

Gerçek Mermerlerin Farklı Ortam Koşullarında Kopma Enerjisi ve Çarpma  
Dayanımının Belirlenmesi

Ece Kundak

**DOKTORA TEZİ**

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık 2016

Determination of The Rupture Energy and The Impact Strength of Marbles Under  
Different Ambient Conditions

Ece Kundak

**DOCTORAL DISSERTATION**

Department of Mining Engineering

December - 2016

GERÇEK MERMERLERİN FARKLI ORTAM KOŞULLARINDA KOPMA ENERJİSİ  
VE ÇARPMA DAYANIMININ BELİRLENMESİ

Ece Kundak

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı  
Maden İşletme Bilim Dalında  
DOKTORA TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Hürriyet Akdaş

Bu Tez ESOGÜ BAP tarafından “2015-762” kodlu proje çerçevesinde desteklenmiştir.

Aralık 2016

## ONAY

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora öğrencisi Ece Kundak'ın DOKTORA tezi olarak hazırladığı "Gerçek Mermerlerin Farklı Ortam Koşullarında Kopma Enerjisi ve Çarpma Dayanımının Belirlenmesi" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. Hürriyet AKDAŞ

**İkinci Danışman** : Doç. Dr. Gencay SARIŐŐIK

**Doktora Tez Savunma Jürisi:**

**Üye** : Prof. Dr. Hürriyet AKDAŞ

**Üye** : Prof. Dr. Ali SARIŐŐIK

**Üye** : Doç. Dr. Melih İPHAR

**Üye** : Prof. Dr. Hamdi AKÇAKOCA

**Üye** : Doç. Dr. Murat YURDAKUL

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŐAHAN  
Enstitü Müdürü

## ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof. Dr. Hürriyet AKDAŞ danışmanlığında hazırlamış olduğum “Gerçek mermerlerin farklı ortam koşullarında kopma enerjisi ve çarpma dayanımının belirlenmesi” başlıklı tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 12/12/2016

**Ece KUNDAK**

İmza

## ÖZET

Geçmişten günümüze kadar pek çok alanda; doğallığı, kolay işlenebilir oluşu, renk - desen albenisi ve dayanıklılığı sebebiyle doğal taş kullanımı tercih edilmektedir. Türkiye’de, doğal taş tüketiminin yaklaşık %21’i zemin kaplaması olarak inşaat sektöründe gerçekleşmektedir. Zemin kaplaması olarak kullanılan doğal taşların bir kısmı iç mekanlarda kullanılırken; bir kısmı da dış mekanlarda kullanılmakta ve dış mekanlarda kullanılan bu doğal taşlar, atmosferik koşulların etkisine maruz kalarak bozunmalar gerçekleşmektedir. Ayrıca, zemin kaplaması olarak kullanılan doğal taşların maruz kaldığı bir diğer olumsuz koşul ise; çarpma etkisiyle gerçekleşen dinamik yüklemelerdir. Bu çalışma kapsamında, TS EN 12371 standardındaki yöntem ile 56 çevrim donma – çözülme işlemi gerçekleştirilen ve TS EN 14066 standardındaki yöntem ile 20 çevrim termal şok işlemi gerçekleştirilen doğal taşların ve ham haldeki doğal taşların TS EN 14158 kodlu standardına göre bilye düşürme cihazı ile kopma enerjisi ve çarpma dayanımı belirlenmiştir. Doğal taşların kopma enerjisi ve çarpma dayanımının donma – çözülme koşulundan ne kadar etkilendiği, doğal taşların mineralojik, kimyasal ve fiziko – mekanik özellikleri de göz önünde bulundurularak ortaya konulmuştur.

**Anahtar Kelimeler :** kopma enerjisi, çarpma dayanımı, donma – çözülme, termal şok, doğal taş, mermer, metamorfik

## SUMMARY

From the past to present, natural stones has been favored due to its naturalness, workability, color-pattern appeal and endurance. In Turkey, almost 21 % percentage of natural stone is consumed as facing stone in building trade. Some of these facing stone is used in interior and exterior spaces which are especially exposed to atmospheric conditions and deterioration is occurred on the stone. Another unfavorable condition for facing stone is dynamic loadings caused by impact. As part of this study, 56 freeze – thaw cycles with TS EN 12371 standard procedure, 20 thermal shock cycles with TS EN 14066 standard procedure had been applied to natural stone samples. By using TS EN 14158 standard procedure, rupture energy and impact strength were calculated with ball drop tester for natural stone samples at freezing – thawing condition, thermal shock condition and normal condition. The affects of weather conditioning procedure on the rupture energy and impact strength of natural stones are explained by considering the mineralogical, chemical and physico – mechanical features.

**Keywords:** rupture energy, impact strength, freezing – thaw, thermal shock, natural stone, marble, metamorphic

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans ve doktora çalışmalarımı danışmanlığında tamamladığım, iki zorlu süreçte de her türlü desteği vererek yoluma ışık tutan, her koşulda arkamda duran doktora tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Hürriyet Akdaş'a akademik gelişmem ve ilerlememde sağladığı büyük katkılardan dolayı çok teşekkür ederim.

Doktora tez çalışmam süresince yol gösteren ve her türlü bilgisini benimle paylaşan ikinci doktora tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Gencay Sarıışık'a; doktora süreci boyunca katkılarını, desteklerini ve olumlu eleştirilerini benden esirgemeyerek doktora çalışmamın daha da kıymetlenmesinde katkısı bulunan Sayın Prof. Dr. Ali Sarıışık ve Sayın Doç. Dr. Melih İphar'a; doktora tezime yaptıkları katkılardan dolayı Sayın Prof. Dr. Hamdi Akçakoca'ya ve Sayın Doç. Dr. Murat Yurdakul'a çok teşekkür ederim.

Bu çalışma için hazırladığımız Bilimsel Araştırma Projesi'ne (Proje kodu: 2015-762) destek vererek sağladığı maddi destek sebebiyle, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Birimi'ne teşekkür ederim.

Tüm çalışma hayatım boyunca, her tökezlediğimde bana tüm manevi desteğini vererek beni motive eden ve hep ablalık yapan Sayın Doç. Dr. Seyhan Önder'e; Afyon Kocatepe Üniversitesi'nde yürüttüğüm çalışmalarda her türlü desteği veren Sayın Yrd. Doç. Dr. Erkan Özkan'a ve Sayın Murat Sert'e; çalışmamda kullandığım numunelerin temininde bana yardımcı olan; Esmer Mermer Firması'nın; Çekiçler Mermer Firması'nın ve Çiftyıldız Mermer Firması'nın yetkililerine; tanıştığımız günden bu yana, tüm akademik çalışmalarım ve özellikle doktora çalışmamda verdikleri manevi destek için, Bilim Madencilik Firması'ndan çok kıymetli meslektaşlarım Sayın Ali Özçelik ve Sayın Vedia Özçelik'e çok teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca olduğu gibi; bu zorlu doktora çalışması sürecinde de her zaman ve her koşulda arkamda yıkılmaz birer kale gibi duran, beni sürekli motive ederek çalışmaya teşvik eden Annem ve Babam'a; gönül birliklerini ve desteklerini her zaman hissettiğim kız kardeşim ve ailemin tüm fertlerine çok teşekkür ederim.

Tüm doktora süreci boyunca maddi ve manevi her türlü desteği veren, sabırla beni dinleyen ve anlayan, her sorunuma bir çözüm bularak bu doktoranın bitmesinde en az benim kadar emek sarf eden hayat arkadaşım, eşim ve meslektaşım Sadık Kundak'a teşekkürü bir borç bilirim.



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	<b>vi</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>vii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>viii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>ix</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>xii</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>xiv</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>xvi</b>
<b>1. GİRİŞ VE AMAÇ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI</b> .....	<b>11</b>
2.1. Darbe Mekanîği.....	11
2.1.1. Çarpışmalar.....	11
2.1.2. Yükleme türleri.....	12
2.1.3. Kırılma türleri.....	13
<u>2.1.3.1. Sünek kırılma</u> .....	14
<u>2.1.3.2. Gevrek kırılma</u> .....	15
2.1.4. Malzemelerin darbeye verdiği tepki.....	16
2.1.5. Darbe sınıflaması.....	18
2.1.6. Darbe testleri.....	19
<u>2.1.6.1. Sarkaç testleri (Izod ve Charpy testleri)</u> .....	20
<u>2.1.6.2. Ağırlık düşürme testleri</u> .....	20
<u>2.1.6.3. Balistik testler (hava veya gaz silah testleri)</u> .....	25
2.1.7. Madencilik alanında kullanılan darbe dayanımı testleri.....	26
<u>2.1.7.1. Darbe dayanımı indeksi deneyi (ISI)</u> .....	26
<u>2.1.7.2. Kayaç dayanım katsayısı deneyi (KDK)</u> .....	29
<u>2.1.7.3. Düzeltilmiş darbe dayanım indeksi (MISI)</u> .....	32
<u>2.1.7.4. Darbe mukavemeti deneyi (TS 699)</u> .....	36
<u>2.1.7.5. Kopma enerjisi tayini (TSN 14158)</u> .....	38

## İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2.2. Kayaçalarda Bozunma.....	40
2.2.1. Fiziksel bozunma.....	40
2.2.1.1. Donma – çözünme etkisi.....	41
2.2.1.2. Termal şok etkisi.....	43
2.2.2. Doğal taşlarda fiziksel bozunmayla ilgili yapılan çalışmalar.....	43
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>58</b>
3.1. Materyal.....	58
3.1.1. Doğal taş ve mermer tanımı.....	58
3.1.2. Doğal taşların sınıflandırılması.....	61
3.1.3. Tez çalışmasında kullanılan doğal taşlar.....	61
3.2. Yöntem.....	64
3.2.1. Mineralojik ve petrografik analiz.....	66
3.2.2. Kimyasal analiz.....	66
3.2.3. Fiziko – mekanik analizler.....	67
3.2.3.1. Özgül ağırlık (gerçek yoğunluk) tayini.....	67
3.2.3.2. Görünür yoğunluk, toplam ve açık gözeneklilik tayini.....	68
3.2.3.3. Atmosfer basıncında su emme tayini.....	69
3.2.3.4. Ses hızı ilerlemesi tayini.....	70
3.2.3.5. Knoop sertliği tayini.....	72
3.2.3.6. Shore sertliği tayini.....	73
3.2.3.7. Tek eksenli basınç dayanımı tayini.....	76
3.2.3.8. Sabit moment altında eğilme dayanımı tayini.....	77
3.2.3.9. Nokta yük dayanım indeksi tayini.....	79
3.2.3.10. Darbe dayanımı tayini.....	80
3.2.3.11. Don tesirine dayanıklılık tayini.....	84
3.2.3.12. Termal şok etkisi ile yıpranma direnci tayini.....	85
3.2.4. Kopma enerjisi – çarpma dayanımı – ses hızının tayini.....	87
3.2.4. 1. Normal koşul (N).....	95

## İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.2.4. Kopma enerjisi – çarpma dayanımı – ses hızının tayini.....	87
<u>3.2.4.1. Normal koşul (N)</u> .....	95
<u>3.2.4.2. Donma – çözülme koşulu (D)</u> .....	96
<u>3.2.4.3. Termal şok koşulu (T)</u> .....	99
<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA</b> .....	<b>102</b>
4.1. Mineralojik – Petrografik Analiz Bulguları.....	102
4.2. Kimyasal Analiz Bulguları.....	107
4.3. Fiziko – Mekanik Analiz Bulguları.....	107
4.4. Kopma Enerjisi – Çarpma Dayanımı – Ses Hızı Bulguları.....	112
4.4.1. Regresyon analizi.....	126
4.4.1.1. <u>Fiziko – mekanik bulgular ile kopma enerjisi bulgularının değerlendirilmesi</u> .....	132
4.4.1.2. <u>Fiziko – mekanik bulgular ile çarpma dayanımı bulgularının değerlendirilmesi</u> .....	139
4.4.2. Varyans analizi ve çoklu karşılaştırma testleri.....	146
4.4.2.1. <u>Kopma enerjisi bulgularının değerlendirilmesi</u> .....	149
4.4.2.2. <u>Çarpma dayanımı bulgularının değerlendirilmesi</u> .....	152
4.4.2.3. <u>Ses hızı bulgularının değerlendirilmesi</u> .....	156
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b> .....	<b>161</b>
5.1. Sonuçlar.....	161
5.2. Öneriler.....	165
<b>KAYNAKLAR DİZİNİ</b> .....	<b>168</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>179</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<b><u>Sekil</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
1.1 Doktora tez çalışması akış planı.....	8
2.1 Sünek kırılmalarda hasar oluşumu.....	15
2.2 Gevrek kırılma.....	16
2.3 Darbe dayanım indeksi deney aleti.....	26
2.4 Düşüş sayısı n ile n/v arasındaki ilişkiyi gösteren eğrilerden KDK değerinin tespiti.....	30
2.5 Düzeltilmiş darbe dayanımı ölçme aygıtı.....	34
2.6 Türkiye için hazırlanmış eş donma – çözülme çevrim sayısı kontur haritası.	42
3.1 Doğal taşların fabrikalarda ebatlanması.....	63
3.2 Deneylerde kullanılan doğal taşların genel görüntüsü.....	63
3.3 Rigaku marka XRF cihazı.....	67
3.4 Quantachrome Ultrapycnometer 1000 marka – model Helyum Piknometresi.....	68
3.5 Pundit Plus marka ultra – ses.....	71
3.6 Shimadzu HVM mikro sertlik cihazı.....	72
3.7 20 °C’de numune hacmi ile Shore sertlik değerleri arasındaki ilişki.....	74
3.8 80 cm <sup>3</sup> hacimli numuneler için numune sıcaklığı ve Shore sertlik değerleri arasındaki ilişki.....	74
3.9 Proceq Equotip 3 marka – model Shore Sertlik ölçüm cihazı.....	75
3.10 Tek eksenli basınç tayininde kullanılan pres.....	76
3.11 Deney numunesi için yükleme düzeneği.....	77
3.12 Sabit moment altında eğilme dayanımı tayininde kullanılan cihaz.....	78
3.13 Nokta yük dayanım indeksi tayini deneyinde kullanılan cihaz.....	79
3.14 Cihazın yük (P) göstergesi.....	80
3.15 Blok örnekler için kırılma şekilleri.....	80
3.16 Darbe dayanımı cihazının şematik görüntüsü.....	81
3.17 Darbe dayanımı tayini deneyinde kullanılan cihaz.....	82
3.18 Kopma enerjisi deney cihazı.....	90
3.19 Donma çözülme koşullandırması yapılan numunelerin etüvde kurutulması..	97
3.20 Sabit tartıma getirilen numunelerin suya doygun hale getirilmesi.....	97

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.21 Numunelerin Arşimed Terazisi'ndeki kütle ölçümleri.....	99
3.22 Numunelerin dondurucu tanka yerleştirilmiş hali.....	99
3.23 Termal şok koşullandırması yapıla numunelerin hava dolaşımli etüve yerleştirilmiş hali.....	101
3.24 Numunelerin suya daldırılmış hali.....	101
4.1 Kemalpaşa Beyaz taşının çift nikol ince kesit görüntüsü.....	104
4.2 Muğla Beyaz taşının çift nikol ince kesit görüntüsü.....	105
4.3 Afyon Şeker taşının çift nikol ince kesit görüntüsü.....	106
4.4 Koşullandırma şartına göre kopma enerjisi sonuçları.....	115
4.5 Numune kalınlığına göre kopma enerjisi sonuçları.....	116
4.6 Koşullandırma şartına göre çarpma dayanımı sonuçları.....	120
4.7 Numune kalınlığına göre çarpma dayanımı sonuçları.....	121
4.8 Koşullandırma şartına göre ses hızı sonuçları.....	124
4.9 Numune kalınlığına göre ses hızı sonuçları.....	125
4.10 Bağımlı ve bağımsız değişkenin ilişki durumu.....	127
4.11 Doğrusal regresyon analizi grafiği.....	128
4.12 Kopma enerjisi ile fiziko – mekanik özellikler arasındaki ilişkilerin grafikleri.....	136
4.13 Çarpma dayanımı ile fiziko – mekanik özellikler arasındaki ilişkilerin grafikleri.....	143
4.14 Varyans analizi ve çoklu karşılaştırma testi akım şeması.....	148

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 Doğal taşların adlandırılması.....	60
3.2 Deneylerde kullanılan doğal taş numunelerinin örnek kodu, ticari adı, çıkarıldığı bölge.....	62
3.3 Yapılan deneylerde kullanılan numune özellikleri.....	65
3.4 Kopma enerjisi – çarpma dayanımı – ses hızı tayininde kullanılan numune özellikleri.....	88
3.5 Kullanılan standart Cen kumunun elek analizi.....	91
3.6 Deneylerde kullanılan bilyeler ve özellikleri.....	92
3.7 Kontrol numunelerinin son bilye kırılma yüksekliği.....	94
3.8 Deney numuneleri bilye ilk düşme yüksekliği.....	94
3.9 Donma – çözülme koşullandırmasında kullanılan toplam numune sayıları.....	96
3.10 Termal şok koşullandırmasında kullanılan toplam numune sayıları.....	100
4.1 Doğal taşları oluşturan ana ve tali bileşenlerin doku ve yapı özellikleri	103
4.2 Mermerlerin kimyasal analiz sonuçları.....	107
4.3 Kemalpaşa Beyaz örneğinin fiziko – mekanik analiz sonuçları.....	109
4.4 Muğla Beyaz örneğinin fiziko – mekanik analiz sonuçları.....	110
4.5 Afyon Şeker örneğinin fiziko – mekanik analiz sonuçları.....	110
4.6 Mermerlerin termal şok analiz sonuçları.....	111
4.7 Kopma enerjisi sonuçları.....	113
4.8 Çarpma dayanımı sonuçları.....	118
4.9 Ses hızı sonuçları.....	123
4.10 Kullanılan model denklemleri.....	128
4.11 Fiziko – mekanik özellikler ile kopma enerjisi arasındaki ilişkiler.....	134
4.12 Fiziko – mekanik özellikler ile çarpma dayanımı arasındaki ilişkiler...	141
4.13 Kopma enerjisinin (J) varyans analizi sonucu.....	149
4.14 Kopma enerjisinin taş türü değişkenine bağlı çoklu karşılaştırma analizi.....	150

## ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<b><u>Çizelge</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
4.15 Kopma enerjisinin kalınlık değişkenine bağlı çoklu karşılaştırma analizi.....	151
4.16 Kopma enerjisinin koşul değişkenine bağlı çoklu karşılaştırma analizi..	152
4.17 Çarpma dayanımının (kPa) varyans analizi sonucu.....	153
4.18 Çarpma dayanımının taş türü değişkenine bağlı çoklu karşılaştırma analizi.....	154
4.19 Çarpma dayanımının kalınlık değişkenine bağlı çoklu karşılaştırma analizi.....	155
4.20 Çarpma dayanımının koşul değişkenine bağlı çoklu karşılaştırma analizi.....	156
4.21 Ses hızının (m/s) varyans analizi sonucu.....	157
4.22 Ses hızının taş türü değişkenine bağlı çoklu karşılaştırma analizi.....	158
4.23 Ses hızının kalınlık değişkenine bağlı çoklu karşılaştırma analizi.....	159
4.24 Ses hızının koşul değişkenine bağlı çoklu karşılaştırma analizi.....	160

## SİMGELER KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

### Açıklama

cm	Santimetre
cm <sup>2</sup>	Santimetrekare
dk	Dakika
F	F İstatistiği Değeri
g	Gram
J	Joule
kg	Kilogram
kPa	Kilopaskal
m	Metre
m <sup>2</sup>	Metrekare
mm	Milimetre
MPa	Megapaskal
N	Newton
°C	Derece Santigrat

### Kısaltmalar

### Açıklama

A	Afyon Beyaz mermeri
AG	Açık gözeneklilik
AKÜ	Afyon Kocatepe Üniversitesi
ASTM	Amerikan Malzeme Test Birliği
BD	Tek eksenli basınç dayanımı
BSD	Brinell sertliği değeri
D	Donma – çözülme koşulu
DAL	Akredite Doğal Taş Analiz Laboratuvarı
DD	Darbe dayanımı
DSB	Don sonrası basınç dayanımı



## SİMGELER KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
ED	Sabit moment altında eğilme dayanımı
EN	Avrupa Standartları
ESOGÜ	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
GY	Görünür yoğunluk
HK	Knoop Sertliği birimi
HS	Shore sertliği birimi
İMMİB	İstanbul Maden ve Metaller İhracatçı Birlikleri
ISI	Darbe dayanım indeksi
ISRM	Uluslararası Kaya Mekaniği Birliği
K	Kemalpaşa Beyaz mermeri
KDK	Kayaç dayanım katsayısı
KS	Knoop sertliği
M	Muğla Beyaz mermeri
M.Ö.	Milattan önce
M.S.	Milattan sonra
MISI	Düzeltilmiş darbe dayanım indeksi
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
N	Normal koşul
NY	Nokta yük dayanım indeksi
ÖA	Özgül ağırlık
SE	Atmosfer basıncında su emme
SH	Ses hızı
SS	Shore sertliği
T	Termal şok koşulu
TG	Toplam gözeneklilik
TS	Türkiye Standartları
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TTK	Türkiye Taş Kömürü Kurumu
XRF	X - ışınları floresans spektrometresi

## 1. GİRİŞ VE AMAÇ

Doğal taşların kullanımı insanlık tarihiyle başlamaktadır. İnsanoğlu kayacı başlangıçta beslenme ve savunma amaçlı av silahlarının yapımında; daha sonra ise konut olarak barınma ve korunma amaçlı kullanmıştır (Kulaksız, 2007). Taş, dayanıklı ve kalıcı olma özelliği sayesinde, insanoğlunun varoluşundan günümüze kadar insan yaşamının bir parçası olmuş ve yakın geçmişe kadar barınma gereksinimini karşılayan en önemli malzeme özelliğini korumuştur (Öztank, 1999). Anadolu'da tarih öncesi ve sonrası uygarlıklarda, taş devrinde yerleşim temel yapılarının taştan, üst yapılarının kerpiçten olduğu tespit edilmiştir (Akurgal, 1987). Yani, insanlar tarafından bilinen ve kullanılan en eski inşaat malzemelerinden birisi de doğal taşlardır (Çelik, 2003).

Doğal taş kullanımı antik çağlardan günümüze kadar artarak gelmiş ve çeşitli taşlardan bir çok mimari yapı ve sanat eseri yapılmıştır. Eski Mısırlılar (M.Ö. 2989 – 2445), Mezopotamyalılar (M.Ö. 2100 – 1755), Hititler (M.Ö. 2000), Lidyalılar (M.Ö. 5), Persler (M.Ö. 550), Eski Yunanlılar (M.Ö. 300), Grek Romenler (M.Ö. 146 – M.S. 330), Romalılar (M.Ö. 8-500 – M.S. 1453), Selçuklular (M.S. 1096 – 1157), Osmanlılar (M.S. 1299 – 1924) ve diğer birçok medeniyet tarafından doğal taşlar yapı taşı olarak işlenerek pek çok alanda kullanılmışlardır (Onargan vd., 2011). Özellikle Hitit, Frig, Lidya, Bergama Krallıkları ve Roma Dönemi'nde (M.Ö. 1600 – M.S. 300) tapınakların yapılmasında doğal taşların (bazalt, andezit, kireç taşı, traverten, hakiki mermer ve granitler) kullanıldığı görülmektedir. Anadolu'da ise; kale surlarının, tapınakların, açık tiyatro alanlarının, pazar yerlerinin, su kemerlerinin, köprülerin, döşeme taş yolların, caddelerin, lahitlerin ve mezar taşlarının yapımında doğal taşlar kullanılmıştır (Dost, 1999). Doğal taşların bu kadar geniş bir yelpazede; hem yapı taşı olarak, hem de dekorasyon ve heykeltçilikte kullanılmasında doğada hazır halde bulunması sebebi ile kolay ulaşılabilmesi, fiziksel ve mekanik özellikleri sebebi ile kullanımda uzun ömürlü olması, oluşum sebebi ile çok farklı renk, doku ve desende olması sayılabilir.

25 Haziran 1985 tarihinde yayınlanan 3382 sayılı Maden Yasası'nda belirtildiği gibi kesilip parlatılabilen ve ekonomik değeri olan her türlü doğal taş endüstriyel anlamda mermerdir (Öztank, 1999). Bugün ülkemizde, doğal taş (mermer) terimi; kireçtaşı,

dolomit, dolomitik kireçtaşı, kristalin karbonatlı kayalar ile sert taşlar için kullanılmaktadır. Petrografik anlamda; kireçtaşı (kalker), dolomitik kalker ve/veya bunların değişik oranlarından oluşan karbonatlı kayaların değişik sıcaklık ve basınç altında metamorfizmaya uğrayarak, tekrar kristalleşmesi sonucunda oluşan yeni doku ve yapıya sahip metamorfik (başkalaşım) kalsit kristallerinden oluşan kayalara doğal taş (mermer) adı verilmektedir. Endüstriyel anlamda doğal taş (mermer); ekonomik olarak uygun boyutlarda blok (kütük) olarak kesip çıkarılabilen, istenilen ebatlarda düzgün olarak kesilip, talebe göre cilalanıp parlatılabilen kayalar olarak tanımlanmaktadır. Dolayısıyla ekonomik bir değere sahip her türlü kayaç doğal taş olarak adlandırılmaktadır (Kulaksız, 2007).

Dünyanın en zengin mermer yataklarının bulunduğu Alp - Himalaya kuşağında yer alan Türkiye; 5,1 milyar m<sup>3</sup> – 13,9 milyar ton muhtemel mermer rezervine sahiptir. Bu değer, 15 milyar m<sup>3</sup> olduğu tahmin edilen dünya rezerv toplamının %33'üne karşılık gelmektedir. Dünya pazarlarında beğeni kazanabilecek nitelikte doğal taş çeşidine sahip olan Türkiye'de, rezervler Anadolu ve Trakya boyunca geniş bir bölgeye yayılmıştır. Rezervlerin bölgelere göre dağılımı, Ege Bölgesi %32, Marmara Bölgesi %26, İç Anadolu Bölgesi % 11, Doğu Anadolu Bölgesi, Güneydoğu Anadolu Bölgesi, Karadeniz Bölgesi ve Akdeniz Bölgesi toplamda %31 şeklindedir (Sektör Raporu, 2016).

Doğal taş sektörünün üretim hacmindeki artışa paralel olarak ihracat potansiyeli de hızla gelişmektedir (Çonkar vd., 2010). Türkiye'nin 143,7 milyar dolar olan 2015 yılı toplam ihracatının 3,9 milyar dolar ile %2,7'si madencilik sektörü tarafından gerçekleştirilmiştir. 2015 yılı maden ihracatının mal gruplarına göre dağılımına bakıldığında; mermer-traverten ham, kabaca yontulmuş veya blok mal grubu 4,3 milyon ton ve 873 milyon dolarla 2015 yılında toplam maden ihracatı içinde en fazla ihraç edilen ürünler olurken; işlenmiş mermer 1,5 milyon ton ve 753 milyon dolarla ikinci; krom cevherleri 1,2 milyon ton ve 251,4 milyon dolarla üçüncü; bakır cevherleri 298 bin ton ve 251,2 milyon dolarla dördüncü; tabi boratlar ve konsantreleri 713 bin ton ve 231 milyon dolarla beşinci sırada yer almıştır (İMMİB, 2016).

Doğal olması, bazı türlerinin renkli olması, hava geçirgenliğine sahip olması, bazı ışınları absorbe edebiliyor olması gibi özellikleri nedeniyle, doğal taşlar pek çok alanda

kullanılmaktadır. Türkiye’de doğal taş tüketiminin yaklaşık %57’si inşaat sektöründedir (Çonkar vd., 2010). İnşaat sektörünün yanı sıra doğal taşlar, mimarlık, güzel sanatlar ve tasarım alanında da oldukça yaygın kullanılmaktadır. İnşaat ve mimarlık sektöründe kaplama, döşeme ve dekorasyon amaçlı kullanılırken; güzel sanatlar ve tasarım alanında ise, restorasyon, heykeltçilik, mozaik ve süs eşyası (biblo, vazo vb.) yapımında kullanılmaktadır. Türkiye’de doğal taşların tüketim alanlarına göre tüketim yüzdeleri incelendiğinde; %36,5 ile zemin döşemesi olarak kullanımı ilk sırada gelmektedir. İnşaat sektörü açısından incelendiğinde zemin döşemesini, %9,5 ile iç duvar kaplaması, %7,5 ile dış duvar kaplaması, %3,5 ile basamaklar takip etmektedir. İnşaat sektörü dışında kalan doğal taş tüketiminde ise, %13 ile hediyelik eşya, %10 ile heykel, %7,5 ile mezar taşları ve %2,5 ile diğer alanlar gelmektedir (Onargan vd., 2011).

Doğal taş işletmelerinin temel politikası, kaliteli ürün ve ihracatta sürekliliği sağlayan sürdürülebilir standart üretim olmalıdır. Sürdürülebilir standart üretim dünya standartlarına uygun, mümkün olduğunca homojen ve aynı kalitedeki ürünlerin uluslararası piyasaya sunulması ile mümkün olabilir. Sürdürülebilir standart üretim, birim zamanda ekonomik ve kaliteli birim ürün üretimi olarak tanımlanabilir. Anlaşılacağı üzere sürdürülebilir standart üretimde temel faktör, kaliteli üretimdir (Karaca, 2003). Kalite, kullanımda uygunluk derecesi demektir (Saraç ve Özdemir, 2003). Doğal taşların özelliklerinin en iyi şekilde belirlenmesi ve standartlar dahilinde kullanıma uygun hale getirilmesi doğal taşların hem kalitesini hem de ekonomik değerini artırmaktadır (Akçakoca vd., 2003). Dünya doğal taş talebinde bulunan tüm ülkeler daima mümkün olan en iyi malı daha ucuza almayı amaçlamaktadır. Kalite ve maliyet fonksiyonları her ne kadar birbiri ile çelişse de, ihracat olanaklarının artışı kalite ile lineer bağlantılıdır. Kalite, ancak standardizasyon çalışmaları ile sağlanabilecek bir unsurdur. Standardizasyon; belirli bir faaliyetle ilgili olarak ekonomik fayda sağlamak üzere bütün ilgili tarafların yardım ve iş birliği ile belirli kurallar koyma ve bu kuralları uygulama işlemidir. Doğal taşlarla ilgili, Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından oluşturulmuş pek çok standart mevcuttur. Bu tez çalışması kapsamında da; TSE tarafından belirlenmiş doğal taş standartlarına uygun çok sayıda deney gerçekleştirilmiştir. Bunu yanı sıra bu çalışmada, TS EN 14158 kodlu ‘Doğal Taşlar - Deney Yöntemleri - Kopma Enerjisinin Tayini’ isimli standardın deney yöntemi gerçekleştirilen çok sayıdaki deney ile detaylıca incelenmiş ve bu standardın geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Günümüz koşullarında üretilen veya tüketilen ürünlerin özelliklerinin bilinmesi kaçınılmaz bir zorunluluk olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu durum, rekabet edebilmenin veya kaliteli ürün kullanabilmenin bir gereğidir. Bir çok farklı taş türünün bulunduğu doğal taş sektöründe de, hangi türün hangi amaçla kullanılabilceğinin bilinmesi önemli bir gereksinimdir (Uysal vd., 2003). Bir taşın yapı sektöründe veya dekoratif amaçlı kullanım alanı belirlenirken; öncelikle taşın kullanılacağı mekanın özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Mekanın, iç mekan mı, dış mekan mı olduğu; ıslak zemin mi, kuru zemin mi olduğu; iklim koşullarının nasıl olduğu; sıcaklık farklarının olup olmadığı; yaya sirkülasyonu ve yoğunluğunun hangi düzeyde olduğu; taşın güneş ışınlarına maruziyetinin olup olmayacağı mutlaka titizlikle irdelenmelidir. Ayrıca taşın yer döşemesi olarak mı yoksa duvar kaplaması olarak mı kullanılacağı da oldukça önemlidir. Tüm bu mekan özelliklerinin belirlenmesinin ardından kullanıcı zevki ve estetik de göz önünde bulundurularak taş seçimine geçilmelidir. Taş seçiminde ise; taşın jeolojik kökeninin (sedimenter, magmatik, metamorfik), kimyasal bileşiminin, fiziksel özelliklerinin (özgül ağırlık, su emme, porozite, sertlik vb.) ve mekanik özelliklerinin (basınç dayanımı, eğilme dayanımı, aşınma direnci, darbe dayanımı, don sonrası basınç dayanımı vb.) belirlenmesi gerekmektedir. Sonrasında ise, mekan özellikleri ile taş özellikleri örtüştürülerek uygun taş seçimi gerçekleştirilmelidir. Doğal taşların doğru yerlerde kullanımı, estetik ve uzun ömürlü sonuçlar verirken; yanlış yerlerde kullanımı da istenmeyen sonuçları beraberinde getirmektedir (Öztank ve Türkmen, 2001). Hatalı bir uygulama sonucunda ortaya çıkan bir işin yeniden yapılması ve/veya onarılması iki kat işçilik maliyetine, zaman ve malzeme kaybına sebep olmaktadır (Koçu ve Dereli, 2003). Bu olumsuz koşullar doğrudan yapı maliyetine yansıdığı gibi, dolaylı olarak da milli ekonomiye yansiyacaktır. Bu nedenle, kullanılacak ortam koşulları ve kullanım yerine göre kimyasal, fiziksel, mekanik özellikleri göz önünde bulundurularak doğal taş seçimi gerçekleştirilmelidir.

Doğal ortam şartlarının doğal taşlar üzerindeki zamana bağlı etkisi, kullanım ömrü ve uygunluğu açısından incelenmesi gereken önemli konulardan biridir (Efe vd., 2012). Özellikle yapı sektöründe ve mimari alanda kullanılan doğal taşlar, kullanım yerlerine göre fiziksel (atmosferik), kimyasal ve/veya biyolojik etkenlerin etkisine maruz kalmaktadır. Üretilen doğal taşlar sadece üretildikleri bölgelerde değil dünyanın dört bir yanında farklı projelerde yapı malzemesi veya mimari amaçlı kullanılabilir. Aynı bölgede üretilen mineralojik yapısı, kimyasal içeriği ve fiziko – mekanik özellikleri benzer olan doğal

taşlar, kullanım yerlerine göre çok farklı iklim koşullarına maruz kalmaktadırlar. Benzer özellikte olmalarına rağmen, farklı iklim koşulları karşısında gösterdikleri etkilenme aynı olmayabilmektedir. Sıcak bir bölgedeki iklim koşullarına dayanıklı olan bir doğal taş, soğuk bir bölgedeki iklim koşullarına aynı direnci gösteremeyebilir. Doğal taşların yağmur, kar, don, sıcaklık farkları, rüzgar vb. atmosferik etkenlere ve bazı kimyasal etkenlere karşı gösterdikleri dayanıklılık, bu malzemelerin kimyasal ve mineralojik yapılarına ve kullanım yerlerinin özelliklerine göre değişmektedir (Sarılışık, 1998). Bu tür çevresel etkileşimlere maruz kalan doğal taşlarda, zamanla bütünlük kayıpları ve bozunmalar (alterasyonlar) gözlemlenmektedir. Doğal taşların yapısında meydana gelen bu bozulmalar, yapılarda onarım yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu onarım, hem farklı doğal taşların kullanılmasına, hem de ekstra işçilik giderlerinin ortaya çıkmasına sebep olacağından yapı maliyetini de arttırmaktadır (Erdoğan ve Yaşar, 2001; Koçu ve Dereli, 2003). Bu nedenle, kullanım yeri belirlenen doğal taşın seçiminde atmosferik şartların en yıpratıcı koşullarından olan donma – çözülme ve termal şok gibi olayların taşın üzerindeki etkisinin önceden biliniyor olması gerekmektedir (Efe vd., 2012).

Doğal taşlar günümüzde pek çok yapıda (evler, oteller, havaalanları, alışveriş merkezleri, hastaneler, laboratuvarlar vb.) zemin döşemesi, duvar döşemesi ve tezgah malzemesi olarak kullanılmaktadır. Doğal taşların, özellikle yer karosu ve tezgah malzemesi olarak kullanıldıklarında sıklıkla maruz kaldıkları yüklemelerden birisi de, darbe (çarpma) yüklemeleridir. Bir cismin, diğer bir cisim ile anlık ve şiddetli bir şekilde çarpışması olarak tanımlanan darbeye karşı, doğal taşların vereceği tepkinin tespit edilebilmesi mühendislik uygulamalarında beklenmedik sonuçların ortaya çıkmaması için oldukça önemlidir. Doğal taşların kullanım alanlarında maruz kaldıkları darbe yüklemeleri genellikle, ya üzerinde taşınan bir malzemenin düşürülmesi şeklinde doğrudan, ya da üzerinde bir başka malzemenin kırılmaya çalışılması şeklinde dolaylı olarak gözlemlenmektedir. Bu tür darbeler, benzer yapıda ve düşük hızda olmalarına karşın; etkileri çok değişkendir. Bu değişken etkiler nedeniyle, darbe yüklemesine maruz kalan doğal taşta bazen gözle görülür bir kusur oluşmazken, bazen pullanma, bazen çatlama, bazen de kırılma gözlemlenebilmektedir. Ayrıca, bu etkilerin değişken olmasında iki ana etken vardır. Bunlardan ilki; düşen malzemenin yapısal özelliklerinden (malzemenin düşme yüksekliği, malzemenin ağırlığı ve şekli, vb.); ikincisi ise kullanılan doğal taşın yapısal özelliklerinden (mineral içeriği, kristal tane boyu, sertliği, dayanımı, oluşumundan

veya üretiminden kaynaklı mikro ve/veya makro çatlaklar içermesi vb.) kaynaklanmaktadır.

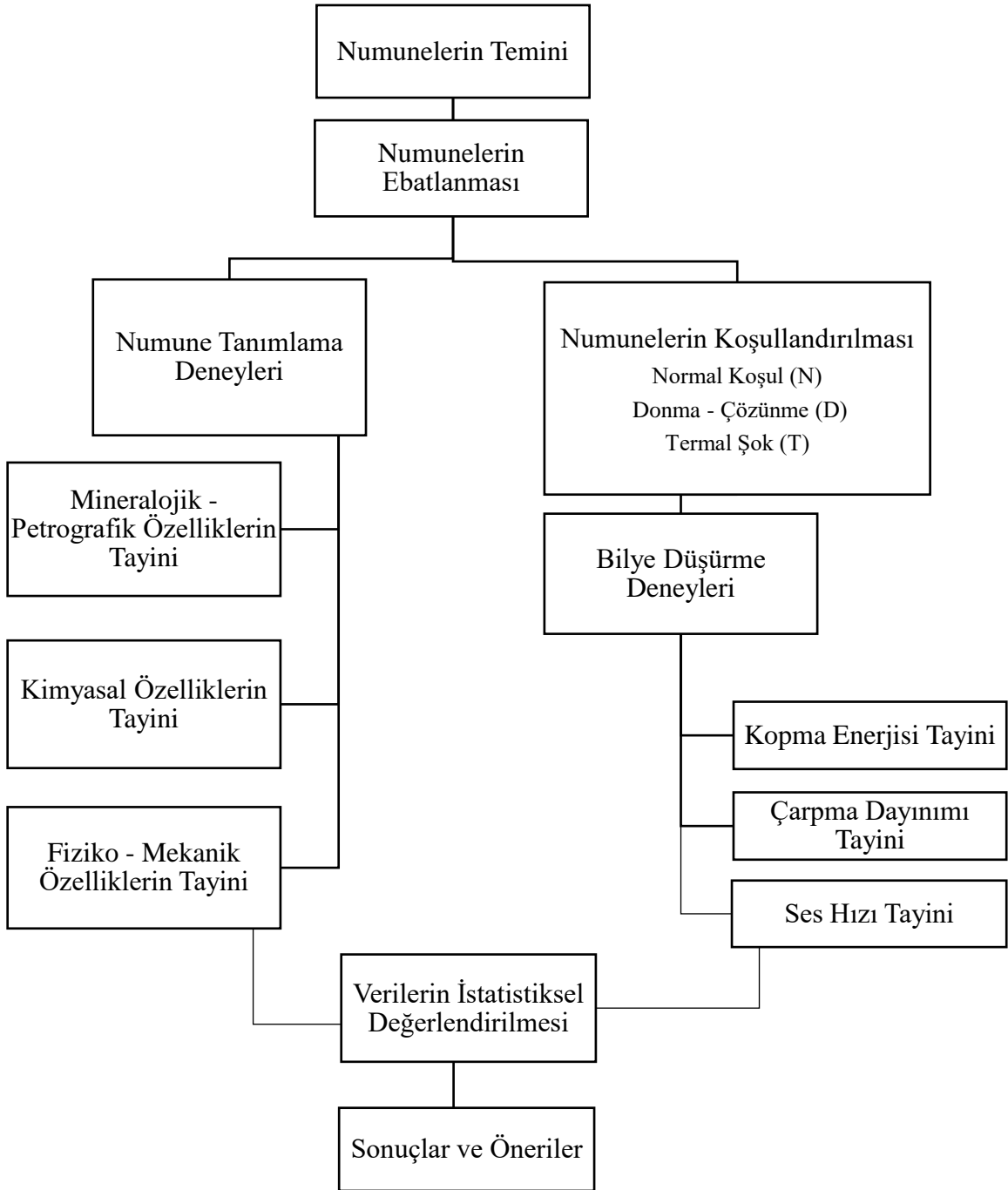
Darbe yüklemesi karşısında malzemenin darbe davranışını karakterize eden farklı testler mevcuttur. Uygulanan darbe hızına göre bu testler, düşük hızlı ve yüksek hızlı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Günlük hayatta karşılaşılan darbe yüklemeleri genellikle, düşük hızlı darbelerdir. Düşük hızlı darbe testlerinden sarkaç testleri genellikle metal malzemelerin darbe davranışını karakterize etmekte kullanılırken; ağırlık düşürme testleri ise kompozit malzemelerin darbe davranışını karakterize etmekte kullanılmaktadır. Bugüne kadar darbe ile ilgili yapılan çalışmaların çoğu metaller ve kompozitler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Sarkaç testlerinin uygulanma prosedürlerinin standart olmasına karşın; ağırlık düşürme testleri için çok farklı uygulama prosedürleri (farklı ağırlıklı düşürücüler, farklı şekilli düşürücüler, farklı düşürme yükseklikleri, farklı numune boyutları vb.) vardır. Ağırlık düşürme testlerinde, farklı ülkeler ve farklı kuruluşların belirlediği ve kullandığı standartlar olmakla birlikte; darbe davranışını karakterize etmek için araştırmacılar arasında yaygın bir şekilde kabul görmüş herhangi bir standart deney yöntemi mevcut değildir. Ayrıca, kayaçlar veya doğal taşlar için bugüne kadar yapılan çalışmalarda, ağırlık düşürme testi ile darbe yüklemesine verilen tepki karakterize edilmemiştir. Bu çalışma kapsamında da, doğal taşların darbe davranışı oldukça yeni bir doğal taş standardı (TS EN 14158) ile değerlendirilmektedir. Bu standart, düşük hızlı darbe testlerinden serbest düşme prensibine dayanan ağırlık düşürme testi ile doğal taşların kopma enerjisini belirleme esasına dayanmaktadır.

Oluşumlarına göre doğal taşlar; sedimenter (tortul) kökenli, magmatik (plütonik-vulkanik) kökenli, metamorfik (başkalaşım) kökenli olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. İnşaat sektöründe geniş kullanım alanına sahip doğal taşlar ticari anlamda ise; traverten, beyaz mermer, renkli mermer ve sert taşlar (granit, granodiorit, siyenit, vb.) olarak dört grupta toplanmaktadır (Öztank, 1999). Bu çalışmada, oluşumlarına göre metamorfik kökenli ve ticari olarak ise beyaz mermer grubundan Afyon Şeker, Kemalpaşa Beyaz ve Muğla Beyaz olmak üzere üç farklı doğal taş kullanılmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında, üç farklı metamorfik kökenli gerçek mermerin TS EN 14158 kodlu ‘doğal taşlarda kopma enerjisinin tayini’ isimli standarda göre kopma enerjisi

değerleri ve standartta hesaplaması bulunmayan ancak, kopma enerjisi değerinden Sarıışık, 2012 tarafından yapılan çalışmada önerilen eşitliklerle hesaplanabilen çarpma dayanımı değerleri belirlenmiştir. Ayrıca bu çalışmada, standartta bulunmayan farklı kalınlıkta (1 cm, 2 cm, 3 cm) olan numunelerin ve farklı ortam koşullarıyla koşullandırılmış (normal koşul, donma – çözülme koşullandırması ve termal şok koşullandırması) numunelerin de kopma enerjisi ve çarpma dayanımı değerleri belirlenmiştir. Farklı kalınlık ve farklı koşullandırma şartlarının, kopma enerjisine ve çarpma dayanımına etkisi araştırılmıştır. Mermerlerin mineralojik – petrografik özellikleri, kimyasal özellikleri, fiziko – mekanik özellikleri de uygun standartlar kullanılarak belirlenmiş ve bugüne kadar doğal taşlarla ilgili yapılan çalışmalar baz alındığında, oldukça yeni sayılabilecek iki özellik olan kopma enerjisi ve çarpma dayanımı değerleri ile doğal taşların belirlenen diğer özellikleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Şekil 1.1’de hazırlanan doktora çalışmasının planı verilmektedir.





**Şekil 1.1.** Doktora tez çalışması akış planı

Hazırlanan doktora tez çalışmasının akışının daha anlaşılabilir olması ve çalışmanın kısaca tanıtılabilmesi için çalışmanın alt bölümleri hakkında aşağıda kısa açıklamalara yer verilmiştir.

Giriş bölümünde; Türkiye'deki doğal taş rezervi, üretimi ve ihracatı, kalite ve standardizasyonun tanımı ile doğal taş üretimi ve kullanımındaki önemi, doğal taşların tarihteki ve günümüzdeki kullanım alanları, doğal taşların kullanım yerlerinde maruz kaldığı ve bütünlüğünün bozulmasına neden olan etkenler, kullanım yeri ve ortam koşuluna göre uygun doğal taş seçiminin önemi ile yapılan çalışmanın amacına yer verilmiştir.

Literatür araştırması bölümünde; çalışmaya konu olan çarpma (darbe) (impact) olayının daha iyi anlaşılabilmesi için malzemelere uygulanan yük türleri, malzemelerin bu yükler karşısındaki davranışları ve çarpışma türleri incelenmiştir. Genel olarak, darbe dayanımının belirlenmesinde kullanılan test yöntemleri kısaca açıklanmış ve bu doktora çalışmasında kullanılan deney yöntemi ağırlık düşürme testleri sınıfında yer aldığı için madencilik alanında bu test yöntemindeki prensiple çalışan ve bugüne kadar kullanılan diğer darbe (çarpma) testleri ve bu testler kullanılarak yapılan bilimsel çalışmalar incelenmiştir. Ayrıca, bu doktora çalışması kapsamında, doğal taşlara donma – çözülme ve termal şok koşullandırması yapıldığı için, kayaçların bozunması hakkında teorik bilgiler ve doğal taş bozunmasının doğal taşların özellikleri üzerine etkilerini inceleyen bugüne kadar yapılmış bilimsel çalışmalara da yer verilmiştir.

Materyal ve yöntem bölümünün materyal kısmında; doğal taş tanımı ve sınıflamasından kısaca bahsedilerek çalışmada kullanılan doğal taşlar tanıtılmıştır. Yöntem kısmında ise; kullanılan doğal taşların mineralojik – petrografik analizlerinin, kimyasal analizlerinin, fiziko – mekanik analizlerinin hangi yöntem, araç ve standartlar ile belirlendiği tarif edilmiştir. Sonrasında, doktora çalışmasının asıl deneyi olan TS EN 14158 kodlu 'Doğal Taşlar - Kopma Enerjisinin Tayini' isimli deney ve bu deneyde kullanılan normal koşul, donma – çözülme koşulu ve termal şok koşulu ile koşullandırılan numunelerin koşullandırma yöntemleri tarif edilmiştir.

Bulgular ve tartışma bölümünde; çalışmada kullanılan doğal taşların mineralojik – petrografik özellikleri ince kesit görüntüleri üzerinden tarif edilmiş; kimyasal özellikleri ve fiziko – mekanik özellikleri ise tablolar halinde sunulmuştur. Üç farklı koşullandırma yöntemiyle koşullandırılmış üç farklı kalınlıktaki üç farklı doğal taşın doğal taşın ses hızı değerleri ölçülmüş ve kopma enerjisi ile çarpma dayanımı değerleri ise hesaplanmıştır.

Örneklerin kopma enerjisi ve çarpma dayanımı değerleri ile diğer özellikleri arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak incelenmiştir. Ayrıca, numune koşullandırmasının, numune kalınlığının ve numune türünün kopma enerjisi, çarpma dayanımı ve ses hızı değerleri üzerindeki etkileri de istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

Sonuçlar ve öneriler bölümünde ise, çalışmanın sonuçları özetlenerek doktoradan sonraki süreçte bu çalışmaya neler eklenebileceği hakkında önerilerde bulunulmuştur.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

### 2.1. Darbe mekaniği

Darbe (impact), bir tanenin ya da cismin diğer bir tane ya da cisim ile anlık ve şiddetli bir şekilde çarpışması olarak tanımlanmaktadır (Ekşi, 2011). Darbe mekaniği (impact mechanics) ise, bir çarpışma esnasında ortaya çıkan tepki kuvvetleri ile malzemelerin veya yapıların bu tepki kuvvetlerine olan dinamik cevabı ile ilgilenen bilim dalıdır (Kara, 2006).

#### 2.1.1. Çarpışmalar

Bir cismin sabit bir noktaya göre yerinin zamana karşı değişimine hareket; bir cismin şeklini veya hareketini değiştirebilen etkiye ise kuvvet denmektedir. Hareketi ve bu hareketi meydana getiren kuvveti inceleyen bilim dalı ise mekaniktir. Mekanik bilim dalının hareketi sağlayan kuvveti dikkate almaksızın, sadece hareketi inceleyen bölümüne kinematik; bir veya birden fazla kuvvetin etki etmesine rağmen hareket meydana gelmeyen (dengede kalma) şartları inceleyen bölümüne statik; harekete neden olan kuvvet ile hareket özellikleri arasındaki ilişkileri inceleyen bölümüne ise dinamik adı verilmektedir (Resnick ve Halliday, 1967; Köroğlu, 1976).

Çarpışma, iki cismin birbiri üzerinde impulsif (itme veya tepki) kuvvetler oluşturarak kısa bir süre için birlikte olmaları şeklinde tanımlanmaktadır (Gamov ve Cleveland, 1976; Serway and Beichner, 2000). Çarpışan iki cismin yüzeyleri bir araya geldiğinde (çarpışma gerçekleştiğinde), küçük bir temas alanında oldukça büyük bir kuvvet çok kısa bir zaman içinde çarpışan cisimlere etki etmektedir (Resnick ve Halliday, 1967).

Çarpışmalar sınıflandırılırken; çarpışma esnasında kinetik enerjinin korunup korunmadığı dikkate alınmaktadır. Kinetik enerjinin korunduğu çarpışmalar esnek (elastik); kinetik enerjinin korunmadığı çarpışmalar ise esnek olmayan çarpışmalar olarak nitelendirilmektedir. Gerçek anlamda esnek çarpışmalar, atom ve atom altı parçacıklar arasında gerçekleşenlerdir. Büyük kütleli cisimler arasında daima esnek olmayan

çarpışmalar gerçekleşmekle birlikte, bu çarpışmaların genellikle esnek oldukları kabul edilmektedir (Halliday ve Resnick, 1992).

Makroskobik iki cismin çarpışmasında, kinetik enerji korunmamasına rağmen, toplam enerji korunmaktadır. Kaybolan kinetik enerjinin bir kısmı; bazen iç enerjiye dönüşerek küçük bir sıcaklık artışı olarak, bazen potansiyel enerji olarak, bazen de çarpışan cisimleri oluşturan küçük parçacıklar da keyfi yönde hareket enerjisi olarak ortaya çıkabilmektedir. Yani, çarpışma öncesindeki ve sonrasındaki enerji türleri değişse de; sistemin toplam enerjisi değişmemektedir (Resnick ve Halliday, 1967).

Bir cismin veya cisimler sisteminin toplam momentumu dışarıdan bir kuvvet etki etmediği sürece değişmez. Diğer bir deyişle, dış kuvvetlerden korunmuş (yalıtılmış) bir sistemde momentümler toplamı daima sabittir. Çarpışmalarda da sisteme herhangi bir dış kuvvet etki etmediğinden esnek veya esnek olmayan tüm çarpışma olaylarında momentum korunmaktadır (Resnick ve Halliday, 1967; Köroğlu, 1976).

### 2.1.2. Yükleme türleri

Malzemelerin mekanik özellikleri maruz kaldığı yükleme koşuluna ve malzeme ve/veya ortam sıcaklığına göre farklılık göstermektedir (Akdoğan, 2008). Özellikle yükleme türü, malzemenin gerilme altındaki davranışını önemli ölçüde etkilediğinden, mühendislik malzemelerinin mukavemetlerini ve mekanik özelliklerini incelerken, malzemenin maruz kaldığı yükleme türünün ortaya konması son derece önemlidir. Malzemelerin genel olarak maruz kaldıkları yükleme türleri, kısa süreli statik yükleme, uzun süreli statik yükleme, tekrarlı yükleme ve dinamik yükleme olmak üzere dört gruba ayrılmıştır (Yayla, 2007).

- Kısa süreli statik yükleme: Bu yükleme türünde, yükleme oldukça yavaş gerçekleştiğinden herhangi bir anda tüm parçalar dengede kalmaktadır. Hasar ortaya çıkıncaya kadar kuvvet yavaşça artırılmakta ve hasarın oluştuğu yükleme süresi birkaç dakikayı geçmemektedir. Bu yükleme koşulunda, yorulma olayının oluşmaması için, kuvvet maksimum değerine ulaştıktan sonra sınırlı bir süre maksimum değerinde tutulmalıdır. Malzemelerin standart çekme testleri bu yükleme durumuna iyi bir örnektir.

- Uzun süreli statik yükleme: Bu yükleme türü de, tıpkı kısa süreli statik yüklemelerde olduğu gibi oldukça yavaş gerçekleştirilmesine karşın; yük, maksimum değerine ulaştığında, bu maksimum yük değerinde malzeme kısa süreli yüklemeden daha uzun süre bekletilmektedir. Yani, deneylerde öngörülen yük altında malzeme, son etkinin tespit edilebileceği yeterli bir süre bekletilebilmektedir. Servis şartlarında ise yük, malzemenin ömrü boyunca etkimektedir. Malzemelerin sürünme karakteristikleri ve uzun dönem mukavemeti, bu tür yüklemeler altında tespit edilmektedir.

- Tekrarlı yükleme: Bu yükleme türü, malzemeye uygulanan kuvvetin kısmen veya tamamen azaltılıp, tekrar yüklenmesi ile gerçekleştirilmektedir (Van Vlack, 1972). Bu tür yükleme, daha ziyade yüksek gerilmelerin birkaç kez ardı ardına uygulanması durumunda veya düşük gerilmelerin oldukça fazla sayıda uygulanması durumunda önemli olmaktadır. Yorulma olarak bilinen bu tür yüklemeye bir çok uygulamada rastlamak mümkündür.

- Dinamik yükleme: Bu yükleme koşulda ise; malzemede oluşan atalet kuvvetleri ve gerilme dalgalarının malzeme üzerindeki etkisi göz ardı edilemeyecek kadar hızlı yükleme gerçekleşmektedir. Bu koşulda yükleme ya çarpma (darbe) şeklinde olmakta veya yükleme yüksek hızda olacak şekilde test gerçekleştirilmektedir (Yayla, 2007).

### 2.1.3. Kırılma türleri

Mekanik davranış, malzemelerin uygulanan kuvvetlere karşı gösterdiği tepki olarak tanımlanmaktadır. Cisimler, artan dış zorlamalar altında önce şekil değiştirir; daha sonra da kırılırlar (Topçu, 2007). Kırılma, bir malzemenin çeşitli kuvvetlerin etkisiyle birden çok parçaya ayrılması olarak tanımlanabilmektedir.

Malzemeler bazen makroskobik boyutlarda ancak çoğunlukla da mikroskobik boyutlarda çatlaklar ve boşluklar içermektedirler. Mikroskobik düzeydeki çatlaklar, servis koşullarında ilerleyerek birleşmekte ve çatlamalara veya kırılmalara neden olmaktadır. Yani kırılma, çatlak oluşumu ile başlamakta ve çatlak yayılması ile gerçekleşmektedir.

Mekanik davranış açısından malzemeler sünek (esnek) ve gevrek (kırılgan) olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır (Topçu, 2007). Süneklik ve gevreklik bir malzeme

özelliği olmanın yanı sıra, yükleme şartları sonucu ortaya çıkan bir malzeme davranışıdır. Diğer bir deyişle; bazı durumlarda aynı malzeme yükleme şartlarına bağlı olarak hem sünek, hem de gevrek bir davranış sergileyebilmektedir (Yayla, 2007).

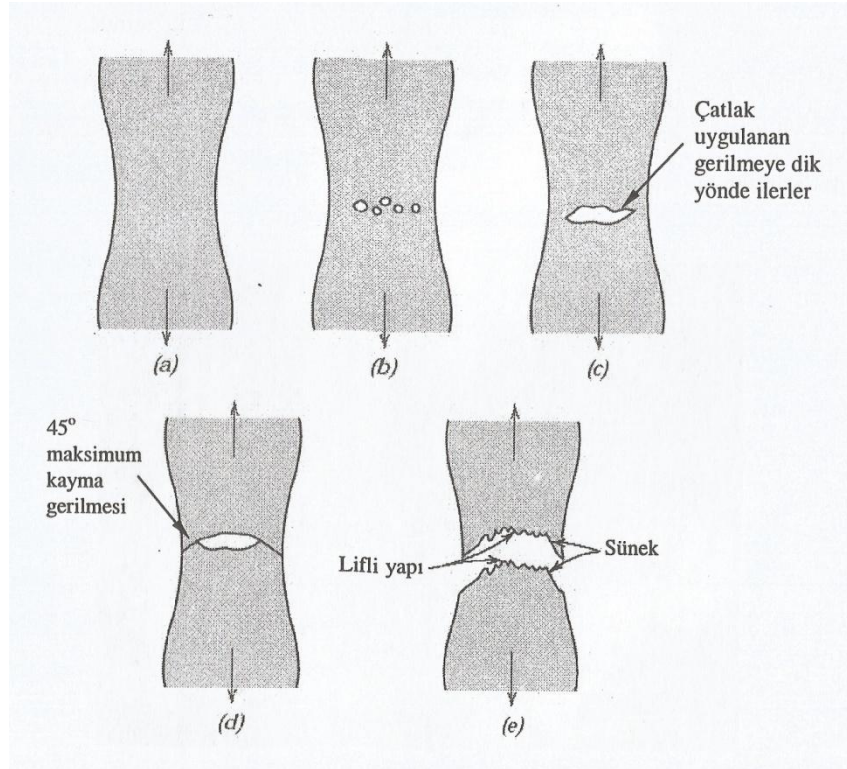
Kırılma çeşitlerini sınıflandırmak için başlıca üç yöntem vardır. Birincisi, kırılmanın mekaniği ile ilgili olan ve uygulanan yükler ile onların kırılma anında iç yapıdaki etkilerini önemseyerek yapılan sınıflandırmadır. İkincisi, malzeme kırılırken oluşan kalıcı deformasyonların miktarı ile ilgilidir. Sonuncu sınıflandırma ise, kırılma sırasında malzeme iç yapısının alacağı görüntü ile ilgilidir. Bu üç tür sınıflama sonunda da kırılma gevrek ve sünek olarak ikiye ayrılmaktadır (Atalay, 1981).

### **2.1.3.1.Sünek kırılma**

Sünek kırılmalarda kuvvetlerin etkisiyle önce malzeme boyun vermeye başlamakta ve boşluklar oluşmakta, sonrasında boşluklar birleşerek çatlağı oluşturmakta ve çatlak ilerlemesiyle kırılma gerçekleşmektedir (Şekil 2.1)(Vlack, 1972).

Sünek kırılma, malzemeye uygulanan kuvvetlerinin etkisiyle malzemede belirgin ölçüde plastik deformasyon ve büzülme oluştuktan sonra gerçekleşen kırılma türüdür. Plastik şekil değişimi gerçekleştiğinden kırılmanın nereden oluşacağı önceden anlaşılabilmekte ve gerekli önlemler alınarak herhangi bir zarara neden olması önlenilmekte ya da zararın etkisi azaltılabilmektedir. Sünek kırılmalarda büyük oranda plastik deformasyonun yanında, önemli miktarlarda enerji absorpsiyonu da gerçekleşmektedir. Bu nedenle, çatlak ilerlemesi yavaş ve kararlı olmaktadır. Ayrıca çatlağın oluşması ve ilerlemesi için çok büyük enerjiler gerekmektedir (Yayla, 2007).

Sünek kırılan malzemeler boşlukların birleşmesi sonucunda kırılmaya uğradıklarından; bu malzemelerin kırılma yüzeyleri makroskobik veya mikroskobik yöntemlerle incelendiğinde boşluk görünümüne benzer şekiller gözlemlenmektedir (Yayla, 2007).



**Şekil 2.1.** Sünek kırılmalarda hasar oluşumu. a) boyun verme, b) boşluk oluşumu, c) çatlak başlatmak üzere boşluk birleşmesi, d) çatlak ilerlemesi, e) kırılma (Yayla, 2007).

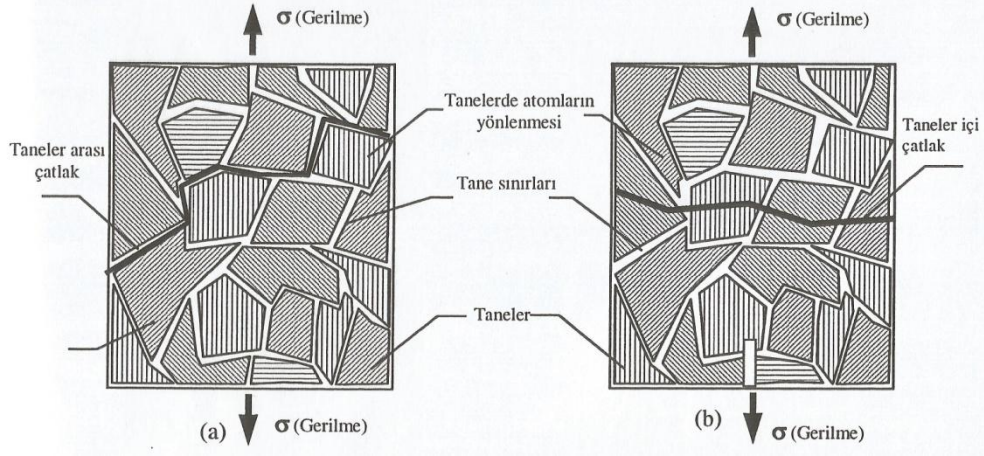
### 2.1.3.2. Gevrek kırılma

Malzemelerin uygulanan kuvvetlerin etkisiyle plastik şekilde değiştirme olmaksızın kırılmasına gevrek kırılma denmektedir. Kırılma öncesi herhangi bir plastik şekil değiştirme olmadığından; kırılma ani gerçekleşmekte ve kırılmanın nereden ve ne zaman olacağı ön görülememektedir. Geçmişte önemli kazalara ve büyük kayıplara yol açtığından gevrek kırılma üzerine yoğun araştırmalar yapılmış ve halen yapılmaktadır. Ayrıca, gevrek kırılma çok çeşitli etkenlerin rol aldığı karmaşık bir olay olduğundan henüz tam açıklanamamış ve kesin kurallar geliştirilememiştir.

Sünek kırılmaya göre daha düşük tokluk değerlerinde ve daha düşük enerji absorpsiyonu sonucu ortaya çıkan gevrek kırılma; keskin bir çatlakın ilerleyerek bir malzemeyi çatlak ucunda oluşan küçük lokal deformasyonlar ile kırması olarak da tanımlanabilmektedir (Topçu, 2007).



Malzemelerde gevrek kırılma iki şekilde ortaya çıkabilmektedir. Bunlar; taneler içi (intergranular) kırılmalar ve taneler arası (transgranular) kırılmalardır (Şekil 2.2).



**Şekil 2.2.** Gevrek kırılma: a) taneler arası (transgranular) kırılma, b) taneler içi (intergranular) kırılma (Yayla, 2007).

