

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YAPI TAŞI OLARAK KULLANILAN
BAZI KAYAÇLARIN DOKU, FİZİKSEL VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Bilgehan KEKEÇ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Konya,2005

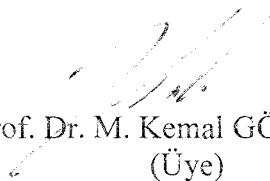
T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

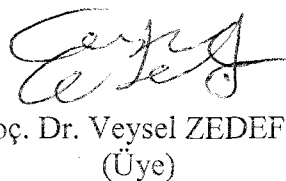
YAPI TAŞI OLARAK KULLANILAN BAZI KAYAÇLARIN DOKU, FİZİKSEL
VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

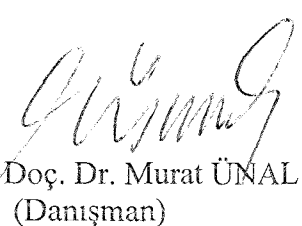
Bilgehan KEKEÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 30.06.2005 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr. M. Kemal GÖKAY (Üye)


Doç. Dr. Veysel ZEDEF (Üye)


Yrd. Doç. Dr. Murat ÜNAL (Danışman)

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YAPI TAŞI OLARAK KULLANILAN BAZI KAYAÇLARIN DOKU, FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Bilgehan KEKEÇ

Selçuk Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Murat ÜNAL

2005, 82 Sayfa

Jüri:

Prof. Dr. M. Kemal GÖKAY

Doç. Dr. Veysel ZEDEF

Yrd. Doç. Dr. Murat ÜNAL

Bu tez çalışmasında, yapı taşı olarak kullanılan bazı kayaçların doku, fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiş ve aralarındaki ilişkiler modellenmiştir. Deney çalışmalarında kullanılan numuneler; Konya ve çevresinde yaygın olarak kullanılan ve farklı jeolojik oluşumlara sahip 12 farklı kayaç türünden seçilmiştir.

Kayaçların, fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde önemli bir etkisinin olduğu düşünülen doku özelliği, ortalama tane boyut indeksi (OTBI) kullanılarak tanımlanmıştır. Fiziksel ve mekanik özellikleri ise ISRM (1981) standartlarına uygun olarak yapılan deney çalışmaları ile belirlenmiştir. Kayaçların doku, fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler, ilişki grafikleri ile korelasyon katsayısı kullanılarak değerlendirilmiştir.

Ayrıca kayaçların kırılma ve öğütölme özellikleri, d_{50} , şekil faktörü ve öğütölülebilirlik yüzdeleri hesaplanarak tanımlanmış ve doku, fiziksel ve mekanik özellikleri ile olan ilişkisi tartışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Doku, Doğal yapı taşları, Ortalama tane boyut indeksi, Fiziksel ve mekanik özellikler, Kırma ve öğütme, Konya, Türkiye



ABSTRACT

MSc Thesis

**INVESTIGATION OF THE TEXTURE, PHYSICAL AND MECHANICAL
PROPERTIES OF THE ROCKS USED AS BUILDING STONE**

Bilgehan KEKEÇ

Selçuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mining Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Murat ÜNAL

2005, 82 Pages

Jury:

Prof. Dr. M. Kemal GÖKAY

Assoc. Prof. Dr. Veysel ZEDEF

Assist. Prof. Dr. Murat ÜNAL

In this research, textural, physical and mechanical properties of the rocks used as building stone were determined and their relation with each other was modelled. Used stone in this experiments were performed by using 12 different type of building stone which have been used widely in Konya.

The textural properties of the rocks were characterized by using average particle size index. Physical and mechanical properties of the rocks were also determined by using experimental studies which is performed according to ISRM (1981) standarts. The relation among the texture, physical and mechanical properties of the rocks were evaluated by using the correlation coefficient.

Moreover, crushing and grinding properties of the rocks were also identified by calculating the d_{50} , shape factor and percentage of grinding and then the relation with the texture, physical and mechanical properties of the rocks were discussed in detail.

Keywords: Texture, Natural building stone, Average particle size index, Physical and mechanical properties, Crushing and grinding, Konya, Turkey



TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir.

Bu tez çalışmasının her safhasında desteklerini esirgemeyen, çalışmalarına yön veren, teşvik eden, benim yetişmem için emeğini esirgemeyen danışmanım Yrd. Doç. Dr. Murat ÜNAL'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bu tez çalışmamda bilgilerini ve laboratuvar deneylerinde yardımlarını esirgemeyen Maden Mühendisliği Bölümü Öğretim üyeleri Prof. Dr. Kemal GÖKAY'a, Yrd. Doç. Dr. İhsan ÖZKAN'a, Doç. Dr. Veysel ZEDEF'e, Doç. Dr. Alper ÖZKAN'a ve Yrd. Doç. Dr. Salih AYDOĞAN'a yardımlarından dolayı şükranlarımı sunarım. Manevi olarak daima yanımda olan Uzm. Dr. A. Hadi ÖZDENİZ ve Arş. Grv. Dr. Vildan ÖNEN'e teşekkür ederim. Ayrıca laboratuvar çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşlarım Arş. Grv. Hakan ÖZŞEN'e Arş. Grv. Kemal DOĞAN'a, Arş. Grv. Tevfik AĞAÇAYAK'a, Arş. Grv. Gökhan UÇAR'a, Arş. Grv. Niyazi BİLİM'e, Arş. Grv. Ali ARAS'a, Arş. Grv. İbrahim ÇINAR'a, Arş. Grv. Selma DÜZYOL ve Arş. Grv. Havvanur UÇBEYİAY'a teşekkür ederim. Maden Mühendisliği Laboratuvarında numunelerin hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen İbrahim KÜÇÜK'e teşekkürü bir borç bilirim.

Bu günlere ulaşmamı borçlu olduğum ve tez sürecince maddi ve manevi katkılarını hiçbir zaman esirgemeyen babam Gazi KEKEÇ'e, annem Aysel KEKEÇ'e, ağabeyim Bahadır KEKEÇ'e, kardeşim Burak KEKEÇ'e ve sevgili eşim Maden Mühendisi Elçin KEKEÇ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı	2
1.2. Çalışmanın Kapsamı	2
1.3. Çalışmanın İçeriği	4
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
2.1. Doğal Yapı Taşları	5
2.1.1. Türkiye doğal yapı taşı kaynakları	5
2.1.2. Doğal yapı taşlarının genel kullanım alanları	6
2.1.3. Doğal yapı taşlarının oluşumlarına göre sınıflandırılması	7
2.1.4. Sedimanter, mağmatik ve metamorfik doğal yapı taşlarındaki taneler ve bileşenler	9
2.2. Dokunun Tanımlanması	13
2.2.1. Doku analiz yöntemleri	13
2.2.2. Sedimanter, mağmatik ve metamorfik doğal yapı taşlarındaki genel doku türleri	14
2.2.2.1. Sedimanter kayaçların genel doku türleri	14
2.2.2.2. Mağmatik ve volkanik kayaçlardaki genel doku türleri	15
2.2.2.3. Metamorfik kayaçlardaki genel doku türleri	18
2.2.3. Doku katsayısı kestirim yöntemleri	19
2.3. Doğal Yapı Taşlarının Doku Özellikleri İle Fiziksel ve Mekanik Özellikleri Arasındaki İlişki	21
3. MALZEME ve YÖNTEM	31
3.1. Kullanılması Planlanan Kayaç Türleri	31

3.2. Numunelerin Hazırlanması	32
3.2.1. Petrografik analizlerde kullanılan numunelerin hazırlanması	32
3.2.2. Doğal yapı taşı bloklarından düzgün şekilli numunelerin elde edilmesi	32
3.2.3. Fiziksel özelliklerin belirlenmesi için kullanılan numunelerin hazırlanması	33
3.2.4. Mekanik özelliklerin belirlenmesi için kullanılan deney numunelerinin hazırlanması	34
3.3. Çalışmada Kullanılan Yöntemler	36
3.3.1. Doku analiz yöntemi	36
3.3.2. Fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlenmesinde kullanılan yöntemler	37
3.3.2.1. Fiziksel özelliklerin belirlenmesi	38
3.3.2.2. Mekanik özelliklerin belirlenmesi	39
3.3.2.3. Korelasyon yöntemi	43
4. LABORATUAR ÇALIŞMALARI ve DEĞERLENDİRMELER	44
4.1. Petrografik ve Mineralojik Özelliklerin İncelenmesi	44
4.1.1. Kayaç örneklerinin petrografik analizleri	44
4.1.2. Kayaç örneklerinin doku tanımlamasının yapılması	51
4.2. Numunelerin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	52
4.2.1. Yapılan fiziksel deneyler ve sonuçları	52
4.2.2. Yapılan mekanik deneyleri ve sonuçları	54
4.2.3. Kayaçların doku, fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkinin araştırılması	62
4.2.3.1. Doku ile fiziksel ve mekanik özellikler arasındaki ilişkilerin tanımlanması	64
4.2.3.2. Kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkilerin tanımlanması	67
4.2.3.3. Kayaçların mekanik özelliklerinin kendi aralarında ve kırılma, öğütülme özellikleri arasında ilişkilendirilmesi	72
5. SONUÇLAR	76
6. KAYNAKLAR	78

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Türkiye işletilebilir doğal taş rezervleri	6
Çizelge 4.1. Kayaç örneklerinin OTBİ değerleri	51
Çizelge 4.2. Yoğunluk, gözeneklilik ve nem içeriği deneyi değerleri	53
Çizelge 4.3. Sertlik belirleme deneyi değerleri	54
Çizelge 4.4. Nokta yükleme dayanımı deneyi değerleri	55
Çizelge 4.5. Dolaylı çekme dayanımı deneyi değerleri	56
Çizelge 4.6. Tek eksenli basma dayanımı deneyi değerleri	57
Çizelge 4.7. Suda dağılma dayanımı deneyi sonuçları	58
Çizelge 4.8. Kayaç örneklerinin OTBİ* değerleri	61
Çizelge 4.9. Numunelerin kırılma ve öğütülme değerleri	61
Çizelge 4.10. Numunelerin şekil faktörü ve hacim katsayısı değerleri	61
Çizelge 4.11. Farklı elek aralıklarında sınıflandırılmış agregaların şekil ve hacim faktörlerinin değişim katsayıları	62
Çizelge 4.12. Kayaçların oluşum sınıflamalarına göre korelasyon ilişkisi	64

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Çalışmanın akım şeması	3
Şekil 2.1. Sedimanter kayaçlarda görülen genel doku görünümleri	15
Şekil 2.2. Mağmatik kayaçlarda görülen doku türleri	18
Şekil 2.3. Metamorfik kayaçlarda görülen doku türleri	19
Şekil 2.4. Bazı farklı kayaç türlerinin doku katsayısı değerleri	22
Şekil 2.5. Ortalama mineral tane boylarına karşılık tek eksenli basma dayanımı ilişkileri	24
Şekil 2.6. Doku katsayısının kayaç türlerine karşı grafiği	26
Şekil 2.7. Kayaç türlerine karşı doku katsayısı değerleri	27
Şekil 2.8. Kayaç türlerine karşı doku katsayısı değerleri	28
Şekil 2.9. Ortalama tane boyu ile tek eksenli basma dayanımları arasındaki ilişki	29
Şekil 3.1. Gözeneklilik ve nem içeriği deneyi numuneleri	33
Şekil 3.2. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi numuneleri	34
Şekil 3.3. Dolaylı çekme dayanımı numuneleri	34
Şekil 3.4. Nokta yükleme dayanımı deneyi numuneleri	35
Şekil 3.5. Suda dağılma dayanım deneyi numuneleri	35
Şekil 4.1. Mermer-A'ya ait ince kesit fotoğrafı ve mineralojik analizi	44
Şekil 4.2. Bej-B mermerine ait ince kesit fotoğrafı ve mineralojik analizi	45
Şekil 4.3. Mermer-M'ye ait ince kesit fotoğrafı ve mineralojik analizi	45
Şekil 4.4. Bej-Y mermerine ait ince kesit fotoğrafı ve mineralojik analizi	46
Şekil 4.5. Limra numunesine ait ince kesit fotoğrafı ve mineralojik analizi	46
Şekil 4.6. Traverten-M'ye ait ince kesit fotoğrafı ve mineralojik analizi	47
Şekil 4.7. Traverten-G'ye ait ince kesit fotoğrafı ve mineralojik analizi	47
Şekil 4.8. Granit-AG'ye ait ince kesit fotoğrafı ve mineralojik analizi	48
Şekil 4.9. Granit-KR'ye ait ince kesit fotoğrafı ve mineralojik analizi	49
Şekil 4.10. Granit-KÇ'ye ait ince kesit fotoğrafı ve mineralojik analizi	49
Şekil 4.11. Andezit-A'ya ait ince kesit fotoğrafı ve mineralojik analizi	50
Şekil 4.12. Dasit-S'ye ait ince kesit fotoğrafı ve mineralojik analizi	51

