<u>İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ</u>

BAZI DOĞAL TAŞLARIN DOKUSAL ÖZELLİKLERİ İLE FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ Ozan BAYRAM

Anabilim Dalı: Maden Mühendisliği

Programı: Maden Mühendisliği

HAZİRAN 2009

<u>İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ</u>

BAZI DOĞAL TAŞLARIN DOKUSAL ÖZELLİKLERİ İLE FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ Ozan BAYRAM (505061003)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih :04 Mayıs 2009Tezin Savunulduğu Tarih :04 Haziran 2009

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Selamet G. ERÇELEBİ Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Erkin NASUF (İTÜ) Yrd. Doç. Dr. Yılmaz MAHMUTOĞLU (İTÜ)

HAZİRAN 2009

ÖNSÖZ

İTÜ Maden Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde gerçekleştirmiş olduğum yüksek lisans tez çalışmalarım sırasında, tezin danışmanlığını yürüten Sn. Doç. Dr. Selamet G. ERÇELEBİ'ye ve tez çalışmalarım süresince desteklerini esirgemeyen; Sn. Prof. Dr. Nuh BİLGİN başta olmak üzere Sn. Yard. Doç. Dr. Hakan TUNÇDEMİR, Sn. Prof. Dr. Gündüz ÖKTEN, Sn. Doç. Dr. Hanifi ÇOPUR, Sn. Doç Dr. Cengiz KUZU ve Sn. Dr. Cengiz KIRMANLI'ya katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Numune hazırlanmasında ve deneyler sırasında hiç unutamayacağım katkılarından ve fedakarlıklarından dolayı İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü araştırma görevlilerinden aynı zamanda bir ağabey gibi gördüğüm Sn. Deniz TUMAÇ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım süresince bana sabırla katlanan, destekleyen, hep yanımda olan değerli dostlarım İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü araştırma görevlilerinden Sn. İ. Emre ÖNSEL, Sn. Murat ÖZKAN, Sn. Erim GÜÇLÜ'ye ve İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü öğrencilerinden Sn. Turgut BAYKAŞ' a ayrıca teşekkür ederim. Ayrıca desteğini ve bilgi birikimini esirgemeyen İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü araştırma görevlilerinden Sn. Dr. Abdullah FİŞNE'ye de ayrıca teşekkür ederim.

Laboratuvar imkanlarından faydalandığım İTÜ Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü hocalarından Sn. Dr. Vecihi GÜRKAN'a, ince kesit analizlerime bilgi ve tecrübesi ile yapmış olduğu katkılarından dolayı İTÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü hocalarından Sn. Dr. Orhan YAVUZ'a ve ayrıca ince kesitlerin hazırlanmasında çok büyük emeği geçen İTÜ Maden Fakültesi'nin değerli teknikeri Sn. Mehmet Ali ORAL'a teşekkürü bir borç bilirim.

Değerli yardımlarından dolayı; İTÜ Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü'nden Dr. Kudret Tahsin PEREK'e, Sn. Yük. Müh. Lokman ÖZTEKİN'e; İTÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü Uygulamalı Jeoloji Anabilim dalında görevli tekniker Sn. Yüksel ILGAR'a; İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü araştırma görevlilerinden Sn. Türker HÜDAVERDİ ve Sn. Emre AVUNDUK'a, numunelerinin teminindeki katkılarından dolayı Ürün Mermer Firması'na teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, öğrenim hayatım boyunca benim için hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan ANNEM başta olmak üzere aileme, yüksek lisans çalışmalarımın her aşamasında yanımda olan biricik sevgilim Metalurji ve Malzeme Mühendisi Sn. Dilek DUMAN'a şükranlarımı sunarım.

Mayıs 2009

Ozan Bayram (Maden Mühendisi)

iv

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ŞEKİL LİSTESİ	xiii
ÖZET	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışma Hakkında Genel Bilgiler	3
1.2 Çalışmanın Kapsamı	3
2. DOĞAL TAŞLAR HAKKINDA GENEL BİLGİLER	7
2.1 Doğal Taşın (Mermerin) Tanımı	7
2.2 Doğal Taşların Sınıflandırılması	7
2.2.1 Doğal taşların jeolojik oluşumlarına şekillerine göre sınıflandırılması	8
2.2.1.1 Metamorfik kökenli doğal taşlar	8
2.2.1.2 Sedimanter (tortul) kökenli doğal taşlar	11
2.2.1.3 Magmatik kökenli doğal taşlar	13
2.2.2 Doğal taşların değişik özelliklerine göre sınıflandırılması (diğer sınıf	lama
yöntemleri)	15
2.2.3 Doğal taşların endüstriyel açıdan sınıflandırılması	16
3. KAYAÇ DOKUSU	17
3.1 Kayaç Dokusunun Tanımı	17
3.2 Kayaçlarda Görülen Doku Türleri	17
3.2.1 Metamorfik kayaçlarda doku	18
3.2.2 Sedimanter kayaçlarda doku	22
3.2.3 Magmatik kayaçlarda doku	23
3.3 Kayaçların Dokusal Ozelliklerinin Sayısallaştırılması	24
3.3.1 Kayaç dokusunun geometrik özellikleri ve geometrik parametreler	24
3.3.1.1 Tane uzunluğu ve genişliği	25
3.3.1.2 Tane alanı	25
3.3.1.3 Tane çevresı	25
3.3.1.4 Tane açısı (oryantasyonu)	26
3.3.2 Doku katsayısı kavramı ve hesabi	26
4. DOGAL TAŞLARIN MEKANIK, FIZIKSEL VE MINERALOJIK-	
PETROGRAFIK OZELLIKLERI	33
4.1 Fiziksel Üzellikler ve Deneyleri	34
4.1.1 Y ogunluk ve birim hacim agirlik (kumpas yöntemi)	34
4.1.2 Hacim kutlesi(gorunur yogunluk)	35
4.1.3 Su içerigi	37
4.1.4 SU emme	38
4.1.5 Ozgul kutle (gerçek yogunluk)	40

4.1.6 Görünen porozite (zahiri porozite)	.41
4.1.7 Doluluk oranı (kompasite)	.42
4.1.8 Porozite (toplam porozite)	.42
4.1.9 Sonik hız	.42
4.2 Mekanik Özellikler ve Deneyleri	.45
4.2.1 Tek eksenli basınç dayanımı	.45
4.2.2 Brazilian çekme dayanımı	.46
4.2.3 Elastisite modülü	.48
4.2.4 Nokta yük dayanımı	. 50
4.2.5 Schmidt çekiç sertliği	. 52
4.2.6 Shore sertliği	. 54
4.2.7 Koni delici sertliği	. 55
4.2.8 Darbe mukavemeti	. 57
4.2.9 Darbeli aşınma(Los Angeles deneyi)	. 59
4.2.10 Sürtünme ile aşınma kaybı (Böhme metodu)	.60
4.3 Mineralojik-Petrografik Özellikler	.63
5. BAZI DOĞAL TAŞLARIN MEKANİK, FİZİKSEL VE MİNERALOJİK-	
PETROGRAFİK ÖZELLİKLERİ İLE DOKUSAL ÖZELLİKLERİNİN	
BELİRLENMESİ	.65
5.1 Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi ve Deney Sonuçları	. 65
5.1.1 Yoğunluk ve birim hacim ağırlığın belirlenmesi	. 65
5.1.2 Hacim kütlesinin belirlenmesi	. 65
5.1.3 Su içeriğinin belirlenmesi	. 65
5.1.4 Hacimce ve kütlece su emmenin belirlenmesi	.67
5.1.5 Özgül kütlenin belirlenmesi	.67
5.1.6 Görünen porozitenin (zahiri) belirlenmesi	. 67
5.1.7 Doluluk oranının belirlenmesi	. 68
5.1.8 Porozitenin belirlenmesi	. 68
5.1.9 Sonik hızın belirlenmesi	. 68
5.2 Mekanik Ozelliklerin Belirlenmesi ve Deney Sonuçları	.71
5.2.1 Tek eksenli basınç dayanımının belirlenmesi	.71
5.2.2 Brazilian (dolaylı) çekme dayanımının belirlenmesi	.71
5.2.3 Elastisite modülünün belirlenmesi	.72
5.2.4 Nokta yükü dayanımı indeksinin belirlenmesi	.72
5.2.5 Schmidt çekiç sertliğinin belirlenmesi	.74
5.2.6 Shore sertliğinin belirlenmesi	.74
5.2.7 Koni delici sertliğinin belirlenmesi	.74
5.2.8 Darbe mukavemetinin belirlenmesi	.75
5.2.9 Darbeli aşınmanın (Los Angeles) belirlenmesi	.75
5.2.10 Sürtünme aşınma kaybının belirlenmesi	.76
5.3 Mineralojik-Petrografik Özelliklerin Belirlenmesi ve Analiz Sonuçları	.78
5.4 Doku Katsayısı Değerlerinin Belirlenmesi	. 84
6. BAZI DOGAL TAŞLARIN DOKUSAL OZELLIKLERI ILE FIZIKSELV	E
MEKANIK OZELLIKLERI ARASINDAKI ILIŞKILERIN BELIRLENMES	51
VE INCELENMESI	.93
0.1 Istatistiksel Yontem Kullanilarak Dokusal Özellikler ile Fiziksel ve Mekanil	(()2
6.1.1 Diringi (I) gran dožal teolorus dolayest özellikleri ile fizikast ve mekerik	.75
özəllikləri ərəşindəki ilişkilər	06
uzemikien afasındaki mşkilet	. 70

6.1.2 İkinci (II.) grup doğal taşların dokusal özellikleri ile fiziksel ve m	ekanik
özellikleri arasındaki ilişkiler	
6.1.3 Üçüncü (III.) grup doğal taşların dokusal özellikleri ile fiziksel ve	mekanik
özellikleri arasındaki ilişkiler	
7. SONUÇLAR	
KAYNAKLAR	
EKLER	
EKLER	

viii

KISALTMALAR

ASTM: American Society for Testing and MaterialsISRM: International Society of Rock MechanicsTSE: Türk Standartları EnstitüsüCANMET: Canada Centre for Mineral and Energy Technology

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1 : Çalışmada kullanılan doğal taşların sınıfları, türleri ve yerleri	4
Çizelge 2.1 : Doğal taşların sınıflandırılması	9
Çizelge 2.2 : Mermerlerin jeolojik oluşum bakımından açıklamalı sınıflandırılmas	51.
	. 10
Çizelge 2.3 : Doğal taşların sertliğine göre sınıflandırılması	. 15
Çizelge 2.4 : Doğal taşların mineral tane boyutuna göre	
sınıflandırılması.	. 15
Çizelge 2.5 : Doğal taşların mineral yapı ve dokularına göre	. 15
Çizelge 2.6 : Doğal taşların mineral bileşimi ve oranlarına göre	
mineralojik (petrografik) göre sınıflandırılması	. 16
Çizelge 3.1 : Metamorfik kayaç dokusal tanımlamaları	. 20
Çizelge 3.2 : Metamorfik kayaçlarda dokuya bağlı ikili sınıflama	. 21
Çizelge 3.3 : Metamorfik kayaçlarda dokuya bağlı üçlü sınıflama	. 21
Çizelge 3.4 : Dar açı farkları ağırlıklarının hesabı	. 29
Çizelge 4.1 : Tek eksenli basınç dayanımı deneyinde kullanılabilecek karot boyut	ları
Cizelge 4.2 · Los Angeles denevinde denev numunesi tane hüvüklüğü sınıfları	.45
alınacak denev numunesi miktarları ile celik hilva adetleri verleri	59
Cizelge 51 · Voğunluk ve birim hacim ağırlık denev sonucları	66
Cizelge 5.2 · Hacim kütlesi (görünür voğunluk) denev sonuçları	66
Cizelge 5.3 : Su iceriği denevi sonucları	. 00 67
Cizelge 5.4 : Su emme deney sonuclari	. 67
Cizelge 5.5 : Özgül kütle (gercek voğunluk) denev sonucları	. 69
Cizelge 5.6 : Görünen (zahiri) porozite denev sonucları	. 69
Cizelge 5.7 : Doluluk oranı ve porozite değerleri.	.70
Cizelge 5.8 : Sonik hız denevi sonucları	.70
Cizelge 5.9 : Tek eksenli hasınc dayanımı denev sonucları	71
Cizelge 5.10 : Brazilian (dolaylı) cekme dayanımı deney sonucları	72
Cizelge 5.11 : Statik elastisite modülü değerleri	73
Cizelge 5.12 : Nokta vükü indeksi denev sonucları	.73
Cizelge 5.13 : Schmidt cekic sertliği deney sonucları	.74
Cizelge 5.14 : Shore sertliği denev sonucları	.75
Cizelge 5.15 : Koni delici denev sonucları	.76
Cizelge 5.16 : Darbe mukavemeti denev sonuclari	.77
Cizelge 5.17 : Darbeli asınma (Los Angeles) denev sonucları	.77
Cizelge 5.18 : Sürtünme ile asınma (böhme) denev sonucları	.78
Cizelge 5.19 : Kayac dokusunun sayısallastırılmasında kullanılacak görüntü islem	ie
ve analiz sisteminin özellikleri	. 85
Çizelge 5.20 : İnce kesit görüntüsünde seçilen referans alanı içerisinde yer alan	
tanelere ait geometrik parametreler	. 87
Çizelge 5.21 : TC'nin hesaplanmasında gerekli olan parametrelerin elde edilişi	. 88

Çizelge 5.22 : Açı faktörü (AF ₁) değerinin hesaplanması (temsili)	89
Çizelge 5.23 : Çalışmada kullanılan doğal taşların doku katsayıları	90
Çizelge 6.1 : Çalışmada kullanılan doğal taşların fiziksel özellikleri	94
Çizelge 6.2 : Çalışmada kullanılan doğal taşların mekanik özellikleri	95
Çizelge 6.3 : Çalışmada kullanılan doğal taşların mineralojik/petrografik kayaç	
tanımına göre sınıflandırılması	96
Çizelge 6.4 : I. Grup doğal taşların dokusal özellikleri ile fiziksel ve mekanik	
özellikleri arasındaki ilişkiler	96
Çizelge 6.5 : II. Grup doğal taşların dokusal özellikleri ile fiziksel ve mekanik	
özellikleri arasındaki ilişkiler	105
Çizelge 6.6 : III. Grup doğal taşların dokusal özellikleri ile fiziksel ve mekanik	
özellikleri arasındaki ilişkiler	114
Çizelge 7.1 : Bazı doğal taşların dokusal özellikleri ile fiziksel ve mekanik özelli	ikleri
arasındaki ilişkiler gösteren özet çizelge	119

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 : Çalışmada kullanılan doğal taşların yerleri.	3
Şekil 1.2 : Çalışmada izlenen yolu ve yapılan işlemleri gösteren akım şeması	5
Şekil 3.1 : Metamorfik kayaçlarda görülen bazı doku türleri	. 19
Şekil 3.2 : Sedimanter kayaçların karakteristik dokuları	. 22
Şekil 3.3 : Magmatik kayaçlarda görülen temel doku türleri.	. 23
Şekil 3.4 : Çalışmada izlenen yolu ve yapılan işlemleri gösteren akım şeması	. 23
Şekil 3.5 : Maksimum ve minimum feret çapları (uzunluk ve genişlik) ve açı	. 25
Şekil 3.6 : Örnek bir tanenin alanı ve çevresi	. 25
Şekil 3.7 : Doku katsayısı hesabında izlenen yolu gösteren akım şeması	. 28
Şekil 3.8 : Sapmış tanelerin açılarının gösterilişi; a) Üç tane örnek sapmış tanenin	
açıları; b) Dar açı farkının gösterilişi.	. 30
Şekil 3.9 : İnce kesit taslağı örneği	. 32
Şekil 4.1 : Numune hazırlamada kullanılan makine ve teçhizat; a) Blok küçültme	
amaçlı testere, b) Karot alma makinesi, c) Karot (başı) düzeltme cihazı,	,
d) Ince Ince kesit taslağı örneği.	. 33
Şekil 4.2 : Deneylerde kullanılan bazı araç ve gereçler; a) etüv, b) desikatör, c)	
hassas terazi, d) kumpas	. 35
Şekil 4.3 : Arşimet terazisi; a) şematik görünüm, b) fotoğraf görünüm	. 38
Şekil 4.4 : Deneylerde kullanılan bazı makıne ve ekipman; a) piknometre (500 ml)),
b) çeneli kırıcı, c) isitici, d) vakum pompası	. 40
Şekil 4.5 : Sonik hiz deneyinin gereçleri ve bağlantılarından bir görünüm; 1a)	
gonderici ve 1b) alici çevirgeçler, 2) osiloskop, 3) sinyal uretici, 4) den	ey
	. 44
Sekil 4.6 : Sonik niz deney duzeneginin şematik gorunumu	.44
Sekil 4.7 : Ele marka murolik pres.	. 40
Şekii 4.8 : Çekme dayanımı deneyi lolograf ve şematik gorunum, numune boyutla	.11.
Sakil 4.9 · Carilma dafarmasyan ağrisi	.47
Sokil 4.10 · Eksenel birim deformasyon düsey gerilim eğrişinden değişik eleştişite	.47
modülü değerlerinin beşanlanmaşı: a) teğet b) ortalama c) kiriş	
modulu degenerinin nesapianinasi, a) teget, b) ortanana, e) kiriş modülleri	<u>4</u> 9
Sekil 4.11 : Eksenel deformasyon ölcümünde kullanılan komparatörün görünümü	50
Sekil 4.12 : Nokta vük denev aleti	.51
Sekil 4.13 : Nokta vük denevinde örnek tipleri ve boyutları: a) capsal b) eksenel (c)
blok. d) düzensiz sekilli.	.52
Sekil 4.14 : Gecerli ve gecersiz denevlere ait tipik venilme sekilleri a) gecerli	-
(capsal), b) geçerli (eksenel), c) geçerli (blok örnekler için), d) geçersi	İZ
(karot), e) geçersiz (eksenel), f) geçersiz (blok için).	. 52
Şekil 4.15 : Schmidt çekici.	.53
Şekil 4.16 : Schmidt sertliği değerinden tek eksenli basınç dayanımının kestirimi.	. 54
Şekil 4.17 : Shore sertlik (SH) değerleri ile örnek hacimleri arasındaki ilişki	. 54

Şekil	8: Shore Sertlik Scleroscope'nun görünümü; a) önden, b) yandan	. 55
Şekil	9: Koni delici	. 56
Şekil	20 : Darbe mukavemeti deneyi cihazı şematik görünüm	. 58
Şekil	21 : Los Angeles cihazı (a) ve tireşimli elek seti (b).	. 59
Şekil	2 : Sürtünme ile aşınma kaybı (Böhme metodu) deney cihazı; a) fotoğraf	
-	görünüm, b) sematik görünüm.	. 61
Şekil	23 : Böhme yüzey aşınma deneyinde deney numunesinin kalınlığının	
,	ölçüleceği yerler.	. 61
Şekil	: a) İşlenmemiş ince kesit görüntüsü, b) Leica Qwin programı ile taneleri	n
-	belirlenmesi (işlenmesi) sonucu elde edilen görüntü.	. 86
Şekil	: Çalışmada kullanılan doğal taşların doku katsayısı değerlerini grafiksel	
-	görünümü.	.90
Şekil	: I. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – yoğunluk ilişkisi; a) lineer, b)	
-	logaritmik korelasyon	.96
Şekil	: I. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – birim hacim ağırlığı ilişkisi; a)
	lineer, b) logaritmik korelasyon.	.96
Şekil	3 : I. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – hacim kütlesi ilişkisi; a) lineer	,
	b) logaritmik korelasyon.	.96
Şekil	: I. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – su içeriği ilişkisi; a) lineer, b)	
	logaritmik korelasyon	.96
Şekil	5 : I. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – hacimce su emme oranı ilişkis	si;
	a) lineer, b) logaritmik korelasyon.	.97
Şekil	: I. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – kütlece su emme oranı ilişkisi	;
	a) lineer, b) logaritmik korelasyon.	.97
Şekil	: I. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – özgül kütle ilişkisi; a) lineer, b))
	logaritmik korelasyon	.97
Şekil	B : I. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – görünen porozite ilişkisi; a)	
	lineer, b) logaritmik korelasyon.	.97
Şekil	: I. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – doluluk oranı ilişkisi; a) lineer	• •
	b) logaritmik korelasyon	. 98
Şekil	0: I. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – porozite ilişkisi; a) lineer, b)	
	logaritmik korelasyon	. 98
Şekil	1: I. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – P dalga hızı ilişkisi; a) lineer	,
	b) logaritmik korelasyon.	. 98
Şekil	2: I. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – S dalga hızı ilişkisi; a) lineer	,
	b) logaritmik korelasyon.	. 98
Şekil	3 : I. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – dinamik elastisite modülü	
	ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon	. 99
Şekil	4 : I. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – tek eksenli basınç dayanımı	
	ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon	100
Şekil	5 : I. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – Brazilian çekme dayanımı	
	ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon	100
Şekil	6 : I. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – statik elastisite modülü ilişki	si;
	a) lineer, b) logaritmik korelasyon.	100
Şekil	7: I. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – nokta yükü dayanımı ilişkisi	,
	a) lineer, b) logaritmik korelasyon.	100
Şekil	8: I. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – Schimdt çekiç sertliği ilişkis	i;
	a) lineer, b) logaritmik korelasyon.	101

Şekil 6.19 : I. Grup doğal taşlar için doku katsayısı –	Shore sertliği ilişkisi; a) lineer,
b) logaritmik korelasyon	
Şekil 6.20 : I. Grup doğal taşlar için doku katsayısı -	koni delici sertliği ilişkisi; a)
lineer, b) logaritmik korelasyon	
Şekil 6.21 : I. Grup doğal taşlar için doku katsayısı -	darbe mukavemeti ilişkisi; a)
lineer, b) logaritmik korelasyon.	
Sekil 6.22 : I. Grup doğal taslar için doku katsayısı –	Los Angeles darbeli asınma
iliskisi (100 devir icin); a) lineer, b) logar	ritmik korelasyon
Sekil 6.23 : I. Grup doğal taslar için doku katsayısı –	Los Angeles darbeli asınma
iliskisi (500 devir icin): a) lineer, b) logar	ritmik korelasvon
Sekil 6.24 : I. Grup doğal taslar icin doku katsavısı –	Böhme vüzev asınma kavbı
iliskisi (500 devir icin): a) lineer, b) logar	ritmik korelasvon 102
Sekil 6.25 : II. Grup doğal taslar için doku katsayısı –	- voğunluk ilişkişi: a) lineer. b)
logaritmik korelasyon.	104
Sekil 6.26 : II Grup doğal taslar için doku katsayısı –	- birim hacim ağırlığı ilişkişi [.] a)
lineer b) logaritmik korelasvon	105
Sekil 6.27 : II Grup doğal taşlar için doku katşayışı –	- hacim kütlesi iliskisi: a) lineer
b) logaritmik korelasyon	105
Sekil 6.28 : II Grup doğal taşlar için doku katşayışı –	- su iceriği ilişkişi: a) lineer b)
logaritmik korelasyon	105
Sekil 6.29 : II Grup doğal taşlar için doku katşayışı –	- hacimce su emme oranı
iliskisi: a) lineer b) logaritmik korelasvo	n 105
Sekil 6.30 : II. Grup doğal taşlar için doku katşayışı –	- kütlece su emme oranı ilişkişi
a) lineer b) logaritmik korelasvon	106
Sekil 6 31 · II Grup doğal taşlar için doku katşayışı –	- özgül kütle ilişkişi: a) lineer
h) logaritmik korelasvon	106
Sekil 6 32 · II Grup doğal taşlar için doku katşayışı –	- görünen norozite ilişkişi: a)
lineer h) logaritmik korelasvon	106
Sekil 6.33 : II Grup doğal taşlar için doku katşayışı –	- doluluk oranı ilişkişi: a) lineer
h) logaritmik korelasyon	106
Sekil 6.34 : II Grup doğal taşlar için doku katşayışı –	- porozite iliskisi: a) lineer, b)
logaritmik korelasyon	107
Sekil 6.35 : II Grup doğal taşlar için doku katşayışı –	- P dalga hızı ilişkişi: a) lineer
b) logaritmik korelasyon	107
Sekil 6.36 : II Grup doğal taşlar için doku katşayışı –	- S dalga hızı ilişkişi [.] a) lineer.
b) logaritmik korelasyon.	107
Sekil 6.37 : II Grup doğal taşlar için doku katşayışı –	- dinamik elastisite modülü
iliskisi: a) lineer, b) logaritmik korelasvor	n 107
Sekil 6.38 : II. Grup doğal taşlar için doku katşayışı –	- tek eksenli başınc davanımı
iliskisi: a) lineer b) logaritmik korelasvo	n 109
Sekil 6.39 : II. Grup doğal taşlar için doku katşayışı –	- Brazilian cekme davanımı
iliskisi: a) lineer b) logaritmik korelasvo	n 109
Sekil 6 40 · II. Grup doğal taşlar için doku katşayışı –	- statik elastisite modülü ilişkişi:
a) lineer h) logaritmik korelasvon	100
Sekil 6 41 • II Grun doğal taşlar için doku katşayışı -	- nokta viikii davanımı iliskisi
a) lineer h) logaritmik korelasvon	100 100 100 100 100 100 100 100 100 100
Sekil 6.42 : II Grun doğal taşlar için doku katşayışı –	- Schmidt cekic sertliği ilişkişi
a) lineer h) logaritmik korelasvon	110
a) miles, b) togarnink koretasyon	

Şekil 6.43 : II. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – Shore sertliği ilişkisi; a) lineer,
b) logaritmik korelasyon
Şekil 6.44 : II. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – koni delici sertliği ilişkisi; a)
lineer, b) logaritmik korelasyon
Şekil 6.45 : II. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – darbe mukavemeti ilişkisi; a)
lineer, b) logaritmik korelasyon
Şekil 6.46 : II. Grup doğal taşlar ıçın doku katsayısı – Los Angeles darbeli aşınma
ilişkisi (100 devir için); a) lineer, b) logaritmik korelasyon 111
Şekil 6.47 : II. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – Los Angeles darbeli aşınma
ilişkisi (500 devir için); a) lineer, b) logaritmik korelasyon
Şekil 6.48 : II. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – Böhme yüzey aşınma kaybı
ilişkisi (500 devir için); a) lineer, b) logaritmik korelasyon
Şekil 6.49 : III. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – yoğunluk ilişkisi; a) lineer, b)
logaritmik korelasyon114
Şekil 6.50 : III. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – birim hacim ağırlığı ilişkisi;
a) lineer, b) logaritmik korelasyon
Şekil 6.51 : III. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – tek eksenli basınç dayanımı
ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon
Şekil 6.52 : III. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – Brazilian çekme dayanımı
ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon
Şekil 6.53 : III. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – Schmidt çekiç sertliği ilişkisi;
a) lineer, b) logaritmik korelasyon
Şekil 6.54 : III. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – Shore sertliği ilişkisi; a)
lineer, b) logaritmik korelasyon
Şekil 6.55 : III. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – koni delici sertliği ilişkisi; a)
lineer, b) logaritmik korelasyon
Şekil A.1 : Tek eksenli basınç dayanımı deney öncesi fotoğraflar 125
Şekil A.2 : Tek eksenli basınç dayanımı deney öncesi fotoğraflar (devamı) 126
Şekil A.3 : Tek eksenli basınç dayanımı deney sonrası fotoğraflar 127
Şekil A.4 : Tek eksenli basınç dayanımı deney sonrası fotoğraflar (devamı) 128
Şekil A.5 : Böhme aşınma kaybı numuneleri
Sekil A.6 : Darbe mukavemeti deney numuneleri
Şekil A.7 : 5 no'lu doğal taşa ait ince kesitin görünümü
Şekil A.8 : 1TB no'lu doğal taşa ait ince kesitin görünümü
Şekil A.9 : 3PT no'lu doğal taşa ait ince kesitin görünümü
-

BAZI DOĞAL TAŞLARIN DOKUSAL ÖZELLİKLERİ İLE MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Çalışmada yapı sektörünün vazgeçilmez bir tercihi olan doğal taşlar ele alınmıştır. Doğal taşlar çeşitli mekanik ve fiziksel özelliklere sahiptir. Bu özellikleri hangi amaçla kullanılacakları konusunda büyük önem arz etmektedir. Mekanik ve fiziksel özellikler çeşitli deneylerin sonucunda belirlenebilmektedir. Bunun yanında kayacın dokusal özellikleri ile fiziksel ve mekanik özellikleri arasında bir ilişkinin olduğu bugüne kadar yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur. Bundan dolayı değerlendirme yapılırken fiziksel ve mekanik özellikler ile birlikte dokusal özelliklerinde bir bütün olarak ele alınması gerekmektedir.

Bu araştırmanın amacı bazı doğal taşların dokusal özellikleri ile fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkileri ortaya koymaktır. Çalışma kapsamında Türkiye'nin farklı bölgelerine ait 19 adet doğal taş türü kullanılmıştır. Bu doğal taşların ilk olarak fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan doğal taşlara ait 9 farklı fiziksel ve 10 farklı mekanik özellik tayin edilmiştir. Bu özellikleri belirlemek için çok sayıda deney yapılmış ve bu deneyler uluslararası standartlara ve literatüre uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Doğal taşların dokusal özelliklerinin belirlenmesinde ise ilk olarak her doğal taş numunesinden ince kesitler hazırlanmıştır. Bu ince kesitler, her bir doğal taş türünün hem mineralojik ve petrografik özelliklerini belirlemede hem de dokusal özelliklerinin sayısallaştırılmasında kulllanılmıştır. Mineralojik ve petrografik özellikler belirlenirken hazırlanan ince kesitlerin polarizan mikroskop altındaki görüntülerinin ayrıntılı analizi yapılmıştır. Dokusal özelliklerin sayısallaştırılmasında ise hazırlanan ince kesitlerin ilk olarak mikroskop altındaki görüntülerinin fotoğrafları çekilmiş ve bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Daha sonra bu fotoğraflar, dokunun sayısallaştırılmasına imkan veren bilgisayar yazılımında işlenerek çalışmada kullanılan doğal taşların her birinin ayrı ayrı doku katsayısı hesaplanmıştır.

Kayaçların dokusal özellikleri, dokuyu meydana getiren tanelerin ve tanelerin birbirine bağlanmasını sağlayan çimento malzemesi olan matriksin özelliklerinin tümünün bir bütün olarak ele alınması ile ortaya çıkan özelliklerdir. Bu konu üzerinde uzun yıllar boyunca bir çok çalışma yapılmıştır. En önemli çalışma, 1986 yılında Howarth ve Rowlands'ın ortaya attığı doku katsayısı kavramı ile dokusal özellikleri sayısallaştırması olmuştur. Dokusal özelliklerin değerlendirilmesinde dokuyu meydana getiren tanelerin her birinin uzunluğu, genişliği, çevresi, alanı ve açısı olmak üzere geometrik özellikleri belirlenir.

Bu özelliklerin belirlenmesinin ardından doku katsayısının (TC) hesaplanması ile kayacın dokusal özelliklerinin sayısallaştırılması mümkün olur. Literatürde, doku katsayısı (TC) ile kayaçların mekanik ve fiziksel özellikleri arasında çeşitli ilişkilerin olduğu ortaya konmuştur.

Yapılan deneyler ve analizler sonucunda bazı doğal taşlara ait fiziksel ve mekanik özellikler ile birlikte dokusal özellikler de sayısallaştırılmış ve bunların birbirleri olan ilişkileri araştrılmıştır.

INVESTIGATION OF CORRELATION BETWEEN MECHANICAL-PHYSICAL PROPERTIES AND TEXTURAL PROPERTIES OF SOME NATURAL STONES

SUMMARY

In this study, natural stones which are the indispensable choice of building industry, were discussed. Natural stones have several mechanical and physical properties. These properties very important for determination of intended use. Mechanical and physical properties can be determined by several experiments. Furthermore, presence of correlation between textural properties of rock and physical - mechanical properties was introduced by many studies by until now. Therefore, physical and mechanical properties should be evaluated together with textural properties.

Purpose of the study is introducing the correlation between textural properties and physical - mechanical properties of some natural stones. In the scope of this study 19 type of natural stones from different regions of Turkey were used. Firstly, mechanical and physical properties of these natural stones were determined. Nine physical and ten mechanical properties of natural stones were determined. Many experiment were done to determine these properties which were realized in accordance with literature and international standards.

First of all, thin sections of each natural stones samples were prepared for determination textural properties of natural stones. Thin sections were used to determine mineralogical and petrographical properties of natural stones also to quantify textural properties of natural stones. Examining these sections under the view of microscope to determine mineralogical and petrographical properties. In order to quantify the textural properties, firstly, the view of the thin sections under the microscope were photographed and stored in a computer. Texture coefficients of each natural stones were calculated by using these photographs which were analyzed with related computer software.

Textural properties of rocks are the properties of matrix that is connected the grains each other and grains that forms the texture. There are a lot of studies about this issue over many years. The most important study was done byHowarth and Rowlands in 1986. They introduced concept of texture coefficient for the quantification of texture. Geometrical properties such as length, breadth, perimeter, area and orientation of the grains that compose the texture are determined for evaluation of textural porperties. After determination of these properties, calculation of texture coefficient makes possible quantifiacation of textural properties of rock. According to literature, there are some correlation between texture coefficient (TC) and mechanical-physical properties of rock.

After all experiments and analysis were done, the correlation between quantified textural properties and physical-mechanical properties was investigated.

XX

1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze kadar insanlık tarihi boyunca doğal taşlar kullanılmış ve kullanılmaya da devam etmektedir. İnsanlar kayacı ilk zamanlarda kendini savunmak ve avlanma (beslenme) amacıyla silah yapımında, ilerleyen zamanlarda ve günümüzde ise sıkça gördüğümüz üzere barınma ve korunma amacı ile faydalanmış ve kullanmayı da sürdürmektedir.

İnsanlık tarihi boyunca doğal taşlar, yapıların tümünde veya bunların çeşitli şekillerde süslenmesinde kullanılmıştır. Tarih boyunca yapılmış olan yapıların birçoğu günümüze kadar ayakta kalabilmiştir. Bunun en önemli nedenlerinden biri insanlık tarihi boyunca gelişimini sürdüren mühendisliktir. Bundan dolayı bu yapılar diğer bir deyişle mühendislik yapılarıdır. Bu mühendislik yapılarının optimum koşullarda doğru bir şekilde planlanabilmesi için yapıda kullanılan kayaç malzemesinin, laboratuvar ve arazi şartlarında yapılacak bir takım deneyler le elde edilecek doğru verilerle analiz edilmesi gerekmektedir. Özellikle doğal malzemelerin (kayaç malzemesi) yapısından kaynaklanan belirsizlikler nedeniyle yapılacak olan veri eldesi ve analizi çok önemli olmaktadır. Elde edilen verilerin analizi sonucu hesaplanan parametrelerin gerçek hayattaki uygulamasında çeşitli sorunlarla karşılaşılabilmektedir. Kaya kütlesinin içerdiği süreksizlikler ve buna benzer belirlenebilen veya belirlenemeyen yapısal bozukluklardan dolayı örtüşmeyen değerler neticesinde farklı arayışlara gidilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Kaya kütlesi, kayaç malzemesi ve süreksizliklerin birlikte meydana getirdikleri bir yapıdır. Kaya kütlesinin dayanımının belirlenebilmesi için bunların araştırılması gerekmektedir. Süreksizlikler arazi çalışmaları ile belirlenmekte ve kaya kütlesinin dayanımını olumsuz yönde etkilemekte iken, kayaç malzemelerinin mekanik ve fiziksel özellikleri laboratuvar çalışmaları ile belirlenmekte ve kaya kütlesinin dayanımı üzerinde önemli bir etkisi vardır. Kayaç dokusu ise kayaç malzemesini oluşturan tane ve matriksin (taneleri birbirine bağlanmasını sağlayan çimento malzemesi) birlikte kompozisyonu olup, kayaç malzemesinin dayanımını belirlemeye yardımcı olmaktadır (Öztürk, 2006).