#### 2.1.4. Malzemelerin darbeye verdiği tepki

Darbe sırasında her bir anda temas basıncı çarpışan iki cisimde de zıt doğrultularda etki eden bir etki veya tepki bileşke kuvvetine sahiptir. Böylece cisimlerin birbirine geçmesine karşı direnme oluşur. Katı cisimlerin arasındaki darbede, çarpışma süresince etki eden temas kuvveti, iki cisim yüzeylerinin temasının oluşması için gerekli yerel deformasyonların bir neticesidir. Darbe esnasında ortaya çıkan yerel deformasyonlar, çarpışan cisimlerin sertliğine olduğu kadar; temas başlangıcındaki izafi çarpma hızına bağlı olarak da değişmektedir. Çarpışmalarda temas bölgesinde gerilmeler büyük olmakla birlikte temas bölgesinden uzaklaştıkça gerilmeler de çabucak azalmaktadır (Kara, 2006).

Mühendislik uygulamalarında, özellikle de mekanik uygulamalarda, dışarıdan gelecek herhangi bir darbeye karşı beklenmedik sonuçların ortaya çıkmaması için, malzemenin gerekli en uygun cevabı veya davranışı verebilmesi istenmektedir. Uygulama yeri ve kullanım amacına göre malzemelerin maruz kalabileceği darbeler çok farklı şekillerde olabilir. Buna karşın darbeye karşı olan cevap malzemenin kendisi tarafından belirlenmektedir (Ceyhun ve Turan, 2003).

Genel olarak malzemeler, darbe yüklemelerine karşı hasara uğrama; çoğunlukla da kırılma eğilimindedirler. Bu zamana kadar malzemelerin darbe etkisiyle hasara uğraması veya kırılması üzerine yapılan çalışmaların büyük bir kısmı metaller ve kompozitler üzerine olmuştur.

Metallerin darbe yüklemesine cevabı, elastik uzama ve plastik şekil değiştirme şeklinde olmaktadır. Bu nedenle, metallerde darbe hasarı, çarpma yüzeyinde başladığı anda kolaylıkla tespit edilebilmektedir (Akdoğan, 2008). Metaller yapı itibari ile büyük miktarda enerji absorbe edebildiğinden darbeye verdikleri tepki ani kırılma ve kopma şeklinde olmak yerine; plastik şekil değiştirme ve akma şeklinde başlayarak bir süre sonra kopma şeklinde olmaktadır. Bu durumda, metallerde darbe yükünün kolaylıkla tespit edilip önlem alınabilmesi için yeterli süre kullanıcıya ya da üreticiye sağlanmaktadır.

Değişen konjonktürde, yeni nesil malzemelere ihtiyaç duyulması ve gelişen teknoloji ile yeni nesil malzemelerin üretilebilirliğinin kolaylaşmasından dolayı kompozit malzemelerin kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmıştır. Üretim reçeteleri değiştirilerek malzeme özellikleri üzerinde değişiklik yapılabilir olması ve bu sayede dayanımı yüksek ve hafif malzeme üretilebilirliği kompozit malzemeleri özellikle savunma sanayinin vazgeçilmez parçası haline getirmiştir.

Kompozitler yapı itibari ile dinamik bir yükleme türü olan darbe yüklemelerine karşı çok farklı tepki verirler. Yükleme koşulu altında metaller elasto – plastik davranış gösterirken, kompozitler yükleme koşulu altında kayalara benzer bir davranış olan plastik davranış gösterirler. Özellikle plastik matrisli kompozit malzemelerin hemen hemen tamamı kırılındır. Bu nedenle enerjiyi sadece elastik deformasyon ve bazı hasar mekanizmaları (matris kırılması, delaminasyon, fiber kopması, v.b.) sayesinde absorbe edebilirler. Diğer bir deyişle, enerjiyi absorbe etmede plastik deformasyonun katkısı hemen hemen hiç yoktur (Akdoğan 2008).

Doğal taşlara uygulanan darbe yüklemesinin yüksek hızlı ve düşük hızlı olmasına bağlı olarak, doğal taş tarafından verilen cevap da farklı olabilmektedir. Yüksek hızlı darbelerde ani kırılmalar gerçekleşirken; düşük hızlı darbelerde (üretim veya ebatlama esnasında meydana gelen darbeler ya da küçük parçaların üzerine düşmesi veya çarpması

sonucu oluşan darbeler) ise, bazen kırılmalar veya çatlamlar meydana gelirken; kırılma veya çatlama meydana gelmemesi durumunda ise, doğal taşın iç yapıda hasar oluşması ve zayıflaması mümkün olmaktadır. Özellikle zemin kaplaması ve tezgah malzemesi olarak kullanılan doğal taşlar günlük yaşamda düşük hızlı darbe olaylarına sıkça maruz kaldığından, düşük hızlı darbelerin etkisinin ortaya konması önemlidir. Doğal taşların düşük hızlı darbe testlerinden biri olan ağırlık düşürme testi ile kopma enerjisi ve çarpma dayanımının kolaylıkla belirlenmesi, yorumlanması ve bu değerlere göre kullanım alanlarının ve kullanım kalınlıklarının belirlenmesi mümkün olabilmektedir.

### 2.1.5. Darbe sınıflaması

Darbelerin tanımlanmasında ve sınıflandırılmasında hız ve enerji miktarları kullanılmaktadır. Darbeler genel olarak; düşük hızlı darbeler ve yüksek hızlı darbeler olarak ikiye ayrılmaktadır. Bazı çalışmalarda, düşük hızlı darbe terimi yerine, düşük enerjili darbe terimi ve yüksek hızlı darbe terimi yerine, yüksek enerjili darbe terimi de kullanılmaktadır. Ancak, bu iki sınıf arasında keskin bir geçiş, yapılan çalışmalarla ortaya konamamıştır. Yapılan çalışmalar, düşük hızlı darbeyi minimum 1 m/s ve maksimum 10 m/s hız aralılarında değişen darbeler olarak tanımlamaktadır (Akdoğan 2008). Düşük enerjili darbe denildiğinde ise, darbe enerjisi minimum 1 J ve maksimum 5 J arasında değişen darbeler ifade edilmektedir. Bu enerji düzeyindeki darbelerde çarpma hızı 1 m/s ile 10 m/s arasında değiştiğinden; düşük enerjili darbeler ile düşük hızlı darbeler aynı durumu tariflemektedir. Bu sınırların üzerinde bir hız veya enerjiye sahip darbeler ise, yüksek hızlı veya yüksek enerjili darbeler olarak tanımlanmaktadır.

Kompozit malzemeler açısından darbe sınıflaması incelendiğinde hız ve enerji ekseninde bir de kompozit malzemelerin hasar türüne göre darbe sınıflaması yapıldığı görülmüştür. Hasar türüne göre matris kırılması, delaminasyon oluşumu ve fiber kopmaların gözlemlendiği darbeler düşük hızlı (düşük enerjili) darbeler olarak tanımlanmaktadır. Yüksek hızlı (yüksek enerjili) darbeler ise, çarpan cismin kompozit malzemeye tamamen nüfus ettiği darbeler olarak tanımlanmaktadır.

Kompozit malzemelerin darbe davranışının tespitinde kullanılan test düzenek ve yöntemleri ile ilgili henüz uluslararası bir standart olmamasına karşın, İzod ve Charpy

deneyleri, ağırlık düşürme deneyleri ve balistik deneyler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu konuda kabul edilmiş uluslararası bir standardın olmayışı yapılan çalışmaların birbiri ile mukayesesini zorlaştırmaktadır (Akdoğan 2008).

### 2.1.6. Darbe testleri

Ani darbelere karşı dayanımı yüksek olan malzeme seçiminde malzemenin kopmaya karşı olan direnci darbe testleri ile ölçülmelidir. Darbe testleri genellikle günlük yaşamda karşılaştığımız çivi çakmak, çekiçle dövmek, otomobil çarpışmaları, araçların küçük tampon darbeleri, hareket halinde araca sıçrayan taş, yoldaki çukura hızla ve aniden düşen bir araba tekerleği ve kompozit bir kanat yapı üzerine bakım esnasında düşürülen bir aletin darbe etkileri gibi gerçek olaylarla bir benzeşim yapılarak oluşturulmaktadır (Şenel vd., 2009). Günlük olaylarla benzeşim yapılarak uygun malzeme seçimi için malzemelerin darbe dayanımının belirlenmesi ciddi bir ihtiyaçtır. Günlük hayatta bulunduğumuz her türlü ortamda karşımıza çıkan zemin kaplama ve döşeme malzemelerinin seçimi için de darbe testlerinin yapılması önem taşımaktadır. Yer döşemesi veya kaplaması olarak kullanılan doğal taş, kompozit, seramik vb. malzemeler günlük hayatta pek çok defa malzeme düşmesine maruz kalmaktadırlar. Bu nedenle bu tip malzemelerin de darbe davranışının bilimsel olarak ortaya konmasına ihtiyaç vardır.

Darbe, farklı pek çok disiplinin üzerinde çalıştığı bir konu olmasına karşın, darbeyi ortaya koymak için ulusal veya uluslararası düzeyde kabul görmüş ve standartlaşmış bir deney metodu henüz oluşmamıştır. Darbe üretmek için farklı birçok test tekniği mevcuttur. Ancak darbe direncini belirlemeye çalışan bir araştırmacı hem tekniklerin fazlalığı hem de ulusal ve uluslararası düzeyde standartlaşmanın olmaması sebebi ile farklı kaynaklardan sonuçların karşılaştırılmasında veya sonuçlara bağlı darbe davranışı için uygun model geliştirilmesinde sorunlarla karşılaşmaktadır. Yapılan çalışmalar bireysel kalıp, genel düzeyde sonuç vermek yerine lokal olarak sadece çalışmada kullanılan metod düzeyinde sonuç vermektedir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde darbe direncinin belirlenmesi amacıyla belirlenen metotlar üç kategoride sınıflandırılmaktadır. Bunlar; sarkaç testleri (İzod ve Charpy Testleri), ağırlık düşürme testleri ve balistik testler (hava veya gaz silah testleri) olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca, sarkaç testleri ve ağırlık düşürme testleri

düşük hızlı darbe testleri grubuna; balistik testler ise, yüksek hızlı darbe testleri grubuna girmektedir.

Malzemelerin darbe özelliklerinin belirlenmesinde; kullanılan test darbe cihazı (sarkaç, serbest ağırlık düşürme veya silah), çarpan cismin karakteristiği (hangi malzemenin yapıldığı, şekli, içinin boş ya da dolu oluşu, boyutu vb.), çarpan cismin hızı (enerjisi) ve kütlesi, numunenin konfigürasyonu (boyutu, geometrisi, numunenin sabitlenme şekli vb.) etkilidir. Darbe davranışı düşünüldüğünde, tüm bu kriterlerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

#### **2.1.6.1. Sarkaç testleri (Izod ve Charpy Testleri)**

Sarkaç testleri, çentik açılmış bir test numunesinin standart bir yükseklikten bırakılan bir sarkaç ile darbeye maruz bırakılmasıyla gerçekleştirilmektedir. Darbeden önce yüksekliği bilinen sarkacın, darbeden sonra çıktığı yükseklik tespit edilerek, sarkacın ilk ve son konumundaki yükseklik farkı, numune tarafından absorbe edilen darbe enerjisi olarak ölçülür. Darbeden sonra sarkacın yüksekliği ne kadar az ise; absorbe edilen darbe enerjisi / malzemenin darbe direnci / malzemenin darbe tokluğu da o derece yüksektir. Sarkaç testleri, Izod ve Charpy testi olmak üzere iki farklı şekilde gerçekleştirilmektedir. Bu iki yöntem, uygulanış açısından birbirine çok benzemekle birlikte; bu yöntemler, numunenin desteklenme şekli ile çentiğin destek ve darbe noktalarına göre konumu açısından farklılık göstermektedir.

#### **2.1.6.2. Ağırlık düşürme testleri**

Bu yöntem son dönemde kompozitler için çok tercih edilen bir yöntem olmaya başlamıştır. Bunun en önemli sebebi, daha geniş bir alanda test parametrelerinin belirlenmesinin mümkün olmasıdır. Ayrıca, sonuçlar çok daha kolay analiz edilebilmektedir.

Gerek doğada bulunan malzemeler, gerekse sonradan üretimi gerçekleştirilen malzemeler pek çok zaman statik ve dinamik yüklere maruz kalmaktadır. Bu yüklerin malzemeleri ne şekilde etkileyeceği yıllar boyu araştırmacıların cevap aradığı sorulardan

olmuştur. Malzemelerin maruz kaldığı dinamik yüklerden bir tanesi de çarpma (impact) etkisiyle oluşan yüklemelerdir. Çarpma etkisini, farklı branştan pek çok araştırmacı farklı deney ve tahmin yöntemleri, farklı modelleme teknikleri ile çalışmalarında ortaya koymaya çalışmıştır. Üstelik çarpma etkisi, tek bir branşın tekelinde kalmayarak çok çeşitli mühendislik disiplinlerinin üzerinde çalışmasına neden olacak kadar da güncel ve etkin bir araştırma konusu olmuştur.

- Betonlarla İlgili İncelenen Çalışmalar

Keleşoğlu Ö. ve Ekinci C.E. (2007) tarafından yapılan çalışmada; ağırlığı 13,8 kg olan cismin, 25 cm ve 35 cm yükseklikten, silis dumanı katkılı 10 cm'lik kübik beton numunelere serbest düşürülmesiyle ardışık çarpma etkisine maruz bırakılan numuneler, çarpma öncesi ve sonrası ultrasonik puls cihazı ile puls geçiş hızları ölçülerek, numunelerin dayanımları yapay sinir ağları ile tahmin edilerek değerlendirilmiştir.

Selvi (2008) tarafından yapılan yüksek lisans tezinde; farklı karışım oranlarında hazırlanmış betonlardan 710x150x150 mm boyutlarındaki 10 kiriş numunesinin orta noktasına 5,25 kg'lık çekiç 5 farklı yükseklikten (300 mm, 350 mm, 400 mm, 450 mm, 500 mm) numunelerde göçük oluşana kadar düşürerek, farklı düşme yükseklikleri ve farklı karışım oranlarının kırılmaya etkisi incelenmiştir.

Yılmaz (2014) yaptığı doktora tez çalışmasında, 50x50x750 mm boyutlarında betonarme kiriş numunelerinin düşük hızlı darbe yükleri altındaki davranışını analitik ve deneysel olarak incelemiştir. Çalışmada numunelerin sabitlenmesi için kullanılan mesnet tipi ve ağırlık düşme yüksekliği deney parametreleri olarak seçilmiştir. Basit ve ankastre olmak üzere iki farklı mesnet tipi; 500 mm ve 600 mm olmak üzere iki farklı düşürme yüksekliği kullanılmıştır. Serbest düşürme prensibi ile çalışan deney düzeneğinde kullanılan çekicinin kütlesi ise 5,25 kg'dır. Deney sonuçlarında yükseklik arttıkça maksimum yük ve maksimum deplasmanın arttığı, ayrıca aynı yükseklik için basit mesnetli kirişin ankastre mesnetli kirişe göre maksimum yük ve maksimum deplasmanın fazla olduğu tespit edilmiştir.

- Kompozitlerle İlgili İncelenen Çalışmalar

Arslan N. ve Kaman M.O. (2002) tarafından yapılan çalışmada, metal ve metal dışı (cam elyaf ve kağıt/polyester kompozit) malzemelerden üretilmiş farklı kalınlıklara sahip panellerin mekanik dayanımları basma ve çarpma yükleri altında test edilmiştir. Çarpma etkisi; 0,9 m yükseklikten, 0,9 kg'lık cisim düşürmek suretiyle yapılan çarpma deneyleri ile ortaya konmuş ve malzemenin kalınlığı arttıkça deformasyon miktarının azaldığı sonucuna ulaşılmıştır

Aslan ve Karakuzu (2002) yaptıkları çalışmada, aynı reçete ve aynı hazırlama koşullarına sahip E-camı/epoksi kompozit plakaların düşük hızlı darbe karşısındaki davranışını deneysel olarak incelemiştir. Çalışmada, darbe hızı olarak 1 m/s , 2 m/s, 3 m/s olmak üzere üç farklı hız koşulu ile 135 g ve 2600 g olmak üzere iki farklı kütleli ağırlık kullanılmıştır. 150x150x3,4 mm boyutlu iki yanından sabitlenmiş kompozit levhaların merkezine ağırlıklar düşürülerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney süresince numunelerin merkezindeki kuvvet değişimi ve eğilme miktarı ölçülmüştür. Sonuçlar ise, 2600 g sabit kütle koşulu için değişen hızın etkisini ve 3m/s sabit hız koşulu için değişen düşen ağırlık etkisini ortaya koyacak şekilde verilmiştir. Sabit düşürücü kütlesi için, darbe hızı arttıkça darbe kuvvetinin arttığı, numune merkezindeki eğilme miktarının negatif yönde arttığı ve delaminasyon hasarının arttığı ortaya konmuştur. Sabit hız koşulu için ise, 2600 g düşürücü kütlesi kullanılarak yapılan deneylerde darbe kuvveti ve eğilme miktarının 135 g düşürücü kütlesi kullanılarak yapılan deneylerden yaklaşık 4,5 kat fazla çıktığı ifade edilmiştir. Sabit kütle koşulunda gerçekleştirilen deneylerde farklı hızlar için darbe temas süresi hemen hemen aynı ve 0,006 s iken; sabit hız koşulunda gerçekleştirilen denetlerde 2600 g kütleli düşürücünün darbe temas süresi 135 g kütleli düşürücünün darbe temas süresinin yaklaşık 4,5 katıdır.

Belingardi ve Vadori (2003) karbon/epoksi kompozit malzemelerde plaka kalınlığının düşük hızlı darbe davranışına etkilerini araştırmışlardır. Deneyler ASTM 3029 standardına göre serbest düşme prensibiyle çalışan test cihazıyla gerçekleştirilmiştir. Cihazın maksimum düşme yüksekliği 2000 mm'dir. Testler 20 kg ağırlıklı ve 10 mm yarı çaplı yarı küresel şekilli vurucu ile gerçekleştirilmiştir. Vurucunun hızı düşme yüksekliği değişmek suretiyle değiştirilebilmektedir. Deneylerde 4 tabakalı, 8 tabakalı ve 16 tabakalı

olmak üzere 3 farklı kalınlıkta ve iki farklı oryantasyon dizilişinde 100x100 mm ebatlı kare kompozit levhalar kullanılmıştır. Kuvvet-yer değiştirme ve enerji-yer değiştirme grafikleri oluşturulmuş, malzemenin delinmeden dayanabildiği maksimum enerji ile hasar derecesi değerleri farklı darbe hızlarında ve farklı numune kalınlıklarında ifade edilmeye çalışılmıştır. Tabaka kalınlığı arttıkça yutulan enerji miktarının da arttığı ifade edilmiştir.

Aslan vd. (2003) düşük hızlı darbe yüklemesi altındaki fiber takviyeli tabakalı kompozitlerin davranışlarını nümerik ve deneysel olarak incelemiş ve nümerik sonuçlar ile deneysel sonuçları karşılaştırmışlardır. Serbest düşme prensibi ile çalışan cihazın maksimum düşme yüksekliği 1,032 m olup, bu yükseklikteki maksimum vuruş hızı da 4,5 m/s'dir. 135 g ve 2600 g ağırlığında iki farklı vurucu kütle ile 3 m/s vuruş hızı olacak şekilde yaralanmış yükseklikten tokmağın iki tarafı ankastre ve iki tarafı serbest numunelerin tam ortasına düşürülmesiyle deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerde 150x150x4,8 mm, 150x100x4,8 mm ve 150x50x4,8 mm ölçülerinde üç farklı ebatta numune kullanılmıştır. Simülasyonlar 3DImpact programı ile yapılmış ve temas kuvveti-zaman grafikleri oluşturulmuştur. Çalışmada, düşük hızlı darbeye maruz kalan fiber tabakalı kompozitlerin darbe hızının, darbe kütlesinin ve plaka boyutlarının önemi ifade edilmiştir. Ayrıca 150x100x4,8 mm boyutlu kompozit plakalarda maksimum darbe kuvvetinin olduğu ve bu boyutlu plakalarda diğer boyutlara göre daha geniş bir hasar alanı gözlemlendiği belirtilmiştir.

Uyaner vd. (2007) düşük hızlı darbeye maruz E-camı/epoksi tabakalı kompozitlerde plaka boyutlarının malzemede oluşan hasara etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. Darbe testleri özel olarak imal edilen düşey ağırlık düşürme test cihazıyla yapılmış ve 24 mm çapında yarı küresel uçlu, 30 kg ağırlıklı bir vurucu kullanılmıştır. 2,5 m/s çarpma hızında gerçekleştirilen deneylerde 180x50 mm, 180x100 mm ve 180x150 mm boyutlarında iki tarafı serbest iki tarafı ankastre kompozit levhalar kullanılmıştır. Numune genişliği arttıkça numunenin kompliyansının düştüğü bunun sonucunda da numunenin daha az çöktüğü ve darbe süresinin azaldığı söylenmiştir. Ayrıca numune genişliği arttıkça darbe süresince gelişen en büyük kuvvetin de arttığı ifade edilmiştir.



Fidan vd. (2010) cam fiber takviyeli polyester matrisli kompozitlerde düşük hızlı darbe yüklemeleri sonucunda oluşan ve kompozitin iç yapısında ortaya çıkan hasar hacmi geometrisi, malzemenin darbe sönümlenme kabiliyeti ile biçimi hakkında bilgi veren hasar hacmini incelemiştir. Deneylerde 100x100x5 mm boyutunda kare kompozit plakalar 40 mm iç çapa sahip üst metal plaka ile 60 mm çapa sahip alt destek plakası arasına yerleştirilmiştir. Numunelere 4 J, 8 J, 15 J, 25 J, 35 J, 45 J, 50 J, 65 J ve 74 J darbe enerjilerinde darbe testleri uygulanmış ve hasar mekanizmaları bilgisayarlı tomografi cihazı ile belirlenmeye çalışılmıştır. Farklı enerjilerin farklı hasar mekanizmalarına neden olduğu ifade edilmiştir. 4 J darbe enerjisinde numunede ilk hasarlanmanın başladığı ve 74 J darbe enerjisinde ise numunenin delindiği gözlemlenmiştir. Ayrıca tomografi görüntüleriyle de darbe enerjisi arttıkça malzemede oluşan hasarlı alanın arttığı görsel olarak ortaya konmuştur.

Yapıcı ve Yapıcı (2012) yaptıkları çalışmada düşük hızlı darbeye maruz E-cami /epoksi kompozit levhaların dinamik cevabı sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak araştırılmıştır. Kompozit levha 16 tabakalı, 140x140x3 mm ebadında ve dört tarafı ankastre mesnetli olacak şekilde modellenmiştir. Kullanılan yarıküresel uçlu vurucu 24 mm çapında ve 17 kg ağırlığında olup deneyler 2 m/s, 2,5 m/s, 3 m/s, 3,5 m/s ve 4 m/s çarpma hızlarında gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda hız-zaman, ivme-zaman, kuvvet-zaman, yer değiştirme - zaman ve kinetik enerji - zaman değişimleri grafikler halinde gösterilmiştir. Çalışmada modelleme Ansys paket programının Ls-Dyna modülünde gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonucunda, artan darbe hızıyla geri sekme hızının ve en büyük temas kuvvetinin arttığı ifade edilmiştir. Ayrıca ivme-zaman ve kuvvet-zaman değişimleri incelendiğinde iki grafiğinde benzer görüntüde olduğu söylenmiştir.

Temel (2015) tarafından hazırlanan yüksek lisans tez çalışmasında, farklı genişlikteki melez kompozit levhaların düşük hızlı darbeye verdikleri tepki incelenmiş ve düşük hızlı darbe sonrası malzemenin mekanik özellikteki değişimler tespit edilmiştir. Deneylerde 90x30x4 mm ve 90x35x4 mm boyutlarında E-cami / epoksi ve karbon / epoksi kompozit malzemelerden üretilmiş numuneler kullanılmıştır. Bu numuneler, vurucu ağırlığı 5 kg olan ve maksimum düşme yüksekliği 1 m olan ağırlık düşürme test cihazına sabit ve ankastre mesnet ile tutturulmuştur. Çalışmanın deney parametreleri özetlenecek olursa; deneyler iki farklı malzeme genişliğinde (30 mm ve 35 mm), iki farklı

konfigürasyonda (birinde karbonlar orta kısımda, diğesinde karbonlar dış kısımdaki tabakalarda konumlandırılmış), iki farklı sınır şartı altında (basit mesnet ve ankastre mesnet) ve 3 farklı darbe hızında (2 m/s, 2,5 m/s ve 3 m/s) gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda farklı mesnet tipinin darbeye etkisi olmadığını, 2,5 m/s ve 3 m/s hızlarının kalıcı hasar oluşturduğunu ve farklı konfigürasyonların farklı kırılma modlarına neden olduğunu tespit etmiştir.

### **2.1.6.3. Balistik testler (hava veya gaz silah testleri)**

Balistik testler için, yüksek hız gerektiğinden; tabanca ve silah sistemlerinden faydalanılır.

- **Kompozitlerle İlgili İncelenen Çalışmalar**

Turan (2007) yaptığı çalışmada tabakalı kompozit malzemelerde yüksek hızlı darbe durumunda oluşan hasarları ve hasar türlerini detaylı ve teorik olarak açıklamıştır. Ayrıca yüksek hızlı darbe türü olan balistik darbe deneyiyle de teorikte tanımlanan hasar ile pratikte oluşan hasarın örtüştüğünü ortaya koymuştur. Balistik deney için, 7,62 mm çapında, 8 gr ağırlıklı mermi kullanmış ve mermi giriş – çıkış hızını özel bir düzenekle ölçmüştür. Deneylerde 12 ve 16 tabakalı olmak üzere iki farklı kompozit plaka kullanmış ve tabaka sayısı arttıkça sönümlenen enerjinin de arttığını ortaya koymuştur.

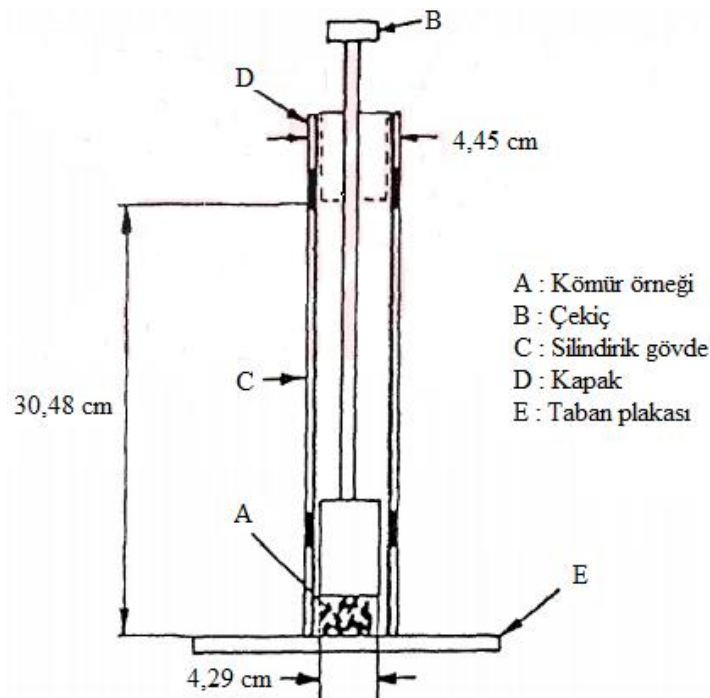
Yumak vd. (2014) yaptıkları çalışmada balistik kompozit malzemelerin modellenmesi tasarımı ve geliştirilmesi açısından temel oluşturmayı hedefleyerek zırh tasarımında kullanılan kompozit malzemelerin deformasyon karakteristiğini teorik olarak araştırmışlardır. Zırh tasarımında kullanılan yüksek mukavemetli kumaşları beş ana gruba ayırmıştır. Farklı üreticiler tarafından üretilen bu beş gruptaki kumaştan numuneler almış ve bu malzemeleri kopma uzaması (%), yoğunluk, elastisite modülü ve çekme gerilmesi özelliklerine göre kıyaslayarak birbirlerine göre üstünlük ve zayıflıklarını ortaya koymuşlardır. Zırh tasarımında kullanılan kompozit malzemelerin darbe tasarımına; kumaşın yapısının, mermi hızı ve geometrisinin, mermi – iplik ve iplik – iplik arasındaki sürtünme katsayısının ve sınır şartları olarak nitelendirilen bağlantı şekillerinin etkili olduğunu ifade ederek, bu kompozitlerin modellenmesi için Johnson – Holmquist modeli veya Johnson – Cook modelinin kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır.

### 2.1.7. Madencilik alanında kullanılan darbe dayanımı testleri

Bu çalışma kapsamında, çarpma (darbe) etkisiyle mermerlerin kopma enerjisi ve çarpma dayanımı belirlenirken; serbest düşme prensibine dayanan bir ağırlık düşürme test yöntemi kullanılmıştır. Bu nedenle, bugüne kadar madencilik alanında uygulanan serbest düşme prensibine dayanan ağırlık düşürme testleri hakkında araştırma yapılmıştır.

#### 2.1.7.1. Darbe dayanımı indeksi deneyi (ISI)

Darbe dayanım deneyi ilk olarak 1962’de Rus araştırmacı Protodyakonov tarafından geliştirilmiştir (Yaralı vd., 2008). Protodyakonov’un geliştirdiği deneyde; bir çekiç, belli bir yükseklikten, silindirik bir kaba yerleştirilmiş 10 mm’den büyük kömür parçaları üzerine beş kez düşürülerek kırılmaları sağlanmış ve sonrasında kırılmış kömür parçaları 5mm’lik elekten geçirilerek, elek üstünde kalan kömür miktarının toplam kömür miktarına oranı “Dayanım Katsayısı” olarak ifade edilmiştir (Evans ve Pomeroy, 1966). Deney aleti ve yöntemi 1966 yılında Evans ve Pomeroy tarafından standart hale getirilmiştir (Akçın ve Baş, 1990). Standartlaşan darbe dayanımı aleti; 4,45 cm çapında bir silindir ile 4,29 cm çapında ve 1816 g ağırlığında çelik bir çekiçten oluşmaktadır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Darbe dayanım indeksi deney aleti (Su, 2003)

Deney için, kömür örnekleri 25,4 mm boyutlu elekten elenir ve elek üstü 3,6 kg'lık düz tabanlı bir çekiç ile ezilerek tekrar elenir. Elek altına geçen numune 9,52 mm ve 3,17 mm boyutlarındaki eleklerden elenerek elek arasında kalan numunedan ( -9,52 +3,17 mm fraksiyonundan)  $100 \pm 0,05$  g'lık en az 6 adet örnek tartılır. Bu örnekler sırayla alete yerleştirilir ve 1816 gr ağırlığındaki çekiç 30,48 cm yükseklikten 20 defa ard arda ve düşüşler arası 2 s'den az süre olmamasına dikkat edilmek kaydıyla, örneğin üzerine düşürülerek örnek kırılır. Kırılan numuneler 3,17 mm'lik elekten elenerek elek üstü tartılır. Elek üstünde kalan malzemenin ağırlıkça miktarının alete konan malzeme miktarına oranı yüzde olarak ifade edilir ve “Darbe Dayanım İndeksi (ISI)” değeri bulunur (Akçın ve Baş, 1990). Akçın ve Baş (1990), yapılan çalışmada “Darbe Dayanım İndeksi (ISI)” değeri olarak adlandırılan bu değeri, Bilgin vd. (1988), yaptıkları çalışmada “Darbe Dayanım Sayısı” olarak da adlandırmıştır.

Evans ve Pomeroy (1966), İngiltere'deki kömür damarlarını sınıflandırılmak için yaptıkları çalışmada kömürün darbe dayanım indeks değeri ile tek eksenli basınç ve çekme dayanımı arasında ilişkiler olduğunu ortaya koymuşlardır. En iyi kolerasyonun tabakalaşma düzlemine dik doğrultuda tespit edilen tek eksenli basınç dayanımı ile olduğunu belirtmişler ve aralarında lineer bir ilişkinin mevcut olduğunu ortaya koymuşlardır. İngiltere'deki kömür damarlarını sınıflandırmak için yaptıkları bu çalışmada, darbe dayanım indeks değeri 60'ın altında kalan kömürleri kırılğan kömür olarak tanımlamışlardır.

Evans ve Pomeroy (1966) tarafından yapılan İngiltere kömürlerinin sınıflandırmasına benzer sınıflandırmalar Türkiye'deki kömürler için de yapılmıştır. Ayrıca darbe dayanım indeksi (ISI) kullanılarak yapılan çalışmalar sadece kömürlerin sınıflandırılmasına yönelik olarak yapılmamış; bunun yanında, darbe dayanım indeksi (ISI) değeri ile kömürlerin diğer özellikleri arasındaki ilişkiler de incelenmiştir.

Bilgin vd. (1988) yaptıkları çalışmada, Amasra karbonifer havzasındaki kömür damarlarını sınıflandırmayı amaçlamışlardır. Çalışmada, bu damarlardan kısaca bahsedilmiş ve alınan örnekler üzerinde basınç dayanımı, koni delici, darbe dayanımı ve Schmidt çekici deneyleri gerçekleştirmiş ve bu deney sonuçlarına göre damarları yerinde dayanımı ve parça dayanımı açısından sınıflandırmışlardır. Kömürün yerinde dayanımın ve

parça dayanımının ayrı ayrı ifade edilmesi gerektiğini söylemişlerdir. Bunun neticesinde, kömür damarlarının yerindeki dayanımlarının belirlenmesinde Schmidt çekici deneylerinin; parça dayanımının belirlenmesinde ise darbe dayanımı ve koni delici deneylerinin kullanılmasının daha güvenilir sonuçlar verdiğini ortaya koymuşlardır. Darbe dayanımı deneyleri Evans ve Pomeroy (1966) tarafından önerilen şekilde gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda, basınç dayanımı ile darbe dayanımı arasında 0,35 korelasyon katsayısına sahip bir ilişki saptanmışken; Schmidt çekici değerleri ile darbe dayanımı arasında 0,5 korelasyon katsayısına sahip bir ilişki saptanmıştır. Sonuçta; darbe dayanım indeksi değeri 75'den büyük olanlar aşırı sert, 70 – 75 arası olanlar çok sert, 40 – 60 arası olanlar sert ve 40'dan küçük olanlar yumuşak kömürler olarak sınıflandırılmıştır.

Akçın ve Baş (1990) yaptıkları çalışmada, Asma İşletmesi kömür damarlarının darbe dayanımı indeksi değerlerini tespit etmiş, bu değerler ile kömürün tek eksenli basınç dayanımı, çekme dayanımı, sabit karbon miktarı, uçucu madde miktarı (%) arasındaki ilişkileri incelemiştir. Bu ilişkilerden yararlanarak damarların sertliklerine göre bir sınıflama yapmış ve kazılabilirlik ölçütleri hakkında bilgi vermiştir. Darbe dayanımı indeksi Evans ve Pomeroy (1966) tarafından standartlaştırılan deney düzeni ile ölçülmüştür. Çalışmanın sonuçlarında, darbe dayanım indeksi ile basınç dayanımı arasında artan doğrusal bir ilişki; darbe dayanım indeksi ile sabit karbon miktarı arasında ise azalan doğrusal bir ilişki bulunmuştur. Diğer özelliklerle darbe dayanımı arasında ise ilişki kurulamamıştır. Ayrıca Asma İşletmesi kömür damarlarının darbe dayanım indeksi 29 ile 56 arasında bulunmuş, Evans ve Pomeroy'un sınıflamasına göre kırılgen yapıda oldukları söylenmiştir.

Ökten (1983) hazırladığı doktora çalışmasında ani gaz ve kömür püskürmeye eğilimli zonların belirlenmesi için darbe dayanım indeksi değerlerinden yararlanılabileceğini ortaya koymuştur. Özellikle ani gaz ve kömür püskürmesinin meydana geldiği zonlardan alınan kömürlerin darbe dayanım indeksi değerlerinin 30'un altında olduğunu; bunun yanında Kozlu Bölgesi'ndeki farklı damarlara ait kömürlerde ise, bu değerlerin 35 – 58 arasında yoğunlaştığını ifade etmiştir.

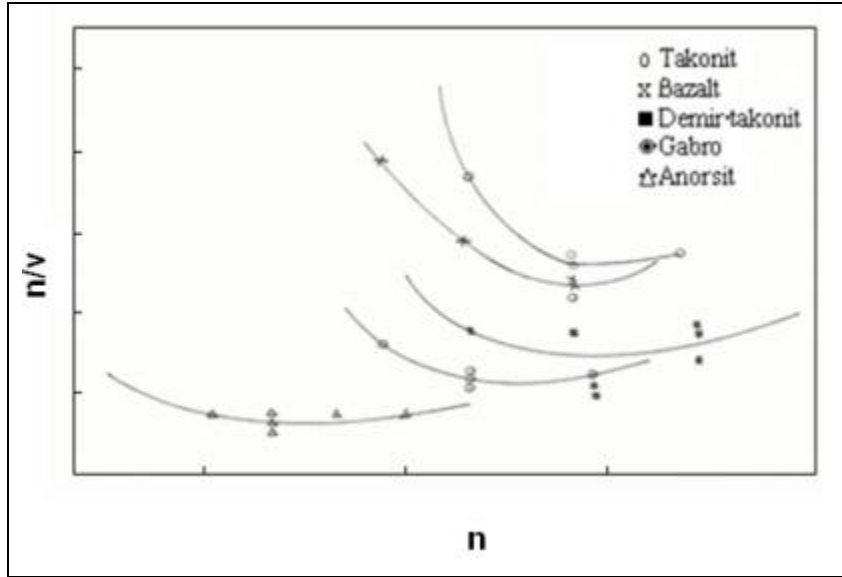
Su vd. (2004) yaptıkları çalışmada Zonguldak taşkömürü havzasından alınan kömür numunelerinin kimyasal analizlerini yapmış; tek eksenli basınç dayanımı, darbe dayanım indeksi, konik delici değeri ve Shore sertlik indekslerini belirlemiş ve öğütülebilirliği belirlemek için de Hardgrove indeksini belirleyerek diğer özelliklerle Hardgrove indeksi arasındaki ilişkileri incelemiştir. Çalışmada, darbe dayanımı belirlenirken Evans ve Pomeroy (1966) tarafından önerilen deney yöntemi kullanılmıştır. Sonuçta, kömürün dayanımı ve indeks özellikleri ile öğütülebilirliği arasında azalan yönde ve korelasyon katsayıları 0,92 ile 0,83 arasında değişen doğrusal ilişkiler tespit etmiştir.

Çınar (2007) hazırladığı yüksek lisans tez çalışmasında Amanos Kırmızı Mermerlerinin fiziko – mekanik özelliklerini belirlemeyi amaçlamıştır. Mermerlerin; birim hacim ağırlığı, özgül kütlesi, görünen ve normal porozitesi, su emme oranı, sodyum sülfat çözeltisinde don kaybının belirlenmesi, Schmidt çekici sertlik değeri, tek eksenli basınç dayanımı, nokta yükü dayanım indeksi, üç eksenli basınç dayanımı, Los Angeles aşınma dayanımı, darbe dayanım katsayısı ve ultrasonik hız deneyi ile dinamik elastisite modülü değerlerini belirlemişlerdir. Darbe dayanım katsayısı değerini, Evans ve Pomeroy'un darbe dayanım cihazıyla belirlediklerini ifade eden araştırmacılar bu değeri %83,46 olarak bulmuştur.

#### **2.1.7.2. Kayaç dayanım katsayısı deneyi (KDK)**

Rus araştırmacı Protodyakonov (1962) tarafından geliştirilen darbe dayanım deneyini Paone vd. (1969), Tandanand ve Unger (1975) ve Rabia ve Brook (1980) gibi bazı araştırmacılar deney aletini değişik boyutlarda düzenleyerek kayaçların delinebilirliklerinin belirlenmesinde kullanmışlardır (Kahraman, 2001). Kayaların parçalanmaya karşı dirençlerini ölçen kayaç dayanım katsayısı deneyi, Protodyakonov'un darbe dayanım deneyinin Amerika Madencilik Bürosu (U.S. Bureau of Mines) adına Tandanand ve Unger (1975) tarafından geliştirilmiş halidir. Bu deney yöntemi, basınçlı hava ile çalışan darbeli delicilerin ilerleme oranlarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Kayaç dayanım katsayısı deneyinde her biri ortalama 7,5 cm<sup>3</sup> olan gelişigüzel şekilli -25,4 mm +19,56 mm elek aralığında tane boyutuna sahip on adet kayaç örneği kullanılmaktadır. Örnekler ikişer parçadan oluşan 5 gruba bölünür ve test silindirinin dibine yerleştirilerek 2,4 kg ağırlığındaki kütle 0,6 m yükseklikten örneklerin üzerine düşürülür. Her 5 grup için

düşme sayısı kayacın dayanıma bağlı olarak 3 – 40 arasında değişmektedir. Her grupta kırılan malzeme 0,5 mm'lik elekte toplanır ve 40 s süreyle elle elenir. 0,5 mm elek altına geçen malzeme tartılır ve yoğunluğuna bölünerek katı hacmi bulunur. 5 grup için uygulanan düşmelerin sayısı, 5 gruptan elde edilen 0,5 mm altındaki ince malzeme hacmine bölünür. Doğru bir düşüş sayısı için birçok kayacın ince malzemenin toplam hacminin yaklaşık  $12 \text{ cm}^3$  civarında olduğu tespit edilmiştir. Her kayaç için düşüş sayısı (n) ile kayacın hacmi (v) arasındaki n/v oranını gösteren eğriler çizilir (Şekil 2.4). Her bir eğrideki en küçük n/v oranı eğriden okunur ve boyutsuz olarak kayaç dayanım katsayısı (KDK) değeri olarak belirlenir (Tandanand ve Unger, 1975).



**Şekil 2.4.** Düşüş sayısı n ile n/v arasındaki ilişkiyi gösteren eğrilerden KDK değerinin tespiti (Tandanand ve Unger, 1975; Yaralı vd.'den (2008))

Tandanand ve Unger (1975), magmatik kökenli 24 kayaç üzerinde kayaç katsayısı değerleri, tek eksenli basınç dayanımı ve özgül enerji deneyleri yapmıştır. Bu deneyler sonucunda kayaç dayanım katsayısı ile tek eksenli basınç dayanımı arasında zayıf bir ilişkinin varlığını tespit etmiştir. Çalışmada, kayaçlar kırılma karakteristiklerine göre; gevrek, orta gevrek ve kırılğan olarak sınıflandırılmışlar ve bu sınıflandırmalar için ayrı ayrı tek eksenli basınç değerlerinden kayaç dayanım katsayısı değerleri hesaplayabilmek için eşitlikler önermiştir (Eşitlik (2.1), Eşitlik (2.2), Eşitlik (2.3)). İki ayrı delici için laboratuvar koşullarında değişik çalışma basınçlarında elde edilen maksimum güç tüketimleri tespit edilerek, gerçek delme hızları ile tahmin edilen delme hızları

ilişkilendirilmiş ve kayaç dayanım katsayısının darbeli deliciler için delinebilirlik tahmininde bir indeks olabileceği de ortaya konmuştur.

Gevrek kayaçlar için kayaç dayanım katsayısı hesabı;

$$KDK = 9,11 * 10^{-3} * \sigma_c \quad (2.1)$$

Orta gevrek kayaçlar için kayaç dayanım katsayısı hesabı;

$$KDK = 5,60 * 10^{-3} * \sigma_c \quad (2.2)$$

Kırılğan kayaçlar için kayaç dayanım katsayısı hesabı;

$$KDK = 3,22 * 10^{-3} * \sigma_c \quad (2.3)$$

KDK : Kayaç dayanım katsayısı

$\sigma_c$  : Tek eksenli basınç dayanımı

Ülkemizde kayaç dayanım katsayısı deney aleti ile yapılmış çalışma oldukça azdır (Yaralı vd., 2008). Kayaç dayanım katsayısı ile ilgili yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Baş (1993) hazırladığı yüksek lisans tezinde; Türkiye Taş Kömürü Kurumu'nda (TTK) kullanılan elektro–hidrolik delicilerin delme performanslarını araştırmayı amaçlamıştır. Bunun için, arazide delme hızı ölçümleri almış, iş – zaman etütleri yapmış ve elektro – hidrolik delicilerin farklı kayaçlardaki delme hızlarını tespit etmiştir. 4 farklı galeriden alınan 6 değişik kayaç örneğinin tek eksenli basınç dayanımı, tek eksenli çekme dayanımı, nokta yük dayanım indeksi, elastisite modülü, poisson oranı ve yoğunlukları belirlenmiştir. Ayrıca, darbe dayanım test aleti yaptırılarak kayaçların kayaç dayanım katsayıları bulunmuştur. Kayaçların fiziko – mekanik özellikleri ile delme hızları arasındaki ilişkiler araştırılmış ve kumtaşlarında delme hızı ile kayaç dayanım katsayısı arasında doğrusal bir ilişki olduğu ortaya konmuştur.



Avcı (2001) hazırladığı yüksek lisans tezinde; Asma – Dilaver İşletmesi’ndeki kömür çevre kayaçlarının aşındırıcılık özelliklerini araştırmayı amaçlamıştır. Bunun için, araziden toplanan kayaç örneklerinin tek eksenli basınç dayanımı, çekme dayanımı, nokta yük dayanım indeksi, Schmidt sertlik indeksi, Shore sertlik indeksi, kayaç dayanım katsayısı, suda dağılmaya karşı dayanım indeksi, Cerchar aşınma indeksi ve yoğunlukları tespit edilmiştir. Kayaçların kuvars içerikleri ve mineral tane boyları ile mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler araştırılmış, özellikle kayaçların aşındırıcılık özellikleri üzerinde tespitler yapılmıştır.

Akçın vd. (2003) yaptıkları çalışmada, örneklerin tek eksenli basınç dayanımı, nokta yük dayanım indeksi, shore sertlik indeksi, Cerchar aşınma indeksi ve kayaç dayanım katsayısını belirlemişlerdir. Kayaç dayanım katsayısı değerlerinin kum taşları için 0,40 – 0,77 arasında, silt taşları için 0,85 – 1,25 arasında ve kireçtaşı – dolomitler için ise 0,28 – 0,83 arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Ayrıca kayaç dayanım katsayısı ile diğer tespit edilen özellikler arasındaki ilişkileri incelemişler ancak anlamlı bir ilişki elde edememişlerdir.

Yaralı vd. (2008) yaptıkları çalışmada, Zonguldak bölgesinden alınan 10 farklı magmatik kökenli kayacın kayaç dayanım katsayısı değerlerini ve Schmidt sertliği değerlerini belirlemiştir. Kayaç dayanım katsayısı belirlenirken klasik ve otomatik olmak üzere iki farklı deney aleti kullanılmıştır. Çalışma sonucunda kayaç dayanım katsayısı ölçümünde kullanılan iki farklı deney aletinden alınan deney sonuçları karşılaştırılarak, aralarında doğrusal bir ilişki olduğu saptanmıştır. Schmidt sertliği değerleri ile kayaç dayanım katsayısı arasındaki ilişki ise, ikinci dereceden bir polinom olarak belirlenmiştir.

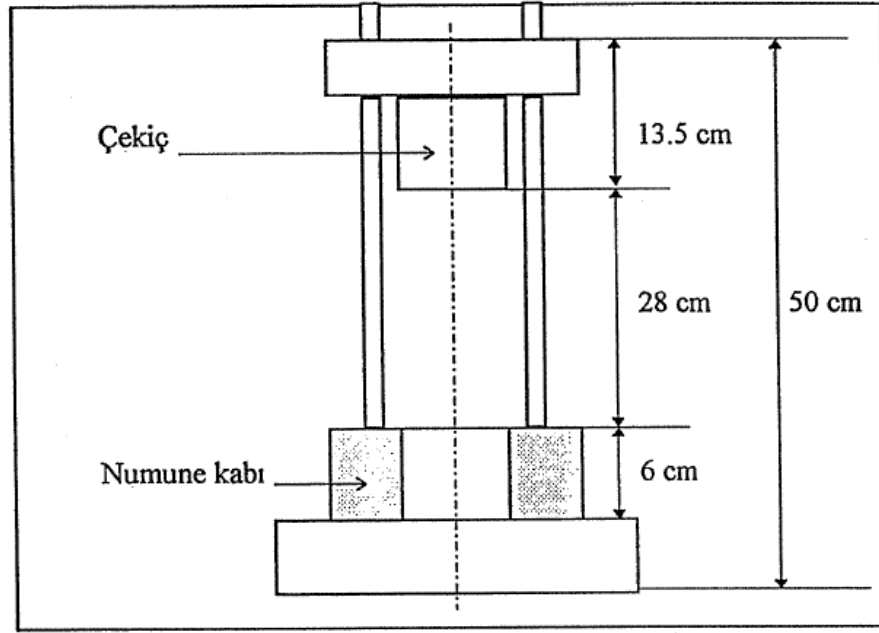
### **2.1.7.3. Düzeltilmiş darbe dayanım indeksi (MISI)**

Onur (1997) yaptığı çalışmada, darbe dayanım deneyinde darbe hücrelerinin üst kısmındaki bölgede darbe enerjisinin büyük bir kısmının absorbe edilerek, alt kısımdaki tanelere yeteri kadar enerjinin aktarılmadığını belirtmiştir. Bu duruma da “yastık etkisi” adını vermiştir. Ayrıca Ural (1999) hazırladığı doktora tezinde darbe dayanımı indeksi deneyinin bazı sakıncalarını sıralamıştır. Bunlar:

- İri ve küçük boyutlu tanelerin birlikte deneye girmesiyle ilk enerjinin bütün tanelere eşit olarak dağıtılması engellenmektedir. Küçük boyutlu tanelerin kırılabilme için daha fazla enerjiye ihtiyacı olmasına rağmen, iri boyutlu taneler ilk anda enerjinin büyük bir kısmını üzerine almakta ve küçük boyutlu tanelere enerji aktarımı ancak sonraki düşüşlerde olmaktadır. Hatta, Ural (1999) yaptığı doktora çalışmasında bu boyut farkından dolayı aynı yerden alınan numunelerden üzerinde aynı şartlarda yapılan darbe dayanımı deneylerinde farklı sonuçlar elde edildiğini deneysel olarak ortaya koymuştur.

- Deneye giren kömür miktarları arttıkça yastık etkisi ile darbe enerjisi deney hücresinin alt kısmındaki tanelere daha az etki etmektedir.

Ural (1999) yaptığı doktora çalışmasında ifade ettiği darbe dayanımı deneyinin bu iki sakıncasını ortadan kaldırmak için düzeltilmiş darbe dayanımı deneyini (MISI) geliştirmiştir. Darbe dayanımı deneyindeki 9,5 mm – 3,15 mm tane boyut aralığını 4,75 mm – 3,15 mm olarak düzenlemiştir. Çalışmasında hem darbe dayanımı deneyinin numune boyutunu (9,5 mm – 3,15 mm), hem de kendi önerdiği düzeltilmiş darbe dayanımı deneyinin numune boyutunu (4,75 mm – 3,15 mm) kullanarak deneylerini gerçekleştirmiş ve düzeltilmiş darbe dayanımı deneyinin sonuçlarının standart sapmasının daha düşük olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, iki deneyi birbirinden ayıran tek özellik numune boyut aralığındaki değişiklik değildir. Düzeltilmiş darbe dayanımı deneyi aygıtı bilinen darbe dayanımı deneyi aygıtından farklı ölçülerde imal edilmiştir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Düzeltilmiş darbe dayanımı ölçme aygıtı (Ural, 1999)

Düzeltilmiş darbe dayanımı deneyi için 1 kg numune 24 – 48 saat havada kurutulur ve tartılır. Kurumuş numuneler üst eleği 4,75 mm (4 mesh) ve alt eleği 3,15 mm elek açıklığında olan elek dizisi ile eleme aygıtına yerleştirilir ve 2 dakika süreyle elenir. Elek üstünde kalan malzemeler tekrar kırılıp elenir. Bu işlem, elek üzerinde kalan tüm numuneler 4 mesh elekten geçinceye kadar tekrarlanır. 4 mesh elek altına geçen ve 3,15 mm elek üstünde kalan kömür iyice karıştırılarak her biri  $13,11 \pm 0,01$  g ağırlığında beş adet deney numunesi hazırlanır. Numune, darbe dayanımı ölçme aygıtının haznesine yerleştirilerek çekicinin düşme yüksekliği 10 cm uzunluğundaki master çubuk ile kontrol edilir. 4795 g ağırlığındaki çekiç 10 cm yükseklikten haznedeki numune üzerine üç defa düşürülür. Numuneye uygulanan enerji Eşitlik (2.4)'de gösterildiği gibi hesaplanır ve sayısal değeri 14,1116 Joule'dür.

$$\text{Enerji} = m \cdot g \cdot h \cdot n \quad (2.4)$$

m: çekicinin kütlesi ( 4,795 kg )

g: yerçekimi ivmesi ( 9,81 m/s<sup>2</sup> )

h: çekiç düşme yüksekliği ( 0,1 m )

n: darbe sayısı ( 3 defa )

Deney tamamlandıktan sonra numune kabındaki kömür 3,15 mm eleğe boşaltılır ve eleme aygıtında 10 dakika süre ile elenir. 3,15 mm elek üstünde kalan numune tartılır ( $m_1$ ). Bu işlem beş deney numunesi için de tekrarlanır. Beş deney sonucunda 3,15 mm elek üstü tartılan malzemelerin aritmetik ortalaması alınır (Eşitlik (2.5)). Bu ortalama değer ilk numune ağırlığına (13,11 g) oranlanarak düzeltilmiş darbe dayanım indeksi hesaplanır (Eşitlik (2.6)).

$$m_{ort} = (m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5) / 5 \quad (2.5)$$

$$MISI = (m_{ort} / 13,11) * 100 \quad (2.6)$$

$m_{ort}$  : beş deney tartımının ortalaması

MISI : düzeltilmiş darbe dayanım indeksi

Kadıköylü (2005) hazırladığı yüksek lisans tez çalışmasında, Zonguldak taş kömürü ile Çayırhan, Elbistan, Ermenek, Orhaneli, Soma, Tufanbeyli ve Tunçbilek linyitlerinin darbe dayanımları ile mineral madde miktarları ve kompozisyonları arasındaki ilişkileri araştırmıştır. Darbe dayanımını belirlemek için, numunelere düzeltilmiş darbe dayanımı deneyleri yapmış ve deney sonunda yukarıdaki eşitlikler kullanılarak düzeltilmiş darbe dayanım indeksi değerleri (%) hesaplanmıştır. Kömür örneklerinin mineral madde miktarları ve kızdırma kaybına göre inorganik madde miktarları ile düzeltilmiş darbe dayanım indeksleri arasında azalan bir ilişki olduğunu gözlemlemiştir. Kömür örneklerinin suda ve asitlerde çözünebilir mineral madde miktarları ile düzeltilmiş darbe dayanım indeksi arasında ilişki bulamamıştır. Ayrıca kömür örneklerinin uçucu madde miktarları ile düzeltilmiş darbe dayanım indeksleri arasında doğrusala yakın ilişkiler tespit etmiştir.

Altınar ve Yıldırım (2011) yaptıkları çalışmada, darbe dayanım indeksi (ISI) ve düzeltilmiş darbe dayanım indeksi (MISI) deneyleri yaparak Afşin – Elbistan linyitinin nem içeriğinin dayanıma etkisini incelemiştir. Farklı nem içeriğinde linyit numuneleri hazırlayabilmek için değişik sıcaklık (60, 75, 90, 105 °C) ve sürelerde (80, 120, 160, 200, 240 dk) kömürlere kurutma işlemi uygulamıştır. Çalışma sonucunda nem içeriğiyle darbe dayanım indeks değerleri arasında parabolik artan yönde anlamlı bir ilişki olduğunu

belirlemiştir. Ayrıca düzeltilmiş darbe dayanımı deneyinin linyit dayanımı hakkında doğru bilgi vermediğini ifade etmiştir.

#### **2.1.7.4.Darbe mukavemeti deneyi (TS 699)**

TS 699 standardına uygun darbe mukavemeti deneyi, pek çok araştırmacı tarafından, pek çok kayaç türüne uygulanmıştır. Bu deney, doğal taşlar için ise genellikle, fiziko – mekanik özelliklerin belirlendiği, fiziko – mekanik özellikler ile başka özelliklerin kıyaslandığı veya kayaçların doğal taş olarak kullanılabilirliğinin belirlendiği çalışmalarda kullanılmıştır.

Ayaz ve Karacan (2000) yaptıkları çalışmada, Sivas yakınlarındaki Sıcak Çermik, Sankaya ve Uyuz, Çermik traverten yataklarının blok verme, renk – desen, kesilip parlatılabilme ve fiziko – mekanik özellikler bakımından incelemeyi amaçlamışlardır. Bu bağlamda, darbe dayanımı deneyini hem bantlanmaya dik hem de bantlanmaya paralel olacak şekilde gerçekleştirmişlerdir. Her iki deneyde de sonuçlar birbirine yakın çıkmış ve bu travertenlerin standartların kaplama taşı olarak kullanılabilme limitlerinin içinde darbe dayanımı gösterdiklerini tespit etmişlerdir.

Bilir (2006) hazırladığı yüksek lisans tezinde; Ankara Haymana (Demirözü) yöresi mermerlerinin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemeyi amaçlamıştır. Bunun için fiziksel özelliklerden hacim kütle, özgül kütle, ağırlıkça su emme, hacimce su emme, kaynar suda ağırlıkça su emme, kaynar suda hacimce su emme ve doluluk oranı; mekanik özelliklerden ise etüv kurusu, hava kurusu ve su emmiş olmak üzere üç farklı kondisyonda basınç mukavemeti, donma – çözülme sonrası basınç mukavemeti, eğilme mukavemeti, yarmada çekme mukavemeti, aşınma mukavemeti ve darbe mukavemetini belirlemiştir. Darbe mukavemeti tayini için TS 699 standardına uygun 40x40x40 mm ebadında hava kurusu, etüv kurusu ve su emdirilmiş olmak üzere üç farklı şekilde kondisyonlandırılmış, her kondisyon koşulu için 9'ar adet olmak üzere toplamda 27 adet örnek TSE Malzeme Laboratuvarı'nda deneye tabi tutulmuştur. Sonuçta darbe dayanımı; etüv kurusu için 33,78 kgfcm/cm<sup>3</sup>, hava kurusu için 38,66 kgfcm/cm<sup>3</sup> ve su emmiş numune için 30,88 kgfcm/cm<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Fiziksel ve mekanik bütün deney sonuçları değerlendirildiğinde; çalışmada kullanılan mermerlerin porozite, su emme, basınç mukavemeti, donma –

çözülme sonrası basınç mukavemeti kaybı, eğilme mukavemeti ve darbe mukavemeti değerleri bakımından kaplama olarak kullanılabilir olduğu söylenmiştir.

Şen (2006), Baltaşı-Palu (Elazığ) Kayaönü Köyü travertenlerinin tekno – mekanik özelliklerinin belirlenmesini amaçladığı yüksek lisans çalışmasında; örneklere darbe dayanımı deneyi de gerçekleştirmiş ve darbe dayanımı değerlerini ortalama 0.56 Nmm/mm<sup>3</sup> olarak tespit etmiştir.

Çapık ve Yılmaz (2009), Harşit (Giresun) granitlerinin fiziko – mekanik özelliklerini belirlemeyi amaçladıkları çalışmada, darbe dayanımı deneyini de uygulamışlar ve Harşit granitlerinin darbe dayanımı değerini ortalama 52,5 kgfcm/cm<sup>3</sup> olarak bulmuşlardır.

Ürünveren ve Yaşar (2009), Osmaniye – Kadirli civarındaki Kösepınarı ve Yoğunluk çevresindeki mermerlerin fiziko – mekanik özelliklerini belirlemeyi amaçladıkları çalışmada, darbe dayanımı deneyini de uygulamışlar ve Yoğunluk bölgesi taşları için darbe dayanımı değerini ortalama 18,4 kgcm/cm<sup>3</sup>; Kösepınarı bölgesi taşları için darbe dayanımı değerini ortalama 24 kgcm/cm<sup>3</sup> olarak bulmuşlardır.

Gürocak ve Alemdağ (2009) yaptıkları çalışmada, Pelte (Elazığ) bölgesindeki traverten ve oniks mermerlerin yapı ve kaplama taşı olarak kullanılabilirliğinin araştırılmasını amaçlamışlardır. Bu bağlamda, diğer fiziko – mekanik deneylerin yanında darbe dayanımı deneyini de gerçekleştirmişler ve travertenler için darbe dayanımı değerini ortalama 16 kgcm/cm<sup>3</sup>, oniksler için ise ortalama 17,20 kgcm/cm<sup>3</sup> olarak bulmuşlardır. Standartlarda kaplama malzemesi için kullanımı önerilen değerlerin çok üstünde buldukları darbe dayanımı deneyi sonuçlarına göre traverten ve onikslerin darbeye maruz kalabilecek alanlarda kaplama malzemesi olarak kullanılabilirliğinin uygun olduğunu tespit etmişlerdir.

Sönmez (2010), Erzincan (Tercan) yöresi mermerlerinin tekno-mekanik özelliklerinin belirlenmesini amaçladığı yüksek lisans tezinde darbe dayanımı deneyleri de gerçekleştirmiş ve Erzincan mermerlerinin darbe dayanımı değerlerini 28 kg/cm<sup>2</sup> olarak tespit etmiş ve bu değer standardlar açısından uygun olduğunu vurgulamıştır.

### **2.1.7.5.Kopma enerjisi tayini (TS EN 14158)**

TS EN 141578 kodlu ‘Doğal taşlar – Kopma Enerjisi Tayini’ isimli standart oldukça yeni bir standart olduğundan, bu standart kullanılarak hazırlanmış sadece bir çalışma (Sarışık vd, 2016) bulunmuştur. Bunun dışında, yine bir bilye düşürme cihazı kullanılarak ancak, bu standarttaki prosedürden biraz daha farklı bir prosedürle gerçekleştirilen deneylerle yapılmış çalışmalar mevcuttur. Bu bölümde bu çalışmalara yer verilmiştir.

Sarışık (2012) yaptığı çalışmada, doğal taş nihai plakaların çarpma dayanımının belirlenmesi için bir deney yöntemi geliştirmeyi amaçlamıştır. Çalışmada, 20x20x2 cm, 20x20x3 cm ve 20x20x4 cm olmak üzere 3 farklı ebatta numune kullanılmak suretiyle, 8 farklı metamorfik kökenli gerçek mermerin çarpma dayanımı yeni bir yöntemle hesaplanmıştır. Ayrıca, çalışmada kullanılan gerçek mermerlerin mineralojik – petrografik özellikleri, kimyasal özellikleri ve fiziko – mekanik özellikleri (yoğunluk, porozite, su emme, tek eksenli basınç dayanımı, don sonrası tek eksenli basınç dayanımı ve eğilme dayanımı) de belirlenmiştir. Mermerlerin çarpma dayanımı, manuel çalışan bir bilye düşürme cihazı ile belirlenmeye çalışılmıştır. Mermer numune cihazın altında bulunan kum dolu konteynırın merkezine yerleştirilmiş ve 1046 g ağırlıklı çelik bilye numune merkezine düşürülecek şekilde deney düzeneği hazırlanmıştır. Bilye, numune kırılana kadar aynı yükseklikten 6 defa düşürülmek ve numune bu 6 sefer düşürmede kırılmadığı takdirde; bilye yüksekliği 50 cm yükseltilerek yeni yükseklikten numune kırılana kadar maksimum 6 defa olmak üzere tekrar düşürülmek suretiyle deneyler, numune kırılana kadar gerçekleştirilmiştir. Sonrasında, numunenin düşme yüksekliklerinden potansiyel enerji hesaplanarak, bu enerji değeri numune hacmine bölünmek suretiyle de, çarpma dayanımının hesaplanması önerilmiştir. Hesaplanan çarpma dayanımı değerleri üzerinden mermerler için bir kırılma potansiyeli tablosu oluşturularak çarpma dayanımı değerlerine göre mermerler; yüksek, orta, düşük ve çok düşük kırılma potansiyellerinde sınıflandırılmışlardır. Çarpma dayanımı arttıkça kırılma potansiyelinin azaldığı ve numune kalınlığı arttıkça çarpma dayanımının arttığı tespit edilmiştir.