Şekil 4.13. Piknometre deneyi ve doymuş ağırlık belirleme deney düzenekleri	52
Şekil 4.14. Shore ve schmidt sertlik belirleme deney düzenekleri	53
Şekil 4.15. Nokta yükleme dayanımı deney düzeneği	55
Şekil 4.16. Dolaylı çekme dayanımı deney düzeneği	56
Şekil 4.17. Tek eksenli basınç deneyi düzeneği	57
Şekil 4.18. Suda dağılma dayanımı deney düzeneği	58
Şekil 4.19. Çevrim sayısı ile suda dağılma dayanımı indeksi arasındaki ilişki	59
Şekil 4.20. Kayaçların doku özellikleri ile mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler	63
Şekil 4.21. Kayaçların doku özellikleri ile fiziksel özellikleri arasındaki ilişkiler	65
Şekil 4.22. Kayaçların doku özellikleri ile kırılma ve öğütülme özellikleri arasındaki ilişkiler	66
Şekil 4.23. Sertlik ve mekanik özellikler arasındaki ilişkiler	67
Şekil 4.24. Sertlik ile kırılma ve öğütülme özellikleri arasındaki ilişkiler	68
Şekil 4.25. Yoğunluk ile mekanik özellikler arasındaki ilişkiler	69
Şekil 4.26. Yoğunluk ile kırılma ve öğütülme özellikleri arasındaki ilişkiler	70
Şekil 4.27. Porozite ile mekanik özellikler arasındaki ilişkiler	71
Şekil 4.28. Porozite ile kırılma ve öğütülme özellikleri arasındaki ilişkiler	72
Şekil 4.29. Kayaçların mekanik özelliklerinin kendi aralarında ilişkilendirilmesi	73
Şekil 4.30. Kayaçların fiziksel özellikleri ile kırılma ve öğütülme özellikleri arasındaki ilişkiler	74

KISALTMALAR

ISRM	:	International Society for Rock Mechanics
TS	:	Türk standartları
OTBI	:	Ortalama tane boyut indeksi
GOTBI	:	Geometrik ortalama tane boyut indeksi
d_{50}	:	Malzemenin % 50' sinin geçtiği elek açıklığı
g	:	% Öğütülebilirlik
ρ_g	:	Mineral tane yoğunluğu
P	:	Porozite (Gözeneklilik)
N	:	Nem içeriği
d	:	Shore sertliği
s	:	Schmidth sertliği
Is_{50}	:	Nokta yükleme dayanımı
σ_t	:	Dolaylı çekme dayanımı
σ_c	:	Tek eksenli basınç dayanımı

BÖLÜM I

GİRİŞ

Bazı kayaç türleri ilkçağlardan itibaren gerek doğal görünüşleriyle, gerek kolay işlenebilmeleriyle, gerekse de uzun ömürlü olmaları sebebiyle yapı alanında en çok tercih edilen malzemeler olmuşlardır. Son yıllarda ülkemizde de özellikle büyük şehirlerde ve turistik yörelerde, hem yapılarda hem de topluma açık ve kapalı alanlarda yoğun olarak kullanılmaktadır.

Binlerce yıl önce insan hayatına giren bu kayaç türleri, önceleri sadece yapı taşı olarak kullanılırken, uygarlığın ilerlemesine paralel olarak süsleme ve sanatsal tasarım amacı ile de kullanılmış ve güncel yaşamdaki önemini günümüze kadar korumuştur.

Yapı, yol, kaldırım döşemesi, sanatsal yapılar vb. alanlarda kullanılan bu kayaç türleri oluşumlarına, kullanım alanlarına ve ticari durumlarına bağlı olarak zaman içerisinde, mermer, yapı taşı, doğal taş, ticari doğal taş, süs taşı vb. adlarla tanımlanmıştır. Doğal taş; ticareti yapılan ya da yapılmayan ve doğada olduğu gibi bulunan her türlü kayaçlar için kullanılan çok genel bir tanımdır. Doğal yapı taşları; petrografik ve teknolojik yönlerden yapılarda kullanılmaya elverişli olan, tek cins bir mineralin birleşmesiyle veya çeşitli minerallerin bir araya gelmesiyle doğal olarak meydana gelen mineral topluluğu olarak da tanımlanmaktadır (TS 699,1987). Ticari doğal taşlar ise yasal izin ile üretilerek işlemeden ve/veya işleyerek, boyutlandırmadan ya da boyutlandırılarak piyasada işlem gören kayaçlar için kullanılan tanımlamadır.

Bu tezin çalışma konusu, aşağıda sıralanan farklı amaçlar doğrultusunda yapılarda kullanılan kayaçlara yönelik olduğu için, çalışmalarda kullanılan kayaç türleri, yukarıda belirtilen tanımlamaya da uygun olarak, doğal yapı taşı olarak adlandırılmıştır. Çünkü kireçtaşından granite kadar çeşitli kayaçlar yapı sektörü için üretilmektedir. Yapı taşları; bloktan üretilen plakalar ve diğer boyutlu ürünler, inşaatlarda dış-iç cephe kaplamasında, taban döşemesinde, merdiven basamağında, denizlikte, küpeşte, taşıyıcı sütun yapımında, çatı örtüsü, yol ve kaldırım döşemesi, bordür taşı, duvar ve dayanma yapısı malzemesi, kıyı tahkimatı, dalgakıran, baraj inşaatı ve agrega üretimi gibi geniş bir kullanım alanına sahiptir.

Bu tez çalışmasında Konya ve yöresinde yaygın olarak işletilen ve kullanılan 12 farklı doğal yapı taşının doku, fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu çalışma için gerekli numunelerin bir kısmı Konya ve yöresinde işletilen ve işlenen, diğer kısmı ise Konya'da işlenen ve kullanılan doğal yapı taşlarından seçilmiştir.

1.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada, Konya ve civarında yaygın olarak yapı alanında kullanılan bazı doğal yapı taşlarının sahip oldukları farklı doku, fiziksel ve mekanik özellikler araştırılarak, bu özelliklerin birbirleri ile olan ilişkilerinin modellenmesi hedeflenmiştir. Doğal yapı taşlarının doku, fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkinin belirlenmesi ekonomik açıdan büyük önem taşımaktadır. Çünkü, farklı türdeki yapı taşlarının kullanım amaç ve yerlerinin iyi seçilmesi, kullanılan yapı taşının ömrünü belirlemektedir. Bu bakış açısından değerlendirdiğimizde, bu çalışmadan elde edilen veriler bu yönde yapılan çalışmalara alt yapı oluşturacaktır.

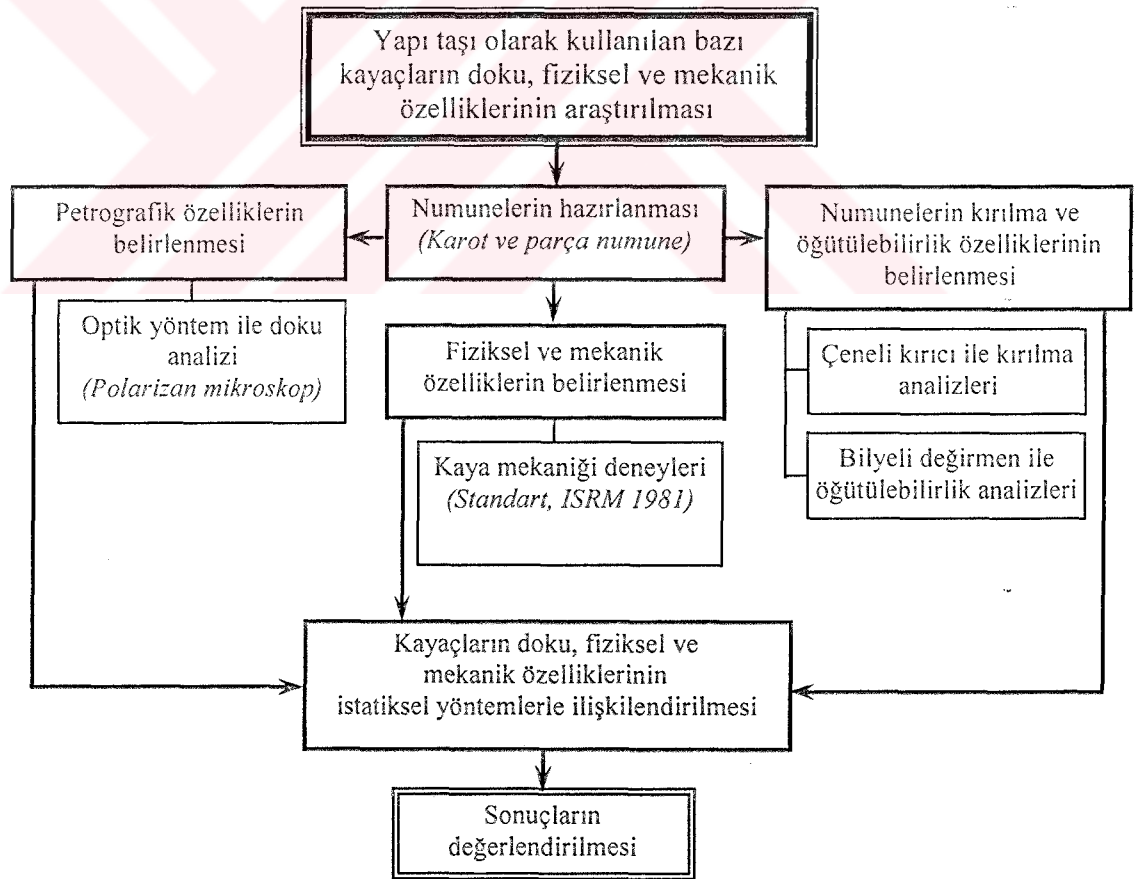
1.2. Çalışmanın Kapsamı

Kayaçlar, karmaşık heterojen kütlelerdir. Mineralojik içeriği kayaç oluşum minerallerinin özellikleri ve kaya örgüsü ile karakterize edilmektedir. Bir kayanın mekanik özellikleri onun mineralojisine, dokusuna, yapısına ve bozunmasına (weathering) bağlı olarak değişim göstermektedir. Kaya dokusu, kökenini ve geçmişini yansıtan mineralin uzaydaki düzeni, şekli ve hacminin bir sonucu olarak tanımlanmaktadır. Mekanik özelliklerin belirlenmesinde mineral tanelerinin şekli, tane boyut dağılımı ve çimento özelliği gösteren küçük boyutlu malzemenin miktarı önemli rol oynamaktadır. Birkaç araştırma (Howarth & Rowlands, 1986; Howarth, & Rowlands, 1987; Ersoy & Waller, 1995; Azzoni ve ark., 1996; Öztürk & Nasuf, 2002) tane boyutu ve tane yüzey alanı aynı içeriğe sahip olan kayaç türlerinin mekanik özelliklerindeki farklılıkların anlaşılması için gerekli ve önemli parametreler olduğunu göstermiştir.

Bu değerlendirmeler çerçevesinde, çalışmada kullanılan doğal yapı taşlarının sahip oldukları farklı doku, fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmış, elde edilen

sonuçlar istatistiksel yöntem kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu alışma kapsamında yapılan detay işlemler aşağıda maddeler halinde sıralanmış ve çalışmanın akım şeması Şekil 1.1’de verilmiştir. Bu işlemler:

- Doku analizi için kayacı tanımlayacak şekilde, her bir kayaçtan ince kesitlerin alınması ve buna bağlı olarak her bir numunenin, polarizan mikroskop kullanılarak, mineralojik içeriği ve yüzdesi, tane boyut oranları ve dağılımı vb. zelliklerinin incelenmesi ve belirlenmesi,
- Kayaç rneklelerinin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi,
- Mekanik deneylerin yapılması (tek eksenli basma, nokta yükleme, endirekt çekme dayanımı, sertlik deneyleri vb),
- Doku, fiziksel ve mekanik özellikler arasındaki ilişkilerin istatistiksel yöntemler kullanarak araştırılması ve
- Kayaçların kırılma ve öğütülebilirlik özelliklerinin araştırılması ve doku, fiziksel ve mekanik özelliklerine bağlı olarak incelenmesidir.



Şekil 1.1. Çalışmanın akım şeması

1.3. Çalışmanın İçeriği

Bu çalışma genel olarak beş ana başlık altında yürütülmüştür. Giriş bölümünde; doğal taşlar ve yapı taşları tanımlanmış ve tarih boyunca insan hayatındaki yeri ve önemi vurgulanmıştır. Ayrıca çalışmanın amacı ve kapsamı anlatılmıştır.

Kaynak araştırması bölümünde; doğal yapı taşlarının oluşumları, kullanım alanları, petrografik özellikleri ve tanımlamalar, doku sınıflamaları ve analiz yöntemleri kısaca açıklanmıştır. Bunların yanı sıra, birçok araştırmacı tarafından daha önceden yapılmış olan doku ve mekanik özelliklerle ilgili çalışmalar özetlenmiştir.

Çalışmada kullanılan örnek yapı taşları ve numunelerin hazırlanması Bölüm III'de anlatılmış ve çalışmada kullanılan deney ve analiz yöntemleri ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Bölüm IV'de ise laboratuvar çalışmaları sonucunda örnek kayalardan elde edilen doku, fiziksel ve mekanik özellikler analiz edilmiş, birbirleri arasındaki ilişkiler grafik ve çizelgeler yardımıyla gösterilmiş ve korelasyon yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışmadan elde edilen çıkarımlar ise sonuç bölümünde özetlenmiştir.