1

Kayaçların mühendislik özelliklerinin (fiziksel ve mekanik özellikler), kayaçların dokusal özelliklerinden de etkilendiği bilinmekle birlikte, bu alanda kayaç dokusal özelliklerinin bileşimsel özelliklerden daha etkin olduğu ifade edilmektedir (Ulusay, ve diğ. 1994, Tuğrul ve Zarif, 1999).

Kayaç malzemeleri, homojen ve izotrop olarak kabul edilen ve dayanımları üzerinde malzemeyi oluşturan mineral, minerallerin bulunduğu doku ve tanelerin birbirlerine bağlanmasını sağlayan çimento malzemesinin kompozisyonun etkin olduğu doğal yapı malzemeleridir. Kayaç malzemelerinin dokusal özellikleri kayacı oluşturan tanelerin kompozisyonlarının değerlendirilmesi ile belirlenebilir (Öztürk ve Nasuf, 2002).

Kayaç dokusal özellikleri; kayaçlardan alınan kesitlerin incelenmesi sonucunda dokuyu oluşturan tanelerin ve matriksin bir bütün olarak değerlendirilmesi ve bunların geometrik özelliklerinin belirlenmesi ile ortaya çıkan özelliklerdir. Kısacası kayaç doku özelliklerinin sayısallaştırılmasıdır. Bu konuda 1980'li yıllardan günümüze kadar birçok araştırma yapılmıştır. Literatürde bu konudaki en önemli ve ilk çalışma 1986 yılında Howarth ve Rowlands tarafından ileri sürülen doku katsayısı (TC; Texture Coefficient) tanımıdır. Bu çalışma ile öne sürülen doku katsayısı (TC) parametresi ile kayaçların dokusal özellikleri sayısallaştırılmıştır. Bu çalışmanın ardından günümüze kadar birçok araştırmacı çeşitli kayaç türleri için doku katsayısı ile bazı mekanik ve fiziksel özellikleri arasındaki ilişkileri araştırmışlardır. Bu sayede, kayaçların dokusal özellikleri ile mekanik ve fiziksel özellikleri arasındaki ilişkileri ortaya koymak mümkün olmuştur (Öztürk ve Nasuf, 2002). Olsson (1974), Bell (1978), Hugman and Friedman (1979), Onodera ve Asoka Kumara (1980), Howarth ve Rowlands (1987), Ulusay ve diğ. (1994), Ersoy ve Waller (1995) Azzoni ve diğ. (1996), Jeng ve diğ. (2004), Kahraman ve Alber (2009) gibi araştırmacılar kayaçların dokusal özellikleri ile fiziko-mekanik özellikleri arasındaki korelasyonları (ilişkileri) değişik kayaç türleri için araştırmış ve bunlar arasında kuvvetli korelasyonlar bulmuşlardır.

Bu çalışmanın amacı Türkiye'nin çeşitli yerlerinden (Şekil 1.1) elde edilmiş olan 19 farklı doğal taş numunesinin dokusal (doku katsayısı, TC), fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek ve bunlar arasında ilişkilerin olup olmadığını araştırmaktır. Bu sayede kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri ile TC arasında bir ilişkinin varlığını araştırmak ve daha önce yapılmış çalışmalar ile bir karşılaştırma yapmak mümkün olacaktır.



Şekil 1.1 : Çalışmada kullanılan doğal taşların yerleri (Türkiye Haritası).

1.1 Çalışma Hakkında Genel Bilgiler

Çalışmada ilkçağlardan günümüze kadar gerek doğal görünümleri, gerekse de uzun ömürlü olmalarından dolayı yapı alanında en çok tercih edilen malzemeler olan doğal taşlar (mermerler) ele alınmıştır. Tez çalışmasına konu olan doğal taşlar Çizelge 1.1'de verilmiştir. 19 çeşit doğal taş numunesi kullanılarak gerçekleştirilen bu çalışmada numunelerin her birinin ince kesitleri alınarak doku katsayıları çıkarılmıştır. 15 çeşit doğal taş numunesinin fiziksel ve mekanik özellikleri ile ilgili deneyler çalışmanın yapıldığı süre içerisinde gerçekleştirilmiş olup sadece 4 çeşit doğal taş numunesinin fiziksel ve mekanik özellikleri (2008) tarafından mayıs 2008'de tamamlanmış olan "Doğal Taş Madenciliğinde Kullanılan Zincirli Kesme Makinelerinin Kazı Performanslarının Optimizasyonu" başlıklı Tübitak projesinden alınmıştır.

1.2 Çalışmanın Kapsamı

Çalışmada bazı doğal taşların doku, fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmış, elde edilen sonuçlar doğrultusunda doku özellikleri ile fiziko-mekanik özelliklerin arasındaki ilişkiler istatistiksel yöntemlerle değerlendirilmiştir

Numune	Doğal Taş	Alındığı Yer
No		
1	Traverten	Denizli/Kaklık
2	Bej mermer	Antalya/ Korkuteli
3	Bej mermer	Antalya/Burdur
4	Bej mermer	Bilecik
5	Beyaz mermer	Marmara Adası
6	Bej mermer	Mersin/Taşucu
7	renkli mermer	Bursa/M. Kemal Paşa
8	Bej mermer	Bilecik
9	Bej mermer	Burdur/Karamanlı
10	Bej mermer	Antalya
11	Beyaz mermer	Muğla/Yatağan
12	Siyah mermer	Kayseri/Toros
13	Kireçtaşı	Kırklareli/Vize
14	Yeşil mermer	İzmir/Güzelbahçe
15	Kireçtaşı	Antalya/Demre
$1TB^*$	Beyaz mermer	Muğla/Kavaklıdere
2BB*	Bej mermer	Burdur-Yeşilova
3PT*	Traverten	Burdur-Bucak
4BT*	Traverten	Denizli-Kaklık

Çizelge 1.1 : Çalışmada kullanılan doğal taşların sınıfları, türleri, ve yerleri.

* Tübitak projesinden alınan doğal taş numuneleri (Çopur ve diğ., 2008)

Çalışma kapsamında izlenen yol ve yapılan işlemler bir akım şeması halinde Şekil 1.2'de özetlenmiştir. Yapılan işlemler;

- Doku analizi için her bir doğal taş numunesinden ince kesitlerin hazırlanması, polarizan mikroskop yardımı ile mineralojik, petrografik özelliklerin yanı sıra görüntü işleme tekniği ile doku özelliklerinin sayısallaştırılması
- Doğal taş numunelerinin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi
- Doğal taş numunelerinin mekanik özelliklerinin belirlenmesi
- Belirlenen doku ile fiziksel ve mekanik özellikler arasındaki ilişkilerin ortaya konulması.



Şekil 1.2 : Çalışmada izlenen yolu ve yapılan işlemleri gösteren akım şeması

2. DOĞAL TAŞLAR (MERMERLER) HAKKINDA GENEL BİLGİLER

2.1 Doğal Taşın (Mermerin) Tanımı

Ülkemizde doğal taş (mermer) terimi; kireçtaşı, dolomit, dolomitik kireçtaşı, kristalin karbonatlı kayaçlar ile sert taşlar için kullanılmaktadır (Kulaksız, 2007). Günümüzde doğal taşların tanımı bilimsel (petrografik) ve ticari (endüsriyel) olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Literatüre bakıldığında bazı araştırmacılar "doğal taş" terimini, bazıları da "mermer" terimini bu taşları açıklamada kullanmışlardır. Bu çalışmada ise "doğal taş" ifadesi her iki anlamı da ifade eden ortak bir tanımlama şekli olarak kullanılacaktır.

Bilimsel (petrografik) tanıma göre; kalker/kireçtaşı (CaCO₃), dolomitik kalkerler (CaMg(CO₃)₂) ve/veya bunların değişik oranlarından meydana gelmiş karbonatlı kayaçların değişik ısı (sıcaklık) ve basınç altında metamorfizmaya uğrayarak, tekrar kristalleşmesi sonucunda yeni bir yapı/dokuya sahip metamorfik (başkalaşım) kalsit kristallerinden oluşan kayaçlara doğal taş (mermer) denir (Kulaksız, 2007 ve Onargan ve diğ., 2006).

Ticari (Endüstriyel) tanıma göre ise; ekonomik olarak endüstriyel alanda uygun boyutlarda blok olarak kesilip çıkarılabilen, istenilen boyutlarda düzgün olarak kesilip, ihtiyaca göre (dekoratif vs. amaçlı) cilalanıp parlatılabilen, ekonomik ve ticari bir değere sahip her türlü kayaç doğal taş olarak tanımlanmaktadır (Kulaksız, 2007 ve Onargan ve diğ., 2006).

2.2 Doğal Taşların Sınıflandırılması

Doğal taşlar da aynı zamanda kayaç oldukları için sınıflandırmalarda aynı olmaktadır (tüm kayaçlarda olduğu gibi). Bugüne kadar doğal taşlar için çeşitli sınıflandırmalar yapılmıştır. Bunlar üç ana başlık altında toplanabilir (Güneş, A. N., 2005);

- Doğal taşların Jeolojik Oluşum Şekillerine Göre Sınıflandırılması
- Doğal taşların Değişik Özelliklerine Göre Sınıflandırılması (Diğer

Sınıflandırmalar)

- Doğal taşların Endüstriyel Hammadde Olarak Sınıflandırılması

2.2.1 Doğal taşların jeolojik oluşum şekillerine göre sınıflandırılması

Doğal taşlar seçilen kriterlere göre değişik şekillerde sınıflandırılabilmektedirler. Bunlardan ticari ve petrografik sınıflandırılması Çizelge 2.1'de verilmiştir (Kulaksız, 2007).

Literatüre bakıldığında birçok araştırmacı tarafından doğal taşlar (mermerler) için çeşitli sınıflamaların bugüne kadar yapılmış olduğu ve genelde de doğal taşların (mermerlerin) jeolojik oluşumuna (kökene) göre yapılan sınıflamaların yaygın olarak kullanıldığı görülür. Ayrıca Köktürk (2002) tarafından yapılan mermerlerin (doğal taşlar) jeolojik oluşum bakımından açıklamalı sınıflandırılması da Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Doğal taşlar jeolojik oluşum şekillerine (kökenlerine) göre üçe ayrılırlar (Bilgin ve Çakır, 1998, Conti ve diğ., 1986, Kulaksız, 2007, Onargan ve diğ. 2006);

- Metamorfik (başkalaşmış) kökenli doğal taşlar
- Sedimanter (tortul) kökenli doğal taşlar
- Magmatik kökenli doğal taşlar

2.2.1.1 Metamorfik kökenli doğal taşlar

Metamorfizma terimi başkalaşım anlamına gelmektedir. Çeşitli kayaçların jeolojik ve tektonik olaylar sonucunda oluşan ısı ve basınç ile katı halde yapı, doku, mineral bileşimi gibi fiziksel özelliklerinin değişmesi olayına metamorfizma, bu olaylar sonucu oluşan kayaçlara da metamorfik kayaçlar denir (Güneş, 2005). Diğer bir deyişle metamorfik kökenli doğal taşlar, sedimanter ve magmatik kökenli kayaçların değişik basınç ve sıcaklık koşullarının etkisi ile katı halde, mineralojik ve dokusal başkalaşıma uğramaları sonucu oluşurlar (Kekeç, 2005). Metamorfik kökenli doğal taşlar hakiki (gerçek) mermerler ve şistler olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır (Onargan ve diğ., 2006).

			PETROGRAFİK (KAYA BİLİMİ) ADLANDIRMA			
TİCARİ ADLANDIRMA		DANINI BİLESENLER	MAGMATİK KAYAÇLAR		METAMORFİK	SEDİMANTER
			Plutonik	Volkanik	KAYAÇLAR	KAYAÇLAR
	Granit, Granitoyid,		Monzonit - Diyorit	Fonolitlar	Gnayslar, Leptinitler	
	Kumtaşı, Grovak, Gabro,		Granit ve Granit Ailesi Kayaçlar	Poliolitici	Sigtler vo	
σέρτ τας	Norit, Andezit, Bazalt,	Silis ve/veya Silikatlı	Siyenit ve Siyenit Ailesi Kayaçlar	Foyoidler	Kalksilikatlı	
(GRANİT)	Kuvarsit, Kalksilikatik	Mineraller İcerenler yeya	Gabro ve Gabro Ailesi Kayaclar	Bazalt, Andezit, Dasit	Şistlei	1.Konglomera
	Şistler, Gnayslar, Yeşil Kayaçlar, Bazik ve Ultrabazik vb.	Kayaç Kırıntıları ve Matriks/Çimento İçerenler	Ultra Bazik Kayaçlar Yeşil Kayaçlar		Kuvarsit ve Sleyt	2.Kumtaşı (Grovak-Arkoz)
SLEYT	Sleyt/Arduvaz				Serpantinit, Amfibolit, Şist/Hornfels	
MERMER	Kireçtaşı, Mermer ve	Karbonat, Dolomit ve/veya			Mermer ve Dolomitik	Kireçtaşı, Dolomit Breşler
	Traverten Grubu	Çimento Matriks İçerenler			Mermerler	Traverten
DİĞER	Alabatr Pumis Grubu	Diğer		Anglomera, Pumis, Volkanik Tüfler		Jips Alabatr

Çizelge 2.1 :Doğal taşların sınıflandırılması (Kulaksız, 2004).

Çizelge 2.2 : Mermerlerin jeolojik oluşum bakımından açıklamalı sınıflandırılması (Köktürk, 2002).

I. Grup	Metamorfik kökenli mermerlerdir. Tam kristalleşmiş bilimsel gerçek mermer tanımına uygun doğal taşları içerir. Çoğunlukla iyi kristalleşmişlerdir. Renkleri genellikle beyaz ve açık gridir. Bileşimlerinde birçok yabancı madde taşırlar. Gerçek mermerler, oluşuma uygun Kayagan (Kayraktaşı) Taşları bu sınıfta yer almaktadır.
II. Grup	Sedimanter kökenli mermerleri içerir. Kireçtaşı, oniks mermerleri, kumtaşları ve travertenleri içerir. Karbonatlı olanlarda yapılarında yalnız CaCO ₃ vardır. Travertenler toplu iğne başından, birkaç santimetreye varan boşluklar içerebilmektedirler. Kolay işlenebilmekte ve iyi cila kabul etmektedirler.
III. Grup	Magmatik kökenli mermerleri içerir. Andezit, dasit, granit, siyenit, bazalt, diyabaz, gabro vb. gibi

Gerçek (Hakiki) Mermerler; Gerçek mermerler; kalker (kireçtaş) ve dolomitik kalkerlerin yüksek ısı ve basınç altında (metamorfizma) yeniden kristalleşmesi ile oluşmuşlardır. Gerçek mermerlerin bileşiminin %95 civarında olan kısmını kalsiyum karbonat oluşturmaktadır (Onargan ve diğ., 2006, Şentürk ve diğ., 1996, Kun, 2000).

Diğer bir tanımlamaya göre ise genelde %50 den fazla dolomit (CaMg(CO₃)₂) ve kalsit (CaCO₃) minerali içeren ve "granoblastik" bir dokuya sahip olan kayaçlar "mermer", eğer kayaç saf kireçtaşından oluşmuş ise, kalsit mineralinden oluşan bu kayaç "gerçek mermer" olarak tanımlanır. Eğer dolomitten oluşmuş ise "dolomitik mermer" terimi kulanılır (Kulaksız, 2007). Yapılarında az miktarda magnezyum karbonatın yanı sıra silis, silikat, feldispat, demir oksit, mika fluorit ve oranik maddelerde bulunabilir. Renkleri genellikle beyaz ve grimsidir. İçerdikleri yabancı maddelerin etkisi ile sarı pembe, esmerimsi ve siyah gibi değişik renklere bürünebilirler. Mermer. kalker olarak anılan kireçtaşının metamorfizma geçirmesinden oluşmuş, oldukça sert bir kayaçtır. Bu genel metamorfizma, oldukça derinlerde şiddetli basınç ve sıcaklığın etkisi ile oluşmaktadırlar. Mermerin temelini oluşturan kalker, kalsit kristallerinden oluşmaktadır. Kalsit, kalsiyumlu taşların değişmelerinden, karstik bölgelerdeki çökeltilerden (travertenlerden), kendi eriyiğinden meydana gelir. Kalsit kristallerinin basınç ve sıcaklık altında sıkışması sonucunda bu kristaller arasındaki boşlukların ortadan kalkması ile kalkere göre daha sert bir yapıya sahip mermer meydana gelmektedir (Onargan ve diğ., 2006).

Gerçek mermerler mikroskop altında incelendiğinde, birbirine iyice kenetlenmiş kalsit kristallerinden oluştuğu görülür. Kalsit kristalleri iri ise kaba bir görüntüye sahiptir. Bu tür mermerlerin dış tesirlere karşı mukavemeti azdır. Tane çapları küçüldükçe dayanım artar ve dolayısıyla dış parametrelerden etkilenmesi azalır (Onargan ve diğ., 2006).

Homojen yapı göstermeleri, fazla sert olmamaları, kolayca işlenebilmeleri ve bünyelerinde boşluk bulunmaması, endüstriyel anlamda iyi cila kabul eden doğal taş anlamına gelen mermerin, çeşitli cinslerin başında yer almasında önemli rol oynamaktatadır (Köktürk, 2002).

Şistler – Kayagan (Arduaz) Taşı (Kayrak Taşı); Şistler, volkanik ve sedimanter kayaçların yapı ve bileşimlerinin değişmesi ile meydana gelirler (Güneş, 2005). İnce taneli kil, sedimanter kaya şeyli ve bazen kuvars içerikli oluşumlar bu sınıfta yer almaktadır. Kayagan taşı adı verilen bu kayaç oluşumları çok ince kalınlıklarda şistozite düzlemlerinden kolayca ayrılabilmekte ve genellikle renkleri yeşil, gri veya siyaha yakın olmaktadır. Ticari olarak "slate" olarak bilinmektedir (Onargan ve diğ., 2006).

Kayacın bileşenleri gözle görülebilir (makroskobik) olup kayaçta yapraksı ve prizmatik minerallerin paralel dizilmesi ile iyi bir şisti (yapraklı) doku gelişmiştir. Genellikle porfiroblast bir dokuya sahiptir. Şistlerin mermer olabilme özellikleri genellikle karbonat mineralleri içermesine ya da gnaysik bir dokunun gelişmesine bağlıdır (Kulaksız, 2007).

2.2.1.2 Sedimanter (tortul) kökenli doğal taşlar

Bu doğal taşlar adından da anlaşılacağı gibi çeşitli kayaçlardan (magmatik, metamorfik ve sedimanter) kopan parçaların sürüklenerek bir yerde birikmesi ve daha sonra bir ara malzeme (çimento maddesi) ile çimentolanması (birleşmesi) sonucu oluşan kalkerin yanısıra konglomera, gre, arduvaz gibi detritik veya klastik kökenli doğal taşları (mermerler) içerdiği gibi, su kaynaklarından meydana gelen oniks mermeri, traverten ve kireçtaşı gibi organik veya kimyasal kökenli doğal taşları da (mermerler) içermektedir (Şentürk ve diğ., 1996, Kun, 2000, Kekeç, 2005). Bu tür mermerler genellikle tabakalıdırlar ve çoğu kez fosil içerirler. Fosil jeolojik devirlerde yaşamış canlıların korunmuş olan kalıntıları veya izleridir (Şentürk ve diğ., 1996, Kun, 2000).

Sedimanter kökenli doğal taşlar kireçtaşları, traverten, oniks mermerleri ve kumtaşları olmak üzere dört gruba ayrılırlar (Onargan ve diğ., 2006).

Kireçtaşları; doğrudan çökelme ortamında (Otoktan) ya da çökelme ortamına dışarıdan gelen bileşenlerden (Alloktan) oluşurlar (Kulaksız, 2007). Sedimanter (tortul) kayaçlar içerisinde %50'den fazla kalsiyum (Ca), kalsit (CaCO₃) ve dolomit mineralleri var ise bu tür kayaçlara kireçtaşları (kalker) adı verilmektedir (Krumbein, 1959). Kireçtaşları çok saf olduklarından bileşimlerinde %56 CaO, %44 CO₂ bulunur. Yapılarında %10'dan fazla MgCO₃ bulunan kireçtaşlarına (kalkerlere) "dolomitik kalker", %40-50 civarında MgCO₃ olan kireçtaşlarına ise "dolomit" adı verilmektedir. Bileşimleri kireçli ve dolomitli organik artıkların kimyasal çökelmesi esasına göre oluşan bu tip kalkerler tektonik hareketler neticesi kristalleşir. Bu arada bileşimlerine grafit, demir, manganez, kil ve değişik metal oksitleri alabilirler. Bazı cinslerinde de fosillere rastlanır. Tektonik breşler ve pudinglerde bu sınıfa girerler. Birçoğu tektonik hareketlerin etkisi altında çatlar ve kırılır, ardından buralar madensel bir çimento maddesi ile dolar ve tektonik breşler ve breşimsi mermerler meydana gelmiş olur (Onargan ve diğ., 2006).

Traverten; karbonatlı kaynak suları tarafından depolanan ve yer yer tabakalanma gösteren karbonatlardır (Kulaksız, 2007). Travertenler sıcak su kaynağının kireçtaşını eritmesi ve eriyen materyalleri bünyesine alarak, çatlak veya kırık hatlar boyunca uygun şartlar geliştikçe çökelmeleri sonucunda oluşmaktadır. Travertenler için kaynak olan mineraller; kalsit (CaCO₃), manyezit (MgCO₃), siderit (FeCO₃), rodokrozit (MnCO₃), dolomit (MgCO₃.CaCO₃), aragonit (CaCO₃), Vihderit (BaCO₃), strosiyonit (SrCO₃), malakit, azurit ve sodadır (Onargan ve diğ., 2006). Travertenler ile birlikte nadir toprak elementleri de çökelebilir (Önenç, 2004). Derinliklerden gelen sıcak sular kayalardan geçerken karbonatları cözmeleri yanında bünyelerine ortamda bulunan mineralleri de alabilmektedirler (Onargan ve diğ., 2006). Özet olarak travertenler akarsu veya kaynaklardan (sıcak su) buharlaşma sonucunda kalsitin çökelmesi ile oluşan kimyasal tortul (sedimanter-kireçtaşı) kayaçlardır. Buna göre travertenler beslenme kaynaklarına göre sıcak su travertenleri ve soğuk su travertenleri olarak ikiye ayrılabilir (Kulaksız, 2007). Travertenin meydana gelmesi için asıl şart, yeraltı suyunun yüksek seviyede asitli hale gelmesidir. Yeraltı suyu fazla ve ılık ise traverten oluşmaktadır. Travertenin en görünür özelliği, çok yüksek derecede gözenekli (porozite fazla) olmasıdır. Hatta

12

bazıları gözenekli olmaktan çok, büyük delikli ve yarıklıdırlar (Kekeç, 2005 ve Önem, 1997).

Oniks Mermerleri; Magma suyunun sıcaklığı oldukça düşük ve az olması ve daha fazla madeni tuzlar içermesi, çökelmenin daha yavaş bir şekilde oluşmasına neden olmaktadır. Bu şartlarda meydana gelen taş kristalize, yoğun ve oldukça saydamdır. Bu taşlara oniks mermeri denir (veya su mermeri). Bunlar genellikle beyazi kırmızı, sarı, yeşil renkte olup, yarı saydamdırlar. Kristaller birbirine sıkı şekilde bağlı olduğundan dolayı oldukça serttirler (Onargan ve diğ., 2006). Travertende olduğu gibi oniks mermerinin oluşabilmesi için de temel şart yeraltı suyunun yüksek seviyede asitli hale gelmesidir (Kekeç, 2005).

Kumtaşları; Kum taşları tane çapları 0,2-2 mm arasında değişen silisli, kalkerli, demirli kırıntıların çimentolanması ile oluşan sedimanter (tortul) kökenli kayaçlardır. Kumtaşı, grovak, arkoz gibi isimler almaktadırlar. Bağlama işini yapan maddelerin kompozisyonu kayacın dayanımına, masifliğine, tokluğuna ve rengine etki etmektedir (Onargan ve diğ., 2006). Kumtaşları, kuvars ve feldispat minerallerinden yapılı olduklarından sert mermerler sınıfına dahil edilirler (Kun, 2000).

2.2.1.3 Magmatik kökenli doğal taşlar

Mermer olarak kullanılan magmatik kayaçlar, sedimanter olanlara göre daha dayanıklıdır. Bu bileşimin içerdiği SiO₂ miktarına bağlı olarak bu kayaçlar aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilirler. Magmatik kayaçlar, kendi aralarında derinlik, damar ve yüzey kayaçları olmak üzere üç alt sınıfa ayrılmaktadır. Magmatik kayaçları oluşturan magma çok karmaşık bir kimyasal bileşime sahiptir. Bundan dolayı magmatik kayaçlarda yaygın kullanılan diğer bir sınıflandırma ise kimyasal bileşimlerinde bulunan SiO₂ oranına göre yapılan sınıflamadır. Kayaçlar bileşiminde bulunan SiO₂ yüzdesine göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilirler (Kulaksız, 2007, Şentürk ve diğ., 1996 ve Kun, 2000).

- SiO₂ oranı %66'dan büyük olanlara asidik,
- SiO₂ oranı %55-66 arasında olanlara intermediyer (Nötr)
- SiO₂ oranı %45-55 arasında olanlara bazik,
- SiO₂ oranı %45'den küçük olanlara da ultrabazik magma adı verilmektedir.

Bu kayaçlar içerisinde mermer olarak değerlendirilenler daha ziyade granit, siyenit, gabro ve serpantin gibi derinlik kayaçlarıdır. Yüzey kayaçları olarak da en çok kullanılanları kuvars, porfir, diyabaz, riyolit, trakit, bazalt ve andezit melafirdir. Yüzey kayaçlarından olan diyabaz da işlenme zorluğuna rağmen bileşiminde bulunan piroksen mineralleri nedeniyle güzel bir yeşil renge sahip olduğu için mermer olarak değerlendirilmektedir (Şentürk ve diğ., 1996 ve Kun, 2000). Magmatik kökenli doğal taşlar granit, diyabaz, serpantinit-ultrabazikler ve siyenit olmak üzere dört alt başlık altında incelenebilir (Onargan ve diğ., 2006).

Granit; Sert mermer grubuna giren granit kayaç olarak kimyasal bileşiminde %66'dan fazla SiO₂ içermektedir. Genelde açık, beyaz veya beyaza yakın tonlarda renklere sahiptirler. Silis ve alkalilerce (feldispatlarca) zengin, kalsiyum, demir ve magnezyumca (biyotit, amfibol) fakir ve derin koşullarda (magma kökenli) oluşmuşlardır. Granitler kuvarslı kayaçlar olarak içerdikleri mineral topluluğu yönünden oldukça basit bir bileşime sahiptirler. Genel olarak granit grubu kayaçlar %35 kuvars, %45 feldispat (albit) ve mika (biyotit) minerallerinden oluşurlar (Onargan ve diğ., 2006).

Diyabaz; Diyabaz tanım olarak oluşum yönünden damar kayaçları içinde yer alırken, renk yönünden, yeşil sert mermerler, serpantin, gabro, diyabaz üçlü grubunu oluşturur. Genel kayaç sınıflamalarında derin magma kökenlli, yarı derinlik grubu içinde dolerit-diyabaz şeklinde yer alır. Derinlik kayacı gabro, yüzey kayacı ise bazalttır. Gabro-diyabaz-bazalt üçlüsü benzer aynı kökene sahip kayaçlardır ve bu üçlü grup kimyasal bileşimlerinde silis (SiO₂) %52-45 arasında değişirken, mineral bileşimleri esasen plajioklas ve piroksenlerden oluşur (Onargan ve diğ., 2006).

Serpantin (Serpantinit-Ultrabazikler); Sert yeşil mermer sınıfı içinde yer alan serpantinit-ultrabazik kayaçlar özellikleri nedeni ile diyabaz-gabro ve granitlere yaklaşırlar. Esasen kimyasal olarak silis (SiO₂) içerikleri azdır ve (%45'ten az) bileşiminde kuvars ve feldispat gibi açık renkli minerallere hiç rastlanmaz. Buna karşın demir ve magnezyumlu ağır minerallerce (olivin,piroksen) zengindirler (Onargan ve diğ., 2006).

Siyenit; Kayacın tamamı feldispatlar ve koyu renkli minerallerden oluşur. Genellikle serbest kuvars minerali içermezler. Granitlerden kuvarsın azalması ile ayrılan bu taşlar nadiren porfirik dokulu ince veya çok iri tanelidir. İçerdikleri renkli
elemanlarına göre isimlendirilirler (Biyotitli, hornblentli, ojitli, lösitli siyenit gibi) (Onargan ve diğ., 2006).

2.2.2 Doğal taşların değişik özelliklerine göre sınıflandırılması (diğer sınıflama yöntemleri)

Bugüne kadar farklı araştırmacılar tarafından birçok doğal taş sınıflaması yapılmıştır. Çizelge 2.3, 2.4, 2.5 ve 2.6'de bunlar verilmiştir.

Mermerler			
Yumuşak Mermerler		Sert Mermerler	
Mohs Sertlik Değeri = 3,5 - 4		Mohs Sertlik Değeri = 6 - 7	
<u>AÇIK RENKLİ</u>	<u>KOYU RENKLİ</u>	<u>AÇIK RENKLİ</u>	<u>KOYU RENKLİ</u>
Mermerler	Renkli Mermerler	Granit	Diyabaz
Metamorfik Kalker	Renkli Metamorfik Kayaçlar	Siyenit	Gabro
Şistler	Yeşil Şistler	Kuvars	
Diğerleri	Diğerleri	Diyorit	Serpantinit- Ultrabazik

Çizelge 2.3 : Doğal taşların Sertliğine Göre Sınıflandırılması (Onargan ve diğ., 2006).

Çizelge 2.4 : Doğal taşların (mermerlerin) mineral tane boyutlarına göre sınıflandırılması (Köktürk, 2002).

Kayaç	Tane Boyutu (mm)
İnce taneli mermer	< 1 mm
Orta taneli mermer	1 mm – 5 mm
İri taneli mermer	5 mm – 1 veya 2 cm

Çizelge 2.5 : Doğal taşların mineral yapı ve dokularına göre sınıflandırılması (Köktürk, 2002).

Kayaç	Görünüm ve Özellikler
Masif Mermer	Kompakt, ince ve iri taneli
Laminalı Mermer	İnce taneli, renkli şeritli görünümde, şeritler farklı mineral veya elementler içerirler.
Şistli Mermer	Yapraklı yapıda, önemli oranda mika içerirler.
Breşik Mermer	Kırıklanmış, tekrar ikincil minerallerle dolgulanmıştır. Ara dolgular farklı renk ve mineral içerikli olabilirler.

KAYAÇ	DİĞER MİNERALLER	KALSİT (%)	YAPI, DOKU
Mermer	Mika, opak, kuvars, vb.	95	Masif, taneli
Kalkşist	Klorit, epidot, mika, lepidolit	60-70	Şisti, yönlü
Sopolen	Flogopit, tremolit, diopsit, plajioklas,gröna	80	Şisti, yönlü
Mermer Skarn	Epidot, diopsit, gröna, olivin,plajioklas+ cevher	80-90	Masif, taneli

Çizelge 2.6 : Doğal taşların mineral bileşimi ve oranlarına göre mineralojik (petrografik) sınıflandırılması (Köse ve Onargan, 1992).

2.2.3 Doğal taşların endüstriyel açıdan sınıflandırılması

Kesilip boyutlandırılabilen ve dkoratif amaçlı kullanılabilen tüm doğal taşlar ticari anlamda mermer olarak tanımlanmaktadır. Bunlar; başlıca gerçek mermerler olmak üzere mikritik kireçtaşları, neojen kireçtaşları, travertenler, kumtaşları, vb. Tortul kayaçlar olabildiği gibi andezit, granit, siyenit, granodiyorit, baradorit, çeşitli tüfitler vb. gibi magmatik vevolkanik taşlar olabilmektedir. Ticari bakımdan sınıflandırıldığında (Onargan ve diğ., 2006 ve Kun, 2000);

- Parlatılarak kullanılan doğal taşlar (beyaz, renkli, bej mermerler, travertenler, oniks ve sert taşlar)
- Parlatılmadan kullanılan doğal taşlar (Kayrak taşı, andezit, granit, vs)

3. KAYAÇ DOKUSU

3.1 Kayaç Dokusunun Tanımı

Kayaçlarda doku terimi Orta Avrupa, Anglo-Sakson ve Amerika kıta ülkelerinde makro ve mikro boyutta sözkonusu olan farklı anlamlarda kullanılmaktadır. Yer bilimleri dünyasında, mikroskopik veya mezoskopik olarak ayırt edilen özelliklere doku (texture) terimi kullanılmaktadır. Kayaç oluşturan kristallerin birbirine göre konumu ve düzeninin oluşturduğu şekle doku denilmektedir (Kulaksız, 2007). Williams ve diğ. (1982) kayaç dokusunu, kristalleşme derecesi, kayacı oluşturan bileşenler (öğeler) arasındaki yapı veya geometrik ilişkiler, tane büyüklüğü veya taneleşme olarak tanımlarken, Ulusay (1989), dokuyu, bir kayacı oluşturan bileşenlerin düzeni olarak tanımlamıştır. Howarth ve Rowlands (1987) ise dokuyu, kayacı oluşturan tanelerin geometrik özellikleri ve taneler araşı ilişkiler olarak tanımlamışlardır. Ayrıca Öztürk (2006) kayaç dokusunu kayaç malzemesini oluşturan tanelerin birbirlerine bağlanmalarının sağlanabildiği ortamlar olarak tanımlamıştır. Çeşitli araştırmacılara göre yapılmış olan bu tanımlamalardan hareketle, kayaç dokusunu; kayaçta var olan bileşenler ile kayaç kristallerinin birbirleri arasındaki geometrik ilişkiler olarak (bu özelliklerden bazıları tane boyutları, kristal şekilleri, kristalleşme derecesi ve kristal-matriks arasındaki düzen) tanımlamak mümkündür.