Sarıışık vd. (2012) yaptıkları çalışmada, farklı plaka kalınlıklarına sahip doğal taş numunelerinin kopma enerjisi ve çarpma dayanımı belirlemeyi ve farklı ağırlıklı bilyeler kullanmak suretiyle doğal taşların sıçrama katsayısı değerlerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Bu çalışmada, 5 adet kireçtaşı, 7 adet gerçek mermer ve 5 adet traverten örneğinin kopma ve çarpma enerjisinin tayini için 20x20x2 cm, 20x20x3 cm ve 20x20x4 cm ebatlı numuneleri, sıçrama katsayısının belirlenmesi için ise, 7,5x7,5x1 cm ebatlı numuneler kullanılmıştır. Kopma enerjisi ve çarpma dayanımı tespit edilirken; özelliği belirlenecek numune kum zemin ortalanacak şekilde yerleştirilmiş ve 1044 g ağırlıklı çelik bilye 25 cm yükseklikten numunenin merkezine düşürülmüştür. Bu işlem aynı yükseklikten 6 kez olmak üzere ve numune kırılmadığı takdirde yükseklik 5 cm arttırılarak yeni yükseklikten de 6 kez düşürülmek üzere deneyler, numune kırılana kadar tekrar edilmiştir. Her örnek için deneyler 5 tekrarlı gerçekleştirilmiş ve 5 tekrarın aritmetik ortalaması alınarak her örnek için çarpma dayanımı değeri hesaplanmıştır. Her üç örnek için de farklı boyutlu numuneler, farklı ağırlıklı bilyeler ve farklı bilye düşürme cihazları kullanılarak hesaplanan doğal taşların çarpma dayanımı ve sıçrama katsayısı arasında 0,90 belirlilik katsayısında pozitif yönlü ilişki tespit edilmiştir.

Sarıışık vd. (2016) yaptıkları çalışmada, 7 adet metamorfik kökenli ve 10 adet sedimanter kökenli doğal taşın kopma enerjisi, çarpma dayanımı ve sıçrama katsayısı değerlerini hesaplamış ve bu özelliklerine göre doğal taşların kullanım alanlarını belirlemeye çalışmışlardır. Çarpma dayanımı ve kopma enerjisi belirlenirken; 20x20 cm boyutlu 2 cm, 3 cm ve 4 cm kalınlıklı doğal taş numuneleri kullanılırken; sıçrama katsayısı belirlenirken 7,5x7,5x1 cm boyutlu numuneler kullanılmıştır. Doğal taşların kopma enerjisi ve çarpma dayanımını TS EN 14158 kodlu standarttaki prosedüre uygun deneyler ile belirlenirken; sıçrama katsayısı, EN ISO 10545-5 kodlu standarttaki prosedüre uygun deneyler ile belirlenmiştir. Kopma enerjisi ve çarpma dayanımı belirlenirken tüm numune ebatları için 1044 g ağırlıklı bilye kullanılarak ve sıçrama katsayısı belirlenirken ise, 28 g ve 55 g ağırlıklı bilyeler kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Doğal taşların mineralojik – petrografik özellikleri, kimyasal özellikleri ve fiziko – mekanik özellikleri (yoğunluk, porozite, su emme, Knoop sertliği, tek eksenli basınç dayanımı, don sonrası tek eksenli basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve darbe dayanımı) de belirlenmiş ve bu özelliklerin kopma enerjisi, çarpma dayanımı ve sıçrama katsayısı değerlerini nasıl etkilediği hakkında yorumlar yapılmıştır. Yapılan istatistiksel analizler ile; kopma enerjisi



ve çarpma dayanımı değerleri üzerinde değişen numune kalınlığının etkili olduğu; sıçrama katsayısı değerleri üzerinde ise, değişen bilye ağırlığının etkili olduğu tespit edilmiştir. Mineralojik – petrografik olarak fosilli yapının ve porozitenin çarpma dayanımını olumsuz etkilediği tespit edilmiştir. Ayrıca kopma enerjisi 3 Nm'den büyük olan ve sıçrama katsayısı 0,5'den büyük olan doğal taşların, iç ve dış mekanlarda zemin ve duvar kaplama malzemesi olarak kullanımının uygun olduğu ifade edilmiştir.

## **2.2. Kayaçlarda Bozunma**

Kayaçlarda bozunmalar fiziksel, kimyasal ve biyolojik olmak üzere 3 ana sınıfa ayrılmaktadır. Fiziksel bozunmada çözünebilen tuzlar, donma – çözülme olayı, ıslanma – kuruma olayı, sıcaklığa bağlı genişleme, kalıntı gerilmeler ve rüzgar etkili olurken; kimyasal bozulmada ise taşları oluşturan minerallerin içsel yapısı, çözünme, oksidasyon ve hidroliz olayları etkili olmaktadır. Nemli iklimlerde taş üzerinde yaşayan organizmalar nedeniyle meydana gelen biyolojik bozunmada ise kaya ile organizma arasındaki kimyasal tepkimeler sonucunda kayada yapısal değişimler ortaya çıkmaktadır (Öcal ve Dal, 2012). Ayrıca biyolojik bozunma hem fiziksel hem de kimyasal ayrışmaya neden olabildiğinden bazı durumlarda bu iki bozunma grubu içinde de incelenebilmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında sadece fiziksel bozunma etkenlerinden (atmosferik etkenlerden) donma – çözülme ve termal şok olaylarının, çalışmaya konu olan doğal taşların kopma enerjisi ve çarpma dayanımı üzerine etkisi incelenmektedir.

### **2.2.1.Fiziksel bozunma**

Fiziksel bozunma, çeşitli mekanik faktörlerin etkisiyle kayanın kimyasal ve mineralojik bileşiminde çok az bir değişiklik olması veya herhangi bir değişiklik olmaksızın bağların zayıflaması nedeniyle kayacın parçalanıp ufalanması olarak tanımlanmaktadır (Ollier, 1984).

Fiziksel bozunmaya neden olan mekanik faktörler, atmosferik olaylardır. Atmosferik olayların etkisi; donma etkisi, periyodik ve/veya ani sıcaklık ve nem değişimleri etkisi ve güneşin ultraviyole ışınlarının etkisi olmak üzere üç ana başlık altında

toplanmaktadır (Kocataşkın, 1976). Atmosfer etkileri içinde malzemeyi en fazla etkileyen donma etkisidir. Donmanın tahrip edici etkisi; malzemenin gözenek sisteminin sürekliliği, gözenek sisteminin suya doyma derecesi, kritik gözenek büyüklüğü, suyun sıvı fazdan katı faza geçişte gösterdiği ani hacim genişmesi gibi faktörlerin birleşmesiyle ortaya çıkmaktadır (Çorapçıoğlu, 1995).

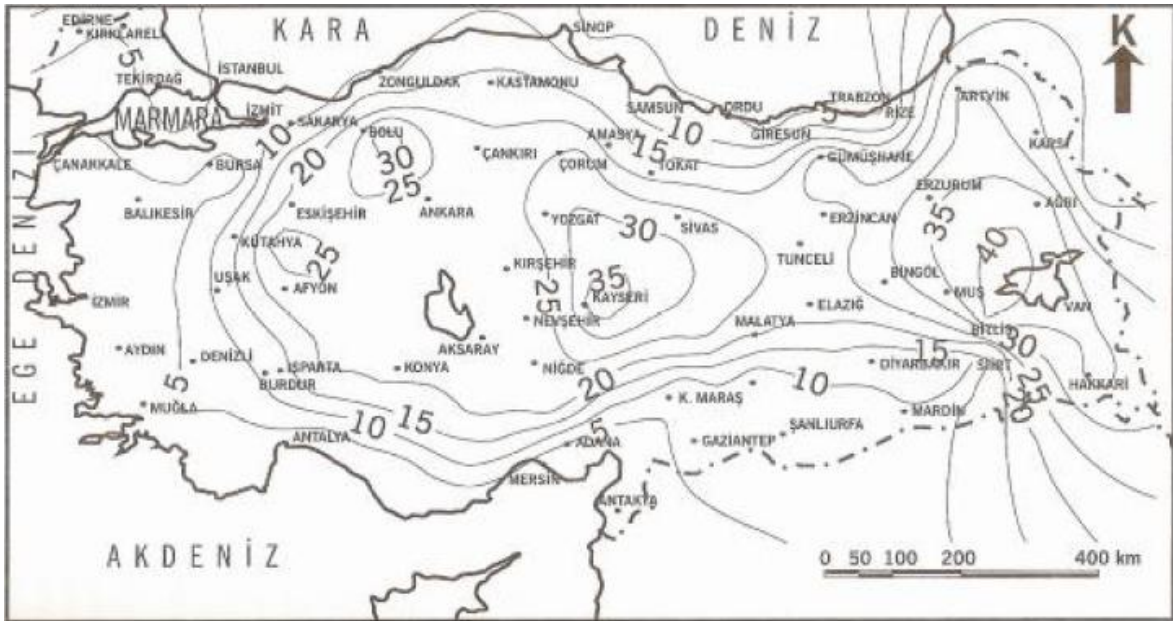
Sıcaklık farkından kaynaklı bozunmalar da, don etkisinden kaynaklı bozunmalar gibi oldukça tahrip edici olabilmektedir. Günlük ve mevsimlik sıcaklık farklarına maruz kalan yapı malzemelerinde genişleme – büzülme döngüleri iç gerilmelere neden olur. Gündüz sıcaklık etkisiyle genişleyen kayaç geceleri soğur ve büzülür. Sıcak yaz günlerinde aşırı sıcaklar yüzünden genişleyen taş eserler, soğuk kış günlerinde dona maruz kalır. Böylece ısı farkları ve donma – çözülme döngüleriyle kayaçlar, yapı malzemeleri ve taş eserler yorulur ve yıpranır (Öcal ve Dal, 2012).

### **2.2.1.1. Donma – çözülme etkisi**

Gözeneklerdeki veya eklemlerdeki suyun donarak buza dönüşmesi olayı, donma olarak tanımlanmaktadır (Akın, 2008). Gözeneklerin %90 oranında suya doymun olmadığı durumlarda, donmanın herhangi bir zararlı etkisi olmadığı (Schaffer, 1972) ; ancak %90'ın üzerindeki doymunluk koşullarında donma etkisiyle gözenek duvarlarında kayacın parçalanmasına neden olacak basınçların oluştuğu (Ollier, 1984) belirtilmektedir. Eğer malzeme boşluklarının doyma derecesi %80'in üzerinde, çapları küçük (5 mikronun altında) ve boyları uzun (2 cm'nin üstünde) ise; o zaman malzeme içinde donmaya bağlı buz basınçları ve hidrostatik basınçlar oluşmaktadır (Kocataşkın, 1976). Gözenek boyutları küçüldükçe suyun donma derecesi azaldığından, sıcaklığın sıfırın altına düşmesiyle başlayan donma olayı büyük gözeneklerde başlar. Bu nedenle iri boşluklarda başlayan donma olayı küçük gözeneklere doğru gelişir ve bunun sonucunda da kılcal boşluklardaki su donmaya başlar.

Suyun donması sonucunda hacminde %9 değerinde bir hacim artışı meydana gelir ve suyun donmasının tamamlanmasında hacim artışı maksimum değerini alır. Donmanın tamamlanmaması halinde doğan iç basınç cisim içinde çekme gerilmeleri oluşturur ve bu gerilmelerin, cismin çekme dayanımına ulaştığı bölgelerde çatlaklar meydana gelir (Öcal

ve Dal, 2012). Donma – çözülme olayının tekrarlanması durumunda gelişen çatlaklar birbirleri ile birleşerek çatlak ağlarının, mikro kırıkların, pullanmaların ve dökülmelerin oluşmasına neden olmaktadır. Bu nedenle bir bölge için yapı taşlarının karşı karşıya kalacağı donma – çözülme çevrimlerinin sayısının belirlenmesi gerekmektedir (Amaroso ve Fassina, 1983). Lienhart, 1988 tarafından ABD'nin yıllık donma – çözülme çevrimlerinin coğrafya dağılımı için hazırladığı haritada kullanılan yöntem esas alınarak, aynı amaçla Türkiye için de benzer bir harita Binal vd., 1997 tarafından hazırlanmıştır (Ulusay vd., 2005). Kayaçlara ne kadar donma – çözülme çevriminin uygulanacağını belirlemek için Türkiye genelindeki 100 adet meteoroloji istasyonunun son yirmi yıllık yağış ve sıcaklık verilerinden yararlanılarak Türkiye'nin yıllık donma – çözülme haritası ASTM (1990) tarafından önerilen yöntemle hazırlanmıştır (Şekil 2.6). Aşağıdaki bu eş donma – çözülme çevrim sayısı kontur haritası incelendiğinde; Türkiye için minimum donma – çözülme çevrim sayısının 5 ve maksimum donma – çözülme çevrim sayısının ise 40 olduğu görülmektedir.



**Şekil 2.6.** Türkiye için hazırlanmış eş donma – çözülme çevrim sayısı kontur haritası (Binal vd., 1997).

Kayaların donmaya karşı duyarlılığı; kayanın cinsine, mineralojik özelliklerine, gözenekliliğine, gözenek yapısına, su emme kapasitesine, sıcaklığa ve bulunduğu ortama bağlıdır (Akın, 2008).

### **2.2.1.2. Termal şok etkisi**

Şiddetli yağmurları izleyen kurak mevsimde güneşin oluşturduğu yüksek ısı, gözeneklere kuvvetle basınç uygulayarak yüzeydeki suyu hızlı bir şekilde buharlaştırmaktadır. Bu ani ısı değişiminin neden olduğu “termal şok” ‘ların değişik şiddetlerde tekrarlanması, kayacın mekanik dengesini bozarak direncini de azaltmaktadır (Öcal ve Dal, 2012).

Sıcaklık farkı, kayalarda sıcaklık değişimine bağlı olarak genleşme ve büzülme neden olmakta, bu nedenle de taneler arasında farklı yönde ve büyüklükte iç basınçlar oluşmaktadır (Öcal ve Dal, 2012). Diğer bir deyişle; kayalar çok çeşitli minerallerden oluştuğundan ve her bir mineralin ısındığında uzama katsayısı birbirinden farklı olduğundan, periyodik ısınma ve soğumanın etkisinde kalan kayalarda uzama katsayısı fazla olan mineral ısınma sırasında hacmini daha fazla genişleterek diğer minerale basınç yapma eğilimindedir.

Sıcaklık değerlerinin gece ve gündüz arasında büyük farklılıklar gösterdiği iklimlerde, ısınma soğuma döngüsü içerisinde kayaların bünyesinde sıcaklık gradyanlarına bağlı olarak farklı gerilmeler oluşur. Örneğin, bir malzeme güneş altında yüzeyden itibaren daha içlere doğru farklı sıcaklık değerlerine sahip olur. Bunun tersi olarak da, sıcaklığın düştüğü bir ortamda yüzey soğumaya başlarken, iç kısımlar hala sıcaklığını korur. Bu sıcaklık farkları da kaya içerisinde eşit olmayan genleşmelerin oluşmasına neden olur. Bu döngüsel olaylar çerçevesinde kaya parçalanarak ilksel özelliğini kaybetmeye başlar (Akın, 2008).

### **2.2.2. Doğal taşlarda fiziksel bozunma ile ilgili yapılan çalışmalar**

Doğal taşlar kullanıldıkları yere göre uzun süre yağmur, rüzgar, nem, donma – çözülme ve gece gündüz sıcaklık farklılıkları gibi atmosfer olaylarına maruz kalmaktadır (Şengün vd., 2008). Bu tür etkilere maruz kalan ve yüzey kaplaması olarak kullanılan doğal taşlarda atmosfer şartlarının kayacın bünyesinde yarattığı gerek fiziksel, gerekse de kimyasal etkiler incelenmesi gereken önemli bir konudur. Mermerlerin yapısında meydana gelen bu bozulmalar onarım yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu onarım hem farklı

mermerlerin kullanılmasına hem de ekstra işçilik giderlerinin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Bütün bu işlemler doğal olarak yapı maliyetini arttırmaktadır (Erdoğan ve Yaşar, 2001).

Atmosfer koşullarının doğal taşların özellikleri üzerindeki etkisini ortaya koyabilmek için ulusal ve uluslararası düzeyde, pek çok araştırmacı çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmalardan bir kısmı bir tarihi esere veya bir yöreye özgü gerçekleştirilirken; bir kısmı da, doğal taş türüne veya bozunmaya neden olan etkene göre gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalardan, bu doktora tezine konu olan; donma – çözülme ve/veya termal şok olaylarını inceleyen çalışmalar detaylı olarak incelenmiştir. Bugüne kadar donma – çözülme ve/veya termal şok olaylarının doğal taşlarının üzerindeki etkisinin incelendiği tüm çalışmalarda, numunelere uygulanan donma – çözülme ve/veya termal şok süreleri ve sıcaklıkları ile çevrim sayıları farklılık göstermektedir. Bu durum yapılan çalışmaların sonuçlarının birbiri ile kıyaslanabilmesini ve birbirine bağlı yorumlanabilmesini güç hale getirmektedir.

Bugüne kadar pek çok araştırmacı donma – çözülme koşullandırması ile koşullandırılmış doğal taşların fiziko – mekanik özelliklerindeki değişimleri inceleyen çalışmalar gerçekleştirmiştir.

Binal vd. (1997) yaptıkları çalışmada, Eskişehir – Yazılıkaya çevresinde bulunan volkanosedimenter kayaların porozite, ağırlıkça su emme, tek eksenli sıkışma dayanımı, Schmidt sertliği ve suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi parametreleri üzerinde bu tür kayaların bozulmasında etkin faktörlerden biri olan donma – çözülme çevrimlerinin etkilerinin incelenmesini amaçlamıştır. Taze kayaç örnekleri üzerinde yapılan tek eksenli sıkışma dayanımı, porozite, ağırlıkça su emme, Schmidt sertliği ve suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyleri her 5 donma – çözülme çevrimi sonrasında numunelere uygulanmış ve en yüksek çevrim sayısı 20 çevrim olarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca tüm analizler karot numuneleri üzerinde yapılmıştır. Deneyler sonucunda, tütün donma – çözülme çevrimleri ile porozite ve ağırlıkça su emme değerlerinde artış olduğu; suda dağılmaya karşı duraylılık indeksinde, tek eksenli sıkışma dayanımında ve Schmidt sertliği değerinde ise, azalmalar olduğu ifade edilmiştir.

Topal ve Sözmen (2000) yaptıkları çalışmada, Midas Anıtı'nın yapıldığı Yazılıkaya tüflerinin donma – çözülme olayına karşı dayanımını incelemeyi amaçlamışlardır. Numunelerin 6 saat (-15) °C derin dondurucuda ve sonrasında 6 saat (15 – 20) °C suda bekletilmesinin bir çevrim olduğu çalışmada, numunelere toplamda 52 çevrim uygulanmıştır. Numunelerin etkin porozite, kuru birim ağırlık, su emme, tek eksenli basınç dayanımı ve sonik hız değerleri donma – çözülme koşullandırması öncesi, 10. çevrimden sonra, 20. çevrimden sonra, 40. çevrimden sonra ve 52. çevrimden sonra olmak üzere; toplamda beş kez ölçülmüştür. Çalışmanın sonucunda tüflerin donma – çözülme olayından etkilendiği ve bu nedenle de Yazılıkaya tüflerinin donma – çözülme olayına karşı korunması gerektiği ifade edilmiştir.

Altındağ ve Alyıldız (2004) yaptıkları çalışmada, Isparta – Dereboğazı tufünün fiziksel ve mekanik özelliklerine donma – çözülme periyotlarının etkisini araştırmayı amaçlamışlardır. Donma – çözülme deneyleri TS 699 (1987) standardına göre yapılmış, yani numunelerin 2 saat (-20) °C derin dondurucuda ve sonrasında 2 saat (+20) °C suda bekletilmesinin bir çevrim olduğu çalışmada; numunelere toplamda 55 çevrim uygulanmıştır. Numunelerin, birim hacim ağırlık, hacimce ve ağırlıkça su emme, P-dalga hızı, tek eksenli basınç dayanımı, nokta yük dayanım indeksi, Brazillian çekme dayanımı ve disk makaslama indeksi değerleri donma – çözülme çevrimlerine başlanmadan önce ve her 5 çevrimde bir olmak üzere, toplamda 12 kez ölçülmüştür. 55 çevrim sonunda numunelerin ağırlıkça su emme değeri %54,72 oranında, hacimce su emme değeri %46,36 oranında artmış; birim hacim ağırlığı %7,59 oranında, P – dalga hızı değeri %23,2 oranında, tek eksenli basınç dayanımı %55,13 oranında, nokta yük dayanım indeksi %61,11 oranında, Brazillian çekme dayanımı %43,2 oranında ve disk makaslama indeksi %58,52 oranında azalmıştır. Çalışma sonunda ise, Isparta – Dereboğazı tufü için donma – çözülme periyotlarının fiziksel özelliklerden en fazla ağırlıkça su emme değerini; mekanik özelliklerden ise, en fazla nokta yük dayanım indeksi değerini ve en az ise, Brazillian çekme dayanım değerini etkilediği ifade edilmiştir.

Şengün vd. (2008) yaptıkları çalışmada, Burdur, Antalya ve Kastamonu bölgelerinden temin edilen 6 farklı kireç taşının donma – çözülme çevrimleri sonrasında fiziksel, mekanik ve indeks özelliklerinin değişimini incelemiş ve bu değişimlerin önceden tahmin edilebilirliğini araştırmayı amaçlamışlardır. Donma – çözülme deneyleri TS 699

(1981) standardına göre yapılmış; yani numunelerin 2 saat (-20) °C derin dondurucuda ve sonrasında 2 saat (+20) °C suda numunelerin bekletilmesinin bir çevrim olduğu çalışmada; numunelere toplamda 50 çevrim uygulanmıştır. Numunelerin kuru birim hacim ağırlık, görünür gözeneklilik, P dalga hızı, Shore sertliği, nokta yükü dayanım indeksi, Brazilian çekme dayanımı, eğilme dayanımı, disk makaslama dayanım indeksi değerleri donma – çözülme çevrimleri öncesi ve her 10 çevrimde bir olmak üzere tekrarlanmış ve değişimler ortaya konmuştur. Donma – çözülme çevrim sayısı arttıkça tüm mekanik ve indeks özelliklerin ve ses hızının azaldığı, görünür gözenekliliğin ise arttığı ifade edilmiştir. Ayrıca, çevrimlerin Shore sertliği üzerine fazla bir etkisinin olmadığı da çalışmada vurgulanmıştır.

Karaca vd. (2010) yaptıkları çalışmada, 5 farklı grup doğal taşın (mermer, kireçtaşı, traverten, oniks, ve granit) donma – çözülme çevrimleri sonrasında aşınma direncindeki değişimi ortaya koymayı amaçlamışlardır. Bunun için, her grup taştan ikişer farklı örnek olmak üzere toplamda 10 farklı doğal taş kullanılmıştır. Bu taşların mineralojik – petrografik özelliklerini, kimyasal özelliklerini ve bazı fiziko – mekanik özelliklerini (kuru ağırlık, porozite, tek eksenli basınç dayanımı ve direkt çekme dayanımı) ortaya koyacak deneyler gerçekleştirilmiştir. Donma – çözülme çevrimleri numunelerin 18 saat (-20) °C derin dondurucuda ve sonrasında 6 saat (+20) °C suda bekletilmesi bir çevrim olmak üzere, toplamda 28 çevrim uygulanmıştır. Çalışmada, hem ham numunelere (taze numunelere), hem de donma – çözülme uygulanmış numunelere iki farklı aşındırma deneyi (Wide-Whell ve Böhme) yapılmıştır. Çalışmanın sonunda, Wide-Whell aşınma değerleri ile Böhme aşınma değerlerinin farklı çıktığı ve donma – çözülme koşullandırması sonrası doğal taşların aşınma direncinin Böhme aşındırma deneyi ile ölçülmesinin daha sağlıklı sonuçlar vereceği vurgulanmıştır. Ayrıca, donma – çözülme koşullandırması için 28 çevrimin oniks ve granit örneklerinin aşınma dayanımı üzerinde bir değişikliğe neden olmadığı ifade edilerek, bu sert taş grubu için donma – çözülme koşullandırmasının 42 çevrim veya daha fazla olması önerilmiştir.

Bodur vd. (2010) yaptıkları çalışmada, donma – çözülme çevrimlerinin mermerlerin mekanik özellikleri üzerine etkisini ortaya koymayı amaçlamışlardır. Donma – çözülme koşullandırması TS 699 standardına göre, yani numunelerin 2 saat (-20) °C derin dondurucuda ve sonrasında 2 saat (+20) °C suda bekletilmesi bir çevrim olmak üzere,

numunelere toplamda 25 çevrim uygulanmıştır. Beş farklı mermer kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada, mermerlerin donma – çözülmeye maruz kalmamış hallerine (ham hallerine) ve 25 çevrim donma – çözülme koşullandırmasına maruz bırakılmış hallerine tek eksenli basınç dayanımı, Brazillian indirekt çekme dayanımı, nokta yük dayanım indeksi, Böhme aşındırma dayanımı ve kırılma tokluğu deneyleri yapılmıştır. Numunelerin donma – çözülme öncesi (ham numuneler) mekanik değerleri ile donma – çözülme sonrası (25 çevrim koşullandırılmış numuneler) mekanik değerlerin ilişkileri basit regresyon analizi ile incelenmiştir. Bu analizden yola çıkarak, donma – çözülme öncesi ve sonrası mekanik özelliklerdeki değişimin ortaya konması için her bir özellik için ayrı ayrı olmak üzere formüller önerilmiş ve benzer mermerler için donma – çözülme koşullandırması yapılmadan bu özelliklerin bu formüllerle ortaya konabileceği ifade edilmiştir.

Bayram (2012) yaptığı çalışmada, kayaçların bazı fiziko – mekanik özelliklerini kullanarak kayaçların donma – çözülme döngüsü sonundaki tek eksenli basınç dayanımı kaybını tahminlemeyi hedeflemiştir. Bunun için, kayaçların tek eksenli basınç dayanımı, Brazillian çekme dayanımı, eğilme dayanımı, darbe dayanımı, elastisite modülü, görünür porozite ve su emme değerlerini belirlemiştir. Sonrasında TS 699 standardına göre, yani numunelerin 2 saat (-20) °C derin dondurucuda ve sonrasında 2 saat ve (+20) °C suda bekletilmesiyle bir çevriminin tamamlandığı donma – çözülme deneyini 25 çevrim olarak gerçekleştirmiş ve numunelerin donma – çözülme öncesi tek eksenli basınç dayanımı değerleri ile donma – çözülme sonrası tek eksenli basınç dayanımı değerlerini kullanarak dayanım kaybı yüzdelerini hesaplamıştır.

Jamshidi vd. (2013) yaptıkları çalışmada, yapıtaşlarının donma – çözülmeye karşısındaki uzun dönem duraylılıklarını bozunma fonksiyon modeli ile tahminlemeyi amaçlamışlardır. Çalışmada, İran'daki ocaklarda üretilmiş metamorfik, magmatik ve sedimenter kökenli 14 farklı doğal taş kullanılmıştır. Bu taşların mineralojik – petrografik özellikleri ile kuru ve doygun yoğunluk, etkin porozite ve su emme değerleri gibi fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Donma – çözülme çevrimleri numunelerin 2 saat (-20) °C derin dondurucuda ve sonrasında 2 saat (+20) °C suda bekletilmesi bir çevrim olmak üzere, toplamda 30 çevrim gerçekleştirilmiştir. Çevrimlere başlamadan önce ve her beş çevrimde bir olmak üzere her taş için Brazillian çekme dayanımı ve nokta yük dayanım indeksi



deneyleri gerçekleştirilmiştir. Her taş için Brazillian çekme dayanımı ve nokta yük dayanım indeksi değerleri için doğrusal olmayan regresyon analizi gerçekleştirilerek; bu analiz yardımıyla doğal taşların bozunma sabitleri ve yarı – ömürleri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda; doğal taşların donma – çözülme olayı karşısında gösterdiği duraylılığın doğal taş türünden tespit edilmesinin doğru olmayacağı ifade edilmiştir. Ayrıca kayaçların yarı – ömrü ne kadar fazla ise; dayanımının da o oranda fazla olacağı ortaya konmuştur.

Jamshidi vd. (2015), 14 farklı taşın özelliklerini kullanarak, donma – çözülme koşullandırması sonrası özelliklerin çoklu regresyon analizi ile tahminine yönelik bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmada İran'daki ocaklardan üretilmiş ve Tahran'ın etrafındaki fabrikalarda işlenmiş beş farklı volkanik, beş farklı sedimentler, üç farklı metamorfik ve bir tane de piroklastik kayaç kullanılmıştır. Bu kayaçların petrografik özellikleri, kuru yoğunluk, doygun yoğunluk, etkin porozite, toplam porozite, su emme ve özgül kütle gibi fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Donma – çözülme koşullandırması numunelerin 12 saat (-20) °C derin dondurucuda ve sonrasında 12 saat (+20) °C suda bekletilmesi bir çevrim olmak üzere, toplamda numunelere 30 çevrim uygulanmıştır. Numunelerin Brazillian indirekt çekme dayanımı, nokta yük dayanımı indeksi ve P-dalga hızı değerleri; hem donma – çözülme koşullandırması öncesi, hem de donma – çözülme koşullandırması sonrası ölçülmüş ve yüzdesel olarak değişimleri hesaplanmıştır. Yüzdesel değişimler fiziko – mekanik özellikler için incelendiğinde donma – çözülme koşullandırmasından P – dalga hızının, Brazillian indirekt çekme dayanımına ve nokta yük dayanımı indeksine göre daha az etkilendiği ifade edilmiştir. Yüzdesel değişimler deneye tabii tutulan numune türüne göre incelendiğinde ise, donma – çözülme koşullandırmasından en çok travertenlerin ve tüfün; en az ise, dasit, amfibol ve granitin etkilendiği ifade edilmiştir. Ölçülen bu üç fiziko – mekanik özelliğin donma – çözülme öncesi ve sonrası değerleri arasındaki azalma yüzdeleri ile kayaçların su emme ve toplam porozite değerleri arasındaki ilişki basit regresyon analizi ile incelenmiş ve çıkan sonuçların  $R^2$  değerlerinin 0,379 – 0,788 arasında değiştiği ifade edilmiştir. Donma – çözülme öncesi ölçülen özellikler de denkleme eklenerek oluşturulan çoklu regresyon analizlerinde ise,  $R^2$  değerlerinin 0,977 – 0,989 arasında değiştiği ifade edilmiştir. Sonrasında bu eşitliklerden tahminlenen değerler ile deneylerden elde edilen değerler karşılaştırılarak iyi bir tahmin denklemi oluşturulduğu ispatlanmıştır.

Jamshidi vd. (2016) yaptıkları çalışmada, tekrarlı donma – çözülme çevrimlerinin suyla veya sodyum sülfat çözeltisiyle yapmanın Gerdoee travertenlerinin mekanik özelliklerine etkisini bozunma fonksiyon modeli kullanarak incelemeyi amaçlamışlardır. Gerdoee travertenlerinin kuru ve doymuş yoğunluğu, etkin porozitesi, su emme değeri, basınç dayanımı, Brazillian çekme dayanımı, nokta yük dayanım indeksi ve ses hızı değerleri ölçülmüştür. Donma – çözülme çevrimi ise; numunelerin yarısı için su kullanılarak, diğer yarısı için ise, sodyum sülfat çözeltisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Numuneler öncelikle suda/sodyum sülfat çözeltisinde doymuş hale getirilmiş; sonra doymuş numuneler 12 saat (-12) °C derin dondurucuda ve sonrasında 12 saat (+12) °C suda/sodyum sülfat çözeltisinde bekletilerek bir çevrimi tamamlanmak suretiyle, toplamda 60 çevrim donma – çözülme koşullandırmasına tabii tutulmuştur. Her on çevrimde bir numunelerin basınç dayanımı, Brazillian çekme dayanımı, nokta yük dayanım indeksi ve ses hızı değerleri ölçülmüştür. Sonuçta; iki farklı sıvı kullanılarak yapılan her iki donma – çözülme koşulu altında bu özelliklerde yüzde kaç azalma olduğu, bu özellikler ekseninde Gerdoee travertenlerinin yarı-ömrü ve bozunma sabiti ortaya konmuştur. Gerdoee travertenlerinin sodyum sülfat çözeltisi kullanılarak gerçekleştirilen donma – çözülme çevrimlerinden daha fazla etkilendiği ifade edilmiştir.

Doğal taşlar ile ilgili yapılan çalışmaların yanı sıra; doğal taşların yapı elemanı olarak kullanıldığı gibi, yapı elemanı olarak kullanılan parke, bordür ve gaz betonun donma – çözülme etkisi nedeniyle yapılarında oluşan kapilerite etkisi ve aşınma kaybı Çoban vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada deneysel olarak incelenmiştir. Bu inceleme için her bir numuneden 18'er adet olmak üzere toplam 54 adet numune hazırlanmıştır. Donma – çözülme etkisini incelemek için, numuneler 2 saat yaklaşık (-20) °C'ye kadar soğuyabilen derin dondurucuda ve sonrasında 2 saatte yaklaşık (+20) °C olan kür havuzunda bekletilerek bir döngü oluşturulmuştur. Numunelerden on beşinci ve yirmi beşinci döngülerde aşınma direnci ve kapilerite ölçümü alınmıştır. Kapilerite deneyleri TS EN 772-11 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Numunelerin iki paralel yüzeyi parafinle kaplanmış ve parafinsiz yüzeylerinden biri suya girecek şekilde su dolu kaba yerleştirilerek 5, 10, 15, 30, 60'ncü dakikalardaki su emme ağırlıkları ölçülmüştür. Aşınma kaybı ise, TS 2824 EN 1338 standardına göre Böhme aşındırma cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her çevrim 24 turdan oluşmak üzere her bir numunenin bir yüzüne 16 çevrim uygulanmış ve her çevrimde aşındırıcı toz değiştirilmiştir. Deney başlangıcında ve

sonunda tartım alınarak ağırlık kayıpları belirlenmiştir. Deneyler sonucunda; kapiler etkisine ve aşınma direncine en yüksek dayanımı sırasıyla parke, bordür ve gaz beton göstermiştir.

Doğal taş atıklarının değerlendirilmesine yönelik yapılan çalışmaların bir kısmında doğal taş tozu kullanılarak yapılan betonların donma – çözülme koşullandırmasının etkileri incelenmiştir.

Ünal ve Uygunoğlu (2004) yaptıkları çalışmada, beton üretiminde uçucu kül ve mermer tozu kullanımının donma – çözülme koşulunda betonun dayanımına etkisini incelemeyi hedeflemişlerdir. Bunun için, farklı içerikte iki seri beton hazırlanmıştır. İlk seride, çimento yerine %10, %20, %30 olmak üzere farklı oranlarda Soma Termik Santrali'nin uçucu külü kullanılarak beton numuneler hazırlanırken; ikinci seride ise, ince malzeme yerine %10, %15, %20 olmak üzere farklı oranlarda İncehisar'da bulunan bir mermer işletmesinin çökelti havuzundan alınan mermer tozu kullanılarak beton numuneler hazırlanmıştır. Betona konan katkının etkisini ortaya koyabilmek için, 6 set katkılı numunenin yanında bir de uçucu kül ve mermer tozu kullanılmadan şahit numuneler hazırlanmıştır. Numuneler içerisinde buldukları kalıbın sökülmesinden sonra 28 gün normal sıcaklıktaki kirece doymuş su içerisinde kürlenmiş ve 28 gün sonunda doymuş numuneler 3 saat (-20) °C dondurucuda ve sonrasında 2 saat (+4) °C suda bekletilerek bir çevrimi tamamlanmak üzere, toplamda 25 çevrim donma – çözülme işlemine tabii tutularak koşullandırılmışlardır. 10x10x10 cm boyutlarında hazırlanan küp numunelerle donma – çözülme öncesinde ve donma – çözülme sonrasında birim hacim ağırlık ve ultrasonik ses hızı ölçümü, 15x15x15 cm boyutlarında hazırlanan küp numunelerle ise, basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda; uçucu kül katkılı betonların dayanımının şahit numunenin dayanımına kıyasında çok büyük bir değişim gözlemlenmezken; mermer tozu katkılı betonun dayanımının şahit numunenin dayanımına kıyasında dayanımda bir miktar azalma olduğu ifade edilmiştir. En optimum dayanım değerlerinin ise, %20, %30 oranında uçucu kül katkısıyla veya %15, %20 oranında mermer tozu katkısıyla sağlandığı ifade edilmiştir.

Göker vd. (2013) yaptığı çalışmada farklı oranlarda cam lif ve atık mermer tozu katkılı harç numunelerinin donma – çözülme etkisi altında fiziko – mekanik özelliklerini incelemeyi amaçlamıştır. Çalışmada 6 mm'lik cam lifi ile Elazığ Vişne ve Hazar Bej ticari isimleri ile tanınan, iki farklı mermer kullanılmıştır. Harç numunelerinin üretimi sırasında; karışıma hiç cam lifi eklenmemiş ve  $10 \text{ kg/m}^3$  ve  $20 \text{ kg/m}^3$  miktarlarında kırılmış 6 mm boyunda cam lifi eklenmiş ve ağırlıkça %10, %20, %30 oranlarında atık mermer tozu ilave edilmiş 10 farklı içerikte harç numunesi hazırlanmıştır. Kalıplardan çıkarılan harç numuneleri 28 gün kürlendikten sonra, donma – çözülme koşullandırması ASTM C666'ya uygun şekilde yani,  $(-20) \text{ }^\circ\text{C}$  derin dondurucuda donma ve  $(+20) \text{ }^\circ\text{C}$  suda çözülme bir çevrim olacak şekilde toplamda 30 çevrim uygulanmıştır. Numunelerin donma – çözülme öncesi ve donma – çözülme sonrası ultra ses hızı, porozitesi, kapiler su emmesi, eğilme dayanımı ve basınç dayanımı uygun standartlara göre ölçülmüştür. Sonuçta, cam lif ve mermer tozu katkılı harç numunelerinde cam lif oranının artışı, porozite, kapilarite ve eğilme dayanımında artışa; ultra ses hızı ve basınç dayanımında ise azalışa sebep olmuştur. Cam lif ve mermer tozu katkılı harç numunelerinde atık mermer tozu miktarının artışı ise, porozite, eğilme dayanımı, ultra ses hızı ve basınç dayanımında artışa sebep olmuştur. Beklendiği gibi, donma – çözülmeye maruz kalan cam lif ve mermer tozu katkılı harç numunelerinin porozite ve kılcal su emme değerlerinin arttığı; ultra ses hızı, eğilme dayanımı ve basınç dayanımı değerlerinin ise, azaldığı ortaya konmuştur. Ayrıca cam lif katkılı harç numunelerinde atık mermer tozu kullanımının donma – çözülme sonrası numunelerde meydana gelen dayanım kaybının daha az olmasına neden olduğu da ifade edilmiştir.

Buraya kadar incelenen çalışmalarda, doğal taşların, doğal taşlar dışındaki yapı elemanlarının ve doğal taş tozları ile hazırlanan betonların özelliklerinin sadece donma – çözülme koşullandırmasından nasıl etkilendiği ortaya konmuştur. Doğal taşların özelliklerinin hem donma – çözülme, hem de termal şok koşullandırmasından nasıl etkilendiğinin incelendiği çalışmalar da yapılmıştır. Bu çalışmalara aşağıda yer verilmektedir.

Mutlutürk vd. (2004) yaptıkları çalışmada, tekrarlanan donma – çözülme ve ısınma – soğuma çevrimlerine maruz kalan doğal taşlardaki bütünlük kaybını ortaya koymak için bir bozunma fonksiyonu modeli geliştirmeyi amaçlamışlardır. Bunun için bir eşitlik

önerilmiş ve bu önerilen eşitliğin güvenilirliği laboratuvar deneyleri ile ortaya konmaya çalışılmıştır. Çalışmada; 7 tane sedimenter, 2 tane metamorfik ve 1 tane volkanik kökenli doğal taş olmak üzere, 10 farklı doğal taş kullanılmış ve bozunma çevrimlerine başlanmadan önce bu doğal taşların mineralojik – petrografik özellikleri ile kuru ve doymuş birim ağırlık, etkin ve toplam porozite, yoğunluk ve P – dalga hızı değerleri belirlenmiştir. Doğal taşlarda donma – çözülme çevrimi TS 699 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Yani, numuneler suya doymuş hale getirildikten sonra, 2 saat (-20) °C derin dondurucuda ve sonrasında 2 saat (+20) °C suda bekletilmesiyle bir çevrimin tamamlandığı çalışmada, numunelere toplamda 50 çevrim uygulanmıştır. Numunelerin 2 saat (+100) °C etüvde ve sonrasında 2 saat (+20) °C oda sıcaklığında bekletilmesiyle bir çevrimin tamamlandığı ısınma – soğuma çevrimi ise toplamda 50 çevrim uygulanmıştır. Numunelerin bozunma derecesi Shore sertlik deneyi ile ortaya konmaya çalışılmıştır. Shore sertlik deneyi için 50x50x50 cm ebatlı küp numuneler kullanılmış, her ölçüm safhasında her taş için otuzar ölçüm alınarak, 30 ölçümün ortalaması Shore sertlik değeri olarak belirlenmiştir. Shore sertlik ölçümleri hem donma – çözülme koşullandırmasında, hem de ısınma – soğuma koşullandırmasında çevrimlere başlanmadan önce, 5. çevrimin, 10. çevrimin, 15. çevrimin, 20. çevrimin, 25. çevrimin, 30. çevrimin, 40. çevrimin ve 50. çevrimin sonunda olmak üzere her taş için 9 kez gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümler her taş için doğrusal olmayan regresyon analizi yapılmış ve bu analiz sonuçlarından taşların bozunma sabitleri belirlenmiş ve yarı – ömürleri hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda; farklı taşların donma – çözülme ve ısınma – soğuma çevrimlerinden farklı oranlarda etkilenebileceği gibi; yakın ya da aynı oranda da etkilenebileceği ortaya konmuştur. Doğal taş türünün donma – çözülme çevrimine veya ısınma – soğuma çevrimine karşı duraylılık hakkında fikir veremeyeceği; bunun için taşın bozunma sabiti veya yarı – ömrünü gibi daha anlamlı parametrelerin ortaya konması gerektiği ifade edilmiştir.

Yavuz vd. (2006) yaptıkları çalışmada, birbirinden farklı 12 tane karbonatlı kayacın fiziksel bozunmadan kaynaklı (donma – çözülme ve termal şok) özelliklerindeki değişimi ortaya koymayı amaçlamışlardır. Donma – çözülme koşullandırması TS 699 standardına göre yani, numunelerin 2 saat (-20) °C derin dondurucuda ve sonrasında 2 saat (+20) °C suda bekletilmesiyle bir çevrim tamamlanacak şekilde ve termal şok koşullandırması ise, TS EN 14066 standardına göre, yani numunelerin 18 saat (+105) °C etüvde ve sonrasında 6 saat (+20) °C suda bekletilmesiyle bir çevrim tamamlanacak şekilde uygulanmıştır. Her iki

koşullandırma işlemi de toplamda yirmişer döngü olarak gerçekleştirmiştir. Kayaçların koşullandırılmamış yani ham hallerinin yoğunluk, etkin porozite, ses hızı, tek eksenli basınç dayanımı ve Schmidt sertliği değerleri standartlara uygun yöntemle belirlemiştir. Donma – çözülme ve termal şok uygulanmış numunelerin ise ses hızı, tek eksenli basınç dayanımı ve Schmidt sertliği değerleri belirlemiştir. Ham kayaçların ses hızı, tek eksenli basınç dayanımı, Schmidt sertliği ve porozite değerlerini bağımsız değişken ve donma – çözülme veya termal şok koşullandırılması sonrası ses hızı, tek eksenli basınç dayanımı, Schmidt sertliği değerlerinin de bağımlı değişken kabul ederek çoklu regresyon analizi gerçekleştirmiş ve bağımlı değişkenin tahminlendiği bir eşitlik önermiştir. Bu eşitlikle tahmin edilen değerler ile deneyle ölçülen değerler karşılaştırılmıştır. Ayrıca bu önerilen modelin döngünün herhangi bir anındaki değeri tahmin edebilir olması için Mutlutürk vd. (2004) tarafından önerilen üstel bozunum fonksiyonuyla da birleştirilmiştir. Bu birleştirilmiş modelin doğruluğu da; Hale ve Shakoor (2003) tarafından yapılmış çalışmadaki veriler kullanılarak konmuştur.

Takarli vd. (2008) yaptıkları çalışmada, donma – çözülme ve ısınma – soğuma çevrimlerinin iki farklı granitik kayacın bazı fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etkisini deneysel olarak incelemeyi amaçlamışlardır. Deneyler, 40 mm çaplı, 60 mm uzunluklu karot örnekler ile gerçekleştirilmiştir. Fiziksel özellik olarak P dalga hızı ve permeabilite; mekanik özellik olarak ise, basınç dayanımı ve elastisite araştırma konusu olmuştur. Ölçümler hem taze kayaçtan, hem öncelikle 105 °C de kurutulup sonrasında (+20) °C – (-20) °C ısınma – soğuma çevrimine tabi tutulmuş kayaçtan, hem de öncelikle suya doygun hale getirilip sonrasında (-20) °C – (+20) °C donma – çözülme çevrimine tabi tutulmuş kayaçtan olmak üzere, üç farklı şekilde koşullandırılmış iki farklı doğal taş için gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık farkıyla gerçekleştirilen iki koşullandırma işlemi de toplamda 300 çevrim gerçekleştirilmiştir. P - dalga hızı ve permeabilite ölçümleri her 25 çevrimde bir alınırken; basınç dayanımı ve elastisite modülü ölçümü 300 çevrimin sonunda alınmıştır. Permeabilite ve P - dalga hızı değerleri inişli – çıkışlı salınımlar göstermekle birlikte yaklaşık 200 çevrime kadar her iki taş ve her iki koşul için de azalma eğilimindeyken, yaklaşık 200 çevrimden sonra artma eğilimindedir. 300 çevrimin sonunda ölçülen basınç dayanımı değerleri değişim göstermezken; elastisite modülü değerleri azalma eğiliminde olmuştur.

Akbay vd. (2012) yaptıkları çalışmada, 6 farklı doğal taş üzerinde donma – çözülme ve termal (ısı) şok deneyleri ile yaşlandırma testleri gerçekleştirmişler ve testler sonunda çevrim sayısına bağlı olarak kütle kaybı ve parlaklık değişimlerini incelemeyi hedeflemişlerdir. Çalışmada, TS EN 1936 standardına göre kuru hacim ağırlık değerleri, ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri; TS EN 14579 standardına göre sismik hız deneyleri; TS EN 1926 standardına göre tek eksenli basınç dayanım deneyleri; TS EN 12372 standardına göre üç nokta eğilme dayanımı deneyleri ve TS EN 14157 standardına göre Böhme yüzey aşındırma deneyleri 6 farklı doğal taş için de yapılmıştır. Çalışmanın ana deneyleri olan donma – çözülme deneyleri TS EN 12371 standardına göre; termal şok deneyleri ise TS EN 14066 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Her iki test için de 200x100x20 mm ebadında bir yüzü cilalı numuneler kullanılmış ve testlere başlamadan önce numunelerin ağırlıkları ve yüzey parlaklık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Donma – çözülme deneylerinde bir çevrim için; önceden doygun hale getirilen numuneler (-20) °C'ye ayarlanmış derin dondurucuda 6 saat bekletilmiş ve sonra yaklaşık (+22) °C'de bulunan suya konularak 18 saat suda bekletilmiştir. Her beş çevrim sonunda numuneler kurutularak ağırlık ve parlaklık ölçümleri alınmış ve toplamda 40 çevrim donma – çözülme testi uygulanmıştır. Termal şok deneylerinde ise; bir çevrim için numuneler (+105) °C'ye ayarlanmış etüvde numuneler 18 saat süreyle bekletilmiş ve sonrasında yaklaşık (+22) °C'de bulunan suya konularak 6 saat suda bekletilmiştir. Her beş çevrim sonunda numuneler kurutularak ağırlık ve parlaklık ölçümleri alınmış ve toplamda 40 çevrim termal şok testi uygulanmıştır. Yapılan deneyler sonunda donma – çözülme çevrimleri sırasında ağırlık kaybının parlaklık kaybına karşı daha fazla olduğunu; termal şok çevrimleri sırasında ise parlaklık azalmasının ağırlık kaybına göre daha fazla olduğunu belirlemişlerdir. Donma – çözülme çevrimleri etkisi altında ağırlık kaybının en fazla olduğu doğal taş numunesinin en gözenekli olan Dazkırı Siyah numunesi olduğu ve termal şok çevrimleri etkisi altında ise; parlaklık azalması açısından en fazla değişimin ise kristal boyunun daha büyük olmasından dolayı Afyon Şeker numunesinde olduğu ifade edilmiştir.

Ersoy vd. (2014) yaptıkları çalışmada, sert taşların ucuz ithalat nedeniyle üretiminin durması karşısında, Doğu Karadeniz Bölgesi'nde bulunan Saraftepe Tefrit Silinin fiziko – mekanik özelliklerini inceleyerek bölge ekonomisine sağlayacağı katkıyı ortaya koymaya çalışmıştır. Çalışmada, taşın doğal su içeriği, birim hacim ağırlığı, görünür porozitesi, ağırlıkça su emme oranı, boyuna dalga hızı ve tek eksenli basınç dayanımını belirlemiştir.

Ayrıca ASTM 1992A yöntemi esas alınarak ıslanma – kuruma çevrim koşullarında ve ASTM 1992B yöntemi esas alınarak donma – çözülme çevrimi koşullarında kayacın aşınmaya karşı duyarlılığı belirlenmiştir. Sonuçta ıslanma – kuruma çevrimi sonrası örnekler için aşınmadan kaynaklı ortalama ağırlık kaybı %0,22 bulunurken; donma – çözülme çevrimi sonrası aşınmadan kaynaklı ortalama ağırlık kaybı %0,36 bulunmuştur.

Donma – çözülme ve termal şok koşullandırılmasının çeşitli dolgu malzemeleri ile güçlendirilmiş doğal taşların özelliklerine etkisini inceleyen çalışmalar da yapılmıştır. Bu çalışmalara aşağıda yer verilmektedir.

Efe vd. (2012) yaptıkları çalışmada, epoksi ile tamir edilmiş bej mermerleri ve ham bej mermerleri termal (ısı) şok ve donma – çözülme çevrimlerine tabi tutarak doğal ortam şartlarının bej mermerler üzerindeki etkisini ortaya koymayı hedeflemişlerdir. Çalışmada; Hacılar Bej, Eğridir Bej ve Aksu Bej ticari isimli üç farklı sedimenter kökenli doğal taşın ham ve epoksili numuneleri kullanılmıştır. Çevrimlere başlanmadan önce numunelerin birim hacim ağırlık, hacimce ve ağırlıkça su emme oranları, porozite değerleri ve nokta yük dayanım indeksi değerleri belirlenmiştir. Termal şok ve donma – çözülme çevrimleri sırasıyla TS EN 14066 ve TS EN 12371 standartlarına göre toplamda 40’ar çevrim olmak üzere gerçekleştirilmiştir. Çevrimlere başladıktan sonra, her 10 çevrimde bir hacimce su emme ve nokta yük dayanım değerleri ölçülerek oluşan değişimler kaydedilmiştir. Kullanılan numunelerden Eğridir bölgesi bejinin atmosferik etkilere karşı dayanıklılığının en yüksek olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca örnekler üzerinde yapılan deney sonuçlarına göre termal şok etkisinin donma – çözülme etkisine nazaran kayalar daha fazla olumsuz etkilediği belirlenmiştir.

Demirdağ (2013) yaptığı çalışmada, donma – çözülme ve termal şok döngülerinden dolgulu ve dolgusuz travertenlerin fiziko – mekanik özelliklerinin nasıl etkilendiğini ortaya koymayı amaçlamıştır. Donma – çözülme ve termal şok döngüleri sırasıyla TS EN 12371 ve TS EN 14066 standartlarındaki yöntem ile 50’şer döngü olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Döngülere başlamadan önce ve her 10 döngüde bir olmak üzere; ağırlık kaybı, birim hacim ağırlığı, açık gözeneklilik ve nokta yük dayanım indeksi değerleri ölçülmüştür. Dalgulu travertenin dolgusuzlara göre çevrimlerden daha fazla etkilendiği belirlenmiştir. Nokta yük dayanım indeksindeki en belirgin düşüşlerin dolgulu



ve dolgusuz travertenin her ikisi için de onuncu ve yirminci çevrimlerden sonra olduğu vurgulanmıştır.

Yapılan çalışmalar incelenirken, doğal taş numunelerin özelliklerinin farklı numune sıcaklığından nasıl etkilendiğini ortaya koyan çalışmalara da rastlanmıştır. Bu çalışmalardan Lam dos Santos vd. (2011) tarafından yapılan çalışma, aynı zamanda doğal taşlar ile kompoze taşları da kıyaslar niteliktedir. Lam dos Santos vd. (2011) yaptıkları çalışmada, kompoze üretilen taşlar ile doğal taşlar arasında sıcaklık etkisinden kaynaklı mekanik özelliklerdeki değişimi ortaya koymayı hedeflemişlerdir. Bunun için, 3 farklı kompoze taş, 1 kireçtaşı ve 1 granit kullanılmıştır. Tüm taşların yoğunluk ve porozite değerleri ölçülmüş, ayrıca kompoze taşların bileşenlerinin yüzdesel (%) değerlerini ortaya koymak için XRF analizi yapılmıştır. Sıcaklığın etkisini belirleyebilmek için, tüm taşlar 3 farklı yöntem ile etüvde 60 °C, 100 °C, 160 °C ve 200 °C'a getirilerek koşullandırıldıktan sonra taşların Young modülü ve eğilme dayanımları ölçülmüştür. Bu 3 farklı koşullandırma yönteminin ilkinde, taşlar etüvde belirtilen sıcaklık değerlerine ulaşana kadar ısıtılmış ve etüvde 1 gün boyunca uygulanan sıcaklıkta bekletildikten sonra, etüvden çıkarılarak soğumaları beklenmeden hızlı bir şekilde deneye tabii tutulmuşlardır. İkinci koşullandırma yönteminde, taşlar yine belirtilen sıcaklık değerlerine getirilene kadar etüvde bekletilmiş ve sonrasında etüvden çıkarılarak +20 °C oda ısısına gelene kadar dışarıda bekletilerek deneye tabii tutulmuşlardır. Üçüncü ve son koşullandırma prosedüründe ise, taşlar yine belirtilen değerlere gelene kadar etüvde ısıtılmış ve sonra 6 saat süreyle musluk suyu ile dolu bir kapta bekletildikten sonra deneye tabii tutulmuşlardır. İkinci koşullandırma prosedürü ile koşullandırıldıktan sonra eğilme dayanımı ölçüldüğünde; kompoze taşların eğilme dayanımı değerlerinin her iki doğal taşta göre de oldukça fazla olduğu ortaya konmuştur. Ancak, taşlar 20 °C'dan 200 °C'a ısıtıldıkça ve numuneler bu sıcaklıklardayken deneyler yapıldığında, sıcaklık artımından kompoze taşların eğilme dayanımının doğal taşların eğilme dayanımına göre çok daha fazla etkilendiği (düştüğü) ifade edilmiştir. +20 °C'daki doğal taş ile 200 °C'daki doğal taşın eğilme dayanımındaki fark; kireçtaşı numunesi için % 45, granit için % 18 iken; bu fark 3 farklı kompoze taş numuneleri için % 90 – % 96 arasında değişmektedir.

Akbay vd. (2015) yaptıkları çalışmada, farklı sıcaklığa getirilen numunelerin fiziko – mekanik özelliklerine numune sıcaklığın etkisini ortaya koyabilmek için yaptıkları

çalışmada, farklı yapıda beş doğal taşın 5 farklı sıcaklık anındaki; tek eksenli basınç, Brazilian çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve sismik hız değerlerini belirlemişlerdir. Numune olarak; gerçek mermer, bej mermer, emprador, andezit ve granit olmak üzere beş farklı doğal taş kullanmışlar ve numune sıcaklığı olarak da; (-25) °C, (-12) °C, (+24) °C, (+70) °C ve (+105) °C değerlerini kullanmışlardır. 24 °C değerini oda sıcaklığı kabul ederek bu değere göre, kayaçların fiziko – mekanik özelliklerindeki değişimi ortaya koymuşlardır. (-25) °C ve (-12) °C fiziko – mekanik özelliklerde artma olduğunu; 70 °C ve 105 °C azalma olduğunu belirlemişlerdir.

### 3. MATERİYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Doğal taş ve mermer tanımı

Dünyanın pek çok ülkesinde olduğu gibi ülkemizde de kesilip parlatılarak, değişik amaçlarla kullanılan doğal taşlar “Mermer”, bu uygulamayı ticarete dönüştüren sektör de “Mermer Sektörü” olarak bilinmektedir. Aslında sadece karbonatlı taşların gerçek (bilimsel anlamda) mermer olarak nitelendirilmesi gerekirken; jeolojik kökenleri oldukça farklı olan diğer doğal taşlar (renkli kireç taşları, travertenler, sert (silisli) taşlar grubundan granitler vb.) da bu tanım ile nitelendirilerek bir karmaşaya yol açılmaktadır. Dünyada bu karmaşayı önlemek için, “Mermer Sektörü” yerine gittikçe yaygınlaşan ve Türkiye’de de 1990’lı yıllardan bu yana benimsenmeye başlanan “Doğal Taş Sektörü (Natural Stone Sector)” terimi kullanılmaktadır (Yüzer, 2010). Doğal taş sektörü tanımı içine gerçek mermerler, travertenler ve albatrlar (oniks), renkli kalkerler ve dolomitler, silisli ya da sert taş olarak bilinen granit grubu magmatik taşlar ve volkanik taşlar, kum taşları, konglomeralar girmektedir (Yüzer, 2003). Bu durumda; aslında doğal taş sektörünün kollarından biri olmasına karşın, zaman zaman doğal taş sektörünün tamamını temsil edecek şekilde kullanılan mermer için bilimsel ve ticari olmak üzere iki ayrı tanım yapmak gerekmektedir.

Bilimsel olarak; kalker ( $\text{CaCO}_3$ ), dolomitik kalker ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) ve/veya bunların değişik oranlarından oluşan karbonatlı kayaçların değişik sıcaklık ve basınç altında metamorfizmaya uğrayarak, tekrar kristalleşmesi sonucu oluşan yeni doku ve yapıya sahip metamorfik (başkalaşım) kalsit kristallerinden oluşan kayaçlara mermer adı verilmektedir (Kulaksız, 2007 ve Onargan vd., 2011).

Ticari olarak ise; ekonomik olarak uygun boyutlarda blok (kütük) olarak kesilip çıkarılabilen, istenilen ebatlarda düzgün olarak kesilip, talebe göre cilalanıp parlatılabilen, ekonomik bir değere sahip her türlü kayaç mermer olarak tanımlanmaktadır (Kulaksız, 2007).

Yer kabuğundan çıkarılıp doğrudan veya işlenerek, çeşitli amaçlarda yapılarda kullanılan taşların doğal taş olarak tanımlandığı (Kun, 2013) düşünüldüğünde; aslında ticari anlamda mermer olarak tanımlanan yani, ekonomik değeri olan tüm kayaçlar bilimsel anlamda doğal taş olarak tanımlanabilir. Çizelge 3.1’de verilen doğal taşların ticari ve bilimsel (petrografik) adlandırılmaları incelendiğinde ve mermerin bilimsel tanımı düşünüldüğünde; aslında mermerin doğal taş grubundan bir alt kol olduğunun ifade edilmesi yanlış olmayacaktır. Bu tez kapsamında mermer terimi, bilimsel tanımına uygun anlamda kullanılmaktadır.

**Çizelge 3.1.** Doğal taşların adlandırılması (Kulaksız, 2004)

TİCARİ ADLANDIRMA		HAKİM BİLEŞENLER	PETROGRAFİK (KAYA BİLİMİ) ADLANDIRMA				
			MAGMATİK KAYAÇLAR		METAMORFİK KAYAÇLAR	SEDİMANTER KAYAÇLAR	
			Plutonik	Volkanik			
SERT TAŞ (GRANİT)	Granit, Granitoyid, Kumtaşı, Grovak, Gabro, Norit, Andezit, Bazalt, Kuvarsit, Kalksilikatik Şistler, Gnayslar, Yeşil Kayaçlar, Bazik ve Ultra Bazik ve Ultra Bazik v.b.	Silis ve/veya Silikatlı Mineraller İçerenler veya Kayaç Kırıntıları ve Matriks / Çimento İçerenler	Monzonit - Diyorit	Fonolitler	Gnayslar, Leptinitler	1. Konglomera 2. Kumtaşı (Grovak – Arkoz)	
			Granit ve Granit Ailesi Kayaçlar		Foyoidler		Şistler ve Kalksilikatlı Şistler
			Siyenit ve Siyenit Ailesi Kayaçlar	Bazalt, Andezit, Dasit			
			Gabro ve Gabro Ailesi Kayaçlar				
			Ultra Bazik Kayaçlar, Yeşil Kayaçlar				
SLEYT	Sleyt / Arduvaz						
MERMER	Kireçtaşı, Mermer ve Traverten Grubu	Karbonat, Dolomit ve/veya Çimento Matriks İçerenler			Mermer ve Dolomitik Mermerler	Kireçtaşı, Dolomit Breşler	
						Traverten	
DiĞER	Alabatr Pumis Grubu	Diğer		Anglomera, Pumis, Volkanik Tüfler		Jips Alabtr	

### 3.1.2. Doğal taşların sınıflandırılması

Doğal taşlar, seçilen kriterlere göre (oluşumuna göre, mineralojik bileşimine göre, yapı ve dokunsa göre, kristal / matriks konuma göre, öngörülen kalite kriterine göre, jeomekanik özelliklerine göre, fiziksel özelliklerine göre) çok değişik şekillerde sınıflandırılabilirler (Kulaksız, 2007). Bu sınıflandırmalar biraz sadeleştirilir ve genelleştirilirse; doğal taşlar, petrografik olarak jeolojik oluşumlarına (kökenlerine) ve sertliklerine göre; ticari olarak ise, kullanım şekline göre sınıflandırılabilirler (Kun, 2013 ve Onargan vd., 2011).

Doğal taşlar jeolojik oluşumlarına göre üçe ayrılırlar:

- Metamorfik kökenli doğal taşlar (gerçek mermerler, şistler, gnayslar, migmatitler),
- Sedimanter kökenli doğal taşlar,
- Magmatik kökenli doğal taşlar.

Doğal taşlar sertliklerine göre ikiye ayrılırlar:

- Yumuşak taşlar (kireç taşı, gerçek mermer, traverten vb.),
- Sert taşlar (granit, diyabaz, siyenit, gnays).

Doğal taşlar kullanım şekillerine göre ikiye ayrılırlar:

- Parlatılarak kullanılanlar (granit, siyenit, oniks, gerçek mermer, kireç taşı, traverten vb.),
- Parlatılmadan kullanılanlar (bazalt, marn, şist, tüf, tüfit, andezit vb.).

### 3.1.3. Tez çalışmasında kullanılan doğal taşlar

Bu tez çalışması kapsamında; jeolojik oluşumuna göre metamorfik kökenli, sertliğine göre yumuşak taşlar grubunda yer alan ve kullanım şekline göre de parlatılarak kullanılan gerçek mermerler kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan, Türkiye'deki üç farklı bölgeden temin edilmiş doğal taş örneklerinin kodları, ticari isimleri ve çıkarıldıkları bölgeler Çizelge 3.2'de verilmektedir. Çalışmanın temelini oluşturan TS EN 14158 kodlu doğal taşların kopma enerjisini belirlemeye yönelik standart deney yönteminde, numunenin tek noktasına ağırlığın serbest düşme prensibiyle tekrarlı düşürülmesiyle oluşan

kırılmadan, numunenin geneli için bir kırılma enerjisi hesaplanmaktadır. Bu nedenle, deney yönteminin tam anlamıyla işlerliğinin ortaya konabilmesi ve deney yönteminin olumsuz yanlarının devre dışı kalabilmesi için, nispeten en az kusura sahip ve nispeten en homojen yapıya sahip doğal taşlar olan Kemalpaşa Beyaz (K), Muğla Beyaz (M) ve Afyon Şeker (A) ticari isimli doğal taşların bu çalışmada kullanılmasına karar verilmiştir.