BÖLÜM II

KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde, doğal yapı taşları olarak kullanılan kayaçların oluşumları, kullanım alanları, dokusal özellikleri, doku analiz yöntemleri, fiziksel ve mekanik özellikleri kısaca anlatılmış ve önceden yapılmış kayaç dokusu ile kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmalar özetlenmiştir.

2.1. Doğal Yapı Taşları

Yer kabuğundan çıkarılarak kullanılan endüstriyel hammaddeler içinde yapı taşlarının önemli bir yeri vardır. Yapı taşları, tarih boyunca insan ile bütünleşen bir malzemedir, ilkel insandan günümüzün modern insanına kadar çeşitli işlevlerle kullanıla gelmiştir.

2.1.1. Türkiye doğal yapı taşı kaynakları

Ülkemizde blok verebilen, kesilip parlatılabilen beş farklı özellikte doğal taş oluşumunun varlığı bilinmektedir. Bunlar mermerler, renkli kireç taşları, çeşitli türdeki mağmatik ve volkanik taşlar, travertenler karbonat albatrılarında (Oniks) oluşmaktadır.

Ülkemizde bugüne kadar çeşitli kurumlar tarafından yapılan araştırmalara göre büyük miktarlarda doğal taş rezervinin varlığı saptanmıştır. Rezervlerin işletilen büyük bir bölümü Batı Anadolu'da bulunmaktadır. Ülkemizdeki işletilebilir rezervlerin önemli bir bölümü Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Türkiye işletilebilir doğal taş rezervleri (VIII. Beş yıllık Kalkınma Planı Raporundan uyarılama, DPT, 2001)

Bölge	İl	İşletilebilir doğal taş rezervleri			
		Mermer	Kireçtaşı	Traverten	Oniks
Marmara	Balıkesir	1,300,000	7,500		7
	Adapazarı	-----	3,500		
	Bilecik	-----	640,000		
	Bursa	135,000	240,000	1,200	
	Kırklareli	33,500			
Akdeniz	Adana	-----	7,000		
	Burdur	-----	2,000	75,000	
	Hatay	-----	60,000		
Ege	Afyon	135,000		120,000	
	Aydın	9,000			
	İzmir	1,500	175,000		
	Muğla	181,000			
	Kütahya	200,000			
	Uşak	500,000			
	Manisa	-----	500		1,000
	Denizli	-----		500,000	
Karadeniz	Bartın	-----	1,000,000		
	Bolu	-----		10,000	300
İç Anadolu	Çankırı	-----		210,000	
	Nevşehir	-----		100	
	Sivas	-----		75,000	
	Ankara	2,000	16,000		
	Eskişehir	960,000	475,000		
	Kırşehir	165,000			
	Niğde	250,000			
	Konya	-----	70,000		
	Kayseri	-----	3,000		
Doğu Anadolu	Elazığ	-----	20,000		
G.Doğu Anadolu	Diyarbakır		9,000		
Toplam		3,872,000	2,720,000	995,300	1,307

2.1.2. Doğal yapı taşlarının genel kullanım alanları

Doğal yapı taşı kullanımının uygarlık tarihindeki geçmişi kronolojik bir sıra ile irdelendiğinde insanoğlunun yaşamında, önemli bir malzeme olarak değerlendirildiği bir gerçektir.

Günümüzde yapı taşları; mimar, dekoratör gibi yapı inşası ile ilgilenen bütün mühendisler ve iç mimarların çok iyi tanınması gereken bir yapı malzemesi olmuştur. Bu nedenle bu yapı taşlarının özelliklerini belirlemek büyük önem arz etmektedir.

Yapı taşları, estetik amaçlarla kullanılan endüstriyel hammaddeler olup, tabiattaki çeşitli renk ve desenleri kullanım amaçlarına göre çeşitli alternatifler sunmaktadır. Günümüzün gelişen yapı ve dekorasyon sektöründe, bahsedilen yapı taşlarının kaçınılmaz bir dekoratif malzeme olması nedeniyle inşaat ve mimari alanlarda değişik kullanım yerlerine sahiptir. Ülkemizde genellikle, zemin kaplamalarında bejler, travertenler ve granitler, tezgah kaplamalarında mermerler ve granitler, dış cephelerde ise kireçtaşı kökenli renkli kireçtaşları (kayrak taşları) ve traverten çeşitleri tercih edilmektedir.

2.1.3. Doğal yapı taşlarının oluşumlarına göre sınıflandırılması

Doğal yapı taşları oluşumlarına göre 3 ana başlık altında sınıflandırılmış ve aşağıda özetlenmiştir.

a) *Sedimanter (tortul) doğal yapı taşları:*

Sedimanter doğal yapı taşları *detritik veya kalsitli, organik veya kimyasal* olmak üzere iki başlık altında sınıflandırılmaktadır.

i. *Detritik veya kalsitli sedimanter yapı taşları* : Çeşitli kayaların parçalanıp sürüklenerek bir yerde birikmesi ve bir ara malzeme ile çimentolanması sonucu oluşurlar. Konglomera, breş , arduvaz, grovak gibi kayalar bu oluşumlara örnek olarak verilebilirler.

ii. *Organik veya kimyasal sedimanter yapı taşları* : Suda erimiş olarak yer alan, kalsiyum ve magnezyum karbonat, fiziksel şartlarının değişmesi sonucu, kimyasal olarak veya organizmaların etkisi ile çökelirler. Ayrıca organizmalar, kalsiyum ve magnezyum karbonatın oluşmasında etkin rol oynamaktadırlar. Su içerisindeki karbondioksit miktarına bağlı olarak ve içerisindeki organizmaların etkisi ile geçtiği yerdeki kalkerleri eritir ve bu kalkerleri farklı bir yerde çökeltirler. Kalkerlerin taşınması soğuk su vasıtası ile meydana gelir ise çökelediği yerde oniks mermerleri; sıcak su vasıtası ile meydana gelir ise traverten mermerleri oluştururlar. Ayrıca dolomit ve mikritik kalkerler de bu grup içerisinde yer alırlar. Travertenler; karbonatlı kaynak suları tarafından depolanan ve yer yer tabakalanma gösteren

karbonatlardır. Travertenin meydana gelmesi için asıl şart yer altı suyunun yüksek seviyede asitli hale gelmesidir. Yer altı suyu fazla ve ılıksa traverten, yine fazla ama ayrıca sıcaksa tüfa oluşur. Travertenin en görünür özelliği çok yüksek derecede gözenekli olmasıdır.

b) Magmatik oluşumlu doğal yapı taşları:

Yer kabuğunun altındaki magmanın yeryüzüne çıkması veya yerkabuğuna sokulması ile meydana gelirler. Sedimanter mermerlere oranla daha sert ve dayanımlıdır. Üç gruba ayrılırlar:

i. *Derinlik kayaçları:* Çıkarılması kolay, ancak işlenmesi zor olan granit türü kayaçlardır. Granitin dışında, siyenit, diyorit, gabro, peridotit, ofikalsit, monzonit, norit, dünit, verlit, harzburjit, lertzolit, labradorit, granodiyorit gibi kayaçlar da magmatik derinlik kayaçlarıdır. Granitler; bileşimlerinde kuvars, plajiyoklaz, ortoklaz ve mafik mineraller içeren plütonik kayaç gruplarıdır. Kuvars açık renkli minerallerin %20-60'ını, plajiyoklazlar toplam feldispatların %10-65'ini oluştururlar. Kuvars genellikle mevcut kristallerin arasını dolduran ksenomorf taneler halindedir. Plajiyoklaz kalsiyumca fakir olup albit, oligoklaz veya andezin bileşimindedir. Mafik mineral genellikle amfibol veya mika şeklinde olup yer yer piroksene de rastlanabilmektedir.

ii. *Yüzey kayaçları:* Hem işlenmesi hem de işletilmesi çok zor olan kayaçlardır. Dayanıklı olmaları ve cilalarını uzun süre koruyabilmeleri nedeni ile inşaat alanlarında kullanılmaktadırlar. Kuvars porfir, bazalt, andezit, trakit ve diyabaz gibi kayaçlar bu gruba girmektedirler. Yoğun olarak kullanılan andezittir. Andezit numunelerinin ana bileşeni volkanik hamurdan oluşmakla birlikte bileşenleri genellikle, plajiyoklast, biyotit, hornblend ve opak minerallerinden oluşmaktadır.

iii. *Damar kayaçları:* Yer kabuğunun derinliklerinde yer alan magmanın yüzeye yakın kayaçların yarık ve çatlaklarına sokularak, burada soğuması sonucu meydana gelen kayaçlardır. Porfir ve aplit gibi kayaçlar bu guruba girmektedirler.

c) *Metamorfik oluşumlu doğal yapı taşları*

Sedimanter ve magmatik kökenli kayaçların değişen basınç ve sıcaklık koşullarının etkisi ile katı halde, mineralojik ve dokusal başkalaşıma uğramaları sonucu oluşurlar. Mermercilik açısından çok önemli olan ve petrografide mermer olarak tanımlanan kayaç, kalker ve dolomitik kalkerlerin başkalaşıma uğraması sonucunda oluşmuştur. Mermer, gnays, amfibolit, spolen, şist, fillit ve eklojit gibi kayaçlar bu grup içerisinde yer alırlar. Mermer; kalker ve dolomitik kalkerlerin ısı ve basınç altında başkalaşıma uğrayarak kristalleşmesi sonucu oluşmuş metamorfik bir kayaçtır. Kalsit kristallerinden oluşan mermerlerin kimyasal bileşimlerinde, büyük oranda kalsiyum karbonat, daha düşük oranlarda magnezyum karbonat ve silisyumdioksit ile pigment olarak da değişik metal oksitleri bulunmaktadır. Saf oldukları zaman yarı saydam ve beyaz renklidirler. Yataklanma durumları ve jeolojik yapıları göz önünde bulundurularak açılan mermer ocaklarından, düzgün geometrik şekillerde blok verme oranları yüksektir.

2.1.4. Sedimanter, mağmatik ve metamorfik doğal yapı taşlarındaki taneler ve bileşenler

Kayaçlar bünyelerinde, kendilerini oluşturan değişik oluşum ve petrografik özelliklere sahip mineraller barındırırlar. Aşağıda maddeler halinde her kayaç türüne ait taneler ve bileşenlere kısaca değinilmiştir.

a) *Sedimanter kayaçlardaki taneler ve bileşenler* : Sedimanter kayaçların yapılarında bulunan değişik oluşum ve petrografik özelliklere sahip olan taneler ve bileşenler aşağıda kısaca tanımlanmıştır.

Ooid: Bir çekirdek etrafındaki bir ya da daha fazla konsantrik halkalardan oluşan küresel yada küresele benzer şekilli çapları 2 mm'den küçük tanelerdir.

Pellet: Kum boyutunda küresel yada elipsoidal şekilli ve herhangi bir iç yapısı olmayan kalsiyum karbonattan oluşan taneler pellet olarak adlandırılırlar.

Intraklastlar: intraklastlar çökelme havzası içinde taşlaşmış yada kısmen taşlaşmış sedimentlerden taşınan çeşitli boyut ve şekillerde, çoğu köşeli ve çapları 2 mm den büyük kırıntılardır.

Agregatlar: Agregatlar bir mikrokristalin çimento yada organik madde ile çimentolanmış birkaç karbonat partikülünden oluşur. Bunlar bazen 'Grapestone' olarak adlandırılır. Genelde, nisbeten sakin gelgit zonlarında oluşurlar.

İskeletsel Bileşenler: Kireçtaşlarının iskeletsel bileşenleri karbonat iskeletli invertabraların zaman ve mekan içindeki dağılımını yansıtır. Derinlik, sıcaklık, tuzluluk, türbülanslık gibi ortam faktörleri çeşitli karbonat ortamlarındaki organizmaların dağılımını ve gelişimini kontrol ederler. İskeletsel bileşenlerin çoğu fosil olarak bilinmektedir.

Mikrit: Kireçtaşları kısmen ince taneli yada tamamen ince taneli karbonattan oluşur. Tanelerin boyutu genelde 1-4 mikron arasında değişen materyal mikrit (mikrokristalin kalsit) olarak adlandırılır. Karbonat çamurları gelgit düzlüğünden sığ lagünlere ve derin deniz tabanına değişen güncel ortamların çoğunda çökelirler. Mikritlerin kökeni polijeniktir. Bazı karbonat çamurları sıcak, sığ ve tuzlu sularda inorganik kimyasal çökelmeyle oluşurlar. Günümüzde çoğu kireç çamurları, organizmaların özellikle yeşil alglerin küçük parçalara ayrışmasıyla oluşmuştur.

Sparit: Çoğu kireçtaşlarındaki orjinal gözenek boşluğunun büyük bir kısmı Sparit yada Spari kalsit olarak tanımlanan saydam ve eş boyutlu kalsit ile doldurulur. Spari kalsit genelde çapları 10 mikronun üzerinde olan kalsit kristallerinden oluşur. Mikritten saydamlığı ve iri kristal taneli olmasıyla ayrılabilir. Sparikalsit çimento birkaç mm' den birkaç cm'ye değişen boyutlarda birkaç taneyi kapsayan iri kristaller şeklinde gelişebilir.

Algler ve Cyanobakteriler: Algler ve cyanobakteriler, iskeletsel karbonat parçaları sağlayarak, laminalanmış sedimentler oluşturmak için taneleri tutarak ya da oyma aktiviteleri ile karbonatlı tanelere saldırarak kireçtaşlarına oldukça katkıda bulunurlar. Çoğu prekambriyen yaşlı kireçtaşları en az kısmen cyanobakteriler tarafından oluşturulmuştur.