3.2 Kayaçlarda Görülen Doku Türleri

Kayaçlarda görülen dokularla ilgili yapılan araştırmalara bakıldığında doku üzerine yapılan çalışmaların genelde üç amaç doğrultusunda yapılmış olduğu görülmektedir;

- Mineral dokularındaki simetriyi belirlemek; geçmişte kayaçlar üzerinde oluşan deformasyonun simetrisi ile ilgili bilgilere ulaşmak),

- Kayaçların fiziki anizotropisinin belirlenmek; termal, magnetik ve elastiklik özellikleri göz önüne alındığında minerallerin anizotropik özellik gösterdiği, özellikle hacimli kayaçların anizotrpisinin dokuya bağlı olduğu belirtilmiştir (Ullemeyer ve diğ., 2000).

- Kayma ve malzemelerin dağılması gibi fiziki işlemler, gerilme dağılımları, ısı, basınç vb. gibi dış parametreler kayaç dokusunu oluşum üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Skirotzki, 1994).

3.2.1 Metamorfik kayaçlarda doku

Metamorfik kayaçlarda, kristoblastik, granoblastik, çubuksu, yönlü ve kataklastik olmak üzere beş ana grupta toplanabilir. Her bir doku tipi belirli tane şekli ve/veya tane yönlenmesi ile karakterize edilmektedir. Metamorfik kayaçlarda görülen temel bazı doku türlerine ait şekiller Şekil 3.1 ve 3.2'de verilmiştir.

Granoblastik doku; aşağı yukarı eşit tane boyutlu minerallerin oluşturduğu dokudur. Mineral taneleri eşit yuvarlağımsı, elipsoidal, köşeleri az çok yuvarlanmış tabular şeklinde olup, mineraller birbirleri ile sınır ilişkilerinde girintili-çıkıntılı (girift) veya tabular elipsoidal (mozaik) olabilir. Özellikle mermerler bu tip için örnek teşkil ederler (Kulaksız, 2007 ve Kekeç, 2005).

Lepidoblastik (Yapraksı) doku; daha çok mika, klorit, talk gibi pulsu ve yaprağımsı biçimlere sahip mineraller içeren kayaçlarda görülür.

Nemoblastik (Çubuksu) doku; Yuvarlaklaşmış prizmatik veya yaklaşık prizmatik çubuksu mineralleren oluşur. Foliasyon genelde görülmez.

Kataklastik doku; Yönlenmemiş parçalanmış kayaç ve mineraller ile karakterizedir. Daha önce var olan mineral dokuları hakimdir. Bazen parçalanma sonucu çok ince tanelerden oluşan mineral veya kayaç matriksi gelişebilir.

Yönlü doku da mineral tanelerinin belirli yönde dizilimi sonucu kayaçta tabakalanma şeklinde ayrılma ve kopmalar görülebilmektedir. Bunlar şisti, gnaysik ve çizgisel doku özellikleri ile detaylanabilir (Kulaksız, 2007).

Ayrıca Çizelge 3.1'de metamorfik kayaçlarda görülen diğer temel bazı dokusal tanımlamalar ve Çizelge 3.2 ve 3.3'de de metamorfik kayaçlarda dokuya bağlı yapılmış bazı sınıflamalar verilmiş ve mermerin bu sınıflamalar içerisindeki yeri de görülmektedir.



Şekil 3.1 : Metamorfik kayaçlarda görülen bazı doku türleri (Uz, 1992).



Şekil 3.2 : Temel bazı metamorfik dokular; (a) Eş tane boyutlu granoblastik, (b) poligonal mozaik, (c) Heterojen tane porfiblastik, (d) Lepidoblastik, (e) Nemoblastik, (f) Porfiblastik, (g) Grano-lepidoblastik, (h) Granonemoblastik, (i) Grano porfiroblastik, (i) Demet (j) Çiçek/gül, (k) Nodül, (l) Vermikular, (m) Koronitik, (n) Gnaysik doku (Bard, 1986).

Taneler Arası İlişki, Tane Şekli ve Boyu, Tane Yönlenmesi ve Tane Dağılımıyla İlgili Tanımlamalar		Düzlemsel Olmayan, İçine Girilemeyen ve Tane İçi İle İlgili Dokusal Tanımlamalar	
Arduvaz Dokusu	Porfiroklastik doku	Porfiroblastik Doku	
Filitik Doku	Diablastik doku	Allotriyoblastik doku	
Şist Dokusu	Demet dokusu	Hipidiyoblastik doku	
Lepidoblastik Doku	Sferoblastik Doku	Gözlü Doku	
Nematoblastik Doku	Fibroblstik Doku	Korona Dokusu	
Gnays Dokusu	Granoblastik Doku	Poikiblastik doku	
Porfiroblastik-Foliasyon Dokusu	Granoblastik-Poligonal Doku	Simplektit doku	
Nodülerblastik-Şist Dokusu	Protogranular doku-granular doku	Helisitik doku	
Milonitik Doku	Tanesel-Mozaik Doku		
Porfiroklastik Doku	Granoblastik-çok kenetli doku		
Protomilonitik Doku	Heterogranular doku		
Ortomilonitik Doku	Heterogranoblastik Doku		
Ultramilonitik Doku	Nodülerblastik doku		
Yarı Arduvaz dokusu	Klastik (Kırıntılı Doku)		
Yarı-şist dokusu	Kataklastik Dokusu		
Lepidoblastik-yarı-şist dokusu	Foliasyon Gösteren Kataklastik		
Nematoblastik-yarı-şist dokusu	Doku		
Tarak Dokusu	Vitriklastoblastik doku		
Tanesel-çubuksu doku	Kalıntı dokular		

Çizelge 3.1 : Metamorfik kayaç dokusal tanımlamaları (Kulaksız, 2007).

Metamorfik Kayaç Dokusal Tanımlamaları

Belirgin Paralel Dokuya Sahip	Belirgin Paralel Yapıya Sahip
Kayaçlar	Olmayan Kayaçlar
(yapraklanma ve bantlı yapı	
gösteren kayaçlar)	
Arduvaz	Kuvarsit
Milonit (bir kısmı)	Mermer
Fillit	Dolomitik
Şist	Serpantin, vb.
Muskovit	Hornfels
Klorit	Sabuntaşı
Talk	Amfibolit
Biyotit	Granulit
Kuvars-Mika	Eklojit
Granatlar	
Hornblend	
Şist	
Tremolit	
Aktinolit	
Stavrolit	
Grafit	
Gnays	
Granitik, diyorit vb	
Hornblend	
Biyotit	
Batlanma	
Ojen	

Çizelge 3.2 : Metamorfik kayaçlarda dokuya bağlı ikili sınıflama (Spock, 1962).

Çizelge 3.3 : Metamorfik kayaçlarda dokuya bağlı üçlü sınıflama (Best, 1982).

Belirgin Foliasyon Gösteren Kayaçlar	Zayıf Foliasyon Gösteren Kayaçlar	Foliasyon Göstermeyen veya Zayıf Foliasyon Gösteren Kayaçlar
Arduvaz Fillit Şist	Gnays Migmatit Milonit	Granofels Amfibolit Serpantinit Yeşiltaş Greysen Hornfels Kuvarsit Mermer Arjillit Skarn

3.2.2 Sedimanter kayaçlarda doku

Sedimanter kayaçlarda kristalin veya klastik (kırıntılı) doku görülür. Dokusal özellikler tane boyları, tane şekilleri, derecelenmeleri, diziliş ve taneler arası ilişkileri

içerir (Kulaksız, 2007). Sedimanter kütlelerin karakteristik dokularına bakıldığında; iri taneli (şekersi), taneli, ince taneli, killi (pelajik) doku, kumtaşı dokusu, oolitik, pelajik (killi) doku, zoojen, kalker çakıllı doku, puding doku, breş dokusu gibi doku türleri görülmektedir. Mermerlerde şekersi, taneli ve ince taneli doku türleri yaygın olarak görülmektedir (Kekeç, 2005). Tortul (sedimanter) kayaçlarda karakteristik doku türleri Şekil 3.3'te görülmektedir.



Şekil 3.3 : Sedimanter kayaçların karakteristik dokuları; a) iri taneli (şekersi), b) taneli, c) ufak taneli (genelde mermelerde görülür) doku; d) kumtaşı dokusu, e) Oolitik doku (kireçtaşlarında), f) killi (pelajik) doku, g) zoojen (kalker) çakıllı doku; h) puding dokusu, 1) breş dokusu (Erguvanlı, 1978).

3.2.3 Magmatik kayaçlarda doku

Magmatik kayaçların dokuları, magmanın katılaşma derinliğine bağlı olarak derinlik, yarı derinlik ve yüzey kayaçları olmak üzere üç grupta incelenirler (Uz, 1992).

Derinlik kayaçlarında doku; holokristalin (tüm kristalli) şekilde görülür. Kristalleşme

derinde, belirli kurallarda, yavaş hızda olmaktadır.

Yarı derinlik kaaçlarında doku; mikrokristalli, porfirik, farklı tanelidir. *Yüzey kayaçlarında doku*; hamurlu, porfirik veya afanitik doku görülür. Magmatik kayaçlarda görülen temel doku türleri Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4 : Magmatik kayaçlarda görülen temel doku türleri; (a) camsı, (b) camsı klastik, (c) lifsi kristalin, (d) mikrolitik doku, (e) mikrolitik akma dokusu, (f) trakitik, (g) felsitik, (h) granofirik, (ı) sferulitik, (i) mikrogranulitik, (j) iri, (k) agpaitik, (l) porfirik, (m) yapılanmış, (n) poikilitik doku, (Bard, 1986).

3.3 Kayaçların Dokusal Özelliklerinin Sayısallaştırılması

Kayaç dokusal özellikleri Bölüm 3.1'de kayaç dokusunun tanımında da belirtildiği gibi kristalleşme derecesi, tane büyüklükleri ve kayacı oluşturan bileşenlerin geometrik ilişkilerini ifade etmektedir. Kayaç dokusal özelliklerini belirlenmesinde öncelikle tanelerin tanımlanması yani geometrik özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu geometrik özellikler; tane şekli, açısı, tanelerin birbirine bağlanma derecesi, tanelerin özelliklerinin birbirleri ile olan ilişkisi ve matriksin büyüklüğüdür (Öztürk, 2006). Kayaçların dokusal özelliklerinin tespit edilmesi konusundaki en önemli çalışma Howarth ve Rowlands tarafından 1986 yılında

gerçekleştirilmiştir. Araştırmacılar, bu çalışma sayesinde dokuyu meydana getiren tanelerin şekilsel (geometrik) özelliklerini belirleyerek kayaç dokusal özelliklerinin sayısallaştırılmasını sağlamış ve bunu doku katsayısı (TC; texture coefficient) kavramı ile açıklamışlardır. Bunun neticesinde mekanik ve fiziksel özellikleri ile dokusal özellikleri arasındaki muhtemel ilişkileri ortaya koymak mümkün olmuştur (Howarth ve Rowlands, 1986). Ayrıca günümüze kadar birçok araştırmacı tarafından kayaçların mineralojik, dayanım ve benzeri özellikleri ile TC arasındaki ilişkiler araştırılmış ve çeşili sonuçlar elde edilmiştir (Öztürk, 2006).

3.3.1 Kayaç dokusunun geometrik özellikleri ve geometrik parametreler

Kayaçların dokusal özelliklerinin sayısallaştırılabilmesi için kayaç dokusunu oluşturan tanelerin geometrik özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir (Öztürk, 2006).

Geometrik özelliklerinin belirlenmesinde kayaçlardan ince kesitlerin alınması ve bu kesitlerin mikroskop görüntülerinin fotoğraf olarak hazırlanması gerekir. Bu fotoğraflar üzerinde gerçekleştirilen çalışmalar ile kayaç dokusunda yer alan her bir tanenin geometrik özelliklerini temsil eden belirleyici geometrik parametreler vardır. Bunlar tanenin uzunluğu, genişliği, çevresi, açısı (tane oryantasyonu) ve analiz için seçilen referans alan içerisindeki matriks malzemesinin alanıdır (Howarth ve Rowlands, 1986). İnce kesit fotoğrafları üzerinde yapılan görüntü analizleri sonucunda elde edilen bu parametreler ile dokuyu oluşturan her bir taneye (ve matrikse) ait özellikler belirlenerek kayaç dokusunun sayısallaştırılması mümkün olmaktadır.

3.3.1.1 Tane uzunluk ve genişliği

Bir tanenin uzunluk ve genişliği, tane çevresinin her 5° açısında bir, maksimum ve minimum feret çaplarının hesaplanması ile belirlenebilir (Herdan ve Smith, 1953). Feret çapı tanenin dış yüzeylerine teğet olarak çizilen iki paralel arasındaki dik mesafedir. Maksimum feret çapı tane uzunluğunu verirken, minimum feret çapı da tane genişliğini vermektedir (Howarth ve Rowlands, 1986). Bir tanenin uzunluk ve genişliği Şekil 3.5'te görülmektedir.



Şekil 3.5 : Maksimum ve minimum feret çapları (uzunluk ve genişlik) ve açı (Howarth ve Rowlands, 1986).

3.3.1.2 Tane alanı

İnce kesitlerden elde edilen fotoğraflar (görüntüler) iki boyutlu bir resmi temsil etmekte olup, bu resimleri uzayda kaplamış oldukları alan, her bir tanenin alanı olarak ifade edilir (Öztürk, 2006).

3.3.1.3 Tane çevresi

Bir tanenin çevresi, tane şeklinin ne iç ne dış bölgesine ait olmayan noktalar kümesine, ya da taneyi sınırlayan çizgiyi ifade etmektedir. Tane alanını belirlemede kullanılan görüntüler aynı zamanda çevrenin belirlenmesinde de kullanılır. Bir tanenin çevresini ve alanını gösteren örnek bir görüntü Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6 : Örnek bir tanenin alanı ve çevresi (Öztürk, 2006).

3.3.1.4 Tane açısı (oryantasyonu)

Tane uzunluğu (maksimum feret çapı) ile yatay doğrultu arasındaki açı (θ_L), tane oryantasyonu olarak tanımlanır (Şekil 3.5). Açının maksimum değeri en fazla 180° olabilir.

3.3.2 Doku katsayısı kavramı ve hesabı

Doku katsayısının (TC) belirlenebilmesi için ilk olarak üzerinde çalışılacak kayaç numunesinden ince kesit alınır ve ardından da bu kesitlerin mikroskop görüntüleri bilgisayar ortamına aktarılır ve görüntü analiz programı kullanılarak görüntüler işlenir. Görüntü analizi sonucunda birincil parametreler olan tane uzunluğu, tane genişliği, tane çevresi, tane alanı ve tane açısı değerleri bulunur. Görüntü analizinden elde edilen bu birincil parametreler kullanılarak ikincil parametreler olan sapmış ve sapmamış tane sayıları, görünüm oranı, şekil faktörü ve tane yığılma ağırlığı değerleri hesaplanır. Elde edilen bu değerler yardımıyla doku katsayısı (TC) değeri bulunur. Doku katsayısı hesabında izlenen yolu özetleyen akım şeması Şekil 3.7'de verilmiştir.

Doku katsayısı (TC) değerinin hesaplanabilmesi ile kayaçların dokusal özelliklerini sayısallaştırmak mümkün olmuştur. Kayaç dokusunun sayısallaştırılması yöntemi (doku katsayısı (TC) hesabında) dört adet bileşeni içermektedir (Howarth ve Rowlands, 1986);

- Tane yuvarlaklığının ölçümü ve analizi
- Tane sapmasının ölçülmesi ve analizi
- Tane açısının ölçümü ve değerlendirilmesi
- Tane yığılma derecesine bağlı olarak sonuçların ağırlıklandırılması.

Doku analizi için işlem aşağıdaki formüle indirgenir (3.1).

$$TC = AW\left[\left(\frac{N_0}{N_0 + N_1} \times \frac{1}{FF_0}\right) + \left(\frac{N_1}{N_0 + N_1} \times AR_1 \times AF_1\right)\right]$$
(3.1)

TC = doku katsayısı,

- AW =tane yığılma ağırlığı,
- N_0 = görünüm oranı 2,0'dan küçük olan (AR < 2,0) tane sayısı,

- N_1 = görünüm oranı 2,0'dan büyük olan (AR > 2,0) tane sayısı,
- FF_0 = görünüm oranı 2,0'dan küçük olan (AR < 2,0) tanelerin şekil faktörü değerlerinin aritmetik ortalaması,
- AR_1 = görünüm oranı 2,0'dan büyük olan (AR > 2,0) tanelerin AR değerlerinin aritmetik ortalaması
- $AF_1 = Aç_1 faktörü$

Kayaç numunelerinden alınan ince kesitlerin mikroskop görüntülerinin (fotoğraf), bilgisayar ortamında görüntü işleme tekniği ile doku analizi gerçekleştirilir. Bu sayede kayaç dokusunu meydana getiren tanelerin özellikleri belirlenmiş olur. Tane analizinde, içerisinde en az 20 veya 30 tanenin bulunduğu bir referans alanı (gözlem penceresi) belirlenir, ardından bu alan içerisindeki her bir tanenin alan, çevre, uzunluk, genişlik ve açısı olmak üzere geometrik parametreleri elde edilir. Alan ve çevre doğrudan elde edilebilirken, tane çevresinin her 5° açısında bir belirlenen maksimum ve minimum feret çapları (Herdan ve Smith, 1953) ile uzunluk ve genişlik de bulunur. Uzunluk ve genişlik ortogonal olmak zorunda değildir (Howarth ve Rowlands, 1986). Açı ise Bölüm 3.3.1.4'te de belirtildiği gibi maksimum feret çapı (uzunluk) ile yatay doğrultu arasındaki açı olarak tanımlanır.

Doku katsayısının hesaplanmasında ilk aşamada dokuyu oluşturan tanelerin ikincil geometrik parametreler olan şekil faktörü (FF) ve görünüm oranı (AR) değerleri bulunur. Şekil faktörü tanenin yuvarlaklığından sapmasını gösteren bir ölçümdür. Bu sapma tane şeklindeki uzama veya tane çevresinin pürüzlülüğünün artması olmak üzere iki yolla meydana gelmektedir. Bu sapma (veya şekilsel uzama) tanenin görünüm oranı (AR) parametresi ile belirlenir.

Görünüm oranı, tane uzunluğunun genişliğine oranı olarak tanımlanır. Bu durumda sapmanın artması, görünüm oranı (AR) değerinin artması anlamına gelmektedir. Pürüzlülük, doğrudan doğruya şekil faktörü (FF) kullanılarak hesaplanmaktadır. Şekil faktörü değeri (FF) aşağıdaki formül (3.2) yardımı ile hesaplanmaktadır (Howarth ve Rowlands, 1986).

Şekil Faktörü =
$$FF = 4 \times \pi \times \frac{\text{alan}}{(\text{gevre})^2}$$
 (3.2)

Şekil faktörünün 1.0 olması mükemmel yuvarlak tane şeklini ifade etmektedir. Tane yuvarlaklığındaki şekilsel sapma (şekilsel uzama veya pürüzlülüğün artması) ile şekil faktörü değeri azalır.



Şekil 3.7 : Doku katsayısı hesabında izlenen yolu gösteren akım şeması.

Analiz yapılırken sapmış sapmamış tane arasındaki farkı belirleyebilmek için görünüm oranı değerinin (*AR*) 2.0 olduğu durum sınır değer olarak kabul edilir. Bu sınır değerin altında kalan değerlerin ortlaması ile bütün taneler için şekil faktörü değerleri hesaplanırken, bu sınır değerin üzerindeki değerlerin aritmetik ortalaması ile bütün taneler için görünüm oranı değerleri hesaplanır. Açısal yönelimleri (oryantasyonları) yani tanelerin yönlerini belirlemek için açı faktörü değeri kullanılır. Açı faktörü, yalnızca görünüm oranı 2.0'dan büyük olan (AR>2.0) sapmış taneler için hesaplanır. Açı faktörü, her bir sapmış tane arasındaki dar açı farkının (β) (Şekil 3.7) mutlak değerinin kullanıldığı ağırlıkça sınıflama sistemine (Çizelge 3.4) göre hesaplanır.

Bu suretle N tane sapmış tane için tek açı farkları;

$$(N-1) + (N-2) + \dots + 2 + 1$$

= $\frac{N(N-1)}{2}$ (3.3)

Buradan da beş adet tanenin 4 + 3 + 2 + 1 = 10 tek açı farkına sahip olduğu bulunur. Tek açı farkları dokuz farklı sınıfa ayrılır ve her birine karşılık bir ağırlık faktörü değeri bulunmaktadır. Dar açı farklarının mutlak değerleri için sınıflama aralığı ve ağırlık faktörleri Çizelge 3.4'te verilmiştir.

No	Sınıf Aralığı (β)	Ağırlık (i)
1	$\theta \le 10^{\circ}$	1
2	$10^{\circ} \le \theta \le 20^{\circ}$	2
3	$20^{\circ} \le \theta \le 30^{\circ}$	3
4	$30^{\circ} \le \theta \le 40^{\circ}$	4
5	$40^{\circ} \le \theta \le 50^{\circ}$	5
6	$50^{\circ} \le \theta \le 60^{\circ}$	6
7	$60^{\circ} \le \theta \le 70^{\circ}$	7
8	$70^{\circ} \le \theta \le 80^{\circ}$	8
9	$80^{\circ} \le \theta \le 90^{\circ}$	9

Çizelge 3.4 : Dar açı farkları ağırlıklarının hesabı (Howarth ve Rowlands, 1987).

Açı faktörü değeri aşağıdaki formülden hesaplanır;

$$A\varsigma i \ Faktör \ddot{u} = \sum_{i=1}^{9} \left(\frac{x_i}{\frac{N(N-1)}{2}} \right) \times i$$
(3.4)

- N = toplam sapmış tane sayısı
- x_i = her bir sınıf aralığına karşılık gelen açı farklarının sayısı
- *i* = ağırlık faktörü

Üç tane sapmış tane (A, B ve C) olan bir ince kesit için açı faktörünün hesaplanmasını gösteren işlemlerin olduğu basit bir örnek verilmiştir (Howarth ve Rowlands, 1987). A, B ve C isimli üç tane sapmış tane Şekil 3.8'de görülmektedir.



Şekil 3.8 : Sapmış tanelerin açılarının gösterilişi; a) Üç tane örnek sapmış tanenin açıları; b) Dar açı farkının gösterilişi (Howarth ve Rowlands, 1987).

Açı faktörünün hesaplanmasında izlenen işlem sırası;

- Sapmış tane sayısı = N = 3
- Açı değerleri (en uzun feretin yatay eksen ile yaptığı açı),

 $\theta_{LA} = 0^\circ, \ \theta_{LB} = 60^\circ, \ \theta_{LC} = 130^\circ$

• Tek açı farklarının sayısı (3.3 no'lu eşitlikten)

$$=\frac{N(N-1)}{2}=3$$

• Tek açı farklarının mutlak değerleri (β);

$$\begin{array}{l} \theta_{LA} - \theta_{LB} = \left| \begin{array}{c} 0^{\circ} - \begin{array}{c} 60^{\circ} \right| = 60^{\circ} \\ \theta_{LA} - \theta_{LC} = \left| \begin{array}{c} 0^{\circ} - 130^{\circ} \right| = 130^{\circ} \\ \theta_{LB} - \theta_{LC} = \left| \begin{array}{c} 60^{\circ} - 130^{\circ} \right| = 70^{\circ} \end{array}$$

 Yukarıda bulunan açı farklarının içerisinde 90°'den büyük olan açı değerinin bulunması durumunda bu değerden 180° çıkarılarak mutlak değer cinsinden dar açı hesabı yapılır.

$$\begin{aligned} \theta_{LA} &- \theta_{LB} = 60^{\circ} \\ \theta_{LA} &- \theta_{LC} = | 130^{\circ} - 180^{\circ} | = 50^{\circ} \\ \theta_{LB} &- \theta_{LC} = 70^{\circ} \end{aligned}$$

• Her bir fark değerinin Çizelge 3.4'te yer aldığı sınıf aralığına karşılık gelen ağırlık katsayısı bulunur.

$$\begin{split} & \left[\left| \theta_{LA} - \theta_{LB} \right| \right] = 6.0 \\ & \left[\left| \theta_{LA} - \theta_{LC} \right| \right] = 5.0 \\ & \left[\left| \theta_{LB} - \theta_{LC} \right| \right] = 7.0 \end{split}$$

 Bulunan ağırlık katsayısı değerleri Eşitlik 3.4'te yerine konulur ve açı faktörü hesap edilir.

Açı faktörü =
$$\left[\left(\left(\frac{1}{3} \right) \times 6 \right) + \left(\left(\frac{1}{3} \right) \times 5 \right) + \left(\left(\frac{1}{3} \right) \times 7 \right) \right] = 6.0$$

• TC eşitliğinde (3.1) verilmiş olan *AF*¹ değeri açı faktörü değerinin 5'e bölünmesi ile bulunur.

 $AF_1 = 6.0 / 5 = 1.2$

Analiz için belirlenmiş olan referans alan içerisinde yer alan bütün sapmış taneler için bu işlemler tekrarlanarak AF_1 değeri hesaplanmış olur. Ardından tane yığılma ağırlığı da (*AW*) hesaplanır. Tane yığılma ağırlığı, seçilen referans alanı (Şekil 3.9) içerisindeki tanelerin toplam alanlarının, referans alanına oranıdır (3.5). Tane yığılma ağırlığı değerinin küçük olması matriks malzemesinin (ve boşluk) miktarının çok olduğunu, tam tersi ise matriks malzemesinin az olduğunu göstermektedir.

$$AW = \frac{toplam \ tane \ alanı}{referans \ alanı}$$
(3.5)



Şekil 3.9 : İnce kesit taslağı örneği (Howarth ve Rowlands, 1987).

4. DOĞAL TAŞLARIN MEKANİK, FİZİKSEL VE MİNERALOJİK-PETROGRAFİK ÖZELLİKLERİ

Bu bölümde doğal taşların fiziksel, mekanik ve mineralojik-petrografik özellikleri ve bunları belirlemek amacıyla çeşitli enstitütü ve kurumların tarafından önerilen (uygulanan) deneyler açıklanmıştır. Doğal taş numunelerinin fiziksel ve mekanik deneyleri (ve analizleri) açıklanırken Türk Standarları Enstitüsü (TSE) standartları, uluslararası standart yöntemler (ASTM standartları) ve önerilmiş yöntemler (ISRM) kullanılmıştır.

Fiziksel, mekanik ve mineralojik-petrografik özelliklerin belirlenmesi için yapılacak deneyler ve analizlerden önce numunelerin uygun bir şekilde hazırlanması gerekmektedir. Bu çalışma sırasında mekanik ve fiziksel deneyler için düzgün geometrik şekilli (karot ve küp şeklinde) ve düzgün geometrik şekilli olmayan (parça şeklinde) numuneler hazırlanmıştır. Mineralojik-petrografik analizler için ise ince kesit laboratuvarında ince kesitler hazırlanmıştır. Numune hazırlanmasında kullanılan makine ve teçhizatlar Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 : Numune hazırlamada kullanılan makine ve teçhizat; a) Blok küçültme amaçlı testere, b) Karot alma makinesi, c) Karot (başı) düzeltme cihazı, d) İnce kesit hazırlama makinesi.

4.1 Fiziksel Özellikler ve Deneyleri

Kayaçların fiziksel özellikleri, bir kayaç türünü diğer kayaç türünden farklı kılan ve kayacın yapısına bağlı olarak değişen özelliklerin tümünü ifade etmektedir. Bu özellikler kayacın oluşumuna ve doku ile birlikte bileşenlerin kompozisyonuna bağlı olarak farklılıklar arz etmekte olup, kayaç türünün tanımlanmasında önemlidir (Öztürk, 2006). Bu çalışma kapsamında bazı doğal taşların dokusal özellikleri ile olan ilişkileri incelen fiziksel özellikler; yoğunluk, birim hacim ağırlığı, hacim kütlesi, özgül kütle, porozite, su emme, su içeriği, doluluk oranı ve sonik hız. Bunların yanında Schmidt sertliği, shore sertliği ve koni delici sertliği indeks değerleri de inceleme amaçlı kullanıldıkları için mekanik özellikler başlığı altında ele alınmıştır. Bunların dışında yoğunluk ve birim hacim ağırlığı deneylerinde ISRM (1981) tarafından önerilen standartların yanında TS 699 (1987)'da hacim kütlesi ve özgül kütle olarak ele alınmış olan birim hacim ağırlık ve yoğunluk deneyleri farklı standartlarda olduğu için ayrı ayrı başlıklar altında ele alınmıştır.

4.1.1 Yoğunluk ve birim hacim ağırlık (kumpas yöntemi)

Yoğunluk ve birim hacim ağırlık tayininde ISRM (1981) tarafından önerilen yöntem esas alınmıştır. Bu deney, düzenli bir geometriye sahip karot veya prizmatik kayaç örneklerinin kütlesel (gözenekler de dahil) yoğunluğunun ve birim hacim ağırlığının tayini amacıyla yapılır. Denevde kullanılan araç ve gereçler; firin (etüv) (Şekil 4.2a), desikatör (Şekil 4.2b), hassas terazi (Şekil 4.2c) ve kumpas (Şekil 4.2d)'tır. Deneyde düzgün bir geometrik sekle sahip silindirik (karot) en az 3 deney örneğinin çap (D) ve boyu (L), kompasla birbirine dik iki ayrı yönde, 0,1 mm duyarlılıkla ölçülür ve her bir örnek için bu değerlerin ortalaması alınır. Prizmatik örnekler kullanılması durumunda ise bunların kısa ve uzun kenarları birbirine dik yönde ikişer kez ölçülerek ortalamaları alınır. Örneklerin herbiri en az 50 gr olmalıdır. Silindirik karot örnekleri için boy ve çap değerleri, prizmatik örnekler için ise 3 ayrı yönde ölçülmüş değerler kullanılarak örneklerin hacimleri (V) hesaplanır. Örneklerin ağırlıkları (W) hassas terazide tartılarak belirlenir. Kuru yoğunluk ve kuru birim hacim ağırlık tayin edilecek ise, örnekler 105°C'ye ayarlanmış etüvde ve en az 24 saat kurutulduktan sonra soğumaları için 30 dakika süreyle desikatörde bekletilir. Daha sonra hassas terazi kullanılarak kuru ağırlıkları belirlenir (Ulusay ve diğ., 2001).

Yoğunluk ve birim hacim ağırlık tayininde kullanılan formüller aşağıda verilmiştir (4.1 ve 4.2).

$$\rho = \frac{W}{V} \tag{4.1}$$

$$\gamma = g \times \rho \tag{4.2}$$

- $\rho = yoğunluk (gr/cm^3),$
- γ = birim hacim ağırlık (kN/m³),
- g = yerçekimi kuvveti $\approx 9.81 \text{ m/s}^2$



Şekil 4.2 : Deneylerde kullanılan bazı araç ve gereçler; a) etüv, b) desikatör, c) hassas terazi, d) kumpas.

4.1.2 Hacim kütlesi (görünür yoğunluk)

Hacim kütlesi, değişmez kütleye kadar kurutulmuş taşın, boşlukları dahil olmak üzere birim hacminin kütlesidir. Hacim kütlesi deneyi ile doğal taşların boşlukları ile birlikte birim hacminin kütlesi belirlenir (TS 699, 1987).

Hacim kütlesi deneyi düzgün geometrik şekilli (silindir, küp veya dikdörtgenler prizması) ve düzgün geometrik şekilli olmayan örnekler üzerinde olmak üzere iki ayrı şekilde yapılabilmektedir.

Düzgün şekilli numuneler ile hacim kütlesi tayininde; araç ve gereç olarak hassas terazi, etüv, desikatör ve kumpas kullanılır. Deney numuneleri silindirik, kare veya dikdörtgenler prizması şeklinde, boyutları 5-7 cm arasında, ağırlıkları en az 350 gr ve en az 3 adet olmalıdır.

Deney numunelerinin yüzleri sert bir fırça ile fırçalanıp su ile yıkanarak temizlenir ve değişmez kütleye ulaşıncaya kadar kurutulur. Desikatörde oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra 0,1 gr hassasiyetle tartılır (G_k). Deney numunelerinin hacimleri boyutlarından hesaplanarak bulunur. Deney numunelerin her biri, birbirine dik doğrultuda olmak üzere ikişer defa 0,5 mm hassasiyetle ölçülüp bunların aritmetik ortalamaları alınır. Bulunan ortalama boyutlardan deney numunelerinin hacimleri (V) hesaplanır. Düzgün şekilli numuneler için hacim kütlesi hesabı aşağıdaki formül ile elde edilir (4.3);

$$d_h = \frac{G_k}{V} \tag{4.3}$$

 d_h = hacim kütlesi (gr/cm³)

 G_k = değişmez kütleye kadar kurutulmuş deney numunesinin kütlesi (gr)

V = deney numunesinin hacmi (cm³)

Düzgün şekilli olamayan numuneler ile hacim kütlesi tayininde; araç ve gereç olarak hassas terazi, etüv, desikatör ve arşimet terazisi kullanılır. Deneyde boyutları en az 5 cm ve herbirinin ağırlığı en az 350 gr. olan düzgün geometrik şekli olmayan en az üç adet deney numunesi kullanılır.

Sert bir firça ile firçalanıp su ile iyice temizlenen deney numuneleri içerisinde 20°C \pm 5°C sıcaklıkta su bulunan bir kap içerisine yarısına kadar daldırılır ve bu durumda 1 saat bekletildikten sonra üzerleri 20 mm \pm 5 mm kalınlıkta su ile örtülecek şekilde en az 24 saat süre ile su içerisinde bırakılır. Bu süre sonunda suya doygun hale getirilmiş olan numuneler sudan çıkarılarak arşimet terazisinde su içinde 0,1 gr hassasiyetle tartılır (G_{ds}). Bundan sonra deney numunesi üzerindeki su damlaları, ıslatılıp sıkılmış bir bez veya süngerle silinir ve bekletilmeksizin havada (hassas terazi üzerinde) 0,1 gr hassasiyetle tartılır (G_{dh}). Bu işlemin ardından deney numuneleri değişmez kütleye gelinceye kadar etüvde (105°C) kurutulur ve 0,1 gr hassasiyetle tartılır (G_k). Düzgün şekilli olmayan numuneler için hacim kütlesi hesabı aşağıdaki formül ile gerçekleştirilir (4.4);

$$d_h = \frac{G_k}{G_{dh} - G_{ds}} \tag{4.4}$$

 d_h = hacim kütlesi (gr/cm³)

 G_k = değişmez kütleye kadar kurutulmuş deney numunesinin kütlesi (gr)

 G_{dh} = suya doygun haldeki deney numunesinin havadaki kütlesi (gr) G_{ds} = suya doygun haldeki deney numunesinin sudaki kütlesi (gr)

4.1.3 Su içeriği

Su içeriği (*w*), yüzde cinsinden kayaç malzemesindeki boşlukların ne oranda su ile dolu olduğunu belirten bir parametredir. Kayaç malzemelerinin su içerikleri laboratuvarda gerçekleştirilen deneyler sonucunda belirlenir. Su içeriği deneyi düzensiz bir geometriye sahip kayaç örnekleri kullanılarak yapılır. Bu deneyde ISRM (1981)'nin önerdiği hususlar dikkate alınmıştır.