**Çizelge 3.2.** Deneylerde kullanılan doğal taş numunelerinin örnek kodu, ticari adı, çıkarıldığı bölge

<b>Örnek Kodu</b>	<b>Kökeni</b>	<b>Ticari Adı</b>	<b>Çıkarıldığı Bölge</b>
K	Metamorfik	Kemalpaşa Beyaz	Bursa/Kemalpaşa
M	Metamorfik	Muğla Beyaz	Muğla/Kavak
A	Metamorfik	Afyon Şeker	Afyon/İscehisar

Bu taşlardan M ve A kodlu olanlar Eskişehir Organize Sanayi Bölgesi'nde bulunan iki farklı mermer fabrikasında; K kodlu olan ise Bursa - Kemalpaşa bölgesindeki bir mermer fabrikasında yapılacak olan tüm deney çalışmaları göz önünde bulundurularak ebatlanmış (Şekil 3.1) ve Eskişehir Osmangazi Üniversitesi (ESOGÜ) Maden Mühendisliği Kaya Mekaniği Laboratuvarı'na getirilmiştir (Şekil 3.2). Ayrıca çalışma esnasında yeni deneylere karar verilmesi durumunda, taş temininde sıkıntı yaşanmaması için her üç taştan da ekstra parçalar ebatlı numunelerle birlikte laboratuara getirilmiştir.



Şekil 3.1. Doğal taşların fabrikalarda ebatlanması



Şekil 3.2. Deneylerde kullanılan doğal taşların genel görüntüsü



### 3.2. Yöntem

Yapılan doktora çalışması kapsamında; Türkiye'nin üç farklı bölgesinden temin edilen, üç farklı metamorfik kökenli doğal taş ile TS EN 14158 kodlu 'Doğal Taşlar - Deney Yöntemleri - Kopma Enerjisinin Tayini' isimli standart kullanılarak doğal taşların kopma enerjisi ve çarpma dayanımı belirlenmeye çalışılmıştır. Kopma enerjisi ve çarpma dayanımına farklı numune kalınlığının etkisinin değerlendirilebilmesi için, standardın öngördüğü 3 cm kalınlık dışında, 2 cm ve 1 cm kalınlıklı numuneler de TS EN 14158 kodlu standardın prosedürüne uygun şekilde deneye tabii tutulmuştur. Ayrıca fiziksel bozunma türlerinden olan donma - çözülme çevrimleri ve termal şok çevrimlerinin kopma enerjisi ve çarpma dayanımı üzerindeki etkisini inceleyebilmek için, TS EN 12371 kodlu 'Doğal Taşlar - Deney Yöntemleri - Donma Dayanım Tayini' isimli ve TS EN 14066 kodlu 'Doğal Taşlar - Deney Metotları - Termal Şok Etkisiyle Yıpranmaya Direnci Tayini' isimli standartlar kullanılarak farklı kalınlıktaki (3 cm, 2 cm ve 1 cm) numuneler koşullandırılmış ve fiziksel bozundurmaya uğratarak koşullandırılan numunelerin TS EN 14158 kodlu 'Doğal Taşlar - Test Yöntemleri - Kopma Enerjisinin Tayini' isimli standart kullanılarak kopma enerjisi ve çarpma dayanımı belirlenmiştir.

Tüm bu çalışmaların sonuçlarının en iyi şekilde ifade edilip yorumlanabilmesi için öncelikle, kullanılan doğal taşların iyi derecede tanınması ve tanımlanması oldukça önemlidir. Kullanılan doğal taşların tanınması ve tanımlanması için mineralojik - petrografik özelliklerinin, kimyasal özelliklerinin ve fiziko - mekanik (fiziksel ve mekanik) özelliklerinin ortaya konmasına ihtiyaç vardır. Bu nedenle, bu bölümde öncelikle doğal taşların mineralojik - petrografik özelliklerinin, kimyasal özelliklerinin ve fiziko - mekanik özelliklerinin ortaya konmasını sağlayan analiz ve deneyler tanımlanmıştır. Sonrasında ise, doktora çalışmasının esas deneyi olan TS EN 14158 kodlu standartla tariflenen kopma enerjisinin ve çarpma dayanımının belirlendiği deneyin yapılışı açıklanmıştır. Ayrıca bu deney, TS EN 14158 standardında belirtilen normal koşullu numunelerin dışında; TS EN 12371 standardıyla donma - çözülme çevrimlerine maruz bırakılmış ve TS EN 14066 standardıyla termal şok çevrimlerine maruz bırakılmış numunelere de uygulandığından; bu iki koşullandırma standardı da detaylı bir şekilde sunulmaktadır.

Çizelge 3.3’de doktora çalışmasında gerçekleştirilen tanımlama deneylerinde (mineralojik – petrografik, kimyasal, fiziko – mekanik) ve esas çalışma konusunu oluşturan deneylerde (kopma enerjisi, çarpma dayanımı, ses hızı) kullanılan numune yüzey özellikleri, numune boyutları ve adetleri verilmektedir.

**Çizelge 3.3.** Yapılan deneylerde kullanılan numune özellikleri

	Özellik	Deney adı	Yüzey özelliği	Numune boyutu (mm)	Numune sayısı	
<b>TANIMLAMA DENEYLERİ</b>	Mineralojik - Petrografik Özellikler	İnce kesit hazırlanması	ham	ince kesit numunesi	1 adet	
	Kimyasal Özellikler	X-Işını Floresans yöntemi	ham	parça numune	1 adet	
	Fiziko - Mekanik Özellikler	Özgül ağırlık tayini		ham	parça numune	1 adet
		Görünür yoğunluk tayini		ham	50x50x50	6 adet
		Açık gözeneklilik tayini		ham		
		Toplam yoğunluk tayini		ham		
		Atmosfer basıncında su emme tayini		ham		
		Ses hızı ilerlemesi tayini		ham	300x75x50	6 adet
		Knoop sertliği tayini		cilalı	100x70x10	6 adet
		Shore sertliği tayini		ham	300x50x50	6 adet
		Tek eksenli basınç dayanımı tayini		ham	50x50x50	10 adet
		Sabit moment altında eğilme dayanımı tayini		ham	300x50x50	10 adet
		Nokta yük dayanım indeksi		ham	50x50x50	10 adet
		Darbe dayanımı tayini		ham	40x40x40	6 adet
		Don tesirine dayanıklılık tayini		ham	50x50x50	10 adet
Termal şok etkisiyle yıpranma direnci tayini		ham	300x50x50	20 adet		
<b>DOKTARA DENEYLERİ</b>	Kopma enerjisi tayini		cilalı	200x200x30	16 adet	
				200x200x20	16 adet	
				200x200x10	16 adet	
	Çarpma dayanımı tayini		cilalı	200x200x30	16 adet	
				200x200x20	16 adet	
				200x200x10	16 adet	
	Ses hızı tayini		cilalı	200x200x30	16 adet	
				200x200x20	16 adet	
				200x200x10	16 adet	

### 3.2.1. Mineralojik ve petrografik analiz

Mineralojik ve petrografik analizler kapsamında; Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) Mineraloji - Petrografi Laboratuvarı'nda mermer örneklerinin ince kesitleri hazırlanmış ve hem MTA'da bulunan, hem de ESOGÜ'de bulunan optik mikroskoplar yardımıyla çalışmada kullanılan doğal taşların mineralojik - petrografik özellikleri belirlenmiştir. Çalışmanın başlangıcında sadece tanımlama amaçlı mermerlerin araziden alınmış, ham halleri için MTA'ya ince kesitler hazırlanmıştır. Ancak çalışma ilerledikçe, fiziksel bozundurma yöntemlerinden donma - çözülme ve termal şok çevrimleri ile koşullandırılmış numunelerin de çalışmaya eklenmesine karar verilmiştir. Bu bağlamda, bu bozundurma yöntemlerinin mermerlerin yapısında mikro düzeyde değişikliğe neden olup olmadığının incelenebilmesi için, koşullandırılmış numunelerden de ince kesitler MTA'ya hazırlanarak, hem MTA'da bulunan, hem de ESOGÜ'de bulunan optik mikroskoplar yardımıyla mikro yapıdaki değişiklikler tespit edilmeye çalışılmıştır.

### 3.2.2. Kimyasal analiz

Kimyasal bileşim, kayaçların içindeki elementlerin oksit değerlerinin toplamıdır. Kimyasal analizlerde, kayaçların içindeki alüminyum oksit, demir oksit, silisyum dioksit, magnezyum karbonat ve kalsiyum karbonat oranları yüzdesel olarak tespit edilmektedir. Bu oranların toplamının %100'e yaklaşması yapılan analizlerin doğruluğunun bir göstergesidir (Boztaş vd., 2009).

Çalışmada kullanılan mermer örneklerinin minör ve majör element tayini Afyon Kocatepe Üniversitesi (AKÜ) Doğal Taş Analiz Laboratuvarı (DAL)'nda TS EN 15309 kodlu 'Atıkların ve Toprağın Nitelendirilmesi – X Işını Floresans Yöntemi Kullanılarak Elementel Bileşimin Tayini' isimli standarda göre, Rigaku marka X - Işınlı Floresans Spektrometresi (XRF) cihazı ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.3). Kimyasal analiz için, 1/10 oranda numune/ $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$  karışımı hazırlanarak, karışım ergiticide platin krozelerde ergitilmiş ve cam tabletler hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin yarı kantitatif yüzde ağırlıkça kimyasal analizi XRF cihazıyla ölçülerek, sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 3.3. Rigaku marka XRF cihazı

### 3.2.3. Fiziko - mekanik analizler

Kopma enerjisi belirlenecek olan üç mermerin fiziko – mekanik özelliklerinin belirlenmesi için yapılan deneylerinin büyük bir kısmı AKÜ DAL’da yapılmıştır. Fiziko – mekanik deneylerden sadece darbe dayanımı deneyi MTA Teknolojik Araştırmalar – Akredite Doğal Taş Analiz Laboratuvarı’nda gerçekleştirilmiştir.

#### 3.2.3.1. Özgül ağırlık (gerçek yoğunluk) tayini

Mermer örneklerinin özgül ağırlık değerleri, AKÜ DAL’da ve ASTM – D 5550-06 kodlu standarda göre belirlenmiştir. Quantachrome Ultrapycnometer 1000 marka – model otomatik yoğunluk ölçüm cihazı yani, helyum piknometresi kullanılmıştır (Şekil 3.4).



**Şekil 3.4.** Quantachrome Ultracycrometer 1000 marka – model Helyum Piknometresi

### **3.2.3.2. Görünür yoğunluk, toplam ve açık gözeneklilik tayini**

Mermer örneklerinin görünür yoğunluk, toplam ve açık gözeneklilik değerleri AKÜ DAL'da ve TS EN 1936 kodlu 'Doğal Taşlar – Deney Yöntemleri – Gerçek Yoğunluk, Görünür Yoğunluk, Toplam ve Açık Gözeneklilik Tayini' isimli standarda göre belirlenmiştir. Deneyler, her örnek için 50x50x50 mm boyutlarında 6'şar adet numune ile gerçekleştirilmiştir. Deney numuneleri sabit tartıma gelene kadar yani, birbirini izleyen  $24 \pm 2$  saat aralıklı iki tartım arasındaki fark numune kütesinin %0,1'inden küçük olana kadar,  $70 \pm 5$  °C sıcaklıkta etüvde kurutulmuş ve oda sıcaklığına ulaştıktan sonra kuru ağırlığı ( $m_k$ ) alınmıştır. Sabit tartıma geldikten sonra kuru ağırlığı ölçülen numuneler, vakumlu kaba yerleştirilmiş ve basınç değeri  $15 \pm 5$  mmHg'ya indirilmiştir. Kap içerisinde 2 saat vakumda kalan numuneler,  $20 \pm 5$  °C sıcaklıktaki demineralize su içerisinde atmosfer basıncında 24 saat bekletilmiştir. Daha sonra her bir numunenin sudaki kütesi ( $m_h$ ) ve doygun kütesi ( $m_s$ ) tartılmıştır.

Görünür yoğunluk ( $\rho_b$ ) Eşitlik (3.1)'deki, açık gözeneklilik ( $\rho_o$ ) Eşitlik (3.2)'deki ve toplam gözeneklilik ( $\rho$ ) Eşitlik (3.3)'deki denkleme göre hesaplanmıştır.

$$\rho_b = \frac{m_k}{m_s - m_h} \times \rho_w \quad (3.1)$$

$$\rho_o = \frac{m_s - m_k}{m_s - m_h} \times 100 \quad (3.2)$$

$$\rho = \frac{\frac{1}{\rho_b} - \frac{1}{\rho_r}}{\frac{1}{\rho_b}} \times 100 = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_r}\right) \times 100 \quad (3.3)$$

$\rho_b$  : numunenin görünür yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ )

$m_k$  : kuru numune kütlesi (g)

$m_s$  : doygunlaştırılmış numune kütlesi (g)

$m_h$  : su içerisine batırılmış numune kütlesi (g)

$\rho_w$  : suyun yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ )

$\rho_o$  : numunenin açık gözenekliliği (%)

$\rho$  : numunenin toplam gözenekliliği (%)

$\rho_r$  : numunenin gerçek yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ )

### **3.2.3.3. Atmosfer basıncında su emme tayini**

Mermer örneklerinin atmosfer basıncında su emme değerleri, AKÜ DAL'da ve TS EN 13755 kodlu 'Doğal Taşlar - Deney Metotları - Atmosfer Basıncında Su Emme Tayini' isimli standarda göre belirlenmiştir. Standarda göre deney, 70x70x70 mm veya 50x50x50 mm boyutlarında küp numune ile gerçekleştirilebilmektedir. Deneyler, her örnek için 50x50x50 mm boyutlarında 6'şar adet küp numune kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deney numuneleri sabit tartıma gelene kadar yani, birbirini izleyen 24±2 saat aralıklı iki tartım arasındaki fark numune kütlelerinin %0,1'inden küçük olana kadar 70±5 °C sıcaklıkta etüvde kurutulmuş ve oda sıcaklığına ulaştıktan sonra 0,1 gr hassasiyetli terazide kuru

ağırlığı ( $m_k$ ) ölçülmüştür. Sonra, numuneler bir kaba yerleştirilerek, numunelerin  $\frac{1}{2}$ 'si su içerisinde kalacak şekilde kap  $20\pm 5$  °C sıcaklıktaki su ile doldurulmuştur. Bir saat sonunda numunenin  $\frac{3}{4}$ 'ü su içerisinde kalacak şekilde kaba su ilave edilmiştir. İki saat sonunda, numunelerin üzerine  $25\pm 5$  mm su çıkacak şekilde kaba su ilave edilerek,  $48\pm 2$  saat numuneler suda bekletilmiş ve numunelerin sudan çıkartılıp hızlı bir şekilde kurularak suya doymuş kütleleri ( $m_s$ ) alınmıştır. Tartımdan sonra, numuneler su dolu kaba tekrar yerleştirilerek, her  $24\pm 2$  saat arayla tartım işlemine devam edilmiştir. Bu tartım alma ve suya koyma işlemleri, numuneler sabit tartıma ulaşana kadar devam ettirilmiştir. Tüm bu işlemler sonrasında, numunelerin kütlece su emme oranları ( $S_k$ ) Eşitlik (3.4)'e göre hesaplanmıştır.

$$S_k = \frac{m_s - m_k}{m_k} \times 100 \quad (3.4)$$

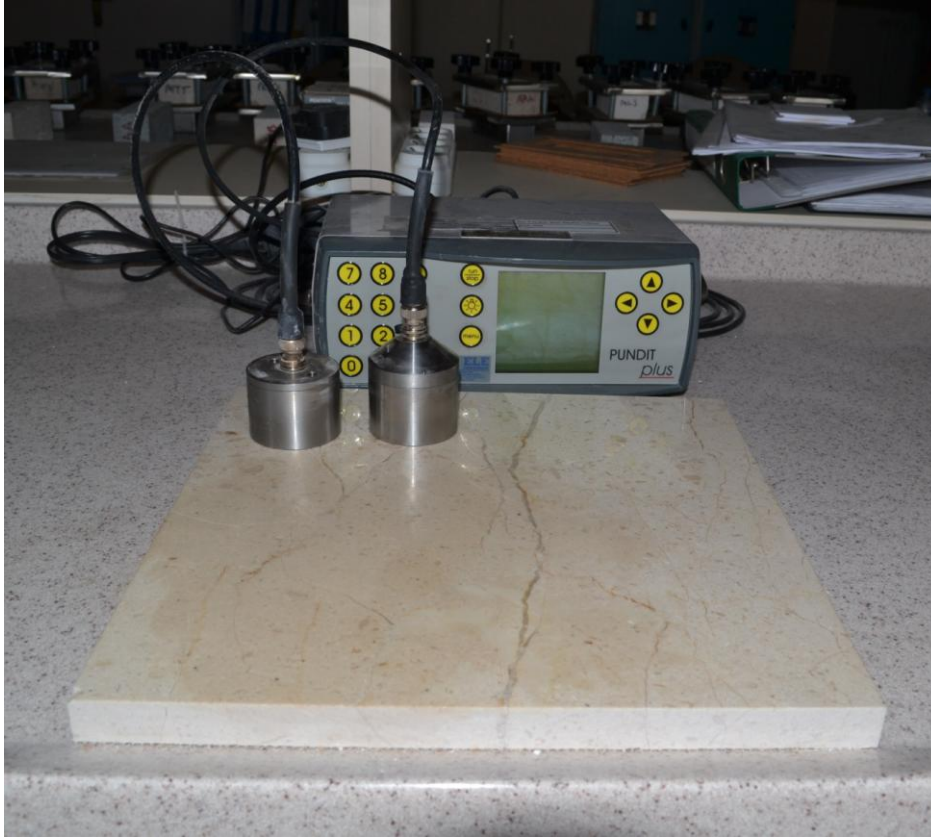
$S_k$  : numunenin kütlece su emme oranı (%)

$m_s$  : doymuşturilmiş numune kütlesi (g)

$m_k$  : kuru numune kütlesi (g)

#### **3.2.3.4. Ses hızı ilerlemesi tayini**

Mermer örneklerinin ses hızı ilerlemesi değerleri, AKÜ DAL'da ve TS EN 14579 kodlu 'Doğal Taşlar - Deney Metotları - Ses Hızı İlerlemesinin Tayini' isimli standarda göre belirlenmiştir. Deneylerde Pundit Plus marka ultra - ses cihazı kullanılarak (Şekil 3.5), her örnek için  $300 \times 75 \times 50$  mm boyutlarında 6'şar adet numune ile ses hızı ölçümü gerçekleştirilmiştir. Sonrasında bu ölçümlerin ortalaması alınarak her örneğin ses hızı değerleri belirlenmiştir.



**Şekil 3.5.** Pundit Plus marka ultra – ses cihazı

Ölçüm işlemine başlanmadan önce, ölçüm yapılacak iki yüzey arasındaki mesafe (L) ölçülmüş ve bu değer cihaza girilmiştir. Ses dalgalarının geçirgenliğini ve ölçümün güvenilirliğini arttırmak için, ölçüm yapılacak numune yüzeyine ve ölçüm yapacak alıcı ve verici uçların yüzeylerine jel sürülmüştür. Alıcı ve verici uçlar karşılıklı gelecek şekilde, jel sürülmüş numune yüzeyine uçlar yerleştirilmiştir. Ölçüm öncesinde, uçlar arası mesafe cihaza manuel olarak girildiğinden ve cihaz uçlar arası sesin geçiş süresini ölçebildiğinden, cihaz ekranına direkt ses hızı değeri gelmektedir. Cihazdan direkt okunan bu değer, Eşitlik (3.5)'de verilen denklem ile hesaplanmaktadır.

$$V_s = \frac{L}{t_s} \quad (3.5)$$

$V_s$  : ses yayılma hızı (m/s)

L : alıcı- verici uçlar arası mesafe (m)

$t_s$  : alıcı – verici uçlar arasında geçen süre (s)



### **3.2.3.5. Knoop sertliği tayini**

Mermer örneklerinin knoop sertliği değerleri, AKÜ DAL'da ve TS EN 14205 kodlu, Doğal Taş – Deney Metotları – Knoop Sertliğinin Tayini isimli standarda göre belirlenmiştir. Ölçümler Şekil 3.6'daki Shimadzu HMV mikro sertlik cihazı kullanılarak yapılmıştır.



**Şekil 3.6.** Shimadzu HMV mikro sertlik cihazı

Deneylerde, her örnek için yüzeyi cilalı ve 100x70x10 mm boyutlarında 6'şar adet numune kullanılmıştır. Mikro sertlik cihazı tablasına yerleştirilen numunenin parlak yüzeyine cihazın ucu tarafından 10 saniye boyunca 1,96 N'luk yük uygulanmıştır. Uygulanan yük neticesinde numune yüzeyinde bir iz oluşmuş ve numune yüzeyinde oluşan izdeki en uzun diyagonal uzunluk ölçülmüştür. İzler arası mesafe en az 2 mm olacak şekilde 40 adet ölçüm alınmış ve Eşitlik (3.6) kullanılarak numunelerin Knoop Sertlik (HK) değerleri hesaplanmış ve bu 40 adet sertlik değerinin ortalamaları alınarak sonuçlar bulunmuştur.

$$HK = 14,23 \frac{P}{L^2} \quad (3.6)$$

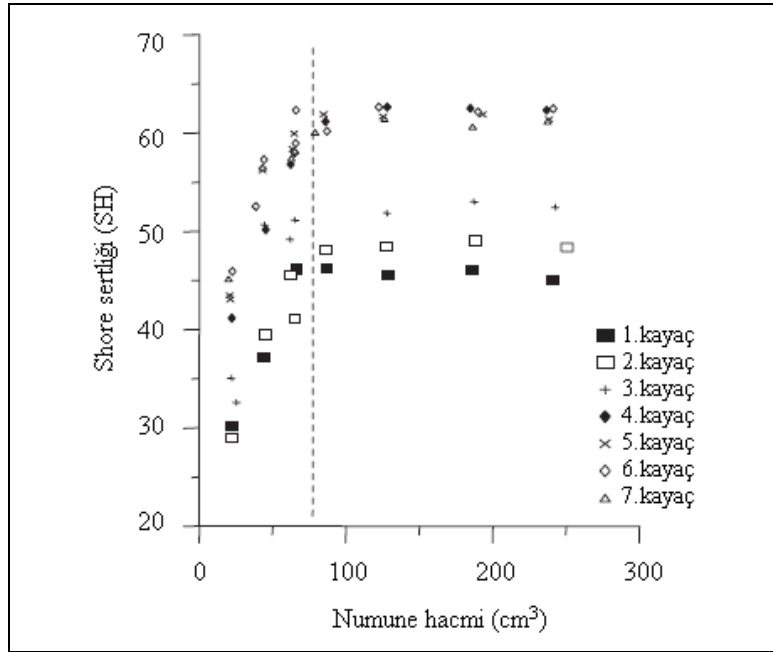
HK : knoop sertliği (MPa)

P : uygulanan yük (N)

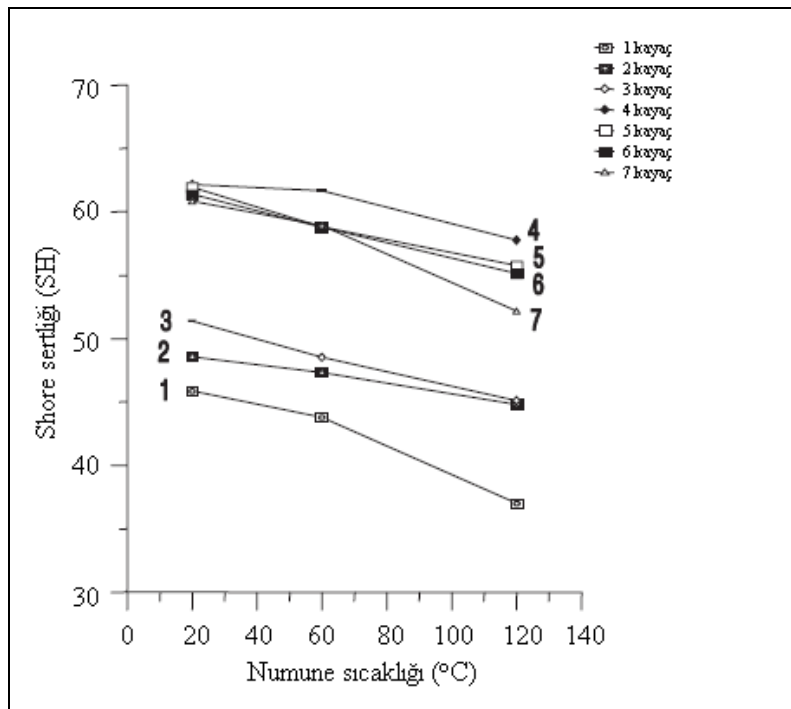
L : numune yüzeyinde oluşan izin en uzun diyagonal uzunluğu (mm)

### **3.2.3.6. Shore sertliği tayini**

Mermer örneklerinin Shore sertlik değerleri, AKÜ DAL'da belirlenmiştir. Shore sertlik tayini için bir Türk Standardı bulunmamaktadır. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda, Shore sertlik tayini için farklı ölçüm yöntemleri, farklı numune boyutları ve şekilleri kullanılmıştır. Bu durum, yapılan çalışmaların sonuçlarının karşılaştırılmasını ve analizini güçleştirmektedir (Altındağ ve Güney, 2006). Misra (1972) yaptığı çalışmada, çapı 2,5 cm ve uzunluğu 5 cm olan numune boyutunun uygunluğunu savunurken; ISRM (1978)'de numunelerin minimum yüzey alanının 10 cm<sup>2</sup> ve minimum kalınlığının 1 cm olması gerektiği savunulmuştur. Rabia ve Brook (1979) yaptıkları çalışmada, minimum numune hacminin 40 cm<sup>3</sup> olması gerektiğini ve beş numuneden en az 50'şer ölçüm alınarak, bu ölçümlerin ortalamalarının Shore değerini vereceğini ifade etmişlerdir. Altındağ (2002) yaptığı çalışmada ise; hem sıcaklık, hem de numune hacminin Shore değeri üzerindeki etkisini incelemiştir. 3 farklı mermer, 3 farklı kireçtaşı ve 1 kumtaşı olmak üzere, toplamda 7 farklı kayaç üzerinde; 20 °C, 60 °C ve 120 °C olmak üzere toplamda 3 farklı numune sıcaklığında ve 8 farklı hacimde numune ile deneyleri gerçekleştirmiştir. Numunelerinin hepsi 5,4 cm çaplı karotlardan oluşmaktadır. Her üç sıcaklık için numune hacimlerini değiştirmiş ve her üç sıcaklıkta da, hacmi 80 cm<sup>3</sup>'den düşük olan numunelerin Shore değerlerinin artış gösterdiğini gözlemlemiştir; hacmin 80 cm<sup>3</sup>'ün üzerindeki numunelerin ise, Shore değerlerinin stabil kalma eğiliminde olduğunu gözlemlemiştir (Şekil 3.7). Bu nedenle de, Shore deneyi için kritik numune hacminin 80 cm<sup>3</sup> olduğunu ifade etmektedir. Ayrıca sıcaklık etkisini de inceleyen Altındağ, sıcaklık arttıkça Shore değerlerinin düştüğünü belirtmektedir (Şekil 3.8).



Şekil 3.7. 20 °C'de numune hacmi ile Shore sertlik değerleri arasındaki ilişki (Altındağ, 2002)

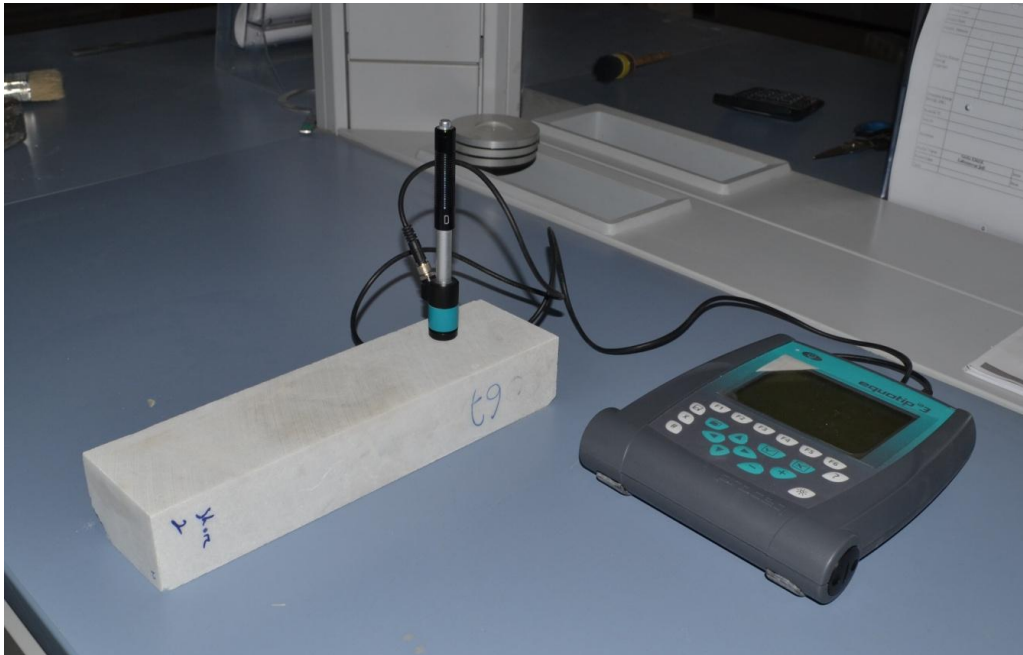


Şekil 3.8. 80 cm<sup>3</sup> hacimli numuneler için numune sıcaklığı ve Shore sertlik değerleri arasındaki ilişki (Altındağ, 2002)

Altındağ ve Güney (2006) yaptıkları çalışmada, Shore sertlik değerinin ölçümü için uygun yöntem, numune boyutu ve eşitlikler önermeyi amaçlamışlardır. Numunelerin silindirik veya kübik şekilli olabileceği ancak; numune hacminin 80 cm<sup>3</sup> veya daha fazla

olmasını belirterek; en az üç numuneden ölçüm alınması ve numunelerin kuru olması gerektiğini ifade etmişlerdir. Ölçümlerin, numunenin kenarlarından en az 0,5 cm içeride ve her bir ölçüm noktası arası mesafenin en az 0,5 cm olmasının alınan ölçümlerin güvenilirliğini arttıracakı söylenmiştir. Her bir numuneden 20 ölçüm alınması ve alınan bu ölçümlerin ortalamasının Shore sertlik değeri olarak ifade edilmesi önerilmiştir. Ayrıca çalışmada, kullanılan numunenin hacminin belirlenen kritik hacim olan 80 cm<sup>3</sup>'ten küçük olması halinde, ölçülen Shore sertlik değerleri için bir düzeltme eşitliği de sunulmaktadır.

Yapılan tüm bu çalışmalar göz önünde bulundurulduğunda, bu çalışmada Shore sertlik ölçümleri Altındağ ve Güney (2006) yaptığı çalışmadaki numune ölçümleri ve deney yöntemi dikkate alınarak yapılmıştır. Mermer örneklerinin Shore sertlik değerleri, Proceq Equotip 3 marka - model cihaz ile ölçülmüştür (Şekil 3.9). Kullanılan cihazın numuneye darbe uyguladığı uç tungsten karbitten yapılmış olup, cihazın uyguladığı darbe enerjisi 11 Nmm'dir.



**Şekil 3.9.** Proceq Equotip 3 marka – model Shore Sertlik ölçüm cihazı

Numuneler ölçüm öncesinde  $70 \pm 5$  °C etüvde kurularak sabit tartıma getirilmiştir. Numune olarak ise, her taş için 3'er tane, 50x50x300 mm boyutlarındaki numuneler kullanılmış ve her numuneden 20 ölçüm alınarak ortalamaları hesaplanarak Shore değerleri belirlenmiştir.

### **3.2.3.7. Tek eksenli basınç dayanımı tayini**

Mermer örneklerinin tek eksenli basınç dayanımı değerleri, AKÜ DAL'da ve TS EN 1926 kodlu 'Doğal Taşlar – Deney Metotları – Basınç Dayanımı Tayini' isimli standarda göre belirlenmiştir. Standarda göre, kübik veya silindirik numuneler kullanılabilir. Deneylerde her örnek için, 50x50x50 mm boyutlu 10'ar adet kübik numune kullanılmıştır. Yükün uygulanacağı yüzeyler, 0,1 mm toleransla düz olmalı ve deney numunesinin eksenine diklikten 0,01 radyandan veya 100 mm'de 1 mm'den daha fazla sapma göstermemelidir. Bu bağlamda, tüm numunelerin diklikten sapmaları kontrol edilerek standarda uygunluğu teyit edildikten sonra, numuneler  $70 \pm 5$  °C sıcaklıkta etüvde sabit tartıma getirilmiş ve boyutları kumpas ile ölçülüp kaydedilmiştir. Numuneler prese yerleştirildikten sonra, basınç presinde saniyede  $1 \pm 0,5$  MPa/s hız uygulanarak numuneler deneye tabii tutulmuştur (Şekil 3.10).



**Şekil 3.10.** Tek eksenli basınç tayininde kullanılan pres

Numunelerin tek eksenli basınç dayanım değeri ( $\sigma_b$ ), kırılma yükünün (F) numune yüzey alanına (A) bölünmesi ile Eşitlik (3.7) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\sigma_b = \frac{F}{A} \quad (3.7)$$

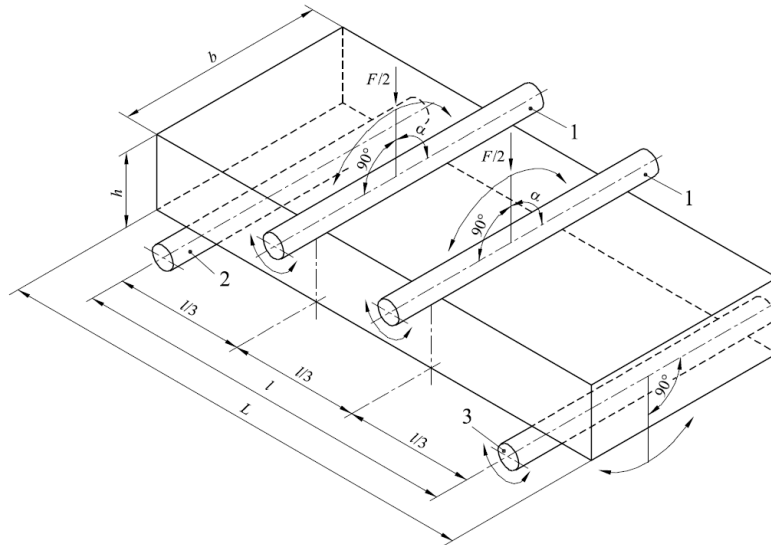
$\sigma_b$  : tek eksenli basınç dayanımı (MPa)

F : uygulanan yük (N)

A : yüzey alanı (mm<sup>2</sup>)

### **3.2.3.8. Sabit moment altında eğilme dayanımı tayini**

Mermer örneklerinin sabit moment altında eğilme dayanımı değerleri, AKÜ DAL'da ve TS EN 13161 kodlu 'Doğal Taşlar - Deney Yöntemleri - Sabit Moment Altında Eğilme Dayanımının Tayini' isimli standarda göre belirlenmiştir. Deneylerde her örnek için, 300x50x50 mm boyutlarında 10'ar adet numune kullanılmıştır. Numuneler etüvde 70±5 °C sıcaklıkta sabit tartıma getirilmiş ve numunelerin en, boy, kalınlıkları kumpas ile ölçülmüştür. Ölçümleri alınan numuneler, Şekil 3.11'de gösterildiği gibi yükleme düzeneğine yerleştirilmiştir. Şekil 3.11'de 1 kodu ile gösterilen silindirler yük uygulanan silindirler, 2 ve 3 kodu ile gösterilen silindirler ise, destek silindirleridir. Deneyler, Şekil 3.12'deki eğilme dayanımı presinde gerçekleştirilmiş ve numuneye uygulanan yük, 0,25±0,05 MPa/s hızla numune kırılıncaya kadar homojen bir şekilde arttırılmıştır.



**Şekil 3.11.** Deney numunesi için yükleme düzeneği ( TS EN 13161)



**Şekil 3.12.** Sabit moment altında eğilme dayanımı tayininde kullanılan cihaz

Numunelerin sabit moment altında eğilme dayanımları ise, Eşitlik (3.8) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$R_{tc} = \frac{F \times L}{b \times h^2} \quad (3.8)$$

$R_{tc}$  : sabit moment altında eğilme dayanımı (MPa)

F : kırılma yükü (kN)

L : numunenin boyu (mm)

b : numunenin genişliği (mm)

h : numunenin kalınlığı (mm)

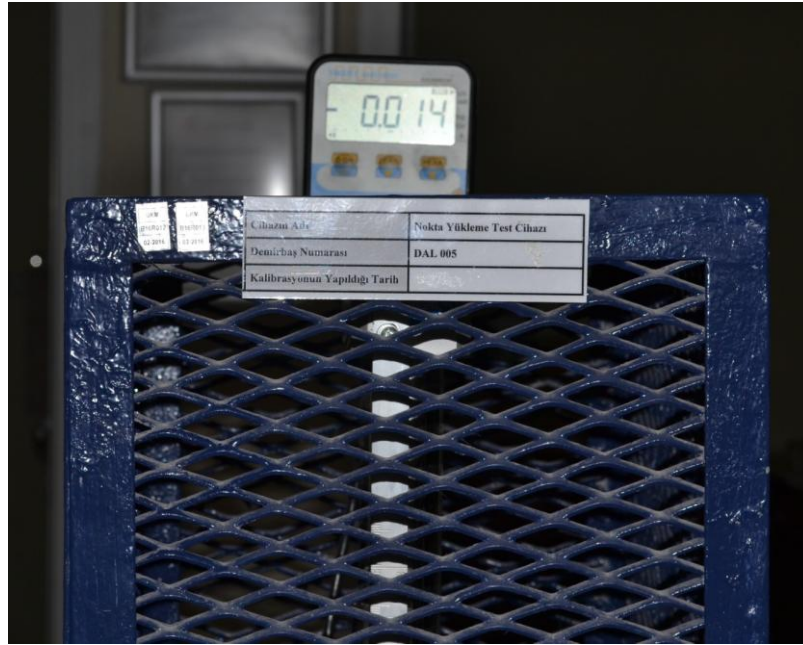
### **3.2.3.9. Nokta yük dayanım indeksi tayini**

Mermer örneklerinin nokta yük dayanım indeksi değerleri, AKÜ DAL'da ve TS 699 kodlu 'Doğal Yapı Taşları - İnceleme ve Laboratuar Deney Yöntemleri' isimli standartta bulunan nokta yük dayanım indeksi deney yöntemine göre belirlenmiştir. Nokta yük dayanım indeksi, tek eksenli basınç dayanımı ve çekme dayanımı gibi diğer dayanım parametrelerinin dolaylı olarak belirlenmesinde ve kayaçların dayanımlarına göre sınıflandırılmasında kullanılmaktadır (TS 699). Bu deney, standarda göre silindirik karot numunelerinin yanı sıra, blok ve düzensiz şekilli numuneler üzerinde de uygulanabilmektedir. Standartta, deneyde blok numune kullanılması halinde kalınlık ve genişlik oranının (D/W) 0,3 ile 1,0 arasında, tercihen 1,0'e yakın olması gerektiği ifade edilmiştir. Bu çalışmada numunelerin nokta yük dayanım indeksi belirlenirken, her örnek için 50x50x50 mm boyutlu 10'ar adet küp numune kullanılmıştır. Kumpas ile boyutlarının ölçümü alınmış numune, Şekil 3.13'de gösterilen nokta yükleme cihazının konik uçları arasına yerleştirilmiştir. Numuneye, 10 s - 60 s arasında kırılacak şekilde yükleme yapılmış ve kırılma anındaki yük (P) cihazın yük göstergesinden (Şekil 3.14) okunmuştur.



**Şekil 3.13.** Nokta yük dayanım indeksi tayini deneyinde kullanılan cihaz





Şekil 3.14. Cihazın yük (P) göstergesi

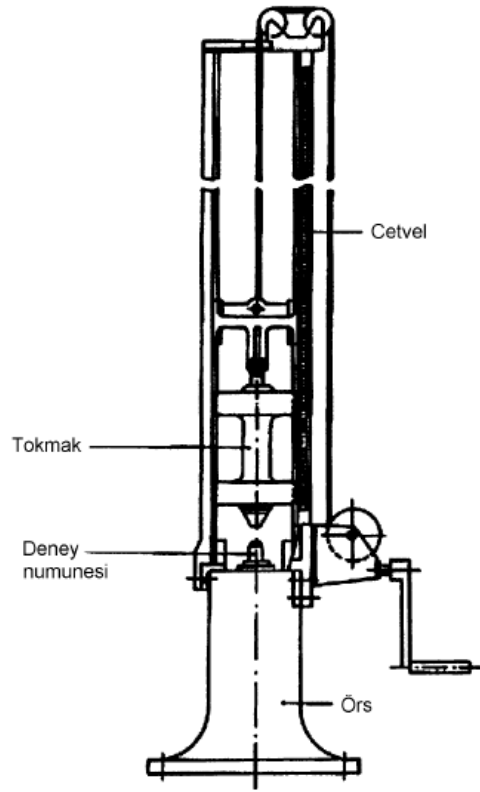
Deney gerçekleştirilip numuneler kırıldıktan sonra, kırılan numuneler incelenmiş ve standartta da belirtildiği gibi, kırılma yüzeyi tek bir yükleme noktasından geçen numunelerin deneyleri geçersiz sayılarak tekrar edilmiştir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Blok örnekler için kırılma şekilleri: a) geçerli, b) geçersiz (Ulusay vd., 2005).

### **3.2.3.10. Darbe dayanımı tayini**

Mermer örneklerinin darbe dayanımı değerleri, MTA Teknolojik Araştırmalar - Akredite Doğal Taş Analiz Laboratuar'ında ve TS 699 kodlu 'Doğal Yapı Taşları - İnceleme ve Laboratuar Deney Yöntemleri' isimli standartta bulunan darbe dayanımı deney yöntemine göre belirlenmiştir. Şematik olarak Şekil 3.16'da gösterilen darbe dayanımı test cihazı; örs, numune haznesi, tokmak ve cetvelden oluşmaktadır.



**Şekil 3.16.** Darbe dayanımı cihazının şematik görüntüsü (TS 699)

Cihazın dökme demirden yapılmış örs kısmının kütlesi yaklaşık 500 kg olmalı ve örs yaklaşık 1 m<sup>3</sup> hacminde beton bir temel üzerine oturtulmak suretiyle sıkıca sabitlenmelidir. Örsün deney numunesinin yerleştirileceği üst yüzü iyice düzeltilmiş ve sertliği yaklaşık olarak Brinell Sertliği (BSD) 2000 MPa olan yatay bir başlık ile donatılmış olmalıdır. Cihazın tokmağı, dökme demirden yapılmış olmalı ve tokmağın alt tarafında sert çelikten yapılmış bir başlığı bulunmalıdır. Başlığın deney numunesine çarpacak olan kısmı yatay olarak iyice düzeltilmeli ve Brinell Sertliği yaklaşık 2000 MPa olmalıdır. Ayrıca numunenin üzerine düşecek olan tokmağın başlık kısmı ile birlikte toplam kütlesi ise, 50±0,5 kg olmalıdır. Tokmağın serbest düşmesi sonucu oluşan darbe kuvvetinin deney numunesine iletilmesi için sert çelikten yapılmış bir plaka kullanılmaktadır. Bu plakanın boyutları deney numunesi kenarlarından her yönde en az 1 cm taşacak şekilde olmalı, deney numunesine degecek olan yüzü düz, tokmağın çarpacağı üst yüzeyi ise bombeli olmalıdır. Ayrıca, bu plakanın kenar kalınlığı yaklaşık 3 cm, bombeli kısmının kalınlığı 3,5 cm olmalı ve sertliği ise, yaklaşık BSD 5000 MPa olmalıdır. Cihazda, tokmağın deney numunesine çarptıktan sonra geri sıçradığında yakalanmasını

sağlayan bir düzenek, düşme ve sıçrama yüksekliğini otomatik olarak ölçmeye yarayan bir tertibat ve milimetre bölüntülü bir cetvel bulunmaktadır. MTA'da bulunan ve darbe dayanımı tayininde kullanılan cihaz Şekil 3.17'de görülmektedir.



**Şekil 3.17.** Darbe dayanımı tayini deneyinde kullanılan cihaz

Deneyleerde, her örnek için, 40x40x40 mm boyutlu 6'şar tane küp numune kullanılmıştır. Deney numuneleri, örsün üzerindeki başlığın ortasına yerleştirilmiş ve numunenin üzerine çelik plaka kenarlardan eşit miktarda taşacak şekilde konmuştur. Ardından tokmak ardı ardına deney numunesinin kırıldığı ana kadar serbest düşürülmüştür. Tokmağın düşürüleceği ilk düşme yüksekliği, deney numunesinin her  $\text{cm}^3$ 'ü için 196  $\text{kPacm}^3$ 'lük bir darbe işi elde edilecek şekilde hesaplanmaktadır. Tokmağın ağırlığı 50 kg, deney numunesinin her  $\text{cm}^3$ 'ünün düşme yüksekliği 0,04 cm olduğuna göre; birinci darbede  $V \text{ cm}^3$  hacimli deney numunesi için tokmağın ilk düşme yüksekliği, Eşitlik (3.9)'daki gibi hesaplanmaktadır.

$$H_1 = 0,04 \times V \quad (3.9)$$

$H_1$  : tokmağın ilk düşme yüksekliği (m)

$V$  : deney numunesinin hacmi ( $m^3$ )

Birinci darbeden sonraki darbelerde düşme yüksekliği, bir önceki yüksekliğe ilk düşme yüksekliği (H) eklenerek hesaplanmaktadır. Deney numunesi kırılana kadar bu şekilde düşme yükseklikleri belirlenerek, tokmak serbest düşürülmekte ve numunenin kırıldığı darbe sayısı (n) kaydedilmektedir.

Darbe dayanımı değeri deney yapıldıktan sonra iki farklı şekilde hesaplanabilmektedir. Bunlardan ilki, toplam darbe işi ile (Eşitlik (3.10) – Eşitlik (3.11)), ikincisi ise toplam darbe sayısı ile (Eşitlik(3.12)) hesaplanandır.

$$A = A_1 + A_2 + \dots + A_n = P \times H_1 + P \times H_2 + \dots + P \times H_n \quad (3.10)$$

$$D = \frac{A}{V} \quad (3.11)$$

$A$  : toplam darbe işi ( $MPa \cdot mm^3$ )

$A_1, A_2, A_n$  : darbe işi ( $MPa \cdot mm^3$ )

$P$  : tokmak kütlesi (50kg)

$H_1, H_2, H_n$  : tokmağın düşme yüksekliği (mm)

$D$  : darbe Dayanımı (MPa)

$V$  : deney numunesinin hacmi ( $mm^3$ )

$$D = n \times (n+1) \quad (3.12)$$

$D$  : darbe dayanımı (MPa)

$n$  : kırılmaya sebep olan darbe sayısı

### **3.2.3.11. Don tesirine dayanıklılık tayini**

Mermer örneklerinin don tesirine dayanıklılık değerleri, AKÜ DAL'da ve TS EN 12371 kodlu 'Doğal Taşlar - Deney Yöntemleri - Dona Dayanım Tayini' isimli standarda göre belirlenmiştir. Deney, donma - çözülme çevrimlerinin basınç dayanımı üzerindeki etkisini tayin etmek için yapılmaktadır. Deneyler, her örnek için, 10'ar tane 50x50x50 mm boyutlarında küp numune ile gerçekleştirilmiştir. Deney numuneleri, 70±5 °C sıcaklıkta sabit tartıma gelene kadar bekletilerek 0,1 gr hassasiyetli terazide numunelerin kuru kütlesi ( $m_o$ ) tartılmıştır. Tartılan numuneler, TS EN 13755 kodlu 'Doğal Taşlar - Deney Metotları - Atmosfer Basıncında Su Emme Tayini' isimli standarttaki su emme işlemleri takip edilerek, 48 saat su içerisinde bekletilip doymun hale geldikten sonra, donma - çözülme test cihazının kabineye yerleştirilmiş ve donma - çözülme çevrimine başlanmıştır. Her bir çevrim, havada 6 saatlik donma periyodu ve bunu takiben numunelerin tamamen suya daldırılmış durumda bulunduğu 6 saatlik çözülme periyodundan oluşmaktadır. Toplamda, 56 donma - çözülme çevrimi gerçekleştirildikten sonra, numuneler cihazdan çıkarılarak 70±5 °C sıcaklıkta sabit tartıma getirilmiş ve numunelerin don sonrası kuru kütlesi ( $m_f$ ) alınıp, numunelere TS EN 1926 standardına göre basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Numunelerin kütlelerindeki değişim % 0,01 yaklaşımla hesaplanmıştır (Eşitlik (3.13)).

$$\Delta m = \frac{m_f - m_o}{m_o} \times 100 \quad (3.13)$$

$\Delta m$  : donma - çözülme çevrimi sonrasında numunenin kütledeki değişim (%)

$m_f$  : donma - çözülme çevrimi sonrasında numunenin kuru kütlesi (g)

$m_o$  : donma - çözülme çevrimi öncesinde numunenin kuru kütlesi (g)

Numunelerin don sonrası basınç dayanım değeri ( $\sigma_b$ ) ise, kırılma yükünün (F) numune yüzey alanına (A) bölünmesi ile hesaplanmıştır (Eşitlik(3.14)).

$$\sigma_b = \frac{F}{A} \quad (3.14)$$

$\sigma_b$  : don sonrası basınç dayanımı (MPa)

F : uygulanan yük (N)

A : yüzey alanı (mm<sup>2</sup>)

### **3.2.3.12. Termal şok etkisiyle yıpranma direnci tayini**

Mermer örneklerinin termal şok etkisiyle yıpranma değerleri, AKÜ DAL'da ve TS EN 14066 kodlu 'Doğal Taşlar - Deney Metotları - Termal Şok Etkisiyle Yıpranma Direnci Tayini' isimli standarda göre belirlenmiştir. Deneyle her örnek için 20'şer tane 300x50x50 mm boyutlarında numune kullanılmıştır. Bu numunelerden 10'ar tanesi termal şok çevrimleri uygulanmadan önceki özelliklerin belirlenmesinde; 10'ar tanesi de termal şok çevrimleri uygulandıktan sonraki özelliklerin belirlenmesinde kullanılmıştır. Termal şok çevrimleri uygulanmayan numuneler, etüvde 70±5 °C sıcaklıkta sabit tartıma getirilerek; kuru kütlesi ( $m_o$ ), TS EN 14579 standardına göre ses hızı ( $V_{so}$ ), TS EN 1936 standardına göre açık gözenekliliği ( $\rho_o$ ) ve TS EN 13161 standardına göre eğilme dayanımı ( $R_{tc}$ ) ölçülmüştür. Termal şok çevrimleri uygulanacak numuneler ise, bir hafta boyunca 40±5 °C sıcaklıktaki hava dolaşımli bir etüvde kurutulmuş ve sonrasında 20±5 °C sıcaklığa gelene kadar desikatörde bekletilmişlerdir. Sonrasında ise, numuneler 70±5 °C sıcaklıktaki hava dolaşımli bir etüve termal şok çevrimi başlatılmak üzere yerleştirilmiştir. Her bir çevrim, 70±5 °C sıcaklıktaki hava dolaşımli bir etüvde 18±1 saat; takiben 20±5 °C sıcaklıktaki musluk suyu içerisinde 6±0,5 saat süreyle numunelerin bekletilmesinden oluşmaktadır. Standartta da önerildiği gibi toplamda 20 çevrim gerçekleştirilmiş ve 20. çevrimin sonunda numuneler tekrar sabit tartıma gelene kadar 70±5 °C sıcaklıkta etüvde kurutulmuştur. Sabit tartıma gelen numunelerin termal şok çevrimi öncesinde olduğu gibi; termal şok çevrimi sonrasında da kuru kütleleri ( $m_f$ ), TS EN 14579 standardına göre ses hızı ( $V_{sf}$ ), TS EN 1936 standardına göre açık gözeneklilik ( $\rho_f$ ) ve TS EN 13161 standardına göre eğilme dayanımı ( $R_{tc}$ ) ölçülmüş ve termal şok çevrimi sonrası kütle değişimi Eşitlik (3.15) ile, ses hızı değişimi Eşitlik (3.16) ile, açık gözeneklilik değişimi Eşitlik (3.17) ile ve eğilme dayanımı değişimi Eşitlik (3.18) ile hesaplanmıştır.

$$\Delta m = \frac{m_f - m_o}{m_o} \times 100 \quad (3.15)$$

$\Delta m$  : termal şok çevrimi sonrasında numunenin kütlesindeki değişim (%)

$m_f$  : termal şok çevrimi sonrasında numunenin kuru kütlesi (g)

$m_o$  : termal şok çevrimi öncesinde numunenin kuru kütlesi (g)

$$\Delta V_s = \frac{V_{sf} - V_{so}}{V_{so}} \times 100 \quad (3.16)$$

$\Delta V_s$  : termal şok çevrimi sonrasında numunenin ses hızındaki değişim (%)

$V_{sf}$  : termal şok çevrimi sonrasında numunenin ses hızı (m/s)

$V_{so}$  : termal şok çevrimi öncesinde numunenin ses hızı (m/s)

$$\Delta \rho_s = \frac{\rho_f - \rho_o}{\rho_o} \times 100 \quad (3.17)$$

$\Delta \rho_s$  : termal şok çevrimi sonrasında numunenin açık gözenekliliğindeki değişim (%)

$\rho_f$  : termal şok çevrimi sonrasında numunenin açık gözenekliliği (%)

$\rho_o$  : termal şok çevrimi öncesinde numunenin açık gözenekliliği (%)

$$\Delta R_{tc} = \frac{R_{tcf} - R_{tco}}{R_{tco}} \times 100 \quad (3.18)$$

$\Delta R_{tc}$  : termal şok çevrimi sonrasında numunenin eğilme dayanımındaki değişim (%)

$R_{tcf}$  : termal şok çevrimi sonrasında numunenin eğilme dayanımı (MPa)

$R_{tco}$  : termal şok çevrimi öncesinde numunenin eğilme dayanımı (MPa)

### 3.2.4. Kopma enerjisi - çarpma dayanımı - ses hızının tayini

Yapılan doktora çalışması kapsamında, TS EN 14158 kodlu, Doğal taşlar - Deneysel Yöntemleri - Kopma Enerjisinin Tayini isimli standart kullanılarak Kemalpaşa Beyaz, Muğla Beyaz, Afyon Şeker ticari isimli metamorfik kökenli mermerlerin kopma enerjisinin belirlenmesi ve standartta var olmayan bir hesaplama yöntemi ile mermerlerin çarpma dayanımlarının hesaplanması hedeflenmiştir. Standartta bulunmayan bu hesaplama yöntemi Sarıışık (2012) tarafından yapılan çalışmada önerilmiş ve böylece bir deney düzeneği ve yöntemi kullanılarak doğal taşların iki farklı özelliğinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu çalışmada, farklı numune kalınlığı ve farklı numune koşullandırması kullanılarak mermerlerin kopma enerjisi ve çarpma dayanımı üzerinde numune kalınlığı ve koşullandırmanın etkisinin belirlenebilmesi amaçlanmıştır. Bunun için, TS EN 14158 kodlu standarttaki 20x20x3 cm ve normal koşul koşullandırması (N) ile koşullandırılmış numunelere ek olarak; 20x20x2 cm ve 20x20x1 cm ebatlı numuneler ve normal koşul koşullandırmasına ek olarak; donma - çözülme koşullandırması (D) ve termal şok koşullandırması (T) uygulanmış numuneler kullanılmıştır. Kopma enerjisi ve çarpma dayanımının tayini için yapılan deneyde kullanılan örneklerin kodları, ticari isimleri, numune yüzey özellikleri, numune boyutları, numune koşullandırma türleri ve numune adetleri Çizelge 3.4'de verilmektedir. Çizelge 3.4'de görüldüğü üzere, bu çalışmada toplamda 9 adet kontrol numunesi ve 135 adet deney numunesi kullanılmıştır. Deneylerde, önce kontrol numuneleri kırılarak bu numunelerin kırılma yüksekliklerinden deney numunelerinin ilk bilye düşme yüksekliği hesaplanmaktadır. Her örneğin her kalınlığı için normal koşul numunelerinde; 1 tanesi kontrol numunesi, 5 tanesi deney numunesi olmak üzere toplamda, 6'şar tane numune kullanılırken; donma - çözülme ve termal şok numunelerinde kontrol numunesi kullanılmamış, sadece 5'er tane deney numunesi kullanılmıştır. Bunun nedeni; aynı kalınlıktaki taşlarda koşullandırmanın etkisini daha iyi analiz edebilmek için, her üç koşulda da aynı bilye ilk düşme yüksekliği kullanmak yani, aynı deney yöntemiyle deneyleri gerçekleştirmektir.



**Çizelge 3.4.** Kopma enerjisi – çarpma dayanımı – ses hızı tayininde kullanılan numune özellikleri

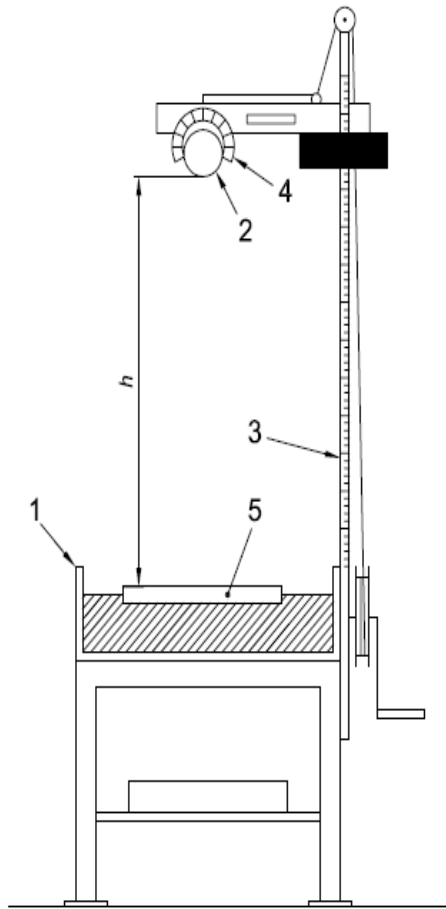
Örnek kodu	Ticari adı	Yüzey özelliği	Boyut (cm)	Koşullandırma türü	Numune adeti
K	Kemalpaşa Beyaz	cilalı	20x20x3	normal koşul	1 kontrol numunesi
					5 deney numunesi
		cilalı	20x20x3	donma - çözülme koşulu	5 deney numunesi
					cilalı
		cilalı	20x20x2	normal koşul	
					5 deney numunesi
		cilalı	20x20x2	donma - çözülme koşulu	5 deney numunesi
					cilalı
		cilalı	20x20x1	normal koşul	
5 deney numunesi					
cilalı	20x20x1	donma - çözülme koşulu	5 deney numunesi		
			cilalı	20x20x1	termal koşul
M	Muğla Beyaz	cilalı			
			5 deney numunesi		
		cilalı	20x20x3	donma - çözülme koşulu	5 deney numunesi
					cilalı
		cilalı	20x20x2	normal koşul	
					5 deney numunesi
		cilalı	20x20x2	donma - çözülme koşulu	5 deney numunesi
					cilalı
		cilalı	20x20x1	normal koşul	
5 deney numunesi					
cilalı	20x20x1	donma - çözülme koşulu	5 deney numunesi		
			cilalı	20x20x1	termal koşul
A	Afyon Şeker	cilalı			
			5 deney numunesi		
		cilalı	20x20x3	donma - çözülme koşulu	5 deney numunesi
					cilalı
		cilalı	20x20x2	normal koşul	
					5 deney numunesi
		cilalı	20x20x2	donma - çözülme koşulu	5 deney numunesi
					cilalı
		cilalı	20x20x1	normal koşul	
5 deney numunesi					
cilalı	20x20x1	donma - çözülme koşulu	5 deney numunesi		
			cilalı	20x20x1	termal koşul

Tahribatsız deney yöntemlerinden en sık kullanılanlarından biri, ses hızı ölçümüdür. Bu çalışmada da numuneler deneye tabii tutulmadan önce tüm numunelerin TS EN 14579 kodlu ‘Doğal Taşlar - Deney Metotları - Ses Hızı İlerlemesinin Tayini’ isimli standarttaki yönteme uygun şekilde ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Kopma enerjisi ve çarpma dayanımı ile ses hızı arasında bir ilişki olup olmadığının belirlenebilmesi için, deneye tabii tutulmadan önce tüm numunelerin ses hızı değerleri ölçülmüştür. Ses hızı ölçümü direkt ölçüm yöntemiyle, ses dalgalarının geçirgenliğini ve ölçümün güvenilirliğini arttırmak için, ölçüm yapılacak doğal taş yüzeyine ve ölçüm yapacak alıcı ve verici uçların yüzeylerine cihazın orjinal jeli sürülmüştür. Alıcı ve verici uçlar karşılıklı gelecek şekilde, numune yüzeyine uçlar yerleştirilmiştir. Ölçüm öncesinde, uçlar arası mesafe cihaza manuel olarak girildiğinden ve cihaz uçlar arası sesin geçiş süresini ölçebildiğinden, cihaz ekranına direkt ses hızı değeri gelmektedir.

TS EN 14158 kodlu standarttaki deney yöntemi, belirlenmiş aralıklarda artan yüksekliklerden küresel çelik bir bilyenin numunenin merkezine, numune kırılana kadar, tekrarlı serbest düşürülmesi ile numunenin kopma enerjisinin tayin edilmesi üzerine kurulmuştur. Standarda göre deneyde, 20x20x3 cm ebatlı, yüzeyi cilalı 1 tanesi kontrol numunesi ve 5 tanesi deney numunesi olmak üzere, toplamda 6 tane numune kullanılması gerekmektedir. Kopma tayini deneyine başlanmadan önce,  $70\pm 5$  °C sıcaklıktaki etüvde  $24\pm 2$  saat süreyle kurutulan numuneler, oda sıcaklığına gelene kadar desikatörde bekletilir ve sonra tartımları alınarak kaydedilir.  $70\pm 5$  °C sıcaklıkta  $24\pm 2$  saat süreyle etüvde kurutma işlemi tekrarlanır ve oda sıcaklığına geldiklerinde tekrar tartımları alınarak kaydedilir. İki tartım arasındaki fark, ilk tartımdan elde edilen değer % 0,1’inden küçük olana kadar bu işlemler tekrarlanır ve istenen değer ölçüldüğünde numunelerin sabit tartıma ulaştığı kabul edilerek, kopma enerjisinin tayini deneyine başlanır. Bu çalışma boyunca, hiçbir fiziksel bozundurma koşulu uygulanmamış ve sadece sabit tartıma getirilerek deneye tabii tutulan numunelere, normal koşul koşullandırması ile koşullandırılmış numuneler denilecektir. Taşların koşullandırma yöntemleri sonraki bölümlerde detaylı bir şekilde açıklanmaktadır.

Kopma enerjisinin belirlenebilmesi için ilgili standartta belirtilen özellikler ve EN 14158 kodlu Avrupa Standardı’ndaki çizimden (Şekil 3.18-a) yola çıkılarak; özel üretim bir cihaz geliştirilmiştir (Şekil 3.18-b). Şekil 3.18-a’daki şematik gösterimde 1 ile

gösterilen kum haznesi, 2 ile gösterilen çelik bilye, 3 ile gösterilen cetvel, 4 ile gösterilen bilye tutucu mıknatıs, 5 ile gösterilen ise numunedir. Özel olarak üretilen bu cihaz; numunelerin yerleştirildiği 400x400x150 mm boyutlarında bir kum haznesi, üzerinde düşey yönde hareket ettirilebilen ve deneyde kullanılan çelik bilyenin mıknatıs yardımıyla tutturulabildiği kayar şasiye sahip 1,5 m uzunluğunda bir metal sütun ve kayar şasinin düşey yönde hareketinin ve bilyenin düşüşünün dijital olarak kontrol edilebildiği bir kontrol paneli olmak üzere toplamda üç ana parçadan oluşmaktadır (Şekil 3.18.b).



a



b

**Şekil 3.18.** Kopma enerjisi deney cihazı a) şematik görünüm (EN 14158) ; b) kullanılan deney cihazı

TS EN 14158 kodlu standartta belirtildiği gibi, cihazda numuneyi yerleştirmek için bulunan konteynıra 2 mm – 0,076 mm arasında tane büyüklüğüne sahip kum konarak, 100 mm kalınlığında bir silika kum yatağı oluşturulmuş ve numuneler bu kum yatağının üzerine cihazın merkezlenme aparatı yardımı ile merkezlenerek yerleştirilmiştir. Standartta

belirtilmemiş olmasına rağmen; yapılan araştırmalar sonucunda, konteynıra yerleştirilmek için tariflenen kum için en uygun kumun EN 196-1'e uygun maksimum agrega boyutu 2 mm olan Rilem Cembureau Standart kumu olduğu tespit edilmiş ve Limak Batı Çimento San. ve Tic. A.ř. Trakya Çimento Fabrikasında üretilen Standart Cen Kumu olarak da bilinen bu kum deneylerde kullanılmıştır. Bu kumun elek analizi, Çizelge 3.5'de gösterilmektedir. Ayrıca, TS EN 14158 kodlu standarda bu kumun özelliklerinin eklenmesi bundan sonra bu standart kullanılarak deney yapacak diğer araştırmacılar için deney prosedüründe standardizasyonu sağlayacağından, bu yöntem kullanılarak yapılacak farklı bilimsel çalışmalarda deney sonuçlarının karşılaştırılması ve yorumlanması açasından kolaylık ve doğruluk sağlayacaktır. Bu nedenle, bu çalışmada tespit edilen kum özelliklerinin standarda eklenmesi oldukça önemlidir.