Lagünler: Lagünler resif yada karbonat kum tepelerinden oluşmuş bariyerlerin arkasındaki subtidal bölgelerdir. Lagünler çevrelenmiş şelf ve karbonat ramplarının iç kesimlerinde bulunur. Korunmuş lagünel tipteki ortamlar epirik platformlarda da

yaygın olarak gelişebilir. Lagünlerde yaşayan organizmalar ve dolayısıyla genelde bu sakin bölgelerde çökelen sedimentler bariyerin devamlılığına ve sınırlamalarına bağlıdır.

b) Magmatik ve volkanik kayalardaki mineraller ve bileşenler: Magmatik ve volkanik kayaların yapılarında bulunan değişik oluşum ve petrografik özelliklere sahip olan taneler ve bileşenler aşağıda sunulmuştur.

Kuvars: Kuvars kayaç oluşturan önemli minerallerdendir. Magmatik, metamorfik, ve tortul kayaçların pek çoğunun ana bileşenidir. Sertliği 7, yoğunluğu 2.5 -2.8 ve mor ötesi ışınları geçirir. Renk, çoğunlukla beyazdır. Saydam, yarı saydam, kuvvetli piezoelektrik ve piro elektriklenme gösterirler.

Ortoklas: Monoklinal sistemde kristallenir. Renksiz, beyaz, gri, açık gri nadiren sarıdır. Çizgi rengi beyaz, saydam- yarı saydamdır. Hidrotermal koşullar altında kaolinleşme ve serisitleşmeye uğrarlar.

Plajyoklaslar: Triklinik sistemde kristalleşirler. Renkleri değişik olabilir. Mesela, albit ve andezin beyaz, labrador gri ve mavimsi renklere sahiptirler. Sertlikleri 6-6.5 ve yoğunlukları 2.6-2.76 dır. Plajyoklaslar magmatik, metamorfik ve sedimanter kayaçlarda bulunurlar.

Biyotit: Monoklinik sistemde kristallenirler. Bileşimlerindeki Titan veya Demir'e göre değişik renkler gösterirler. Kahve ve yeşil renktedirler. Bileşenlerindeki Mg ve Fe oranına göre adlandırılırlar. Biyotit siyah mika olarak bilinir. Magmatik, Metamorfik ve Sedimanter kayaçlarda bulunabilen biyotitlerin sertliği 2,5-3, yoğunluğu 2-3 arasında değişmektedir.

Apatit: Hekzagonal sistemde kristalleşir. Renksiz veya çeşitli renklerde görülmektedir. Sarımsı yeşil, zeytini yeşil, mavi yeşil, mor, kiremit kırmızısı renklerde, apatite rastlamak olasıdır. Çizgi rengi beyazdır. Sertliği 5, yoğunluğu ise 3.16-3.22 arasında değişmektedir.

Epidot: Yeşil, sarı renklerde, bileşiminde Al yerini Fe aldıkça renkleri değişir. Sertliği 6, yoğunluğu ise 3.38-3.49 arasında değişmektedir. Camsı parlaklıktadır. Epidot mineralleri oldukça büyük bir parajenez de oluşurlar.

Amfiboller: Hem magmatik hem de metamorfik kayaların bileşenlerindedir. Sertlik 5.5-6. yoğunluğu ise 2.85-3.57, parlaklık camsı, renk gri-yeşilin çeşitli tonları, sarı, kahve, koyu kahve renktir. Saydam görünümlüdürler.

Muskovit: Beyaz mika olarak bilinir. Genelde renksiz olup, sarı, yeşil ve kırmızı olabilirler. Sertliği 2.5-3 yoğunluğu 2.76-2.88 arasında değişmektedir. Magmatik metamorfik ve sedimanter kayalarda bulunabilen muskovit, yaygın bir kayaç yapı minerali olarak bilinir.

c) Metamorfik kayaların mineral ve bileşenleri: Sedimanter kayalarla magmatik kayaların ara geçişini simgeleyen metamorfik kayalar, her iki grup kayaktan mineral toplulukları ve ayrıca aşağıda tanımlanan tali mineralleri içerirler.

Andaluzit: Kimyasal olarak susuz alüminyumlu bir silikattir. Ortorombik sistemde kristallenirler ve 7, bazen uzun kristalleri dörtgen çubuksu mineraller şeklinde belirirler. Sertliği yoğunluğu 3,1-3,3 gr/cm³ arasındadır.

Silimanit: Çok ince kristaller şeklinde bulunur. Bazen yelpaze şeklinde renksiz kristallerine de rastlanmaktadır. Sertliği 6-7 arasında değişir, yoğunluğu ise 3,2' dir.

Disten: Triklitik sistemde, uzun kristaller şeklinde kristallenirler. Sertliği 5-7 arasında değişir, yoğunluğu ise 3,6'dır.

Kordiyerit: Kimyasal olarak magnezyumlu kompleks bir silikattir. Ortorombik sistemde kristallenirler. Sertliği 7 ve yoğunluğu 2,6'dır.

Storodit: Alüminyum ve demir hidratlı karmaşık bir silikat bileşendir. Ortorombik sistemde kristallenir. Sertliği 7 ve yoğunluğu ise 3,5' dir.

Volastonit: Monoklinik sistemde kristallenen kalsiyumlu bir silikattir. Sertliği 5, yoğunluğu ise 2,9'dur.

Forsterit: Magnezyumlu bir silikattir. Ortorombik sistemde kristallenirler. Sertliği 3'tür.

Klorit: Sulu Al, Mg, Fe, alkali element içermeyen bir silikattir.

Serpantin: Olivin grubu minerallerin ayrışması sonucu oluşurlar. Yaprak ve lifli bir görünüme sahiptirler.

2.2. Dokunun Tanımlanması

Dokunun, kayaçların mekanik özelliklerinin anlaşılmasında büyük öneme sahip olduğu yapılan araştırmalarda (Ersoy ve Waller, 1995) ifade edilmektedir. Doku bir kayacı oluşturan bileşenlerin düzeni olarak tanımlanmaktadır (Ulusay, 1989). Doku petrolojik anlamda mineral tanelerinin boyutu, şekli ve uzaydaki dağılımı olarak tanımlanır ve kaya orijininin ve tektonik geçmişin bir ürünüdür. Williams ve ark. (1982) dokuyu, kayacın öğeleri arasındaki geometrik ilişkiler, örgü veya kristalleşme derecesi olarak ifade etmektedir.

Literatürde yapılan çalışmalar; doku araştırmalarının, genel olarak üç ana amaç doğrultusunda yapıldığını göstermektedir. Bunlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

1. Mineral dokularındaki simetri, geçmişte kayaçlar üzerinde oluşan deformasyonun simetrisi hakkında bilgiyi edinmek amacıyla,
2. Kayaçların fiziki anizotropisinin modellenmesi amacıyla, çünkü bütün mineraller, elastiklik, termal ve manyetik özellikler gibi fiziki özellikler düşünüldüğünde anizotropik özellik gösterdiği, özellikle hacimli kayaçların anizotropisinin dokuya bağlı olduğu belirtilmiştir (Ullemeyer vd., 2000).
3. Kayaçlardaki doku oluşumu süreçlerinin anlaşılması için kayma ve malzemelerin dağılması gibi fiziki işlemler, gerilme dağılımları, ısı, basınç gibi dış parametreler kayaç doku oluşumu üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Skirotzki, 1994).

2.2.1. Doku analiz yöntemleri

Literatürde, kayaçların doku yapılarını belirlemede kullanılan yöntemler aşağıda özetlenmiştir.

a) *Optik yöntemler:* Optik yön ölçümleri, minerallerin anizotropik optik özelliklerine dayanmaktadır. Kristal simetrisine dayanan özellikler n_α , n_β , n_γ (n : refractive index) eksenleri ile birlikte optik indikatris ile tanımlanmaktadır. Kübik

mineraller izotropiktir. Bunun için yön ölçümleri mümkün değildir. Trigonal, hexagonal ve tetragonal kristal sistemde ise bir optik eksen vardır. Orthorhombik, monoklinik ve triklinik mineraller iki optik eksene sahiptirler.

b) *Elektron dağılımı (diffraction)* : Elektron dağılımları kristal hedefe çarptığı zaman, elektronlar yüzeyin içine işlerler. Bu elektronların bir kısmı, atomların nükleusu ile etkileşime girmeleri nedeniyle yüksek bir açıyla yansır. Bu elektronların bazıları, hedef yüzeyinden orijinal enerjisine yakın bir enerji ile kaçmayı başarırlar. Bu kaçış sırasında, kristal hedefin atom düzenini yansıtırlar. Elektronların yüksek bir açıyla yansıma şiddetindeki değişim, elektronların dalgalar şeklinde düşünülmesiyle açıklanmaktadır (Joy vd., 1982).

c) *X-ray dağılımı* : X-ray dağılımı, atomların kabuk elektronları ile elektromagnetik saçılımının etkileşimine dayanmaktadır. Dağılım ölçümlerinin yapıyor olmasından itibaren bu tür ölçümler yapılabilmektedir. Mineral yüzeyinden geçen ve yansıyan x ışınlarının modunun ölçülmesiyle belirlenmektedir.

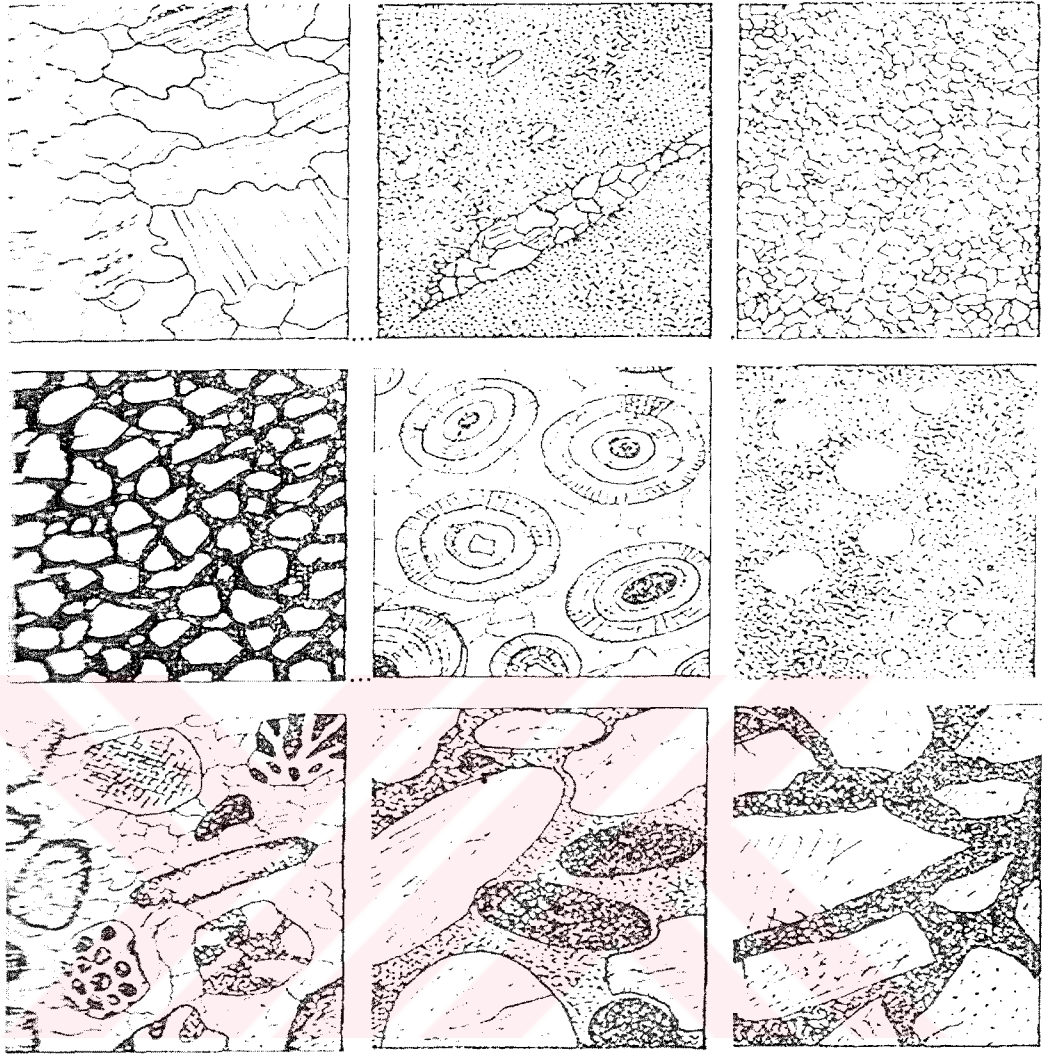
d) *Neutron dağılımı* : X-ray ile benzer şekilde ölçümler yapılmaktadır. Bu yöntemin en önemli özelliği düşük soğurmaya sahip olması ve daha hacimli numunelerin incelenebilmesidir.

2.2.2. Sedimanter, mağmatik ve metamorfik doğal yapı taşlarındaki genel doku türleri

Sedimanter, mağmatik ve metamorfik kayalarda bulunan doku türleri alt başlıklar halinde aşağıda özetlenmiştir. Ayrıca bu tür kayalarda görülmesi muhtemel doku türleri Şekil 2.1., Şekil 2.2. ve Şekil 2.3.' de şema halinde verilmiştir.

