5,88
	17	16,1	13,1	70,11	4,35	5,35
	18	14,6	12,1	70,52	4,83	5,83
	19	17,5	13,0	69,84	3,99	5,37
	20	14,6	12,0	69,97	4,79	5,83
	21	15,5	12,5	70,09	4,52	5,61
	22	14,6	11,6	70,28	4,81	6,06
	23	15,5	13,0	72,36	4,67	5,57
	24	14,6	12,0	70,01	4,80	5,83
	25	14,0	11,6	71,38	5,10	6,15
	26	14,1	12,1	69,49	4,93	5,74
	27	17,0	14,1	70,41	4,14	4,99
	28	17,5	13,4	70,15	4,01	5,24
	29	15,6	12,6	70,3	4,51	5,58
	30	12,9	11,6	70,15	5,44	6,05
	31	15,6	12,5	70,46	4,52	5,64
	32	13,6	11,6	70,68	5,20	6,09
	33	15,0	12,9	70,15	4,68	5,44
	34	15,0	12,5	70,72	4,71	5,66
	35	13,0	11,6	70,16	5,40	6,05
Ortalama ±Standart Sapma					4,71±0,40	5,68±0,32

Taze Numune

Kristal Sınıfı	No	Ölçülen Değer(ms) Kuru	Ölçülen Değer(ms) Doygun	Kenar Uzunluğu (mm)	Kuru Ses İletkenliği (µm)	Doygun Ses İletkenliği (µm)
İnce Kristalli	1	12,6	11,0	70,49	5,59	6,41
	2	13,1	11,6	71,01	5,42	6,12
	3	13,1	11,6	70,05	5,35	6,04
	4	13,1	12,0	70,41	5,37	5,87
	5	14,1	12,1	70,52	5,00	5,83
	6	12,6	11,6	71,57	5,68	6,17
	7	14,6	12,6	70,03	4,80	5,56
	8	13,6	11,6	71,51	5,26	6,16
	9	11,3	11,5	70,39	6,23	6,12
	10	13,0	11,6	70,38	5,41	6,07
	11	12,6	11,1	71,01	5,64	6,40
	12	13,5	11,3	71,45	5,29	6,32
	13	13,1	11,6	70,08	5,35	6,04
	14	12,6	11,6	70,52	5,60	6,08
	15	12,6	11,4	69,35	5,50	6,08
	16	14,0	12,0	70,30	5,02	5,86
	17	13,1	11,6	71,16	5,43	6,13
	18	13,6	12,1	70,46	5,18	5,82
	19	12,5	11,1	69,97	5,60	6,30
	20	12,4	11,6	71,02	5,73	6,12
	21	12,6	11,6	71,20	5,65	6,14
	22	13,4	11,6	71,77	5,36	6,19
	23	13,6	11,6	70,00	5,15	6,03
	24	13,6	11,6	71,42	5,25	6,16
	25	13,6	11,6	69,54	5,11	5,99
	26	12,6	11,6	70,42	5,59	6,07
	27	12,6	11,0	71,15	5,65	6,47
	28	13,1	11,5	70,52	5,38	6,13
	29	12,1	11,0	70,98	5,87	6,45
	30	13,1	11,1	70,10	5,35	6,32
	31	12,6	11,1	70,47	5,59	6,35
	32	13,6	12,0	69,93	5,14	5,83
	33	13,1	12,1	68,94	5,26	5,70
	34	14,1	11,6	70,38	4,99	6,07
	35	13,6	11,6	69,99	5,15	6,03
Ortalama ±Standart Sapma					5,40±0,28	6,10±0,21

İslanma Kuruma Deneyi Sonrası

Kristal Sınıfı	Numune Sayısı	Ölçülen Değer (ms) Kuru	Ölçülen Değer (ms) Doygun	Kenar Uzunluğu (mm)	Kuru Ses İletkenliği (μm)	Doygun Ses İletkenliği (μm)
İri Kristalli	5	19	14,9	70,24	3,70	4,71
		24,2	15,1	70,57	2,92	4,67
		23,8	17	70,7	2,97	4,16
		18	13,9	69,2	3,84	4,98
		22,2	17	70,32	3,17	4,14
Ortalama ± Standart Sapma					3,32±0,43	4,53±0,37
Orta Kristalli	5	25,8	19	69,58	2,70	3,66
		28,3	20,3	70,12	2,48	3,45
		22,7	16,3	70,83	3,12	4,35
		26,8	20,8	70,93	2,65	3,41
		29,1	19,6	70,16	2,41	3,58
Ortalama ± Standart Sapma					2,67±0,28	3,69±0,38
İnce Kristalli	5	19,8	15,3	69,88	3,53	4,57
		19,5	16,5	71,2	3,65	4,32
		20,5	17,3	70,3	3,43	4,06
		20,5	17,5	71,44	3,48	4,08
		22,5	19,7	70,77	3,15	3,59
Ortalama ± Standart Sapma					3,45±0,19	4,12±0,36