Deneyde en az 50 gr ağırlığa sahip olmak koşuluyla en az 10 adet temsil edici ve düzensiz şekilli kayaç numunesi kullanılır. Su içeriği deneyinde numunelerin doğal nem içeriğinin tayini için ilk olarak her numune doğal nemi ile birlikte 0,1 gr hassasiyetle tartılır (*A*). Ardından numuneler etüvde (105°C) en az 24 saat süre ile kurutulur ve 0,1 gr hassasiyetle tekrar tartılarak kuru ağırlığı bulunur (*B*). A ölçümü ile B ölçümü arasında büyük fark bulunması gözeneklerin su ile dolu olduğunun göstergesidir (Öztürk, 2006). Su içeriği aşağıdaki formül ile hesaplanır (4.5);

$$w = \frac{B}{A} \times 100 \tag{4.5}$$

w = su içeriği (%)

B =değişmez kütleye kadar kurutulmuş deney numunesinin kütlesi (gr)

A = doğal nem içeriği ile birlikte numunenin kütlesi (gr)

4.1.4 Su emme

Kayaçlarda su emme; hacimce ve kütlece su emme oranı olmak üzere iki ayrı parametreden oluşmaktadır. Kütlece (ağırlıkça) ve hacimce su emme, kayaçların sahip oldukları boşlukların suya maruz kaldıkları durumlarda ne derece su emdiklerinin anlaşılabilmesinde kullanılan parametrelerdir. Kütlece su emme oranı, değişmez kütleye kadar kurutulmuş kayaç numunesinin absorbe edebildiği su kütlesinin, kayaç malzemesinin kütlesine oranıdır (kayacın, kendi ağırlığının yüzde kaçı kadar su emebildiği). Hacimce su emme oranı ise değişmez kütleye kadar kurutulmuş kayaç numunesinin, absorbe edebildiği su hacminin, kayaç boşlukları dahil hacmine (bütün hacim) oranıdır (hacminin yüzde kaçı kadar su emebildiği). Hacim kütlesi deneyinde (Bölüm 4.1.2) olduğu gibi bu deneyde düzgün şekilli ve düzgün şekilli olmayan deney numuneleri ile yapılabilmektedir (TS 699, 1987). Ancak yalnızca düzenli geometriye sahip (silindirik (karot) veya prizmatik) örnekler kullanılarak da su emme deneyi yapılabilmektedir (Ulusay ve diğ., 2001).

Deney numuneleri bir tel fırça ile fırçalanıp su ile yıkanarak iyice temizlendikten sonra, içerisinde $20^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$ sıcaklıkta su bulunan bir kap içerisinde yüksekliklerinin ¹/₄'üne kadar suya daldırılarak 1 saat süre ile bekletilirler. Bu sürenin sonunda yüksekliklerinin ¹/₂'sine kadar suya batacak şekilde su ilave edilerek 1 saat süre ile bu durumda bırakılırlar. Aynı şekilde su ilavesi yapılarak yüksekliklerinin ³/₄'üne kadarı su içinde kalacak şekilde 1 saat daha bekletilirler. Üzerleri 1,5 – 2 cm suyla örtülü olacak şekilde su ilave edilir ve 45 saat süre (ISRM standartlarına göre bu süre en az 12 saat) ile beklemeye bırakılırlar (TS 699, 1987).

Deneyin başlangıcından itibaren 48 saat süre ile suda bekletilen numuneler çıkarılarak üzerlerindeki su damlaları ıslak bir bez veya süngerle silinerek, bekletilmeksizin tartılır (G_d). Deney numuneleri tekrar suya daldırılır ve 24 saat aralıklarla değişmez kütleye ulaşıncaya kadar tartım yapılır. 24'er saatlik aralarla yapılan tartımlarla 48 saat sonunda yapılan tartımlar arasındaki fark %0,1'den fazla değil ise bu kütlenin değişmez kütle olduğu kabul edilir. Bunun ardından suya doygun haldeki deney numuneleri arşimet terazisi (Şekil 4.3a ve 4.3b) ile 0,1 gr hassasiyetle tartılarak su içerisindeki kütleleri bulunur (G_{ds}) (TS 699, 1987 ve ASTM, 1994).



Şekil 4.3 : Arşimet terazisi; a) şematik görünüm, b) fotoğraf görünüm.

Daha sonra deney numuneleri değişmez kütleye varıncaya kadar etüvde (105°C) en az 24 saat süre ile kurutulduktan sonra 0,1 gr hassasiyetle tartılır (G_k).

Kütlece su emme ve hacimce su emme oranı aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanır (4.6 ve 4.7);

$$S_k = \frac{G_d - G_k}{G_k} \tag{4.6}$$

$$S_h = \frac{G_d - G_k}{G_d - G_{ds}} \tag{4.7}$$

 S_k = kütlece su emme oranı (%)

 S_h = hacimce su emme oranı (%)

 G_d = doygun haldeki kütle (gr)

 G_k = değişmez kütleye kadar kurutulmuş haldeki kütle (gr)

 G_{ds} = doygun haldeki kütle (gr)

Ulusay ve diğ. (2001)'e göre hacimce su emme oranını, kumpas yöntemiyle örneklerin boyutlarının belirlenmesi ile hesaplanan hacim hesabıyla birlikte yapılmasını da önermektedir. Aşağıdaki eşitlikte (4.8) bu hesaplama şekli verilmiştir.

$$S_h = \frac{G_d - G_k}{V} \tag{4.8}$$

4.1.5 Özgül kütle (gerçek yoğunluk)

Özgül kütle, değişmez kütleye kadar kurutulmuş kayacın, boşlukları hariç olmak üzere birim hacminin kütlesidir. Özgül kütle deneyinde en az üç adet tane boyutu 0,2 mm elek altına indirilmiş deney numunesi kullanılarak deney gerçekleştirilir. Deneyde araç ve gereç olarak hassas terazi, elek, 500 ml'lik piknometre (Şekil 4.4a), etüv, desikatör, çeneli kırıcı (Şekil 4.4b), ısıtıcı (Şekil 4.3c) ve vakum pompası (Şekil 4.3d) kullanılır.

Numuneyi temsil edecek şekilde, değişik parçalardan kırılarak alınan toplam olarak en az 2 kg kadar numune, tamamı göz açıklığı 0,2 mm olan kare gözlü elekten geçecek şekilde öğütülür ve değişmez kütleye ulaşıncaya kadar etüvde (105°C) en az 24 saat süre ile kurutulur.



Şekil 4.4 : Deneylerde kullanılan bazı makine ve ekipman; a) piknometre (500 ml), b) çeneli kırıcı, c) ısıtıcı, d) vakum pompası.

Oda sıcaklığındaki su ile tamamen doldurulan piknometre, kapağı kapatıldıktan ve üzerindeki su damlaları kuru bir bezle alındıktan sonra 0,1 gr hassasiyetle tartılır (G_{ps}) . Piknometre içindeki su tamamen boşaltıldıktan sonra etüvde (105°C) en az 24 saat süre ile kurutulup kapağı ile birlikte tartılarak kütlesi bulunur (G_p) .

Kurutulup soğutulmuş olan öğütülmüş numuneden 250 gr \pm 5 g kadar alınarak kuru bir huni yardımıyla piknometre içine konulur ve kapağı ile birlikte 0,01 gr hassasiyetle tartılır (G_{pn}).

Piknometre, içerisindeki numune ile birlikte, hacminin 1/4'üne kadar su ile doldurulur ve yaklaşık 10 -15 dakika müddetle kaynatılır. Deney numunesi içerisinde hava kabarcıklarının kalmaması için yapılan bu işlem yerine, vakum pompası da kullanılabilir. Vakum pompası kullanılması durumunda piknometre sık sık çalkalanarak hava alma işlemi kolaylaştırılır ve hava kabarcıkları çıkmayıncaya kadar işlem sürdürülür. Hava alma işlemi sonunda piknometre taşmayacak şekilde su ile doldurulur. Kaynatma yönteminde ise kaynatma işleminden sonra piknometre su banyosu içerisinde oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra su ile doldurulur. Piknometrenin kapağı kapatılarak üzeri kurulanır ve 0,01 gr hassasiyetle tartılır (G_{pns}) (TS 699). Özgül kütlenin hesaplanabilmesi için gerekli formülasyon aşağıda verilmiştir (4.9);

$$d_{o} = \frac{G_{pn} - G_{p}}{(G_{pn} - G_{p}) - (G_{pns} - G_{ps})} \times p_{su}$$
(4.9)

 $d_{\rm o}$ = özgül kütle (gr/cm³)

 $G_{pn} =$ (piknometre + deney numunesi) kütlesi (gr)

 G_p = piknometre kütlesi (gr)

 $G_{pns} = (\text{piknometre} + \text{deney numunesi} + \text{su}) \text{kütlesi (gr)}$

 G_{ps} = su ile dolu piknomete kütlesi (gr)

 $p_{su} = \text{saf su yoğunluğu (gr/cm}^3)$

4.1.6 Görünen porozite (açık gözeneklilik)

Değişmez kütleye kadar kurutulmuş kayaç numunesinin absorbe edebildiği su miktarına tekabül eden hacminin boşlukları dahil hacmine (bütün hacim) oranıdır. Görünen porozite ayrı ayrı iki yolla hesaplanabilmektedir.

Hacimce su emme oranından hesaplanması; daha önce Bölüm 4.1.4'te bahsedilen hacimce su emme oranı kayacın görünen porozitesi olup Eşitlik 4.7'ye göre hesaplanır (EN 1936, 2006 ve TS 699, 2009).

Hacim kütlesi ve kütlece su emme oranından hesaplanması; daha önce Bölüm 4.1.2 ve 4.1.4'te bahsedilen hacim kütlesi ve kütlece su emme oranından yararlanılarak aşağıdaki eşitlik (4.10) yardımıyla da hesaplanabilmektedir.

$$P_g = d_h \times S_k \tag{4.10}$$

 P_g = görünen porozite (%) d_h = hacim kütlesi (gr/cm³) S_k = kütlece su emme oranı (%)

4.1.7 Doluluk oranı (kompasite)

Doluluk oranı, değişmez kütleye kadar kurutulmuş kayaç numunesinin, boşlukları hariç hacminin (dolu hacim), boşlukları dahil hacmine (bütün hacim) oranıdır. Bölüm 4.1.4 ve 4.1.5'te bahsedilen hacim kütlesi ve özgül kütle değerlerinin birbirine yüzde cinsinden oranıdır (TS 699, 1987). Doluluk oranı aşağıdaki eşitlik (4.11) yardımı ile hesaplanır.

$$k = \frac{d_h}{d_o} \times 100$$
(4.11)

$$k = \text{doluluk oranı (\%)}$$

$$d_h = \text{hacim kütle (gr/cm^3)}$$

$$d_o = \text{özgül kütle (gr/cm^3)}$$

4.1.8 Porozite (toplam gözeneklilik)

Değişmez kütleye kadar kurutulmuş taşın, boşluk hacminin boşlukları dahil hacmine (bütün hacim) oranıdır. Bölüm 4.1.4 ve 4.1.5'te bahsedilen hacim kütlesi ve özgül kütle değerlerinin birbirine yüzde cinsinden oranının 1'den çıkarılması ile elde edilir (TS 699, 2009 ve EN 1936, 2006). Porozite, aşağıda verilmiş olan eşitlik (4.12) yardımıyla hesaplanır.

$$P = (1 - \frac{d_h}{d_o}) \times 100$$
 (4.12)

P = porozite (%)d_h = hacim kütle (gr/cm³) d_o = özgül kütle (gr/cm³)

4.1.9 Sonik Hız

Bu deney, kayaç örnekleri içerisinden geçirilen sıkışma (P) ve makaslama (S) dalgalarının yayılma hızlarından yararlanılarak, kayaç malzemesinin dinamik Young modülü ile dinamik poisson oranının belirlenmesi amacıyla yapılır. Deney yöntemi olarak ASTM (1994), ISRM (1981) ve CANMET (1977b) tarafından önerilen hususlar dikkate alınmıştır.

Kayaç malzemelerinin üzerinde bulunan gerilmeden kaynaklanan gerilme dalgalarının malzeme içerisinde homojen bir şekilde iletilmesi malzemenin elastisitesine ve yoğunluğuna bağlıdır (Goodman, 1989). Bu tanımlamadan da anlaşılacağı üzere malzeme ne kadar yoğun ise ve malzemedeki çatlaklık miktarı ne derece az ise, gerilme dalgalarının bir uçtan diğer uca iletimi o derece başarı ile sağlabilmektedir. Buna göre P dalgasının birim zamanda malzeme içerisinde kat ettiği yol ne kadar fazla ise malzemenin az çatlaklı ve yoğun olduğu anlaşılır (Öztürk, 2006).

Sonik hz deneyinde kullanılan araç ve gereçler; sinyal üreticisi (Şekil 4.5), elektronik sinyalleri mekanik sinyallere dönüştüren bir gönderici (Şekil 4.5) ile mekanik sinyalleri elektrik sinyaline dönüştüren bir alıcı (Şekil 4.5) dan oluşan çevirgeç ünitesi, çevirgecin voltaj çıkışını ve zamanlama-okuma ünitesinin duyarlılığını arttırmak amacıyla voltaj yükselticisi ve sinyalleri doğrudan görebilmek için

osiloskop (Şekil 4.5). Ayrıca deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 4.6'da ayrıntılı olarak verilmiştir.

Deneyde çapı AX (31 mm) ve daha büyük olan silindirik (karot) örnekler kullanılır. Silindirik örnekler alt ve üst yüzeyleri son derece düz ve birbirine paralel olmalıdır. Deneyde her kayaç türü için en az 3 örnek kullanılmalıdır. Silindirik örnekler sinyal üretici ve sinya giderici arasına yerleştirildikten sonra sinyal üreticiden sinyal gönderilmesi ile P ve S dalga hızlarının ilerleme zamanları mikrosaniye (µs) cinsinden belirlenir. Ardından deney düzeneğinden elde edilen bu değerler kullanılarak aşağıda verilmiş olan eşitliklerde (4.13, 4.14. 4.15, 4.16 ve 4.17) yerine konarak P ve S dalga hızları, dinamik elastik modül (Young modülü), poisson oranı ve rijidite modülü (makaslama modülü) hesaplanır (Ulusay ve diğ., 2001).

$$V_p = \frac{L}{T_p}$$
(4.13)

$$V_s = \frac{L}{T_s}$$
(4.14)

$$E_u = \rho V_s^2 \frac{(3V_p^2 - 4V_s^2)}{(V_p^2 - V_s^2)}$$
(4.15)

$$v_{dyn} = \frac{(V_p^2 - 2V_s^2)}{2(V_p^2 - V_s^2)}$$
(4.16)

$$G_u = \rho V_s^2 \tag{4.17}$$

- V_p = P dalgasının yayılma hızı (m/s)
- V_s = S dalgasının yayılma hızı (m/s)

$$T_p = (t_p - t_0)$$
; P dalgasının etkin ilerleme zamanı (µs)

$$T_s = (t_s - t_0)$$
; S dalgasının etkin ilerleme zamanı (µs)

$$t_p$$
 = P dalgasının ölçülen yayılma zamanı (µs)

$$t_s$$
 = S dalgasının ölçülen yayılma zamanı (µs)

$$t_0$$
 = ölçülen sıfır (başlangıç) zamanı (µs)

$$E_u$$
 = young modülü (dinamik elastisite modülü) (Pa)

 v_{dyn} = poisson oranı (dinamik poisson oranı)

 G_u = rijidite (makaslama) modülü

$$\rho$$
 = kayacın kütle yoğunluğu (kg/m³)



Şekil 4.5 : Sonik hız deneyinin gereçleri ve bağlantılarından bir görünüm; 1a) gönderici ve 1b) alıcı çevirgeçler, 2) osiloskop, 3) sinyal üretici, 4) deney düzeneği.



Şekil 4.6 : Sonik hız deney düzeneğinin şematik görünümü (Balcı ve diğ., 1998).

4.2 Mekanik Özellikler ve Deneyleri

Kayaçların mekanik özellikleri, kayaç malzemesinin dinamik ve statik yükler altında sergiledikleri davranış modellerini ifade eden parametrelerdir (Öztürk, 2006). Mekanik özellikler arazide veya laboratuvarda gerçekleştirilen deneyler ile belirlenir. Bu çalışmada kullanılan mekanik özellikler ve deneyleri; tek eksenli basınç dayanımı, çekme (Brazilian-dolaylı) dayanımı, elastisite modülü, nokta yük dayanımı, darbe mukavemeti, koni delici sertliği, Schmidt çekiç sertliği ve Shore Sclerescope sertliği, darbeli aşınma (Los Angeles) ve sürtünme ile aşınma kaybı (Böhme).

4.2.1 Tek eksenli basınç dayanımı

Bu deney yönteminde amaç, düzgün geometrik biçimli kaya örneklerinin tek eksenli basma dayanımını ölçmektir (Karpuz, ve Hindistan, 2006). Deney sırasında eksenel deformasyonda ölçülerek, kayaç malzemesinin deformasyon ve yenilme karakteristikleri de değerlendirilebilir (Ulusay ve diğ., 2001). Bu deney için ISRM (1981) tarafından önerilmiş olan standartlar dikkate alınmıştır.

Deney sırasında örneğe sabit hızda ve sürekli olarak eksenel yükleme yapabilecek yeterli kapasitede hidrolik pres kullanılır (ELE marka hidrolik pres, Şekil 4.7). Deneyde boy çap oranı (L/D) 2.5-3.0 arasında olacak şekilde hazırlanmış, alt ve üst yüzeyleri birbirine paralel, yan yüzeyleri pürüzsüz-düz ve herhangi bir kırık çatlak içermeyen karot örnekleri kullanılır. Deney için kullanılabilir karot boyutları Çizelge 4.1'de verilmiştir. Genelde NX (≈54 mm) çaplı karotlar tercih edilmelidir.

Karot tipi	Karot çapı	En kısa boy	En uzun boy
	(mm)	(mm)	(mm)
AX	30,0	75,0	90,0
BQ	36,5	91,3	109,5
BX	42,0	105,0	126,0
NQ	47,6	119,0	142,8
NX	54,7	136,8	164,1

Çizelge 4.1: Tek eksenli basınç dayanımı deneyinde kullanılabilecek karot boyutları (ISRM, 1981).

Örnek, presin ortasındaki yükseltme plakasının üzerine merkezlenerek yerleştirilir. Ardından kumpasla ölçülerek belirlenmiş olan karot boyutları ve yükleme hızı değerleri presin dijital menüsüne elle girilir. Yükleme işlemi başlatılır. Yüklemenin ardından presin dijital göstergesinden kırılma yükü (kN) ve basınç dayanımı değerleri uygun bir yere kaydedilir. Örnek 5 ile 10 dakika arasında yenilecek şekilde veya alternatif olarak 0.5-1.0 MPa'lık bir yükleme hızı ile deney gerçekleştirilir. Her kayaç türünden en az beş adet örneğin deneye tabi tutulması önerilir (Ulusay ve diğ., 2001).



Şekil 4.7 : Ele marka hidrolik pres.

Eşitlik 4.18'de tek eksenli basınç dayanımın hesaplanmanda kullanılan formül verilmiştir. Bu eşitlik, zaten yükleme sonunda presin dijital göstergesinden basınç dayanımı değeri okunabildiği için sadece yükleme presinden elde edilen basınç dayanımı değerlerini kontrol amacıyla kullanılır.

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \tag{4.18}$$

 σ_c = tek eksenli basınç dayanımı (Pa) F = yenilme anında kaydedilen yük (kN) A = silindirik örneğin kesit alanı (m²)

4.2.2 Brazilian çekme dayanımı (dolaylı yöntem)

Disk şeklinde hazırlanmış kayaç örneklerinin çapsal yükleme altında çekilme dayanımlarının dolaylı yoldan belirlenmesi amacıyla yapılır. Bu yöntemle, silindirik kayaç örneklerinin uçlarından sabitlenerek çekilmesi şeklinde uygulanan doğrudan çekme deneyindekine göre, genellikle biraz daha yüksek çekilme dayanımları elde

edilmektedir. Bununla birlikte örneklerin daha kolay hazırlanabilmesinden dolayı daha yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir (Ulusay, ve diğ. 2001, ISRM, 1981).

Çapı en az NX (≈54 mm) ve kalınlığı yarı çapıyla hemen hemen aynı olan, sağlam ve çatlaksız silindirik örnek hazırlanır. Örneklerin alt ve üst yüzeyleri birbirine paralel olmalıdır. Deney kullanılacak toplam numune sayısı için kesin bir ifade yoktur. Pratik değerlendirmelere bağlı olarak değişebilmektedir. Örneğin çapı (D) ve kalınlığı (t) birbirine dik iki ayrı yönde kumpasla ölçülerek bu değerlerin ortalaması alınır.

Örnek, yenilme 15-30 saniye arasında gerçekleşecek şekilde sabit hızla yüklenir. Bu amaçla 200 N/s'lik bir yükleme hızı önerilir. Örneğin yenildiği andaki yük presin dijital göstergesinden okunur. Okunan bu kırılma yükü (kN) değeri Eşitlik 4.19'daki formülde yerine konularak çekme dayanımı değeri hesaplanır. Ayrıca deneyin fotoğraf görünümü, şematik görünümü ve örnek boyutları Şekil 4.8 ve 4.9'da verilmiştir.

$$\sigma_t = \frac{2 \times F}{\pi \times D \times t} = \frac{0.636 \times F}{D \times t}$$
(4.19)

 σ_t = çekme dayanımı (Pa)

F = örneğin yenilmesi anındaki yük (kN)

D =örnek çapı (mm)

t =örnek boyu (mm)



Şekil 4.8 : Çekme dayanımı deneyi fotoğraf ve şematik görünüm, numune boyutları.

4.2.3 Elastisite modülü

Kayaçların elastik modülü silindirik karot örneklerinin tek eksenli yükleme koşulunda gerilme-deformasyon eğrilerinin çizilmesi ile bulunur. Deneyde kullnılacak örnek boyutları tek eksenli basınç dayanımı deneyinde olduğu gibi boy/çap oranı 2,5-3,0 arasında olmalıdır. Yükleme hızı olarak 1 kN/s uygulanmalıdır.

Deformasyon ölçerler (strain gauges) kullanılarak yatay ve düşey (çapsal ve eksenel) birim deformasyonlar belirlenir. Sabit yükleme altında, belirli yük düxzeylerinde düşey ve yatay birim deformasyonlar, birim deformasyonların bağlı olduğu kanallardan, bu değerlere karşılık gelen eksenel (düşey) yük değerleri ise presin üzerindeki dijital göstergeden okunarak kaydedilir. Deneyde en az 10 okuma yapılmalıdır. Deney her kayaç türü için en az beş örnek üzerinde gerçekleştirilmelidir.

Eksenel ve çapsal birim deformasyon değerleri aşağıdaki eşitlikler (4.20 ve 4.21) yardımıyla hesaplanır.

$$\varepsilon_{a} = \frac{\Delta l}{l_{0}}$$
(4.20)

$$\varepsilon_d = \frac{\Delta D}{D_0} \tag{4.21}$$

 ε_a = eksenel birim deformasyon

 Δl = örneğin ekseni boyunca uzunluktaki değişim

 l_0 = deney öncesi örneğin orijinal eksenel boyu

 ε_d = çapsal birim deformasyon

 ΔD = çaptaki değişim

 D_0 = örneğin deney öncesindeki çapı

Elastik modülün belirlenmesi için, gerilme – birim deformasyon eğrisi çizdirilir ve kırılma noktasına kadar olan kısmın teğetinin eğimi elastik modül değerini veriri. Elastik modül tayini için gerçekleştirilen bir deneyden elde edilecek olan eğrinin gösterimi Şekil 4.10'da verilmiştir.

Şekil 4.9'da da görüldüğü üzere, kayaç malzemesi yük almaya başladığında aynı zamanda deforme olmaya başlar ve bu deformasyon elastik olarak kayaç malzemesi kırılıncaya kadar devam eder. Kesikli çizgi ile gösterilen kısım kayaçın kırıldığı andaki tek eksenli basınç dayanımıdır. Kırılma sonrası taşıma kapasitesi hızlı bir düşüş gösteriyor ise malzemenin parçalara ayrıldığı, deformasyonların artmasına rağmen üzerindeki gerilme çok az düşüyor ise malzemenin sündüğü (ki bu da sünek malzemelerde meydana gelmektedir) anlaşılır (Hudson ve Harrison, 2000).



Şekil 4.9 : Gerilme-deformasyon eğrisi (Hudson ve Harrison, 2000).

Gerilme-birim deformasyon eğrisinden 3 farklı yöntemle elastik modül hesaplanabilmektedir (Ulusay ve diğ., 2001);

Teğet tanjant modülü; Kayacın %50'si gibi sabit bir gerilim değeri için σ - ε_a eğrisine teğet olan doğrunun eğimi (Şekil 4. 10a).

Ortalama modül; σ-ε_a eğrisinin doğrusal bölümünün eğimi (Şekil 4.10b)

Kiriş (sekant) modülü; σ - ε_a eğrisinin 0 noktası ile tek eksenli basınç dayanımının yarısına eşit bir σ değeri arasındaki doğru parçasının eğimi (Şekil 4. 10c).



Şekil 4.10 : Eksenel birim deformasyon-düşey gerilim eğrisinden değişik elastisite modülü değerlerinin hesaplanması; a) teğet, b) ortalama, c) kiriş modülleri (ISRM, 1981).

Tek eksenli basınç dayanımı deneyleri yapılırken eksenel deformasyon strain gaige veya komparatör (Şekil 4.11) yardımıyla ölçülebilmektedir.



Şekil 4.11 : Eksenel deformasyon ölçümünde kullanılan komparatörün görünümü.

4.2.4 Nokta Yükü Dayanım İndeksi

Nokta yük deneyi prensip olarak endirekt (dolaylı) çekme dayanımı deneyine benzer. Nokta yük deneyi, karot çapı boyunca (çapsal) veya eksenel şekilde yüklenerek uygulanabilir (Arıoğlu ve Bilgin, 1978). Deney sonucu esas alınara kayacın nokta yükü dayanım indeksi hesaplanmaktadır. Bu deneyin en önemli avantajı küçük örneklerle gerçekleştirilebilmesi, deney aletinin (Şekil 4.12) taşınabilir ve basit bir yapıya sahip olmasıdır.

Bu deney için silindirik (karot) örneklerin yanısıra, blok ve düzensiz şekilli örneklerde kullanılabilir. Karot örneği yükleme başlıklarının arasına karot eksenine dik veya paralel konumda yerleştirilebilir. Nokta yük deneyi çapsal (karot eksenine dik yönde), eksenel (karot eksenine paralel), blok ve düzensiz şekillere olmak üzere dört farklı şekilde (Şekil 4.13) yapılabilmektedir (Brook, 1977).

Kayaçların nokta yük dayanımları, iki noktasal yük oluşturmaya yarayan konik uçlar arasına yerleştirilen kayaç malzemesinin kırılması ile elde edilir.

Çapsal deneyde; karot örneğinin uzunluğunun çapına oranı (L/D) 1'den büyük olmalıdır (L/D > 1, tercihen L/D > 1,0-1,4). Kayaç örneği heterojen ve izotrop ise her bir kayaç türünden en az 10 örnek kullanılmalıdır.

Örnek, konik uçların arasına karotun eksenine dik yönde yerleştirilir ve bu şekilde yükleme yapılır. Örnek 10-60 saniye arasında yenilecek şekilde yükleme yapılır ve yenilme anındaki yük (P), yük göstergesinden okunur.
Çalışmalar sırasında nokta yük deneyileri yapılırken, sadece çapsal yükleme yapılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu yüzden diğer deney tiplerinin (eksenel, blok ve düzensiz şekilli) ayrıntılı açıklaması yapılmamıştır.

Yenilme anında oluşan kırık, karot yüzeyinde tek bir yükleme noktasından geçiyorsa deney iptal edilir. Bununla ilgili geçerli ve geçersiz deneye ait yenilme şekilleri Şekil 4.14'te verilmiştir. Nokta yük dayanım indeksi ile ilgili hesaplamalar Eşitlik 4.22, 4.23 ve 4.24'te verilmiştir.

$$I_s = \frac{P}{D_e^2}$$
(4.22)

 I_s = düzeltilmemiş nokta yük dayanım indeksi (kPa)

i) Çapsal deneyde $D_e^2 = D^2$

ii) Eksenel deney, blok ve düzensiz örneklerde $D_e^2 = 4A/\pi$ (A=WD; formüldeki A değeri konik başlıkların temas noktalarından geçen örneğin en küçük kesit alanı olarak tanımlanır.)

$$I_{s(50)} = F \times I_s \tag{4.23}$$

 $I_{s(50)}$ = boyut düzeltmesi (I_s'nin standart bir karot çapına (D=50 mm) göre düzeltilmesi gerekir).

$$F = (D_e / 50)^{0.45} \tag{4.24}$$

F = boyut düzeltme faktörü



Şekil 4.12 : Nokta yük deney aleti.



Şekil 4.13 : Nokta yük deneyinde örnek tipleri ve boyutları; a) çapsal, b) eksenel, c) blok, d) düzensiz şekilli (ISRM, 2007).



Şekil 4.14 : Geçerli ve geçersiz deneylere ait tipik yenilme şekilleri a) geçerli (çapsal), b) geçerli (eksenel), c) geçerli (blok örnekler için), d) geçersiz (karot), e) geçersiz (eksenel), f) geçersiz (blok için) (ISRM, 1985).

4.2.5 Schmidt çekiç sertliği

Bu deney, kayaçların Schmidt geri sıçrama sertliğinin belirlenmesi ve dolaylı olarak tek eksenli basınç dayanımlarının kestirimi amacıyla hem arazide hem de laboratuvarda yapılabilmektedir (Ulusay ve diğ., 2001 ve Öztürk, 2006). N ve L tipi

çekiç türleri mevcuttur. Deneye başlamadan önce sertlik standardı belli bir örs ile çekicin (Şekil 4.15) kalibrasyonu yapılır. Deneyler süreksizlik yüzeyine dik ve mümkünse ıslak yüzeylere yapılması önerilir (Ulusay ve Sönmez, 2002).

Çekiç ile deney, en az NX çapındaki karot örnekleri veya bir kenarı en az 6 cm olan blok örnekler üzerinde yapılmalıdır. Deney yapılacak yüzeyler düzgün ve çatlaksız olmalıdır.



Şekil 4.15 : Schmidt çekici.

Çekicin ucu deney numunesinin (karot veya blok şeklinde parça) yüzeyine dik konumda olacak şekilde yavaşça bastırılır ve çekicin içindeki yaydan geri tepme sesi geldiği anda, çekicin gövdesi üzerindeki gösterge tuşuna basılarak, geri sıçrama değeri çekicin gövdesindeki göstergeden okunur. Bu işlem birbirinden uzaklığı en az çekiç ucu kadar olan en az 10 noktaya uygulanır ve uygun bir yere kaydedilir. Deney sırasında herhangi bir çatlak oluşması veya gözle görülebilir bir yenilmenin olması durumunda deney iptal edilir. Yapılan 10 adet okumanın en büyük %50'si seçilir ve ortalaması alınırken, diğer %50 okuma iptal edilir. Ortalaması alınan değer Schmidt sertlik değeri (N) olarak kabul edilir (Ulusay ve diğ, 2001). Basınç dayanımı kestirimi yapılacak ise Şekil 4.16'daki abaktan faydalanılır.



Şekil 4.16 : Schmidt sertliği değerinden tek eksenli basınç dayanımının kestirimi (Deere ve Miller, 1966).

4.2.6 Shore sertliği

Shore sertliği elmas uçlu bir ağırlığın kayaç malzemesi üzerine düşürülmesi ile elde edilir. Ağırlığın zıplama yüksekliği Shore sertliğini verir. Deneyde karot veya küp şeklinde şeklinde örnekler kullanılır. Ancak kullanılan örneklerin hacminin 80 cm³ 'ün altında ve üzerinde olması Shore sertlik değerini etkileyebilmektedir. Kısacası 80 cm³ değeri kritik değerdir (Altındağ ve Güney, 2006). Bununla ilgili bir grafik şekil 4.18'de verilmiştir.



Şekil 4.17 : Shore sertlik (SH) değerleri ile örnek hacimleri arasındaki ilişki (Altındağ ve Güney, 2005).

Şekil 4.17'deki grafikte de görüldüğü gibi Shore sertlik değeri, 80 cm³'ün üzerinde hacme sahip örneklerde çok az değişmektedir. Deney hacmi 80 cm³'ün üzerinde veya eşit olan örneklerle gerçekleştirilirse, örnek üzerinde yapılan shore sertlik değeri okumalarının direkt olarak aritmetik ortalaması alınır. Ancak hacmi (V_s) 80 cm³'ün altında olan örneklerle deney yapılırsa shore sertlik değeri okumalarının aritmetik ortalamasının bir düzeltmeye ihtiyacı olur. Bunun için de aşağıdaki eşitlikten (4.25) faydalanılır (Altındağ ve Güney, 2006).

$$SH_e = 0.248 \times (80 - V_s) + SH_m$$
 (4.25)

 SH_e = düzeltilmiş shore sertliği SH_m = ölçülerek elde edilmiş shore sertliği

Shore sertliği deneyinde C-2 tipi Shore Sertlik Scleroscope'u (Şekil 4.18) kullanılır. Shore sertliği deneyi yapılırken, her kayaç örneği için herbirinin arasında en 5 mm uzaklık bulunan 20 ayrı noktadan ölçüm yapılır. Ardından bu 20 shore sertliği ölçümünün ortalaması alınarak shore sertliği belirlenir (Altındağ ve Güney, 2006).



Şekil 4.18 : Shore Sertlik Scleroscope'nun görünümü; a) önden, b) yandan.

4.2.7 Koni Delici Sertliği

Koni delici, konik şekilli bir ucun batma prensibi ile çalışan, kolay kullanılabilir basit bir statik ölçme aletidir (şekil 4.20). Koni delici aleti 175 mm uzunluğunda çelik bir çerçeve, çerçevenin iki ucuna tutturulmuş bir levha kiriş, üstte komparatör, mikrometre ve mikrometreye bağlı olarak da 40° uç açılı tungsten karbid deliciden ibarettir (Bilgin ve Shahriar, 1987). Deneyde boyutları 12 mm \times 12 mm \times 6 mm olarak hazırlanmış numune kullanılır. Numune konik uç ile çelik levha arasına yerleştirilir. Mikrometre döndürülerek numuneye tungsten karbid uç batırılır. Komparatörden sıfır ayarı yapılır ve komparatörden 0,635 mm değeri okunana kadar mikrometre saat yönünde döndürülür (bu işlemin ardından mikrometreden okunan değer ilk okumadır (M_0)). Bu değer 40 N'luk bir basma kuvvetine eşdeğerdir (National Coal Board, 1972).



Şekil 4.19 : Koni delici.