2.2.2.1 Sedimanter kayaların genel doku türleri

Sedimanter kütlelerin karakteristik dokularını incelediğinde; iri taneli (şekersi) doku, taneli doku, ince taneli doku, kumtaşı dokusu, oolitik doku, pelajik (killi) doku, zoojen, kalker çakıllı doku, puding doku, breş dokusu gibi doku türleriyle karşılaşılmaktadır. Şekersi doku, taneli doku ve ince taneli doku mermerlerde yaygın olarak görülen doku türleridir. Bu doku türlerinin mikroskop altındaki görünüşlerinin şematik ifadeleri Şekil 2.1.'de görüldüğü gibidir.



Şekil 2.1. Sedimanter kayaçlarda görülen genel doku görünümleri (Erguvanlı,1971)

2.2.2.2. Magmatik ve volkanik kayaçlardaki genel doku türleri

Mağmatik kayaçlar, mağmanın katılma derinliğine bağlı olarak derinlik kayaçları, yarı derinlik (damar) kayaçları ve yüzey (volkanik) kayaçlar olmak üzere üç grupta incelenir. Bu üç grup farklı dokular altında oluşurlar. Buna göre;

a) Derinlik kayaç dokuları: Aplitik doku, holokristalin (tüm kristalli) dokudur. Mağmatik asit kayaçlarda ince ve eş taneli bir doku türüdür. Mozoyik dokuda denilir.

Porfirik doku; mağmanın iki farklı zamanda kristalleşmesi sonucu oluşan bir doku türüdür. Bu dokuda, iri taneli kristaller orta ve ince taneli doku içinde bulunurlar.

Kataklastik doku, taneli kayaçların sonradan geçirmiş olduğu tektonik deformasyonlar sonucu, kristallerde çeşitli derecede kırılanma, boyutlarda küçülme ve diğer izler oluşur. Deformasyonun şiddetine bağlı olarak bu doku farklı derecelerde oluşur.

Tektonik doku, kayacın derin koşullarda katı halde deformasyon geçirmesi sonucu oluşur.

Yönlü (gnaysik) doku, türü de benzer deformasyonlar sonucu oluşur.

Monzonitik doku, bu alkali feldspat kristalleri içinde bol oranda idiomorf plajyoklas kristalleri kapanım halinde bulunur.

Elek doku, ultrabazik kayaçların serpantinleşmesi sonucu oluşan bir dokudur.

b) Yarı derinlik (Damar) kayaç dokuları: Aplit-Pegmatit doku, damar kayaçları olarak bilinen aplitlerde ince taneli mozayik doku izlenirken, pegmatitlerde iri taneli doku gözlenmektedir.

Porfir veya mikrotaneli doku, porfirik doku türündedir.

Lamprofirik doku, bazik bileşimli damar kayaçları olan lamprofirlerde izlenir.

Doleritik doku, gabronun yarı derinlik kayacı olan doleritlerde gözlenir. Bir tür ofitik dokudur.

Ofitik doku, diğer dokulardan farklı olarak dokuyu oluşturan plajyoklas kristalleri birbirine dokunmazlar. Ayrıca piroksen veya amfibol kristalleri de doku içinde yer alırlar.

c) Volkanik (Yüzey) kayaç dokuları: Afanitik doku, fenokristaller yok veya çok azdır.

Porfirik volkanik doku, volkaniklerde en yaygın olan doku türüdür. Kayaç üzerinde idiomorf kristaller çıplak gözle seçilebilir.

Mikrolitik porfirik doku, Fenokristaller içeren volkanik kayaçta hamur tamamıyla mikrolitlerden oluşur.

Hyalopilitik dokuda esas hamurdur. Hamurda cam ve mikrolit herhangi bir şekilde karışmıştır. Trakitik dokuya özellikler trakitlerde rastlanır. Bu doku içinde iri sanidin

fenokristallerini çevreleyen hamur yine tamamıyla sanidin mikrolitlerden oluşmuştur.

İntersertal dokuda esas hamurda mikrolitler birbirleri ile gelişigüzel grift bir doku gösterirler.

Pilotaksitik dokuda mikrolitler gelişi güzel bir şekilde dizilim gösterirler. Camsal madde az yada hiç bulunmaz.

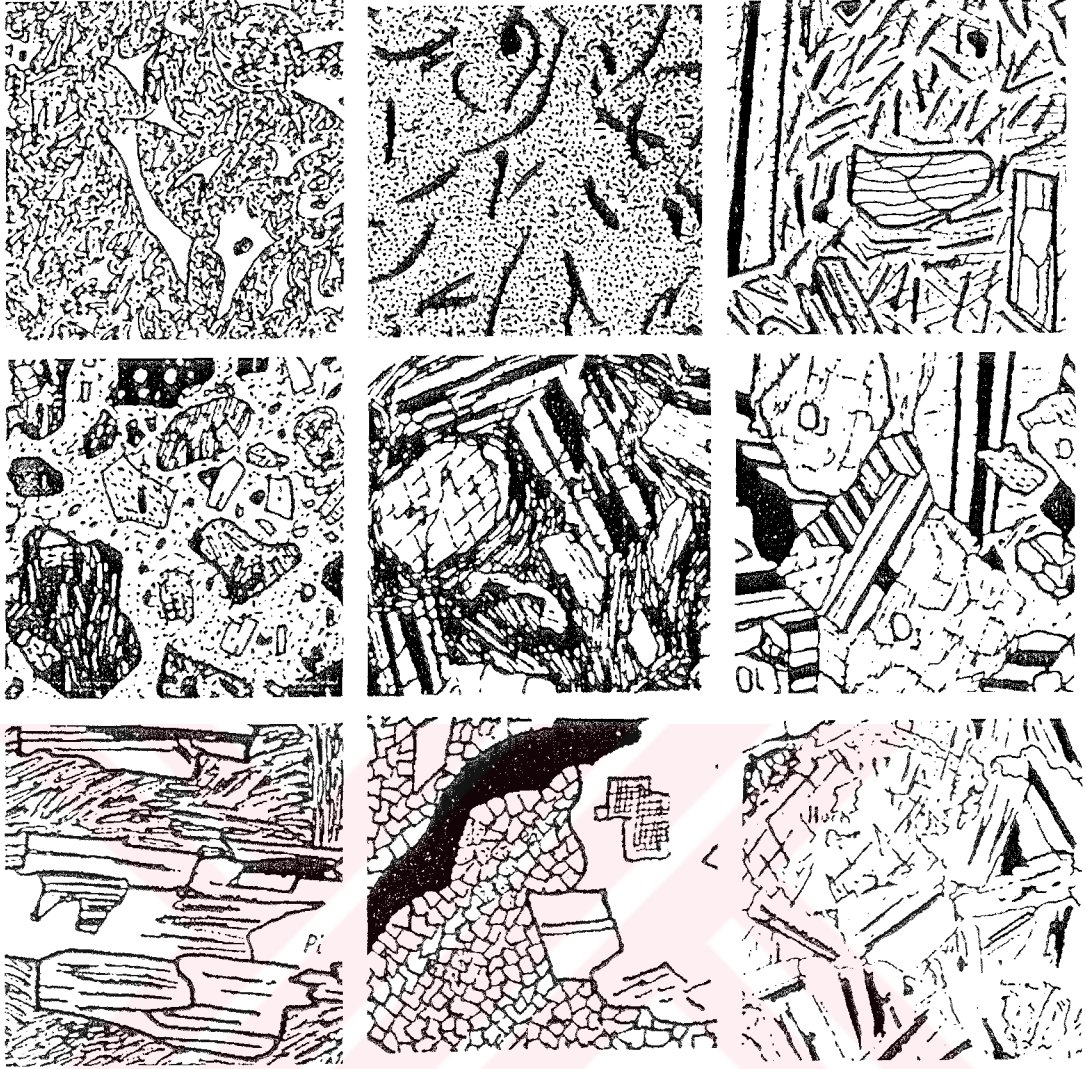
Vitrofirik doku içinde fenokristalleri çevreleyen camsal hamur koyu renkli bir görünüm arzeder.

Sferolitik doku, Kayaçta fenokristaller dışındaki hamurmaddesi az çok küresel yapılar altında ışınal görünümlü bir dokudur.

Perlitik dokuya volkaniklerde özellikle asit bileşimli ve genç lavlarda rastlanır. Bu lavlarda hamur içinde ani ve hızlı soğuma sonucu yuvarlak ve dairesel çatlaklar oluşur. Bu nedenle kayaç kolayca kürecikler halinde parçalanabilir.

Ponza ve sünger dokuya volkanik kayaçlarda rastlanır. Bu tür volkanik kayaçlar tüf adı altında toplanırlar. Bunlarda katılaşmaları sürecinde içindeki gazların çıkması sonucu bir takım küresel boşluklar kalır. Bu durum kayaca bir sünger yapısı verir.

Mağmatik kayaçlarda yoğun olarak görülen doku türleri aşağıda Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2. Mağmatik kayalarda görülen doku türleri (Uz,1992)

2.2.2.3. Metamorfik kayalardaki genel doku tipleri

Metamorfik kayalarda görülmesi mümkün olan genel doku türleri aşağıda özetlenmiş ve Şekil 2.3'de gösterilmiştir.

Granoblastik doku, mineralleri bazen eşit tane boyutludur.

Nematoblastik dokuda çubuksu kristaller çoğunlukta ve paralel konumdadırlar. Lepidoblastik dokuda, iri taneli, lamel veya yaprak şeklindeki mineraller az çok paralel konumda yönlü olarak dizilirler.

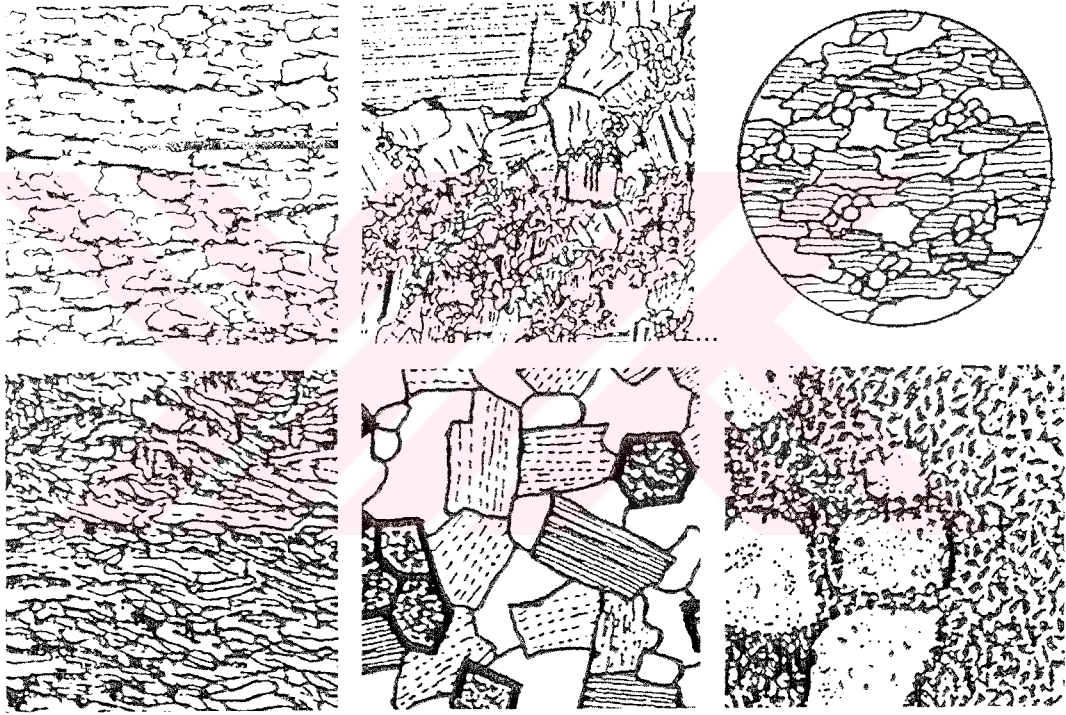
Granolepidoblastik dokuda mikalı ve taneli kısımlar ardışık seviyeler oluştururlar. Diablastik doku, ofitik dokuya benzerler. Mika grubu mineraller her yönde dizilirler.

Porfoblastik dokuda iri taneli mineraller, çevre minerallerin oluşturduğu doku ile ilişki içindedir.

Mortier dokuda mineraller kendi aralarında kırıklanma geçirerek aralarında ince taneli kırıntı mineralleri oluşturular.

Ultramilonitik dokuda, kayaç maruz kaldığı deformasyon sonucu tamamıyla ezilerek tane boyutu çok incelmıştır.

Blastomilonitik doku, deformasyon sonucu ezilen kayaçta yeni oluşan kristallerin mevcut olduğu doku türüdür.



Şekil 2.3. Metamorfik kayalarda görülen doku türleri (Uz, 1992)

2.2.3. Doku katsayısı kestirim yöntemleri

Aşağıda atıf yapılan kaynaklarda da belirtildiği üzere birçok doku katsayısı kestirim yöntemleri belirtilmiştir. Yoğun olarak kullanılan yöntemler aşağıda verilmiştir.