Donma Çözünme Deneyi Sonrası

Kristal Sınıfı	Numune Sayısı	Ölçülen Değer (ms) Kuru	Ölçülen Değer(ms) Doygun	Kenar Uzunluğu (mm)	Kuru Ses İletkenliği (µm)	Doygun Ses İletkenliği (µm)
İri Kristalli	5	20	13,1	70,76	3,54	5,40
		51,2	23,7	70,64	1,38	2,98
		30,3	18,7	70,32	2,32	3,76
		17,4	12,9	69,28	3,98	5,37
		24,9	16,3	70,24	2,82	4,31
Ortalama ± Standart Sapma					2,81±1,02	4,36±1,05
Orta Kristalli	5	25,5	18,9	70,89	2,78	3,75
		29,6	20,3	70,14	2,37	3,46
		27,3	19,3	70,19	2,57	3,64
		19,5	14,9	71,04	3,64	4,77
		27,8	18,6	69,88	2,51	3,76
Ortalama ± Standart Sapma					2,78±0,51	3,87±0,51
İnce Kristalli	5	18,4	13	70,84	3,85	5,45
		22,5	14,8	70,59	3,14	4,77
		17,5	14,1	70,06	4,00	4,97
		19,3	14,5	71,59	3,71	4,94
		20,1	14	70,82	3,52	5,06
Ortalama ± Standart Sapma					3,64±0,33	5,04±0,25

Na₂SO₄ Deneyi Sonrası

Kristal Sınıfı	Numune Sayısı	Ölçülen Değer (ms) Kuru	Ölçülen Değer(ms) Doygun	Kenar Uzunluğu (mm)	Kuru Ses İletkenliği (µm)	Doygun Ses İletkenliği (µm)
İri Kristalli	5	18,3	16,6	69,55	3,80	4,19
		20,1	19	69,67	3,47	3,67
		19,3	18,4	69,72	3,61	3,79
		17,2	16,6	69,63	4,05	4,19
		16,5	15,8	69,86	4,23	4,42
Ortalama ± Standart Sapma					3,83±0,31	4,05±0,31
Orta Kristalli	5	16,7	15,2	70,31	4,21	4,63
		18,4	16,3	69,71	3,79	4,28
		17,7	16	69,33	3,92	4,33
		17,6	16,2	70,16	3,99	4,33
		18,9	17,5	70,77	3,74	4,04
Ortalama ± Standart Sapma					3,93±0,18	4,32±0,21
İnce Kristalli	5	17,8	16,4	69,31	3,89	4,23
		18,2	17,3	70,86	3,89	4,10
		19,5	18,4	70,13	3,60	3,81
		16,4	15,5	70,77	4,32	4,57
		16,9	15,3	71,71	4,24	4,69
Ortalama ± Standart Sapma					3,98±0,29	4,23±0,35

Mg SO₄ Deneyi Sonrası

Kristal Sınıfı	Numune Sayısı	Ölçülen Değer (ms) Kuru	Ölçülen Değer(ms) Doygun	Kenar Uzunluğu (mm)	Kuru Ses İletkenliği (µm)	Doygun Ses İletkenliği (µm)
İri Kristalli	3	16,4	14,5	69,53	4,24	4,80
		15,9	13,5	71,65	4,51	5,31
		21	16,4	70,48	3,36	4,30
Ortalama ± Standart Sapma					3,81±0,66	4,72±0,44
Orta Kristalli	2	15,7	13,5	69,3	4,41	5,13
		17,3	15,6	70,99	4,10	4,55
Ortalama ± Standart Sapma					4,26±0,22	4,84±0,41
İnce Kristalli	5	16,6	13,5	69,65	4,20	5,16
		17,9	14,6	71,07	3,97	4,87
		15,8	13,9	71,43	4,52	5,14
		15,6	14,4	70,58	4,52	4,90
		13,8	12,5	70,58	5,11	5,65
Ortalama ± Standart Sapma					4,46±0,13	5,14±0,43