**Çizelge 3.5.** Kullanılan standart Cen - kumunun (Rilem Cembureau Kumu) elek analizi (EN 196-1)

elek açıklığı (mm)	kümülatif elek üstü (%)
2,00	0
1,60	7 ± 5
1,00	33 ± 5
0,50	67 ± 5
0,16	87 ± 5
0,08	99 ± 1

TS EN 14158 kodlu standartta kullanılan kum ile ilgili detaylı bir bilgi olmadığı gibi; deneyde kullanılacak çelik bilye ile ilgili de ağırlığı dışında başka hiç bir bilgi bulunmamaktadır. Standarda göre, deneylerde 1,0±0,01 kg kütleyle sahip çelik bilye kullanılmalıdır. Bu çalışmada kullanılan bilyeler, bilye üreticisi bir firmadan temin edilmiş olup, krom çelik bilyeler kullanılmıştır. Yapılan ön denemelerde, 2 cm ve 1 cm kalınlıklı mermer numuneleriyle gerçekleştirilen kopma enerjisi tayini deneylerinde, standartta belirtilen 1,0±0,01 kg kütleli bilye kullanıldığında; 1 cm numuneler ilk düşüşte, 2 cm numuneler ise, çoğunlukla ilk, bazen de ikinci düşüşte kırılma eğilimdedir. Bu durum için TS EN 14158 kodlu standartta, ilk bilye darbesiyle numunenin kırılması halinde sonucun reddedilerek deneyin tekrarlanması gerektiği vurgulanmıştır. Bu nedenle de, çalışmada kullanılan farklı kalınlıktaki numunelere kalınlıkları ile nispeten orantılı ağırlıkta krom çelikten yapılmış bilyeler kullanılmıştır (Çizelge 3.6). Ayrıca, Çizelge 3.6'da deneylerde

kullanılan bilyelerin üretildiği krom çeliğinin üretici firmadan temin edilmiş bazı kritik özellikleri de verilmektedir. TS EN 14158 kodlu standartta kullanılmasına rağmen; teknik detayları standartta yer almayan çelik küresel bilyenin teknik detaylarının standarda eklenmesi, kumun teknik detaylarının standarda eklenmesinin gerektiği gibi gerekli ve önemlidir. Ayrıca, standartta  $1,0\pm 0,01$  kg kütleli küresel çelik bilye olarak tariflenen bilyenin, bilye üreticilerinde bu ağırlıkta olanının bulunmaması sebebiyle, bilyenin ağırlıkta sapma aralığının biraz daha genişletilmesiyle üreticilerden temin edilen bilyenin standarda uygunluğunun kolaylıkla sağlanacağından, bu bağlamda standartta düzeltmeye gidilmesinin gerekliliği ön plana çıkmaktadır. Bunun yanı sıra, krom çelik bilyenin temini için üreticilerden temin edilerek incelenen kataloglarda, bilyeler için ağırlıktan daha öncelikli tanımlamanın bilye çapı üzerinden olduğu tespit edilmiştir. Bu sebeple, standartta küresel çelik bilye tanımlanırken; bilye ağırlığının yanı sıra, bilye çapının da verilmesi daha uygun bir yaklaşım olacaktır.

**Çizelge 3.6.** Deneylerde kullanılan bilyelerin özellikleri

Numune boyutları (cm)	Bilyelerin ağırlıkları (kg)	Bilyelerin özellikleri
20x20x3	1,0427	Özgül ağırlık = 7,83 kgf / mm Sıkışma kuvveti = 207 kgf /mm Kritik çekme dayanımı = 228 kgf /mm Elastisite modülü = 20,748 kgf /mm Rockwell sertliği = 60/66 HRC
20x20x2	0,6787	
20x20x1	0,3212	

Bu çalışma kapsamında, K, M ve A kodlu mermerlerden her biri için, 20x20x3 cm, 20x20x2 cm ve 20x20x1 cm boyutlarında, yüzeyleri cilalanmış, her kalınlık için normal koşul, donma - çözülme koşulu ve termal şok koşulu ile koşullandırılmış numuneler kullanılmıştır (Bkz Çizelge 3.4). Kopma enerjisi tayini deneyine başlanmadan önce, donma - çözülme ve termal şok koşullandırması uygulanacak olan numuneler, bu koşullandırma şartlarına göre, koşullandırma işlemlerine tabii tutulmuştur. Sonrasında, koşullandırılmamış numuneler ile donma - çözülme ve termal koşullandırılmasıyla koşullandırılmış numuneler, yani deneyde kullanılacak tüm numuneler (9 tane kontrol numunesi ve 135 tane deney numunesi olmak üzere, toplamda 144 tane numune) sabit tartıma getirme işlemine tabii tutulmuştur. Numuneler sabit tartıma getirildikten sonra;

deneyler, her kalınlık için ayrı ayrı olmak üzere üç grupta gerçekleştirilmiştir. 20x20x3 cm boyutlu numunelerin deneyleri, 20x20x2 cm boyutlu numunelerin deneyleri ve 20x20x1 cm boyutlu numunelerin deneyleri sırasıyla gerçekleştirilmiştir. Bu üç grup deneyde de aynı deney prosedürü izlenerek deneyler tamamlanmıştır. 20x20x3 cm boyutlu numunelerin deneylerinde, önce K kodlu örneklerin kontrol numunesi, numune yüzeyinin merkezi bilyenin merkezinden geçen dik doğru üzerinde konumlandırılacak şekilde konteynırdaki kumun merkezine yerleştirilerek, numune yarısına kadar kuma gömülmüş ve su terazisi ile numunenin yatay düzlemle paralelliği kontrol edilmiştir. Sonrasında, 1,0427 kg kütleli küresel çelik bilye, bilyenin en düşük noktası baz alınarak 100 mm yükseklikten kumun üzerindeki kontrol numunesinin merkezine düşürülmüş ve numune kırılana kadar çelik bilyenin düşürülme yüksekliği 50'şer mm yükseltılarak bilye numunenin merkezindeki aynı noktaya düşürülmeye devam edilmiştir. Kontrol numunesinin kırıldığı yükseklik kaydedilmiş ( $h_t$ ) ve bu yöntemle M ve A kodlu örneklerin de kontrol numuneleri kırılarak, Eşitlik (3.18) yardımıyla, deney numunelerinin ilk düşme yükseklikleri ( $h_i$ ) standartta verildiği gibi hesaplanmıştır. Yapılan deney sonuçlarının karşılaştırılmasının ve yorumlanmasının sağlanabilmesi için aynı boyutlu tüm örneklere aynı deney prosedürünün uygulanması gerektiğinden; K, M ve A kodlu deney numunelerinin kontrol numunelerinin (her örnek için 1'er tane olmak üzere toplamda 3 tane kontrol numunesi) kırılma yükseklikleri kullanılarak hesaplanan deney örneklerinin ilk bilye düşme yükseklikleri içinde en düşük olan ilk düşme yüksekliği seçilerek, 20x20x3 cm boyutlu tüm numunelerde bu en düşük yükseklik, bilye ilk düşme yüksekliği olarak seçilmiştir. Bu işlemler, 20x20x2 cm ve 20x20x1 cm boyutlu kontrol numuneleri için de gerçekleştirilmiş ve tüm numune boyutları için kontrol numunelerinin kırıldığı son bilye düşme yüksekliği Çizelge 3.7'de ve (3.19)'daki denklem kullanılarak hesaplanan deney numunelerinin ilk bilye düşme yüksekliği Çizelge 3.8'de verilmiştir.

$$h_i = h_t - 150 \quad (3.19)$$

$h_i$  : deney numunelerinin ilk bilye düşme yüksekliği (mm)

$h_t$  : kontrol numunesinin kırıldığı son bilye düşme yüksekliği (mm)

Çizelge 3.7. Kontrol numunelerinin son kırılma yüksekliği

Örnek kodu	Numune boyutu (cm)	Koşullandırma türü	Kontrol numunesi kırılma yüksekliği (mm)
K	20x20x3	normal koşul	600
M			550
A			400
K	20x20x2	normal koşul	600
M			450
A			400
K	20x20x1	normal koşul	700
M			600
A			400

Çizelge 3.8. Deney numunelerinin ilk bilye düşme yüksekliği

Örnek kodu	Numune boyutu (cm)	Koşullandırma türü	Deney numunesi ilk bilye düşme yüksekliği (mm)
K	20x20x3	normal koşul	250
		donma - çözülme koşulu	250
		termal koşul	250
M		normal koşul	250
		donma - çözülme koşulu	250
		termal koşul	250
A		normal koşul	250
		donma - çözülme koşulu	250
		termal koşul	250
K	20x20x2	normal koşul	250
		donma - çözülme koşulu	250
		termal koşul	250
M		normal koşul	250
		donma - çözülme koşulu	250
		termal koşul	250
A		normal koşul	250
		donma - çözülme koşulu	250
		termal koşul	250
K	20x20x1	normal koşul	250
		donma - çözülme koşulu	250
		termal koşul	250
M		normal koşul	250
		donma - çözülme koşulu	250
		termal koşul	250
A		normal koşul	250
		donma - çözülme koşulu	250
		termal koşul	250

Kontrol numunesi için yapılan tüm prosedürler, deney numuneleri için de gerçekleştirilmiştir. Deney numuneleri için Eşitlik (3.19) ile hesaplanan bilyenin ilk düşme yüksekliği ( $h_i$ ) belirlendikten sonra (Çizelge 3.8), tüm deney numuneleri için bu yükseklik ( $h_i = 250$  mm) kullanılmak suretiyle, deney numunelerinin kırıldıkları ana kadar kontrol numunesinde olduğu gibi 50'şer mm bilye düşürme yüksekliği arttırılarak deneyler yapılmış ve her numune için kırılma yükseklikleri kaydedilerek, numunelerin kopma enerjileri Eşitlik (3.20) ile hesaplanmıştır. Numunelerin çarpma dayanımları ise, Eşitlik (3.21) kullanılarak hesaplanmıştır (Sarıışık, 2012).

$$W = m \times g \times h_t \quad (3.20)$$

W : kopma enerjisi (J)

m : küresel çelik bilyenin kütlesi (kg)

g : yerçekimi ivmesi (9,806 m/s<sup>2</sup>)

$h_t$  : numune kırıldığı ana kadar bilye düşme yüksekliklerinin toplamı (m)

$$\sigma_{\varphi} = \frac{W}{V} \quad (3.21)$$

$\sigma_{\varphi}$  : Çarpma Dayanımı (Pa)

V : Numune hacmi (m<sup>3</sup>)

#### **3.2.4.1. Normal koşul (N)**

Kopma enerjisi tayini deneyi gerçekleştirilecek olan numuneler, TS EN 14158 kodlu standartta tariflendiği gibi koşullandırıldığında; bu durum çalışma boyunca normal koşul (N) olarak tanımlanmıştır. Yani, numunelere herhangi bir bozundurma yöntemi (donma - çözülme veya termal şok) uygulanmamış, numuneler sadece ilgili standartta tariflendiği gibi sadece sabit tartıma getirilmiştir. Bunun için numuneler, 70±5 °C sıcaklıktaki etüvde 24 ±2 saat süreyle kurutulmuş, oda ısısına gelene kadar desikatörde bekletilmiş ve sonra tartımları alınmıştır. 70±5 °C sıcaklıkta 24±2 saat süreyle etüvde kurutma işlemi tekrarlanmış, oda ısısına geldiklerinde tekrar tartımları alınmıştır. İki tartım arasındaki fark ilk tartımdan elde edilen değer %0,1'inden küçük olana kadar bu işlemler



tekrarlanmış ve istenen değer ölçüldüğünde numunelerin sabit tartıma eriştiği kabul edilmiştir. Bu şekilde koşullandırılarak kopma enerjisi deneyine tabii tutulan numuneler normal koşulla koşullandırılmış numuneler olarak tanımlanmıştır.

### **3.2.4.2. Donma – çözülme koşulu (D)**

Donma – çözülme olayının mermer örneklerinin kopma enerjisi ve çarpma dayanımına etkisini ortaya koyabilmek için bu çalışmada kullanılan mermer örneklerinin bir kısmı, TS EN 12371 kodlu ‘Doğal taşlar için donma dayanım tayini’ isimli standarda göre koşullandırılmıştır. Kopma enerjisi deneyleri 20x20x3 cm, 20x20x2 cm, 20x20x1 cm olmak üzere üç farklı kalınlıktaki numune ile gerçekleştirilecek olduğundan; donma – çözülme koşullandırması için üç farklı kalınlıktaki numune koşullandırma işlemi için kullanılmıştır. Çalışmada, üç farklı örnek (Kemalpaşa Beyaz, Muğla Beyaz, Afyon Şeker) için, üç farklı kalınlıkta (3 cm, 2 cm, 1 cm) mermer numunesi kullanıldığından donma – çözülme koşullandırması için toplamda 45 adet numune koşullandırılarak deneyler gerçekleştirilmiştir (Çizelge 3.9).

**Çizelge 3.9.** Donma – çözülme koşullandırmasında kullanılan toplam numune sayıları

		Örnek Kodu		
		K	M	A
Örnek Kalınlığı	3cm	5 adet deney numunesi	5 adet deney numunesi	5 adet deney numunesi
	2cm	5 adet deney numunesi	5 adet deney numunesi	5 adet deney numunesi
	1cm	5 adet deney numunesi	5 adet deney numunesi	5 adet deney numunesi

Numuneler donma – çözülme koşullandırmasına tabii tutulmadan önce  $70\pm 5$  °C sıcaklıkta sabit kütleye gelene kadar kurutulmuştur (Şekil 3.19).  $70\pm 5$  °C sıcaklıktaki etüvde  $24\pm 2$  saat süreyle kurutulan numuneler oda ısısına gelene kadar desikatörde bekletilmiş ve sonra tartımları alınarak,  $70\pm 5$  °C sıcaklıkta  $24\pm 2$  saat süreyle etüvde kurutma işlemi tekrarlanmış, oda ısısına geldiklerinde tekrar tartımları alınmıştır. İki tartım arasındaki fark, ilk tartımdan elde edilen değer in %0,1’inden küçük olana kadar bu

işlemler tekrarlanmış ve istenen değer ölçüldüğünde numunelerin sabit tartıma ulaştığı kabul edilmiştir.



**Şekil 3.19.** Donma – çözülme koşullandırması yapılan numunelerin etüvde kurutulması: a) kalınlığı 3 cm olan numuneler, b) kalınlığı 1 cm ve 2 cm olan numuneler

Sabit tartıma ulaşan numuneler birbirlerinden en az 15 mm uzaklıkta olacak şekilde plastik bir kap içerisine yerleştirilmiştir (Şekil 3.20). Kap, numunelerin  $\frac{1}{2}$ 'sine kadar suyla doldurularak  $60 \pm 5$  dakika beklenmiş; sonrasında kap, numunelerin  $\frac{3}{4}$ 'üne kadar suyla doldurularak  $60 \pm 5$  dakika beklenmiş ve sonrasında da kap, numuneler bütünüyle suyun  $25 \pm 5$  mm altında kalacak şekilde doldurularak  $48 \pm 2$  saat süreyle numuneler tamamen su içerisine bırakılmıştır.



**Şekil 3.20.** Sabit tartıma getirilen numunelerin suya doymun hale getirilmesi

Donma – çözülme çevrimlerine başlamadan önce, 48 saat suda bekletilmiş numunelerin su içerisinde görünür kütle ( $M_{h0}$ ) ölçümleri (Şekil 3.21-a) ve numune sudan çıkarılarak yüzeyi kurulandıktan sonra havadaki kütle ( $M_{s0}$ ) ölçümleri alınmıştır (Şekil 3.21-b). Kütle ölçümleri tamamlandıktan sonra numuneler, TS EN 12371 kodlu standartta da belirtildiği gibi, numuneler birbirlerinden en az 10 mm ve dondurucu tank cidarlarından en az 20 mm uzaklıkta olacak şekilde, Şekil 3.22’de görüldüğü gibi dondurucuya yerleştirilerek donma – çözülme çevrimlerine başlanmıştır. Donma – çözülme deneyinin her bir çevrimi; havada 6 saatlik donma periyodu ve bunu takiben numunelerin suya daldırılmış durumda bulunduğu 6 saatlik çözülme periyodundan oluşmaktadır. TS EN 12371 kodlu standartta, numunelere 14, 56, 84 veya 140 çevrim uygulanabileceği ifade edilmiştir. Bu çalışmada, numunelere kaç çevrim donma – çözülme koşullandırması yapılacağına; Binal vd. (1997) tarafından hazırlanan Türkiye’nin yıllık donma – çözülme çevrimlerinin coğrafya haritasından yararlanılarak (Bkz.Şekil 2.6) karar verilmiştir. Bu haritada, Türkiye’deki en yüksek donma – çözülme çevrim sayısının 40 olarak belirlendiği tespit edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan mermerlerin Türkiye’nin her yerinde kaplama malzemesi olarak kullanılabilmesi göz önünde bulundurularak numunelere uygulanacak donma – çözülme çevrim sayısının 56 olmasına karar verilmiştir. 56 çevrim donma – çözülme koşullandırması uygulanmış numuneler sabit tartıma getirildikten sonra, normal koşul numuneleri ile aynı prosedür kullanılarak kopma enerjisi tayini deneyine tabii tutularak, kopma enerjileri ve çarpma dayanımı değerleri hesaplanmıştır.



a



b

**Şekil 3.21.** Numunelerin Arşimed Terazisi'ndeki kütle ölçümleri: a) su içerisinde görünür kütle ölçümü, b) havadaki kütle ölçümü



**Şekil 3.22.** Numunelerin dondurucu tanka yerleştirilmiş hali

### **3.2.4.3. Termal şok koşulu (T)**

Termal şok olayının mermer örneklerinin kopma enerjisi ve çarpma dayanımına etkisini ortaya koyabilmek için bu çalışmada kullanılan mermer örneklerinin bir kısmı, TS EN 14066 kodlu 'Doğal taşlar için termal şok etkisiyle yıpranmaya direncin tayini' isimli

standartta göre koşullandırılmıştır. Kopma enerjisi deneyleri 20x20x3 cm, 20x20x2 cm, 20x20x1 cm olmak üzere üç farklı kalınlıktaki numune ile gerçekleştirilecek olduğundan, termal şok koşullandırması için üç farklı kalınlıktaki numune koşullandırma işlemi için kullanılmıştır. Çalışmada üç farklı örnek (Kemalpaşa Beyaz, Muğla Beyaz, Afyon Şeker) için, üç farklı kalınlıkta (3 cm, 2 cm, 1 cm) mermer numunesi kullanıldığından termal şok koşullandırması için toplamda 45 adet numune koşullandırılarak deneyler gerçekleştirilmiştir (Çizelge 3.10).

**Çizelge 3.10.** Termal şok koşullandırmasında kullanılan toplam numune sayıları

		Örnek Kodu		
		K	M	A
Örnek Kalınlığı	3cm	5 adet deney numunesi	5 adet deney numunesi	5 adet deney numunesi
	2cm	5 adet deney numunesi	5 adet deney numunesi	5 adet deney numunesi
	1cm	5 adet deney numunesi	5 adet deney numunesi	5 adet deney numunesi

Termal şok koşullandırmasına tabii tutulmadan önce numuneler, bir hafta boyunca  $40\pm 5$  °C sıcaklıktaki hava dolaşımli bir etüvde kurutulmuş ve sonrasında  $20\pm 5$  °C sıcaklığa gelene kadar desikatörde bekletilmiş ve tartımları alınmıştır. Kütle ölçümleri tamamlandıktan sonra numuneler, standartta da belirtildiği gibi birbirlerinden ve etüvün yan cidarlarından en az 50 mm uzaklıkta olacak şekilde desteklerin üzerinde Şekil 3.23' de görüldüğü gibi  $70\pm 5$  °C sıcaklıktaki hava dolaşımli bir etüve yerleştirilerek termal şok döngülerine başlanmıştır. Her bir çevrim,  $70\pm 5$  °C sıcaklıktaki hava dolaşımli bir etüvde  $18\pm 1$  saat ve bunu takiben, standartta da belirtildiği gibi, birbirlerinden ve kabın yan cidarlarından en az 50 mm uzaklıkta olacak şekilde desteklerin üzerinde Şekil 3.24' de görüldüğü gibi,  $20\pm 5$  °C sıcaklıktaki musluk suyu içerisinde  $6\pm 0,5$  saat süreyle numunelerin bekletilmesinden oluşmaktadır. Ayrıca standartta göre, kaptaki su seviyesi numunelerin  $60\pm 10$  mm üzerinde olacak şekilde ayarlanmıştır. Standartta da önerildiği gibi, toplamda 20 çevrim gerçekleştirilmiş ve 20. çevrimin sonunda numuneler tekrar sabit tartıma gelene kadar  $70\pm 5$  °C sıcaklıkta etüvde kurutulmuş ve oda sıcaklığına geldiklerinde tartımları alınmıştır. 20 çevrim termal şok koşullandırılmasıyla koşullandırılmış numuneler, normal koşul numuneleri ile aynı prosedür kullanılarak kopma

enerjisi tayini deneyine tabii tutularak, kopma enerjileri ve çarpma dayanımı değerleri hesaplanmıştır.



**şekil 3.23.** Termal şok koşullandırması yapılan numunelerin hava dolaşımlı etüve yerleştirilmiş hali



**şekil 3.24.** Numunelerin suya daldırılmış hali

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Mineralojik – Petrografik Analiz Bulguları

Çalışmada kullanılan mermerlerin ince kesitleri MTA Mineraloji – Petrografi Laboratuvarı'nda hazırlanmış ve bu kesitler yardımıyla mineralojik - petrografik özellikler belirlenmiştir.

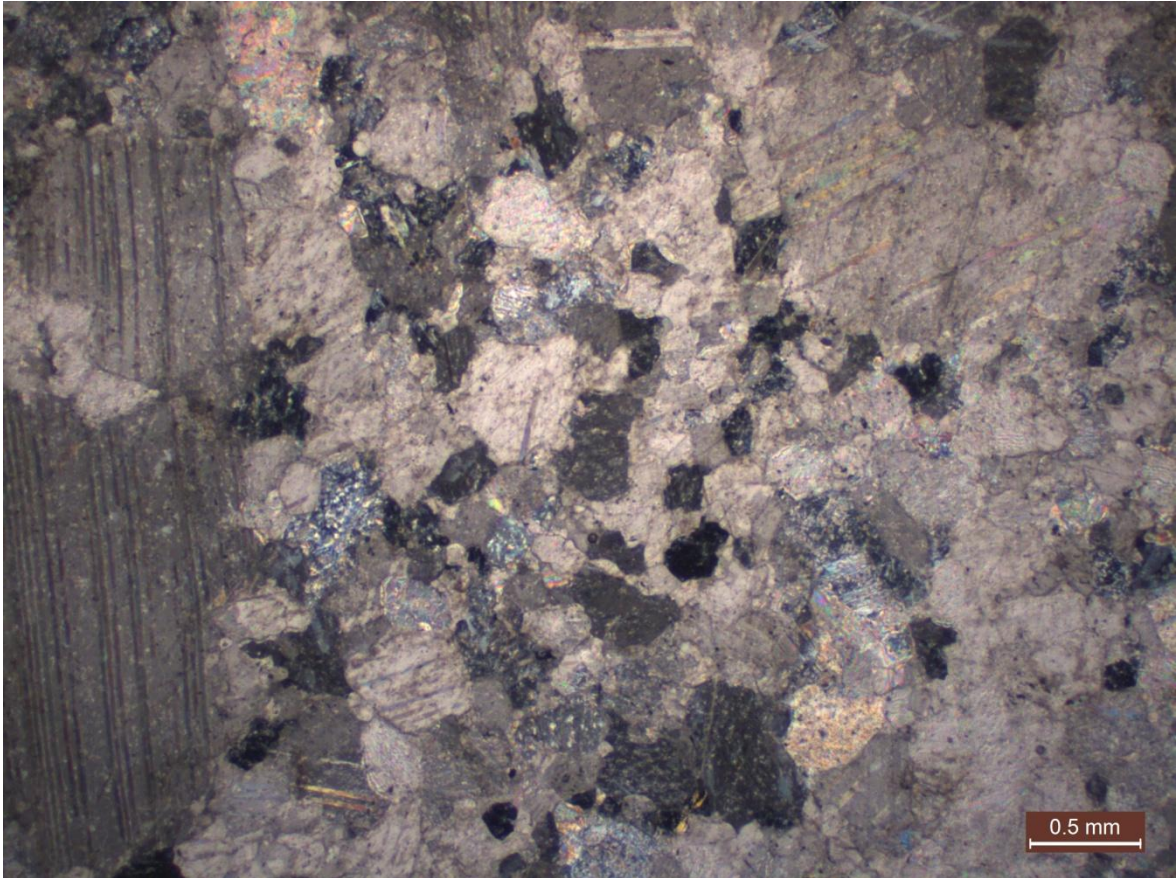
MTA'da gerçekleştirilen mineralojik – petrografik tanımlama aşamasında numuneler önce makroskobik; sonrasında ise, mikroskobik olarak değerlendirilmiştir. Makroskobik olarak yapılan değerlendirmede, Kemalpaşa Beyaz (K) mermerinin ince ve orta tane büyüklüğüne sahip olduğu; Muğla Beyaz (M) ve Afyon Şeker (A) mermerlerinin ise ince tane büyüklüğüne sahip olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, yapılan makroskobik değerlendirmede, her üç mermer de beyaz renkli ve masif dokulu olarak tanımlanmıştır. Hazırlanan doktora çalışmasında, bu üç doğal taşın seçilme nedeninin başında; daha masif oluşu ve yapılarında pek fazla süreksizlik, kırık veya çatlak olmayışı yani, diğer doğal taşlara nazaran daha homojen bir yapı göstermeleri gelmektedir. Diğer doğal taşlara nazaran daha homojen yapılı olmaları dolayısıyla bu doğal taşların seçilmeleri; ilk kez gerçekleştirilen kopma enerjisi tayini deneyinde, taşın heterojen yapısından kaynaklı değişkenlikleri minimize ederek, deneyin değişkenlerini daha rahat analiz edebilmeyi sağlayacaktır. Yapılan mikroskobik incelemede, K ve A mermerinin ana bileşeninin kalsit olduğu; M mermerinin ana bileşenlerinin ise kalsit ve dolomit olduğu tespit edilmiştir. Tali bileşen olarak, her üç mermerde de, kuvars minerali, opak ve mika minerallerine rastlanmıştır. A ve M mermerinde mika mineralleri olarak muskovit ve serizit gözlemlenirken, K mermerinde sadece muskovit gözlemlenmiştir. Ayrıca; K mermerinde, diğer iki mermerden farklı olarak piroksen minerallerinin varlığı da tespit edilmiştir. Çizelge 4.1'de verilen tabloda her üç mermerin ana ve tali minerallerinin yapı ve doku özellikleri detaylı bir şekilde tanımlanmaktadır.

**Çizelge 4.1.** Örnekleri oluşturan ana ve tali bileşenlerin doku ve yapı özellikleri

	<b>K</b>	<b>M</b>	<b>A</b>
<b>Karbonat mineralleri</b>	küçük - orta - iri taneli (mikro - mezo - makrokristalin) ksenomorfik genellikle izometrik yer yer anizometrik şekilli sınırları genellikle düzensiz ve süturlu (grift), yer yer basit ve düz homojen dağılımlı izotropik	küçük - orta taneli (mikro - mezokristalin) genellikle ksenomorfik - hipidiyomorfik genellikle izometrik şekilli sınırları yer yer basit ve düz, yer yer düzensiz ve süturlu (grift) homojen dağılımlı izotropik	küçük taneli (mikrokristalin) ksenomorfik genellikle izometrik şekilli sınırları düzensiz ve süturlu (grift) homojen dağılımlı izotropik
<b>Kuars mineralleri</b>	çok çok az / eser oranda küçük taneli (mikrokristalin) çoğunlukla ksenomorfik izometrik şekilli heterojen dağılımlı	çok çok az / eser oranda küçük taneli (mikrokristalin) ksenomorfik heterojen dağılımlı	çok az oranda küçük taneli (mikrokristalin) çoğunlukla ksenomorfik genellikle izometrik şekilli heterojen dağılımlı
<b>Mika mineralleri</b>	çok az oranda küçük taneli (mikrokristalin) çoğunlukla ksenomorfik yapraksı - ince yapraksı şekilli heterojen dağılımlı(belirli hat boyunca gelişim)	çok çok az / eser oranda küçük taneli (mikrokristalin) ksenomorfik heterojen dağılımlı	çok az oranda küçük taneli (mikrokristalin) çoğunlukla ksenomorfik şeritimsi-çok ince yapraksı şekilli heterojen dağılımlı
<b>Opak mineralleri</b>	çok çok az / eser oranda küçük taneli (mikrokristalin) ksenomorfik - hipidiyomorfik izometrik şekilli heterojen dağılımlı	çok çok az / eser oranda küçük taneli (kripto-mikrokristalin) ksenomorfik heterojen dağılımlı	çok az oranda küçük taneli (mikrokristalin) hipidiyomorfik - idiyomorfik izometrik şekilli heterojen dağılımlı
<b>Piroksen mineralleri</b>	çok az oranda küçük taneli (mikro - mezokristalin) çoğunlukla ksenomorfik prizmatik şekilli heterojen dağılımlı(belirli hat boyunca gelişim)	-	-

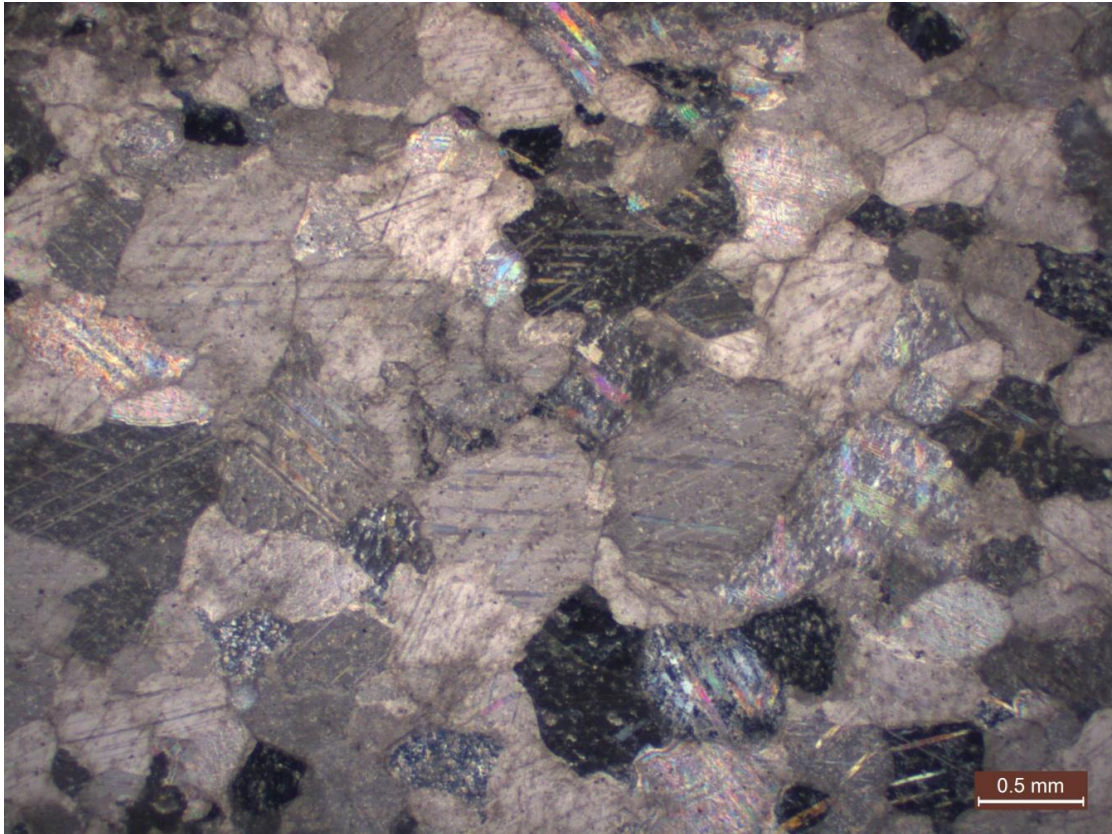


Kemalpaşa Beyaz mermerinin çift nikol ince kesit görüntüsü Şekil 4.1’de verilmektedir. Makroskobik olarak incelenen el numunelerinde gözlemlenen farklı mineral tane boylarının varlığı, ince kesit görüntüsünde daha net gözlemlenmektedir. Makroskobik olarak, çalışmadaki en heterojen tane boyuna sahip olduğu gözlemlenen Kemalpaşa Beyaz numunelerinin mikroskobik olarak da, en heterojen tane boyuna sahip olduğu ince kesit görüntülerinden gözlemlenmiştir. Ayrıca; bu durum Çizelge 4.1 incelendiğinde de, mermerin ana bileşeni olan karbonat minerallerinde mikro – mezo – makrokristalin yapının gözlemlendiği ifade edilerek ortaya konmuştur. Kayacı oluşturan ana bileşen olan karbonat minerallerinde; metamorfizma sırasında, köken kayada bulunan kristallerin sıcaklık ve basınç gibi metamorfik etmenlerle çözünmeden, daha ideal ve iyi gelişmiş olarak yeniden kristallenmesi olayı olan, rekristalizasyonun geliştiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, karbonat minerallerinin genellikle düzensiz ve süturlu (grift) bazen de, basit ve düz bir durumda birbirleri ile kenetlenmesi sonucunda mermer dokusu (granoblastik ve heteroblastik doku) oluşmuştur.



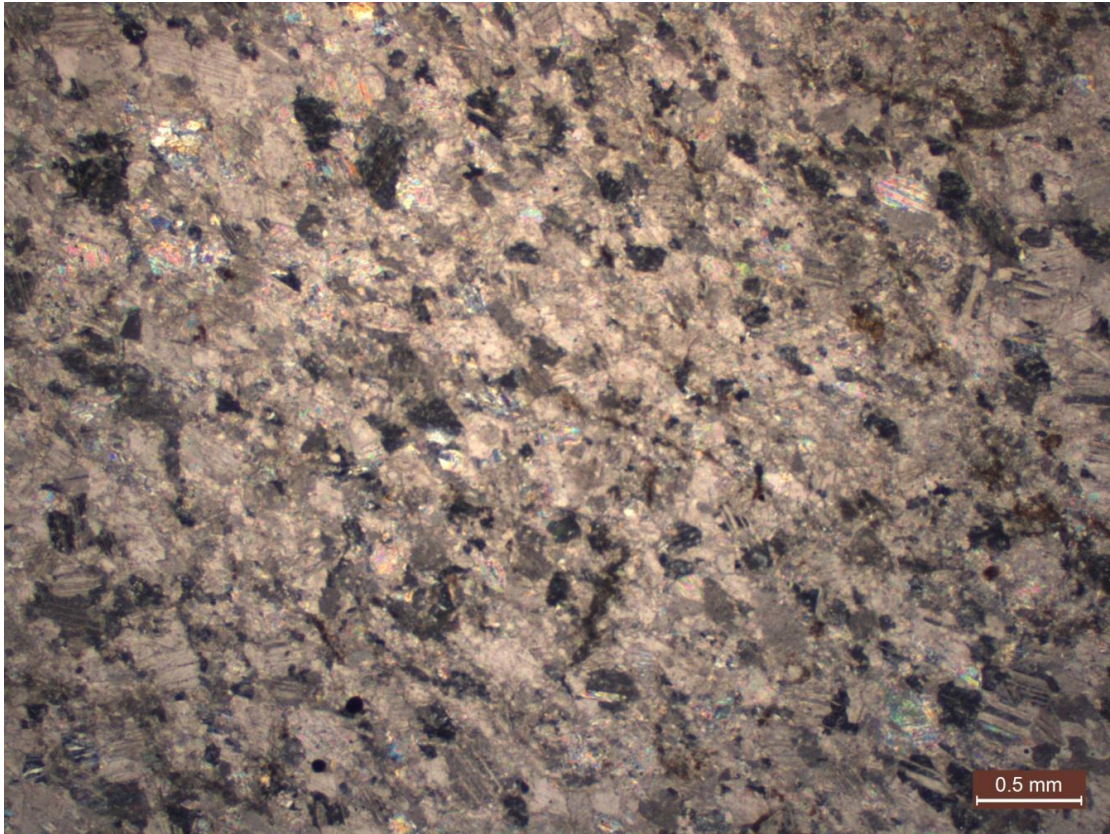
Şekil 4.1. Kemalpaşa Beyaz mermerinin çift nikol ince kesit görüntüsü

Muğla Beyaz mermerinin çift nikol ince kesit görüntüsü Şekil 4.2’de verilmektedir. M mermerinin makroskobik olarak, el numuneleri incelendiğinde; K mermerinden daha homojen yapıya sahip olduğu ve K mermerinden daha küçük ama, A mermerine göre çok daha büyük tane boyuna sahip minerallerden oluştuğu gözlemlenmiştir. Makroskobik düzeyde gözlemlenen bu durum, ince kesit görüntüsü üzerinden, mikroskobik olarak da gözlemlenmiştir. Ayrıca, bu durum Çizelge 4.1 incelendiğinde de, mermerin ana bileşeni olan karbonat minerallerinde mikro – mezokristalin yapının gözlemlendiği ifade edilerek ortaya konmuştur. İkincil süreçlere bağlı olarak, kayada yaygınca, rekristalizasyonun ve metamorfizma öncesi kayada mevcut olmayan yeni minerallerin oluşumunu kapsayan süreç ya da yeni mineral oluşumu anlamına gelen neomineralizasyonun geliştiği gözlemlenmiştir. Heterojen bir dağılıma sahip olan dolomit minerallerinin (ikincil mineral / yeni mineral), ana kayacı oluşturan kalsit minerallerinin, ortama gelen Mg bakımından zengin karbonatlı sularla etkileşime girmesi sonucunda yaygınca dolomitleşmesi ile gelişerek oluştuğu düşünülmektedir. Ayrıca, karbonat minerallerinin sınır ilişkilerinin ve kayacın dokusal bütünlüğünün (granoblastik dokusu) çok büyük ölçüde bozulduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.2. Muğla Beyaz mermerinin çift nikol ince kesit görüntüsü

Afyon Şeker mermerinin çift nikol ince kesit görüntüsü Şekil 4.3'te verilmektedir. A mermerinin makroskobik olarak, el numuneleri incelendiğinde; K ve M mermerinde gözlemlendiği gibi, mermeri oluşturan taneler gözle görülemez. A mermerinin, çalışmada kullanılan en küçük taneli mermer olduğu; Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3 incelendiğinde mikroskobik olarak da açıkça ortaya çıkmaktadır. Ayrıca A mermeri, K mermeri gibi heterojen mineral tane boyuna sahip değil; M mermeri gibi daha homojen mineral tane boyuna sahiptir. Bu durum; hem Şekil 4.3'deki ince kesit fotoğrafı ile, hem de Çizelge 4.1'de mermerin ana bileşeni olan karbonat minerallerinin mikrokristalin yapıda olduğunun ifade edilmesi ile desteklenmektedir. A mermerinin ana bileşeni olan karbonat minerallerinde, rekristalizasyon ve basınç etkisiyle kayacı oluşturan minerallerde gelişen ezilme, parçalanma, deformasyon anlamına gelen kataklaz gelişmiştir. Ayrıca, karbonat minerallerinin grift bir şekilde birbirleri ile kenetlenmesi sonucunda mermer dokusu (granoblastik doku) yerleştiği gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra; K ve M mermerinde olmayan süreksizlikler, A mermerinde tespit edilmiştir. Bu süreksizlikler, ince / çok ince genişlikte, değişik uzunluklarda, düzensiz gelişmiş, heterojen dağılımlı, stilolit özelliğinde olup, (başlıca) sub-mikroskobik opak minerallerce ve (az orandaki) ince kristalli muskovit - serizit minerallerince dolguludur.



Şekil 4.3. Afyon Şeker mermerinin çift nikol ince kesit görüntüsü

## 4.2. Kimyasal Analiz Bulguları

X - ışınları floresans spektrometresi (XRF) yöntemi ile Afyon Şeker, Muğla Beyaz ve Kemalpaşa Beyaz mermerlerini oluşturan minerallerin kimyasal bileşimleri tespit edilmiş ve sonuçlar Çizelge. 4.2’de sunulmuştur. Çizelge 4.2’de verilen analiz sonuçlarına göre, üç mermerin de yüksek oranda CaO içerdiği ve bu oranının K ve A mermeri için %55,1, M mermeri için % 47,2 olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra; A mermeri %0,572 ile çok az; M mermerinde ise, %7,09 ile diğer iki mermere kıyasla daha fazla oranda MgO içermektedir. Kimyasal analiz sonuçlarında; analizlerin oranlar toplamının %100’e yakın olması, analizin doğruluğunu ortaya koymaya yarayan bir ölçüt olmaktadır. Her üç mermer için de oranlar toplamı %100’e oldukça yakın çıkmaktadır.

**Çizelge 4.2.** Mermerlerin kimyasal analiz sonuçları

	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	SO <sub>3</sub> (%)	SrO (%)	Kızdırma Kaybı (%)	Toplam (%)
<b>K</b>	0,0957	0,0704	0,0382	55,1	1,02	0,0192	0,0089	0,0177	0,0143	43,6	99,98
<b>M</b>	0,149	0,0653	0,224	47,2	7,09	0,0155	0,0287	0,0158	0,0159	45,2	100,00
<b>A</b>	0,236	0,19	0,0599	55,1	0,572	0,011	0,0329	0,0133	0,0124	43,8	100,03

## 4.3. Fiziko – Mekanik Analiz Bulguları

Kemalpaşa Beyaz (K), Muğla Beyaz (M) ve Afyon Şeker (A) ticari isimli doğal mermerlerin tanımlanabilmesi için yapılan fiziko – mekanik analizlerin büyük bir kısmı AKÜ DAL’da, bir kısmı da MTA Teknolojik Araştırmalar – Akredite Doğal Taş Analiz Laboratuar’ında gerçekleştirilmiştir. Doğal taşlara uygulanan fiziko – mekanik analizler; özgül ağırlık tayini (ÖA), görünür yoğunluk tayini (GY), açık gözeneklilik tayini (AG), toplam gözeneklilik tayini (TG), atmosfer basıncında su emme tayini (SE), ses hızı tayini (SH), darbe dayanımı tayini (DD), tek eksenli basınç dayanımı tayini (BD), nokta yük dayanım indeksi tayini (NY), sabit moment altında eğilme dayanımı tayini (ED), don sonrası basınç dayanımı tayini (DSB), Shore sertliği tayini (SS), Knoop sertliği tayini (KS)

ve termal şok tayini'dir. Bu analizler, her üç mermer için de, yapılan analize uygun standartta belirtilen numune sayısı kadar numune kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.3'de Kemalpaşa Beyaz Mermeri için, Çizelge 4.4'de Muğla Beyaz Mermeri için, Çizelge 4.5'de ise, Afyon Şeker Mermeri için yapılan deney sonuçlarının minimum değerleri, maksimum değerleri, aritmetik ortalamaları ve standart sapmaları verilmektedir. Bu üç çizelgedeki değerler, yapılan fiziko – mekanik deneylerin sonuçlarının hangi aralıkta değiştiğini, ortalama hangi değeri aldığını ve deney sonuçlarının ortalamaya göre nasıl bir yayılım gösterdiğini ortaya koymaktadır. Genel olarak; çizelgelerdeki standart sapmalar incelendiğinde; her üç mermer için de deney sonuçları ortalamalara yakın yayılımlar göstermekte yani, deney sonuçlarında aşırı yüksek veya aşırı düşük değerler bulunmamaktadır. Ancak; ses hızı ve don sonrası basınç dayanımı veri setlerinde, standart sapma değerleri diğer deneylerin standart sapma değerlerine oranla biraz daha yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni; ses hızı ölçümleri için, ses hızı değerlerinin, diğer özelliklerin değerlerine göre oldukça yüksek sayısal değerler ile ifade ediliyor olmasıdır. Don sonrası basınç dayanımı ölçümlerinde ise, her üç mermer için de deney sonuçlarının kendi içlerinde ortalamadan daha fazla sapmalarının nedeninin, her numunenin donma koşulundan etkilenme düzeyinin farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bunun yanı sıra; K ve M mermerinin darbe dayanımı deney sonuçlarının standart sapmaları da yüksek değerler almıştır. Bunun nedeninin ise, bu iki mermerin mineral tane boyutlarının nispeten büyük ve heterojen bir yapı göstermesi olduğu düşünülmektedir.

Mermerlerin Çizelge 4.3, Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5'deki fiziko – mekanik özellikleri incelendiğinde; özgül ağırlık, görünür yoğunluk ve Knoop sertliği değerlerinin oldukça yakın olduğu görülmektedir. Çalışmada, mermerler fiziksel bozunmaya uğratıldığından; özellikle açık gözeneklilik ve su emme özellikleri oldukça önemlidir. En yüksek açık gözenekliliğe sahip K mermeri, aynı zamanda en yüksek su emme değerine de sahiptir. M ve A mermerlerinin su emme değerleri her ne kadar eşit olsa da; A mermerinin açık gözeneklilik değeri en düşüktür. Ses hızı değerleri, nispeten az gözenekli ve küçük mineral tane boyuna sahip A mermerinde en fazla ve içlerinde porozitesi en yüksek ve en büyük mineral tane boyuna sahip K mermerinde ise en azdır. Basınç dayanımı ve don sonrası basınç dayanımı en yüksek olan M mermeri iken; en düşük olan K mermeridir.

Ancak; don sonrası basınç azalması açısından bir değerlendirme yapılırsa; en düşük poroziteli A mermeri yaklaşık %2,5 basınç kaybı verirken, daha gözenekli K ve M mermerleri yaklaşık %17 basınç kaybına uğramaktadır. Nokta yük dayanım indeks değeri, MgO içeriği yüksek ve orta – ince mineral tane boyuna sahip M mermeri ile ince mineral tane boyuna sahip A mermerinde hemen hemen aynı ölçülmüştür. Mineral tane boyu diğer iki mermere göre daha iri ve ince – orta – iri mineral içeriği nedeniyle daha heterojen yapıya sahip olan K mermerinde ise nokta yükü dayanım indeks değeri en düşüktür. Eğilme dayanımı değerleri incelendiğinde, her üç mermer için de nispeten yakın değerler olduğu görülmektedir. Ancak, mineral tane boyu en küçük ve homojen A mermerinin en düşük eğilme dayanımı değerine sahip olduğu görülmektedir. Bu durumun, diğer iki mermerde hiç olmamasına karşın, A mermerinde bulunan süreksizliklerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca; eğilme dayanımı deneyinde numunelere uygulanan yükleme şekli düşünüldüğünde, A mermerinin süreksizlik düzlemlerinden daha kolay ayrılma eğiliminde olacağı da öngörülmektedir. Mermerlerin Shore sertlik değerleri nispeten yakın olmasına rağmen MgO içeriği yaklaşık %7 olan M mermerinin diğerlerinden daha sert olduğu görülmektedir.

**Çizelge 4.3.** Kemalpaşa Beyaz mermerinin fiziko – mekanik analiz sonuçları

	Numune sayısı	Minimum	Maximum	Ortalama	Standart Sapma
<b>ÖA</b> (g/cm <sup>3</sup> )	5	2,73	2,74	2,74	0,0027
<b>GY</b> (g/cm <sup>3</sup> )	6	2,65	2,65	2,65	0,0005
<b>AG</b> (%)	6	0,39	0,54	0,46	0,0750
<b>TG</b> (%)	6	3,08	3,22	3,12	0,0579
<b>SE</b> (%)	6	0,18	0,20	0,19	0,0110
<b>SH</b> (m/s)	6	5263	5494	5388,80	94,6715
<b>DD</b> (MPa)	6	72	110	83,20	16,8879
<b>BD</b> (MPa)	10	73	83	78,20	4,3243
<b>NY</b> (MPa)	10	1,89	2,10	1,98	0,0847
<b>ED</b> (MPa)	10	9,58	11,78	10,57	1,0972
<b>DBD</b> (MPa)	10	60	68	65,00	3,1623
<b>SS</b> (HS)	3	48,70	50,10	49,56	0,5899
<b>KS</b> (HK)	6	137	138	137,60	0,5477

**ÖA:** Özgül Ağırlık, **GY:** Gerçek Yoğunluk, **AG:** Açık Gözeneklilik, **TG:** Toplam Gözeneklilik, **SE:** Atmosfer Basıncında Su Emme, **SH:** Ses Hızı, **DD:** Darbe Dayanımı, **BD:** Tek Eksenli Basınç Dayanımı, **NY:** Nokta Yük Dayanım İndeksi, **ED:** Sabit Moment Altında Eğilme Dayanımı, **DBD:** Don Sonrası Basınç Dayanımı, **SS:** Shore Sertliği, **KS:** Knoop Sertliği

**Çizelge 4.4.** Muğla Beyaz mermerinin fiziko – mekanik analiz sonuçları

	Numune sayısı	Minimum	Maximum	Ortalama	Standart Sapma
<b>ÖA</b> (g/cm <sup>3</sup> )	5	2,77	2,78	2,77	0,0044
<b>GY</b> (g/cm <sup>3</sup> )	6	2,68	2,68	2,68	0,0029
<b>AG</b> (%)	6	0,30	0,38	0,32	0,0358
<b>TG</b> (%)	6	3,02	3,35	3,20	0,1232
<b>SE</b> (%)	6	0,11	0,14	0,12	0,0134
<b>SH</b> (m/s)	6	5882	6024	5952,40	50,2076
<b>DD</b> (MPa)	6	56	72	59,20	7,1554
<b>BD</b> (MPa)	10	139	142	140,40	1,1402
<b>NY</b> (MPa)	10	3,53	3,96	3,74	0,1690
<b>ED</b> (MPa)	10	13,03	13,92	13,40	0,3440
<b>DBD</b> (MPa)	10	100	136	116,40	12,8569
<b>SS</b> (HS)	3	54,10	55,60	54,74	0,5814
<b>KS</b> (HK)	6	135	137	136,00	1,0000

**ÖA:** Özgül Ağırlık, **GY:** Gerçek Yoğunluk, **AG:** Açık Gözeneklilik, **TG:** Toplam Gözeneklilik, **SE:** Atmosfer Basıncında Su Emme, **SH:** Ses Hızı, **DD:** Darbe Dayanımı, **BD:** Tek Eksenli Basınç Dayanımı, **NY:** Nokta Yük Dayanım İndeksi, **ED:** Sabit Moment Altında Eğilme Dayanımı, **DBD:** Don Sonrası Basınç Dayanımı, **SS:** Shore Sertliği, **KS:** Knoop Sertliği

**Çizelge 4.5.** Afyon Şeker mermerinin fiziko – mekanik analiz sonuçları

	Numune sayısı	Minimum	Maximum	Ortalama	Standart Sapma
<b>ÖA</b> (g/cm <sup>3</sup> )	5	2,77	2,78	2,77	0,0044
<b>GY</b> (g/cm <sup>3</sup> )	6	2,66	2,66	2,66	0,0022
<b>AG</b> (%)	6	0,16	0,32	0,24	0,0566
<b>TG</b> (%)	6	2,60	2,75	2,68	0,0740
<b>SE</b> (%)	6	0,12	0,12	0,12	0,0000
<b>SH</b> (m/s)	6	6250	6325	6265,00	33,5410
<b>DD</b> (MPa)	6	110	110	110,00	0,0000
<b>BD</b> (MPa)	10	109	111	110,20	0,8367
<b>NY</b> (MPa)	10	3,38	3,72	3,54	0,1557
<b>ED</b> (MPa)	10	8,66	10,03	9,42	0,5191
<b>DBD</b> (MPa)	10	96	113	107,20	7,4632
<b>SS</b> (HS)	3	51,50	52,60	51,98	0,5357
<b>KS</b> (HK)	6	134	137	135,60	1,3416

**ÖA:** Özgül Ağırlık, **GY:** Gerçek Yoğunluk, **AG:** Açık Gözeneklilik, **TG:** Toplam Gözeneklilik, **SE:** Atmosfer Basıncında Su Emme, **SH:** Ses Hızı, **DD:** Darbe Dayanımı, **BD:** Tek Eksenli Basınç Dayanımı, **NY:** Nokta Yük Dayanım İndeksi, **ED:** Sabit Moment Altında Eğilme Dayanımı, **DBD:** Don Sonrası Basınç Dayanımı, **SS:** Shore Sertliği, **KS:** Knoop Sertliği

Çalışmada kullanılan mermer örnekleri için uygulanan fiziko – mekanik analizlerden biri de termal şok tayinidir. Ancak, termal şok tayini deney prosedürü diğer fiziko – mekanik özelliklerinden farklı olduğundan; Çizelge 4.3, Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5’de diğer fiziko – mekanik deney sonuçları ile verilememiştir. Termal şok tayini standardına göre gerçekleştirilen deneylerde, her üç mermer örneği için hem termal şok öncesi, hem de termal şok sonrası bazı fiziko – mekanik özellikler ölçülerek; termal şok sonucunda numunelerin bu özelliklerindeki değişim yüzdeleri verilmektedir. Kemalpaşa Beyaz Mermeri, Muğla Beyaz Mermeri ve Afyon Şeker Mermeri için termal şok öncesi ve termal şok sonrası ölçülen özellikler (ortalama kütle, eğilme dayanımı, ses hızı, açık gözeneklilik) ve bu ölçümlerin yüzde değişimleri Çizelge 4.6’da verilmektedir. Her üç örnek için de; ortalama kütle, eğilme dayanımı, ses hızı ve açık gözeneklilik değerleri termal şok bozundurması sonrasında azalmıştır. Termal şok bozundurması her üç mermer örneğinde de bütünlük kayıplarına ve dayanım azalmasına neden olmuştur. Termal şok bozundurmasından dayanım kaybı açısından en çok etkilenen mermer, kataklastik dokusu ve dolgulu mikro süreksizlikleri nedeniyle A mermeri olmuştur.

**Çizelge 4.6.** Mermerlerin termal şok analiz sonuçları

	<b>Ölçülen özellikler</b>	<b>Termal şok öncesi test sonuçları</b>	<b>Termal şok sonrası test sonuçları</b>	<b>Değişim (%)</b>
<b>Kemalpaşa Beyaz Mermeri</b>	<b>Ortalama kütle (g)</b>	2052,76	2052,65	-0,0053
	<b>Eğilme dayanımı (MPa)</b>	11,60	11,43	-1,46
	<b>Ses hızı (m/s)</b>	4093,86	3264,43	-20,27
	<b>Açık gözeneklilik (%)</b>	0,37	0,31	-16,22
<b>Muğla Beyaz Mermeri</b>	<b>Ortalama kütle (g)</b>	2011,56	2011,44	-0,006
	<b>Eğilme dayanımı (MPa)</b>	16,15	15,03	-6,94
	<b>Ses hızı (m/s)</b>	5606	5209	-7,08
	<b>Açık gözeneklilik (%)</b>	0,34	0,32	-6,25
<b>Afyon Şeker Mermeri</b>	<b>Ortalama kütle (g)</b>	2031,93	2030,85	-0,053
	<b>Eğilme dayanımı (MPa)</b>	14,46	10,40	-28,09
	<b>Ses hızı (m/s)</b>	5901,17	4544,83	-22,98
	<b>Açık gözeneklilik (%)</b>	0,30	0,27	-10,00



#### 4.4. Kopma Enerjisi – Çarpma Dayanımı – Ses Hızı Bulguları

Kemalpaşa Beyaz (K), Muğla Beyaz (M) ve Afyon Şeker (A) ticari isimli mermerlerin, TS EN 14158 kodlu kopma enerjisinin tayini standardına uygun olarak kopma enerjisi değerleri ve standartta olmayan ancak, Sarıışık (2012) tarafından önerilen bir eşitlikle hesaplanan çarpma dayanımı değerleri belirlenmiştir. Ayrıca, kopma enerjisinin tayini deneyi uygulanmadan önce, numunelerin kalınlık eksenlerine dik olacak şekilde alıcı ve verici uçlar yerleştirilmek suretiyle tüm numunelerin ses hızı değerleri ölçülmüştür.

Deneyleerde, TS EN 14158 standardındaki deney prosedürüne bağlı kalınmış ancak; kalınlığın etkisinin değerlendirilebilmesi için, numune boyutu olarak; 20x20x3 cm, 20x20x2 cm ve 20x20x1 cm boyutlu numuneler ve fiziksel bozunma koşullarının etkisinin değerlendirilebilmesi için de; donma – çözülme koşulu, termal şok koşulu ve normal koşul ile koşullandırılmış numuneler kullanılmıştır. Normal koşul ile koşullandırılmış ve üç farklı kalınlıktaki numunelerden her örnek için, 1'er tane kontrol numunesi kırılarak; bu kontrol numunelerinin son kırılma yüksekliklerinden (Bkz. Çizelge 3.7) diğer deney numunelerinin ilk bilye düşme yükseklikleri hesaplanmıştır (Bkz. Çizelge 3.8). Her örnekten 1'er tane olmak üzere, toplamda aynı kalınlık için 3'er tane kontrol numunesinden hesaplanan ilk bilye düşme yüksekliklerinden en az olanı, o kalınlıktaki tüm numuneler için ilk bilye düşme yüksekliği olarak belirlenmiş ve deneyler her kalınlık için aynı düşme yüksekliğinden başlatılarak gerçekleştirilmiştir. Bu hesaplamalar çerçevesinde; 3 cm, 2 cm ve 1 cm kalınlıklı numuneler için, ilk bilye düşme yüksekliği 25 cm olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, farklı boyutlu ve farklı koşullu tüm numuneler için deneyler 5 tekrarlı olmak üzere gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.7'de K, M ve A mermerlerinin tüm kalınlık ve tüm koşullandırma şartları için yapılan deneylerinden elde edilen kopma enerjisi sonuçlarının minimum değerleri, maksimum değerleri, ortalamaları ve standart sapmaları verilmektedir. Numunelerin standart sapma değerleri incelendiğinde; A mermerinin daha homojen boyutlu mineral yapısına sahip olması nedeniyle; diğer mermerlere nazaran, kopma enerjisi değerleri daha az salınımlı çıkmıştır. M ve K mermerleri ise, mineral tane boyu açısından A mermerine göre daha heterojen yapıya olduğundan; aynı koşul ve aynı kalınlıklı numunelerle

gerçekleştirilen tekrarlı deneylerde kopma enerjisi değerleri arasında farklılıklar, A mermerine göre daha fazla çıkmıştır.

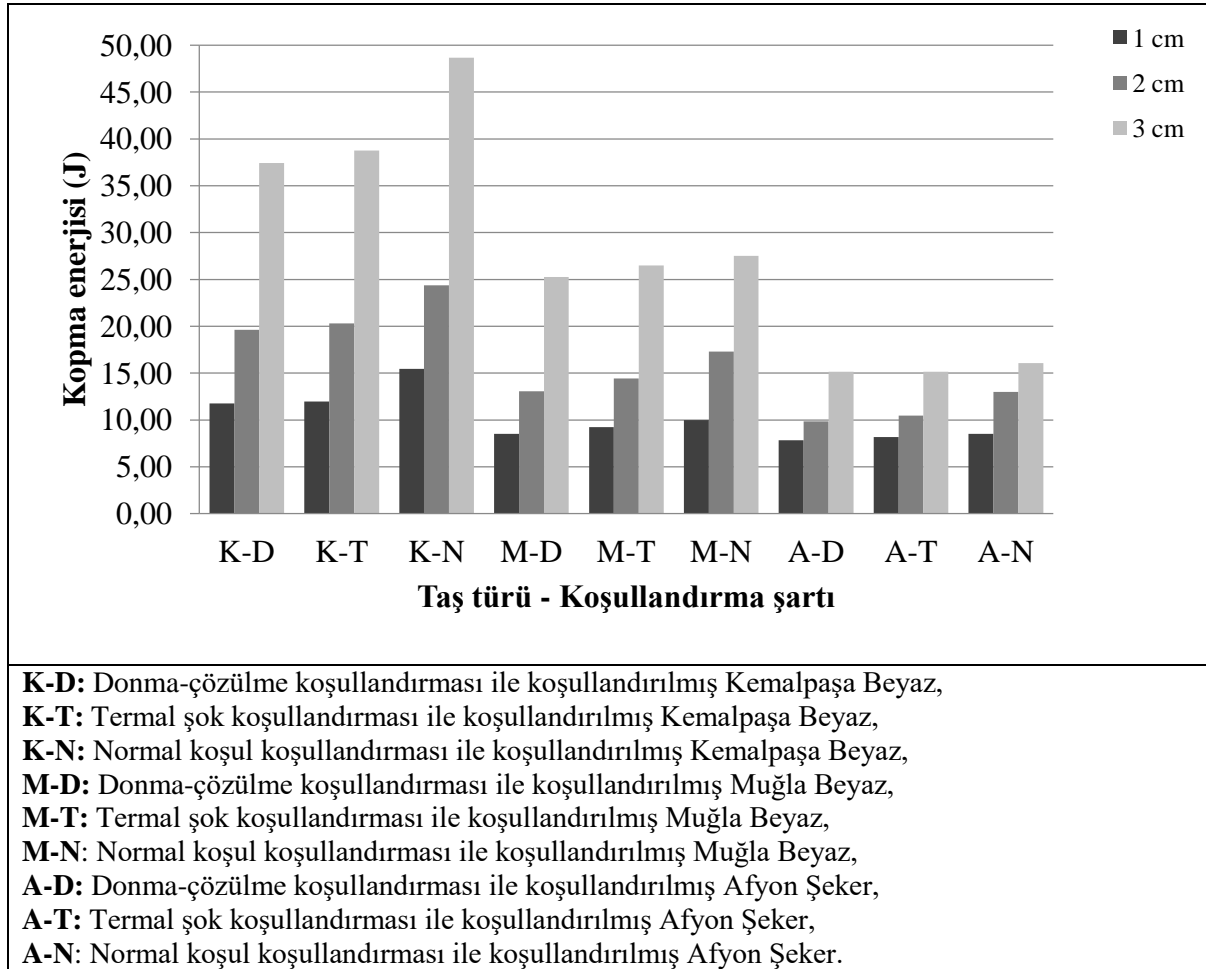
**Çizelge 4.7.** Kopma enerjisi (J) sonuçları

Taş Türü	Kalınlık (cm)	Koşul	Numune Sayısı	Minimum	Maximum	Ortalama	Standart Sapma
<b>K</b>	<b>1</b>	<b>D</b>	5	8,82	17,33	11,75	4,10
		<b>T</b>	5	10,71	14,97	11,97	1,90
		<b>N</b>	5	12,76	17,33	15,47	1,92
	<b>2</b>	<b>D</b>	5	14,98	26,97	19,64	5,18
		<b>T</b>	5	14,98	22,64	20,31	3,45
		<b>N</b>	5	22,64	26,97	24,37	2,37
	<b>3</b>	<b>D</b>	5	34,78	41,43	37,44	3,64
		<b>T</b>	5	34,78	41,43	38,77	3,64
		<b>N</b>	5	41,43	56,26	48,69	5,25
<b>M</b>	<b>1</b>	<b>D</b>	5	7,09	10,71	8,51	1,51
		<b>T</b>	5	7,09	10,71	9,23	1,52
		<b>N</b>	5	8,82	12,76	9,99	1,75
	<b>2</b>	<b>D</b>	5	8,66	14,98	13,05	2,85
		<b>T</b>	5	8,66	18,64	14,45	3,60
		<b>N</b>	5	11,65	22,64	17,31	4,17
	<b>3</b>	<b>D</b>	5	23,01	28,64	25,26	3,08
		<b>T</b>	5	23,01	34,78	26,49	5,24
		<b>N</b>	5	23,01	28,64	27,51	2,52
<b>A</b>	<b>1</b>	<b>D</b>	5	5,51	10,71	7,84	1,98
		<b>T</b>	5	7,09	10,71	8,16	1,61
		<b>N</b>	5	7,09	10,71	8,51	1,51
	<b>2</b>	<b>D</b>	5	8,66	11,65	9,86	1,64
		<b>T</b>	5	8,66	11,65	10,45	1,64
		<b>N</b>	5	11,65	14,98	12,98	1,82
	<b>3</b>	<b>D</b>	5	13,30	17,90	15,14	2,52
		<b>T</b>	5	13,30	17,90	15,14	2,52
		<b>N</b>	5	13,30	17,90	16,06	2,52

**A:** Afyon Şeker, **K:** Kemalpaşa Beyaz, **M:** Muğla Beyaz,  
**D:** Donma - Çözülme Koşulu, **T:** Termal Şok Koşulu, **N:** Normal Koşul

Numunelerin kalınlıkları değiştirilirken, numunelere dūşürülen elik bilyelerin kütleleri de numune kalınlığına nispeten oranlı olacak şekilde değiştirilmektedir (Bkz. Çizelge 3.5). Farklı kütleli bilye ile yapılan deneylerin sonuçlarının birbirleri ile kıyaslanması zor olmasına rağmen; deneylerde farklı kütleli bilye kullanılmasının en önemli sebebi; yapılan ön deneylerde, 1 cm ve 2 cm kalınlıklı numunelerin 1,0427 kg kütleli bilye ile deneye tabii tutulduğunda, çoğunlukla ilk düşüşte kırılmalarından dolayı veri alınamamasıdır. TS EN 14158 kodlu kopma enerjisi tayini isimli standartta ilk düşüşte numunenin kırılması halinde, deneyin geçersiz sayılarak başka bir numune ile deneyin tekrar edilmesi gerektiği de ifade edilmektedir. Bu durumda, tüm deneylerin daha düşük kütleli bir bilyeyle yapılması deney sonuçlarının kıyaslanabilirliğinin kolaylaştıracak olmasına rağmen; bu kez de, TS EN 14158 kodlu standarttaki numune kalınlığıyla standartta tariflenen kütleli bilye kullanılmamış olacak ve standarda uygun deneyler gerçekleştirilemeyecekti. Tüm bu nedenlerden dolayı, sonuçların kıyaslanmasını güçleştirecek olmasına rağmen; farklı kalınlıktaki numuneler için farklı kütleli elik bilyeler kullanılmasına karar verilmiştir.