Howarth ve Rowlands (1986) tarafından gerçekleştirilen ve kayaç dokusunu tanımlayan "Doku Katsayısı" aşağıdaki eşitlikler yardımıyla belirlenmektedir.

$$TC = AW \times \left[\left[\left(\frac{N_0}{N_0 + N_1} \right) \times \left(\frac{1}{FF_0} \right) \right] + \left[\left(\frac{N_1}{N_0 + N_1} \right) \times AR_1 \times AF_1 \right] \right] \quad (2.1)$$

Burada;

TC= Doku katsayısı

AW= Paketleme (bağlanma) yoğunluğu

N_0 = Görünüm oranı 2'nin altında olan tane sayısı

N_1 = Görünüm oranı 2'nin üstünde olan tane sayısı

FF_0 = N_0 tanelerinin şekil faktörünün aritmetik ortalaması

AR_1 = N_1 tanelerinin görünüm oranlarının ortalaması

AF_1 = tane yönelimini ifade eden açı faktörüdür.

Doku katsayısı (Howarth ve Rowlands,1987) içinde sunulan bu özellikler, her kayaç numunesi için ayrı bir sayıyla temsil edilmektedir.

Kabaya ve Legge (1997) tarafından yapılan çalışmalar neticesinde doku tanımlaması ortalama tane boyut indeksi ile açıklanmıştır. Burada ortalama tane boyutunu belirlemek için ince kesit analizlerinden ortalama tane boyutu (OTBİ) ve geometrik ortalama tane boyut indeksi (GOTBİ) olmak üzere iki yaklaşım aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır. Burada;

$$OTBI = \frac{1}{100} \sum_{k=1}^n P_k \quad (2.2)$$

$$GOTBI = \frac{x_1}{2} \times P_1 + \sum_{k=2}^8 \left(\sqrt{x_{k-1} \times x \times P_k} \right) \quad (2.3)$$

OTBİ = Ortalama tane boyut indeksi

GOTBİ = Geometrik ortalama tane boyut indeksi

P = Toplam yüzde tane boyutu

k = Sınıflandırma aralık sayısı

2.3. Doğal Yapı Taşların Doku Özellikleri ile Fiziksel ve Mekanik Özellikleri Arasındaki İlişki

Kayaçların doku özellikleri ile fiziki ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkinin belirlenerek, kayaçların davranışları hakkında daha sağlıklı bilgi edinebilmek için çeşitli çalışmalar yapılmıştır ve bu tür çalışmalar teknolojiye gelişmelerle birlikte hız kazanmıştır.

Kayaçların mekanik davranışlarının belirlenmesinde dokusal özelliklerin büyük bir faktör olduğu belirtilmektedir (Özçelik, 2002). Burada belirtilen ana dokusal faktörler; tane boyu, tane şekli, tane yönelimi, tanelerin birbirlerine oranı ve matriks maddesidir.

Literatürde, kayaçların doku parametrelerinin, kayaçların mekanik ve fiziksel özellikleri üzerinde önemli bir etkisinin olabileceği bir çok araştırmacı tarafından ifade edilmektedir. Bu çalışmaların önemlileri aşağıda özetlenmiştir.

Kayaçların elmas tel ile mermer kesiminde, mineralojik ve petrografik özelliklerin etkisi üzerindeki çalışmasında, dokusal ve mineralojik özelliklerin doğrudan kayacın mühendislik davranışını etkilediğini söylemiştir. (Özçelik, 2002).

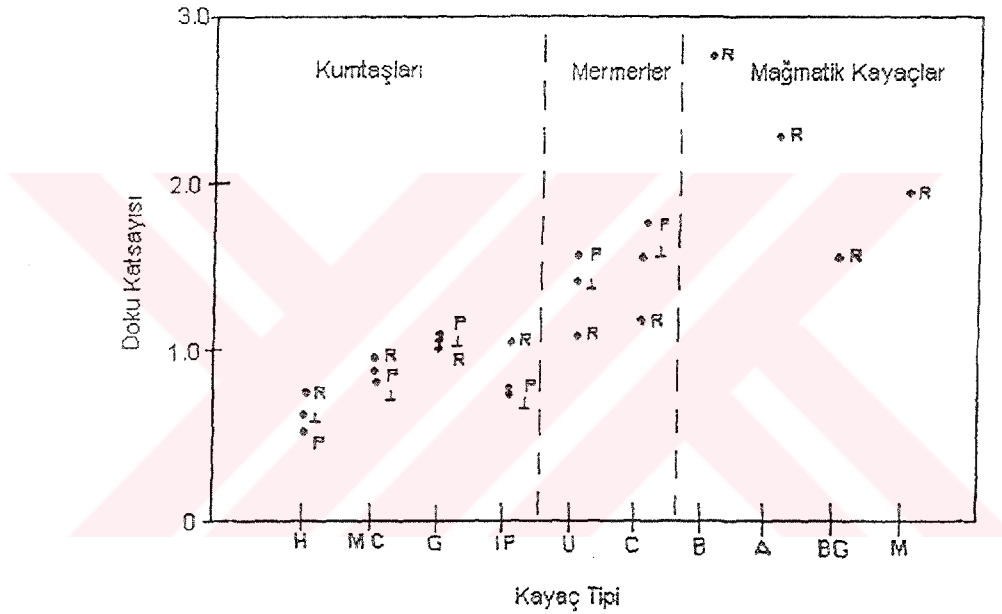
Lousbery ve West (1965) kireç taşlarındaki Los Angeles testlerini ve petrografik özellikleri çalışmış ve artan damar hacminin Los Angeles değerini azalttığını savunmuştur.

Kristal grafiklerinin yönelimleri, kayaçların en önemli örgü (fabric) elemanlarıdır. Dokular kaya örgülerinin gelişiminde ve kaya örgüsü gelişim mekanizması hakkında bilgi verirler (Leiss, vd., 2000). Ayrıca dokular anizotropik fiziki kaya özelliklerini kontrol ederler. Bununla birlikte, doku analizleri zordur. Çünkü, kayaçları oluşturan minerallerin çoğu düşük simetriye sahiptir ve kayaçlar genellikle çok evre içeriklidir. Doku analizleri için bir çok teknik ve yöntem geliştirilmiştir. Bu teknik ve yöntemler günümüz teknolojisi ile kolaylıkla uygulanabilmektedir.

Kayaçların dokusal özellikleri, kaya malzemesinden alınan ince kesitlerin incelenmesi sonucunda, kaya dokusunu oluşturan tanelerin ve matrikslerin özelliklerinin birlikte düşünülerek ortaya çıkan özellikleridir. Uzun yıllar boyunca kayaçların dokusal özellikleri üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu alandaki en

önemli adımlardan biri ise 1987 yılında Howarth ve Rowlands tarafından ortaya sürülen doku katsayısı (texture coefficient, TC) ile ortaya çıkmıştır. Bu katsayının öne sürülmesini takiben çeşitli araştırmacılar tarafından TC (Bkz. Eşitlik 1) ile kayaçların mekanik ve fiziksel özellikleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Literatürde bulunan bu çalışmalarda, TC ile bazı mekanik parametrelerin arasındaki ilişkiler genel olarak doğrusal korelasyonunun varlığına dayandırılarak araştırılmıştır (Öztürk ve Nasuf, 2002).

Howarth ve Rowlands doku katsayısını kayacın dayanım özelliklerini belirlemede bir ön araç olarak kullanmışlar ve kayaç tipine bağlı doku katsayısı değerlerini hesaplamışlardır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Bazı farklı kayaç türlerinin doku katsayısı değerleri (Howarth ve Rowlands, 1987)

Howarth ve Rowlands (1986; 1987) tarafından yapılan çalışmada, sondaj makinesinin ilerleme hızı, tek eksenli basınç dayanımı, çekme dayanımı ve statik elastisite modülü ile TC arasındaki ilişkiler 10 farklı kayaç türü için incelenmiş ve elde edilen sonuçlar doğrusal regresyon analizi ile değerlendirilerek genelde yüksek korelasyona sahip ilişkiler bulunmuştur.

Azzoni vd, 1996 tarafından yapılan çalışmada ise kayaçların tek eksenli basınç dayanımları ve aşınma dayanımları ile TC arasındaki ilişkiler farklı kayaç türleri için incelenmiş ve dokusal özellikler ile adı geçen mekanik parametreler arasındaki ilişkilerin değişimi hakkında yorumlar yapılmıştır. Ersoy ve Waller (1995), tarafından yapılan çalışmada farklı kayaçların TC değerleri ile farklı mekanik ve fiziki özellikleri arasındaki ilişkileri araştırmışlardır. Ayrıca, Adriani ve Walsh (2002) tarafından, zayıf ve gözenekli kayaçların fiziki ve doku parametreleri nitel ve nicel değerlendirmeler yoluyla aralarındaki ilişki belirlenmeye çalışılmıştır.

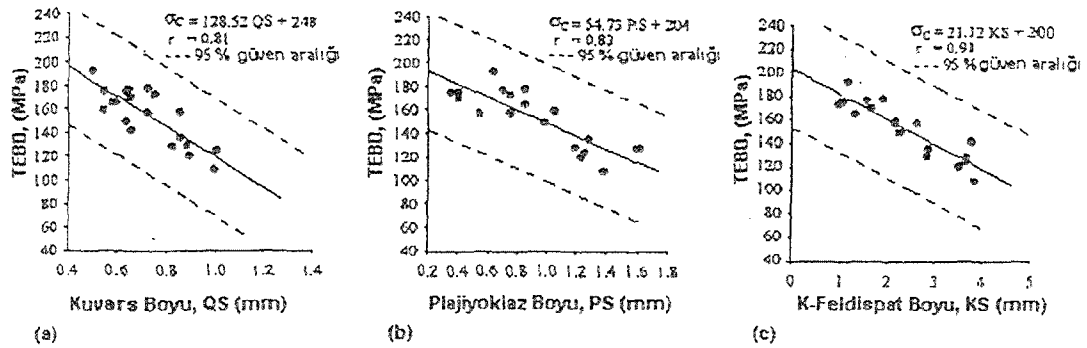
Howarth ve Rowlands (1987) delinebilirlik ve kaya dayanımına etki eden dokusal özelliklerin tane boyutu, tane şekli, tanelerin kenetlenme dereceleri, porozite, tanelerin yönelimi ve tane sınırlarının yapısı olduğunu savunmuşlardır.

Ollson (1974) kayaç stres alanının, ana tane boyutunun karekökünün tersiyle lineer arttığını belirlemiştir. Hugman ve Friedman (1979) ve Onodera ve Kumara (1980) tarafından benzer sonuçlar rapor edilmiştir.

Bell (1978) kayaç içerisinde tanelerin yoğunluğunu dayanım özellikleri ile ilişkilendirmiştir.

Tipik mağmatik kayaçların, mineralojik ve dokusal özellikleri bu tür kayaçların yüksek dayanım ve elastik deformasyon özelliği göstermesine neden olmaktadır (Johnson ve De Graff, 1988). Birçok araştırmacı, tane boyunun mekanik özellikler üzerine etkisini çalışmış ve genelde kayaçların dayanımının, ince taneli kayaçlarda daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Onodera ve Kumara (1980), mağmatik kayaçlarda tane boyunun artmasıyla, dayanımın önemli ölçüde azaldığını belirtmiş ve tane boyu ve dayanım arasında doğrusal bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur (Tuğrul ve Zarif, 1999).

Yine Tuğrul ve Zarif (1999) tarafından yapılan tek eksenli basınç dayanımı ve ortalama tane boyu arasındaki ilişkinin incelenmesinde ise, küçük tane boyunun yüksek dayanımının ana sebebi olduğu ortaya konulmuştur ve Şekil 2.5'de Ortalama mineral tane boylarına karşılık tek eksenli basma dayanımı ilişkilerini vermişlerdir.



Şekil 2.5. Ortalama mineral tane boylarına karşılık tek eksenli basma dayanımı ilişkileri (Tuğrul ve Zarif, 1999)

Onodera ve Kumara (1980), Ehrlich ve Weinberg (1970) tarafından geliştirilen bir pürüzlülük katsayısını kullanarak yapmış oldukları çalışmada tane şeklinin kaya dayanımında ve çatlak gelişimi arasında bir ilişkinin söz konusu olabileceğini ileri sürmüşlerdir.

Hoek (1965) metamorfizma geçirmiş sedimanter kayalarda ve volkanik kayalarda çimentolaşmanın iyi olduğunu ve tanelerin sıkı yığıldığını, tanelerin birkaç şekilde kenetlenmiş olabileceğini belirterek çatlakları geliştirmek için gerekli gerilimin sağlanmasında tane kenetlenmesinin önemli bir artışa sebep olduğunu vurgulamıştır.

H. Dürrast ve Siegesmund (1999) mekanik özellikler ve kaya örgüsü arasındaki ilişkiler için ana örgü tipinin anlaşılması gerektiğini savunmuşlardır. Bu örgü tipleri; kaya bütünü oluşturur en önemli şeyler (fosiller, ooidler, peloidler ve kristaller). Farklı gözenek tipleri ve bunların yerleri ve mesafeleri. Çatlak ve kırıklardır.