Koni delici sertlik değeri aşağıda verilen formüllerden (4.26 ve 4.27) hesaplanır (National Coal Board, 1977).

$$P_s = (M_1 - M_0) - D_1 \tag{4.26}$$

$$I_s = D_1 / P_s = 0,635 / P_s \tag{4.27}$$

 D_1 = mikrometrenin saat yönünde döndürülmesi ile komparatörden okunan ilk değer M_0 = mikrometreden okunan ilk değer

 M_1 = mikrometreden okunan son değer

 $I_{\rm s}$ = standart koni delici değeri

 $P_{\rm s}$ = tungsten karbid koni ucun numune içinde ilerleme miktarı

Eşitlik 4.25'in 0,2'den küçük çıkması durumunda ise deneye devam edilir. Komparatörden 0,635 mm daha eklenerek toplamda 1,27 mm'ye gelinceye mikrometre döndürülür ve son bir mikrometre okuması daha yapılarak koni delici sertliği belirlenir. 1,27 mm değeri 110 N'luk basınç dayanımı değerine eşittir (National Coal Board, 1977). Buradan aşağıdaki eşitlikler (4.28 ve 4.29) yardımıyla düzeltilmiş koni delici değeri elde edilir.

$$P_m = (M_2 - M_0) - D_2 \tag{4.28}$$

$$I_m = D_2 / P_m = 1,27 / P_m \tag{4.29}$$

 M_2 = komparatör 1,27 değerini gösterdiğinde mikrometre son okuması

 D_2 = mikrometrenin saat yönünde döndürülmesi ile komparatörün 0,635 mm daha

ilerletilmesi sonucu okunan komparatör değeri

 $P_{\rm m}$ = tungsten karbid ucun numune içerisinde ilerleme miktarı

 $I_{\rm m}$ = düzeltilmiş koni delici değeri

Eğer deney sırasında mikrometre saat yönünde döndürüldüğünde komparatörden 0,635 mm değeri okunamadan numune kırılıyor ise, bu durumda deney, komparatörden 0.23 mm değeri okunana kadar mikrometre saat yönünde döndürülür. Bu değer 12 N'luk bir basınç dayanımı değerine denktir (Çopur, 1991). Bu durum için zayıf kayaç koni delici değeri aşağıdaki eşitlik (4.29) yardımıyla hesaplanır.

$$I_w = \frac{0.23}{(M_3 - M_0) - 0.23} \tag{4.30}$$

 $I_{\rm w}$ = zayıf kayaçlar için koni delici değeri

 M_0 = mikrometreden okunan ilk değer (başlangıç)

 M_3 = komparatör 0,23 mm değerinde iken okunan mikrometre değeri.

4.2.8 Darbe mukavemeti

Kayaya uygulanan darbe, vuruş (impact) altında kayanın kırılması, çatlaması için sunulan dirençtir. Darbe dayanımı toplam vurma işi olarak tanımlanır. Bu deney, doğal taşlar için darbe mukavemeti deneyi TS 699 (1987 ve 2009) tarafından önerilen hususlar dikkate alınarak açıklanmıştır. Bu deney için TS 699 standartlarına uygun olarak geliştirilmiş darbe mukavemeti deney cihazı (şahmerdan) kullanılır (şekil 4.20).

Deney her birkayaç türü için en az 5 adet numune için yapılır. Deney için kenar uzunluğu 40 mm \pm 1 mm olan küp şeklinde numuneler hazırlanmalıdır. Darbe kuvveti uygulanacak yüzey ile oturma yüzeyi mümkün olduğunca birbirine paralel olmalıdır. Bu iki yüzey arasındaki paralellik toleransı 1°'dir.

Deney numunesi darbe mukavemeti deney cihazı üzerindeki başlığın ortasına yerleştirilir. Üzerine çelik plaka deney numunesi kenarlarından eşit miktarda taşacak şekilde konulduktan sonra deney, tokmağın ardarda ve deney numunesinin kırıldığı, çatladığı varsayılana kadar serbestçe düşürülmesi suretiyle yapılır.

Birinci darbede tokmağın düşme yüksekliği, deney numunesinin beher cm³'ü için 2

kgf.cm'lik bir darbe işi elde edilecek şekilde hesaplanır. Deney numunesinin beher cm³'üne düşen düşme yüksekliği (tokmak ağırlığı 50 kg). $h \times 50 = 2$ kgf.cm'den, h = 2/50 = 0,04 cm bulunur.



Şekil 4.20 : Darbe mukavemeti deneyi cihazı şematik görünüm (TS 699, 1987).

Buna göre birinci darbede V cm³ hacmindeki deney numunesi için tokmağın düşme yüksekliği şu şekilde hesaplanır;

$$H = 0.04 \times V$$
 (4.31)

H = tokmağın düşme yüksekliğin (cm)

V = deney numunesinin hacmi (cm³)

Birinci darbeden sonra, takip eden her darbedeki düşme yüksekliği bir evvelki yüksekliğin, ilk düşme yüksekliği (H) kadar arttırılması suretiyle ayarlanır. Deney numunesi kırılıncaya kadar bu işleme devam edilir. Deney sırasında düşme yüksekliğinin arttırılmasına rağmen geri sıçrama miktarı artmaz veya azalırsa, deney numunesi parçalanmış sayılır ve buna neden olan darbe dikkate alınmaz. Ayrıca sıçrama değerlerinde bir azalma olmadığı halde son darbede kırılma veya çatlama veya önemli derecede pullanma olursa, deney numunesi yine kırılmış sayılır ve yine buna neden olan son darbe dikkate alınmaz. Darbe mukavemeti Eşitlik 4.32 yardımıyla hesaplanır;

$$D = n (n + 1)$$
 (4.32)

D = darbe mukavemeti değeri (kgf.cm/cm³ veya N.mm/mm³)

 $n = k_{11} m_{11} m_{12} m_{$

4.2.9 Darbeli aşınma deneyi (Los Angeles Deneyi)

Darbeli aşınma deneyi, ilk defa Los Angeles şehrinde yapıldığı için deneye bu şehrin adı verilmiştir. Deneyde dakikada 30-33 devir yapabilecek şekilde dönen bilyalı bir tamburdan ibaret olan Los Angeles deney cihazı (Şekil 4.22a) ile gerçekleştirilir. Deneyde tamburun içerisine numune ile birlikte yerleştirilen bilyaların her biri yaklaşık 47 mm çapında, ağırlıkları 390-445 gr arasında değişmekte ve çelikten imal edilmiş olmaları gerekmektedir. Deneyde gerekli diğer araç ve gereçler hassas terazi (10 kg kapasiteli), çeneli kırıcı, titreşimli elek ve elek setidir (Şekil 4.22b). Deneyde göz açıklığı 40 mm, 25 mm, 20 mm, 12,5 mm, 10 mm, 6,3 mm, 5 mm, 2,5 mm, 1,6 mm elekler kullanılır. Deney numuneleri en az 2 seri halinde, Çizelge 4.2'de belirtilen tane büyüklüğü sınıflarından herhangi birine göre hazırlanır. Genel olarak A sınıfı tercih edilmesi tavsiye edilir (TS 699, 1987 ve ASTM, 1994). Elverişli olmayan durumlarda diğer tane sınıflamalarından birine göre deney gerçekleştirilir.



Şekil 4.21 : Los Angeles cihazı (a) ve titreşimli elek seti (b).

Çizelge 4.2:	Los Angeles deneyinde deney numunesi tane büyüklüğü sınıfları,
	alınacak deney numunesi miktarları ile çelik bilya adetleri (TS 699,
	1987).

Deney Numunesi	Çelik		Alınacak	Toplam
Tane Büyüklüğü	Bilya	Elek Aralığı	Miktar	Miktar
Sınıfı	Adedi		(gr)	(gr)
		40 mm – 25 mm	1250 ± 25	_
٨	12	25 mm – 20 mm	1250 ± 25	5000 ± 10
A		20 mm – 12,5 mm	1250 ± 10	5000 ± 10
		12,5 mm – 10,0 mm	1250 ± 10	-
D	11	20 mm – 12,5 mm	2500 ± 10	5000 ± 10
D	11	12,5 mm – 10,0 mm	2500 ± 10	3000 ± 10
C	0	10 mm – 6,3 mm	2500 ± 10	5000 ± 10
C	0	6,3 mm – 5 mm	2500 ± 10	5000 ± 10
D	6	5 mm - 2,5 mm	2500 ± 10	5000 ± 10

Kırıcı ile kırılan kayaçlar, deney için belirlenen eleklerden geçirilerek elenir ve Çizelge 4.2'de belirtilen miktarlarda olmak üzere kaplara ayrılır (5000 gr \pm 10 gr) ve 24 saat süre ile etüvde (105°C) kurutulduktan sonra Çizelge 4.2'de belirtilen sayıdaki bilyalarla birlikte Los Angeles cihazının içerisine yerleştirilerek, 100 devir yaptırılır ve ardından çıkarılarak 1,6 mm göz açıklığı olan elekten geçirilir ve elek üzerinde kalan kısım yıkanır ve tekrar etüve konularak değişmez kütleye ulaşıncaya kadar kurutulur (105°C). Soğutulduktan sonra tartılır (G₁₀₀). Daha sonra 1,6 mm elelk üzerinde kalan tüm numune tekrar bilyalarla birlikte Los Angeles cihazına konulur ve 400 devir daha yaptırılarak, toplamda 500 devir yaptırılmış olunur. Cihazdan çıkarılan numune göz açıklığı 1,6 mm elekten geçirilir ve elek üzerinde kalan kısım gerekirse yıkanır, değişmez kütleye ulaşıncaya kadar kurutulur ve soğutulduktan sonra tartılır (G₅₀₀). Aşağıdaki eşitlikler (4.33 ve 4.34) yardımıyla 100 devir ve 500 devir sonundaki aşınma kaybı değerleri hesaplanır.

$$K_{100} = \frac{G_o - G_{100}}{G_o} \times 100 \tag{4.33}$$

$$K_{500} = \frac{G_o - G_{500}}{G_o} \times 500 \tag{4.34}$$

 $K_{100} = 100$ devir sonundaki aşınma kaybı (%)

 $K_{500} = 500$ devir sonundaki aşınma kaybı (%)

- G_o = deney numunesinin deneyden önceki kütlesi (gr)
- G₁₀₀ = deney numunesinin 100 devir sonunda göz açıklığı 1,6 mm olan elek üzerinde kalan kısmının kütlesi (gr)
- G₅₀₀ = deney numunesinin 500 devir sonunda göz açıklığı 1,6 mm olan elek üzerinde kalan kısmının kütlesi (gr)

4.2.10 Sürtünme ile aşınma kaybı (Böhme metodu)

Sürtünme ile oluşan aşınma kaybı deneyi, yaya trafiğinin fazla olduğu yerlerde kaplama taşı olarak kullanılacak doğal taşlarda oluşan aşınma kaybını belirlemek için yapılır. Her kayaç türü için en az 5 adet numune kullanılması gereklidir. Deneyin diğer adı Böhme metodu ile yüzey aşındırma deneyidir. Deneyde Böhme yüzey aşındırma cihazı (Şekil 4.23) kullanılır. Bu cihaz, döner bir aşındırma diski ile deney numunesinin yerleştirildiği ve numuneyi dönen disk üzerine belirli bir basınç ile bastıracak donanımdan oluşmaktadır. Cihaz 30 devir/dk hızla dönmesini sağlayacak,

ve devir sayısını gösteren dijital bir numaratör sayesinde her 22 devir tamamlandığında otomatik olarak durabilecek teçhizata sahip olmalıdır. Ayrıca şartlara uygun olan (TS 699, 1987) zımpara tozu da deneyde kullanılır.



Şekil 4.22 : Sürtünme ile aşınma kaybı (Böhme metodu) deney cihazı; a) fotoğraf görünüm, b) şematik görünüm.

Bu deney için, kenar uzunlukları 71 mm \pm 1,5 mm (yüzey alanı 50 cm² \pm 2 cm²) olan küp şeklinde deney numuneleri hazırlanır. Böhme yüzey aşındırma deneyi, deney sonunda deney numunelerinin kalınlıklarında veya hacimlerinde meydana gelen azalmanın ölçülmesi suretiyle yapılır.

Aşınma kaybı, kalınlıktaki azalmanın ölçülmesi yoluyla yapılacak ise Şekil 4.23'te gösterilen her kayaç türüne ait bütün numuneler herbiri için 9 yerdeki kalınlıklarının 0,01 mm hassasiyetle ölçülerek ortalamasının (d_o) kaydedilmesinden sonra deneye başlanır.



Şekil 4.23 : Böhme yüzey aşınma deneyinde deney numunesinin kalınlığının ölçüleceği yerler (TS 699, 1987).

Aşınma kaybı hacim azalmasının ölçülmesi yolu ile belirlenmek istendiğinde ise, deney numunelerinin herbiri 24 saat su içerisinde bekletilerek suya doygun hale getirilir ve ardından arşimet terazisi ile birlikte su içerisindeki (A_{ds}) ve havadaki (A_{dh}) ağırlıkları belirlenir. Bu işlemlerin ardından numuneler 48 saat süre ile oda sıcaklığında kurumaya bırakılır ve bu süre sonunda deney başlanabilir. Deney numunesinin hacmi aşağıdaki eşitlik (4.35) yardımıyla belirlenir.

$$V_{o} = A_{dh} - A_{ds}$$
(4.35)

V_o = deney numunesinin deneyden önceki hacmi

$$A_{dh}$$
 = deney numunesinin havadaki kütlesi (gr)

A_{ds} = deney numunesinin sudaki kütlesi (gr)

Sürtünme şeridi üzerine 20 gr \pm 0,5 gr zımpara tozu serpilir. Deney numunesi yuvaya yerleştirilerek, çelik manivela aracılığı ile 30 kgf \pm 0,3 kgf (300 N \pm 3 N)'lik yük uygulanarak deneynumunesinin sürtünme şeridi üzerine 0,6 kgf/cm² (0,06 N/mm²)'lik bir basınç ile bastırılması sağlanır. Her 22 devir sonunda cihaz otomatik olarak durur ve numune düşey ekseni üzerinde 90° çevrilerek tekrar yuvaya yerleştirilir. Zımpara tozu her numune çevirme işleminden sonra (deney başlamadan önce) tekrar sürtünme şeridi üzerine dökülür (20 gr). Zımpara tozu her 22 devir sonunda sürtünme şeridi üzerinden temizlenmeli ve her seferinde tazelenmelidir. 440 devir sonunda numune sert bir fırça ile iyice temizlendikten sonra aşınma kaybı kalınlık azalması yolu ile belirlenecekse deney öncesinde olduğu gibi 9 farklı yerden ölçüm yapılarak kalınlığı belirlenir (d₁).

Eğer aşınma kaybı, hacim azalması yoluyla hesaplanacaksa, deneyden sonraki hacmi aynen deney öncesinde olduğu gibi numunenin suya dygun hale getirilmesi ile yapılan tartımlar tekrarlanır ve kaydedilir. Buradan deney sonrası hacmi belirlenir (V_1) . Aşınma kaybı, kalınlık azalması ile belirlenecek ise Eşitlik 4.36 veya 4.37, eğer hacim azalması ile belirlenecek ise Eşitlik 4.38 veya 4.39 yardımıyla hesaplanır (TS 699, 1987).

$$\mathbf{d} = \mathbf{d}_{0} - \mathbf{d}_{1} \tag{4.36}$$

veya

$$\Delta \mathbf{d} = (\mathbf{V}_{\mathrm{o}} - \mathbf{V}_{\mathrm{1}}) / \mathbf{A}$$
(4.37)

$$\Delta \mathbf{V} = (\mathbf{d}_0 - \mathbf{d}_1) \times 50 \tag{4.38}$$

veya

$$\Delta \mathbf{V} = \left[\left(\mathbf{V}_{\mathrm{o}} - \mathbf{V}_{1} \right) / \mathbf{A} \right] \times 50 \tag{4.39}$$

- $\Delta d = b$ öhme yüzey aşınma kaybı değeri (cm / cm²)
- d_o = numunenin deneyden önceki ortama kalınlığı (cm)
- d_1 = numunenin deneyden sonraki ortama kalınlığı (cm)
- A = numunenin aşınma uygulanan yüzeyinin alanı (cm²)
- ΔV = numunenin böhme yüzey aşınma kaybı değeri (cm³/50 cm²)
- V_o = numunenin deney öncesi hacmi (cm³)
- V_1 = numunenin deney sonrası hacmi (cm³)

4.3 Mineralojik-Petrografik Özellikler

Mineralojik inceleme ile katı ve homojen yapı taşları olan minerallerin özellikleri belirlenirken, Petrografik incelemede, kayaçların mineralojik ve kimyasal bileşimleri, yapı, doku ve tabiatta bulunuş şekilleri belirlenmektedir.

Mineralojik-petrografik analizler için ilk olarak ince kesitler hazırlanır. İnce kesitler, kayaçları mikroskopta inceleyebilmek için cam üzerine yapıştırılmak suretiyle ışık geçirecek ölçüde (0,03 mm kalınlıkta) inceltilmiş kayaç numuneleridir. Ardından polarizan mikroskop yardımıyla ince kesitlerin mineralojik ve petrografik analizleri gerçekleştirilir. Polarizan Mikroskop, değişik büyültmeli objektifleri bulunan, döner tablalı ve bu tabla üzerinde ince kesiti milimetrik hareket ettirebilen doğrudan ve ilave parçalarda ileri-geri, sağa-sola hareket edebilen, ölçülü oküleri olan, altdan aydınlatmalı mikroskoptur (TS 10282, 1992).

Çalışmada her doğal taş türü için ince kesitler hazırlanmıştır. Daha sonra bu ince kesitler polarizan mikroskop altında incelenerek mineralojik ve petrografik analizleri gerçekleştirilmiştir.

5. BAZI DOĞAL TAŞLARIN MEKANİK, FİZİKSEL VE MİNERALOJİK-PETROGRAFİK ÖZELLİKLERİ İLE DOKUSAL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Bu bölümde çalışmaya konu olan doğal taşların fiziksel, mekanik ve mineralojikpetrografik özelliklerinin belirlenmesine yönelik çalışma süresince yapılan deneylerin ve analizlerin uygulandığı şartlar ve sonuçlar açıklanmıştır. Çalışmaya konu olan doğal taşlar ve ait oldukları bölgeler Bölüm 1.2'de açıklanmıştır.

5.1 Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi ve Deney Sonuçları

Bu kısımda çalışma konusu olan doğal taşların fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde Bölüm 4.1'de açıklanan hususlar dikkate alınmş ve sonuçlar verilmiştir.

5.1.1 Yoğunluk ve birim hacim ağırlığın (kumpas yöntemi ile) belirlenmesi

Çalışmada, yoğunluk ve birim hacim ağırlık tayini deneylerinde her bir doğal taş numunesi için 5'er adet silindirik (karot) örneği hazırlanmıştır. Bölüm 4.1.1'de belirtilen standartlara uygun olarak deneyler yapılmış ve Eşitlik 4.1 ve 4.2'ye göre yoğunluk (ρ) ve birim hacim ağırlık (γ) tayininin yanı sıra aynı örnekler için kuru yoğunluk (ρ_k) ve kuru birim hacim ağırlık (γ_k) tayini de yapılmıştır. Yoğunluk ve birim hacim ağırlık deney sonuçları Çizelge 5.1'de verilmiştir.

5.1.2 Hacim kütlesinin belirlenmesi

Çalışmada, hacim kütlesi deneyinde doğal taş numunelerinin herbirinden 6'şar adet örnek hazırlanmıştır. Deneyler Bölüm 4.1.2'de bahsedilen hem düzgün şekilli (karot) hem de düzgün şekilli olmayan örnekler için uygulanması önerilen hususlar dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları Çizelge 5.2'de verilmiştir.

5.1.3 Su içeriğinin belirlenmesi

Çalışmada, su içeriği deneyinde ağırlıkları 50 - 426 gr arasında değişen herbir doğal taş numunesinden 10'ar adet düzgün geometrik şekilli olmayan (parça şeklinde) örnekler hazırlanmıştır. Deney Bölüm 4.1.3'te bahsedilen deney standartlarına uygun

olarak gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Numune	Yoğunluk	Birim Hacim	Yoğunluk	Birim Hacim	Örnek
No	(ρ)	Ağırlık	(ρ)	Ağırlık (γ)	Sayısı
	(gr/cm^3)	(γ)	(gr/cm^3)	(kN/m^3)	
		(kN/m^3)	(kuru)	(kuru)	
1	2,23	21,92	2,23	21,87	5
2	2,73	26,76	2,73	26,74	5
3	2,66	26,13	2,66	26,12	5
4	2,70	26,45	2,70	26,44	5
5	2,70	26,33	2,70	26,32	5
6	2,70	26,47	2,70	26,47	5
7	2,70	26,68	2,70	26,66	5
8	2,70	26,48	2,70	26,47	5
9	2,69	26,42	2,69	26,41	5
10	2,68	26,25	2,67	26,24	5
11	2,71	26,56	2,71	26,55	5
12	2,68	26,46	2,68	26,43	5
13	2,22	21,73	2,21	21,71	5
14	2,75	26,94	2,74	26,92	5
15	2,61	25,60	2,60	25,55	5
1 TB *	2,70	26,49	-	-	5
2BB*	2,69	26,39	-	-	5
3PT*	2,44	23,94	-	-	5
4BT*	1,84	18,05	-	-	5

Çizelge 5.1 : Yoğunluk ve birim hacim ağırlık deney sonuçları.

* Tübitak projesinden alınan doğal taş numuneleri (Çopur ve diğ., 2008).

Numune	Hacim Kütlesi	Hacim kütlesi	Hacim	Örnek
No	(düzgün geo.	(düzgün geo.	Kütlesi	Sayısı
	şekilli olmayan)	şekilli)	(ortalama)	
	(gr/cm^3)	(gr/cm^3)	(gr/cm^3)	
1	2,27	2,21	2,24	6
2	2,72	2,72	2,72	6
3	2,69	2,66	2,68	6
4	2,70	2,70	2,70	6
5	2,71	2,67	2,69	6
6	2,70	2,70	2,70	6
7	2,71	2,71	2,71	6
8	2,69	2,70	2,70	6
9	2,70	2,68	2,69	6
10	2,69	2,67	2,68	6
11	2,71	2,71	2,71	6
12	2,69	2,69	2,69	6
13	2,22	2,21	2,22	6
14	2,73	2,74	2,74	6
15	2.61	2.60	2.61	6

Çizelge 5.2 : Hacim kütlesi (görünür yoğunluk) deney sonuçları.

Numune	Örneklerin ağırlığı	Su içeriği	Örnek sayısı
no	(ortalama)	(ortalama)	
_	(gr)	(%)	
1	50,45	0,23	10
2	52,85	0,05	10
3	50,31	0,03	10
4	50,60	0,03	10
5	85,24	0,02	10
6	68,86	0,04	10
7	117,63	0,05	10
8	70,70	0,03	10
9	90,99	0,06	10
10	98,47	0,05	10
11	169,72	0,05	10
12	51,90	0,09	10
13	52,16	0,15	10
14	62,14	0,06	10
15	59,08	0,23	10

Çizelge 5.3 : Su içeriği deneyi sonuçları.

5.1.4 Hacimce ve kütlece (ağırlıkça) su emme oranının belirlenmesi

Çalışmada su emme deneyi, doğal taş numunelerinden 6'şar adet örnek hazırlanarak TS 699, ASTM C97 ve Ulusay ve diğ. (2001) tarafından önerilen standartlara göre gerçekleştirilmiştir. Bölüm 4.1.4'te bahsedilen hem düzgün şekilli hem de düzgün şekilli olmayan numunelere göre deneyler yapılmış ve sonuçlar Çizelge 5.4'te verilmiştir. Hesaplamalar Bölüm 4.1.4'te verilmiş olan Eşitlik 4.6, 4.7 ve 4.8'e göre yapılmıştır.

5.1.5 Özgül kütlenin (gerçek yoğunluk) belirlenmesi

Çalışmada, özgül kütle deneyi için herbir doğal taş numunesinden 3'er adet 250 gr ağırlığında 0,2 mm elek altı örnekler hazırlanmış ve deneyler Bölüm 4.1.5'te bahsedilen işlemlerin (hem kaynatma metodu hem de vakum pompası metodu kullanılarak) tamamının uygulanması ile gerçekleştirilmiş ve Eşitlik 4.9'da verilen formül kullanılarak özgül kütle hesaplanmıştır. Deney ile ilgili hesaplamalar sonuçları Çizelge 5.5'te verilmiştir.

5.1.6 Görünen (zahiri) porozitenin belirlenmesi

Bölüm 4.1.6'da bahsedilen iki yollada zahiri porozite hesaplanmıştır. Görünen porozite hesaplanırken Eşitlik 4.7 ve 4.10'da verilmiş olan formüller kullanılmışıtır. Görünen porozite değerleri Çizelge 5.6'da verilmiştir.

5.1.7 Doluluk oranının belirlenmesi

Çalışmaya konu olan herbir doğal taş numunesinin doluluk oranı değerleri Bölüm 4.1.7'de verilmiş olan Eşitlik 4.11'e göre hesaplanmıştır. Doluluk oranı değerleri Çizelge 5.7'de verilmiştir.

5.1.8 Porozitenin (gözeneklilik derecesi) belirlenmesi

Çalışmaya konu olan herbir doğal taş numunesinin doluluk oranı değerleri Bölüm 4.1.8'de verilmiş olan Eşitlik 4.12'ye göre hesaplanmıştır. Doluluk oranı değerleri Çizelge 5.7'de verilmiştir.

Numuno	Düzgün geometrik şekilli olan numuneler		Düzgün geometrik şekilli olmayan numuneler		Hacimce	Kütlece	
no	Hacimce	Kütlece	Hacimce	Kütlece	oranı	oranı	Örnek
	su	su	su	su	(%)	(%)	sayisi
	emme	emme	emme	emme	(ortalama)	(ortalama)	
	oranı	oranı	oranı	oranı	()	()	
	(%)	(%)	(%)	(%)			
1	6,51	2,95	6,67	2,95	6,59	2,95	6
2	1,32	0,48	1,32	0,48	1,32	0,48	6
3	0,40	0,15	0,40	0,15	0,40	0,15	6
4	0,31	0,12	0,31	0,12	0,31	0,12	6
5	0,24	0,09	0,25	0,09	0,25	0,09	6
6	0,35	0,13	0,35	0,13	0,35	0,13	6
7	2,02	0,74	2,02	0,74	2,02	0,74	6
8	0,31	0,11	0,31	0,11	0,31	0,11	6
9	0,34	0,13	0,34	0,13	0,34	0,13	6
10	0,36	0,13	0,36	0,13	0,36	0,13	6
11	0,28	0,10	0,28	0,10	0,28	0,10	6
12	0,44	0,16	0,44	0,16	0,44	0,16	6
13	11,66	5,28	11,72	5,28	11,69	5,28	6
14	0,62	0,22	0,62	0,22	0,62	0,22	6
15	4,80	1,84	4,81	1,84	4,80	1,84	6

Çizelge 5.4 : Su emme deney sonuçları.

5.1.9 Sonik hızın belirlenmesi

Çalışmada sonik hız deneyinde her kayaç türü için 5'er adet NX (54 mm) çaplı silindirik örnekler hazırlanmış ve bu örneklerin alt ve üst yüzeyleri standartlara uygun olarak düzeltilerek biribirine paralel hale getirilmiştir. Deneyde kayaçlar için geliştirilmiş dijital göstergeli CNS Elektronik Şirketi tarafından üretilmiş olan PUNDIT (Portable Ultrasonic Non-destructive Digital Indicating Tester) sinyal üretici kullanılmıştır. P ve S dalga hızlarının yanısıra, dinamik elastisite modülü

(young modülü) ve dinamik poisson oranı değerleri de hesaplanmıştır. Deney sonuçları Çizelge 5.8'de verilmiştir.

Numune	Örnek	Örnek	Özgül kütle (gerçek yoğunluk)
no	miktarı	sayısı	(gr/cm^3)
	(gr)		(ortalama)
1	250 g	3	2,36
2	250 g	3	2,73
3	250 g	3	2,70
4	250 g	3	2,72
5	250 g	3	2,71
6	250 g	3	2,71
7	250 g	3	2,75
8	250 g	3	2,74
9	250 g	3	2,70
10	250 g	3	2,71
11	250 g	3	2,72
12	250 g	3	2,72
13	250 g	3	2,67
14	250 g	3	2,76
15	250 g	3	2,79

Çizelge 5.5 : Özgül kütle (gerçek yoğunluk) deney sonuçları.

Çizelge 5.6 : Görünen (zahiri) porozite deney sonuçları.

Numune no	Görünen porozite (%) (Hacimce su emme oranından hesaplanan)	Görünen Porozite (%) (Hacim kütlesi ve kütlece su emme oranından hesaplanan)	Görünen Porozite (açık gözeneklilik) (%) (ortalama)
1	6,59	6,61	6,60
2	1,32	1,31	1,32
3	0,40	0,40	0,40
4	0,31	0,32	0,32
5	0,25	0,24	0,25
6	0,35	0,35	0,35
7	2,02	2,01	2,01
8	0,31	0,30	0,30
9	0,34	0,35	0,34
10	0,36	0,35	0,35
11	0,28	0,27	0,28
12	0,44	0,43	0,44
13	11,69	11,72	11,71
14	0,62	0,60	0,61
15	4,80	4,80	4,80

Numune no	Doluluk oranı (%)	Porozite (%)
1	94,92	5,08
2	99,63	0,37
3	99,26	0,74
4	99,26	0,74
5	99,26	0,74
6	99,63	0,37
7	98,55	1,45
8	98,54	1,46
9	99,63	0,37
10	98,89	1,11
11	99,63	0,37
12	99,63	0,37
13	83,15	16,85
14	99,28	0,72
15	93,55	6,45

Çizelge 5.7 : Doluluk oranı ve porozite değerleri.

Çizelge 5.8 : Sonik hız deneyi sonuçları.

Numuno	D dalaa huru	S dalaa huzi	Dinamik elastisite	Dinamik
Numune	P daiga mzi	5 daiga ilizi	modülü	poisson oranı
по	(KIII/SII)	(KIII/SII)	(Gpa)	
1	2,79	1,54	13,32	0,23
2	4,57	3,06	55,44	0,19
3	4,66	3,12	56,94	0,15
4	4,58	2,91	53,16	0,17
5	6,11	3,18	68,56	0,30
6	6,42	3,16	71,78	0,33
7	5,37	3,00	62,28	0,26
8	5,86	3,17	68,15	0,32
9	4,49	2,92	51,96	0,16
10	5,48	2,92	57,28	0,35
11	3,94	2,80	37,65	0,18
12	5,86	3,02	61,22	0,34
13	3,39	2,21	24,22	0,15
14	4,37	2,86	50,06	0,16
15	5,18	2,76	51,71	0,29
1TB*	10,13	4,38	143,00	0,38
2BB*	7,55	3,35	82,80	0,38
3PT*	-	-	-	-
4BT*	4,76	2,46	44,40	0,30

* Tübitak projesinden alınan doğal taş numuneleri (Çopur ve diğ., 2008).

5.2 Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi ve Deney Sonuçları

Bu kısımda çalışma konusu olan doğal taşların fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde Bölüm 4.2'de açıklanan hususlar dikkate alınmş ve sonuçlar verilmiştir.

5.2.1 Tek eksenli basınç dayanımının belirlenmesi

Çalışmada sözkonusu deney için ISRM'nin önermiş olduğu standartlara uygun olarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, her bir doğal taş türü için boy/çap oranı 2,5-3 arasında değişen 10 adet örnek kullanılmıştır. Yükleme hızı olarak da 1 kN/s (\approx 0,5 MPa) uygulanmıştır. Ek 1'de çalışmada kullanılan bazı doğal taş türlerine ait örneklerin tek eksenli basınç dayanımı deneyi öncesi ve sonrası fotoğrafları verilmiştir. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi sonuçları Çizelge 5.9'da verilmiştir.

Numuno	Yenilme (kırılma)	Tek eksenli basınç	Örnalı
Nulliulle	yükü	dayanımı	OTHER
no	(kN)	(MPa)	sayisi
1	42,7	20,0	10
2	369,2	171,1	10
3	301,9	140,0	10
4	258,5	120,8	10
5	175,9	81,4	10
6	185,8	85,8	10
7	197,6	92,0	10
8	299,8	139,2	10
9	215,6	100,8	10
10	284,1	132,5	10
11	124,1	57,7	10
12	296,4	138,4	10
13	92,8	43,0	10
14	213,8	99,5	10
15	350,1	163,5	10
1TB*	-	35,8	-
2BB*	-	83,7	-
3PT*	-	36,7	-
4BT*	-	12,7	-

Çizelge 5.9 : Tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları.

* Tübitak projesinden alınan doğal taş numuneleri (Çopur ve diğ., 2008).

5.2.2 Brazilian (dolaylı) çekme dayanımının belirlenmesi

Çalışmada, dolaylı çekme dayanımı deneyinde her bir doğal taş türü için 5'er örnek hazırlanmıştır. Çekme dayanımı deneyi ile ilgili Bölüm 4.2.2'de bahsedilen bütün işlemler gerçekleştirilerek deneyler yapılmıştır. Dolaylı çekme dayanımı değerleri

Numune	Yenilme yükü	Çekme dayanımı	Örnek Savisi
no	(kN)	(MPa)	Offick Sayisi
1	17,53	5,01	5
2	30,03	7,23	5
3	21,45	5,77	5
4	19,63	5,10	5
5	18,34	4,76	5
6	23,78	5,34	5
7	25,08	6,49	5
8	18,58	5,77	5
9	18,16	5,04	5
10	15,71	4,91	5
11	15,56	3,95	5
12	11,90	3,05	5
13	9,60	2,44	5
14	32,32	8,20	5
15	34,84	9,39	5
1 TB *	-	5,03	-
2BB*	-	8,50	-
3PT*	-	6,76	-
4BT*	-	3,54	-

Eşitlik 4.19'a göre hesaplanmıştır. Deney sonuçları Çizelge 5.10'da verilmiştir.

Cizelge 5.10 : Brazilian (dolaylı) çekme dayanımı deney sonuçları.

* Tübitak projesinden alınan doğal taş numuneleri (Çopur ve diğ., 2008).

5.2.3 Elastisite modülünün belirlenmesi

Çalışmada, elastik modül tayini yapılırken sadece eksenel deformasyonun tayini yapılabilmiştir. Her doğal taş türü için 10'ar örnek hazırlanmıştır. Elastik modül hesabında önerilen diğer bütün şartlar yerine getirilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Tek eksenli basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilriken aynı zamanda elastisite modülü hesabı için gerekli eksenel deformasyon ölçümleri de yapılmıştır. Hesaplanan elastisite modülü değeleri Çizelge 5.11'de verilmiştir. Statik elastisite modülünün hesabı, Bölüm 4.2.3' te bahsedilen ve Şekil 4.11c'de verilmiş olan kiriş modül yöntemi esas alınarak hesaplanmıştır.

5.2.4 Nokta yükü dayanımı indeksinin belirlenmesi

Bu çalışmada her bir doğal taş türü için en az 5'er adet karot şeklinde örnek üzerinde nokta yük deneyi yapılmıştır. Sadece çapsal yükleme yapılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları Çizelge 5.12'de verilmiştir.