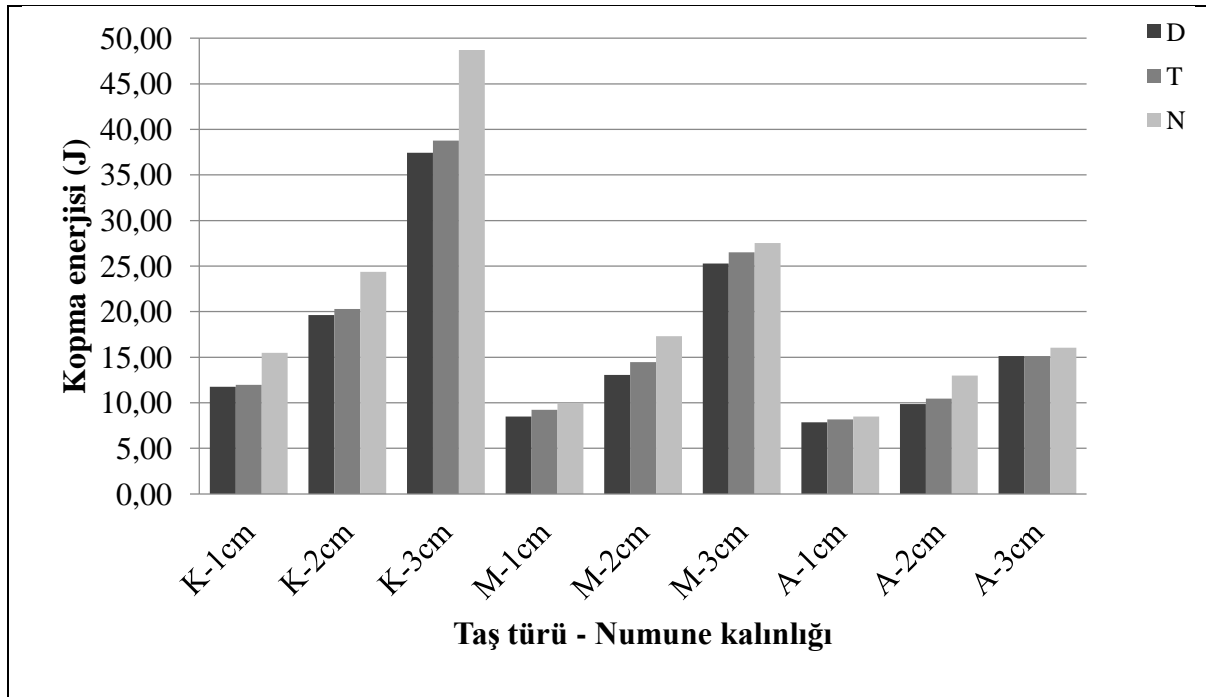
Numune kalınlığının hesaplamaya katılmadığı, sadece bilye ağırlığı ve toplam kırılma yüksekliği kullanılarak hesaplanan kopma enerjisi değerleri, aynı mermerin farklı kalınlıkları için, numune kalınlığı arttıkça artmaktadır. Diğer bir deyişle; numune kalınlığı arttıkça, numuneyi kırmak için gereken toplam enerji olan, kopma enerjisi değerleri de artmaktadır. K mermerinin N koşullu numunelerinde; 3 cm kalınlıklı numuneleri kırmak için ortalama 48,69 J enerjiye ihtiyaç varken; 2 cm kalınlıklı numuneleri kırmak için ortalama 24,37 J enerjiye ve 1 cm kalınlıklı numuneleri kırmak için ise, ortalama 15,47 J enerjiye ihtiyaç vardır. Bu durum, sadece N koşullu numuneler için değil; tüm koşullandırma şartları için benzer tarzda gerçekleşmektedir. K mermerinin D koşullu numunelerinde; 3 cm kalınlıklı numunelerin kopma enerjisi ortalama 37,44 J; 2 cm kalınlıklı numunelerin kopma enerjisi ortalama 19,64 J ve 1 cm kalınlıklı numunelerin kopma enerjisi ortalama 11,75 J'dür. K mermerinin T koşullu numunelerinde ise; 3 cm kalınlıklı numunelerin kopma enerjisi ortalama 38,77 J; 2 cm kalınlıklı numunelerin kopma enerjisi ortalama 20,31 J ve 1 cm kalınlıklı numunelerin kopma enerjisi ise, ortalama 11,97 J'dür. Yani, aynı tür ve aynı koşullu numunelerde daha kalın numuneleri kırmak için, beklendiği gibi, daha fazla enerji gerekmektedir (Şekil 4.4).



**Şekil 4.4.** Koşullandırma şartına göre kopma enerjisi sonuçları

Donma – çözülme ve termal şok ile koşullandırılmış numunelerin kopma enerjileri, koşullandırılmamış numunelerin kopma enerjileri ile kıyaslandığında belirgin bir azalma gözlenmiştir (Şekil 4.5). K mermerinin 2 cm kalınlıklı numunelerinin deney sonuçları incelendiğinde, normal koşullu numunelerinin kopma enerjisi ortalama 24,37 J, termal şok koşullu numunelerin kopma enerjisi ortalama 20,31 J ve donma – çözülme koşullu numunelerin ortalama kopma enerjisi ise 19,64 J çıkmıştır. Bu durumun diğer mermer türleri içinde benzer şekilde ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Yani, fiziksel bozundurmaya uğratılan numunelerin daha düşük enerji düzeylerinde kırılması, donma – çözülme ve termal şok koşullandırması işlemlerinin numunelerin dayanımını azaltmış olduğunun bir göstergesidir. Fiziksel bozundurma koşulları kendi içinde değerlendirildiğinde yani, termal şok ve donma - çözülme koşullandırması ile koşullandırılmış numunelerin kopma enerjisi değerleri incelendiğinde; taş türlerinin kendi içinde hemen hemen birbirine yakın değerlere sahip olduğu görülmekle birlikte; donma – çözülme koşullandırması ile koşullandırılmış

numunelerin, termal şok koşullandırması ile koşullandırılmış numunelerine nazaran biraz daha düşük kopma enerjisine sahip olduğu tespit edilmiştir. K mermerinin 1 cm kalınlıklı numunelerinde, D koşullu numunelerin kopma enerjisi ortalama 11,75 J iken; T koşullu numunelerin kopma enerjisi ortalama 11,97 J çıkmıştır. Bu durum, çalışmada kullanılan mermerlerin donma – çözülme koşullandırmasından termal şok koşullandırmasına göre daha fazla etkilendiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca bu durum, diğer mermerler ve kalınlıklar için de benzer şekilde olmasına rağmen; sadece A mermerinin 3 cm kalınlıklı numunelerinde iki koşulunda (D ve T) kopma enerjileri ortalama 15,14 J değerini alarak, aynı çıkmıştır.



Şekil 4.5. Numune kalınlığına göre kopma enerjisi sonuçları

Taş türleri için, her koşullandırma şartı kendi içinde değerlendirilmek suretiyle, kopma enerjisi değerleri incelendiğinde; A mermerinin en düşük enerji düzeylerinde kırıldığı, K mermerinin ise, en yüksek enerji düzeylerinde kırıldığı görülmektedir (Bkz. Şekil 4.4 ve Şekil 4.5). Mineralojik – petrografik analizlerin sonuçları ile yorumlandığında; diğer mermerlerde gözlemlenmeyen ve sadece A mermerinde gözlemlenen kataklastik doku ile ince genişlikte, değişik uzunluklarda, düzensiz gelişmiş, heterojen dağılımlı ve dolgulu süreksizliklerin varlığının, A mermerinin en az enerji ile kırılmasına neden olduğu düşünülmektedir. Bunun yanı sıra, yapılan deneylerde A mermerinin kırılma şekli de, diğer

iki mermerden daha farklı olmuştur. Çelik bilyelerin tekrarlı serbest düşme prensibiyle numunelere düşürülmesi suretiyle gerçekleştirilen kopma tayini deneylerinde; K ve M mermerleri kırılmadan önceki birkaç düşüşte çatlayıp daha sonra kırılırken; A mermeri çoğunlukla hiç çatlama göstermeden direkt kırılma eğiliminde olmuştur. Bu durum A mermerinin diğer iki mermere göre, daha gevrek bir davranış sergilediğini göstermektedir. Ayrıca deneyler esnasında çelik bilyenin tekrarlı düşürüldüğü numune merkezleri incelendiğinde, K mermerinde bilyenin fark edilir bir küresel göçmeye neden olduğu ve tekrarlı düşüşler sebebiyle bu küresel göçüğün K mermeri çatlayana kadar her düşüşte biraz daha belirginleştiği ve derinleştiği gözlemlenmiştir. Bu küresel bilye izi daha az belirgin ve derin olmakla birlikte M mermerinde de gözlenmesine karşın; A mermerinde yok denecek kadar az derinlikli küresel iz gözlemlenmiştir. Bu durum, çalışmada kullanılan taş türleri içinde K mermerinin en fazla plastik şekil değişimine uğrayarak kırıldığını; A mermerinin ise, plastik şekil değişimine izin vermeksizin aniden kırıldığını ortaya koyan ikinci bir gözlem niteliğindedir. Hem K ve M mermerlerinin kırılmadan önce birkaç kez çatlama; hem de, bilyenin mermerin merkezinde bıraktığı küresel izin K ve M mermerlerinde daha belirgin olması; bu iki mermerin plastik deformasyona uğrama eğiliminin, A mermerine göre daha fazla olduğunu göstermektedir. A mermerinin en düşük enerji ile kırılmasının sebebinin; hem mineralojik - petrografik incelemelerde ortaya çıkan kataklastik dokusu ve süreksizlikleri; hem de deneyler esnasında gözlemlenen, diğer mermerlere göre daha gevrek yapıya sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çarpma dayanımı değerleri, kopma enerjisi değerlerinin numune hacmine bölünmesiyle hesaplanmıştır. Deneylerde kullanılan numunelerin piyasada döşeme ve kaplama malzemesi olarak kullanılan numunelerle aynı olabilmesi için, numuneler fabrikaların üretim hatlarından rassal bir şekilde, temin edilen levhalardan boyutlandırılmıştır. Her üç mermer de farklı fabrikalarda kesilerek boyutlandırıldığından, numunelerin hacimleri için genel bir kabul yapılmak yerine; deneylerde kullanılan tüm numunelerin kenar uzunlukları ve kalınlıkları tek tek ölçülmek suretiyle numunelerin hacimleri hesaplanmıştır. Kalınlık değerleri, her numune için kenarlarının orta noktalarından kumpas yardımı ile gerçekleştirilen dört ölçümün ortalaması alınarak; kenar uzunluğu değerleri ise, her numunenin dört kenarı kumpas yardımı ile ölçülerek alınan dört ölçümün ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.8’de tüm kalınlık ve tüm koşullandırma şartları için yapılan deneylerden elde edilen çarpma dayanımı sonuçlarının minimum değerleri, maksimum değerleri, ortalamaları ve standart sapmaları verilmektedir. En düşük standart sapma değerleri A mermerinin çarpma dayanımı değerlerindedir. A mermerinin tekrarlı deney sonuçlarının birbirine yakın çıkmasının ince ve homojen mineral tane yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca çarpma dayanımı, kopma enerjisinin numune hacmine bölünmesiyle hesaplandığından genel olarak, değerler birbirine yakın çıkmaktadır.

**Çizelge 4.8.** Çarpma dayanımı (kPa) sonuçları

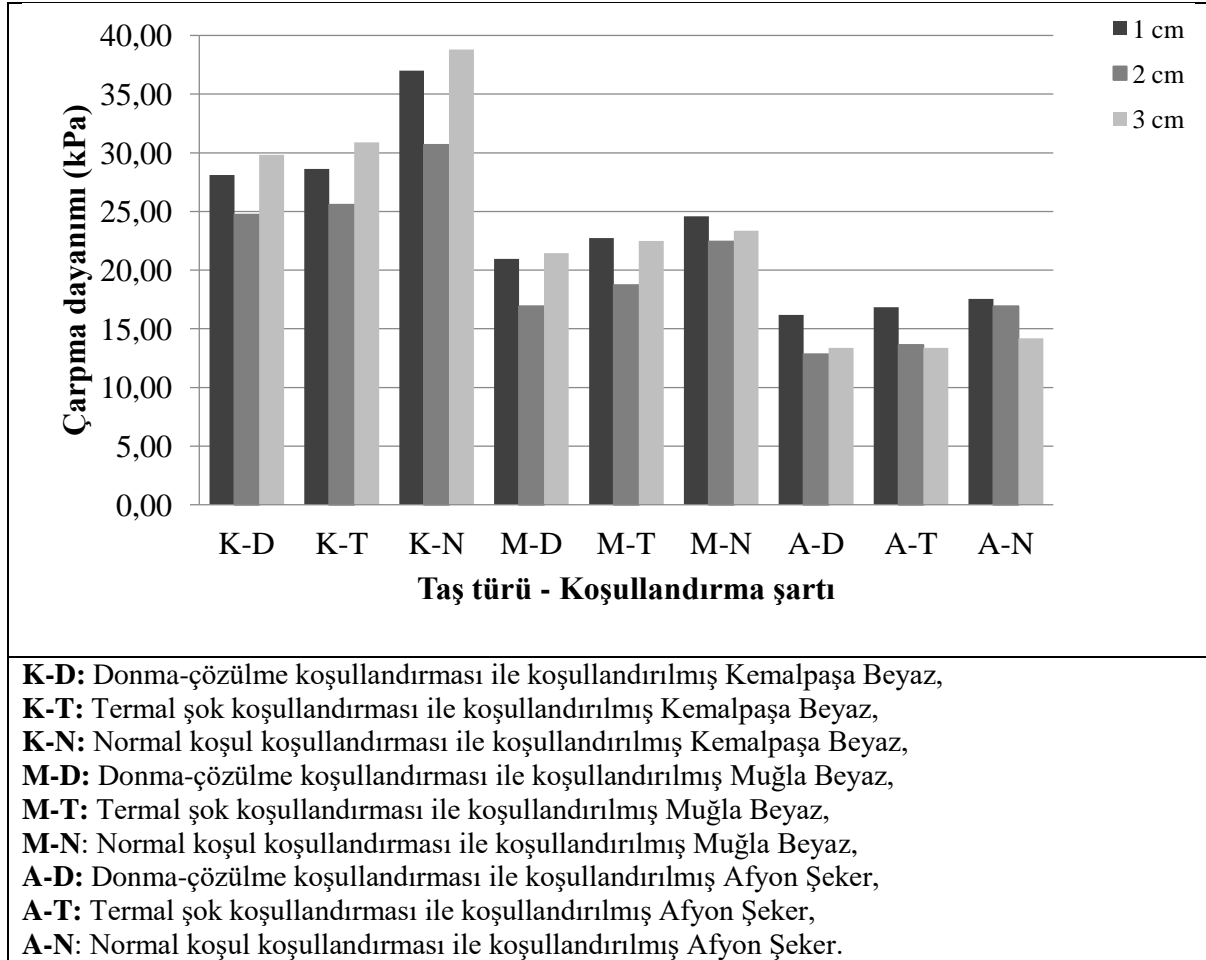
Taş Türü	Kalınlık (cm)	Koşul	Numune Sayısı	Minimum	Maximum	Ortalama	Standart Sapma
<b>K</b>	<b>1</b>	<b>D</b>	5	21,10	41,44	28,11	9,80
		<b>T</b>	5	25,62	35,79	28,63	4,53
		<b>N</b>	5	30,52	41,44	37,00	4,59
	<b>2</b>	<b>D</b>	5	18,85	33,94	24,72	6,51
		<b>T</b>	5	18,85	28,49	25,56	4,34
		<b>N</b>	5	28,49	33,94	30,67	2,99
	<b>3</b>	<b>D</b>	5	27,72	33,02	29,84	2,90
		<b>T</b>	5	27,72	33,02	30,90	2,90
		<b>N</b>	5	33,02	44,84	38,81	4,18
<b>M</b>	<b>1</b>	<b>D</b>	5	17,46	26,39	20,95	3,71
		<b>T</b>	5	17,46	26,39	22,74	3,76
		<b>N</b>	5	21,73	31,43	24,60	4,32
	<b>2</b>	<b>D</b>	5	11,22	19,42	16,92	3,69
		<b>T</b>	5	11,22	24,17	18,73	4,68
		<b>N</b>	5	15,10	29,34	22,44	5,40
	<b>3</b>	<b>D</b>	5	19,55	24,32	21,46	2,61
		<b>T</b>	5	19,55	29,54	22,50	4,44
		<b>N</b>	5	19,55	24,32	23,37	2,13
<b>A</b>	<b>1</b>	<b>D</b>	5	11,37	22,10	16,18	4,10
		<b>T</b>	5	14,62	22,10	16,83	3,33
		<b>N</b>	5	14,62	22,10	17,55	3,11
	<b>2</b>	<b>D</b>	5	11,28	15,18	12,84	2,14
		<b>T</b>	5	11,27	15,18	13,62	2,14
		<b>N</b>	5	15,18	19,52	16,92	2,38
	<b>3</b>	<b>D</b>	5	11,75	15,82	13,38	2,23
		<b>T</b>	5	11,75	15,82	13,38	2,23
		<b>N</b>	5	11,75	15,82	14,19	2,23

**A:** Afyon Şeker, **K:** Kemalpaşa Beyaz, **M:** Muğla Beyaz,  
**D:** Donma - Çözülme Koşulu, **T:** Termal Şok Koşulu, **N:** Normal Koşul

Numune kalınlıklarına göre çarpma dayanımı değerleri incelendiğinde; K mermerinin N koşullu numunelerinde; 1 cm kalınlıkta çarpma dayanımı ortalama 37 kPa, 2 cm kalınlıkta çarpma dayanımı ortalama 30,67 kPa, 3 cm kalınlıkta çarpma dayanımı ortalama 38,81 kPa çıkmıştır. M mermerinin N koşullu numunelerinde; 1 cm kalınlıkta çarpma dayanımı ortalama 24,60 kPa, 2 cm kalınlıkta çarpma dayanımı ortalama 22,44 kPa, 3 cm kalınlıkta çarpma dayanımı ortalama 23,37 kPa çıkmıştır. A mermerinin N koşullu numunelerinde de durum, K ve M mermerlerine benzer şekildedir. Yani, çarpma dayanımı değerleri 1 cm kalınlıklı numunelerde daha yüksek çıkarken; 2 cm ve 3 cm kalınlıklı numunelerde daha düşük çıkmıştır (şekil 4.6). Bu durumun iki nedeni olduğu düşünölmektedir. Bunlardan ilki; çarpma dayanımı değerlerinin hesaplanmasında kullanılan numune hacminin, 1 cm kalınlıklı numuneler baz alındığında, 2 kat ve 3 kat şeklinde artmasına karşın; kopma enerjisi değerlerinin hacimlerle aynı oranlarda artmayıp, daha düşük oranlarda artmasıdır. İkinci neden ise, deneylerde numune kalınlıklarına nispeten oranlı bilye kütlesi sečilmesine rağmen; bilyeler ve numuneler piyasaya verilen ölçölere uygun olması bakımından özel olarak üretilmek yerine; üretim hattından temin edildikleri için, boyutları oransal olarak yakın olmasına karşın; birebir aynı değildir. Bu oransal değişimin tek sebebi, numune kalınlığı ve bilye kütlesi değil; aynı zamanda da numune kenar uzunluklarıdır. Çarpma dayanımı hesaplanırken, her tař türü için her kalınlıkta ortak bir hacim kullanılmayıp; her numune için hacim, kalınlık ve kenar uzunlukları ölçölerek hesaplandığından; üretim hattından rassal alınan aynı tür, aynı boyutlu numunelerin bile hacim değerleri birebir aynı değildir. Bu değişimler genel olarak tanımlanacak olursa; aynı tař türü için kenar uzunluğu ve kalınlık değerlerindeki değişimler %2'yi; farklı tař türleri için kenar uzunluğu değerlerindeki değişimler %3'ü, 2 cm ve 3 cm kalınlıklı numunelerin kalınlık değerlerindeki değişimler %6'yı, 1 cm kalınlıklı numunelerin kalınlık değerlerindeki değişimler %12'yi geçmemektedir. Aynı zamanda, 3 cm kalınlıklı numuneler için 1,0427 kg, 2 cm kalınlıklı numuneler için 0,6787 kg ve 1 cm kalınlıklı numuneler için de 0,3212 kg kütleli çelik bilyeler kullanılmıştır. Bu bilyeler her ne kadar numune kalınlıkları ile oranlı sečilmeye çalışılsa da; bilyeler piyasada var olan çap ve ağırlıklarda temin edildiklerinden numune kalınlıkları ile bire bir aynı oranlı bilyeler kullanılamamıştır. Bilyelerde bu oranların yakalanabilmesi için, bilyelere torna atölyelerinde bazı işlemler uygulatılmış ancak; bu işlemler de bilyelerin küresel yapısını bozduğundan; numune kalınlıkları ile bire bir oranlı olmamasına rağmen orijinal boyutlu bilyelerin kullanılmasına karar verilmiştir. Ne kadar az olursa olsun, gerek



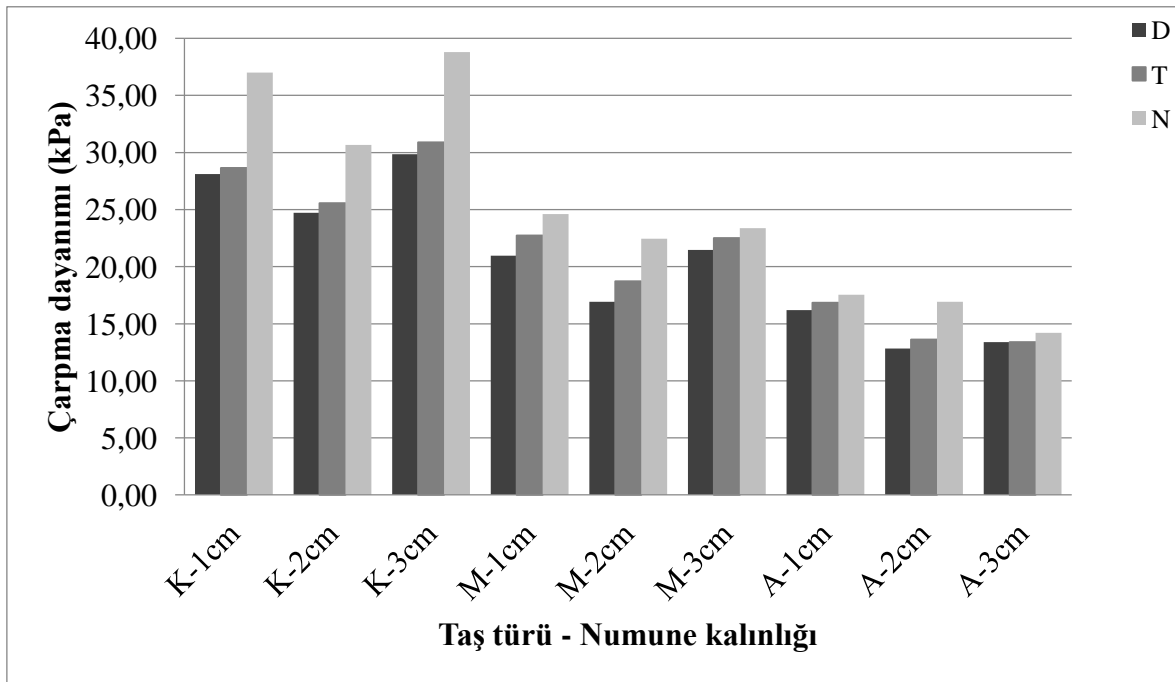
numune boyutlarından kaynaklı değişimler; gerekse bilye kütlesi – numune kalınlığı oranındaki değişimler deney sonuçlarına yansımaktadır.



**Şekil 4.6.** Koşullandırma şartına göre çarpma dayanımı sonuçları

Numunelerin koşullandırma şartı incelendiğinde; 2 cm kalınlıklı K numuneleri için D koşullu numunelerin çarpma dayanımı ortalama 24,72 kPa, T koşullu numunelerin çarpma dayanımı ortalama 25,56 kPa ve N koşullu numunelerin çarpma dayanımı ortalama 30,67 kPa olarak hesaplanmıştır. Diğer kalınlıklar ve diğer taş türleri için de benzer şekilde yani, en yüksek çarpma dayanımı N koşullu numunelerde iken; en düşük çarpma dayanımı D koşullu numunelerdedir. Bu durum, sadece A mermerinin 3 cm kalınlıklı numuneleri için böyle değildir. A mermerinin 3 cm kalınlıklı numunelerinde D koşulu ile koşullandırılmış ve T koşulu ile koşullandırılmış numunelerin çarpma dayanımı ortalama 13,38 kPa değerinde iken; N koşulunun çarpma dayanımı değeri 14,19 kPa çıkmıştır. Yani D ve T koşulu ile koşullandırılan numunelerin çarpma dayanımı değeri aynı iken; N

koşullu numunelerin çarpma dayanımı biraz daha yüksek çıkmıştır. Diğer bir deyişle, tüm mermerlerin N koşullu numunelerinin çarpma dayanımı daha yüksek; fiziksel bozundurmaya uğramış (D ve T koşullu) numunelerinin çarpma dayanımı ise, azdır (Şekil 4.7). Bu durum, fiziksel bozundurma çevrimlerinin, mermerlerin bütünlüğünü bozduğunun ve dayanımını azalttığının bir göstergesidir. Fiziksel bozundurma koşullarından T ve D koşullu numunelerin dayanım değerleri incelendiğinde ise; değerler birbirine yakın çıkmakla beraber; genel olarak D koşullu numunelerin dayanım değerlerinin T koşullu numunelerin dayanım değerlerinden düşük olduğu da gözlenmektedir. Bu durum, mermerlerin her iki koşullandırma şartından da yakın oranlarda etkilenmesine karşın; D koşullandırmasından biraz daha fazla etkilendiğini göstermektedir. Bunun yanı sıra; taş türleri koşullandırma şartı açısından incelendiğinde; K mermerinin N koşullu numunelerinin D ve T koşullu numunelerinden çok daha yüksek çarpma dayanımına sahip olduğu; A mermerinin ise, N koşullu numuneleri ile D ve T koşullu numuneleri arasında çarpma dayanımı farkının çok fazla olmadığı tespit edilmiştir. Bu durum daha iri mineral tane boyuna sahip ve daha fazla gözenekli olan K mermerinin fiziksel bozundurma koşullandırılmalarından en fazla; daha ince mineral tane boyuna sahip A mermerinin ise, daha az etkilendiğinin göstergesidir.



Şekil 4.7. Numune kalınlığına göre çarpma dayanımı sonuçları

Kopma enerjisi taşın kırılması için gereken enerji olduğu için, kopma enerjisi ne kadar yüksek ise; çarpma dayanımı da, o kadar yüksek olmalıdır. Çarpma dayanımında da tıpkı kopma enerjisinde olduğu gibi, K mermeri en yüksek dayanım değerlerine ve A mermeri de en düşük dayanım değerlerine sahiptir (Bkz. Şekil 4.6 ve Şekil 4.7).

Ses hızı ölçümleri, Pundit Plus marka ultra sonik ses hızı ölçme cihazı ile kopma enerjisi tayini yapılacak numunelere, deneye başlanmadan önce gerçekleştirilmiştir. Ölçümler, alıcı ve verici uçlara cihazın orijinal jeli sürülerek, bu uçlar numune kalınlık eksenine dik olacak ve karşılıklı gelecek şekilde yerleştirilmek suretiyle gerçekleştirilerek; direkt yöntem ile numunelerin ses hızı ölçümleri alınmıştır. Her taş türü, her kalınlık ve her koşul için 5'er adet örnek ile ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.9'da tüm kalınlık ve tüm koşullandırma şartları için yapılan deneylerde ölçülen ses hızı sonuçlarının minimum değerleri, maksimum değerleri, ortalamaları ve standart sapmaları verilmektedir. Ses hızı değerlerinin standart sapmaları çok büyük çıkmış görünse de ses hızı değerleri de kopma enerjisi ve çarpma dayanımı değerlerine göre daha büyük sayısal değerlere sahip olduğundan ölçümlerdeki bu salınımın normal karşılanabileceği düşünülmektedir.

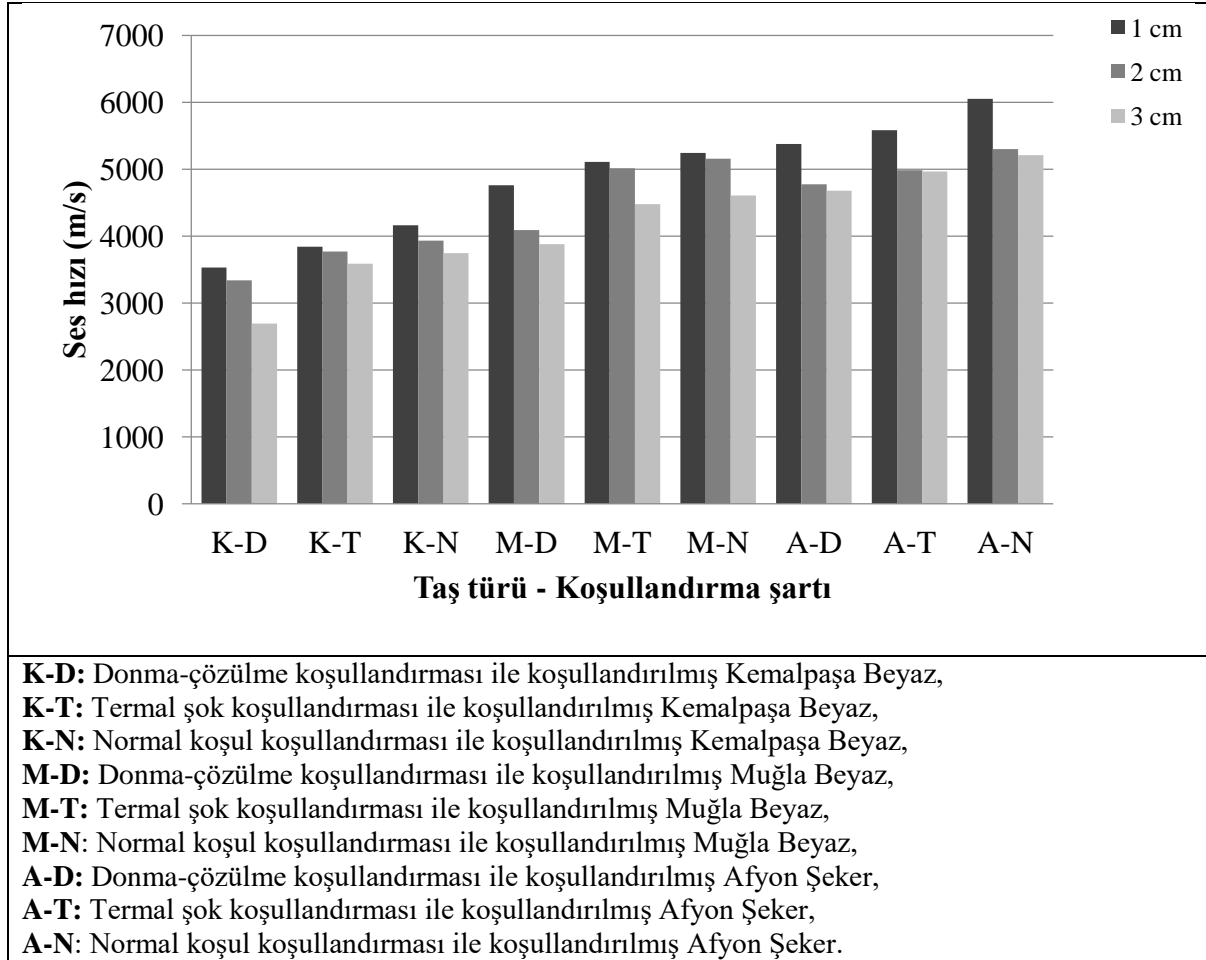
Çizelge 4.9. Ses hızı (m/s) sonuçları

Taş Türü	Kalınlık (cm)	Koşul	Numune Sayısı	Minimum (m/s)	Maximum (m/s)	Ortalama (m/s)	Standart Sapma
K	1	D	5	3518	3581	3531	28,17
		T	5	3703	3877	3842	77,82
		N	5	4166	4166	4166	0,00
	2	D	5	2968	3581	3342	276,60
		T	5	3703	3877	3773	95,30
		N	5	3703	4087	3932	209,24
	3	D	5	2521	2788	2693	100,79
		T	5	3571	3670	3591	44,27
		N	5	3670	3797	3746	69,56
M	1	D	5	4318	4871	4760	247,31
		T	5	5000	5185	5111	101,33
		N	5	5185	5263	5247	34,88
	2	D	5	3877	4318	4094	220,62
		T	5	4871	5588	5014	320,65
		N	5	4871	5588	5158	392,72
	3	D	5	3670	4202	3883	291,39
		T	5	4202	4915	4480	269,80
		N	5	4531	4915	4608	171,73
A	1	D	5	5185	5510	5380	178,01
		T	5	5582	5588	5587	2,68
		N	5	5000	6315	6052	588,09
	2	D	5	4318	5185	4775	436,78
		T	5	4615	5294	4989	297,40
		N	5	4871	5588	5301	392,72
	3	D	5	4375	5000	4679	237,74
		T	5	4375	5714	4967	489,88
		N	5	5000	5510	5213	184,34

A: Afyon Şeker, K: Kemalpaşa Beyaz, M: Muğla Beyaz,  
D: Donma - Çözülme Koşulu, T: Termal Şok Koşulu, N: Normal Koşul

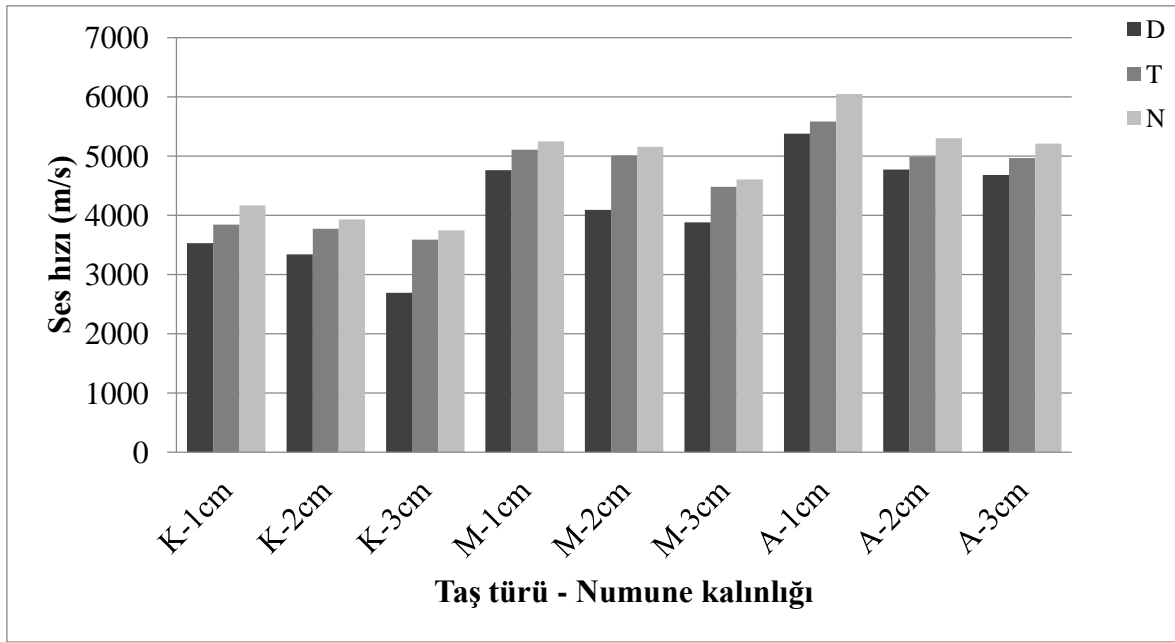
Gerçekleştirilen ölçüm sonuçları, taş türü ve koşullandırma şartları kendi içinde değerlendirilmek suretiyle, numune kalınlığı açısından incelendiğinde; 1 cm kalınlıklı numunelerin en yüksek ve 3 cm kalınlıklı numunelerin ise, en düşük ortalama ses hızına sahip olduğu görülmüştür (Şekil 4.8). M mermerinin T koşullu numuneleri incelendiğinde; 1 cm kalınlıklı numunelerin ses hızı ortalama 5111 m/s, 2 cm kalınlıklı numunelerin ses hızı ortalama 5014 m/s ve 3 cm kalınlık numunelerin ses hızı ortalama 4480 m/s'dir. Bu durum diğer taş türleri ve diğer koşullandırma şartları içinde aynıdır. Sadece A mermerinin T koşullu numunelerinde bu durum farklılık göstermektedir. 1 cm kalınlıklı numunelerin yine ortalama ses hızı fazladır; ancak, 2 cm ve 3 cm kalınlıklı numunelerinin ses hızı

neredeysi birbirinin aynıdır. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda, numune kalınlığı azaldıkça ses hızı artmaktadır.



**Şekil 4.8.** Koşullandırma şartına göre ses hızı sonuçları

Gerçekleştirilen ölçüm sonuçları, taş türü ve numune kalınlıkları kendi içinde değerlendirilmek suretiyle, koşullandırma şartı açısından incelendiğinde; A mermerinin 1 cm kalınlıklı numunelerinde, D koşullandırılmasıyla koşullandırılmış numunelerin ses hızı ortalama 5380 m/s, T koşullandırılmasıyla koşullandırılmış numunelerin ses hızı ortalama 5587 m/s ve N koşullandırılmasıyla koşullandırılmış numunelerin ses hızı ortalama 6052 m/s ölçülmüştür. N koşullu numunelerde ses hızı en fazla ve D koşullu numunelerde ise, ses hızı en düşük çıkmıştır (Şekil 4.9). Bu durum, tüm mermerler ve tüm kalınlıklar için aynı şekildedir. Fiziksel bozundurmaya uğratılan mermerlerde bütünlük kayıpları oluşmaya başladığından ses hızı değerleri düşmektedir. Ayrıca bu sonuçlar, numuneleri D koşullandırmasının T koşullandırmasından daha fazla etkilediğini ortaya koymaktadır.



**Şekil 4.9.** Numune kalınlığına göre ses hızı sonuçları

Gerçekleştirilen ölçüm sonuçları, numune kalınlıkları ve koşullandırma şartları kendi içinde değerlendirilmek suretiyle, taş türü açısından incelendiğinde; N koşullu ve 3 cm kalınlıklı numunelerde, A mermeri için ses hızı değeri ortalama 3746 m/s, M mermeri için ses hızı değeri ortalama 4608 m/s ve A mermeri için ses hızı değeri ortalama 5213 m/s ölçülmüştür. A mermeri en yüksek ses hızı değerlerine; K mermeri ise, en düşük ses hızı değerlerine sahiptir (Bkz. Şekil 4.8 ve Şekil 4.9). Bu durum, diğer koşul ve kalınlık değerleri için de incelendiğinde aynıdır. Gerek makroskobik incelemede gerekse, mikroskobik inceleme sonucunda; K mermerinin en iri mineral tane boyuna sahip olduğu ve A mermerinin ise, en ince mineral tane boyuna sahip mermer olduğu tespit edilmiştir. Ses hızı ölçüm sonuçlarının, taş türü açısından değerlendirilmesinde; mineral tane boyunun önemi etkisi olduğu düşünülmektedir.

#### 4.4.1. Regresyon analizi

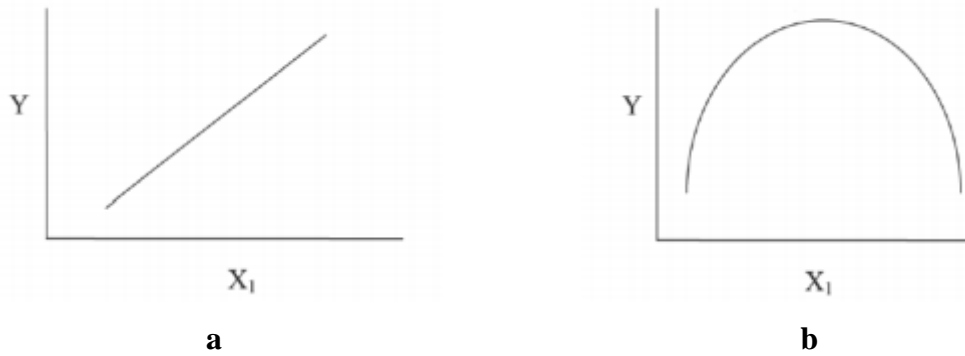
Regresyon analizi, değişkenler arasındaki ilişkiyi modellemek ve incelemek için kullanılan istatistiksel bir tekniktir. Diğer bir deyişle, iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi istatistiksel olarak ortaya koyma işlemi, regresyon analizi ile gerçekleştirilmektedir. Regresyonun çok farklı uygulama alanları vardır ve bu uygulamalar; mühendislik, fizik ve kimya bilimleri, iktisat, yöntem, yaşam ve biyoloji bilimleri ve sosyal bilimler gibi hemen hemen tüm alanlarda kullanılmaktadır (Montgomery vd., 2013). Bu çalışma kapsamında da, doğal taşların kopma enerjisi ve çarpma dayanımı ile fiziko – mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler regresyon analizi ile ortaya konmuştur.

Bağımlı değişken, bağımsız değişken(ler) tarafından açıklanmaya çalışılan değişkendir. Regresyon analizinde, değişkenlerin bağımlı ya da bağımsız değişken olarak iki gruba ayrılması bir zorunluluktur. Bağımlı değişken,  $y$  ile sembolize edilirken; bağımsız değişken(ler),  $x$  ile sembolize edilmektedir (Ünver ve Gamgam, 1996). Bir bağımlı değişken ve bir bağımsız değişken arasındaki ilişki incelenirken; basit regresyon analizi; bir bağımlı ve birden çok bağımsız değişken arasındaki ilişki incelenirken ise, çoklu regresyon analizi kullanılmaktadır. Bu çalışmada, bağımlı değişkenler sırasıyla; kopma enerjisi ve çarpma dayanımıdır. Bağımsız değişkenler ise sırasıyla; özgül ağırlık (ÖA), gerçek yoğunluk (GY), açık gözeneklilik (AG), toplam gözeneklilik (TG), atmosfer basıncında su emme (SE), ses hızı (SH), darbe dayanımı (DD), tek eksenli basınç dayanımı (BD), nokta yük dayanım indeksi (NY), sabit moment altında eğilme dayanımı (ED), don sonrası basınç dayanımı (DBD), Shore sertliği (SS), Knoop sertliği (KS)'dir. Ayrıca kopma enerjisi ve çarpma dayanımı ile diğer fiziko – mekanik özellikler arasındaki ilişkiler basit regresyon analizi ile ortaya konmuştur.

Bir değişkendeki ( $x$ ) değişimin, diğer bir değişkende ( $y$ ) değişime neden olduğu bilindiğinde; ya da şüphelenildiğinde; ya da olup olmadığını kontrol etmek istendiğinde kullanılan matematiksel ilişki Eşitlik 4.1 'de gösterilmektedir. Yani, bağımsız değişken ( $y$ ), bağımlı değişkenin ( $x$ ) bir fonksiyonudur.

$$y = f(x) \quad (4.1)$$

Regresyon analizine başlanmadan önce, değişkenler arasındaki ilişkinin şeklini (doğrusal ilişki veya eğrisel ilişki) anlayabilmek için, değişkenlerin birbirlerine karşılık gelen değerleri kullanılarak oluşturulan *serpme diyagramları* (scatter plot) çizilmelidir. Serpme diyagramlarındaki noktalara, en yakın yerden geçen çizgi doğrusalsa, *regresyon doğrusu*; eğriselse, *regresyon eğrisi* olarak adlandırılırken; bu doğru veya eğriyi matematiksel bir fonksiyon ile sağlayan denklem ise, *regresyon denklemi* olarak adlandırılmaktadır. Ayrıca, serpe diyagramlarındaki noktalardan geçen en iyi çizgi bir doğruysa iki değişken arasındaki ilişki doğrusal ilişki; eğer bir eğri ise, iki değişken arasındaki ilişki, doğrusal olmayan ilişki olarak adlandırılmaktadır. Şekil 4.10-a'da doğrusal ilişkiye örnek bir doğru ve Şekil 4.10-b'de ise, doğrusal olmayan ilişkiye örnek bir eğri verilmiştir.



**Şekil 4.10.** Bağımlı ve bağımsız değişkenin ilişki durumu: a) doğrusal ilişki, b) doğrusal olmayan ilişki

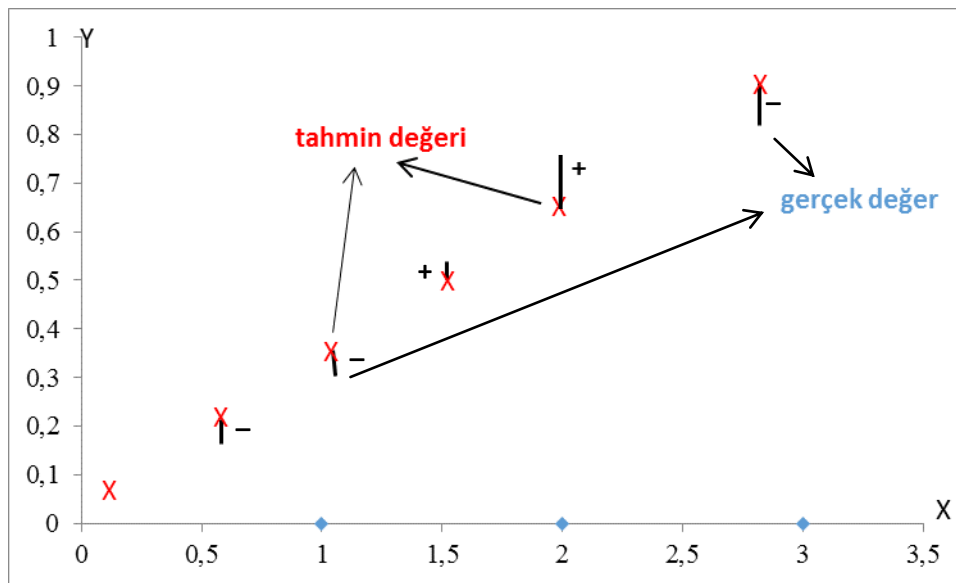
Bu çalışma kapsamında bağımlı değişkenler (kopma enerjisi ve çarpma dayanımı) ve bağımsız değişkenler (diğer fiziko–mekanik özellikler) arasındaki ilişkiler incelenirken; hem doğrusal ilişki; hem de doğrusal olmayan (kuadratik ve kübik) ilişki açısından değerlendirmeler yapılmıştır. Çizelge 4.10'da, bu çalışmada kullanılan doğrusal, kuadratik ve kübik ilişkilerin genel model denklemleri verilmektedir. Bu denklemlerde; y, bağımlı değişkeni; x, bağımsız değişkeni; a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>, a<sub>3</sub> ve a<sub>4</sub> ise sabit terimleri göstermektedir.



Çizelge 4.10. Kullanılan model denklemleri

İlişki Durumu	Model Adı	Model Denklemi
Doğrusal İlişki	Doğrusal Model	$y = a_1 + a_2(x)$
Doğrusal Olmayan İlişki	Kuadratik Model	$y = a_1 + a_2(x) + a_3(x)^2$
	Kübik Model	$y = a_1 + a_2(x) + a_3(x)^2 + a_4(x)^3$
y: bağımlı değişken; x: bağımsız değişken; a <sub>1</sub> , a <sub>2</sub> , a <sub>3</sub> , a <sub>4</sub> : regresyon katsayıları		

Regresyon denklemi genel olarak, bağımsız değişkendeki (x) birimlik değişmeye karşı bağımlı değişkende (y) meydana gelecek ortalama değişikliği ifade etmektedir (Çil, 2008). Regresyon analizinden elde edilen tahmin modeli sayesinde bağımlı değişken, bağımsız değişken üzerinden tahminlenmeye çalışılmaktadır. Bu aşamada, tahmin modelinin hesaplanması için çok farklı yöntemler mevcuttur. Bu çalışma kapsamında, bu yöntemlerden en çok tercih edilenlerden biri olan en küçük kareler yöntemi kullanılmıştır. En küçük kareler yöntemi, birbirine bağlı değişen iki değişken arasındaki matematiksel bağıntıyı mümkün olduğunca gerçeğe yakın bir denklem olarak yazmak için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Regresyon analizindeki hataların kareler toplamını en küçüklemeyi amaçlayan istatistiksel bir yöntemdir. Bu yöntem ile belirlenen regresyon denklemi ile çizilen doğru ya da eğrinin etrafında kalan gerçek ölçüm noktalarının tahmin doğrusuna ya da eğrisine olan artı (+) veya eksi (-) yönlü uzaklıklarının her biri o ölçüm için yapılan tahminin hata derecesini ortaya koymaktadır (Şekil 4.11).



Şekil 4.11. Doğrusal regresyon analizi grafiği

En küçük kareler yöntemiyle regresyon denklemi belirlenirken; kullanılan iki önemli koşul vardır. Bunlardan ilki, (+) ve (-) uzaklıklı hataların(tüm hataların) toplamının daima sıfır olduğu (Eşitlik (4.2)); ikincisi ise, hataların karelerinin toplamının en küçük olması (Eşitlik (4.3)) gerekliliğidir. En küçük kareler yönteminde, bu iki koşul dikkate alınarak regresyon denkleminin katsayıları hesaplanarak model oluşturulmaktadır.

$$\sum_{i=1}^n e_i = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i) = 0 \quad (4.2)$$

$$\sum_{i=1}^n (e_i)^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \text{minimum} \quad (4.3)$$

n : Gözlem sayısı(deney sayısı)

y : Bağımlı değişkenin gözlem değeri

$\hat{y}$  : Bağımlı değişkenin tahmin değeri

e : Hata terimleri

En küçük kareler yöntemiyle iki değişken arasındaki ilişkiyi en iyi tarifleyen model belirlendikten sonra, belirlenen modelin anlamlılığının test edilmesi için F Testi kullanılmıştır. F testinde; bir hipotez ( $H_0$ ) ve bir de bu hipotezin tam tersini savunan, bir karşı hipotez ( $H_A$ ) kurularak regresyon analizinin anlamlılığı test edilmektedir.  $H_0$  hipotezi, bağımsız değişkene ait parametrelerin sıfır (0) olduğunu savunurken (Eşitlik (4.4));  $H_A$  hipotezi de parametrelerin sıfırdan farklı olduğunu savunmaktadır (Eşitlik (4.5)).  $H_0$  hipotezinin test edilmesinde; %5 anlam düzeyinde, regresyon modelinde tahmin edilen parametre sayısının bir eksiği ve toplam gözlem sayısı ile tahmin edilen parametre sayısı arasındaki fark kadar serbestlik dereceli F dağılımından yararlanılmıştır. Eğer bu F dağılımının tablo değerinden daha büyük bir F değeri hesaplanıyorsa;  $H_0$  hipotezi reddedilir ve  $H_A$  hipotezi kabul edilir (Eşitlik (4.6)). Bu durumda modelin tahmin parametrelerinin sıfırdan farklı olduğunu yani, modelin anlamlı olduğunu ortaya koymaktadır. Belirlenen regresyon modelin anlamlılığı, hesaplanan F değeri ile tablodan bulunan F değerinin karşılaştırılmasıyla bulunduğu gibi; günümüzde kullanılan istatistik paket programlarında kullanıcının belirlediği güven düzeyindeki F değerinin anlamlılık düzeyi (p) üzerinden de yorumlanabilmektedir (Eşitlik (4.7)). Bu bölümde yapılan

regresyon analizleri ve oluşturulan regresyon grafikleri, SPSS V21.0 ve MINITAB 14.0 paket programları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Model anlamlılığı da, anlamlılık düzeyi değeri üzerinden incelenmiştir.

$$H_0 : \alpha = 0 \quad (4.4)$$

$$H_A : \alpha \neq 0 \quad (4.5)$$

$$F_h > F_{m-1, n-m, 0.05} \text{ ise, } H_0 \text{ red ve } H_A \text{ kabul} \quad (4.6)$$

$$p < 0,05 \text{ ise; } H_0 \text{ red ve } H_A \text{ kabul} \quad (4.7)$$

$H_0$  : Sıfır (null) hipotezi

$H_A$  : Karşıt (alternatif) hipotez

$n$  : Gözlem sayısı

$m$  : Regresyon denkleminde tahmin edilen parametre sayısı

$F_h$  : F'in hesaplanan değeri

$F_{m-1, n-m, 0.05}$  : %5 anlam düzeyinde F'in tablo değeri

$p$  : anlamlılık düzeyi

Bağımlı değişkenin, bağımsız değişkene hangi oranda bağlı olduğunu gösteren katsayıya belirlilik katsayısı veya determinasyon katsayısı ( $R^2$ ) denilmektedir (Çil, 2008). Diğer bir deyişle, bağımlı değişkendeki değişimin yüzde kaçının bağımsız değişken tarafından açıklanabildiğinin ortaya konmasını sağlayan katsayıdır. Matematiksel olarak ise, korelasyon katsayısının karesi olarak ifade edilmektedir. Korelasyon katsayısının karesi alınarak hesaplandığından; belirlilik katsayısı, 0 ile +1 arasında değişen değerler alabilmektedir. Belirlilik katsayısının 1 olması; bağımlı değişkenin tüm değişiminin, bağımsız değişkene bağlı olduğunu ifade etmektedir. Bu nedenle, bu değer 1'e yaklaşması demek bağımlı değişkenin değişiminin bağımsız değişkenle daha fazla açıklanmasını sağlayacaktır. Bu çalışma da yapılan regresyon analizlerinin belirlilik katsayıları belirlenmiştir.

Bu çalışmada, TS EN 14158 kodlu kopma enerjisinin tayini isimli standart ile K, M ve A mermerlerinin kopma enerjisi ve çarpma dayanımı belirlenmiştir. Ayrıca, kopma enerjisi ve çarpma dayanımı; hem oldukça yeni bir standartla ortaya konan yeni özellikler

olduğundan; hem de hiçbir araştırmacı tarafından daha önce belirlenmemiş ve yorumlanmamış olduğundan; mermerlerin bu özellikleri ile ilişkili olabileceği düşünülen bazı fiziko – mekanik özellikler çalışma kapsamında belirlenmiştir. Bu fiziko – mekanik özellikler, her üç mermer (K, M, A) için, ilgili standartlar dikkate alınarak belirlenmiştir. Belirlenen bu fiziko – mekanik özelliklerle, TS EN 14158 kodlu kopma enerjisi tayini standardında tariflenen, numune boyutu (20x20x3 cm) ve numune koşulu (N) dikkate alınarak gerçekleştirilen deneylerin sonuçları karşılaştırılmıştır. TS EN 14158 kodlu standartta yer almayan; farklı koşullandırma şartları (D ve T) ile koşullandırılmış ve farklı boyutlu (20x20x2 cm ve 20x20x1 cm) numunelerin hesaplanan kopma enerjisi ve çarpma dayanımı değerleri, bu değerlendirmede kullanılmamıştır.

Fiziko – mekanik özelliklerin sonuçları ile kopma enerjisi ve çarpma dayanımı özelliklerinin sonuçları arasındaki ilişkiler basit regresyon analizleri ile belirlenmiştir. Bazı fiziko – mekanik özellikler ile kopma enerjisi ve çarpma dayanımı arasındaki ilişkiler doğrusal modeller tanımlandığında doğrusal modeller anlamsız bulunduğu için, bu özelliklerin doğrusal olmayan (kuadratik ve kübik) modelleri de oluşturulmuştur. Çalışmanın tek tipliğini sağlayabilmek açısından, bu işlem sadece doğrusal modelleri anlamsız bulunan özelliklere değil; çalışmada değerlendirilen tüm özelliklere uygulanmıştır. Aynı zamanda, bazı fiziko – mekanik özellikler ile kopma enerjisi ve çarpma dayanımı arasındaki doğrusal modellerde zayıf ya da çok zayıf ilişki çıkması da, ilişkinin daha kuvvetli olabileceği yeni modellerin araştırılmasını teşvik etmiştir. Tüm bu nedenler ışığında, doğrusal modelden sonra en yaygın kullanılan modeller olan, kuadratik ve kübik modeller kullanılarak ilişkiler tekrar değerlendirilmiştir. Diğer bir deyişle, tüm özellikler için sadece doğrusal ilişkiye bakılmamış; aynı zamanda, kuadratik ve kübik modeller oluşturularak doğrusal olmayan ilişkilere de bakılmıştır. Çalışmada, elde edilen regresyon denkleminin ve seçilen parametrelerin anlamlılığı % 5 anlam düzeyinde test edilmiştir.

#### **4.4.1.1. Fiziko - mekanik bulgular ile kopma enerjisi bulgularının değerlendirilmesi**

Mermerlerin kopma enerjisi ile fiziko – mekanik özellikleri arasındaki ilişki, basit regresyon analizi ile araştırılmıştır. Bu analizle, metamorfik kökenli doğal taşların kopma enerjisi değerleri ile fiziko – mekanik özellikleri arasındaki ilişkilerin ortaya konması hedeflenmiştir. Ancak, böyle bir genel değerlendirme için, çalışmadaki taş türü (K, M, A) istatistiksel olarak değerlendirilemeyecek kadar az olduğundan (sadece 3 adet); regresyon analizinde, bu mermerlerin deney ortalama değerleri üzerinden 3 adet veri ile değil; her bir deney verisi kullanılmak sureti ile 15'er adet veri ile analizler gerçekleştirilmiştir. Veri sayısının artırılması istatistiksel olarak anlamlılığı ve güvenilirliği arttırmasına karşın; her taş türü için 5'er adet veri ile analizin yapılması bazı özellikler açısından önüne geçilemez şekilde veri kümelenmelerine neden olmuştur.

Çizelge 4.11'de, kopma enerjisi ile fiziko – mekanik özellikler arasındaki ilişkiyi gösteren doğrusal, kuadratik ve kübik regresyon modelleri verilmektedir. Bu modellerin F değerleri, anlamlılık düzeyleri ve belirlilik katsayıları ( $R^2$ ) da aynı çizelgede bulunmaktadır. Ayrıca, modeldeki tüm katsayıların anlamlılıkları da test edilmiştir. Hem katsayıların, hem de modelin anlamlı çıktığı durumlardaki regresyon modelleri çizelgede verilirken; katsayıların anlamsız çıktığı modellere çizelgede yer verilmemiştir. Yani, Çizelge 4.11'deki regresyon modelleri; hem katsayıları, hem de denklemin kendisi test edilerek anlamlı bulunmuş olan modellerdir. Modellerin anlamlılıkları incelendiğinde; görünür yoğunluk özelliğinin (GY) doğrusal ( $p = 0,167$ ) ve kuadratik ( $p = 0,078$ ) modelleri ile darbe dayanımı özelliğinin (DD) doğrusal ( $p=0,192$ ) modelinin anlamlı olmadığı ( $p > 0,05$ ) tespit edilmiştir. Bu özelliklerin diğer modelleri incelendiğinde ise; modellerin anlamlı çıktığı ( $p < 0,05$ ) görülmektedir. Eğilme dayanımı (ED) özelliğinin sadece doğrusal ve kuadratik modeli vardır ve bu iki model de (doğrusal ( $p = 0,693$ ) ve kuadratik ( $p = 0,066$ )) anlamsız çıkmıştır. Bu bağlamda, modellerin %95 değil de; %90 güven seviyesinde oluşturulduğu düşünülürse; görünür yoğunluğun kuadratik modeli ( $0,078 < 0,1$ ) ve eğilme dayanımının kuadratik modeli ( $0,066 < 0,1$ ) de anlamlı çıkacaktır.

Modeller katsayı anlamlılığı açısından incelendiğinde; model katsayılarının anlamsız çıkması, iki farklı sonucu beraberinde getirmiştir. Bunlardan ilki, o modele adını veren terimin katsayısının anlamsız çıkması durumudur. Bu durumun karşılaşıldığı

özellikler; eğilme dayanımı (ED) ve don sonrası basınç dayanımı (DBD) olmuştur. Eğilme dayanımı özelliğinin ve don sonrası basınç dayanımı özelliğinin kübik regresyon modellerinin kübik terimlerinin ((ED)<sup>3</sup> ve (DBD)<sup>3</sup>) katsayıları istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur. Bu da, iki özelliğin kübik modelleri ile kuadratik modellerinin bire bir aynı çıkması anlamına gelmektedir. Bu nedenle, Çizelge 4.11’de bu iki özelliğin kübik modelleri bulunmamaktadır. Modeller katsayı anlamlılığı açısından incelendiğinde model katsayılarının anlamsız çıkmasının ikinci sonucu ise; modelde yer alan terimlerden modele adını veren terim dışındaki bir terimin katsayısının anlamsız bulunmasıdır. Bu durumun karşılaşıldığı özellikler ise; toplam gözeneklilik (TG), darbe dayanımı (DD), nokta yük dayanım indeksi (NY) ve Shore sertliği (SS) olmuştur. Toplam gözeneklilik, darbe dayanımı, nokta yük dayanım indeksi ve Shore sertliği değerleri ile kopma enerjisi arasındaki regresyon modelleri incelendiğinde; bu dört özelliğin kübik modellerinde (TG)<sup>2</sup>, (DD)<sup>2</sup>, (NY)<sup>2</sup>, ve (SS)<sup>2</sup> terimlerinin katsayıları istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur. Bu nedenle, bu dört özelliğin kübik modellerinde bu terimler bulunmamaktadır.

Belirlilik katsayısı değerlerinin 1’e yaklaşması, incelenen iki özellik arasındaki ilişkinin kuvvetliliğinin artması anlamına gelmektedir. Bu bağlamda, veriler incelendiğinde; kopma enerjisi ile en kuvvetli ilişkinin ses hızı (SH) arasında olduğu; en zayıf ilişkinin ise, eğilme dayanımı arasında olduğu görülmektedir. Yani, kopma enerjisi bağımlı değişkeni ile ses hızı bağımsız değişkeni düşünüldüğünde; doğrusal model için, kopma enerjisindeki değişimin % 91,7’si ses hızı ile açıklanabilmektedir. Kopma enerjisi bağımlı değişkeni ile eğilme dayanımı bağımsız değişkeni düşünüldüğünde ise; 1’e en yakın belirlilik katsayısı değeri kuadratik modelde olduğu için, kuadratik model üstünden sonuç yorumlandığında; kopma enerjisindeki değişimin % 36,4’ü eğilme dayanımı ile açıklanabilmektedir.