U. Akesson ve ark.(2001) kaya dokusunun bir kayacın mekanik özelliklerinin anlaşılmasında çok önemli olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca bir kayacın mekanik özelliklerinin kayacın dokusuna, yapısına ve havaya bağlı olduğunu farklı doku özelliklerine sahip olan fakat aynı mineralojik özelliklere sahip olan kayaların mekanik özelliklerinin değişebileceğini anlatmışlardır.

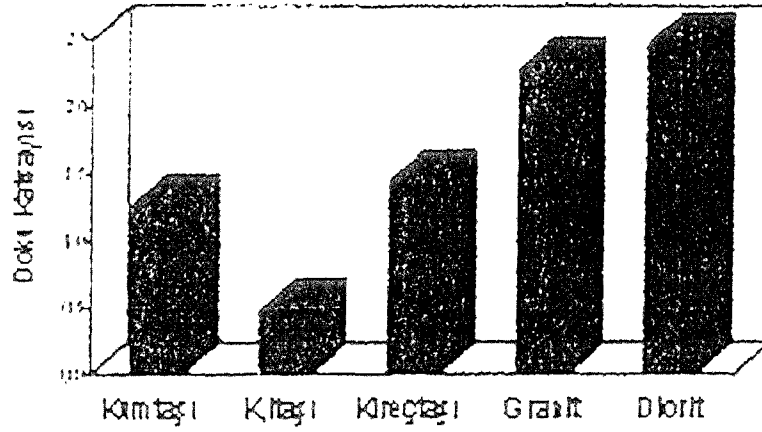
Granitik kayalar, değişen mineralojileri, petrografik karakteristikleri ve mühendislik özelliklerine göre geniş kayaç tiplerini içerirler. Birçok araştırmacı optik mikroskopi kullanarak, granitik kayaların dokusal ve mineralojik özelliklerini

belirleyebilmek için petrografik teknikler geliştirmişlerdir. Bu tekniklerin çoğu, kayaçların bozunma derecesini nicelemek üstüne yoğunlaşmıştır. Mekanik özelliklerdeki büyük farklılıklar, granitik kayaçların petrografik karakteristiklerindeki değişikliklerle açıklanmaya çalışılmıştır. Mekanik özellikleri etkilediği bilinen petrografik karakteristikler; tane boyu, tane şekli, bağlanma derecesi, kristal tanelerin birbirine bağlanma türü ve mineralojik bileşim olarak belirtilmektedir (Mendes ve ark, 1966).

Kayaçların mekanik davranışlarının, mikro yapılarla ilişkisinin daha iyi anlaşılabilmesi için Willard ve Mc Williams (1969) tarafından petrofabrik teknikler geliştirilmiştir. Mikro kırıkların, tane sınırlarının, mineral yarıklarının ve ikizlenme yüzeylerinin kayacın nihai dayanımını etkilediği ve zayıf yüzey gibi davranacağını belirtmişlerdir (Tuğrul and Zarif, 1999).

Tuğrul ve Zarif (1999) tarafından yapılan bir çalışmada, Türkiye'nin çeşitli yörelerindeki granitik kayaçların petrografik karakteristiklerinin, fiziksel ve mekanik özelliklerle ilişkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada fiziksel ve mekanik özelliklerin, kayacın mineralojik ve dokusal karakteristiklerinin bir fonksiyonu olduğu ve kayacın çekme dayanımı ve tek eksenli basma dayanımının bileşim, doku ve tane boyu faktörleriyle kontrol edildiği ortaya konulmuştur. Bununla birlikte, Tuğrul ve Zarif (1999), petrografik karakteristiklerin mühendislik özelliklerine etkisini belirlemek üzere yaptıkları çalışmada, mineralojik bileşimin, kayaç dayanımını kontrol eden ana faktörlerden birisi olduğunu, kuvars ve feldspat içeriği değişimine bağlı olarak ortaya koymuşlardır.

Ersoy ve Waller (1995) sedimanter ve mağmatik kayaçları örnek olarak alarak bu numunelerin dokusal ve mineralojik özelliklerini tanımlayıp, doku katsayısını hesaplayarak doku katsayısının delinebilirlik üzerindeki etkilerini incelemiştir. yine aynı çalışmada kayaçların mekanik özellikleri ile doku katsayısı arasındaki ilişkiyi de araştırmışlardır. Yapılan çalışmalara göre ise sedimanter kayaçların orta-düşük doku katsayısı değerine sahipken mağmatik kayaçların yüksek doku katsayısı değerine sahip olduklarını savunmuşlardır ve kayaç türlerine karşı doku katsayısı grafiğini Şekil 2.6' da tanımlamışlardır.

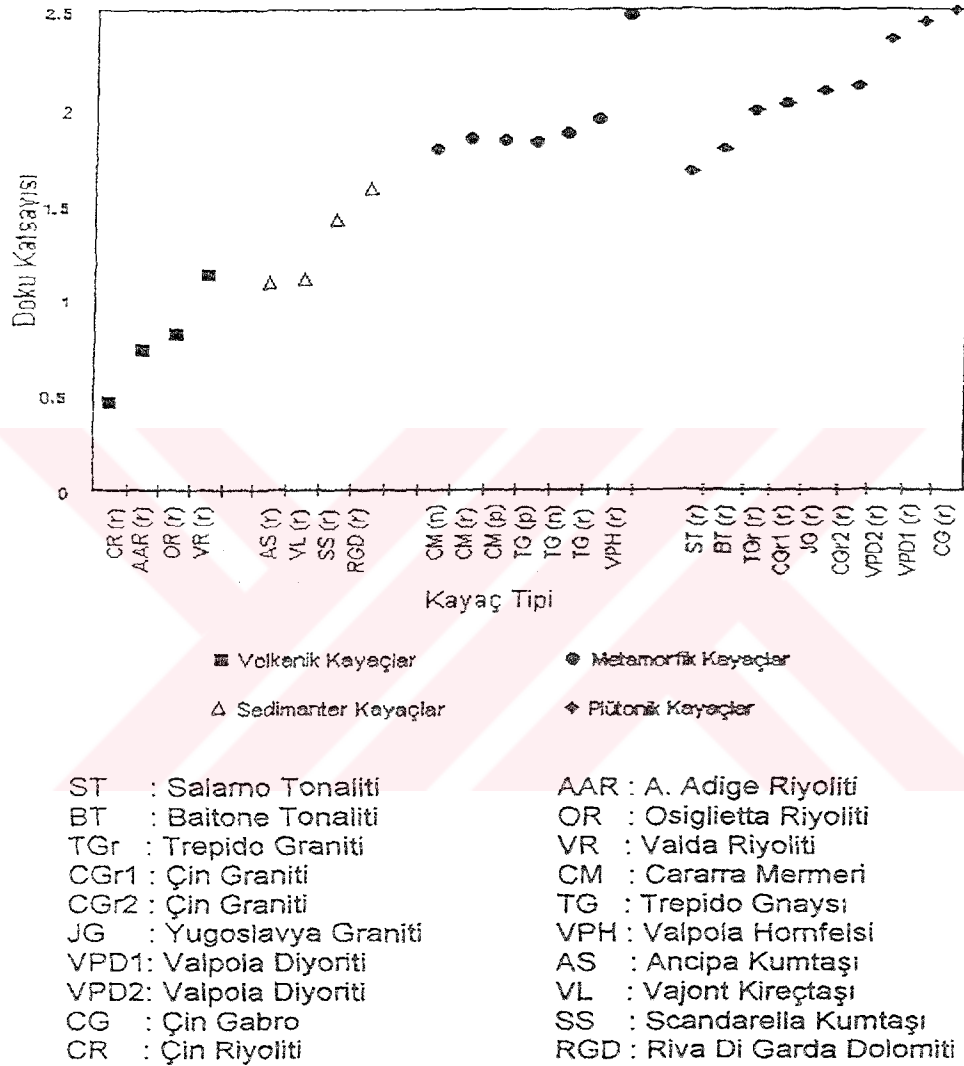


Şekil 2.6. Doku katsayısının kayaç türlerine karşı grafiği (Ersoy ve Waller,1995)

Ersoy ve Waller (1995) Kayaçların doku özellikleri ve mekanik özellikleri arasında anlamlı bir ilişkinin var olduğunu belirtmiştir. Fakat veriler arasında her durumda kuvvetli bir ilişkinin olmadığını ifade etmişlerdir. Örneğin yapılan çalışmalarda kumtaşı, kireçtaşı, granit ve diyoritten oluşan kayaç türlerini birbirleri ile karşılaştırmış bu kayaç türlerinin doku katsayılarının birbirlerine yakın doku katsayısı değerlerine sahip olmalarına rağmen kumtaşı ve kireçtaşı grubunun daha düşük dayanım özellikleri gösterdiği gözlenmiştir. Yine aynı çalışmada Ersoy ve Waller doku katsayısının belirlenmesinde kayaç bileşenlerinin sertliklerinin, taneler arası bağ yapısı ve derecesinin, çimentolaşma derecesinin hesaba katılmamasının doku katsayısının tek başına kayaç özelliklerini belirlemede yetersiz kalacağını söylemişlerdir. Fakat kaya özelliklerinin tahmininde kullanılabileceğini anlatmışlardır.

Lazzarini ve Tabasso (1986)'da yaptıkları çalışmalarında kayaç üzerindeki fiziksel bozma işlemleri sırasında kayaç içerisinde mikro çatlakların oluştuğunu, bunun ise yeni tanelerin meydana gelmesine yol açtığını, dolayısıyla tane profilinde değişime yol açtığını anlatmışlardır. Buna göre kayaç dokusunun özellikle tane boyunu ve pürüzlülüğü etkilediğini söylemişlerdir. Bu çalışmanın takibinde 1996'da Azzoni ve ark. tarafından yapılan çalışmada bozunmaya karşı doku katsayısı değeri incelenmiş ancak doku katsayısında düzenli bir düşüş eğilimi göstermemiştir. Bu sebeple, doku katsayısının bozunmayı gösterecek etkili bir parametre olarak düşünülmeceği belirtilmiştir.

Azzoni ve ark. (1996)'da yaptıkları çalışmalarında farklı litolojik özelliklere sahip 20 kayaç numunesi üzerinde yaptıkları ince kesit çalışmaları sonucunda doku katsayısı değerlerini büyükten küçüğe sırasıyla mağmatik, metamorfik ve sedimanter kayaçlar olarak bulmuşlar ve Şekil 2.7'de grafik olarak sunmuşlardır.



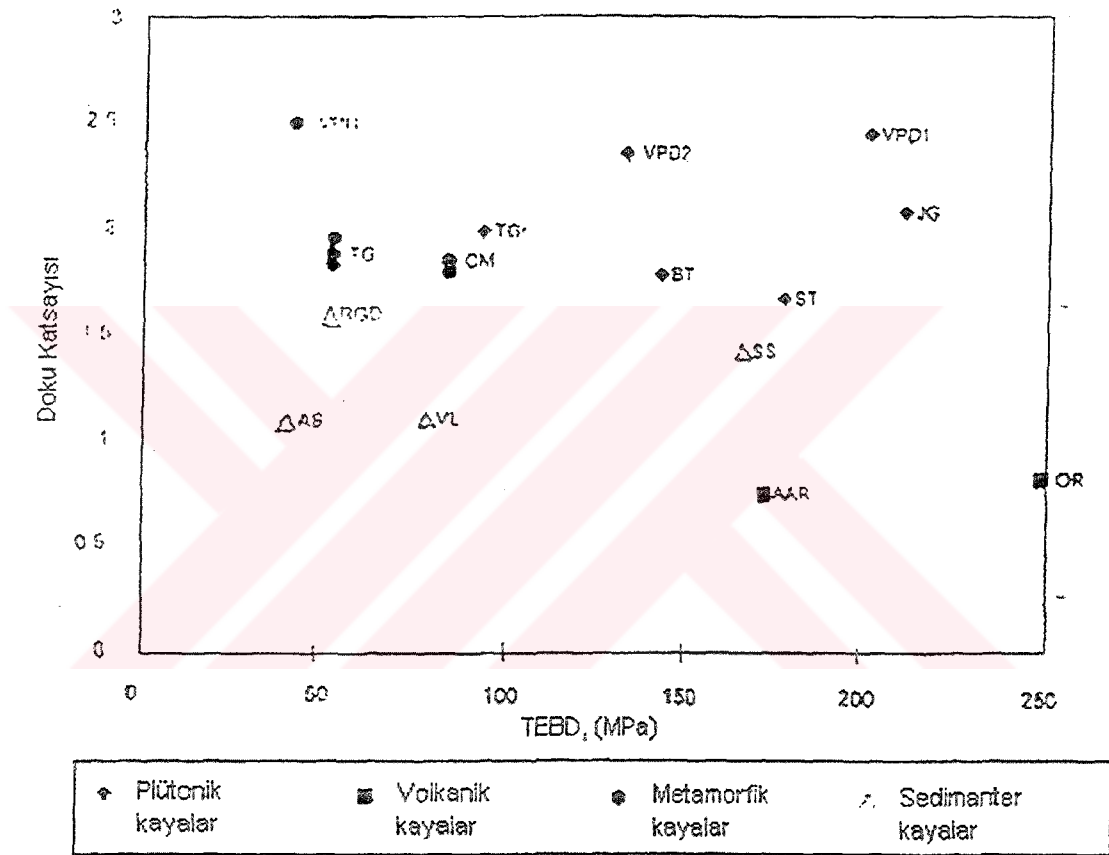
Şekil 2.7. Kayaç türlerine karşı doku katsayısı değerleri (Azzoni ve ark.,1996)

Howarth ve Rowlands (1987), kayaçların doku katsayısı ve bu kayaçların mekanik performansları (delme hızı, çekme ve basma dayanımı, elastisite modülü vs.) arasında doğrudan ilişki bulmuşlardır. Mağmatik kayaçların yüksek doku katsayısına ve mekanik dayanım değerlerine sahip olduğunu belirtirken, kumtaşlarının düşük değerlere sahip olduğunu belirtmişlerdir. Mekanik özellikler ve

doku katsayısı değerleri açısından mermerin bu iki kayaç tipi arasında olduğunu bulmuşlardır.