Numune no	Numune türü	Elastisite Modülü (GPa)	Örnek sayısı
1	Karot	16,07	10
2	Karot	35,43	10
3	Karot	33,99	10
4	Karot	32,31	10
5	Karot	26,69	10
6	Karot	28,66	10
7	Karot	29,42	10
8	Karot	40,58	10
9	Karot	28,15	10
10	Karot	34,20	10
11	Karot	23,84	10
12	Karot	34,07	10
13	Karot	24,11	10
14	Karot	32,50	10
15	Karot	27,31	10
$1TB^*$	Karot	12,21	10
2BB*	Karot	17,17	10
3PT*	Karot	-	10
4BT*	Karot	0,593	10

Çizelge 5.11 : Statik elastisite modülü değerleri.

* Tübitak projesinden alınan doğal taş numuneleri (Çopur ve diğ., 2008).

Numune	Numune	Yükleme	Nokta yükü indeksi	Örnek
no	türü	tipi	(MPa)	sayısı
1	Karot	Çapsal	4,83	5
2	Karot	Çapsal	7,87	5
3	Karot	Çapsal	4,93	5
4	Karot	Çapsal	5,60	5
5	Karot	Çapsal	6,40	5
6	Karot	Çapsal	4,66	5
7	Karot	Çapsal	5,74	5
8	Karot	Çapsal	5,48	5
9	Karot	Çapsal	4,61	5
10	Karot	Çapsal	5,80	5
11	Karot	Çapsal	3,34	5
12	Karot	Çapsal	3,78	5
13	Karot	Çapsal	2,30	5
14	Karot	Çapsal	6,87	5
15	Karot	Çapsal	9,41	5
1TB*	-	-	-	-
2BB*	-	-	-	-
3PT*	-	-	-	-
4BT*	Karot	Çapsal	1,86	-

Çizelge 5.12 : Nokta yükü indeksi deney sonuçları.

* Tübitak projesinden alınan doğal taş numuneleri (Çopur ve diğ., 2008).

5.2.5 Schmidt çekiç sertliğinin belirlenmesi

Schmidt sertlik çekici deneyinde boyutları en az 20×20 cm olan doğal taş blokları kullanılmıştır. Her bir doğal taş türü için deneylerde 20 adet Schmidt sertlik okuması yapılmış ve bunlardan en büyük 10 okuma seçilerek aritmetik ortalaması alınarak Schmidt sertliği belirlenmiştir. Ayrıca deneylerde L tipi schmidt çekici kullanılmıştır. Deney sonuçları Çizelge 5.13'te verilmiştir.

Numune	Örnek	Yükleme	Örnek Boyutları	Schmidt
no	tipi	tipi	(cm)	sertliği
1	blok	dik	20×20	47,2
2	blok	dik	20×20	63,45
3	blok	dik	20×20	60,6
4	blok	dik	20×20	63,5
5	blok	dik	20×20	55,8
6	blok	dik	20×20	58,1
7	blok	dik	20×20	66,35
8	blok	dik	20×20	62,2
9	blok	dik	20×20	59,75
10	blok	dik	20×20	62,2
11	blok	dik	20×20	53,95
12	blok	dik	20×20	61,05
13	blok	dik	20×20	36,25
14	blok	dik	20×20	54,9
15	blok	dik	20×20	55
$1TB^*$	blok	dik	20×20	54,2
2BB*	blok	dik	20×20	70
3PT*	blok	dik	20×20	53,9
4BT*	blok	dik	20×20	24,8

Çizelge 5.13 : Schmidt çekiç sertliği deney sonuçları.

* Tübitak projesinden alınan doğal taş numuneleri (Çopur ve diğ., 2008).

5.2.6 Shore sertliğinin belirlenmesi

Çalışmada, Shore sertliği belirlenirken Bölüm 4.2.6'da bahsedilen Altındağ ve Güney (2006) tarafından önerilen deney standartlarına uyulmuştur. Her doğal taş türü için 3'er adet küp şeklinde hacmi 250-300 m³ arasında değişen örnekler kullanılmış ve bunların düzgün olan yüzeylerinde 20'şer okuma yapılarak bu okumaların ortalaması alınarak Shore sertliği değerleri belirlenmiştir. Shore sertlik deney sonuçları Çizelge 5.14'te verilmiştir.

5.2.7 Koni delici sertliğinin belirlenmesi

Çalışmada, koni delici deneyinde her doğal taş türü için Bölüm 4.2.7'de bahsedilen

standarlara uygun olarak en az 2'şer örnek hazırlanarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Her örnek için 10'ar adet koni delici sertliği hesaplanmış ve bunların aritmetik ortalamaları alınmıştır. Deney sonuçları Çizelge 5.15'de verilmiştir.

Numune no	Tabakalanma yönü	Yükleme tipi	Ornek boyutları (cm ³)	Shore sertliği
1	dik/paralel	dik	> 80	34,52
2	masif	dik	> 80	62,90
3	masif	dik	> 80	59,37
4	masif	dik	> 80	62,75
5	dik/paralel	dik	> 80	45,45
6	masif	dik	> 80	64,08
7	masif	dik	> 80	53,53
8	masif	dik	> 80	60,10
9	masif	dik	> 80	61,48
10	masif	dik	> 80	59,72
11	masif	dik	> 80	46,87
12	masif	dik	> 80	62,17
13	masif	dik	> 80	20,87
14	masif	dik	> 80	44,53
15	masif	dik	> 80	47,38
1TB*	masif	dik	-	55,4
2BB*	masif	dik	-	59,9
3PT*	masif	dik	-	48,7
4BT*	dik/paralel	dik	> 80	12,65

Çizelge 5.14 : Shore sertliği deney sonuçları.

* Tübitak projesinden alınan doğal taş numuneleri (Çopur ve diğ., 2008).

5.2.8 Darbe mukavemetinin belirlenmesi

Çalışmada, darbe mukavemeti deneyi herbir doğal taş türü için Bölüm 4.2.8'de bahsedildiği üzere en az 5 adet olmak üzere TS 699 (1987 ve 2009)'da belirtilmiş olan standartlara uygun numuneler üzerinde ve şartlarda gerçekleştirilmiştir. Darbe mukavemeti deney sonuçları Çizelge 5.16'da verilmiştir.

5.2.9 Darbeli aşınmanın (Los Angeles) belirlenmesi

Çalışmada, Los Angeles deneyinde Çizelge 4.2'de de görülen A sınıfı deney numunesi kullanılmıştır. Herbir doğal taş türü için 2'şer adet örnek hazırlanmış ve deneyler Bölüm 4.2.9'da bahsedilen TS 699 (1987) standartlarında belirtilen şartlara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları Çizelge 5.17'de verilmiştir.

5.2.10 Sürtünme ile aşınma kaybının (Böhme metodu) belirlenmesi

Çalışmada, böhme yüzey aşınma kaybı deneyinde her bir doğal taş türü için 3'er adet küp şeklinde numune hazırlanmıştır. Bölüm 4.2.10'da belirtilen şartlara uygun olarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Aşınma kaybı kalınlık azalması yolu ile hesaplanması tercih edilmiştir. Aşınma kaybı hesaplanırken Eşitlik 4.36'da verilmiş olan formül kullanılmıştır. Deney sonuçları Çizelge 5.18'de verilmiştir.

Numune	Örnek boyutları	Örnek	Koni delici sertlik değeri
no	(mm)	sayısı	(ortalama)
1	12×6×6	2	1,98
2	12×6×6	2	5,93
3	12×6×6	2	5,05
4	12×6×6	2	4,87
5	12×6×6	2	4,77
6	12×6×6	2	3,95
7	12×6×6	2	3,78
8	12×6×6	2	4,47
9	12×6×6	2	4,63
10	12×6×6	2	4,52
11	12×6×6	2	2,93
12	12×6×6	2	4,34
13	12×6×6	2	2,24
14	12×6×6	2	3,93
15	12×6×6	2	5,27
1 TB *	12×6×6	2	1,36
2BB*	12×6×6	2	2,72
3PT*	12×6×6	2	1,19
4BT*	12×6×6	2	1,11

Çizelge 5.15 : Koni delici deney sonuçları.

* Tübitak projesinden alınan doğal taş numuneleri (Çopur ve diğ., 2008).

Numune	Örnek bovutları	Örnek	Darbe mukavemeti (ortalama)
no	(mm)	sayısı	(kgf.cm/cm ³)
1	40×40×40	5	4,4
2	40×40×40	5	20,0
3	40×40×40	5	8,0
4	40×40×40	5	13,0
5	40×40×40	5	12,0
6	40×40×40	5	11,0
7	40×40×40	5	9,0
8	40×40×40	5	14,0
9	40×40×40	5	12,0
10	40×40×40	5	12,0
11	40×40×40	5	19,7
12	40×40×40	5	13,6
13	40×40×40	5	4,0
14	40×40×40	5	20,0
15	40×40×40	5	18,5

Çizelge 5.16 : Darbe mukavemeti deney sonuçları.

Çizelge 5.17 : Darbeli aşınma (Los Angeles) deney sonuçları.

Numune no	Örnek boyut aralığı sınıfı (çizelge 4.2)	Örnek miktarı (g)	Darbeli aşınma (100 devir) (ortalama)	Darbeli aşınma (500 devir) (ortalama)
1		5000	(%)	(%)
1	А	5000	6,44	27,75
2	А	5000	5,85	23,07
3	А	5000	5,93	22,72
4	А	5000	6,98	29,21
5	А	5000	7,08	39,26
6	А	5000	6,43	28,06
7	А	5000	7,29	30,96
8	А	5000	6,69	29,29
9	А	5000	6,57	25,61
10	А	5000	5,59	24,28
11	А	5000	10,86	56,00
12	А	5000	5,20	21,15
13	А	5000	11,70	45,13
14	А	5000	4,78	17,47
15	А	5000	6.75	29,57

	Örnek		Sürtünme ile aşınma
Numune no	boyutları	Örnek şekli	(ortalama)
	(mm)		$(\text{cm}/50\text{cm}^2)$
1	70×70×70	küp	0,88
2	70×70×70	küp	0,46
3	70×70×70	küp	0,54
4	70×70×70	küp	0,53
5	70×70×70	küp	0,73
6	70×70×70	küp	0,34
7	70×70×70	küp	0,62
8	70×70×70	küp	0,51
9	70×70×70	küp	0,37
10	70×70×70	küp	0,48
11	70×70×70	küp	0,87
12	70×70×70	küp	0,53
13	70×70×70	küp	1,83
14	70×70×70	küp	0,84
15	70×70×70	küp	0,59

Çizelge 5.18 : Sürtünme ile aşınma (böhme) deney sonuçları.

5.3 Mineralojik-Petrografik Özelliklerin Belirlenmesi ve Analiz Sonuçları

Çalışmaya konu olan doğal taşların mineralojik-petrografik analizleri kayaçlardan alınan ince kesitlerin polarizan mikroskop altında incelenmesi ile gerçekleştirilmiştir.

Traverten (1 no'lu doğal taş); Kayaç genç oluşum karbonat kayasıdır. Kayaç ince taneli mikritik kireçtaşıdır. Boşluklu dokuya sahiptir. Doku, polarize ışık altında koyu kahve kirli gri renkte izlenmekte, doğal ışıkta ise açık kahverengi - kirli gri renk tonlarında görülmektedir. Düzensiz dağılmış, şekilsiz erime boşlukları içermektedir. Erime boşluklarının kenarları girintili çıkıntılıdır. Erime boşluklarının boyutları 0,05–3,0 mm arasında değişmektedir. Boşlukların büyük bir çoğunluğunun boyutları ise 1 -2 mm arasında değişmektedir. Kirli gri-siyahımsı gri renge sahip kısımlar demirce zengin killi kısımlardır. Mineralojik bileşimi tek düze olup mikrit boyutlu kalsitten oluşmaktadır. Renksiz veya beyaz renkte olan kısmlar erime boşluklarıdır. Kil mineralleri çok küçük boyutludur. Tane boyutu olarak çok ince tanelidir. Mikritik dokuya sahiptir. Çimento türü killi mikritik kalsittir. Mineral bileşiminin % 90'ı mikritik-kriptokristalen boyutlu kalsittir. Killi matriks kısım % 5 civarında, % 7-9'u ise boşluktur. Kayaç traverten olarak tanımlanmıştır.

Bej mermer (2 no'lu doğal taş); Orta boyutlu, ince taneler şeklinde dolomitler mevcuttur. Rekristalize taneli doku göstermektedir. İkincil kristaller, matriksten

farklı olarak daha açık renkli ve iri tanelidir. Matriks içerisindeki kirli gri renkli kısımlar killi kısımlardır. Bazı kısımlarda ince ve orta taneli dolomitlerin çevresi ikincil büyüme sonucu gelişmiş daha iri taneli kalsitlerle çevrilmiştir. Boşluk içermemektedir. Bazı kısımlarda demirce zengin kısımların olmasından dolayı kahverengi-açık kahverengi kısımlar mevcuttur. Bu kısımlar demirli minerallerin ayrışması ile ortaya çıkan şekillerdir. Ortalama tane boyutu 0,08-1 mm arasındadır. Mineralojik bileşimi kalsit+dolomit. Dolomitler eşkenar dörtgen şeklinde ve kalsitlere göre daha koyu renklidirler. Bileşen/mineral içeriği olarak % 70-75 (mikritik) orta taneli (0,8-1 mm arasında) kalsit, % 5-10 ikincil gelişmiş daha iri kristalli romboedrik yarı özşekilli kalsitler ve % 10-15 dolomit içermektedir. Mineral bileşimi kalsit ve dolomit. Çatlak dolgusu olarak kil oluşumları mevcut. İkincil kalsitler romboedrik şekilde yarı özşekilli olarak görülmektedir. Çimento tipi olarak killi mikritik kalsit. Kayaç mikritik kireçtaşı olarak tanımlanmıştır.

Bej mermer (3 no'lu doğal taş); kayaç başlıca mikritik karbonat oluşumludur. Kalsit birincil (esas kayaç yapıcı) mineraldir.Oluşum sırasındaki erime boşluklarında daha iri taneli ikincil büyümeli (rekristalize) romboedr şekilli ikincil kalsit kristalleri gelişmiştir. Bunlar özşekilli – yarı özşekilli kalsit kristalleridir. Koyu gri siyahımsı kahverengi kısımlar kil bakımından zengin olan kısımlardır. Kalsit tane boyutu 0,05-0,1 mm arasında değişmektedir. Erime boşlukları 0,2-0,3 mm'dir. Tane boyutu; inceçok ince taneli. Sıkı dokulu yapıdadır. Geniş çatlak dolgusu ve burada oluşan killi dolgular ve orta iri taneli ikincil kalsitler mevcuttur. Çok nadiren opak taneleri vardır. Bunların boyutları 0,01-0,02 mm arasında değişmektedir. Çatlaklardaki iri tanelerin boyutları ise 0,5-1 mm arasında değişmektedir. Mineral/bileşen olarak, birincil kalsitler % 80 oranında, romboedrik şekilli iri taneli-özşekilli-yarı özşekilli ikincil kalsitler % 20 oranında ve çok az miktarda opak mineral (% 0,1) vardır. Kayaç mikritik kiretaşı olarak tanımlanmıştır.

Bej mermer (4 no'lu doğal taş); Çoğunlukla ikincil büyüme görülür. Killi kısımlar topaklar şeklinde koyu gri renklidir. Boşluklarda ikincil kalsitler yeralmaktadır. Çatlaklarda ve diyajenez sırasında gelişen kırık ve çatlak sistemlerinde daha iri boyutlu ikincil kalsitler gelişmiştir. Bazı kesimlerde koyu siyah renkler opak taneler izlenmektedir. Rekristalize mikritik doku hakimdir. Çok ince çatlak sistemlerinde de demirce zengin solüsyonların oluşturduğu renkli hatlar görülmektedir. Çatlak dolgusu yaygın olarak görülmektedir. Mineral/bileşim olarak % 95-98 mikritik kalsit

(birincil) ($\leq 0,01$ mm), boyutları 0,05-0,5 mm arasında değişen ikincil kalsit mineralleri de (genelde çatlaklarda gelişmiş) az da olsa vardır. Bunlar erime boşluklarında ki çökelmelerde killi kısımların çözelip gitmesi ile bunların yerine (ikincil kalsitler) yerleşmiştir. İkincil kalsitlerin boyutları 0,5 - 0,8mm (% 2-3) arasında değişir. Çok az da olsa tane boyutu 0,5 mm'nin altında olan siyah renkli opak taneler (% 0,5) mevcut. Tane boyutu; çok ince taneli yapıdadır. Çimento tipi olarak killi mikritik kalsit ve mineral içeriği olarak da kalsit (tamamına yakını)'tir. Kayaç mikritik kireçtaşı olarak tanımlanmıştır. Kayaç mikritik kireçtaşı olarak tanımlanmıştır.

Beyaz mermer (5 no'lu doğal taş); yeşil, mavi, pembemsi farklı farklı renklerde ince uzun çubuk şeklinde, farklı kırılma indislerine sahip kristalli dilinimler görülür. Mineral/bileşim olarak, % 95-98 oranında orta-iri taneli kalsit, tane dokanaklarında % 1 - 2 oranında da kil vardır. Çimento tipi ince olarak taneli kriptokristalli kalsit ve kil görülür. Karakteristik özellikleri; tane kenarları girintili dokanak oluşturmaktadır. Çatlak ve kırık yoktur. Kayaç tamamen iri kalsit kristallerinden oluşmaktadır. Kayaç rekristalize kireçtaşı/mermer olarak tanımlanmıştır.

Bej mermer (6 no'lu doğal taş); Boşluksuz yapıda, nadir erime boşlukları vardır. Açık renkli kısımlar rekristalize (ikincil) kalsitler, koyu kahverengi kısımlar mikritik ince taneli kalsitlerdir. Fosilli mikritik kireçtaşı dokusu hakimdir. Mineral/bileşim olarak kalsit ve az miktarda dolomit görülür. Kalsitler; tane boyutu 0,2 - 0,5 mm arasında değişen rekristalize kalsitler (% 55 - 60) ile hem çatlak dolgusu (% 15 - 20) (sinjenetik-eş oluşumlu) hem de çok ince taneli rekristalize kalsitler (% 15 - 20) görülür. Ayrıca % 2 - 5 oranında ve 0,1 - 0,2 mm tane boyutuna sahip kalsitler görülür. Çimento tipi olarak mikritik kalsit görülür. Kayaç fosilli mikritik kireçtaşı olarak tanımlanır.

Renkli mermer (7 no'lu doğal taş); Çok fazla rekristalize olmuştur. Siyah, gri ve açık renklerde görülen kısımların tamamı rekristalize kalsit. Boşluksuz yapıda, tane sınırları girintili çıkıntılıdır. Dokunun yaklaşık % 80 - 85'i rekristalize kalsit, % 20'si ise ince taneli matriksten oluşmaktadır. Mineral/bileşim olarak tane boyutu 0,2 - 0,8 mm arasında değişen % 90 - 92 oranında rekristalize kalsit ile tane boyutu 0,1 - 0,3 mm arasında değişen % 8 - 10 oranında rekristalize dolomit vardır. Çimento tipi olarak, bazı yerlerde taneler keskin dokanak oluşturmakta, bazı yerlerde ise tanelerin dokanaklarında killi mikritik kısımlar (matriks) görülür. Matriks içerisinde kil vardır,

kirli kahverengi kısımlar killi kısımlardır. Karakteristik özellikleri, mikrit bakımından zengin ve mikrit içerisinde ince tanelerin yaygın olduğu zonlar mevcut. Kayaç kristalli kireçtaşı olarak tanımlanmıştır. Taneler kirli gri, sarımsı gri renklerde, dolomitler ise eşkenar dörtgen şekilli, rekristalize kalsitlerden daha ince tanelidir. Ayrıca demir ayrışması sonucu oluşmuş kahverengi lekelerde görülür.

Bej mermer (8 no'lu doğal taş); özşekilli tane yoktur. Mikritik kısımlar kahverengi, kirli gri renklerdedir. Rekristalize kısımlar ise daha açık renkli ve daha iri boyutludur. Mikritik doku hakimdir. Mineral/bileşim olarak tane boyutu 0,5 - 1,5 mm (iri taneli) arasında değişen rekristalize kalsitler % 90 - 95 oranındadır. Kalsitler; rekristalize (mikritik+iri taneli kalsit olmak üzere % 60) ve matriks içerisinde çatlak dolgusu olan ikincil kalsitler (% 40 oranında 0,03 - 0,05 mm tane boyutuna sahip) olmak üzere iki türlü görülmektedir. Ayrıca az miktarda da olsa erime boşlukları vardır (% 1 - 2). Kayaç mikritik fosilli kireçtaşı olarak tanımlanmıştır.

Bej mermer (9 no'lu doğal taş); Boşluksuz yapıdadır. Koyu kahverengi kısımlar mikrit, açık renkli, uzun damar şeklinde kısımlar ise rekristalize ikincil kalsitler. Sıkı dokulu, kalsit damar dolgulu yer yer rekristalize doku. Mineral içeriği olarak tamamına yakını kalsit. Çimento tipi olarak mikrit çok sıkı çimentolu. Mineral/bileşim olarak % 80 - 85 oranında tane boyutu 1 mm civarında ile 0,01 - 0,02 mm civarında olan ince mikritik kalsitler ve mikrit içerisnde küresel şekilli 0,2 - 0,3 mm boyutlarında % 10 - 15 oranında ikincil rekristalize kalsit oluşumları vardır. Bazı çatlaklarda kahverengi demir sıvamaları da görülür. Kayaç mikritik kireçtaşı olarak tanımlanmıştır.

Bej mermer (10 no'lu doğal taş); ikincil ve rekristalize kalsitler oldukça fazla ve tane boyutları iri. Bunlar polarize ışıkta açık kahcerengi tonlarda görülmektedir. Koyu gri kahverengi olanlar matriks veya mikritik kısımlar. Doku olarak, çatlak ve ince fisürler az, mikritik masif doku hakim. Mineral/bileşim olarak % 95 - 98 oranında tamamına yakını kalsit; bunların ikincil olanları iri (1 - 1,5 mm tane boyutuna sahip), orta taneler ise 0,3-0,5 mm tane boyutlarına sahiptir. Ayrıca % 4 - 5 oranında killi demirli kısımlarda vardır. Karakteristik özellikleri kayaç içerisinde testere ağzı şeklinde ve kesit alanı boyunca devam eden çatlaklar yeşilimsi killi kahverengi malzemelerle doludur. Kayaç mikritik kireçtaşı olarak tanımlanır. *Beyaz mermer (11 no'lu doğal taş)*; tamamı kristallidir. Şeker dokulu kalsit mineralleri görülür. Şeker doku silisce sengin bir ortamda gelişmiş olduğunu gösterir. Tane dokanakları sıkı kenetlenmiştir. Doku, genelde girintili çıkıntılı bazende düz keskin kenarlı dokanaklıdır. 0,01 - 0,03 mm tane boyutlarında serpiştirilmiş şekilde bazen dokanaklarda bazen de kalsit taneleri içerisiinde yer alan kuvars taneleri görülür. Kuvars taneleri doğal ışık altında renksiz, polarizan ışık altında sarımsı gri, mor-mavi renklerde görülmektedirler. Mineral/bileşim olarak kalsit (% 95 - 98), az miktarda kuvars taneleri (% 2 - 3) ve çok az miktarda opak mineral (% 0,2 - 0,4) içerir. Kalsit tane boyutu 1,5 - 2 mm arasındadır. Karakteristik özelliği, kalsit kristallerinin çoğunluğu ikizli lamellere sahip baklava dilinimi şeklindedir. Bazı kalsit tanelerinde ve biraz da tane dokanaklarında opak taneler-parçacıklar görülür. Kayaç kristalli (rekristalize) kireçtaşı olarak tanımlanmıştır.

Siyah mermer (12 no'lu doğal taş); Fosil içermektedir. Kuvars oluşumları mevcuttur. Beyaz kısımlar ikincil kristallenmeler, kahverengi kısımlar mikritik kısımlar, uzun dalga gibi olan kısımlar ikincil çatlak dolgusu. Rekristalize kalsit çokça görülmektedir. Bazı damar dolgularında rekristalize kalsit bazen ince bazen orta taneli olarak gelişmiştir. Çatlaklarda demir sıvaması var. Opak mineral çok az da olsa (% 0,1 - 0,2) mevcut. Yarı mikritik doku hakimdir. Mikrit oluşurken ince kristallerde oluşmuş olduğundan yarı mikritik doku sözkonusudur. Miineral/bileşim olarak % 98 oranında kalsit (birincil olarak mikritler, ikincil olarak daha iri rekristalize kalsitler), % 0,3 - 0,5 oranında tane boyutu 0,01 - 0,03 mm arasında değişen kuvars tanelerinin yanı sıra % 0,1 - 0,2 oranında muskovit ve % 0,1 - 0,2 oranında da opak mineraller görülür. Karakteristik özellik olarak parçalı opak taneler içermektedir. Birincil mikritik kalsitler kahverengi renklerde, ikincil daha iri boyutlu olan kalsitler ise açık sarımsı, gri renk tonlarında görülür. Kayaç yarı mikritik kireçtaşı olarak tanımlanmıştır.

Kireçtaşı (13 no'lu doğal taş); çok ince taneli mikritik kireçtaşıdır. Boşluklu yapıya sahiptir (% 10 - 15 oranında). Boşlukların boyutları 0,5 - 3 mm arasında değişmektedir. Boşluk dışındaki kısımların tamamına yakını kalsittir. Mikritik doku hakimdir. Mineral bileşimi olarak kalsitler, % 5 - 10 oranında tane boyutu 0,5 - 0,8 mm arasında değişen rekristalize kalsitler ve % 85 - 90 oranında tane boyutu 0,01 mm altında olan mikritik kalsitler şeklinde görülür. Karakteristik özelliği, boşluklu mikritik kireçtaşı olmasının yanısıra, ikincil rekristalize kalsitlerin tane şekilleri

dikdörtgene yakın rengi de koyu gri, killi taneler içermektedir. Kayaç mikritik kireçtaşı olarak tanımlanmıştır.

Yeşil mermer (14 no'lu doğal taş); şeker dokulu ince ve orta taneli mermerleşmiş kireçtaşıdır. Şeker dokulu tanelerin boyutları birbirine çok yakındır. Birincil ve ikincil kristaller yan yana içiçe gelişmiştir. Opak taneler içermektedir. Taneler birbirine kenetlenmiş boşluksuz yapıda tümü kristallidir. Mineral/bileşim olarak % 95 oranında tane boyutu 0,1 - 0,2 mm arasında değişen kalsit minerallerinin yanısıra, opak taneler az miktarda % 0,5 - 1 oranında ancak iri taneler (tane boyutu 1 - 1,5 mm arasına) şeklinde görülmektedir. Opak taneler hekzagonal yarı özşekillidir. Romboedrik ikincil kalsit minerallerinin (% 3 - 5) ortalama tane boyutu 0,8 - 1 mm arasında değişir. Kahverengi renkte görülen kısımlar matriksi oluşturan killi kısımlardır ve çok ince tanelidirler. Kayaç kristalli kireçtaşı olarak tanımlanmıştır.

Kireçtaşı (15 no'lu doğal taş); tamamına yakını çok ince taneli yarı mikritik karbonat oluşumludur. Kalsit mineralleri ağırlıklıdır. Bunların bazıları mikritik, bazılarıda rekristalizedir. Boşluklar vardır. Bunların boyutları 0,1 - 0,2 mm arasındadır. Mineral/bileşim olarak % 90 - 95 oranında kalsit minerali içerirken, % 5 - 10 oranında da boşluklar içermektedir. Kayaç yarı mikritik kireçtaşı olarak tanımlanmıştır.

Beyaz mermer (1TB no'lu doğal taş); Kayaç tümüyle iri kalsit kristallerinden oluşur. Taneler romboedrik dilinim ve ikiz düzlemli olup, düzgün kenarlı, genelde temiz-saf görünümlüdür ve aralarındaki aderans oldukça iyi durumdadır. Bazı tanelerin dilinim ve ikiz düzlemlerinde ince çizgiler halinde kirli bir görünüm ortaya çıkmıştır. Bu muhtemel demiroksit-kil boyutlu materyal kusulması-birikmesi neticesindendir. Ancak bu oluşumlar kayacın genelinde bir alterasyon şiddetinde değildir. Mineral/bileşim olarak kalsitler % 99 - 100 oranındagenelde 0,5 - 2,0 mm tane iriliklerinde, çoğunlukla ise 0,5 mm civarı boyutlardadır. Kayaç % 0,5'den az opak mineral içerir. Kayaç rekristalize kristalli kireçtaşı / mermer olarak tanımlanmıştır.

Bej mermer (2BB no'lu doğal taş); Kayaç başlıca mikritik / kriptokristalen karbonat oluşumludur. Bunları kesen çatlakların iç dolguları olacak şekilde ise ikincil / mikrokristalen kalsitler de ayrıca bulunur. Mikritik, çamur-jel görünümlü kalsitler 0.1 mm' nin oldukça altı boyutlardadır. Bunların kayaç içerisindeki oranı % 90'nın üzerindedir. Bu ana dokuyu kesen ikincil gelişmiş çatlaklar genelde 0,1 - 0,3 mm

arası kalınlıklardadır ve içlerindeki ikincil, mikro kalsitler ise 0,1 - 0,2 mm civarı tane boyutlarındadır. Bu ikincil kalsitlerin, diğer ifade ile çatlakların oranı % 7 - 8 gibidir. Kayaç % 0,5 civarı opak mineral içerir. Kayaç; mikritik kireçtaşı olarak tanımlanmıştır.

Traverten (3PT no'lu doğal taş); Kayaç genç oluşum karbonat kayasıdır. % 7 - 8 oranında boşluk içerir. Boşluklar çevresinde ve boşlukların içlerinde-cidarlarında çok daha iri boyutlara ulaşabilmiş karbonat mineralleri bulunur. Bu iri oluşumların haricinde diğer zonlarda ise jel görünümlü çok ince-kriptokristalen tane boyutlu karbonat bulunur ve ayrıca ara boyutlarda geçiş zonları da bulunur. Özetle, tane boyutu açısından homojenlik yoktur. İri kalsit oluşumları bazen tüm boşluğu doldurmuşlardır ve bu nedenle boşlukların oranı düşmüştür. Bu tür iri kalsitlerin oranı % 35 gibidir. Taneler genelde 0,5 mm civarındadır Bunun altı boyutlar ve 1 mm'ye varan boyutlar mineraller de bulunur. Jel karbonat (mikritik kalsitler) % 50 oranındadır ve taneler 0,1 mm altı boyutlardadır. Yukarıda belirtildiği gibi kayaç genelinde daha farklı (iki uç arasında) boyutlu geçişler de bulunur. Kayaç % 0,5'den az opak mineral içerir. Kayaç traverten olarak tanımlanmıştır.

Traverten (4BT no'lu doğal taş); Kayaç genç oluşum karbonat kayasıdır. % 16 - 18 oranında boşluk içerir. Boşluklar çevresinde ve boşlukların içlerinde-cidarlarında çok daha iri boyutlara ulaşabilmiş karbonat mineralleri bulunur. Bunlar PT kodlu (Portsan Traverten) örnekte olduğu gibi fazla iri değillerdir ve o örnekteki bolluğa da ulaşamamışlardır, boşlukları dolduramamışlardır. Yaklaşık % 7 - 8 oranındadırlar. Jel karbonat (mikritik kalsitler) yaklaşık % 75 oranındadır ve taneleri ise 0,1 mm altı boyutlardadır. Kayaç % 3 gibi bir oranda opaklaşma derecesinde olabilen, yeşil, kahve renk tonlarında (tek nikolde), muhtemel demiroksitli-kil boyutlu oluşumlar içerir. Bunlar genellikle boşluk kenarlarındadır. Kayaç traverten olarak tanımlanmıştır.

5.4 Doku Katsayısı Değerlerinin Belirlenmesi

Çalışmaya konu olan doğal taş numunelerinin dokusal özelliklerinin belirlenmesinde bilgisayar ortamında kullanılan görüntü işleme ve analiz sistemi kullanılmıştır. Görüntü işleme ve analiz sistemi Nasuf ve Öztürk (2005) tarafından hazırlanmış olan Tübitak projesi kapsamında kurulmuştur. Kayaç dokusal özelliklerinin sayısallaştırılmasında Bölüm 3.3'te ayrıntılı olarak bahsedilen Howarth ve Rowlands (1986) tarafından ortaya atılmış olan doku katsayısı (TC) kavramından yararlanılmıştır. Bölüm 3.3'de de bahsedildiği gibi kayaçların doku katsayısının (dokusal özelliklerinin sayısallaştırılması) belirlenebilmesi için ilk olarak kayaçlardan alınan ince kesitlerin mikroskop görüntülerinin fotoğraflanarak bilgisayar ortamına aktarılması ardından da kayaç dokusunu meydana getiren tanelerin her birinin, uzunluğu, genişliği, çevresi, alanı ve açılarının görüntü işleme ve analiz programı kullanılarak belirlenmesi gerekmektedir. Elde edilen bu beş veri, Eşitlik 3.1'de belirtilmiş olan diğer parametrelerin de başka bir bilgisayar programından (Microsoft Excel 2007) faydalanılarak hesaplanması sonucu doku katsayısı (TC) değeri belirlenebilmektedir. Her bir kayaca ait 10 adet fotoğraf üzerinden hesaplanan TC değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak her bir kayaç türüne ait nihai TC değeri belirlenir. Çalışmada kullanılan görüntü işleme ve analiz sistemini meydana getiren bilgisayar yazılımı ve donanımların ayrıntılı teknik özellikleri Çizelge 5.19'da verilmiştir.

Çizelge 5.19'da belirtilen özelliklere sahip olması nedeniyle Leica Qwin isimli bilgisayar yazılımı Nasuf ve Öztürk (2005) tarafından yapılan Tübitak projesi kapmasında alınarak görüntü işleme ve analiz sistemi kurulmuştur.

Özellikler	Açıklamalar
Donanım	Windows ortamında çalışabilecek ve mikroskoptan gelen görüntüyü uygun cözünürlükte alabilecek standart
	özellikte olacak
Grafik	Bit-map, JPEG, TIFF, GIF vb. genel olarak kullanılabilen
	grafik formatlarını kabul edebilecek
	Macro programlamasına uygun olacak. Analiz
Programlama ve	sonuçlarının istatistiksel ve matematiksel olarak
sonuçların sunumu	işlenmesini sağlayacak çeşitli fonksiyonları içerisinde
	barındıracak. Sonuçları histogram olarak ifade edebilecek
Diğer programlar	Alınmış olan grafiksel ve sayısal sonuçlar windows
ile iletisim	ortamında çalışan diğer programlarla da kullanılabilir
ne neuşim	formatta olacak
	Tane feret çapları, tane alanı, matriks alanı, tane yönelimi,
	doğrultusu, tane yuvarlaklık faktörü, tane alanının toplam
Ölçüm özellikleri	alana oranı (gerek tane gerekse benzer tanelerin toplam
	alanı olarak) gibi parametreleri otomatik olarak
	ölçebilecek
Arsivleme	Yapılmış olan çalışmalara aitbilgileri database
Aişivicilic	oluşturacak şekilde arşivleyebilecek.

Çizelge 5.19 : Kayaç dokusunun sayısallaştırılmasında kullanılacak görüntü işleme ve analiz sisteminin özellikleri (Öztürk, 2006).