**Çizelge 4.11.** Fiziko – mekanik özellikler ile kopma enerjisi arasındaki ilişkiler

Özellik	Model denklemleri	F değeri	Anlamlılık düzeyi	Belirlilik katsayısı (R <sup>2</sup> )
ÖA (g/cm <sup>3</sup> )	kopma enerjisi (J) = 1982,10 - 706,893 (ÖA)	52,579	0,000	0,802
	kopma enerjisi (J) = 8140 - 5179 (ÖA) + 812 (ÖA) <sup>2</sup>	22,980	0,000	0,807
	kopma enerjisi (J) = - 17019903 + 18529331 ÖA - 6723805 (ÖA) <sup>2</sup> + 813250 (ÖA) <sup>3</sup>	18,300	0,000	0,830
GY (g/cm <sup>3</sup> )	kopma enerjisi (J) = 1180,567 - 431,870 (GY)	2,141	0,167	0,141
	kopma enerjisi (J) = 1424 - 523,3 (GY) + 315,24 (GY) <sup>2</sup>	3,670	0,078	0,737
	kopma enerjisi (J) = 910005 - 682217 (GY) + 127863 (GY) <sup>2</sup> - 0,0004 (GY) <sup>3</sup>	102,280	0,000	0,843
AG (%)	kopma enerjisi (J) = - 5,609 + 106,955 (AG)	26,511	0,000	0,671
	kopma enerjisi (J) = - 30,205 + 254,492 (AG) - 201,398 (AG) <sup>2</sup>	14,288	0,010	0,704
	kopma enerjisi (J) = 87,416 - 908,584 (AG) + 3344,553 (AG) <sup>2</sup> - 3347,748 (AG) <sup>3</sup>	14,623	0,000	0,800
TG (%)	kopma enerjisi (J) = - 70,939 + 33,868 (TG)	6,878	0,021	0,346
	kopma enerjisi (J) = - 1203,806 + 807,770 (TG) - 131,238 (TG) <sup>2</sup>	6,459	0,012	0,518
	kopma enerjisi (J) = -833,10 - 425,012 (TG) - 14,944 (TG) <sup>3</sup>	6,65	0,011	0,645
SE (%)	kopma enerjisi (J) = - 17,255 +336,519 (SE)	41,341	0,000	0,761
	kopma enerjisi (J) = 47,892 - 559,428 (SE) + 2894,496 (SE) <sup>2</sup>	20,838	0,000	0,776
	kopma enerjisi (J) = 1041 - 20832 (SE) + 137432 (SE) <sup>2</sup> - 290446 (SE) <sup>3</sup>	38,420	0,000	0,913
SH (m/s)	kopma enerjisi (J) = 243,626 - 0,036 (SH)	143,445	0,000	0,917
	kopma enerjisi (J) = 88,368 + 0,018 (SH) - 0,000005 (SH) <sup>2</sup>	67,075	0,000	0,918
	kopma enerjisi (J) = - 14598 + 7,613 (SH) - 0,001311 (SH) <sup>2</sup> + 0,0000001 (SH) <sup>3</sup>	52,470	0,000	0,935
DD (MPa)	kopma enerjisi (J) = 49,049 - 0,217 (DD)	1,894	0,192	0,127
	kopma enerjisi (J) = - 157,128 + 5,036 (DD) - 0,031 (DD) <sup>2</sup>	6,753	0,011	0,530
	kopma enerjisi (J) = - 95,395 + 2,597 (DD) + 0,00007 (DD) <sup>3</sup>	6,641	0,011	0,535

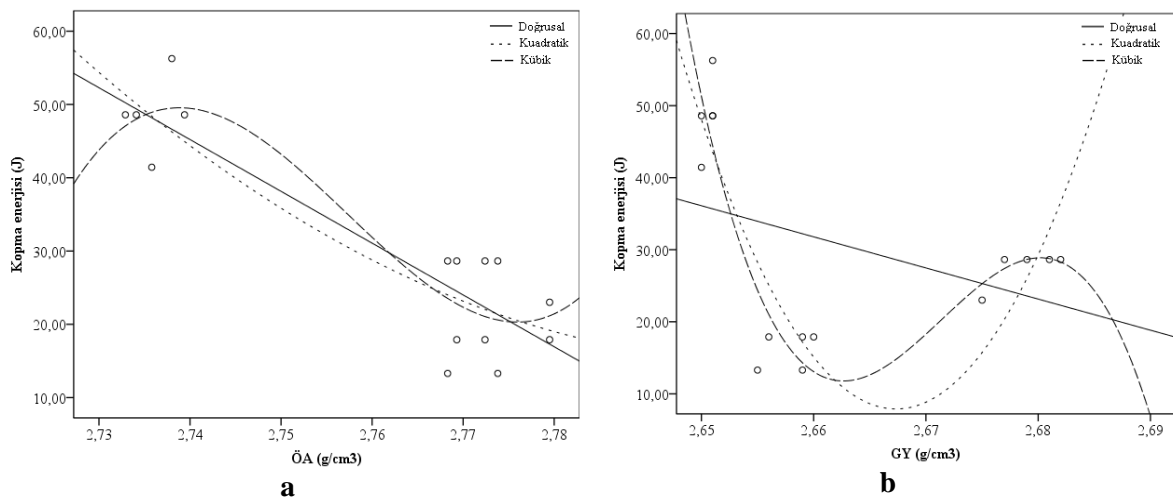
**Çizelge 4.11.** Fiziko – mekanik özellikler ile kopma enerjisi arasındaki ilişkiler (devam)

Özellik	Model denklemleri	F değeri	Anlamlılık düzeyi	Belirlilik katsayısı (R <sup>2</sup> )
<b>BD</b> (MPa)	kopma enerjisi (J) = 68,035 - 0,340 (BD)	8,279	0,013	0,389
	kopma enerjisi (J) = 279,022 - 4,444 (BD) + 0,019 (BD) <sup>2</sup>	26,159	0,000	0,813
	kopma enerjisi(J) = - 906,7 + 30,36 (BD) - 0,3111 (BD) <sup>2</sup> + 0,001013 (BD) <sup>3</sup>	39,910	0,000	0,916
<b>NY</b> (MPa)	kopma enerjisi (J) = 77,647 - 15,192 (NY)	40,156	0,000	0,755
	kopma enerjisi (J) = 212,213 - 118,694 (NY) + 18,199 (NY) <sup>2</sup>	37,909	0,000	0,863
	kopma enerjisi(J) = 162,209 - 65,200 (NY) + 1,996 (NY) <sup>3</sup>	38,452	0,000	0,867
<b>ED</b> (MPa)	kopma enerjisi (J) = 21,164 + 0,862 (ED)	0,163	0,693	0,012
	kopma enerjisi (J) = - 518,728+ 98,243 (ED) - 4,280 (ED) <sup>2</sup>	3,440	0,066	0,364
	-	-	-	-
<b>DBD</b> (MPa)	kopma enerjisi (J) = 76,533 - 0,476 (DBD)	25,05	0,000	0,658
	kopma enerjisi (J) = 192,142 - 3,147 (DBD) + 0,014 (DBD) <sup>2</sup>	40,224	0,000	0,870
	-	-	-	-
<b>SS</b> (HS)	kopma enerjisi (J) = 212,573 - 3,490 (SS)	5,528	0,035	0,298
	kopma enerjisi (J) = 5645,143 - 212,109 (SS) + 1,999 (SS) <sup>2</sup>	9,773	0,003	0,620
	kırılma enerjisi(J) = 3853,547 -108,394 (SS) + 0,013 (SS) <sup>3</sup>	9,864	0,003	0,650
<b>KS</b> (HK)	kopma enerjisi (J) = - 1102,047 + 8,305 (KS)	16,611	0,001	0,561
	kopma enerjisi (J) = 48000 - 713,0 (KS) + 2,649 (KS) <sup>2</sup>	10,000	0,003	0,625
	kopma enerjisi (J) = - 3988668 + 88231 (KS) - 650,6 (KS) <sup>2</sup> + 1,599 (KS) <sup>3</sup>	7,370	0,006	0,668
<p><b>ÖA:</b> Özgül Ağırlık, <b>GY:</b> Gerçek Yoğunluk, <b>AG:</b> Açık Gözeneklilik, <b>TG:</b> Toplam Gözeneklilik, <b>SE:</b> Atmosfer Basıncında Su Emme, <b>SH:</b> Ses Hızı, <b>DD:</b> Darbe Dayanımı, <b>BD:</b> Tek Eksenli Basınç Dayanımı, <b>NY:</b> Nokta Yük Dayanım İndeksi, <b>ED:</b> Sabit Moment Altında Eğilme Dayanımı, <b>DBD:</b> Don Sonrası Basınç Dayanımı, <b>SS:</b> Shore Sertliği, <b>KS:</b> Knoop Sertliği</p>				

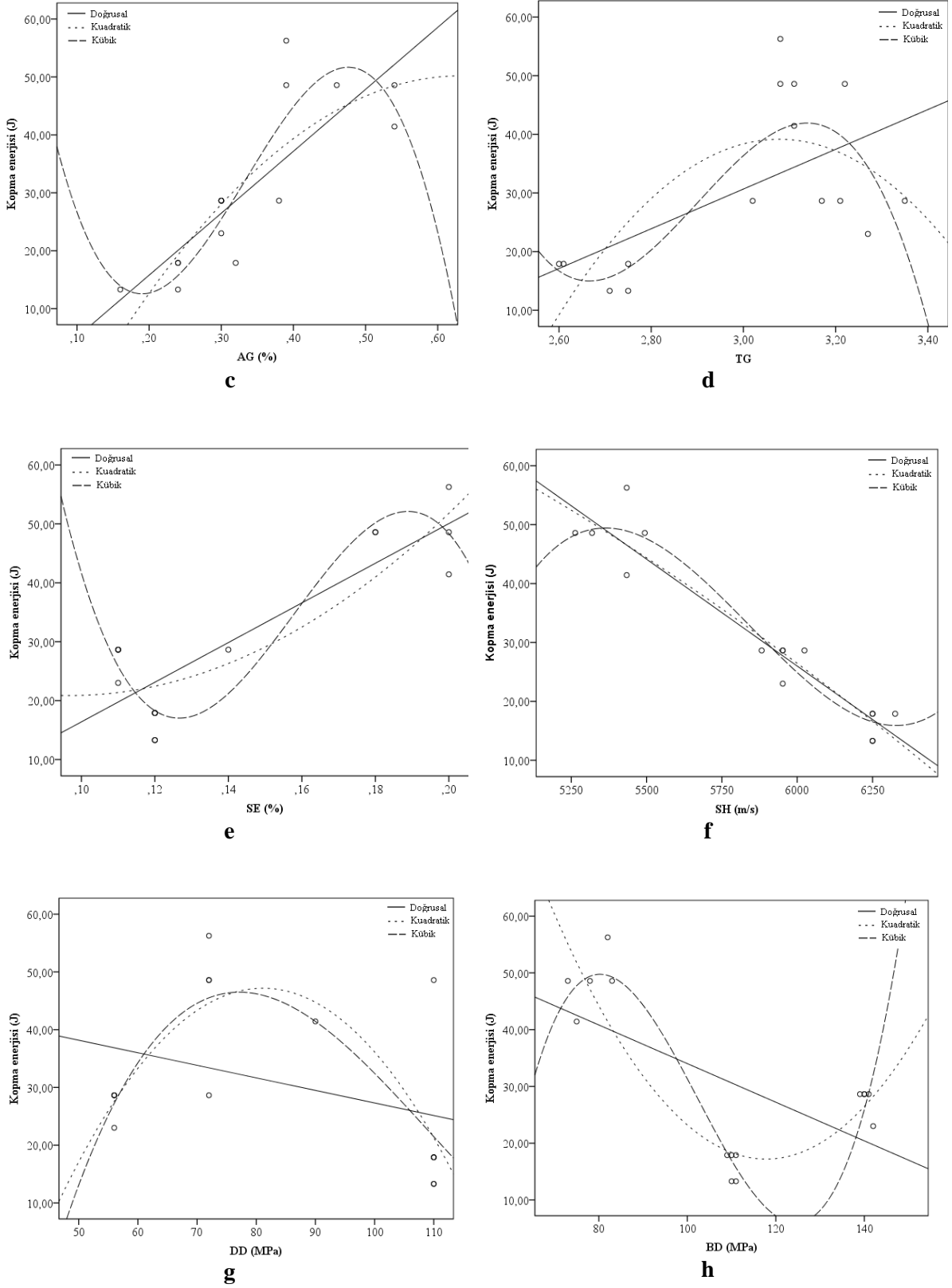


Şekil 4.12’de mermerlerin fiziko – mekanik özellikleri ile kopma enerjisi arasındaki doğrusal, kuadratik ve kübik ilişkilerin grafikleri verilmektedir. Bu grafikler, Çizelge 4.11’de verilen regresyon modellerinin grafikleridir. Bu grafikler incelendiğinde; Şekil 4.12-j ve Şekil 4.12-k grafiklerinin diğerlerinden farklı olduğu görülmektedir. Bu grafiklerde, sadece doğrusal regresyon doğrusu ile kuadratik regresyon eğrisi bulunurken; geri kalan tüm özelliklerde; doğrusal regresyon doğrusu ile kuadratik regresyon eğrisinin yanı sıra, bir de kübik regresyon eğrisi bulunmaktadır. Bunun nedeni; eğilme dayanımı ve don sonrası basınç dayanımı özellikleri ile kopma enerjisi arasındaki kübik regresyon modellerindeki kübik terimlerin istatistiksel olarak anlamsız bulunması dolayısıyla, modelden bu terimlerin çıkarılmasıdır. Modele adını veren terimlerin modelden çıkarılması durumunda modelin varlığından söz edilememektedir.

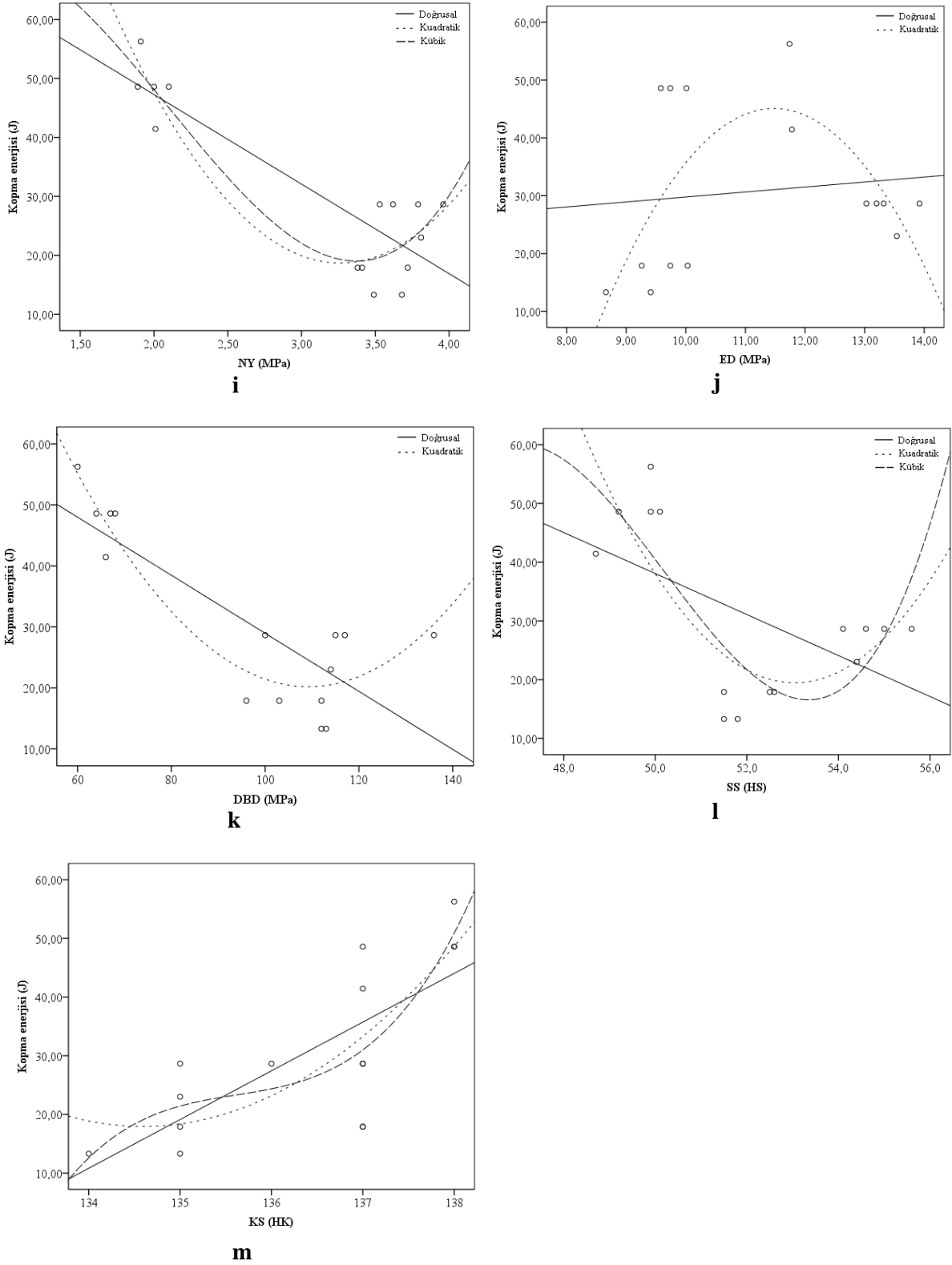
Şekil 4.12’deki grafikler incelendiğinde; gözlem değerlerinin oldukça dağınık bir dağılım gösterdiği görülmektedir. Bunun yanı sıra; gözlem sayısının arttırılabilmesi için, aynı taş türünden 5’er adet gözlem sonucu kullanıldığından; kopma enerjisi ile özgül ağırlık, görünür yoğunluk, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı ilişkilerinin incelendiği grafiklerde, 15 gözlem değerinin, 3 farklı noktada kümelenmesi gözlemlenmektedir. Bu kümelenmenin yaşanmaması için; her özelliğin belirlenmesi aşamasında, her taş türü için yapılan 5 deneyin ortalaması tek değer olarak analizlerde ve grafiklerde kullanılmalıdır. Ancak bu durumda, her taş türü için her özellikte tek değer olmak üzere; her özellik için toplam 3 değer ile regresyon analizinin yapılması, ya da regresyon grafiklerinin oluşturulması mümkün olmayacaktır.



Şekil 4.12. Kopma enerjisi ile fiziko - mekanik özellikler arasındaki ilişkilerin grafikleri: a) özgül ağırlık, b) görünür yoğunluk



**Şekil 4.12.** Kopma enerjisi ile fiziko - mekanik özellikler arasındaki ilişkilerin grafikleri (devam): c) açık gözeneklilik, d) toplam gözeneklilik, e) su emme, f) ses hızı, g) darbe dayanımı, h) basınç dayanımı



**Şekil 4.12.** Kopma enerjisi ile fiziko - mekanik özellikler arasındaki ilişkilerin grafikleri (devam): i) nokta yük dayanım indeksi, j) eğilme dayanımı k) don sonrası basınç dayanımı, l) Shore sertliği, m) Knoop sertliği

#### **4.4.1.2. Fiziko – mekanik bulgular ile çarpma dayanımı bulgularının değerlendirilmesi**

Mermerlerin çarpma dayanımı ile fiziko – mekanik özellikleri arasındaki ilişki, basit regresyon analizi ile araştırılmıştır. Bu analizle, metamorfik kökenli doğal taşların çarpma dayanımı değerleri ile fiziko – mekanik özellikleri arasındaki ilişkilerin ortaya konması hedeflenmiştir. Ancak, böyle bir genel değerlendirme için, çalışmadaki taş türü (K, M, A) istatistiksel olarak değerlendirilemeyecek kadar az olduğundan (sadece 3 adet); regresyon analizinde, bu mermerlerin deney ortalama değerleri üzerinden 3 adet veri ile değil; her bir deney verisi kullanılmak sureti ile 15'er adet veri ile analizler gerçekleştirilmiştir. Veri sayısının artırılması istatistiksel olarak anlamlılığı ve güvenilirliği arttırmasına karşın; her taş türü için 5'er adet veri ile analizin yapılması bazı özellikler açısından önüne geçilemez şekilde veri kümelenmelerine neden olmuştur.

Çizelge 4.12'de, çarpma dayanımı ile fiziko – mekanik özellikler arasındaki ilişkiyi gösteren doğrusal, kuadratik ve kübik regresyon modelleri verilmektedir. Bu modellerin F değerleri, anlamlılık düzeyleri ve belirlilik katsayıları ( $R^2$ ) da aynı çizelgede bulunmaktadır. Ayrıca, modeldeki katsayıların anlamlılıkları da tek tek test edilmiştir. Hem katsayıların hem de modelin anlamlı çıktığı durumlardaki regresyon modelleri Çizelge 4.12'de verilirken; katsayıların anlamsız çıktığı modellere çizelgede yer verilmemiştir. Modellerin anlamlılıkları incelendiğinde; özgül ağırlık özelliğinin (ÖA) kuadratik ( $p = 0,093$ ) ve kübik ( $p = 0,178$ ) modelleri, görünür yoğunluk özelliğinin (GY) doğrusal ( $p = 0,200$ ) modeli ve darbe dayanımı özelliğinin (DD) doğrusal ( $p = 0,168$ ) modelinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı ( $p > 0,05$ ) tespit edilmiştir. Bu özelliklerin diğer modelleri incelendiğinde ise; modellerin anlamlı çıktığı ( $p < 0,05$ ) görülmektedir. Sadece eğilme dayanımı (ED) özelliğinin doğrusal ( $p = 0,634$ ) ve kuadratik ( $p = 0,064$ ) modellerinin tümü anlamsız çıkmıştır. Bu bağlamda, modellerin %95 değil de; %90 güven seviyesinde oluşturulduğu düşünülürse; özgül ağırlığın kuadratik modeli ( $0,093 < 0,1$ ) ve eğilme dayanımının kuadratik modeli ( $0,064 < 0,1$ ) de anlamlı çıkacaktır.

Modeller katsayı anlamlılığı açısından incelendiğinde; model katsayılarının anlamsız çıkması, iki farklı sonucu beraberinde getirmiştir. Bunlardan ilki, o modele adını veren terimin katsayısının anlamsız çıkması durumudur. Bu durumun karşılaşıldığı

özellikler; eğilme dayanımı (ED) ve don sonrası basınç dayanımı (DBD) olmuştur. Eğilme dayanımı özelliğinin ve don sonrası basınç dayanımı özelliğinin kübik regresyon modellerinin kübik terimlerinin ((ED)<sup>3</sup> ve (DBD)<sup>3</sup>) katsayıları istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur. Bu nedenle, Çizelge 4.12’de bu iki özelliğin kübik modelleri bulunmamaktadır. Modeller katsayı anlamlılığı açısından incelendiğinde model katsayılarının anlamsız çıkmasının ikinci sonucu ise; modelde yer alan terimlerden modele adını veren terim dışındaki bir terimin katsayısının anlamsız bulunmasıdır. Bu durumun karşılaşıldığı tek bir özellik olmuştur ve o da, nokta yük dayanım indeksi (NY)’dir. Yani, nokta yük dayanım indeksi ile çarpma dayanımı arasındaki regresyon modelleri incelendiğinde (NY)<sup>2</sup> teriminin katsayısı istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur. Bu nedenle, kübik regresyon denkleminde bu terim yer almamaktadır.

Belirlilik katsayısı değerlerinin 1’e yaklaşması, incelenen iki özellik arasındaki ilişkinin kuvvetliliğinin artması anlamına gelmektedir. Bu bağlamda, veriler incelendiğinde; çarpma dayanımı ile en kuvvetli ilişkinin ses hızı arasında olduğu; en zayıf ilişkinin ise, eğilme dayanımı arasında olduğu görülmüştür. Yani, çarpma dayanımı bağımlı değişkeni ile ses hızı bağımsız değişkeni düşünüldüğünde; doğrusal model için, çarpma dayanımındaki değişimin % 90,6’sı ses hızı ile açıklanabilmektedir. Çarpma dayanımı bağımlı değişkeni ile eğilme dayanımı bağımsız değişkeni düşünüldüğünde ise; 1’e en yakın belirlilik katsayısı değeri kuadratik modelde olduğu için, kuadratik model üstünden sonuç yorumlandığında; çarpma dayanımındaki değişimin % 36,8’i eğilme dayanımı ile açıklanabilmektedir.

**Çizelge 4.12.** Fiziko – mekanik özellikler ile çarpma dayanımı arasındaki ilişkiler

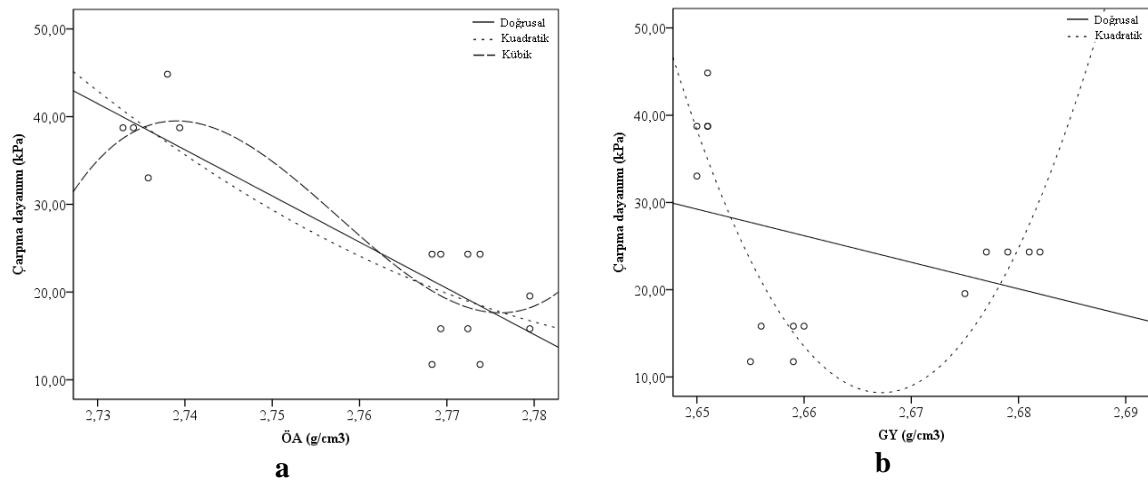
Özellik	Model denklemleri	F değeri	Anlamlılık düzeyi	Belirlilik katsayısı (R <sup>2</sup> )
ÖA (g/cm <sup>3</sup> )	çarpma dayanımı (kPa) = 1480 - 527,0 (ÖA)	45,936	0,000	0,779
	çarpma dayanımı (kPa) = 4590 - 2786 ÖA + 410 (ÖA) <sup>2</sup>	20,250	0,093	0,784
	çarpma dayanımı (kPa) = - 12530160 + 13640911 (ÖA) - 4949741 (ÖA) <sup>2</sup> + 598653 (ÖA) <sup>3</sup>	15,580	0,178	0,806
GY (g/cm <sup>3</sup> )	çarpma dayanımı (kPa) = 839,045 - 304,458 (GY)	1,826	0,200	0,123
	çarpma dayanımı (kPa) = 692783 - 519390 GY + 97350 (GY) <sup>2</sup>	86,010	0,000	0,726
	-	-	-	-
AG (%)	çarpma dayanımı (kPa) = - 1,868 + 80,365 (AG)	25,673	0,000	0,664
	çarpma dayanımı (kPa) = - 22,745 + 205,597 (AG) - 170,951 (AG) <sup>2</sup>	14,399	0,001	0,706
	çarpma dayanımı (kPa) = 64,369 - 655,821 (AG) + 2455,316 (AG) <sup>2</sup> - 2479,471 (AG) <sup>3</sup>	14,436	0,000	0,797
TG (%)	çarpma dayanımı (kPa) = - 52,763 + 26,05 (TG)	7,271	0,018	0,359
	çarpma dayanımı (kPa) = - 890,187 + 598,124 (TG) - 97,012 (TG) <sup>2</sup>	6,600	0,012	0,524
	çarpma dayanımı (kPa) = 9429 - 9844 (TG) + 3412 (TG) <sup>2</sup> - 391,5 (TG) <sup>3</sup>	6,930	0,007	0,654
SE (%)	çarpma dayanımı (kPa) = - 10,267 + 250,396 (SE)	36,638	0,000	0,738
	çarpma dayanımı (kPa) = 40,362 - 445,906 (SE) + 2249,511 (SE) <sup>2</sup>	20,838	0,000	0,755
	çarpma dayanımı (kPa) = 803,8 - 16030 (SE) + 105675 (SE) <sup>2</sup> - 223281 (SE) <sup>3</sup>	31,590	0,000	0,896
SH (m/s)	çarpma dayanımı (kPa) = 185,346 - 0,027 (SH)	126,037	0,000	0,906
	çarpma dayanımı (kPa) = - 3,553 + 0,038 (SH) - 0,000006 (SH) <sup>2</sup>	59,980	0,000	0,909
	çarpma dayanımı (kPa) = - 10469 + 5,451 (SH) - 0,000937 (SH) <sup>2</sup> + 0,000000 (SH) <sup>3</sup>	44,580	0,000	0,924
DD (MPa)	çarpma dayanımı (kPa) = 40,017 - 0,173 (DD)	2,137	0,168	0,141
	çarpma dayanımı (kPa) = - 113,243 + 3,732 (DD) - 0,023 (DD) <sup>2</sup>	6,787	0,011	0,531
	çarpma dayanımı (kPa) = - 260,8 + 9,61 (DD) - 0,0983 (DD) <sup>2</sup> + 0,000310 (DD) <sup>3</sup>	4,250	0,032	0,537

**Çizelge 4.12.** Fiziko – mekanik özellikler ile çarpma dayanımı arasındaki ilişkiler (devam)

Özellik	Model	F değeri	Anlamlılık düzeyi	Belirlilik Katsayısı (R <sup>2</sup> )
<b>BD</b> (MPa)	çarpma dayanımı (kPa) = 52,647 - 0,248 (BD)	7,399	0,018	0,363
	çarpma dayanımı (kPa) = 214,199 - 3,390 (BD) + 0,014 (BD) <sup>2</sup>	23,806	0,000	0,799
	çarpma dayanımı (kPa) = - 693,9 + 23,26 (BD) - 0,2382 (BD) <sup>2</sup> + 0,000776 (BD) <sup>3</sup>	34,520	0,000	0,904
<b>NY</b> (MPa)	çarpma dayanımı (kPa) = 60,305 - 11,29 (NY)	35,359	0,000	0,731
	çarpma dayanımı (kPa) = 164,145 - 91,159 (NY) + 14,043 (NY) <sup>2</sup>	32,409	0,000	0,844
	çarpma dayanımı (kPa) = 125,531 - 49,863 (NY) + 1,54 (NY) <sup>3</sup>	32,817	0,000	0,847
<b>ED</b> (MPa)	çarpma dayanımı (kPa) = 16,736 + 0,783 (ED)	0,237	0,634	0,018
	çarpma dayanımı (kPa) = - 390,008 + 74,149 (ED) - 3,224 (ED) <sup>2</sup>	3,495	0,064	0,368
	-	-	-	-
<b>DBD</b> (MPa)	çarpma dayanımı (kPa) = 59,457 - 0,353 DBD	22,760	0,000	0,636
	çarpma dayanımı (kPa) = 147,728 - 2,393 (DBD) + 0,011 (DBD) <sup>2</sup>	34,787	0,000	0,853
	-	-	-	-
<b>SS</b> (HS)	çarpma dayanımı (kPa) = 156,757 - 2,520 (SS)	4,873	0,046	0,273
	çarpma dayanımı (kPa) = 4307,028 - 161,897 (SS) + 1,527 (SS) <sup>2</sup>	9,046	0,004	0,601
	çarpma dayanımı (kPa) = - 33559 + 2023 (SS) - 40,44 (SS) <sup>2</sup> + 0,2685 (SS) <sup>3</sup>	6,310	0,010	0,632
<b>KS</b> (HK)	çarpma dayanımı (kPa) = - 835,448 + 6,312 (KS)	17,076	0,001	0,568
	çarpma dayanımı (kPa) = 34053 - 506,2 KS + 1,882 (KS) <sup>2</sup>	9,980	0,003	0,624
	çarpma dayanımı (kPa) = - 3087137 + 68266 (KS) - 503,2 (KS) <sup>2</sup> + 1,236 (KS) <sup>3</sup>	7,420	0,005	0,669
<p><b>ÖA:</b> Özgül Ağırlık, <b>GY:</b> Gerçek Yoğunluk, <b>AG:</b> Açık Gözeneklilik, <b>TG:</b> Toplam Gözeneklilik, <b>SE:</b> Atmosfer Basıncında Su Emme, <b>SH:</b> Ses Hızı, <b>DD:</b> Darbe Dayanımı, <b>BD:</b> Tek Eksenli Basınç Dayanımı, <b>NY:</b> Nokta Yük Dayanım İndeksi, <b>ED:</b> Sabit Moment Altında Eğilme Dayanımı, <b>DBD:</b> Don Sonrası Basınç Dayanımı, <b>SS:</b> Shore Sertliği, <b>KS:</b> Knoop Sertliği</p>				

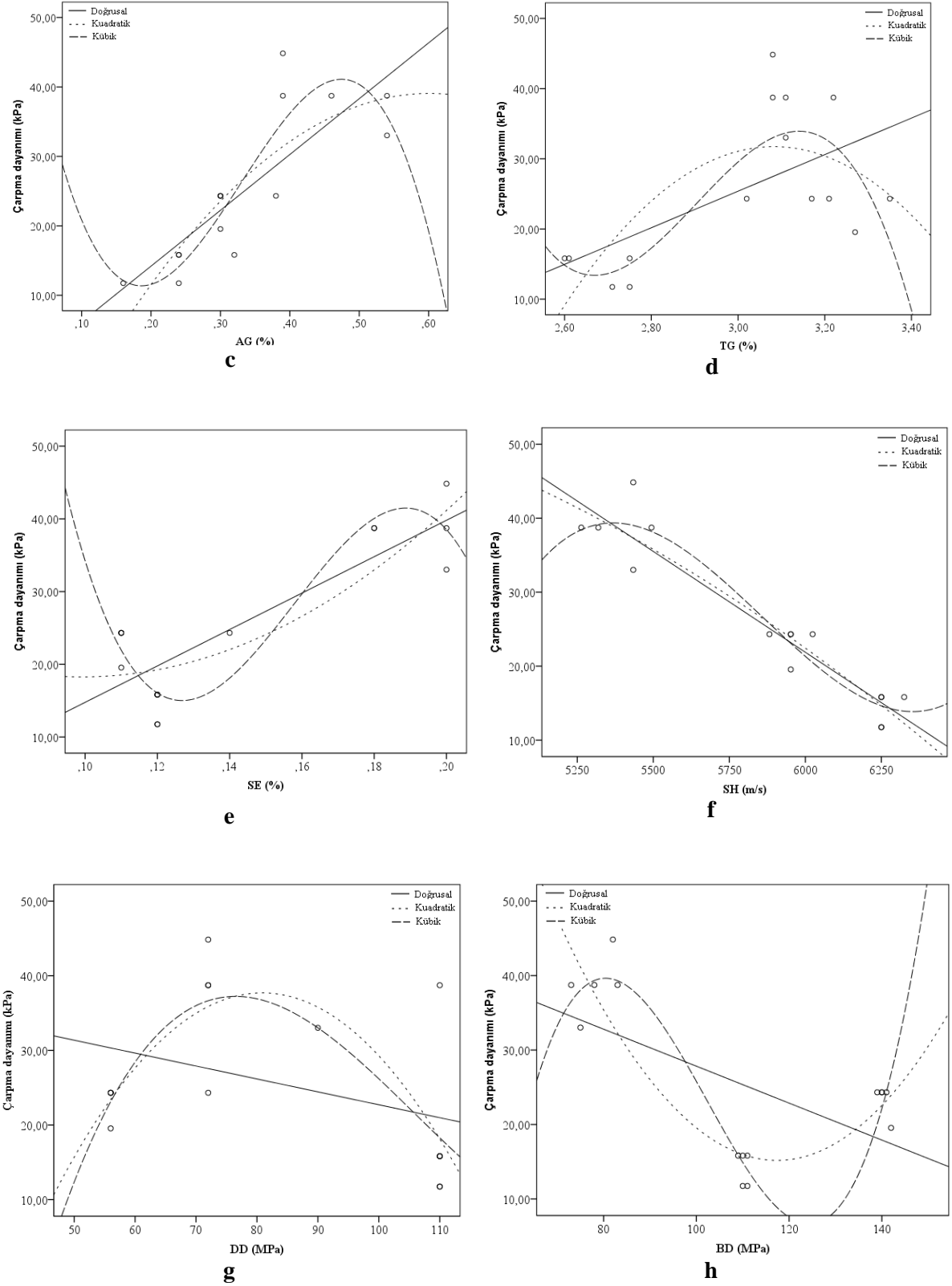
Şekil 4.13’de mermerlerin fiziko – mekanik özellikleri ile çarpma dayanımı arasındaki doğrusal, kuadratik ve kübik ilişkilerin grafikleri verilmektedir. Bu grafikler, Çizelge 4.12’de verilen regresyon modellerinin grafikleridir. Bu grafikler incelendiğinde; Şekil 4.13-b, Şekil 4.13-j ve Şekil 4.13-k grafiklerinin diğerlerinden farklı olduğu görülmektedir. Görünür yoğunluk, eğilme dayanımı ve don sonrası basınç dayanımı ile çarpma dayanımı arasındaki kübik regresyon modellerindeki kübik terimlerin  $((GY)^3$ ,  $(ED)^3$  ve  $(DBD)^3$ ) istatistiksel olarak anlamsız bulunması nedeniyle, kübik modellerden bu terimlerin çıkarılması sonucunda; modele adını veren terimlerin modelden çıkarılmasıyla model de geçerliliğini yitirmiştir.

Şekil 4.13’deki grafiklerde; çarpma dayanımı değerlerinin Şekil 4.12’deki kopma enerjisi değerleri gibi oldukça dağınık bir dağılım gösterdiği görülmektedir. Bunun yanı sıra; gözlem sayısının artırılabilmesi için; kopma enerjisi verilerine uygulanan yöntem çarpma dayanımı verilerine de uygulanmıştır. Aynı taş türü için 5’er adet gözlem sonucu kullanıldığından; çarpma dayanımı ile özgül ağırlık, görünür yoğunluk, ses hızı, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve nokta yük dayanım indeksi ilişkilerinin incelendiği grafiklerde, 15 gözlem değerinin 3 farklı noktada kümelenmesi gözlemlenmektedir. Bu kümelenmenin yaşanmaması için; her özelliğin belirlenmesi aşamasında, her taş türü için yapılan 5 deneyin ortalaması tek değer olarak analizlerde ve grafiklerde kullanılmalıdır. Ancak bu durumda, her taş türü için her özellikte tek değer olmak üzere; her özellik için toplam 3 değer ile regresyon analizinin yapılması, ya da regresyon grafiklerinin oluşturulması mümkün olmayacaktır.

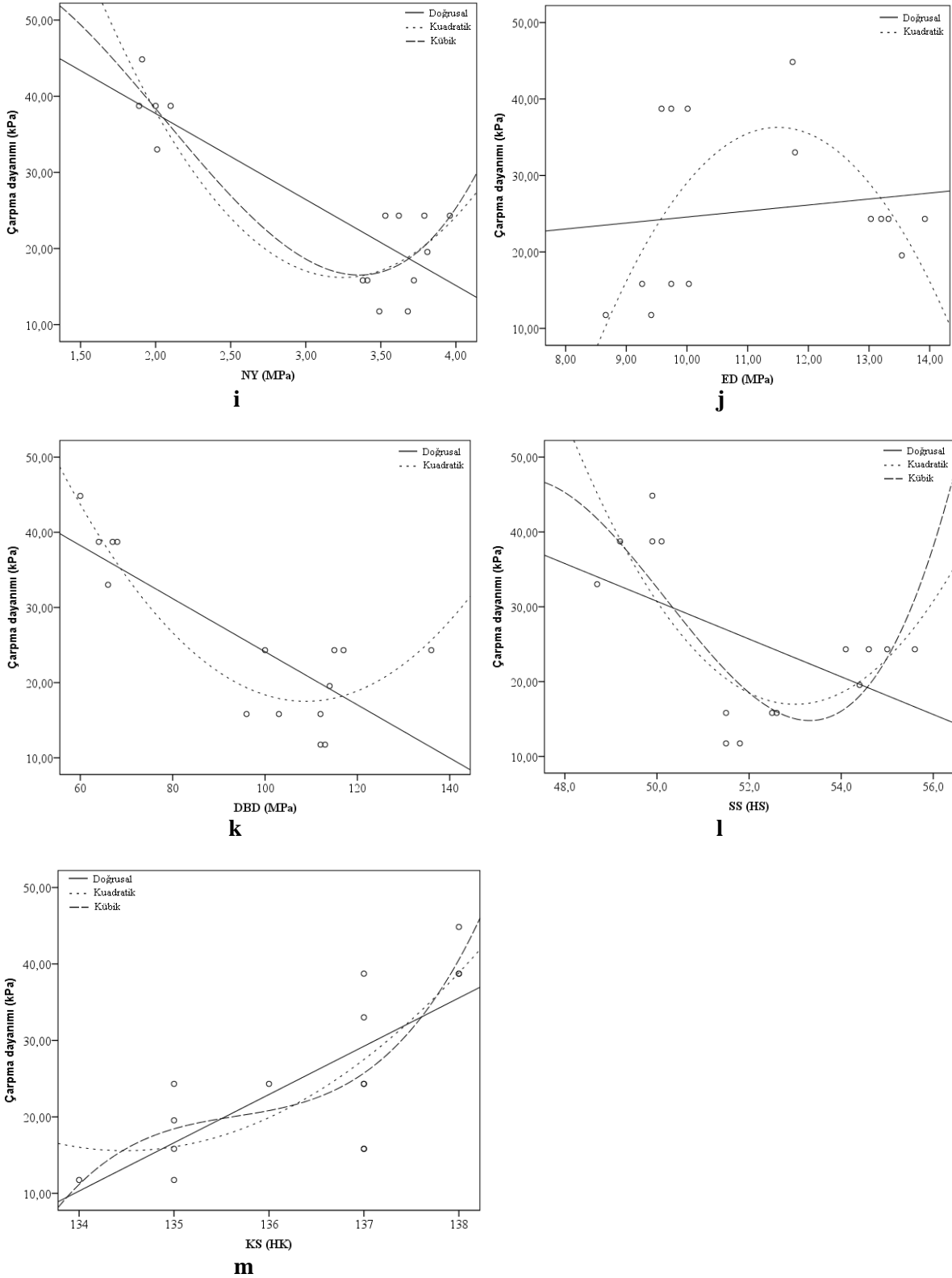


**Şekil 4.13.** Çarpma dayanımı ile fiziko - mekanik özellikler arasındaki ilişkilerin grafikleri: a) özgül ağırlık, b) görünür yoğunluk





**Şekil 4.13.** Çarpma dayanımı ile fiziko - mekanik özellikler arasındaki ilişkilerin grafikleri (devam): c) açık gözeneklilik, d) toplam gözeneklilik, e) su emme, f) ses hızı, g) darbe dayanımı, h) basınç dayanımı



**Şekil 4.13.** Çarpma dayanımı ile fiziko - mekanik özellikler arasındaki ilişkilerin grafikleri (devam): i) nokta yük dayanım indeksi, j) eğilme dayanımı k) don sonrası basınç dayanımı, l) Shore sertliği, m) Knoop sertliği

#### 4.4.2. Varyans analizi ve çoklu karşılaştırma testleri

İkiden fazla sayıdaki ana kütlede seçilen örneklem ortalamalarını karşılaştırmak; diğer bir deyişle, ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığını belirlemek için yapılan analizlere *varyans analizi* denilmektedir. Varyans analizinde; F-testi, test istatistiği olarak kullanılmaktadır. Ortalamalar arasındaki farkları ortaya koyan yöntemlerden birisi de, t- testi (30 gözlemden az veri setleri için) olmakla birlikte; t-testi sadece iki örneklem ortalamasının kıyaslanmasında kullanılabilir. İkiden fazla örneklem ortalamaları kıyaslanırken; örneklem ikişerli gruplanarak, her ikişerli grup ayrı ayrı t-testine tabii tutulup istatistiksel olarak örneklem ortalamalarındaki farklılıklar ortaya konabilmektedir. Ancak, çok sayıda analiz gerçekleştirilerek sonuca ulaşmak; hem analiz yapan birey için zaman alıcı bir işlem olmakta; hem de her analizden gelen hata terimi nedeniyle, tüm analizin toplam hata değeri artmaktadır. İkiden fazla örneklemin ortalamaları arasında kıyas yapılacağında; bütün bu sakıncaları ortadan kaldırmak için, ortalamalar arasında anlamlı bir farka sahip olup olmadığını çözümlen tek bir test olan varyans analizi kullanımı tercih edilmektedir (Gürsakar, 1998). Bir değişkenin birden fazla parametreye ve/veya faktöre bağlı olduğu durumlarda kullanılan varyans analizi, mühendislik yaklaşımı ile değerlendirildiğinde daha da anlamlı hale gelen istatistiksel bir analiz yöntemi olmaktadır (Gündüz ve Saruışık, 1998).

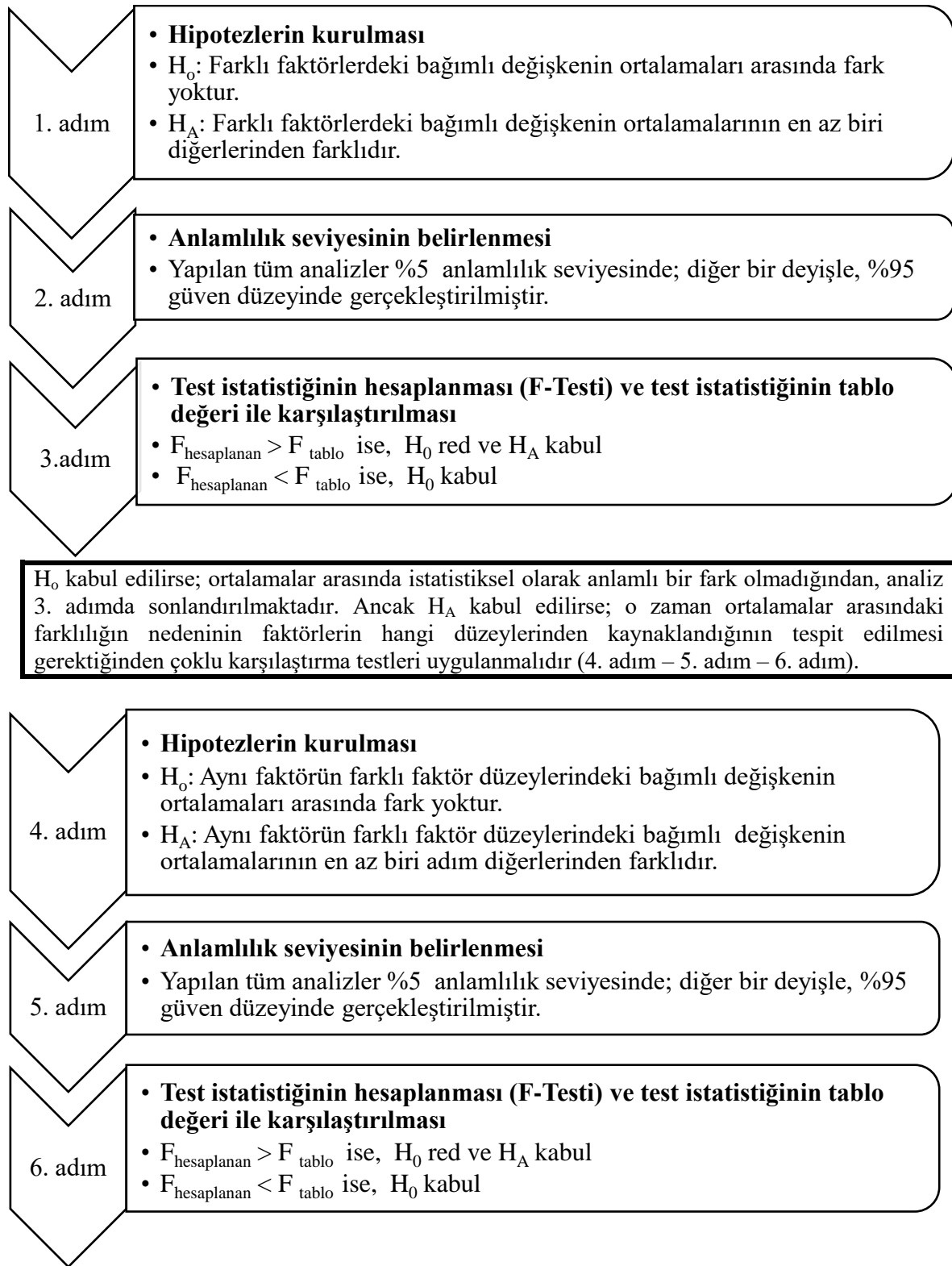
Varyans analizinde amaç, bağımlı değişkendeki değişimin kaynağını araştırmaktır. Varyans analizinde; bağımsız değişkenlere *faktör*, bağımsız değişkenlerin aldığı değerlere ise *faktör düzeyleri* denmektedir (Ünver ve Gamgam, 1996). Bu çalışmada; bağımlı değişkenler; kopma enerjisi, çarpma dayanımı ve ses hızı iken; faktörler; taş türü, kalınlık ve koşullandırma şartıdır. Faktör düzeyleri ise; taş türü için, Kemalpaşa Beyaz mermeri (K), Muğla Beyaz mermeri (M) ve Afyon Şeker mermeri (A); kalınlık için, 1 cm, 2 cm ve 3 cm; koşullandırma şartı için ise, normal koşul (N), donma – çözülme koşulu (D), termal şok koşulu (T)'dur.

Ana kütlede seçilen örneklem üzerinden ana kütlede istatistiksel olarak incelenmesi işlemi, ana kütlede parametreleri hakkında ortaya atılan iddialar olarak tanımlanan hipotez testleri ile gerçekleştirilmektedir. Hipotez testleri ile; yokluk hipotezi ya da sıfır hipotezi ( $H_0$ ) ve karşı hipotez ya da alternatif hipotez ( $H_a$  veya  $H_1$ ) olarak

adlandırılan ve ana kütle parametreleri hakkında tamamen karşıt görüşleri savunan iki iddiadan hangisinin doğru olduğu ortaya konmaktadır. Varyans analizinde sırasıyla; ana kütle parametreleri hakkında hipotezlerin kurulması, hipotezlerin anlamlılık seviyesinin belirlenmesi, test istatistiğinin hesaplanması (bu çalışma için; F istatistiği), test istatistiğinin tablo değeri ile karşılaştırılması ve bu karşılaştırma sonucuna göre, hangi hipotezin doğru olduğuna karar verilmesi adımları izlenmektedir. Adım adım gerçekleştirilen bu işlemler ile bağımlı değişkenin değişimine neden olan faktör ya da faktörlerin hangileri olduğu ortaya konmaktadır. Faktörlerin düzeyleri arasında farkın olduğu durumda, farklılığın hangi düzeyden kaynaklı olduğunu tespit eden istatistik çoklu karşılaştırma (post-hoc) testi olarak bilinmektedir ((Köklü vd., 2006; Roscoe, 1975), Kayri, 2009'dan). Yapılan çalışmada da bağımlı değişkenin ortalamaları arasında farklılık olan faktörlerin düzeyleri çoklu karşılaştırma testleri ile incelenmektedir. Şekil 4.14'de kopma enerjisi, çarpma dayanımı ve ses hızı bağımlı değişkenlerine uygulanan varyans analizi ve çoklu karşılaştırma testlerinin akım şeması verilmektedir. Akım şemasının ilk üç adımı varyans analizini özetlerken; son üç adımı da çoklu karşılaştırma testinin nasıl yapıldığını ortaya koymaktadır. Bu akım şemasının ilk üç adımı tüm bağımlı değişkenler için tek tek uygulanmıştır. Son üç adımı ise, bağımlı değişkenin faktörlerinde anlamlı bir fark tespit edildiğinde, değişimin kaynağının hangi düzeylerden kaynaklandığını ortaya koymak için uygulanmıştır. Diğer bir deyişle, varyans analizi sonucunda  $H_0$  hipotezinin reddedilip,  $H_A$  hipotezinin kabul edildiği durumlarda, farklılığın hangi düzey ya da düzeylerden kaynaklandığını tespit etmek üzere çoklu karşılaştırma analizi yapılmalıdır (Kayri, 2009). Her bağımlı değişken (kopma enerjisi, çarpma dayanımı ve ses hızı) için ayrı ayrı başlıklar altında, ilerleyen bölümlerde bu analizlere ve sonuçlarına yer verilmektedir.

Faktör düzeyleri arasındaki farklılığı ortaya koymak için kullanılan farklı özellikte çoklu karşılaştırma istatistiği yöntemleri bulunmaktadır. Bu yöntemlerden bazıları; eşit sayıda örneklem bulunan çalışmalar için, bazıları ise, eşit sayıda örneklem bulunmayan çalışmalar için uygundur. Ayrıca bu yöntemlerden bazıları çoklu aralık test istatistiği iken; bazıları da çoklu karşılaştırma test istatistiği olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışma kapsamında eşit sayıda örneklem olduğundan ve çoklu aralık değil; çoklu değer karşılaştırılacağından dolayı, eşit sayıda örneklem olan durumlarda kullanılan en yaygın çoklu karşılaştırma testi olan Tukey HSD yöntemi seçilerek analizler gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca tüm varyans analizleri ve çoklu karşılaştırma testleri için SPSS V21.0 paket programı kullanılmıştır.



Şekil 4.14. Varyans analizi ve çoklu karşılaştırma testi akım şeması

#### **4.4.2.1. Kopma enerjisi bulgularının değerlendirilmesi**

Mermerlerin kopma enerjisi değerine, taş türünün, numune kalınlığının ve koşullandırma şartlarının etkisi olup olmadığının araştırıldığı varyans analizinin sonucu Çizelge 4.13’de verilmektedir. Modelin belirlilik katsayısı 0,796 çıkmıştır. Bu durum; taş türü, numune kalınlığı ve koşullandırma şartı bağımsız değişkenleriyle oluşturulan modelin, kopma enerjisi bağımlı değişkeni %79,6 oranında açıklanabildiğini göstermektedir. Taş türü, numune kalınlığı ve koşullandırma şartı faktörlerinin anlamlılık düzeyleri ( $p=0,000$ ,  $p=0,000$ ,  $p=0,002$ ) incelendiğinde; anlamlılık düzeylerinin 0,05’den çok küçük olduğu görülmüştür. Bu durum, taş türüne göre, numune kalınlığına göre ve koşullandırma şartına göre, gruplarda kopma enerjisi değişkeninin ortalamalarının farkının istatistiksel olarak anlamlı olduğu anlamına gelmektedir. Diğer bir deyişle; taş türü, numune kalınlığı ve koşullandırma şartı ayrı ayrı kopma enerjisi üzerinde etkilidir.

**Çizelge 4.13.** Kopma enerjisinin (J) varyans analizi sonucu

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Anlamlılık Düzeyi (p)
Düzeltilmiş Model	12026,002	6	2004,334	83,036	0,000
Sabit Terim	43444,939	1	43444,939	1799,839	0,000
Taş Türü	4367,993	2	2183,997	90,479	0,000
Kalınlık	7331,374	2	3665,687	151,862	0,000
Koşul	326,635	2	163,318	6,766	0,002
Hata	3089,694	128	24,138		
Toplam	58560,635	135			
Düzeltilmiş Toplam	15115,696	134			

Yapılan varyans analizi ile kopma enerjisi açısından taş türü gruplarında farklılık saptandığı için, bu farklılığın çalışmada kullanılan hangi taş türünden kaynaklandığının ortaya konması gerekmektedir. Taş türü açısından, çoklu karşılaştırma yapan post hoc test sonucu, Çizelge 4.14’de verilmektedir. Çizelgede; taş türü düzeylerinin ortalamaları arasındaki farklar, standart sapmalar, anlamlılık düzeyleri ve %95 güven seviyesindeki alt ve üst sınır değerleri verilmektedir. K mermerinin, M ve A mermerine göre anlamlılık

düzeyleri ( $p=0,000$ ,  $p=0,000$ ) incelendiğinde;  $p$  değerlerinin  $0,05$ 'den çok küçük olduğu görülmüştür. Bu durumda; K mermeri ile M mermerinin ve K mermeri ile A mermerinin kopma enerjilerinin ortalamaları arasında %95 güven düzeyinde anlamlı bir fark vardır. Bu inceleme, tüm taş türleri için gerçekleştirildiğinde; K, M ve A taş türlerinin hepsi için anlamlı fark çıktığı görülmektedir. Yani, iki yönlü varyans analizinde bulunan taş türü açısından kopma enerjisi değerlerindeki istatistiksel anlamlılığın; çoklu karşılaştırma sonuçlarına göre; K – M, K – A ve M – A mermerlerinin ikili karşılaştırmasından kaynaklandığı ifade edilebilir. Taş türüne göre kopma enerjisi ortalamalarının farklı çıkmasında, üç taş türü de etkilidir.

**Çizelge 4.14.** Kopma enerjisinin taş türü değişkenine bağlı çoklu karşılaştırma analizi

(I) Taş Türü	(J) Taş Türü	Ortalama Fark (I-J)	Standart Hata	Anlamlılık Düzeyi (p)	95% Güven Aralığı	
					Alt Sınır	Üst Sınır
K	M	8,5138	1,03577	0,000	6,0577	10,9699
	A	13,8087	1,03577	0,000	11,3526	16,2648
M	K	-8,5138	1,03577	0,000	-10,9699	-6,0577
	A	5,2949	1,03577	0,000	2,8388	7,7510
A	K	-13,8087	1,03577	0,000	-16,2648	-11,3526
	M	-5,2949	1,03577	0,000	-7,7510	-2,8388

Yapılan varyans analizi ile kopma enerjisi açısından numune kalınlığı gruplarında farklılık saptandığı için, bu farklılığın çalışmada kullanılan hangi numune kalınlığından kaynaklandığının ortaya konması gerekmektedir. Numune kalınlığı açısından, çoklu karşılaştırma yapan post hoc test sonucu, Çizelge 4.15'de verilmektedir. Çizelgede; numune kalınlığı düzeylerinin ortalamaları arasındaki farklar, standart sapmalar, anlamlılık düzeyleri ve %95 güven seviyesindeki alt ve üst sınır değerleri verilmektedir. 1 cm numune kalınlığının, 2 cm ve 3 cm numune kalınlığına göre anlamlılık düzeyleri ( $p=0,000$ ,  $p=0,000$ ) incelendiğinde;  $p$  değerlerinin  $0,05$ 'den çok küçük olduğu görülmüştür. Bu durumda; 1 cm kalınlıklı numuneler ile 2 cm kalınlıklı numunelerin ve 3 cm kalınlıklı numunelerin kopma enerjilerinin ortalamaları arasında %95 güven düzeyinde anlamlı bir fark vardır. Bu inceleme tüm numune kalınlıkları için gerçekleştirildiğinde; 1 cm, 2 cm ve 3 cm kalınlığa sahip numunelerin hepsi için anlamlı fark çıktığı görülmektedir. Yani,

çoklu karşılaştırma sonuçlarına göre, iki yönlü varyans analizinde bulunan numune kalınlığı açısından kopma enerjisi değerlerindeki istatistiksel anlamlılığın; 1 cm – 2 cm ,1 cm – 3 cm ve 2 cm – 3 cm kalınlıklı numunelerin ikili karşılaştırmasından kaynaklandığı ifade edilebilir. Numune kalınlığına göre, kopma enerjisi ortalamalarının farklı çıkmasında, üç numune kalınlığı da etkilidir.

**Çizelge 4.15.** Kopma enerjisinin kalınlık değişkenine bağlı çoklu karşılaştırma analizi

(I) Kalınlık (cm)	(J) Kalınlık (cm)	Ortalama Fark (I-J)	Standart Hata	Anlamlılık Düzeyi (p)	95% Güven Aralığı	
					Alt Sınır	Üst Sınır
1	2	-5,6660	1,03577	0,000	-8,1221	-3,2099
	3	-17,6756	1,03577	0,000	-20,1317	-15,2195
2	1	5,6660	1,03577	0,000	3,2099	8,1221
	3	-12,0096	1,03577	0,000	-14,4657	-9,5535
3	1	17,6756	1,03577	0,000	15,2195	20,1317
	2	12,0096	1,03577	0,000	9,5535	14,4657

Yapılan varyans analizi ile kopma enerjisi açısından koşullandırma şartlarının gruplarında farklılık saptandığından, bu farklılığın çalışmada kullanılan hangi koşullandırma şartından kaynaklandığının ortaya konması için yapılan çoklu karşılaştırma analizi sonucu, Çizelge 4.16'da verilmektedir. Çizelgede; koşullandırma şartı düzeylerinin ortalamaları arasındaki farklar, standart sapmalar, anlamlılık düzeyleri ve %95 güven seviyesindeki alt ve üst sınır değerleri verilmektedir. D koşulunun T koşuluna göre anlamlılık düzeyi ( $p=0,767$ ) incelendiğinde; p değerinin 0,05 değerinden büyük olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda, D ve T koşullandırmalarıyla koşullandırılmış numunelerin kopma enerjileri ortalamaları arasında %95 güven düzeyinde anlamlı fark olmadığı söylenebilir. D koşulunun N koşuluna göre anlamlılık düzeyi ( $p=0,002$ ) incelendiğinde; p değerlerinin 0,05'den çok küçük olduğu görülmüştür. Bu durumda; D ve N koşulu ile koşullandırılmış numunelerin kopma enerjilerinin ortalamaları arasında %95 güven düzeyinde anlamlı bir fark vardır. D koşullu numuneler ile T koşullu numuneler arasında anlamlı bir fark çıkmazken; D koşullu numuneler ile N koşullu numuneler arasında anlamlı bir fark çıktığından, T koşulu ile N koşulunun çoklu karşılaştırma sonuçlarının da incelenmesine ihtiyaç vardır. T koşulunun N koşuluna göre anlamlılık düzeyi ( $p=0,017$ )



incelendiğinde; p değerlerinin 0,05'den küçük olduğu görülmüştür. Bu durumda; T ve N koşulu ile koşullandırılmış numunelerin kopma enerjilerinin ortalamaları arasında %95 güven düzeyinde anlamlı bir fark vardır. Sonuç olarak, koşul değişkenine bağlı çoklu karşılaştırma sonuçlarına göre; iki yönlü varyans analizinde bulunan koşullandırma şartı açısından kopma enerjisi değerlerindeki istatistiksel anlamlılığın; D ve N koşulu ile koşullandırılmış numunelerin ikili karşılaştırılmasından veya T ve N koşulu ile koşullandırılmış numunelerin ikili karşılaştırılmasından kaynaklandığı ifade edilmektedir.

**Çizelge 4.16.** Kopma enerjisinin koşul değişkenine bağlı çoklu karşılaştırma analizi

(I) Koşul (°C)	(J) Koşul (°C)	Ortalama Fark (I-J)	Standart Hata	Anlamlılık Düzeyi (p)	95% Güven Aralığı	
					Alt Sınır	Üst Sınır
D	T	-0,7200	1,03577	0,767	-3,1761	1,7361
	N	-3,6002	1,03577	0,002	-6,0563	-1,1441
T	D	0,7200	1,03577	0,767	-1,7361	3,1761
	N	-2,8802	1,03577	0,017	-5,3363	-0,4241
N	D	3,6002	1,03577	0,002	1,1441	6,0563
	T	2,8802	1,03577	0,017	0,4241	5,3363

#### **4.4.2.2. Çarpma dayanımı bulgularının değerlendirilmesi**

Mermerlerin çarpma dayanımı değerine, taş türünün, numune kalınlığının ve koşullandırma şartlarının etkisi olup olmadığının araştırıldığı varyans analizinin sonucu Çizelge 4.17'de verilmektedir. Çizelgede; taş türü düzeylerinin ortalamaları arasındaki farklar, standart sapmalar, anlamlılık düzeyleri ve %95 güven seviyesindeki alt ve üst sınır değerleri verilmektedir. Modelin belirlilik katsayısı 0,736 çıkmıştır. Bu durum; taş türü, numune kalınlığı ve koşullandırma şartı bağımsız değişkenleriyle oluşturulan modelin, çarpma dayanımı bağımlı değişkenini %73,6 oranında açıklanabildiğini göstermektedir. Taş türü, numune kalınlığı ve koşullandırma şartı faktörlerinin anlamlılık düzeyleri ( $p=0,000$ ,  $p=0,000$ ,  $p=0,000$ ) incelendiğinde; anlamlılık düzeylerinin 0,05'den çok küçük olduğu görülmüştür. Bu durum, taş türüne göre, numune kalınlığına göre ve koşullandırma şartına göre, gruplarda çarpma dayanımı ortalamalarının farkının istatistiksel olarak

anlamli olduğu anlamına gelmektedir. Diğer bir deyişle; taş türü, numune kalınlığı ve koşullandırma şartı ayrı ayrı çarpma dayanımı üzerinde etkilidir.