Nasuf ve Öztürk (2005) tarafından kurulan görüntü işleme ve analiz sistemi sayesinde kayaç dokusal özelliklerini sayısallaştırmak ve doku katsayısını hesaplamak mümkün olmuştur. Görüntünün işlenmesinde seçilen referans alanı (penceresi) içerisinde en az 20 veya 30 tane sayılması Howarth ve Rowlands (1986) tarafından önerilmiştir. Fakat referans alanın (gözlem penceresinin) ve tanelerin büyüklüğüne bağlı olarak bu sayı biraz daha az olabilmektedir (Öztürk, 2006).

İnce kesit fotoğrafi üzerinde bilgisayar ortamında Leica Qwin isimli bilgisayar programı ile gerçekleştirilen örnek bir görüntü işlemesine ait bir örnek Şekil 5.1'de verilmiştir.

Bu görüntünün işlenmesi ile elde edilen verilerin analiz sonucu yine bu görüntüye ait olan doku katsayısı (TC) değerinin belirlenmesi ile ilgili ayrıntılı bilgiler ve yapılan işlemler Çizelge 5.20, 5.21 ve 5.22 eşliğinde bahsedilmiştir.



Şekil 5.1 : a) İşlenmemiş ince kesit görüntüsü, b) Leica Qwin programı ile tanelerin belirlenmesi (işlenmesi) sonucu elde edilen görüntü.

İnce kesitin mikroskop altındaki görüntüsü (Şekil 5.1a) Leica Qwin isimli görüntü işleme ve analiz bilgisayar programı vasıtasıyla taneler işaretlenerek işlenir (Şekil 5.1b) ve analiz edilir. Tanelerin program kullanılarak belirlenmesinin (işaretlenmesinin) ardından yine programın çalıştırılması sonucu daha önce Bölüm 3.3'te bahsedilen beş parametreye ait (tanelere ait geometrik özellikler) veriler elde edilir (Çizelge 5.20).

Çizelge 5.20'de de verilmiş olan geometrik parametrelerin elde edilmesinin ardından eşitlik 3.1 ve bu eşitlikle bağlantılı diğer eşitliklerinde (Bölüm 3.3) kullanılması sonucu doku katsayısı (TC) değeri hesaplanır. Çizelge 5.21'de hesaplama sonucu bulunan görünüm oranı (AR) ve şekil faktörü (FF) değerleri verilmiştir. Bu veriler kullanılarak Çizelge 5.22'de verilmiş olan parametrelerde hesaplanarak TC formülü için gerekli olan bütün parametreler belirlenmiş olur. Bulunan bu değerler Eşitlik
3.1'de yerine konularak doku katsayısı (TC) değeri belirlenir. Bu işlem sırası her bir kesitten elde edilen bütün görüntülere uygulanarak TC değerleri hesaplanır ve nihai TC değeri hesaplanan TC değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak elde edilir.

No	Alan (μ m ²)	Çevre (µm)	Uzunluk (µm)	Genişlik (µm)	Açı (°)
1	4774,04	346,45	135,3	77,9	135
2	1638,975	469,45	217,3	18,45	22,5
3	18024,521	692,9	293,15	86,1	0
4	24933,432	965,55	416,15	110,7	0
5	298,377	155,8	69,7	8,2	22,5
6	1718,822	692,9	321,85	12,3	22,5
7	20264,453	643,7	231,65	133,25	135
8	1512,9	520,7	241,9	18,45	22,5
9	11388,774	547,35	219,35	96,35	45
10	41642,57	2226,3	422,3	180,4	22,5
11	19096,158	723,65	258,3	147,6	112,5
12	1315,382	145,55	51,25	36,9	45
13	40331,391	1088,55	412,05	143,5	157,5
14	34700,039	998,35	284,95	227,55	135
15	16280,484	555,55	178,35	133,25	45
16	15797,196	795,4	250,1	96,35	90
17	29551,979	1035,25	321,85	215,25	135
18	84356,781	1316,1	461,25	276,75	0
19	68345,258	1492,4	479,7	254,2	67,5
20	25164,568	701,1	270,6	125,05	45
21	9758,204	563,75	235,75	69,7	22,5
22	17373,135	586,3	182,45	155,8	135
23	1853,302	190,65	63,55	43,05	45
24	17331,109	637,55	223,45	106,6	0
25	11556,874	553,5	182,45	114,8	67,5
26	62587,828	1080,35	369	282,9	45
27	9325,347	428,45	161,95	90,2	0
28	12897,472	594,5	227,55	123	90
29	2845,092	436,65	205	24,6	135
30	5980,157	459,2	200,9	43,05	135
31	1912,137	389,5	182,45	22,55	135
32	6303,75	407,95	157,85	73,8	45
33	61911,227	1666,65	535,05	284,95	0
34	16061,954	586,3	200,9	137,35	0
35	41155,082	846,65	280,85	219,35	45
36	916,145	131,2	49,2	24,6	67,5
37	18772,566	547,35	198,85	129,15	0
38	10989,537	444,85	147,6	102,5	67,5
39	194727,031	2404,65	828,2	358,75	0
40	40566,73	842,55	299,3	184,5	157,5
41	36582,762	1039,35	364,9	215,25	45
Т	oplam Referan	s Alanı (µm ²)	1150000		

Çizelge 5.20 : İnce kesit görüntüsünde seçilen referans alanı içerisinde yer alan tanelere ait geometrik parametreler.

No	Görünüm oranı (AR)	Şekil Faktörü (FF)	Parametreler	Sonuçlar
1	1,737	0,499821	AR_1	6,110333
2	11,778	11,778	FF ₀	0,574112
3	3,405	3,405	N ₀	23
4	3,759	3,759	N ₁	18
5	8,5	8,5	AW	0,90656
6	26,167	26,167	<u>.</u>	
7	1,738	0,614579		
8	13,111	13,111		
9	2,277	2,277		
10	2,341	2,341		
11	1,75	0,458246		
12	1,389	0,780256		
13	2,871	2,871		
14	1,252	0,437496		
15	1,338	0,662874		
16	2,596	2,596		
17	1,495	0,346502		
18	1,667	0,612001		
19	1,887	0,38561		
20	2,164	2,164		
21	3,382	3,382		
22	1,171	0,635109		
23	1,476	0,640741		
24	2,096	2,096		
25	1,589	0,47404		
26	1,304	0,673862		
27	1,795	0,638373		
28	1,85	0,458575		
29	8,333	8,333		
30	4,667	4,667		
31	8,091	8,091		
32	2,139	2,139		
33	1,878	0,280085		
34	1,463	0,587176		
35	1,28	0,721482		
36	2	0,668816		
37	1,54	0,787414		
38	1,44	0,69785		
39	2,309	2,309		
40	1,622	0,718106		
41	1,695	0,425562		

Çizelge 5.21 : TC'nin hesaplanmasında gerekli olan parametrelerin elde edilişi.

Açı	$ \theta_{LA} - \theta_{LB} $	θ-180°	Ağırlıklar	Ağırlık	Toplam	AF_1
	Tek açı	Dar açı	(Çizelge	Katsayısı /	Ağırlık	
	farklarının	hesabı	3.4)	[N1(N1-1)/2]		
	mutlak					
	değ.					
22,5	22,50	22,50	2,25	0,014705882	3,77	0,76
0	22,50	22,50	2,25	0,014705882		
0	0,00	0,00	0	0		
22,5	0,00	0,00	0	0		
22,5	0,00	0,00	0	0		
22,5	22,50	22,50	2,25	0,014705882		
45	0,00	0,00	0	0		
22,5	135,00	45,00	4,5	0,029411765		
157,5	67,50	67,50	6,75	0,044117647		
90	22,50	22,50	2,25	0,014705882		
45	0,00	0,00	0	0		
22,5	22,50	22,50	2,25	0,014705882		
0	112,50	67,50	6,75	0,044117647		
135	112,50	67,50	6,75	0,044117647		
135	112,50	67,50	6,75	0,044117647		
135	22,50	22,50	2,25	0,014705882		
45	22,50	22,50	2,25	0,014705882		
0	0,00	0,00	0	0		
	22,50	22,50	2,25	0,014705882		
	22,50	22,50	2,25	0,014705882		
	22,50	22,50	2,25	0,014705882		
	45,00	45,00	4,5	0,029411765		
	22,50	22,50	2,25	0,014705882		
	157,50	22,50	2,25	0,014705882		
	90,00	90,00	9	0,058823529		
	45,00	45,00	4,5	0,029411765		
	22,50	22,50	2,25	0,014705882		
	0,00	0,00	0	0		
	135,00	45,00	4,5	0,029411765		
	135,00	45,00	4,5	0,029411765		
	135,00	45,00	4,5	0,029411765		
	45,00	45,00	4,5	0,029411765		
	0,00	0,00	0	0		
	22,50	22,50	2,25	0,014705882		
	22,50	22,50	2,25	0,014705882		
	22,50	22,50	2,25	0,014705882		
	45,00	45,00	4,5	0,029411765		
	22,50	22,50	2,25	0,014705882		
	157,50	22,50	2,25	0,014705882		
	90,00	90,00	9	0,058823529		
	45,00	45,00	4,5	0,029411765		
	22,50	22,50	2,25	0,014705882		
	0,00	0,00	0	0		

Çizelge 5.22 : Açı faktörü (AF₁) değerinin hesaplanması (temsili).

Toplam 19 doğal taş numunesinin ince kesitlerinden elde edilen yaklaşık 150 görüntünün işlenmesi ve analizi sonucu doku katsayısı (TC) değerleri elde edilmiştir. Elde edilen TC değerlerinin ortalaması Çizelge 5.23'te ve Şekil 5.2'de grafiksel olarak verilmiştir.

Numune No	Doğal Taş	Doku Katsayısı (TC)
1	Traverten	0,55
2	Bej mermer	1,30
3	Bej mermer	0,94
4	Bej mermer	1,09
5	Beyaz mermer	1,50
6	Bej mermer	0,62
7	renkli mermer	1,18
8	Bej mermer	1,38
9	Bej mermer	0,71
10	Bej mermer	1,22
11	Beyaz mermer	1,84
12	Siyah mermer	0,32
13	Kireçtaşı	0,24
14	Yeşil mermer	0,74
15	Kireçtaşı	0,23
1TB*	Beyaz mermer	2,36
2BB*	Bej mermer	0,63
3PT*	Traverten	0,76
4BT*	Traverten	0,81

Çizelge 5.23 : Çalışmada kullanılan doğal taşların doku katsayıları.

* Tübitak projesinden alınan doğal taş numuneleri (Çopur ve diğ., 2008)



Şekil 5.2 : Çalışmada kullanılan doğal taşların doku katsayısı değerlerinin grafiksel görünümü.

Görüldüğü gibi, Türkiye'nin çeşitli yerlerine ait (Şekil 1.1), toplam 19 çeşit doğal taş numunesinden yaklaşık 300 adet karot örnek, 100'e yakın kübik örnek ve çeşitli boyutlarda parça şeklinde örnekler üzerinde 9'u fiziksel, 10'u mekanik özelliği olmak üzere 19 farklı parametrenin verileri yapılan deneylerle belirlenmiştir. Bunun yanı sıra bu doğal taş numunelerinden alınan ince kesitler üzerinde dokusal özellikler araştırılmış, bu yapılırken yaklaşık 100 civarında görüntünün analizi gerçekleştirilmiş ve TC (doku katsayısı) değerleri belirlenmiştir.

Bir sonraki bölümde, Bölüm 5'de bahsedilen çeşitli deneyler ve analizler sonucu elde edilmiş olan fiziksel ve mekanik özellikler ile dokusal özellikler arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

6. BAZI DOĞAL TAŞLARIN DOKUSAL ÖZELLİKLERİ İLE FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN İNCELENMESİ

Dokusal özellikleri ile fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkinin incelenebilmesi için gerekli veriler Türkiye'nin çeşitli bölgelerine ait doğal taş numuneleri üzerinde gerçekleştirilen deneyler ve analizler sonucunda elde edilmiştir. Bu veriler Çizelge 6.1 ve 6.2'de özetlenmiştir. Çalışmada yapılan deneyler ve araştırmalar sonucunda doğal taşların doku katsayıları ile fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkileri irdelemek için istatiksel olarak incelemeler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak incelenen parametreler arasındaki en uygun ilişkiler belirlenmiştir.

6.1 İstatistiksel Yöntem Kullanılarak Dokusal Özellikler ile Fiziksel ve Mekanik Özellikler Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi

Calışmada kullanılan bazı doğal taşların doku katsayıları ile fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki iliskiler en yüksek korelasyon katsayısı (R²) değerinden elde edilmiştir. Üzerinde çalışılmış olan 19 adet doğal taş numunesinin tümü için doku özellikleri ile fiziksel ve mekanik özellikler arasındaki ilişkiler incelenmiş anlamlı ilişkiler elde edilememiş ve mineralojik/petrografik analizler sonucu kayaç türlerinin tanımlamaları üzerinden (doku, mineral içeriği vs gibi özellikleri kapsayan) doğal taş türleri gruplama yoluyla sınıflandırılarak değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan doğal taş türleri 3 farklı gruba ayrılmış ve her bir grup için ilişkiler ayrı ayrı ele alınmıştır. Bu gruplar Çizelge 6.3'de verilmiştir. Bazı doğal taşlara ait doku özellikleri ile fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkilerin incelenmesi lineer ve logaritmik regresyon analizleri ile gerçekleştirilmiştir. Kayaç tanımına göre belirlenen gruplar ayrı ayrı başlıklar altında ele alınmıştır. Regresyon analizleri sacılma divagramlarından elde edilmiştir. R^2 değerinin yüksek olması ilişkinin (korelasyon) yüksek olduğuna işaret ederken, R² değerinin düşük olması ise bu inceleme ile bir ilişkinin ortaya konulamadığına işaret etmektedir. Bu çalışma ile TC (doku kasayısı) parametresi ile diğer parametrelerin (fiziksel ve mekanik özellikler) nasıl bir ilişkisinin olduğu ortaya çıkarılmıştır.

	Numune No																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	1TB	2BB	3PT	4BT
ρ (g/cm ³)	2,23	2,73	2,66	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,69	2,68	2,71	2,68	2,22	2,74	2,61	2,70	2,69	2,44	1,84
$\gamma (kN/m^3)$	21,92	26,76	26,13	26,45	26,33	26,47	26,68	26,48	26,42	26,25	26,56	26,46	21,73	26,94	25,60	26,49	26,39	23,94	18,05
d_h (g/cm ³)	2,24	2,72	2,68	2,70	2,69	2,70	2,71	2,70	2,69	2,68	2,71	2,69	2,22	2,74	2,61	-	-	-	-
w (%)	0,23	0,05	0,03	0,03	0,02	0,04	0,05	0,03	0,06	0,05	0,05	0,09	0,15	0,06	0,23	-	-	-	-
S_h (%)	6,59	1,32	0,40	0,31	0,25	0,35	2,02	0,31	0,34	0,36	0,28	0,44	11,69	0,62	4,80	-	-	-	-
S_k (%)	2,95	0,48	0,15	0,12	0,09	0,13	0,74	0,11	0,13	0,13	0,10	0,16	5,28	0,22	1,84	-	-	-	-
$d_{\rm o}$ (g/cm ³)	2,36	2,73	2,70	2,72	2,71	2,71	2,75	2,74	2,70	2,71	2,72	2,72	2,67	2,76	2,79	-	-	-	-
P_g (%)	6,60	1,32	0,40	0,32	0,25	0,35	2,01	0,30	0,34	0,35	0,28	0,44	11,71	0,61	4,80	-	-	-	-
k (%)	94,92	99,63	99,26	99,26	99,26	99,63	98,55	98,54	99,63	98,89	99,63	99,63	83,15	99,28	93,55	-	-	-	-
P (%)	5,08	0,37	0,74	0,74	0,74	0,37	1,45	1,46	0,37	1,11	0,37	0,37	16,85	0,72	6,45	-	-	-	-
V_p (km/sn)	2,79	4,57	4,66	4,58	6,11	6,42	5,37	5,86	4,49	5,48	3,94	5,86	3,39	4,37	5,18	10,13	7,55	-	4,76
V_s (km/sn)	1,54	3,06	3,12	2,91	3,18	3,16	3,00	3,17	2,92	2,92	2,80	3,02	2,21	2,86	2,76	4,38	3,35	-	2,46
E_{dyn} (GPa)	13,32	55,44	56,94	53,16	68,56	71,78	62,28	68,15	51,96	57,28	37,65	61,22	24,22	50,06	51,71	143,00	82,80	-	44,40

Çizelge 6.1 : Çalışmada kullanılan doğal taşların fiziksel özellikleri.

	Numune No																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	1TB	2BB	3PT	4BT
σ_c (MPa)	20,0	171,1	140,0	120,8	81,4	85,8	92,0	139,2	100,8	132,5	57,7	138,4	43,0	99,5	163,5	35,8	83,7	36,7	12,7
σ_t (MPa)	5,01	7,23	5,77	5,10	4,76	5,34	6,49	5,77	5,04	4,91	3,95	3,05	2,44	8,20	9,39	5,03	8,50	6,76	3,54
E_{sta} (GPa)	16,07	35,43	33,99	32,31	26,69	28,66	29,42	40,58	28,15	34,20	23,84	34,07	24,11	32,50	27,31	12,21	17,17	-	0,593
$I_{s(50)}$ (MPa)	4,83	7,87	4,93	5,60	6,40	4,66	5,74	5,48	4,61	5,80	3,34	3,78	2,30	6,87	9,41	-	-	-	1,86
Ν	47,2	63,45	60,6	63,5	55,8	58,1	66,35	62,20	59,75	62,20	53,95	61,05	36,25	54,90	55,00	54,2	70	24,8	24,80
SH	34,52	62,90	59,37	62,75	45,45	64,08	53,53	60,10	61,48	59,72	46,87	62,17	20,87	44,53	47,38	55,40	59,90	48,70	12,65
<i>I</i> _m	1,98	5,93	5,05	4,87	4,77	3,95	3,78	4,47	4,63	4,52	2,93	4,34	2,24	3,93	5,27	1,36	2,72	1,19	1,11
D (kgf.cm/cm ³)	4,4	20,0	8,0	13,0	12,0	11,0	9,0	14,0	12,0	12,0	19,7	13,6	4,0	20,0	18,5	-	-	-	-
K ₁₀₀ (%)	6,44	5,85	5,93	6,98	7,08	6,43	7,29	6,69	6,57	5,59	10,86	5,20	11,70	4,78	6,75	-	-	-	-
K ₅₀₀ (%)	27,75	23,07	22,72	29,21	39,26	28,06	30,96	29,29	25,61	24,28	56,00	21,15	45,13	17,47	29,57	-	-	-	-
d (cm/50cm ²)	0,88	0,46	0,54	0,53	0,73	0,34	0,62	0,51	0,37	0,48	0,87	0,53	1,83	0,84	0,59	-	-	-	-

Çizelge 6.2 : Çalışmada kullanılan doğal taşların mekanik özellikleri.

Sınıflama adı	Doğal taş	Kayaç tanımı
	numune no	(mineralojik/petrografik tanım)
I. Grup	2, 3, 4, 6, 8, 9, 10, 13,	mikritik kireçtaşı, fosilli mikritik
	2BB	kireçtaşı
II. Grup	5, 7, 11, 12, 14, 15,	kristalli kireçtaşı, rekristalize kristalli
	1TB	kireçtaşı, yarı mikritik kireçtaşı
III. Grup	1, 3PT, 4BT	traverten

Çizelge 6.3 : Çalışmada kullanılan doğal taşların mineralojik/petrografik kayaç tanımına göre sınıflandırılması.

6.1.1 Birinci (I) grup doğal taşların dokusal özellikleri ile fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler

Yapılan çalışmalar sonucunda I. Grup (Çizelge 6.1) doğal taş numunelerinin dokusal özellikleri (doku katsayısı; TC) ile fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler istatistiksel esaslara göre incelenmiş ve sonuçlar Çizelge 6.4'te korelasyonların belirlenebilmesi için üretilen saçılma diyagramları ise Şekil 6.1'de verilmiştir.

Eizilaal va Makanik Özellikler	Korela	syonlar
Fiziksei ve Mekanik Özeilikler –	Lineer	Logaritmik
Yoğunluk	0,46	0,71
Birim hacim ağırlık	0,45	0,70
Hacim kütlesi (görünür yoğunluk)	0,55	0,77
Su içeriği	0,51	0,73
Hacimce su emme	0,49	0,73
Kütlece su emme	0,50	0,74
Özgül kütle (gerçek yoğunluk)	0,80	0,79
Görünen porozite (açık gözeneklilik)	0,49	0,73
Doluluk oranı	0,48	0,72
Porozite (toplam porozite)	0,48	0,72
P dalga hızı	0,01	0,06
S dalga hızı	0,23	0,42
Dinamik elastisite modülü	0,10	0,23
Tek eksenli basınç dayanımı	0,86	0,86
Brazilian çekme dayanımı	0,14	0,26
Statik elastisite modülü	0,67	0,47
Nokta yük dayanımı	0,74	0,76
Schmidt çekiç sertliği	0,33	0,57
Shore sertliği	0,40	0,66
Koni delici sertliği	0,62	0,71
Darbe mukavemeti	0,40	0,61
Los Angeles Darbeli Aşınma (100 devir)	0,54	0,76
Los Angeles Darbeli Aşınma (500 devir)	0,47	0,68
Sürtünme aşınma kaybı (Böhme)	0,41	0,65

Çizelge 6.4 : I. Grup doğal taşların dokusal özellikleri ile fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler.



Şekil 6.1 : I. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – yoğunluk ilişkisi; a) lineer,
b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.2 : I. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – birim hacim ağırlık ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.3 : I. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – hacim kütlesi ilişkisi; a) lineer,
b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.4 : I. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – su içeriği ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.5 : I. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – hacimce su emme ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.6 : I. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – kütlece su emme ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.7 : I. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – özgül kütle ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.8 : I. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – görünen porozite ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.9 : I. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – doluluk oranı ilişkisi; a) lineer,
b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.10 : I. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – porozite ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.11 : I. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – P dalga hızı ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.12 : I. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – S dalga hızı ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.13 : I. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – dinamik elastisite modülü ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.

I. Grup doğal taşların doku özellikleri ile fiziksel özellikleri arasındaki ilişkilere bakıldığında en yüksek korelasyonun ($R^2 = 0,80$ lineer, $R^2 = 0,79$ logaritmik) özgül kütle (gerçek yoğunluk) ile olduğu görülmektedir (şekil 6.7).

Bunun dışında, dokusal özellikler ile diğer yüksek sayılabilecek ilişkiler hacim kütlesi (görünür yoğunluk) ($R^2 = 0,55$ lineer, $R^2 = 0,77$ logaritmik) ve birim hacim ağırlık – yoğunluk ($R^2 = 0,45$ lineer, $R^2 = 0,70$ logaritmik) parametrelerinin arasında olduğu ortaya konmuştur (şekil 6.1, 6.2 ve 6.3).

Yoğunluk ve birim hacim ağırlık ile doku katsayısı arasındaki ilişkileri ortaya koyan saçılma diyagramlarından 6 ve 2BB no'lu doğal taş numunelerine ait değerler çıkarıldığında korelasyonun (ilişkinin) ciddi oranda yükseldiği görülmüştür ($R^2 = 0,71$ lineer, $R^2 = 0,88$ logaritmik). Aynı şekilde hacim kütlesi ile doku katsayısı arasındaki ilişkiyi gösteren saçılma diyagramından 6 ve 9 no'lu doğal taş numunelerine ait değerler çıkarıldığında korelasyonun çok yükseldiği görülmüştür ($R^2 = 0,89$ lineer, $R^2 = 0,97$ logaritmik).

Porozite ve doluluk oranı ile doku katsayısı arasındaki ilişkiler ilk bakışta anlamlı gibi gözükse de ayrıntılı olarak inceldiğinde çok düşük bir korelasyonun olduğu ve aralarında bir ilişkinin olmadığı sonucuna varılmıştır (Şekil 6.9 ve 6.10).

P dalga hızı parametresi ile doku özellikleri arasında bir ilişki olmadığı görülmüştür. Ancak 6 ve 2BB no'lu doğal taş numunelerine ait değerler saçılma diyagramından (Şekil 6.11) çıkarıldığında korelasyonun çok yükseldiği ($R^2 = 0,74$ lineer, $R^2 = 0,71$ logaritmik) gözlemlenmiştir. Sonik hız ile ilgili diğer bir parametre olan S dalga hızı ile dokusal özellikler arasında anlamlı bir ilişkiye rastlanamamıştır. Dinamik elastisite modülü ile olan ilişkisine bakıldığında ise anlamlı bir ilişki olmadığı görülsede en yüksek ki değerin çıkartılması sonra tekrarlanan regresyona analizi sonucunda $R^2 = 0.83$ (lineer korelasyon) ve $R^2 = 0.90$ (logaritmik korelasyon) olan bir fonksiyon elde edilebildiği görülmüştür.



Şekil 6.14 : I. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – tek eksenli basınç dayanımı ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.15 : I. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – Brazilian çekme dayanımı ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.16 : I. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – statik elastisite modülü ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.17 : I. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – nokta yükü dayanımı ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.18 : I. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – Schmidt çekiç sertliği ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.19 : I. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – Shore Sclerescope sertliği ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.20 : I. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – koni delici sertliği ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.21 : I. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – darbe mukavemeti ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.22 : I. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – Los Angeles darbeli aşınma ilişkisi (100 devir için); a) lineer, b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.23 : I. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – Los Angeles darbeli aşınma ilişkisi (500 devir için); a) lineer, b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.24 : I. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – Böhme yüzey aşınma kaybı ilişkisi (500 devir için); a) lineer, b) logaritmik korelasyon.

Çalışmada kullanılan I. grupta (Çizelge 6.3) yer alan doğal taşların dokusal özellikleri ile mekanik özellikleri arasındaki ilişkileri ortaya koyan saçılma diyagramları şekil 6.14'ten başlayarak Şekil 6.23 de dahil olmak üzere verilmiştir.

Dokusal özellikler ile mekanik özellikler arasındaki ilişkilere bakıldığında en yüksek korelasyonun dokusal özellikler ile kayaçların dayanımında önemli bir parametre olan tek eksenli basınç dayanımı arasında olduğu ($R^2 = 0.86$ lineer, $R^2 = 0.86$ logaritmik) gözlemlenmiştir.

Statik elastisite modülü ile dokusal özellikler arasında anlamlı bir ilişki ($R^2 = 0,67$ lineer, $R^2 = 0,53$ logaritmik) olduğu görülmüştür. Ancak en küçük değerin (2BB no'lu doğal taşa ait değerler) çıkarıltılması sonucu yapılan regresyon analizlerinde R^2 değeri 0,89 (lineer) ve 0,79 (logaritmik) olan fonksiyonlar elde edilmiştir.

Brazilian çekme dayanımı ile doku katsayısı arasında ise anlamlı bir ilişkiye rastlanmamıştır (Şekil 6.15). Ancak en yüksek değerin çıkartılması sonrası tekrar dilen regresyon analizi sonucunda R^2 değerinin 0,59 (lineer) ve 0,70 (logaritmik)'e çıktığı gözlemlenmiştir.

Koni delici sertliği ile doku katsayısı arasında yüksek sayılabilecek ilişkiler gözlemlenmiştir ($R^2 = 0,62$ lineer ve $R^2 = 0,70$ logaritmik).

Doku katsayısı ile Schmidt çekiç sertliği arasında ilk bakışta zayıf bir ilişki görülmüştür (Şekil 6.17). Fakat 8, 9 ve 2BB no'lu doğal taş numunelerine ait değerler çıkarıltıldığında R^2 değerinin 0,33 (lineer) ve 0,57 (logaritmik)'den 0,89 ve 0,97'lere çıktığı gözlemlenmiştir.

Doku katsayısının aşınma parametreleri ile ilişkilerine bakıldığında Los Angeles aşınma dayanımı ile anlamlı bir ilişki ($R^2 = 0,47$ lineer, $R^2 = 0,68$ logaritmik) bulunamamıştır (Şekil 6.21 ve 6.22).

Böhme yüzey aşınma kaybı parametresi ile doku katsayısı arasında ise ilk bakışta bir ilişki olmadığı ($R^2 = 0,41$ lineer, $R^2 = 0,65$ logaritmik) görülmüş ancak en yüksek değerin (13 no'lu doğal taş numunesine ait) çıkartılması sonucunda yapılan regresyon analizinde R^2 değeri 0,61 (lineer) ve 0,63 (logaritmik) olan fonksiyonlar elde edilmektedir.

Shore sertliği ve darbe mukavemeti parametreleri ile doku katsayısı arasında zayıf bir ilişki olduğu görülmüş ve aralarında herhangi bir ilişkiden bahsedilememiştir (Şekil 6.18 ve 6.20).

6.1.2 İkinci (II.) grup doğal taşların dokusal özellikleri ile fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler

Yapılan çalışmalar sonucunda II. Grup (çizelge 6.1) doğal taş numunelerinin dokusal özellikleri (doku katsayısı; TC) ile fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler istatistiksel esaslara göre incelenmiş ve sonuçlar çizelge 6.5'te verilmiştir. Şekil 6.24'den başlayarak şekil 6.47'ye kadar olmak üzere korelasyonların belirlenebilmesi için üretilen saçılma diyagramları verilmiştir.

Fizikaal va Makanik Özalliklar	Korel	asyonlar
Fiziksei ve Mekallik Özelliklei –	Lineer	Logaritmik
Yoğunluk	0,23	0,44
Birim hacim ağırlık	0,09	0,25
Hacim kütlesi (görünür yoğunluk)	0,24	0,42
Su içeriği	0,53	0,70
Hacimce su emme	0,30	0,38
Kütlece su emme	0,30	0,39
Özgül kütle (gerçek yoğunluk)	0,36	0,35
Görünen porozite (açık gözeneklilik)	0,30	0,38
Doluluk oranı	0,29	0,41
Porozite (toplam porozite)	0,29	0,41
P dalga hızı	0,28	0,13
S dalga hızı	0,47	0,29
Dinamik elastisite modülü	0,35	0,19
Tek eksenli basınç dayanımı	0,94	0,96
Brazilian çekme dayanımı	0,17	0,14
Statik elastisite modülü	0,48	0,23
Nokta yük dayanımı	0,22	0,22
Schmidt çekiç sertliği	0,11	0,005
Shore sertliği	0,008	0,03
Koni delici sertliği	0,67	0,54
Darbe mukavemeti	0,01	0,02
Los Angeles Darbeli Aşınma (100 devir)	0,58	0,37
Los Angeles Darbeli Aşınma (500 devir)	0,66	0,43
Sürtünme aşınma kaybı (Böhme)	0,46	0,48

Çizelge 6.5 : II. Grup doğal taşların dokusal özellikleri ile fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler.



Şekil 6.25 : II. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – yoğunluk ilişkisi; a) lineer,
b) logaritmik korelasyon.

I. Grupta olduğu gibi II. Grup içinde değerlendirme yapılırken, fiziksel özellikler ile dokusal özellikler ilk olarak analiz edilmiş ardından da mekanik özellikler ile dokusal özelliklerin analizi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.26 : II. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – birim hacim ağırlık ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.27 : II. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – hacim kütlesi ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.28 : II. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – su içeriği ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.29 : II. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – hacimce su emme oranı ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.30 : II. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – kütlece su emme oranı ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.31 : II. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – özgül kütle ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.32 : II. Grup doğal taşlar için doku katsayısı –görünen porozite ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.33 : II. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – doluluk oranı ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.34 : II. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – porozite ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.35 : II. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – P dalga hızı ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.36 : II. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – S dalga hızı ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.37 : II. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – dinamik elastik modül ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.

II. Grup'ta yer alan doğal taşların fiziksel özellikleri ile dokusal özellikleri ilişkilendirilmiştir. Yapılan regresyon analizleri sonucunda, yoğunluk ile doku katsayısı arasında ilk bakışta bir ilişki ($R^2 = 0,23$ lineer ve $R^2 = 0,44$ logaritmik) bulunamamış, ancak en yüksek ve en düşük değerlerin çıkartılmasının ardından yapılan regresyon analizi sonucunda $R^2 = 0,62$ (lineer) ve $R^2 = 0,81$ (logaritmik)'e yükseldiği gözlemlenmiştir. Aynı şekilde birim hacim ağırlık ile doku katsayısı arasındaki ilk başta düşük olan korelasyon değerleri ($R^2 = 0,09$ lineer ve $R^2 = 0,25$ logaritmik) 12 ve 14 no'lu doğal taşlara ait değerlerin çıkartılmasının ardından yapılan regresyon analizi sonucunda $R^2 = 0,56$ (lineer) ve $R^2 = 0,78$ (logaritmik)'e yükseldiği görülmüştür.

Diğer bir fiziksel özellik olan hacim kütlesi (görünür yoğunluk) ile doku katsayısı arasında bir ilişki bulunamamıştır. Su içeriği ile doku katsayısı arasında önemli çok düşük bir korelasyon görülmüştür. Ancak en yüksek değerin çıkartılmasının ardından tekrarlanan regresyon analizi sonucunda R^2 değerleri 0,63 (lineer) ve 0,73 (logaritmik) olan fonksiyonlar elde edilmiştir. Doku katsayısı ile su emme ve görünen porozite parametreleri arasında ise yapılan analizler sonucunda ciddi bir ilişkiye rastlanılamamıştır (Şekil 6.28, 6.29 ve 6.31). Doluluk oranı ve porozite ile dokusal özellikler de birbiri ile ilişkilendirilememiştir (Şekil 6.32 ve 6.33).

Özgül kütle (gerçek yoğunluk) değerleri ile doku katsayısı arasında çok zayıf bir korelasyon elde edilmiştir. Fakat 12 no'lu doğal taşa ait değerler çıkartılıp regresyon analizinin tekrarlanması sonucunda anlamlı bir ilişki elde edilebilmiştir ($R^2 = 0,89$ lineer ve $R^2 = 0,86$ logaritmik).

Dokusal özellikler ile sonik hız parametreleri arasındaki ilişkilere bakıldığında P ve S dalga hızları ile doku katsayısı arasında çok düşük bir korelasyon olduğu gözlemlenmiştir. P dalgası ile doku katsayı arasındaki ilişkileri ortaya koyan regresyon analizinde en küçük değerin çıkartılması (11 no'lu doğal taşa ait değer) sonrası tekrarlanan regresyon analizinin sonucunda R² değeri 0.65 olan lineer bir korelasyon elde edildiği görülmüştür. Aynı S dalgası ile dokusal özellikler arasındaki ilişki incelendiğinde de yine en küçük değerin (11 no'lu doğal taşa ait değer) çıkratılması sonucu tekrarlanan regresyon analizinin sonucunda R² değeri 0,77 (lineer korelasyon) olan bir fonksiyon elde edilebilmiştir. Son olarak da yapılan analizler sonucunda dinamik elastik modül ile doku katsayısı arasında da herhangi bir ilişki bulunamamıştır (Şekil 6.36).



Şekil 6.38 : II. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – tek eksenli basınç dayanımı ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.39 : II. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – Brazilian çekme dayanımı ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.40 : II. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – statik elastisite modülü ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.41 : II. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – nokta yükü indeksi ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.42 : II. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – Schmidt çekiç sertliği ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.43 : II. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – Shore sertliği ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.44 : II. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – koni delici sertliği ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.45 : II. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – darbe mukavemeti ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.46 : II. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – Los Angeles aşınma (100 devir) ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.47 : II. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – Los Angeles aşınma (500 devir) ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.48 : II. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – Böhme yüzey aşınma kaybı ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.

II. Grupta yer alan doğal taşların mekanik özellikleri ile dokusal özellikleri arasındaki ilişki incelendiğinde en yüksek korelasyonun I. Grup doğal taşlarda olduğu gibi (daha da yüksek korelasyon) tek eksenli basınç dayanımı değerleri ile doku katsayısı (TC) arasında olduğu görülmüştür ($R^2 = 0.94$ lineer ve $R^2 = 0.96$ logaritmik). Şekil 6.37'den anlaşıldığı üzere II. Grupta yer alan doğal taşların TC değeri arttıkça dayanımları da azaldığı sonucu çıkmaktadır. Yani I. Grupta görülen

TC arttıkça basınç dayanımının artması yönündeki ilişkinin tam tersine II. grupta TC değeri arttıkça tek eksenli basınç dayanımı değeri azalmaktadır (Şekil 6.37).

Diğer bir dayanım parametresi olan Brazilian çekme dayanımı değerleri ile doku katsayısı arasında ilk bakışta ilişki olmadığı (Şekil 6.38) görülse de en küçük çekme dayanımı değerinin (12 no'lu doğal taşa ait verilerin) çıkartılmasının ardından tekrarlanan regresyon analizleri sonucunda R² değerinin 0,80 (lineer) ve 0,84 (logaritmik) olduğu fonksiyonlar elde edilmiştir. II. Grupta yer alan doğal taşlar için dayanım ile ilgili bu iki parametrenin doku katsayısı ile olan ilişkileri incelendiğinde, birbirleri ile hem lineer hem de logaritmik olarak yüksek R² değerlerine sahip ilişkilere sahip oldukları sonucu ortaya çıkmıştır.

Dokusal özellikler ile elastik modül arasında düşük bir korelasyon elde edilmiştir. Ancak 15 no'lu doğal taşa ait değerler çıkarılıp regresyon analizi tekrarlandığında R² değerleri 0,89 (lineer) ve 0,68 (logaritmik) olan fonksiyonlar bulunmuştur.

Nokta yükü indeksi ile dokusal özellikler arasında ilk başta ciddi bir ilişkiye rastlanılamamıştır. 12 no'lu doğal taşa ait değerler çıkartıldıktan sonra yapılan regresyon analizinin sonucunda anlamlı bir ilişki ortaya çıktığı gözlemlenmiştir ($R^2 = 0,86$ lineer ve $R^2 = 0,82$ logaritmik).

Schmidt çekiç sertliği, Shore sertliği ve darbe mukavemeti ile dokusal özellikler arasındaki ilişkiler incelendiğinde ise herhangi bir anlamlı korelasyon değerine ulaşılamamıştır.

Dokusal özellikler ile bir diğer mekanik parametre olan koni delici sertliği değerleri incelendiğinde çok düşük korelasyon değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Fakat 5 no'lu doğal taşa ait değerler çıkarılıp regresyon analizinin tekrar yapılması sonucu R² değerlerinin 0,91 (lineer) ve 0,82 (logaritmik) olduğu fonksiyonlar elde edilmiştir. Buradan da anlaşılacağı üzere koni delici sertliği ile dokusal özellikler arasında II. Grupta yer alan doğal taşlar açısından bir ilişki olduğu söylenebilir.

Son olarak da II. Grup doğal taşların sahip olduğu mekanik özelliklerden olan aşınma parametrelerinin dokusal özelliklerle arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Los Angeles darbeli aşınma değerleri ile doku katsayısı değerleri arasında yapılan regresyon analizleri 100 devir (K_{100}) ve 500 devir (K_{500}) sonundaki Los Angeles (LA) aşınma değerleri ele alınarak ayrı ayrı yapılmıştır. 100 devir sonundaki LA değerleri ile doku katsayısı değerleri arasında çok düşük korelasyon değerleri elde edilmiş, ancak 500 devir sonundaki LA değerler ile doku katsayısı arasında daha anlamlı ilişkiler gözlemlenmiştir. Öyle ki 500 devir sonundaki LA değerlerinden 14 no'lu doğal taşa ait veriler çıkarıldıktan sonraki regresyon analizinin sonucunda R^2 değerinin 0,75 'e çıktığı (lineer korelasyon) görülmüştür. Böhme yüzey aşınma kaybı değerleri ile doku katsayısı arasında da ilk bakışta anlamlı bir ilişki bulunamamış olsa da LA değerlerinde olduğu gibi 14 no'lu numuneye ait verilerin çıkarılması sonucu tekrarlanan regresyon analizi sonucunda çok daha yüksek korelasyon değerine ulaşılmıştır ($R^2 = 0,82$ olan lineer korelasyon elde edilmiştir).

6.1.3 Üçüncü (III.) grup doğal taşların dokusal özellikleri ile fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler

III. grup doğal taş numuneleri, mineralojik/petrografik bakımdan traverten olarak tanımlanan numuneleri içermektedir. Ancak çalışmada kullanılan doğal taş numuneleri (19 adet farklı doğal taş) sadece üç adet traverten numunesi içermesinden dolayı bu grupta yer alan doğal taşlara ait dokusal özellikler ile fiziksel ve mekanik özellikler arasındaki ilişkiler veri sayısının az olmasından dolayı ayrıntılı olarak analiz edilememiştir. Ayrıca Çopur ve diğ. (2008) tarafından tamamlanmış olan Tübitak projesinden alınan iki adet traverten numunelerine ait -3PT ve 4BT no'lu doğal taşlar- mekanik ve fiziksel özelliklerin sadece birkaç tanesi çıkarılmış olduğundan (çizelge 6.1, 6.2 ve 6.6) doku katsayısı ile olan ilişkiler sınırlı sayıda analiz edilebilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda III. Grup (çizelge 6.1) doğal taş numunelerinin dokusal özellikleri (doku katsayısı; TC) ile fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler istatistiksel esaslara göre incelenmiş ve sonuçlar çizelge 6.6'da verilmiştir. Şekil 6.48'den başlayarak şekil 6.54'e kadar olmak üzere korelasyonların belirlenebilmesi için üretilen saçılma diyagramları verilmiştir.

Fizikaal va Makanik Özalliklar	Korelasyonlar					
FIZIKSEI VE IVIEKAIIIK ÖZEIIIKIEI	Lineer	Logaritmik				
Yoğunluk	0,11	0,09				
Birim hacim ağırlık	0,11	0,09				
Tek eksenli basınç dayanımı	0,006	0,002				
Brazilian çekme dayanımı	0,01	0,008				
Schmidt çekiç sertliği	0,20	0,18				
Shore sertliği	0,08	0,07				
Koni delici sertliği	0,99	0,99				

Çizelge 6.6 : III. Grup doğal taşların dokusal özellikleri ile fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler



Şekil 6.49 : III. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – yoğunluk ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.50 : III. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – birim hacim ağırlık ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.51 : III. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – tek eksenli basınç dayanımı ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.52 : III. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – Brazilian çekme dayanımı ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.53 : III. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – Schmidt çekiç sertliği ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.54 : III. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – Shore sertliği ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.



Şekil 6.55 : III. Grup doğal taşlar için doku katsayısı – koni delici sertliği ilişkisi; a) lineer, b) logaritmik korelasyon.

III. Grupta yer alan doğal taşların doku katsayısı ile fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkilere bakıldığında koni delici dışındaki parametrelerle (yoğunluk, birim hacim ağırlık, tek eksenli basınç dayanımı, çekme dayanımı, Schmidt sertliği, Shore sertliği) anlamlı bir ilişki gözlemlenememiştir. Koni delici sertliği ile doku katsayısı arasında çok yüksek bir korelasyon ($R^2 = 0,99$ değerine sahip lineer ve logaritmik korelasyonlar) olduğu şekil 6.54'te açıkça görülmektedir. Ancak sadece üç adet numunenin verileri üzerinden bu gruptaki doğal taşlar için doğru bir analiz yapmak sözkonusu olmamıştır.

7. SONUÇLAR

Geniş bir kullanım alanına sahip olan doğal taşlar sahip oldukları özelliklere göre tanımlanmakta ve bu özelliklerine göre değerlendirilmektedir. Özellikle yapı sektöründe vazgeçilmez bir tercih olan doğal taşların yapının hangi kısmında nasıl ve ne amaçla kullanılabilir olduğunun belirlenmesinde yapılacak testlerin ve analizlerin büyük önemi vardır. Bu amaçla fiziksel ve mekanik özellikleri belirlemeye yönelik çalışmaların yanı sıra kayacın dokusal özelliklerinin de önemli bir unsur olduğu bugüne kadar yapılan araştırmalarla ortaya konmuştur. Kısacası mühendislik uygulamalarına başlamadan önce doğal taşın değerlendirmesinde fiziksel ve mekanik özellikleri belirlemeye yönelik taşın değerlendirmesinde fiziksel ve mekanik özellikleri helirlendişlik mekanik özellikleri belirlendişlik dokusal özellikleri belirlendirmesinde fiziksel ve mekanik özellikleri başlamadan önce doğal taşın değerlendirmesinde fiziksel ve mekanik özellikleri helirlendişlikleri başlamadan önce doğal taşın değerlendirmesinde fiziksel ve mekanik özellikleri belirlendirmesinde fiziksel ve mekanik özellikleri başlamadan önce doğal taşın değerlendirmesinde fiziksel ve mekanik özellikleri helirlendişlikleri başlamadan önce doğal taşın değerlendirmesinde fiziksel ve mekanik özellikleri helirlendişlikleri

Bu araştırma ile amaçlanan, Türkiye'nin çeşitli bölgelerine ait bazı doğal taşların fiziksel-mekanik özellikleri ile dokusal özelliklerini belirlemek ve bunlar arasındaki ilişkileri ortaya koymaktadır.

Çalışmanın gerçekleştirilebilmesi için ilk olarak Türkiye'nin çeşitli yerlerine ait 19 tür doğal taş getirtilmiştir. Bu doğal taşların 13 farklı fiziksel özelliği (Çizelge 6.1) ve 10 farklı mekanik özelliği (Çizelge 6.2) ile ilgili parametreler belirlenmiştir. Bunun yanı sıra her doğal taş türüne ait ince kesitler hazırlanmıştır. Bu kesitler iki amaç için kullanılmıştır. Birincisi, mikroskop altındaki görüntüleri incelenerek mineralojik ve petrografik analizleri yapılmıştır. İkincisi ise, mikroskop altındaki görüntüleri fotoğraflanmış ve bilgisayar ortamında bu fotoğraflar işlenerek analiz edilmiş bu sayede de dokusal özellikler sayısallaştırılmıştır.

Kayaç dokusu, dokuyu meydana getiren taneler ve taneler arasında bağlanmayı sağlayan çimento malzemesi görevi gören matriksten oluşmaktadır. Kayaç dokusal özelliklerinin sayısallaştırılması konusunda yapılan en kayda değer çalışma Howarth ve Rowlands (1986) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu araştırmacılar doku katsayısı (TC) kavramını ortaya atmışlar ve dokunun sayısallaştırılmasının yanısıra fiziksel ve mekanik özellikler arasında matematiksel temele dayanan ilişkiler olduğunu öne sürmüşlerdir. Doku katsayısı, dokuyu meydana getiren tanelerin geometrik özellikleri ve matriksin bir bütün olarak ele alınması ile sayısallaştırılması sonucu ortaya çıkmıştır. Doku katsayısının belirlenmesinde ilk olarak bilgisayar yazılımı yardımıyla tanelerin uzunluğu, genişliği, çevresi, alanı ve açısı tespit edilmektedir. Ardından da diğer gerekli parametreler (tane yuvarlaklığı, sapması, açıları ve matriks ile taneler arasındaki ilişkiyi veren tane paketlenmeleri) hesaplanarak doku katsayısı belirlenmiş olur.

Doğal taş örneklerinden alınan ince kesitler üzerinde yapılan analizler ve hesaplamalar sonucu elde edilen doku katsayısı (TC) değerleri ile laboratuvarda yapılan deneylerle belirlenen doğal taşlara ait fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Gerçekleştirilen analiz çalışmaları sonucunda kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri ile doku katsayıları arasında istatistiksel anlamda kabul edilebilir bazı ilişkiler olduğu görülmüştür.

Dokusal özellikler ile fiziksel-mekanik özellikler arasındaki ilişkiler incelenirken istatiksel yöntemler kullanılmıştır. Lineer ve logaritmik olmak üzere iki tür regresyon analizinden faydalanılmıştır. Doğal taşlar mineralojik ve petrografik analizlerinin sonuçlarına göre 3 farklı gruba ayrılarak sınıflandırılmıştır (Çizelge 6.3). Bu grupların her birinin içerisinde yer alan doğal taşlara ait fiziksel-mekanik özellikleri ile dokusal özellikleri arasındaki ilişkiler (Çizelge 7.1) ayrı ayrı başlıklar altında ele alınmıştır.

I. grupta yer alan doğal taşların fiziksel özellikleri ile dokusal özellikleri arasındaki ilişkilere bakıldığında (Bölüm 6.1.1) en yüksek korelasyonun $R^2 = 0,80$ (lineer) ve $R^2 = 0,79$ (logaritmik) değerleri ile özgül kütle (gerçek yoğunluk) parametresi ile olduğu görülmektedir (Şekil 6.7). Diğer fiziksel özellikler ile dokusal özellikler arasındaki ilişkiler ise bazı numunelere ait bir veya iki değerin çıkartılması sonrası tekrarlanan regresyon analizlerinden elde edilen sonuçlara göre yükseldiği ve ciddi korelasyonlar elde edilebildiği de görülmüştür (Bölüm 6.1.1).

I.grupta yer alan doğal taşlara ait mekanik özellikler ile dokusal özellikler arasındaki ilişkilerin incelenmesi sonucu en güçlü korelasyon değerinin ve literatürle uyumlu sonucun tek eksenli basınç dayanım parametresi ile doku katsayısı arasında olduğu gözlemlenmiştir. Diğer bir dayanım parametresi olan Brazilian çekme dayanımı ile doku katsayısı arasında ise en yüksek değerin çıkartılması sonucu anlamlı bir ilişki elde edilebilmiştir.

	I.	Grup	II.	Grup	III. (Grup
Fizikaal va Makanik Özalliklar	Kore	lasyonlar	Korela	asyonlar	Korela	syonlar
FIZIKSEI VE MIEKAIIIK ÖZEIIIKIEI	Lineer	Logaritmik	Lineer	Logaritmik	Lineer	Logaritmik
Yoğunluk	0,46	0,71	0,23	0,44	0,11	0,09
Birim hacim ağırlık	0,45	0,70	0,09	0,25	0,11	0,09
Hacim kütlesi (görünür yoğunluk)	0,55	0,77	0,24	0,42	-	-
Su içeriği	0,51	0,73	0,53	0,70	-	-
Hacimce su emme	0,49	0,73	0,30	0,38	-	-
Kütlece su emme	0,50	0,74	0,30	0,39	-	-
Özgül kütle (gerçek yoğunluk)	0,80	0,79	0,36	0,35	-	-
Görünen porozite (açık gözeneklilik)	0,49	0,73	0,30	0,38	-	-
Doluluk oranı	0,48	0,72	0,29	0,41	-	-
Porozite (toplam porozite)	0,48	0,72	0,29	0,41	-	-
P dalga hızı	0,01	0,06	0,28	0,13	-	-
S dalga hızı	0,23	0,42	0,47	0,29	-	-
Dinamik elastisite modülü	0,10	0,23	0,35	0,19	-	-
Tek eksenli basınç dayanımı	0,86	0,86	0,94	0,96	0,006	0,002
Brazilian çekme dayanımı	0,14	0,26	0,17	0,14	0,01	0,008
Statik elastisite modülü	0,67	0,47	0,48	0,23	-	-
Nokta yük dayanımı	0,74	0,76	0,22	0,22	-	-
Schmidt çekiç sertliği	0,33	0,57	0,11	0,005	0,20	0,18
Shore sertliği	0,40	0,66	0,008	0,03	0,08	0,07
Koni delici sertliği	0,62	0,71	0,67	0,54	0,99	0,99
Darbe mukavemeti	0,40	0,61	0,01	0,02	-	-
Los Angeles Darbeli Aşınma (100 devir)	0,54	0,76	0,58	0,37	-	-
Los Angeles Darbeli Aşınma (500 devir)	0,47	0,68	0,66	0,43	-	-
Sürtünme aşınma kaybı (Böhme)	0,41	0,65	0,46	0,48	-	_

Çizelge 7.1: Bazı doğal taşların dokusal özellikleri ile fiziksel ve mekaniközellikleri arasındaki ilişkiler gösteren özet çizelge.

Literatürde bahsedildiği üzere dayanım özellikleri ile özellikle tek eksenli basınç dayanımı ile doku katsayısı arasında ciddi bir ilişki olduğu ortaya konmuştur. Literatürde daha önce doğal taşlar üzerinde denenmemiş olan koni delici sertliği ile doku katsayısı arasında ise yüksek sayılabilecek bir ilişkiye rastlanmıştır (Şekil 6.19). Koni delici sertlik değeri arttıkça doku katsayısı değerinin de tek eksenli basınç dayanımında olduğu gibi arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca statik elastisite modülü ile doku katsayısı arasında da anlamlı ilişkilere rastlanmıştır (Şekil 6.16). Aşınma parametreleri olan Los Angeles ile Böhme yüzey aşınma kaybı ile doku katsayısı arasında ise çok yüksek olmayan korelasyon elde edilmiş, fakat literatüre paralel olmayan korelasyonlar görülmüştür (Şekil 6.21, 6.22 ve 6.23).

II. Grupta yer alan doğal taşlara ait fiziksel özellikler ile dokusal özellikler arasında ki ilişkiler incelendiğinde I. Grup'a kıyasla daha düşük korelasyonlar elde edilmiştir. Fiziksel özellikler ile doku katsayısı arasında en anlamlı ilişki su içeriği parametresi ile olduğu gözlemlenmiştir. Ancak I. Grupta gözlemlenen özgül kütle parametresi ile doku katsayısı arasındaki yüksek korelasyon II. Grupta ilk başta çok düşükmüş gibi gözükse de (Şekil 6.30) daha sonra bir numuneye ait verilerin çıkartılması sonrası yapılan regresyon analizi sonucunda oldukça yükseldiği gözlemlenmiştir (Bölüm 6.1.1). Benzer şekilde yoğunluk ve birim hacim ağırlık değerleri ile doku katsayısı arasındaki ilişkilerde de en yüksek ve en düşük değerlerin çıkartılması sonrası yapılan regresyon analizlerinin sonucunda yüksek korelasyonlar elde edilebilmiştir.

II. grupta yer alan doğal taşların mekanik özellikleri ile dokusal özellikleri arasındaki ilişkilere bakıldığında en yüksek korelasyonun I. grupta da olduğu gbi tek eksenli basınç dayanımı ile TC arasında olduğu görülmüştür. I. gruba kıyasla bu ilişkinin çok daha yüksek R² değerine dolayısıyla çok daha güçlü olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 6.14 ve 6.37). Öte yandan yine II. Grupta yer alan doğal taşlar için Brazilian çekme dayanımı ile doku katsayısı arasında tek eksenli basınç dayanımında gözlendiği kadar yüksek olmasa da yine doğrusal bir ilişkinin olduğundan bahsetmek mümkündür (Şekil 6.38). I. grupta görüldüğü gibi II. Grupta da elastisite modülü ve koni delici sertlik değerlerinin doku katsayısı ile yüksek korelasyona sahip ilişkiler içinde oldukları gözlemlenmiştir (Şekil 6.39 ve 6.43). Yine I. Grupta da olduğu gibi shore sertliği, darbe mukavemeti ve Schmidt sertlik değerleri ile dokusal özellikler arasında kayda değer bir ilişkiye rastlanamamıştır. I. Grup için aşınma parametreleri ile dokusal özellikler arasında çok anlamlı ilişkiler görülememesine rağmen, II.

Grupta Los Angeles ve Böhme aşınma parametreleri ile dokusal özellikler arasında I. Gruba kıyasla çok daha anlamlı ilişkiler elde edilmiştir (Şekil 6.45, 6.46 ve 6.47).

III. grupta yer alan travertenlerin sadece 3 tür olması doku katsayısı ile olan ilişkilerinin ortaya konmasında sıkıntı yaratmıştır. Sözkonusu grupta yer alan doğal taşların dokusal özellikler ile olan ilişkilerinin daha kesin bir şekilde incelenebilmesi için daha fazla türde traverten numunesine gereksinim vardır. Ancak yinede yapılabilen bir kaç regresyon analizi sonucunda yalnızca mekanik özelliklerden koni delici sertliği ile doku katsayısı arasında lineer azalan güçlü bir ilişkiden söz etmek mümkündür.

Yapılan bu araştırma göstermiştir ki kayaçların dokusal özelliklerinin sayısallaştırılması sonucu hesaplanan doku katsayısı ile kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri arasında korelasyonun (ilişkinin) varlığı söz konusudur.

Literatüre bakıldığında bugüne kadar yapılan çalışmalarda doku katsayısı ile dayanım değerleri arasında lineer artan bir ilişki olduğu görülmektedir. Ancak yapılan bu çalışmada kullanılan bazı doğal taşlar, mineralojik ve petrografik analiz sonuçlarına göre yapılan kayaç tanımlarına göre üç farklı gruba ayrılarak sınıflandırılmıştır. Buna göre I. Grup için dokusal özellikler ile dayanım özellikleri arasında literatürle örtüşen lineer artan ilişkiler gözlemlenmiş, fakat II. Grup için literatürün tam tersi yönde lineer azalan ilişkiler gözlemlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, doku katsayısı ile fiziksel ve mekanik özellikler arasında genel olarak ilişkiler olduğu söylenebilir. Bu çalışma göstemiştir ki kayaç dokusunun özelliklerinin kayacın fiziksel-mekanik özelliklerinin bazıları ile yüksek korelasyonlara sahiptir. Özellikle literatürle örtüşmesi bakımından tek eksenli basınç dayanımı ile doku katsayısı arasında çok yüksek korelasyonlu ilişkiler olduğu ortaya konmuştur.

KAYNAKLAR

- Altındağ, R. ve Güney, A., 2006: ISRM Suggested Method For Determining The Shore Hardness Value For Rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 43, pp. 19-22.
- Altindag, R. ve Guney, A., 2005: Effect Of The Specimen Size On The Determination Of Consistent Shore Hardness Values. *Technical Note*. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. Vol. 42, pp.153-160.
- Arıoğlu, E. ve Bilgin, N., 1978: Nokta Yük Deneyi ve Uygulaması, *İTÜ Dergisi*, cilt 36, sayı 2, s. 21-32, İstanbul.
- **ASTM C131-06**, 2006. Standard test method for resistance to degradation of smallsize coarse aggregate by abrasion and impact in the los angeles machine, *American Society for Testing and Materials*, USA.
- **ASTM**, 1994. Annual Book of ASTM Standards Construction; Soil and Rock. American Society for Testing and Materials Publication, Vol. 04.08.
- Azzoni A., Bailo F., Rondena E. ve Zaninetti A., 1996: Assessment of Texture Coefficient For Different Rock Types and Correlation With Uniaxial Compressive Strength and Rock Weathering. Rock Mech. Rock Engng no 29, pp. 36–46.
- Balcı, C., Avşar, S. ve Özbakır, O., 1998: Bazı kayaçların dinamik ve elastik modüllerinin karşılaştırılması. 4. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Zonguldak, 22-23 Ekim.
- **Bard, J. P.**, 1986. Microtexture of Igneous and Metamorphic Rocks Rocks, D. Reidel Publishing Company, Derdrecht, Holland.
- **Bell, F. G.**, 1978: The Physical and Mechanical Properties of The Fell Sandstones, Northumberland, England. Engineering Geology, no 12, pp. 1–29.
- Best, M. G., 1982. Igneous and Metamorphic Petrology, San Francisco, USA.
- Bilgin, M. ve Çakır, E., 1998. Mermer Araştırması, İstanbul Ticaret Odası, İstanbul, s. 4-9.
- **Bilgin, N. ve Shahriar, K.**, 1987. Madenlerde mekanize kazı için bir ölçme sisteminin geliştirilmesi ve TTK Amasra kömür bölgesine uygulanışı. Tübitak Projesi, P. No. 674, s.58-60, İstanbul.
- **Brook, N.**, 1980. Size correction of point load testing. *Technical note*, International Journal of Rock Mechanics Science & Geomech., no 17, pp. 231-235.
- **CANMET,** 1997a: Laboratory classification tests. In Pit Slope Manual of CANMET, Supplement 3-1, Canada Centre for Mineral and Energy Technology Report 77-25, pp. 31.
- Conti, G., Lisanti, V., Mannoni, T., Montani, C., Pinzari, M., Ragone, M., Ricci, A. ve Semel, G., 1986. Marble in the world. Societa' Editrice Apuana, Italy.
- **Çopur, H.**, 1991. ELİ Eynez bölgesi kayaçlarının fiziksel ve mekanik özelliklerininmekanize kazı bakımından incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- **Çopur, H., Bilgin, N., Balcı, C. ve Tumaç, D.**, 2008. Doğal taş madenciliğinde kullanılan zincirli kesme makinelerinin kazı performanslarının optimizasyonu, Tübitak Projesi, P. No. 105M017, İstanbul.
- **Deere, D.U. ve Miller, R.P.**, 1966. Engineering classification and index properties for intact rock. *Technical Report* No. AFNL-TR-65-116, Air Force Weapons Laboratory, New Mexico, USA.
- **TS EN 1936**, 2006. Natural stone test methods-Determination of real density and apparent density, and of total and open porosity, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- Ersoy, A. ve Waller, M. D., 1995: Textural Characterisation of Rocks. Engineering Geology, Vol 39, pp. 123-136.
- Goodman, R. E., 1989. Introduction to Rock Mechanics. John Wiley & Sons, Canada.
- Güneş, A. N., 2005. Türkiye'deki bazı mermerlerin mineralojik ve petrografik özelliklerine göre kesilebilme ve işlenebilme parametrelerinin matematiksel modellenmesi, *Doktora Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Bölümü Anabilimdalı, Isparta.
- Herdan, G. ve Smith, M. L., 1953. Small Particle Statistics. Elsevier Publishing Company, Houston.
- Howarth D. F., Rowlands J. C., 1986: Development of an Index to Quantify Rock Texture for Assessment of Intact Rock Properties. Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, V. 9, no 4, pp. 169-179.
- Howarth, D. F. ve Rowlands J. C., 1987: Quantitative assessment of rock texture and correlation with drillability and strength properties. Rock Mechanics & Rock Engineering Vol. 20: 57–85.
- Hudson, J. A. ve Harrison, J. P., 2000 Engineering Rock Mechanics. Elsevier, Londra.
- Hugman, R. H, Friedman, M., 1979: Effects Of Texture and Composition On Mechanical Behaviour of Experimentally Deformed Carbonate Rocks. Am. Assoc. Pet. Geol. Bull. no 63, pp. 1478–1489.
- International Society for Rock Mechanics (ISRM), 2007. The complete ISRM Suggested methods for rock characterization, testing and monitoring. Ulusay, R & Hudson, J.A. (Ed.), Ankara, Turkey.
- Jeng, F. S, Weng, M. C., Lin M. L. ve Huang, T. H., 2004: Influence of Petrographic Parameters on Geotechnical Properties of Tertiary Sandstones From Taiwan. Engineering Geology, Vol. 73, pp. 71–91.

- Kahraman, S. ve Alber, M., 2009: Predicting The Uniaxial Compressive Strength and Elastic Modulus of A Fault Breccia From Texture Coefficient. *Technical Note*. Rock Mechanics and Rock Engineering, no 42, pp. 117-127.
- Karpuz, C. ve Hindistan, M. A., 2006. Kaya Mekaniği İlkeleri ve Uygulamaları. TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara.
- Kekeç, B., 2005. Yapıtaşı olarak kullanılan bazı kayaçların doku, fiziksel ve mekanik özellilerinin araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Köktürk, U., 2002: Endüstriyel Hammaddeler, Dokuz Eylül Üniversitesi Müh. Mimarlık Fakültesi Yayını (4. Baskı), Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir.
- Köse, H. ve Onargan, T., 1992. Mermer Kitabı. D.E.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Yayınları No 220, İzmir.
- Krumbein, W. C. ve Sloss, L. L., 1959, Stratigraphy and Sedimantation. San Francisco, USA.
- Kulaksız, S., 2004. Sedimanter ve Metamorfik Kayaçların Mermer Olabilme Özellikleri, Mermer Blok Çıkarma ve İşleme Teknolojileri Semineri, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Sürekli Eğitim Merkezi, Ankara.
- Kulaksız, S., 2007: Doğal Taş (Mermer) Maden İşletmeciliği ve İşleme Teknolojileri. TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, Ankara.
- Kun, N., 2000. Mermer Jeolojisi ve Teknolojisi Kitabı, İzmir.
- Nasuf, E. ve Öztürk, A., 2005. Kayaçların doku özelliklerinin görüntü işleme yöntemi ile incelenmesi ve doku özellikleri ile mekanik özellikler arasında ilişki kurulması, Tübitak Projesi, No. 199Y046, İstanbul.
- National Coal Board, 1972. NCB Cone Identer. Mining Research and Development Establishment, MRDE Handbook, London, England.
- National Coal Board, 1977, NCB Cone identer, Mining Research and Development Establishment (MRDE) Handbook (revised), London, England.
- Olsson, W. A., 1974: Grain Size Dependence of Yield Stress in Marble. Geophys Res. V. 79, pp. 4859–4861.
- **Onargan, T., Köse, H. ve Deliormanlı, A. H.**, 2006: Mermer, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını (4. Baskı), Ankara.
- **Onodera T. F. ve Asoka K. H. M.**, 1980: Relation Between Texture and Mechanical Properties of Crystalline Rocks. Bull. Int. Assoc. Engineering Geology, no 22, pp. 173–177.
- Önem, Y., 1997. Sanayi Madenleri Kitabı, Kozan Ofset Matbaacılık, Ankara.
- Önenç, D. İ., 2004: Artalbey Köyü (Gümüşhane) Kömür Laminalı Travertenin Depolanma Ortamları ve Litofasiyesleri, Mermer Dergisi, Sayı 39, s. 18-24, Türkmer, İzmir.

- Öztürk, A., 2006. Kayaç dokusal özelliklerinin sınıflandırılması ve kaya mühendsiliği uygulamaları, *Doktora Tezi* (Yayımlanmamış), İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği, İstanbul.
- Öztürk, C. A., Nasuf, E., 2002: Farklı yükleme koşullarında kayaçların dokusal özelliklerinin incelenmesi. 6. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Konya, s. 147-151.
- Skirotzki, W., 1994. Mechanism of texture development in rocks, Texture of Geological Materials, DGM Informationsgesellschaft Verlag, Oberursel, pp. 167-186.
- Spock, L. E., 1962. Guide to The Study of Rocks (2. Baskı). Harper & Brothers, New York.
- Şentürk, A., Gündüz, L., Tosun, Y. İ. ve Sarıışık, A., 1996. Mermer Teknolojisi Kitabı, S.D.Ü.Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta, 242 s.
- **TS 10282**, 1992. Magmatik kayaçlar mineralojik petrografik tayin metotları-optik metot. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- **TS 699,** 1987. Doğal yapı taşları inceleme ve laboratuvar deney yöntemleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- **TS 699,** 2009. Doğal yapı taşları inceleme ve laboratuvar deney yöntemleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- **TS EN 1936**, 2007. Doğal taşlar Deney metotları- Gerçek yoğunluk, görünür yoğunluk, toplam ve açık gözeneklilik tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- Tuğrul, A. ve Zarif, I. H., 1999: Correlation of Mineralogical and Textural Characteristics with Engineering Properties of Selected Granitic Rocks from Turkey. Engineering Geology, V. 51, pp. 303-317.
- Ullemeyer, K., Braun, G., Dahms, M., Kruhl, H. J., Olese, N. ve Siegesmund, S., 2000: Texture analysis of a muscovite-bearing quartzite: a comparison of some currently used techniques, Journal of Structural Geology, Vol. 22, no 11-12, pp. 1541-1557.
- Ulusay, R. ve Sönmez H., 2002. Kayaç kütlesinin mühendislik özellikleri, TMMOB Jeoloji Müh. Odası Yayını, Ankara.
- Ulusay, R., 1989, Pratik Jeoteknik Bilgiler. Teknomad Yayınları, Maya Matbaacılık ve Yayıncılık A.Ş., Ankara.
- Ulusay, R., Türeli, K. ve Ider, M. H., 1994: Prediction of Engineering Properties of a Selected Litharenite Sandstone from Its Petrographic Characteristics Using Correlation and Multivariate Statistical Techniques, Engineering Geology, V. 37, pp. 135-157.
- Uz, B., 1992. Maden ve Jeoloji Mühendisliğinde Petrografi Prensipleri. 2. Baskı, İstanbul.
- Williams, H., Turner, F. J. ve Gilbert, C. M., 1982: Petrography. W. H. Freeman & Company, San Francisco, USA.

EKLER

EK A.1 : Deney öncesi ve sonrası numunelere ait fotoğraflar.



Şekil A.1 : Tek eksenli basınç dayanımı deney öncesi fotoğraflar.



Şekil A.2 : Tek eksenli basınç dayanımı deney öncesi fotoğraflar (devam).



Şekil A.3 : Tek eksenli basınç dayanımı deney sonrası fotoğraflar.



Şekil A.4 : Tek eksenli basınç dayanımı deney sonrası fotoğraflar (devam).



Şekil A.5 : Böhme aşınma kaybı deney numuneleri.



Şekil A.6 : Darbe mukavemeti deney numuneleri.

EK A.2 : Doğal taşlara ait bazı ince kesit fotoğrafları.



Şekil A.7 : 5 no'lu doğal taşa ait ince kesitin görünümü.



Şekil A.8 : 1TB no'lu doğal taşa ait ince kesitin görünümü.



Şekil A.9 : 3PT no'lu doğal taşa ait ince kesitin görünümü.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Ozan Bayram

Doğum Yeri ve Tarihi: Münih/Almanya 15 Şubat 1983

Adres: İTÜ Ayazağa Kampüsü Maden Fak. Maden Müh. Böl. Maslak/İstanbul

Lisans Üniversite: İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği ölümü.

Yayın Listesi:

 Bayram, O., 2007: GELİ Eskihisar Ocağı Delme ve Patlatma Çalışmalarının Maliyet Analizi. 5. Delme ve Patlatma Sempozyumu, Kasım 22-24, 2007 Ankara, Turkey.

• Tunçdemir H. ve Bayram, O., 2009: The Factors Effecting The Wasted Time For Umbrella Arch Method In A Tunnel Excavation In Weak Rock In Istanbul, May 5-9, *World Tunneling Congress*, Budapest, Hungary.