**Çizelge 4.17.** Çarpma dayanımının (kPa) varyans analizi sonucu

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Anlamlılık Düzeyi (p)
Düzeltilmiş Model	6254,488	6	1042,415	59,328	0,000
Sabit Terim	67294,806	1	67294,806	3830,009	0,000
Taş Türü	5437,436	2	2718,718	154,733	0,000
Kalınlık	292,701	2	146,351	8,329	0,000
Koşul	524,351	2	262,175	14,921	0,000
Hata	2249,012	128	17,570		
Toplam	75798,306	135			
Düzeltilmiş Toplam	8503,500	134			

Yapılan varyans analizi ile çarpma dayanımı açısından taş türü gruplarında farklılık saptandığı için, bu farklılığın çalışmada kullanılan hangi taş türünden kaynaklandığının ortaya konması gerekmektedir. Taş türü açısından, çoklu karşılaştırma yapan post hoc test sonucu, Çizelge 4.18’de verilmektedir. Çizelgede; taş türü düzeylerinin ortalamaları arasındaki farklar, standart sapmalar, anlamlılık düzeyleri ve %95 güven seviyesindeki alt ve üst sınır değerleri verilmektedir. K mermerinin, M ve A mermerlerine göre anlamlılık düzeyleri ( $p=0,000$ ,  $p=0,000$ ) incelendiğinde;  $p$  değerlerinin 0,05’den çok küçük olduğu görülmüştür. Bu durumda; K mermeri ile M mermerinin ve K mermeri ile A mermerinin çarpma dayanımlarının ortalamaları arasında %95 güven düzeyinde anlamlı bir fark vardır. Bu inceleme tüm taş türleri için gerçekleştirildiğinde; K, M ve A taş türlerinin hepsi için anlamlı fark çıktığı görülmektedir. Yani, iki yönlü varyans analizinde bulunan taş türü açısından çarpma dayanımı değerlerindeki istatistiksel anlamlılığın; çoklu karşılaştırma sonuçlarına göre, K – M, K – A ve M – A mermerlerinin ikili karşılaştırmasından kaynaklandığı ifade edilebilir. Taş türüne göre kopma enerjisi ortalamalarının farklı çıkmasında, üç taş türü de etkilidir.

**Çizelge 4.18.** Çarpma dayanımının taş türü değişkenine bağlı çoklu karşılaştırma analizi

(I) Taş Türü	(J) Taş Türü	Ortalama Fark (I-J)	Standart Hata	Anlamlılık Düzeyi (p)	95% Güven Aralığı	
					Alt Sınır	Üst Sınır
K	M	8,9469	0,88369	0,000	6,8514	11,0424
	A	15,4831	0,88369	0,000	13,3876	17,5786
M	K	-8,9469	0,88369	0,000	-11,0424	-6,8514
	A	6,5362	0,88369	0,000	4,4407	8,6317
A	K	-15,4831	0,88369	0,000	-17,5786	-13,3876
	M	-6,5362	0,88369	0,000	-8,6317	-4,4407

Yapılan varyans analizi ile çarpma dayanımı açısından numune kalınlığı gruplarında farklılık saptandığı için, bu farklılığın çalışmada kullanılan hangi numune kalınlığından kaynaklandığının ortaya konması gerekmektedir. Numune kalınlığı açısından, çoklu karşılaştırma yapan post hoc test sonucu, Çizelge 4.19'da verilmektedir. Çizelgede; numune kalınlığı düzeylerinin ortalamaları arasındaki farklar, standart sapmalar, anlamlılık düzeyleri ve %95 güven seviyesindeki alt ve üst sınır değerleri verilmektedir. 1 cm numune kalınlığının, 2 cm numune kalınlığına göre anlamlılık düzeyi ( $p=0,001$ ) incelendiğinde; p değerinin 0,05 değerinden çok küçük olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda, 1 cm ve 2 cm kalınlıklı numunelerin çarpma dayanım ortalamaları arasında %95 güven düzeyinde anlamlı fark olduğu söylenebilir. 1 cm numune kalınlığının, 3 cm numune kalınlığına göre anlamlılık düzeyi ( $p=0,820$ ) incelendiğinde; p değerlerinin 0,05'den büyük olduğu görülmüştür. Bu durumda; 1 cm ve 3 cm kalınlıklı numunelerin çarpma dayanım ortalamaları arasında %95 güven düzeyinde anlamlı fark olmadığı söylenebilir. 1 cm kalınlıklı numuneler ile 2 cm kalınlıklı numuneler arasında anlamlı bir fark çıkarken; 1 cm kalınlıklı numuneler ile 3 cm kalınlıklı numuneler arasında anlamlı bir fark çıkmadığından, 2 cm kalınlıklı ve 3 cm kalınlıklı numunelerin çarpma dayanımlarının çoklu karşılaştırma sonuçlarının da incelenmesine ihtiyaç vardır. 2 cm kalınlıklı numunelerin 3 cm kalınlıklı numunelere göre anlamlılık düzeyi ( $p=0,005$ ) incelendiğinde; p değerlerinin 0,05'den çok küçük olduğu görülmüştür. Bu durumda; 2 cm ve 3 cm kalınlıklı numunelerin kopma enerjilerinin ortalamaları arasında %95 güven düzeyinde anlamlı bir fark vardır. Sonuç olarak, numune kalınlığı değişkenine bağlı çoklu karşılaştırma sonuçlarına göre; iki yönlü varyans analizinde bulunan numune kalınlığı

açısından çarpma dayanımı değerlerindeki istatistiksel anlamlılığın; 1 cm ve 2 cm kalınlıklı numunelerin ikili karşılaştırılmasından veya 2 cm ve 3 cm kalınlıklı numunelerin ikili karşılaştırılmasından kaynaklandığı öngörülmektedir.

**Çizelge 4.19.** Çarpma dayanımının kalınlık değişkenine bağlı çoklu karşılaştırma analizi

(I) Kalınlık (cm)	(J) Kalınlık (cm)	Ortalama Fark (I-J)	Standart Hata	Anlamlılık Düzeyi (p)	95% Güven Aralığı	
					Alt Sınır	Üst Sınır
1	2	3,3547	0,88369	0,001	1,2592	5,4502
	3	0,5300	0,88369	0,820	-1,5655	2,6255
2	1	-3,3547	0,88369	0,001	-5,4502	-1,2592
	3	-2,8247	0,88369	0,005	-4,9202	-0,7292
3	1	-0,5300	0,88369	0,820	-2,6255	1,5655
	2	2,8247	0,88369	0,005	0,7292	4,9202

Yapılan varyans analizi ile çarpma dayanımı açısından koşullandırma şartlarının gruplarında farklılık saptandığından, bu farklılığın çalışmada kullanılan hangi koşullandırma şartından kaynaklandığının ortaya konması için yapılan çoklu karşılaştırma analiz sonucu, Çizelge 4.20’de verilmektedir. Çizelgede; koşullandırma şartı düzeylerinin ortalamaları arasındaki farklar, standart sapmalar, anlamlılık düzeyleri ve %95 güven seviyesindeki alt ve üst sınır değerleri verilmektedir. D koşulunun T koşuluna göre anlamlılık düzeyi ( $p=0,535$ ) incelendiğinde; p değerinin 0,05 değerinden büyük olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda, D ve T koşullandırmalarıyla koşullandırılmış numunelerin çarpma dayanımı ortalamaları arasında %95 güven düzeyinde anlamlı fark olmadığı söylenebilir. D koşulunun N koşuluna göre anlamlılık düzeyi ( $p=0,000$ ) incelendiğinde; p değerlerinin 0,05’den çok küçük olduğu görülmüştür. Bu durumda; D ve N koşulu ile koşullandırılmış numunelerin çarpma dayanımlarının ortalamaları arasında %95 güven düzeyinde anlamlı bir fark vardır. D koşullu numuneler ile T koşullu numuneler arasında anlamlı bir fark çıkmazken; D koşullu numuneler ile N koşullu numuneler arasında anlamlı bir fark çıktığından, T koşulu ile N koşulunun ikili karşılaştırma sonuçlarının da incelenmesine ihtiyaç vardır. T koşulunun N koşuluna göre anlamlılık düzeyi ( $p=0,000$ ) incelendiğinde; p değerlerinin 0,05’den çok küçük olduğu görülmüştür. Bu durumda; T ve N koşulu ile koşullandırılmış numunelerin çarpma dayanımlarının ortalamaları arasında

%95 güven düzeyinde anlamlı bir fark vardır. Sonuç olarak, koşul değişkenine bağlı çoklu karşılaştırma sonuçlarına göre; iki yönlü varyans analizinde bulunan koşullandırma şartı açısından çarpma dayanımı değerlerindeki istatistiksel anlamlılığın; D ve N koşulu ile koşullandırılmış numunelerin ikili karşılaştırılmasından veya T ve N koşulu ile koşullandırılmış numunelerin ikili karşılaştırılmasından kaynaklandığı ifade edilmektedir.

**Çizelge 4.20.** Çarpma dayanımının koşul değişkenine bağlı çoklu karşılaştırma analizi

(I) Koşul (°C)	(J) Koşul (°C)	Ortalama Fark (I-J)	Standart Hata	Anlamlılık Düzeyi (p)	95% Güven Aralığı	
					Alt Sınır	Üst Sınır
D	T	-0,9440	0,88369	0,535	-3,0395	1,1515
	N	-4,5720	0,88369	0,000	-6,6675	-2,4765
T	D	0,9440	0,88369	0,535	-1,1515	3,0395
	N	-3,6280	0,88369	0,000	-5,7235	-1,5325
N	D	4,5720	0,88369	0,000	2,4765	6,6675
	T	3,6280	0,88369	0,000	1,5325	5,7235

#### **4.4.2.3. Ses hızı bulgularının değerlendirilmesi**

Mermerlerin ses hızı değerine, taş türünün, numune kalınlığının ve koşullandırma şartlarının etkisi olup olmadığının araştırıldığı varyans analizinin sonucu Çizelge 4.21’de verilmektedir. Çizelgede; taş türü düzeylerinin ortalamaları arasındaki farklar, standart sapmalar, anlamlılık düzeyleri ve %95 güven seviyesindeki alt ve üst sınır değerleri verilmektedir. Modelin belirlilik katsayısı 0,885 çıkmıştır. Bu durum; taş türü, numune kalınlığı ve koşullandırma şartı bağımsız değişkenleriyle oluşturulan modelin, ses hızı bağımlı değişkenini %88,5 oranında açıklanabildiğini göstermektedir. Taş türü, numune kalınlığı ve koşullandırma şartı faktörlerinin anlamlılık düzeyleri (p=0,000, p=0,000, p=0,000) incelendiğinde; anlamlılık düzeylerinin 0,05’den çok küçük olduğu görülmüştür. Bu durum, taş türüne göre, numune kalınlığına göre ve koşullandırma şartına göre, gruplarda ses hızı ortalamalarının farkının istatistiksel olarak anlamlı olduğu anlamına gelmektedir. Diğer bir deyişle; taş türü, numune kalınlığı ve koşullandırma şartı ayrı ayrı ses hızı üzerinde etkilidir.

**Çizelge 4.21.** Ses hızının (m/s) varyans analizi sonucu

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Anlamlılık Düzeyi (p)
Düzeltilmiş Model	80336322,222	6	13389387,037	164,430	0,000
Sabit Terim	2752438832,067	1	2752438832,067	33801,635	0,000
Taş Türü	59479569,244	2	29739784,622	365,223	0,000
Kalınlık	9455376,133	2	4727688,067	58,059	0,000
Koşul	11401376,844	2	5700688,422	70,008	0,000
Hata	10422932,711	128	81429,162		
Toplam	2843198087,000	135			
Düzeltilmiş Toplam	90759254,933	134			

Yapılan varyans analizi ile ses hızı açısından taş türü gruplarında farklılık saptandığı için, bu farklılığın çalışmada kullanılan hangi taş türünden kaynaklandığının ortaya konması gerekmektedir. Taş türü açısından, çoklu karşılaştırma yapan post hoc test sonucu, Çizelge 4.22’de verilmektedir. Çizelgede; taş türü düzeylerinin ortalamaları arasındaki farklar, standart sapmalar, anlamlılık düzeyleri ve %95 güven seviyesindeki alt ve üst sınır değerleri verilmektedir. K mermerinin, M ve A mermerlerine göre anlamlılık düzeyleri ( $p=0,000$ ,  $p=0,000$ ) incelendiğinde; p değerlerinin 0,05’den çok küçük olduğu görülmüştür. Bu durumda; K mermeri ile M mermerinin ve K mermeri ile A mermerinin ses hızlarının ortalamaları arasında %95 güven düzeyinde anlamlı bir fark vardır. Bu inceleme tüm taş türleri için gerçekleştirildiğinde; K, M ve A taş türlerinin hepsi için anlamlı fark çıktığı görülmektedir. Yani, iki yönlü varyans analizinde bulunan taş türü açısından ses hızı değerlerindeki istatistiksel anlamlılığın; çoklu karşılaştırma sonuçlarına göre, K – M, K – A ve M – A mermerlerinin karşılaştırmasından kaynaklandığı ifade edilebilir. Taş türüne göre, ses hızı ortalamalarının farklı çıkmasında, üç taş türü de etkilidir.

**Çizelge 4.22.** Ses hızının taş türü değişkenine bağlı çoklu karşılaştırma analizi

(I) Taş Türü	(J) Taş Türü	Ortalama Fark (I-J)	Standart Hata	Anlamlılık Düzeyi (p)	95% Güven Aralığı	
					Alt Sınır	Üst Sınır
K	M	-1082,18	60,159	0,000	-1224,83	-939,52
	A	-1591,96	60,159	0,000	-1734,61	-1449,30
M	K	1082,18	60,159	0,000	939,52	1224,83
	A	-509,78	60,159	0,000	-652,43	-367,12
A	K	1591,96	60,159	0,000	1449,30	1734,61
	M	509,78	60,159	0,000	367,12	652,43

Yapılan varyans analizi ile ses hızı açısından numune kalınlığı gruplarında farklılık saptandığı için, bu farklılığın çalışmada kullanılan hangi numune kalınlığından kaynaklandığının ortaya konması gerekmektedir. Numune kalınlığı açısından, çoklu karşılaştırma yapan post hoc test sonucu, Çizelge 4.23’de verilmektedir. Çizelgede; numune kalınlığı düzeylerinin ortalamaları arasındaki farklar, standart sapmalar, anlamlılık düzeyleri ve %95 güven seviyesindeki alt ve üst sınır değerleri verilmektedir. 1 cm numune kalınlığının, 2 cm ve 3 cm numune kalınlığına göre anlamlılık düzeyleri ( $p=0,000$ ,  $p=0,000$ ) incelendiğinde; p değerlerinin 0,05’den çok küçük olduğu görülmüştür. Bu durumda; 1 cm kalınlıklı numuneler ile 2 cm kalınlıklı numunelerin ve 3 cm kalınlıklı numunelerin ses hızlarının ortalamaları arasında %95 güven düzeyinde anlamlı bir fark vardır. Bu inceleme tüm numune kalınlıkları için gerçekleştirildiğinde; 1 cm, 2 cm ve 3 cm kalınlığa sahip numunelerin hepsi için anlamlı fark çıktığı görülmektedir. Yani, karşılaştırma sonuçlarına göre, iki yönlü varyans analizinde bulunan numune kalınlığı açısından ses hızı değerlerindeki istatistiksel anlamlılığın; 1 cm – 2 cm ,1 cm – 3 cm ve 2 cm – 3 cm kalınlıklı numunelerin ikili karşılaştırmasından kaynaklandığı ifade edilmektedir.

**Çizelge 4.23.** Ses hızının kalınlık değişkenine bağlı çoklu karşılaştırma analizi

(I) Kalınlık (cm)	(J) Kalınlık (cm)	Ortalama Fark (I-J)	Standart Hata	Anlamlılık Düzeyi (p)	95% Güven Aralığı	
					Alt Sınır	Üst Sınır
1	2	366,40	60,159	0,000	223,75	509,05
	3	646,33	60,159	0,000	503,68	788,99
2	1	-366,40	60,159	0,000	-509,05	-223,75
	3	279,93	60,159	0,000	137,28	422,59
3	1	-646,33	60,159	0,000	-788,99	-503,68
	2	-279,93	60,159	0,000	-422,59	-137,28

Yapılan varyans analizi ile ses hızı açısından koşullandırma şartlarının gruplarında farklılık saptandığından, bu farklılığın çalışmada kullanılan hangi koşullandırma şartından kaynaklandığının ortaya konması için yapılan çoklu karşılaştırma analiz sonucu, Çizelge 4.24’de verilmektedir. Çizelgede; koşullandırma şartı düzeylerinin ortalamaları arasındaki farklar, standart sapmalar, anlamlılık düzeyleri ve %95 güven seviyesindeki alt ve üst sınır değerleri verilmektedir. D koşulunun T koşuluna ve N koşuluna göre anlamlılık düzeyleri ( $p=0,000$  ,  $p=0,000$ ) incelendiğinde; p değerinin 0,05 değerinden çok küçük olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda, D koşulu ile koşullandırılmış numuneler ile T koşulu ve N koşullu ile koşullandırılmış numunelerin ses hızı ortalamaları arasında %95 güven düzeyinde anlamlı fark vardır. T koşulunun N koşullu göre anlamlılık düzeyi ( $p=0,001$ ) incelendiğinde; p değerlerinin 0,05’den çok küçük olduğu görülmüştür. Bu durumda; T ve N koşulu ile koşullandırılmış numunelerin kopma enerjilerinin ortalamaları arasında %95 güven düzeyinde anlamlı bir fark vardır. Sonuç olarak, koşul değişkenine bağlı çoklu karşılaştırma sonuçlarına göre; iki yönlü varyans analizinde bulunan koşullandırma şartı açısından kopma enerjisi değerlerindeki istatistiksel anlamlılığın; D – T, D – N, T – N koşulu ile koşullandırılmış numunelerin ikili karşılaştırılmasından kaynaklandığı öngörülmektedir.



**Çizelge 4.24.** Ses hızının koşul değişkenine bağlı çoklu karşılaştırma analizi

(I) Koşul (°C)	(J) Koşul (°C)	Ortalama Fark (I-J)	Standart Hata	Anlamlılık Düzeyi (p)	95% Güven Aralığı	
					Alt Sınır	Üst Sınır
D	T	-468,38	60,159	0,000	-611,03	-325,72
	N	-698,42	60,159	0,000	-841,08	-555,77
T	D	468,38	60,159	0,000	325,72	611,03
	N	-230,04	60,159	0,001	-372,70	-87,39
N	D	698,42	60,159	0,000	555,77	841,08
	T	230,04	60,159	0,001	87,39	372,70

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1. Sonuçlar

Hazırlanan doktora çalışması kapsamında, jeolojik oluşumuna göre metamorfik kökenli, sertliğine göre yumuşak taşlar grubunda yer alan ve kullanım şekline göre de parlatılarak kullanılan üç farklı gerçek mermer kullanılmıştır. Bunlar; Bursa yöresinden temin edilen Kemalpaşa Beyaz (K), Muğla yöresinden temin edilen Muğla Beyaz (M) ve Afyon yöresinden temin edilen Afyon Şeker (A) ticari isimli mermerlerdir. Çalışmada bu mermerlerin seçilmesinin nedenleri; doğal taşlar içinde nispeten en homojen ve masif yapıya sahip taşlar olmaları dolayısıyla, deney sistemindeki numunelerin heterojenliğinden kaynaklı değişimleri minimize edebilmek ve farklı mineral tane boyuna sahip olmaları dolayısıyla da, mineral tane boyunun etkisini değerlendirebilmektir.

Bu çalışmada, yeni bir standart olan TS EN 14158 kodlu ‘Doğal taşlar – Kopma Enerjisi Tayini’ isimli standart kullanılarak mermerlerin kopma enerjisi ve çarpma dayanımı belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, kopma enerjisi ve çarpma dayanımı deneylerine tabii tutulmadan önce, tahribatsız ölçüm sistemlerinin en sık kullanılan yöntemlerinden biri olan ultrasonik ses hızı ölçüm yöntemi ile tüm numunelerin ses hızı değerleri belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan mermerlerin mineralojik – petrografik özellikleri, kimyasal özellikleri ve fiziko – mekanik özellikleri uygun standartlar ve yöntemler kullanılarak belirlenmiştir. Bu özelliklerin belirlenmesi; hem mermerlerin daha iyi tanımlanabilmesi için, hem de bu özelliklerin kopma enerjisi ve çarpma dayanımına etkisinin incelenebilmesi için oldukça önemlidir. Mermerlerin kopma enerjisine, çarpma dayanımına ve ses hızına farklı numune kalınlığının ve farklı koşullandırma şartlarının da etkisinin ortaya konulduğu çalışmada; 20x20x1 cm, 20x20x2 cm ve 20x20x3 cm boyutlu numuneler normal koşul (N), donma – çözülme koşulu (D) ve termal şok koşulu (T) ile koşullandırılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Yapılan tüm bu deneysel çalışmaların sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Kopma enerjisi, taşın kırılması için gereken toplam enerji miktarıdır. Çarpma dayanımı ise; bir taşın çarpma etkisiyle kırılmaya karşı gösterdiği dirençtir. Bir taşı kırmak için gereken enerji ne kadar fazla ise; taşın gösterdiği direnç de o kadar fazla olacaktır. Bu nedenle kopma enerjisi arttıkça, çarpma dayanımı da artmaktadır. Artan numune kalınlığıyla birlikte, kopma enerjisi artan mermerlerin çarpma dayanımı da artmaktadır. Kemalpaşa Beyaz Mermeri en yüksek kopma enerjisi değerine sahip olduğu gibi, en yüksek çarpma dayanımı değerine de sahiptir. Aynı şekilde; Afyon Beyaz Mermeri en düşük kopma enerjisine sahip olduğu gibi, en düşük çarpma dayanımına da sahiptir.
- Her koşullandırma şartı ve her numune kalınlığı kendi içinde değerlendirilmek suretiyle; taş türüne göre değerlendirme yapıldığında; en yüksek kopma enerjisi ve çarpma dayanımı değerine sahip taş Kemalpaşa Beyaz Mermeri iken; en düşük kopma enerjisi ve çarpma dayanımı değerine sahip taş Afyon Şeker Mermeri'dir. Aynı koşullar altında ses hızı sonuçları değerlendirildiğinde; en yüksek ses hızı değerlerine Afyon Şeker Mermeri'nin; en düşük ses hızı değerlerine ise, Kemalpaşa Beyaz Mermeri'nin sahip olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada kullanılan mermerler içinde; Afyon Şeker Mermeri en homojen boyutlu ve küçük mineral tane boyuna sahipken; Kemalpaşa Beyaz Mermeri, en heterojen boyutlu ve iri mineral tane boyuna sahip mermerdir. Bu sonuç, mineral tane boyu ile dinamik bir yöntem ile belirlenen kopma enerjisi ve çarpma dayanımı değerleri arasında doğru orantı olduğunu; mineral tane boyu ile ses hızı değerleri arasında ise ters orantı olduğunu ortaya koymaktadır. Yani; mineral tane boyu arttıkça, kopma enerjisi ve çarpma dayanımının arttığı ve ses hızının azaldığı tespit edilmiştir. Ancak mineral tane boyu arttıkça, kopma enerjisi ve çarpma dayanımının arttığı ve ses hızının azaldığı yönündeki bu yargıları kesinleştirebilmek için; farklı mineral tane boyuna sahip, çok sayıda farklı doğal taş kullanılarak deneyler gerçekleştirilmek suretiyle, veri sayısının artırılması gerekmektedir.
- Fiziksel bozunma türlerinden olan, donma – çözülme koşullandırması ve termal şok koşullandırması ile örnekler bozundurmaya tabi tutulduktan sonra; kopma enerjileri, çarpma dayanımları ve ses hızları belirlenmiştir. Her üç taş türü ve her numune kalınlığında eşit sayıda mermer numunesi, 56 çevrim donma – çözülme koşullandırması ile ve aynı özellikli başka bir set mermer numunesi ise, 20 çevrim termal şok koşullandırması ile koşullandırılmıştır. Çalışmada kullanılan mermerler, bu iki

koşullandırma türünden de benzer şekilde etkilenmişler; hem donma – çözülme koşullandırması ile koşullandırılan numunelerin, hem de termal şok koşullandırmasıyla koşullandırılan numunelerin kopma enerjileri, çarpma dayanımları ve ses hızları hiçbir bozundurma işlemi uygulanmaksızın, sadece sabit tartıma getirilen normal koşul numunelerden daha düşük çıkmıştır. Bu durum, iki koşullandırma türünün de, mermerlerin dayanımını olumsuz etkilediğini, yani azalttığını göstermiştir. Her taş türü ve her kalınlık kendi içinde değerlendirilmek suretiyle, koşullandırma türüne göre değerlendirme yapıldığında; en yüksek kopma enerjisi, çarpma dayanımı ve ses hızı değerine sahip numuneler normal koşul numuneleri iken; en düşük kopma enerjisi, çarpma dayanımı ve ses hızı değerine sahip numuneler donma – çözülme koşullandırması ile koşullandırılmış numunelerdir. Ayrıca, donma – çözülme koşullandırması ile koşullandırılmış numunelerin kopma enerjisi, çarpma dayanımı ve ses hızı değerleri, termal şok koşullandırması ile koşullandırılmış numunelerden daha düşük çıkmıştır. Bu durum, fiziksel bozundurma türlerinden donma – çözülme koşullandırmasının, numuneleri termal şok koşullandırmasına göre daha fazla etkilediğini düşündürmektedir. Ancak, her ne kadar donma – çözülme koşullu ile koşullandırılan numunelerin kopma enerjisi ve çarpma dayanımı değerleri, termal şok koşullu ile koşullandırılan numunelerden az çıkmış olsa da; iki koşullandırma türünün deney sonuçları arasındaki fark çok da fazla değildir. Bu fark, ses hızı ölçümlerinde ise daha fazladır.

- Numune kalınlığına göre yapılan değerlendirmede; çarpma dayanımı sonuçları ile kopma enerjisi sonuçları birbirinden bir miktar farklı çıkmıştır. Bunun en önemli nedeni, kalınlığa bağlı olarak, nispeten kalınlıkla orantılı olmak üzere, farklı kütleli bilyelerin kullanılmasıdır. Bu durum kopma enerjisi değerlerine çok fazla tesir etmezken; kopma enerjisinin numune hacmine bölünmesiyle hesaplanan çarpma dayanımı değerlerini kendi içinde farklılaştırmıştır. Bunun nedeni ise; numunelerin hacimlerinin oransal olarak azalmasına karşın; kopma enerjisi değerlerinin aynı oranla azalmaması olduğu düşünülmektedir. Taş türü ve koşullar kendi içinde değerlendirilmek suretiyle, numune kalınlığına göre değerlendirme yapıldığında; en yüksek kopma enerjisi değerine sahip numuneler, 3 cm kalınlıklı numuneler; en düşük kopma enerjisi değerine sahip numuneler, 1 cm kalınlıklı numunelerdir. Çarpma dayanımı değerleri için ise; böyle kesin bir sıralama yukarıda sayılan nedenlerden

dolayı verilememektedir. Ancak, numune kalınlığına nispeten oranlı şekilde bilye kütlelerinin değiştirilmesinin sonucunda; normal koşul ile koşullandırılmış aynı taşın farklı kalınlıklı numunelerinde, nispeten birbirine yakın çarpma dayanımı sonuçları çıkmaktadır.

- Mermerlerin kopma enerjisi değerine, taş türünün, numune kalınlığının ve koşullandırma şartlarının etkisi olup olmadığının araştırıldığı iki yönlü varyans analizi sonucunda; taş türü, numune kalınlığı ve koşullandırma şartının ayrı ayrı kopma enerjisi üzerinde etkili olduğu bulunmuştur. Taş türüne göre kopma enerjisi ortalamalarının farklı çıkmasında; her üç taş türünün (K, M, A) de etkili olduğu bulunmuştur. Numune kalınlığına göre kopma enerjisi ortalamalarının farklı çıkmasında; her üç numune kalınlığının (1 cm, 2 cm, 3 cm) da etkili olduğu bulunmuştur. Koşullandırma şartlarına göre kopma enerjisi ortalamalarının farklı çıkmasında; normal koşullandırma (N) ile donma – çözülme koşullandırmasının (D) ve normal koşullandırma (N) ile termal şok koşullandırmasının (T) karşılaştırmalarının etkili olduğu; ancak, termal şok koşullandırması (T) ile donma – çözülme koşullandırmasının (D) ikili karşılaştırmalarının etkili olmadığı bulunmuştur.
- Mermerlerin çarpma dayanımı değerine, taş türünün, numune kalınlığının ve koşullandırma şartlarının etkisi olup olmadığının araştırıldığı iki yönlü varyans analizi sonucunda; taş türü, numune kalınlığı ve koşullandırma şartının ayrı ayrı çarpma dayanımı üzerinde etkili olduğu bulunmuştur. Taş türüne göre çarpma dayanımı ortalamalarının farklı çıkmasında; her üç taş türünün (K, M, A) de etkili olduğu bulunmuştur. Numune kalınlığına göre kopma enerjisi ortalamalarının farklı çıkmasında; her üç numune kalınlığının (1 cm, 2 cm, 3 cm) da etkili olduğu bulunmuştur. Koşullandırma şartlarına göre kopma enerjisi ortalamalarının farklı çıkmasında; normal koşullandırma ile donma – çözülme koşullandırmasının ve normal koşullandırma ile termal şok koşullandırmasının ikili karşılaştırmalarının etkili olduğu; ancak, termal şok koşullandırması ile donma – çözülme koşullandırmasının ikili karşılaştırmalarının etkili olmadığı tespit edilmiştir.
- Mermerlerin ses hızı değerine, taş türünün, numune kalınlığının ve koşullandırma şartlarının etkisi olup olmadığının araştırıldığı iki yönlü varyans analizi sonucunda; taş

türü, numune kalınlığı ve koşullandırma şartının ayrı ayrı ses hızı üzerinde etkili olduğu bulunmuştur. Taş türüne göre ses hızı ortalamalarının farklı çıkmasında; her üç taş türünün (K, M, A) de etkili olduğu bulunmuştur. Numune kalınlığına göre ses hızı ortalamalarının farklı çıkmasında; her üç numune kalınlığının (1 cm, 2 cm, 3 cm) da etkili olduğu bulunmuştur. Koşullandırma şartlarına göre ses hızı ortalamalarının farklı çıkmasında; her üç koşullandırma şartının (D, T, N) da etkili olduğu görülmektedir.

## 5.2. Öneriler

- TS EN 14158 kodlu standartta kullanılan kumun sadece tane boyu aralığı standartta tariflenmiştir. Bu çalışma esnasında, standartta tariflenen tane boyu aralığına sahip bir standart kum (EN 196-1'e uygun Rilem Cembureau Standart kumu) tespit edilmiştir. TS EN 14158 kodlu standarda bu kumun özelliklerinin eklenmesi, bu standardı kullanarak deney yapacak diğer araştırmacılar için deney prosedüründe standardizasyon ve kum temininde kolaylık sağlayacaktır. Bu nedenle, bu çalışmada tespit edilen kum özelliklerinin standarda eklenmesi oldukça önemlidir.
- TS EN 10449 kodlu, 'Mermer – Kalsiyum karbonat esaslı – Yapı ve kaplama taşı olarak kullanılan' isimli yapı ve kaplama taşı olarak kullanılabilecek mermerlerin özelliklerinin alt ve üst limitlerinin verildiği standarda bu çalışmaya konu olan TS EN 14158 kodlu standardın eklenmesinin gerektiği düşünülmektedir. TS EN 14158 kodlu standartta hem kullanılan numune boyutu açısından bu deneyin bir nihai ürün testi olarak değerlendirilebilmesi, hem de kullanılan yöntem açısından yapı ve kaplama taşı olarak kullanılacak mermerlerin maruz kaldığı yükleme türlerinden biri olan serbest düşme prensibine dayanan çarpma (darbe) yüklemesinin etkisini ortaya koyabilmesi sebebiyle bu standardın TS EN 10449 kodlu standarda eklenmesi oldukça önemlidir. Bu standart kullanılarak hesaplanan kopma enerjisi ve/veya çarpma dayanımı değerlerinin mermerler için alt ve üst sınır değerleri belirlenerek TS EN 10449 kodlu standarda eklenmesi yapı ve kaplama taşı olarak kullanılacak mermerlerin limitlerinin bulunduğu bu standardın kapsamını daha da genişletecektir.

- Bu çalışma kapsamında, sadece metamorfik kökenli üç farklı mermer için gerçekleştirilen deneylerin, diğer doğal taş türleri için de planlanarak gerçekleştirilmesinde yarar vardır.
- Bu çalışma kapsamında, TS EN 14158 standardındaki 20x20 cm numune ebadı sabit tutularak; numune kalınlıkları değiştirilmiş ve numune kalınlıklarının numunelerin kopma enerjisi ve çarpma dayanımı değerleri üzerine etkisi incelenmiştir. Yapılacak yeni çalışmalarda, TS EN 14158 standardındaki 3 cm numune kalınlığı sabit tutularak, numune ebatları değiştirilmek suretiyle, numune ebadının numunelerin kopma enerjisi ve çarpma dayanımına etkisinin incelenmesi önerilmektedir.
- Bu çalışma kapsamında; TS EN 14158 standardına göre kum zemine yerleştirilen numunelerin bilye düşürülmek suretiyle kırılması sağlanmıştır. Yeni yapılacak çalışmalarda, beton kalıplara farklı yapıştırıcılar ile doğal taş numunelerin yapıştırılarak, yani yerine döşenmiş bir zemin döşeme malzemesinin kırılma potansiyeli ölçülüyormuş gibi deneyler gerçekleştirilebilir. Ayrıca, böyle bir çalışma ile farklı özellikteki yapıştırıcıların kırılma potansiyeline etkisinin incelenmesi de sağlanabilir.
- Bu çalışmada kapsamında, TS EN 14158 standardındaki deney yöntemi tekrarlı bilye düşürme sistemiyle kopma enerjisinin belirlenmesine yöneliktir. Bu yöntem, numunelerde sayısal olarak ortaya koyamadığımız bir yorulmaya neden olmaktadır. Bu yorulmanın ortadan kaldırılmasını sağlayan ve diğer malzemeler için (özellikle beton numuneler için) kullanılan ağırlığın tek seferde düşürülmesiyle numunenin kırılmasının sağlandığı bir sistem tasarlanarak, kopma enerjisi değerlerinin tekrar belirlenmesi sağlanabilir.
- Bu çalışma kapsamında tasarlanan bilye düşürme cihazında bazı değişiklikler yapılarak; çarpma anındaki sesin ve yükün ölçülebilmesiyle çalışmanın daha da zenginleşmesi sağlanabilir.

- Diğer malzemeler için kullanılan darbe deneylerinin bazılarını doğal taşları için deneyerek; bu deneylerin doğal taşlar için kullanılabilirliğinin incelenmesi ve bu yöntemlerin sonuçları ile TS EN 14158 standardındaki yöntemin sonuçlarının karşılaştırılması yararlı olabilir.
- Bu alışma süresince yapılan deneylerde, her bilye düşmesi sonrası tüm numunelerin, aynı yerden ve aynı özellikteki bir görüntüleme sistemi (fotoğraf makinesi, video kayıt cihazı, vb.) ile çekilen görüntülerin görüntü işleme programlarıyla değerlendirilerek oldukça karmaşık olan kırılma mekanizmasının daha detaylı tariflenebilmesi sağlanabilir.
- Yapılacak yeni bir çalışmada bilgisayarlı tomografi cihazı kullanılarak her düşme sonrası taşın tomografisi çekilmek suretiyle; oldukça karmaşık olan kırılma mekanizmasının daha detaylı tariflenebilmesi sağlanabilir.
- Bu alışma kapsamında, yer döşemesi olarak kullanılan doğal taşların kopma enerjisi ve çarpma dayanımı belirlenmiştir. Yer döşemesi olarak kullanılan kompoze taşların aynı yöntem ile kopma enerjisinin belirlenmesi ve doğal taşlar ile kompoze taşların kopma enerjisi ve çarpma dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması da iyi bir çalışma konusu olabilir.



## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Akbay, D., Efe, T., Şengün, N., Demirdağ, S., Altındağ, R., Koççaz, C.E., 2012, Donma – çözülme ve termal şok koşullarının bazı mermerler üzerindeki etkilerinin incelenmesi, 8. Mermer ve Doğal Taş Sempozyumu (MERSEM), 215 – 225.
- Akbay, D., Uğur, İ., Demirdağ, S., Şengün, N., Altındağ, R., 2015, Investigation of some mechanical properties of rocks under the effect of different body temperatures, EUROCK 2015, 45 – 50.
- Akçakoca, H., Uysal, Ö., Topal, İ., 2003, Mermerlerin kalite kontrol süreci açısından tekno – mekanik özelliklerinin önemi, Türkiye 4. Mermer Sempozyumu, 475 – 495.
- Akçın, N.A., Baş, N., 1990, Asma İşletmesi kömür damarlarının darbe dayanım indeks değerleri ve kazılabilirlik ölçütü, Türkiye 7. Kömür Kongresi, 17 – 34.
- Akdoğan, M.A., 2008, Düşük enerjili serbest ağırlık düşürme test düzeneği tasarım ve imalatı, düşük enerji seviyelerinde darbe testi yapılması, Yüksek Lisans tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 102 s.
- Akın, M., 2008, Eskipazar (Karabük) travertenlerinin bozunmasının araştırılması, Doktora tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 263 s.
- Akurgal, E., 1987, Anadolu Uygarlıkları, Net Turistik Yayınlar Sanayi ve Ticaret A.Ş., 690 s.
- Altındağ, R., 2002, Effects of specimen volume and temperature on measurements of Shore hardness, Rock Mechanics and Rock Engineering, 35(2), 109 – 113.
- Altındağ, R., Alyıldız, T.S., 2004, Donma – çözülme periyotlarının tufün (Isparta – Dereboğazi) fiziko – mekanik özellikleri üzerine etkisi, 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 255 – 262.
- Altındağ, R., Güney, A., 2006, ISRM suggested method for determining the Shore hardness value for rock, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 46, 19 – 22.
- Altınır, M., Yıldırım, M., 2011, Afşin – Elbistan linyitinin kurutulması ve nem içeriğinin darbe dayanımına etkisi, Çukurova Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 26 – 3, 19 – 28.
- Amoroso, G., Fassina, V., 1983, Stone decay and conservation: New York, Elsevier, 453 p.
- Arslan, N., Kaman, M.O., 2002, Alüminyum, kağıt ve cam elyaf petek yapılı kompozitlerin üretim teknikleri ve mekanik özelliklerinin araştırılması, Dokuz Eylül Üniversitesi Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 4-3, 113-123.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Aslan, Z., Karakuzu, R., 2002, Transient dynamic analysis of laminated composite plate subjected to low – velocity impact, *Mathematical & Computational Applications*, Vol. 7, No. 1, 73 – 82.
- Aslan, Z., Karakuzu, R., Okutan, B., 2003, The response of laminated composite plates under low – velocity impact loading, *Composite Structures*, 59 – 127.
- ASTM (American Society For Testing And Metarials), 1990, Standart test method for evaluation of durabilty of rock for erosion control under freezing and thawing conditions (ASTM D5312 – 90), 1344 – 1346.
- ASTM (American Society For Testing And Metarials), 1992a, Standard test method for evaluation of durabilty of rock for erosion control under wetting and drying conditions (ASTM D5313 – 92), *Annual Book of ASTM Standards*, ASTM publication, 189 – 190.
- ASTM (American Society For Testing And Metarials), 1992b, Standard test method for evaluation of durabilty of rock for erosion control under freezing and thawing conditions (ASTM D5312 – 92), *Annual Book of ASTM Standards*, ASTM publication, 1344 – 1346.
- ASTM – D 5550-06, 2009, Piknometre ile Özgül Kütle Tayini.
- Atalay, R.C., 1981, Gevrek malzemelerde kırılma, *I. Ulusal Kırılma Konferansı Bildiriler Kitabı*, 179 – 188.
- Avcı, F., 2011, TTK Asma – Dilaver İşletmesi kömür çevre kayaçlarının aşındırıcılık özelliklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 100 s.
- Ayaz, E., Karacan, E., 2000, Sivas batısındaki traverten oluşumlarının yapı ve yüzey kaplama taşı olarak kullanılabilirliklerinin incelenmesi, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 24(1), 87 – 100.
- Baş, N., 1993, Elektro – hidrolik delicilerin delme performanslarının incelenmesi, Yüksek Lisans tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 141 s.
- Bayram, F., 2012, Predicting mechanical strength loss of natural stones after freeze – thaw in cold regions, *Cold Regions Science and Tecnology*, 83 – 84, 98 – 102.
- Belingardi, G., Vadori, R., 2003, Influence of the laminate thickness in low velocity impact behavior of composite material plate, *Composite Structures*, 61, 27 – 38.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Bilgin, N., Akgün, İ.S., Shahriar, K., 1988, Amasra Karbonifer havzasındaki damarların mekanik dayanımları açısından sınıflandırılması, Türkiye 6. Kömür Kongresi, 411 – 425.
- Bilir, N. M., 2006, Ankara Haymana (Demirözü) yöresi mermerlerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 84 s.
- Binal, A., Kasapoğlu, K.E., Gökçeoğlu, C., 1997, Eskişehir – Yazılıkaya çevresinde yüzeylenen volkanosedimenter kayaların donma – çözülme etkisi altında bazı fiziksel ve mekanik parametrelerinin değişimi, Hacettepe Üniversitesi Yer Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, 19, 17 – 40.
- Bodur, B., Tunçdemir, H., Bayram, O., Bağcı, M., 2010, Influences of freze – thaw process on mechanical properties of some marbles, Rock Mechanics in Civil and Environmental Engineering, Taylor&Francis Group, London, s.131 – 134.
- Boztaş, C., Yapıcı, N., Anıl, M., 2009, Yeşilova - Kağılcık (Burdur) Kireçtaşlarının mermer olarak değerlendirilmesi, Çukurova Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Dergisi, 24, 247 – 255.
- Ceyhun, V., Turan, M., 2003, Tabakalı kompozit malzemelerin darbe davranışı, Mühendis ve Makine, 44-516, 35 – 41.
- Çapık, M., Yılmaz, A.O., 2009, Harşit (Giresun) Granitlerinin fiziko mekanik özelliklerinin araştırılması, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 5-2, 17 – 32.
- Çelik, M.Y., 2003, Dekoratif doğal yapı taşlarının kullanım alanları ve çeşitleri, Madencilik, 42-1, 3 – 15.
- Çınar, B.,2007, Osmaniye Çağşak Amanos kırmızı mermerlerinin fizikomekanik özelliklerinin araştırılması, Yüksek Lisans tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 57 s.
- Çil, B., 2008, İstatistik, Detay Yayıncılık, Ankara, s.282, 299-302.
- Çoban, Ö., Dalkılıç, S., Sancak, E., Taş, H.H., 2013, Bazı yapay taş kagir birimlerde donma – çözülmenin aşınma kaybına direncine ve kapillariteye etkisinin araştırılması, SDU International Technologic Science, 5-2, 1 – 10.
- Çonkar, K., Özdemir, Ş., Karaca, Y., Saylı, H., Kandemir, T., 2010, Mermer Sektörü Rekabet Analizi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, s.4, 10.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Demirdağ, S., 2013, Effects of freezing – thawing and thermal shock cycles on physical and mechanical properties of filled and unfilled travertines, *Construction And Building Materials* 47, 1395 – 1401.
- Dost, E., 1999. Marmara denizinin ortasındaki tarih aynası Prokonnessos, Türkiye’de Mermer, 62-63, 10 – 23.
- Efe, T., Akbay, D., Dermirdağ, S., Şengün, N., Altındağ, R., Uğur, İ., ., 2012, Bej mermerlerde epoksi uygulamasının atmosferik şartlar altında kayacın bazı fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi, 8. Mermer ve Doğal taş Sempozyumu, 463 – 470.
- Ekşi, D., 2011, İnce tanelerin kırılma davranımlarının belirlenebileceği bir test yöntemi geliştirilmesi, Yüksek Lisans tezi, Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, 123 s.
- Erdoğan, Y., Yaşar, E., 2001, Adana–İçel–Osmaniye mermerlerinin mühendislik özellikleri açısından değerlendirilmesi, Türkiye Mermer Sempozyumu (MERSEM 2001) Bildiriler Kitabı, 163 – 174.
- Ersoy, H., Yalçınalp, B., Babacan, A. E., 2014, Saraftepe ( Trabzon) Tefrit Silinin jeolojik ve jeo – mekanik özelliklerinin araştırılması, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 38-1, 39 – 50.
- Evans, I., Pomeroy, C.D., 1966, *The Strength, Fracture and Workability of Coal*, Pergamon Press, 277 p.
- Fidan, S., Sınmazçelik, T., Bora, M.Ö., Çoban, O., 2010, Düşük hızlı darbe yüklemeleri sonrası cam fiber takviyeli polyester kompozitlerde ortaya çıkan hasar konisinin incelenmesi, 15. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, 1 – 10.
- Gamov, G., Cleveland, J.,M., 1976, *Physics – Foundations and Frontiers*, Prentice-Hall, Inc., p.77-83.
- Göker, B., Yıldız, S., Keleştemur, O., 2013, Atık mermer tozu ve cam lif içeren harç numunelerinin donma – çözülme etkisi altındaki davranışları, *SDU International Technologic Science*, 5-3, 18 – 30.
- Gündüz, L., Sarıışık, A., 1998, *Yerbilimlerinde İstatistik ve Uygulamaları*, Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Mimralık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta, s.221.
- Gürocak, Z., Alemdağ, S., 2009, Pelte (Elazığ) bölgesindeki traverten ve oniks mermerlerin yapı ve kaplama taşı olarak kullanılabilirliği, *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21-1, 85 – 94.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Gürsakal, N., 1998, Bilgisayar Uygulamalı İstatistik–II, Marmara Kitabevi Yayınları, Bursa, s.229-230.
- Hale, P.A., Shakoor, A., 2003, A laboratory investigation of the effect of cyclic heating and cooling, wetting and drying, and freezing and thawing on the comprehensive strength of selected sandstones, *Environment Engineering Geoscience*, 9-2, 117–130.
- Halliday, D., Resnick, R., 1992, Fiziğin Temelleri – Mekanik ve Termodinamik, (Çev. C. Yalçın), Arkadaş Yayınevi, s.185 – 186.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1978, Suggested Methods for determining hardness and abrasiveness of rocks, , *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics*, Pergamon Press Ltd., s.15, 89 – 97.
- İMMİB, 2016, <http://www.immib.org.tr/tr/birliklerimiz-istanbul-maden-ihracatcilar-i-birli-i-maden-sektoru-ihracatinin-degerlendirilmesi-1.html>, erişim tarihi: 29.10.2016.
- Jamshidi, A., Nikudel, M.R., Khamehchiyan, M., 2013, Predicting the long - term durability of building stones against freze – thaw using a decay function model, *Cold Region Science and Technology*, 92, 29 – 36.
- Jamshidi, A., Nikudel, M.R., Khamehchiyan, M., 2015, Estimating the engineering properties of building Stones after freze – thaw using multiple regression analysis, *Iranian Journal of Science & Technology* 39A2, 147 – 163.
- Jamshidi, A., Nikudel, M.R., Khamehchiyan, M., 2016, Evaluation of the durability of Gerdoee travertine after freze – thaw cycles in fresh water and sodium sulfate solution by decay function models, *Engineering Geology*, 202, 36 – 43.
- Kara, M., 2006, Düşük hızlı darbeye maruz tabakalı kompozitlerin dinamik cevabı, Yüksek Lisans tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 85s.
- Kadıköylü, Ş., 2005, Bazı Türk kömürlerinde mineral madde miktarının belirlenmesi, Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, 55s.
- Kahraman, S., 2001, Evaluation of simple methods for assesing the uniaxial compressive strength of rock, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 38, 981 – 994.
- Karaca, Z., 2003, Mermer blok kalite kontrolü, Türkiye 4. Mermer Sempozyumu, 497 – 503.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Karaca, Z., Deliormanlı, A.H., Elçi, H., Pamukçu, Ç., 2010, Effect of freze – thaw process on the abrasion loss value of stones, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Science* 47, 1207 – 1211.
- Kayri, M., 2009, Araştırmalarda gruplar arası farkın belirlenmesine yönelik çoklu karşılaştırma (post hoc.) teknikleri, *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 19-1, 51-64.
- Keleşoğlu, Ö., Ekinci, C., 2008, Silis dumanı katkılı betonların çarpma dayanımının yapay sinir ağı ile belirlenmesi, *E-Journal and of New World Sciences Academy (Natural Applied Sciences)*, 3-1, 30-38.
- Kocataşkın, F., 1976, Yapı Mühendislerine Malzeme Bilimi, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, s.108-112, 134, 135.
- Koçu, N., Dereli, M., 2003, Mermerlerin günümüz mimarisinde kaplama (duvar-döşeme) elemanı olarak kullanılması ve uygulama sorunları, *Türkiye 4. Mermer Sempozyumu*, 61 – 73.
- Köklü, N., Büyükoztürk Ş., Bökeoğlu, Ç.Ö., 2006, Sosyal bilimler için istatistik, Pegem Yayıncılık, Ankara, s.178, 186-188.
- Koroğlu, H., 1976, Fizik 1.Cilt - Mekanik, Kalite Matbaası, s.39.
- Kulaksız, S., 2004, Sedimenter ve metamorfik kayaçların mermer olabilme özellikleri, Mermer Blok Çıkarma ve İşleme Teknolojileri Semineri, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Sürekli Eğitim Merkezi, 1 – 19.
- Kulaksız, S., 2007, Doğal Taş (Mermer) Maden İşletmeciliği ve İşleme Teknolojileri, Kozan Ofset Matbaacılık San. Ve Tic. Ltd. Şti., s.1, 3, 7, 628.
- Kun, N., 2013, Mermer Jeolojisi ve Teknolojisi, Akare Matbaacılık San. Tic. Ltd. Şti., s.7-8-9.
- Lam dos Santos, J.P., Rosa, L.G., Amaral, P.M., 2011, Temperature effects on mechanical behaviour of engineered stones, *Construction and Building Materials* 25, 171 – 174.
- Misra, B., 1972, Correlation of rock properties with machine performance, PhD Thesis, University of Leeds.
- Montgomery, D.C., Peck, E.A., Vining, G.G., 2013, Doğrusal Regresyon Analizine Giriş, (Çev. M.A. Erar), Nobel Yayınılık, s.1,12.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Mutlutürk, M., Altındağ, R., Türk, G., 2004, A decay function model for the integrity loss of rock when subjected to recurrent cycles of freezing – thawing and heating – cooling, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 41, 237 – 244.
- Ollier, C., 1984, *Weathering*, Longman, 270 p.
- Onargan, T., Köse, H., Deliormanlı, A.H., 2011, Mermer, Başak Matbaacılık ve Tan. Hiz. Ltd. Şti., s.1, 2,4, 22, 24, 34, 65, 281, 283, 298.
- Onur, A.H., 1997, Kayaçların elastik davranışlarının kısa yollarla hesaplanması olanaklarının araştırması, Çukurova Üniversitesi Araştırma Fonu, Proje no: MMF-97 – 4.
- Öcal, A.D., Dal, M., 2012, Doğal Taşlardaki Bozunmalar, Muka Matbaası, s.26 – 34.
- Ökten, G., 1983, Zonguldak taşkömürü havzasındaki ani gaz ve kömür püskürmesi olaylarının incelenmesi ve olaya eğilimli zonların belirlenebilirliğinin araştırılması, Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 95 s.
- Öztank, N., 1999, Mimaride doğal taş kullanımı, *Ege Mimarlık* 31, 1999/3, 8 – 9.
- Öztank, N., Türkmen, F., 2001, Mermer-kireçtaşı ve konglomeraların yapılarda kullanımını denetleyen parametreler, *Türkiye 3. Mermer Sempozyumu*, 123 – 131.
- Rabia, H., Brook, N., 1979, The shore hardness of rock, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 16-5, 335 – 336.
- Resnick, R., Halliday, D., *Physics – Part 1*, John Wiley&Sons Inc., p.32, 79-81, 210-218.
- Roscoe, J. T., 1975, *Fundamental Research Statistics for the Behavioral Sciences*, Holt and Rinehart and Winston Inc., New York.
- Saraç, S., Özdemir, G., 2003, Mermer fayanslarının boyutlandırılmasında istatistiksel kalite kontrolü, *Türkiye 4. Mermer Sempozyumu*, 15 – 26.
- Sarıışık, A., 1998, Karbonat kökenli mermerlerin çevre etkileşimi ile fiziko – mekanik özelliklerindeki değişimin karakteristiği, Doktora tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, 309 s.
- Sarıışık, G., 2012, Determining performance of marble finished products on their usage areas by a new impact-resistance test method, *Journal of Testing and Evaluation*, 40-5, 1-7.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Sarıışıık, G., Kundak, E., Akdaş, H., Özkan, E., 2012, Mermer plakalarda çarpma dayanımı deneyi ve sınıflandırılması, 8. Mermer ve Doğal Taş Kongresi (MERSEM 2012), 407-418.
- Sarıışıık, G., Özkan, E., Kundak, E., Akdaş, H., 2016, Classification of parameters affecting impact resistance of natural stones, Journal of Testing and Evaluation, 44-4, 1650-1660.
- Schaffer, R.J., 1972, The Weathering of natural building stones, The Department of Scientific and Industrial Research by HM Stationery Office, p.97.
- Selvi, M., 2008, Beton dayanımındaki değişimin çarpma davranışına olan etkisinin deneysel ve sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmesi, Yüksek Lisans tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü, 119 s.
- Sektör Raporu, 2016, TC. Ekonomi Bakanlığı İhracat Genel Müdürlüğü Maden - Metal ve Orman Ürünleri Daire Başkanlığı, 6 s.
- Serway R.A., Beichner, R.J., 2000, Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics, Saunders Collage Publishing, 5th edition, 259 p.
- Sönmez, G.,2010, Tercan (Erzincan) rekristalize kireçtaşlarının mermer olarak kullanılabilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 131 s.
- Su, O., 2003, Kömürün dayanım özellikleri ile öğütülebilirliği arasındaki ilişkilerin araştırılması, Yüksek Lisans tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, 100 s.
- Su, O., Akçın, N.A., Toroğlu, İ., 2004, Kömürün öğütülebilirliği ile dayanım ve indeks arasındaki ilişkiler, Türkiye 14. Kömür Kongresi, 77 – 86.
- Şen, S., 2006, Baltaşı-palu (Elazığ) travertenlerinin tekno-mekanik özelliklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 93s.
- Şenel, M., Kırılı, A., Kurşun, A., 2009, Düşük hızlı darbe deney düzeneği için geri sekme (rebound) frenleme ve kontrol sistemi, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 1-6.
- Şengün, N., Altındağ, R., Mutlutürk, M., Karagüzel, R., Kıstır, R., 2008, Kireçtaşlarında donma çözülme (F-T) çevrimlerinin fiziksel ve mekanik özelliklere etkisi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12-2, 128 – 134.



### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Takarli, M., Prince, W., Siddique, R., 2008, Damage in granite under heating/cooling cycles and water freeze – thaw condition, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 45, 1164 – 1175.
- Tandanand, S., Unger, H.F., 1975, Drillability determination/A drillability index for percussive drills, U.S. Bureau of Mines Report, R.I. 8073, 20 p.
- Temel, M., 2015, Melez kompozit levhaların düşük hızlı darbe cevabına numune genişliğinin etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 74 s.
- Topal, T., Sözmen, B., 2000, Freeze – thaw resistance of the Yazılıkaya Tuffs, 9th International Congree on the Deterioration and Conservation of Stone, 1, 275 – 281.
- Topçu, İ.B., 2007, İnşaat Mühendisliğinde Malzeme Bilgisi, s.83-86.
- TS EN 14158, 2004, Doğal Taş Deneysel Metotları – Kopma Enerjisinin Tayini.
- TS EN 12371, 2011, Doğal Taşlar – Deneysel Yöntemleri – Dona Dayanım Tayini.
- TS EN 14066, 2013, Doğal Taşlar – Deneysel Yöntemleri – Termal Şok Etkisiyle Yıpranmaya Direnci Tayini.
- TS EN 15309, 2008, Atıkların ve toprağın nitelendirilmesi – X Işını Floresans Yöntemi Kullanılarak Elementel Bileşimin Tayini.
- TS EN 1936, 2010, Doğal Taşlar – Deneysel Yöntemleri – Gerçek Yoğunluk, Görünür Yoğunluk, Toplam ve Açık Gözeneklilik Tayini.
- TS EN 13755, 2009, Doğal Taşlar – Deneysel Yöntemleri – Atmosfer Basıncında Su Emme Tayini.
- TS EN 14579, 2006, Doğal Taşlar – Deneysel Yöntemleri – Ses Hızı İlerlemesinin Tayini.
- TS EN 14205, 2004, Doğal Taşlar – Deneysel Yöntemleri – Knoop Sertliğinin Tayini.
- TS EN 1926, 2000, Doğal Taşlar – Deneysel Yöntemleri – Basınç Dayanımı Tayini.
- TS EN 13161, 2009, Doğal Taşlar – Deneysel Yöntemleri – Sabit Moment Altında Eğilme Dayanımının Tayini.
- TS EN 699, 2009, Doğal Yapı Taşları – İnceleme ve Laboratuar Deneysel Yöntemleri.
- TS EN 196-1, 2016, Çimento Deneysel Metotları – Bölüm 1: Dayanım Tayini.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Turan, M., 2007, Tabakalı kompozit malzemelerde yüksek hızlı darbe hasarı, Mühendis ve Makine, 48 – 571, 3 – 8.
- Ulusay, R., Gökçeoğlu, C., Binal, A., 2005, Kaya Mekaniği Laboratuar Deneyleri, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, s.50 – 156.
- Ural, S., 1999, Afşin Elbistan linyitlerinin sınıflandırılarak termik santralin performansı üzerindeki etkilerin araştırılması, doktora tezi, 140 s.
- Uysal, Ö., Akçakoca, H., Topal, İ., 2003, Bazı doğal taşların tekno – mekanik özellikleri ve uygun kullanım alanlarının belirlenmesi, Türkiye 4. Mermer Sempozyumu, 343 – 351.
- Uyaner, M., Kara, M., Ataberk, N., 2007, E-camı/epoksi tabakalı kompozitlerin düşük hızlı darbe davranışına numune boyutlarının etkisi, 8. Uluslararası Kırılma Konferansı Bildiriler Kitabı, 361 – 368.
- Ünal, O., Uygunoğlu, T., 2004, Afyon mermer tozu ve Soma uçucu kül katkılı betonların donma – çözülme özellikleri ve ekonomik değerlendirilmesi, 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 83 – 88.
- Ünver, Ö., Gamgam, H., 1996, Uygulamalı İstatistik Yöntemler, Siyasal Kitapevi, 2.baskı, Ankara, s.229, 273, 282-286.
- Ürünveren, A., Yaşar, E., 2009, Kadirli (Osmaniye) Kösepınarı köyü ve çevresindeki mermerlerin mühendislik özelliklerinin değerlendirilmesi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 20-1, 94 – 100.
- Van Vlack, L.H., 1972, Malzeme Bilimine Giriş, (Çev. R.A. Safoğlu), İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi, s.171-179.
- Yapıcı, İ., Yapıcı, A., 2012, E-camı/epoksi tabakalı kompozitlerde düşük hızlı darbe davranışının sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmesi, Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 1 – 2, 48 – 60.
- Yaralı, O., Kandemir, A., Eren, A., 2008, Bazı magmatik kayaların kayaç dayanım katsayısı ve Schmidt sertliği arasındaki ilişkiler, Madencilik Dergisi, 47-2, 25 – 36.
- Yavuz, H., Altındağ, R., Saraç, S., Uğur, I., Şengün, N., 2006, Estimating the index properties of deteriorated carbonate rocks due to freeze – thaw and thermal shock weathering, International Journal Rock Mechanics And Mining Sciences, 43, 767 – 775.
- Yayla, P., 2007, Kırılma Mekaniği, Çağlayan Kitabevi, s.6 – 7, 130 – 131, 137 – 139.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Yılmaz, M.C., 2014, Betonarme kirişlerin darbe yükü etkisinde davranışlarının deneysel ve analitik olarak incelenmesi, Doktora tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 138 s.
- Yumak, N., Pekbey, Y., Aslantaş, K., 2013, Zırh tasarımında kullanılan kompozit malzemelerin deformasyon karakteristiğinin araştırılması, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 10 – 4, 1 – 21.
- Yüzer, E., 2003, Düünden bugüne doğal taş kullanımı, Doğal Taş ve Endüstrisi Kataloğu – STONE 2003, Yem Yayınevi, İstanbul, s.13 – 14.
- Yüzer, E., 2010, Taşlar üzerindeki izler (Ya taşlar olmasaydı!!), 2.Uluslararası Mermer ve Doğal Taş Kongresi, 2 – 22.

# ÖZGEÇMİŞ

## KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** Ece KUNDAK  
**Ünvanı** Araştırma Görevlisi  
**Birimi** Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü  
**Doğum Yeri** Ankara  
**Doğum Tarihi** 23.05.1986  
**E-Posta** ecekundak@gmail.com // ekepekci@ogu.edu.tr

## ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Lisans	Maden Mühendisliği (İNG)	Hacettepe Üniversitesi	2004-2008
Yüksek Lisans	Maden Mühendisliği / Maden İşletme Anabilim Dalı	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi	2009-2011
Doktora	Maden Mühendisliği / Maden İşletme Anabilim Dalı	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi	2011-2017

## TEZLER

Yüksek Lisans	Açık işletme kamyonları duruş sürelerinin analizi	2011
Doktora	Metamorfik kayaçların çarpma dayanım indeksinin belirlenmesi	2017

## PROJELER

- Doğal Taş Nihai Ürünlerinde Çarpma Dayanımının Belirlenmesi ve Standardizasyonu, TÜBİTAK Hızlı Destek Projesi, Doktora Öğrencisi, 11/07/2011 - 11/08/2012
- Metamorfik Kökenli Doğal taşların Çarpma Dayanımının Kopma Enerjisi Tayini ile Belirlenmesi, Bilimsel Araştırma Projesi, Doktora Öğrencisi, 25/03/2015 (Devam Ediyor)

## ESERLER

### Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler:

- SARIŞIK Gencyay, ÖZKAN Erkan, KUNDAK Ece, AKDAŞ Hürriyet (2016). Classification of Parameters Affecting Impact Resistance of Natural Stones. Journal of Testing and Evaluation, 44(4), 1650-1660., Doi: 10.1520/JTE20140276

**Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında (proceedings) basılan bildiriler :**

1. SARIŞIK Gencay, KUNDAK Ece, AKDAŞ Hürriyet, ÖZKAN Erkan (2012).  
Mermer Plakalarda Çarpma Dayanımı Deneyi ve Sınıflandırılması. 8. Uluslararası Mermer ve Doğal Taş Kongresi, 407-418. (Tam metin bildiri)
2. KUNDAK Ece, AKDAŞ Hürriyet (2011).  
Time Series Analysis Of Overburden Removal Trucks In Tunçbilek Surface Mine. 20th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection (MPES), 896-906. (Tam metin bildiri)
3. SARIŞIK Ali, SARIŞIK Gencay, KUNDAK Ece (2011).  
Insulation Blocks Composed Of EPS and Lightweight Concrete Containing Pumice Aggregate. 22nd World Mining Congress & Expo, 4 (Tam metin bildiri)

**Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler:**

1. KUNDAK Ece, AKDAŞ Hürriyet (2012).  
Gli, Açık İşletmelerindeki Kömür Kamyonlarının Duruş Süreleri Analizi. Türkiye 18. Kömür Kongresi, (Tam metin bildiri)
2. KUNDAK Ece, AKDAŞ Hürriyet (2011).  
Açık İşletmelerde Dekapaj Kamyonlarına Ait Duruş Sürelerinin Zaman Serisi Analizi. 3.Maden Makineleri Sempozyumu, (Tam metin bildiri)