Azzoni ve ark. (1986) tarafından yapılan çalışmalarda ise granit, kumtaşı ve mermer için doku katsayısı ve tek eksenli basınç dayanımı (TEBD) değerleri arasındaki doğrusal ilişki Şekil 2.8'de görülmektedir.

Polat (2003) doku katsayısını kullanarak mermerlerin elmas tel ile kesiminde dokusal özelliklerin etkisini incelemiştir.

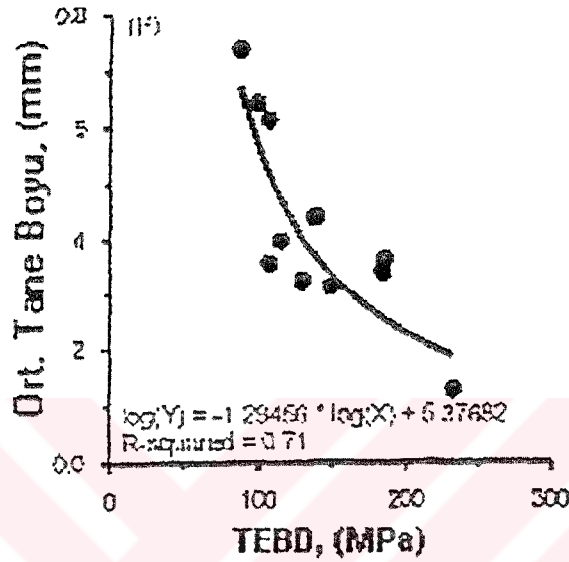


ST : Salerno Tonaliti
 BT : Baitone Tonaliti
 TGr : Trepido Graniti
 JG : Yugoslavya Graniti
 VPD1: Valpola Diyoriti
 VPD2: Valpola Diyoriti
 SS : Scandarella Kumtaşı
 RGD : Riva Di Garda Dolomiti

AAR : A. Adige Riyoliti
 OR : Osiglietta Riyoliti
 CM : Cararra Mermeri
 TG : Trepido Gnaysı
 VPH : Valpola Hornfelsi
 AS : Ancipa Kumtaşı
 VL : Vajont Kireçtaşı

Şekil 2.8. Kayaç türlerine karşı doku katsayısı değerleri (Azzoni ve ark., 1996)

Prikryl (2001), mineralojik özellikleri bakımından birbirlerine benzeyen kayaç grupları ile çalışmış ve tane boyutu ile tek eksenli basma dayanımı arasında bir ilişkinin varlığından bahsetmiştir. Kayaçların tek eksenli basma dayanımı, kayaç oluşturan minerallerin tane boyunun küçülmesiyle artmaktadır (Şekil 2.9). Bu ilişkinin bütün önemli kayaç oluşturan mineraller için geçerli olduğu belirtilmektedir.



Şekil 2.9. Ortalama tane boyu ile tek eksenli basma dayanımları arasındaki ilişki (Prikryl, 2001)

Kabeya ve Legge (1997) tarafından yapılan çalışmalar neticesinde doku tanımlaması ortalama tane boyut indeksi ile açıklanmıştır. Burada ortalama tane boyutunu belirlemek için ince kesit analizlerinden ortalama tane boyutu (OTBİ) ve geometrik ortalama tane boyut indeksi (GOTBİ) olmak üzere iki yaklaşım kullanılmıştır.

Ünal ve Ünver (2002) yaptıkları çalışmalarında, kayaçların tane boyutu ile pürüzlülük arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Mineral tane boyutlarını tanımlamada ortalama tane boyut indeksi (OTBİ) ve geometrik ortalama tane boyut indeksi (GOTBİ) parametrelerini kullanmışlar ve tane boyutu ile pürüzlülük arasında bir ilişki olabileceğinden bahsetmişlerdir.

Kekeç, Ünal ve Şensöğüt (2004), yapmış oldukları çalışmada numunelerin doku tanımlamasında, OTBİ kullanılmışlar ve OTBİ ile aynı oluşuma sahip

malzemelerin kırılma ve öğütülebilme özellikleri arasında bir ilişkinin varlığından bahsetmişlerdir.



BÖLÜM III

MALZEME VE YÖNTEM

Bu bölümde, çalışmada kullanılan kayaç numuneleri, bu numunelerin deney standartlarına getirilmesi ve deneysel çalışmalarda kullanılan yöntemler anlatılmıştır.

3.1. Kullanılması Planlanan Kayaç Türleri

Bu tez çalışmasında; kullanımı çok eskilere dayanan ve hala günümüzde geniş kullanım alanına sahip, estetik görünümlü, mevcut rezerv durumu oldukça iyi ve çalışmalarımız sırasında numune ihtiyaçlarımızı kolaylıkla karşılayabileceğimiz kadar yaygın olarak bulunabilen, aynı tür olan fakat petrografik özellikler bakımında farklılıklar gösteren doğal yapı taşları kullanılmıştır.

Konya ve yakın çevresindeki, tarihi eser ve diğer yapılarda kullanılmış, bugün de hala kullanılmakta olan birçok doğal taş ocağı vardır. Bunlar genellikle kalker (kireçtaşı), traverten, dasit çeşitleri ve tüf cinsi taşların çıkartıldığı taş ocaklarıdır. Çalışmamızda kullanılan kayaç örneklerinden olan ve Konya' da Sille bölgesinden çıkarılan dasit türü kayaçlar oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir. Yine yaygın bir kullanım alanına sahip olan Ankara andezitleri Konya ve yöresinde büyük bir pazara sahip olmuştur.

Bu çalışmada kullanılan örnek kayaçlardan bir diğeri olan traverten, gerek yaygın bulunan rezervi gerek kullanım alanlarının çokluğu gerekse ekonomik olması bakımından en çok kullanılan doğal yapı taşı olarak değerlendirilmektedir. Konya merkezine 20-25 km uzaklıkta Gödene civarındaki traverten ocaklarından çıkartılan açık ve koyu bej renkli travertenler tarihi eserlerde kullanılmış ve günümüz yapılarında da kaplama taşı olarak kullanılmaktadır. Ayrıca Konya ve yöresinde kullanılan en yaygın traverten türlerinden birisi olan ve Mut sınırları içinden temin edilen Mut traverteni günümüz yapılarında dış mekan kaplaması olarak oldukça yaygın bir kullanıma sahiptir.

Çalışmada kullanılan diğer kayaç türlerinde olan mermer türleri, Afyon, Muğla mermeri, Bursa ve Yozgat bej mermerleridir. Bu mermer türleri hemen hemen Konya' da bulunan her atölye tarafından işlenilmekte olup çoğunlukla stok halindedir. Kullanılan granit örnekleri ise Aksaray ili sınırlarında üretilen Anadolu gri, Kırşehir ili sınırlarında üretilen Kırçiçeği ve Kaman Rosa olarak adlandırılan çeşitlerdir. Bu pazar adlarıyla tanıtılan granitler yurtiçi ve yurtdışında yoğun olarak kullanılmaktadır.

3.2. Numunelerin Hazırlanması

Çalışmada kullanılan ve yukarıda bahsedilen kayaç türleri çıkarıldıkları işletmelerden ve işlem gördükleri fabrikalardan Maden Mühendisliği bölümü laboratuvarına taşınarak deneysel çalışmalar için standart boyutlara getirilmişlerdir.

3.2.1. Petrografik analizlerde kullanılan numunelerin hazırlanması

İnce kesitler, değişik türde (magmatik, metamorfik, sedimenter) kayaç örneklerinden alınan numunelerden, jeoloji mühendisliği bölümü incekesit-parlatma laboratuvarında hazırlanmıştır.

3.2.2. Doğal yapı taşı bloklarından düzgün şekilli numunelerin elde edilmesi

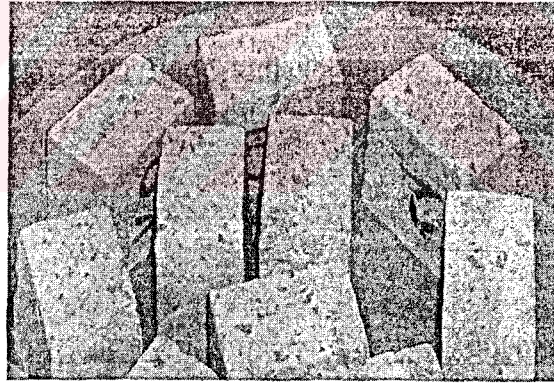
Çalışma kapsamında yapılacak olan gerek mekanik deneyler için gerekse petrografik analizler için araziden ve işletildiği fabrikalardan alınan düzgün şekilli olmayan blok numuneler blok kesme makinesi, karot alma makinesi ve numune kesme ve parlatma cihazı ile istenilen boyut ve şekillere getirilmiştir. Fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlenmesi için kullanılan, ISRM (1981) deney standartlarına uygun numunelerin hazırlanması ve özellikleri hakkında aşağıda alt başlıklar halinde kısa bilgiler verilmiştir.

3.2.3. Fiziksel özelliklerin belirlenmesi için kullanılan deney numunelerinin hazırlanması

Deneysel çalışmalarımızda kullandığımız ISRM (1981) deney standardına göre fiziksel özelliklerin belirlenmesinde kullanacağımız numuneler düzgün şekilli ve belirli boyutlu hale getirilmiştir.

a) Yoğunluk, gözeneklilik ve nem içeriği belirleme deneyi numunelerinin hazırlanması

Kullanılan örnek kayaçların mineral tane yoğunluğunu belirleyebilmek için gerekli olan 200 µm altı numuneyi hazırlayabilmek için önce numune çeneli kırıcıda boyut küçültme işlemine tabii tutulduktan sonra bilyeli değirmende öğütülmüş ve istenilen fraksiyona getirilmiştir. Gözeneklilik (porozite) ve nem içeriği belirlemek için ise, herbir numuneden numuneyi temsil eden 5×5×3 boyutlarında düzgün prizma şekilli numuneler kesilmiş ve yapılan deneylerde kullanılmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Gözeneklilik ve nem içeriği deneyi numuneleri

b) Sertlik belirleme deneyi numunelerinin hazırlanması

Kaya sertliği belirleme deneyi araziden ve numunenin işlem gördüğü fabrikadan gelen düzgün yüzeyi blok örnekleri üzerinde yapılmıştır.

3.2.4. Mekanik özelliklerin belirlenmesi için kullanılan deney numunelerinin hazırlanması

Bu tez çalışmasında; 4 farklı deney için 12 farklı kayaçtan yaklaşık 600 adet numune hazırlanmıştır. Numunelerin hazırlanması ile ilgili aşağıda kısa bilgiler verilmiştir.

a) Tek eksenli basma dayanımı deney numunelerinin hazırlanması

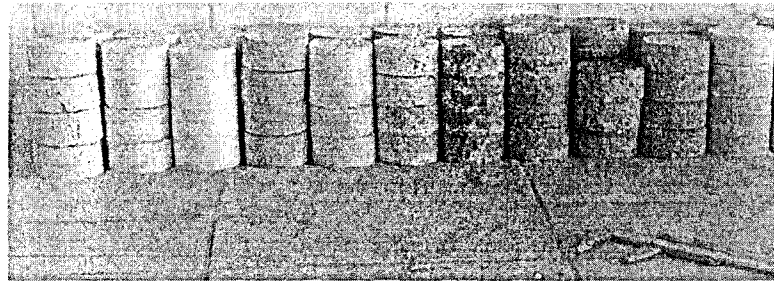
Bu tez çalışmasında tek eksenli basma dayanımı deneyi için standart koşulları sağlayan, her bir numuneden 8'er adet olmak üzere 54 mm çapında 140 mm boyunda numuneler hazırlanmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi numuneleri

b) Dolaylı çekme (Brazilian) dayanımı deney numunelerinin hazırlanması

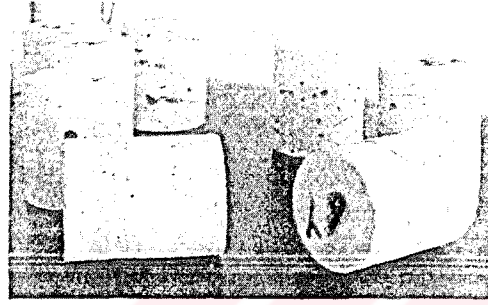
Bu tez çalışmasında kullanılmak üzere endirekt çekme dayanımı deneyi için yine ISRM (1981) standartlarına uygun olmak üzere kalınlığı çapının yarısı kadar olmak üzere (54*27 mm) her bir numuneden 8'er adet hazırlanmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Dolaylı çekme dayanımı numuneleri

c) Nokta yükleme indeks deneyi numunelerinin hazırlanması

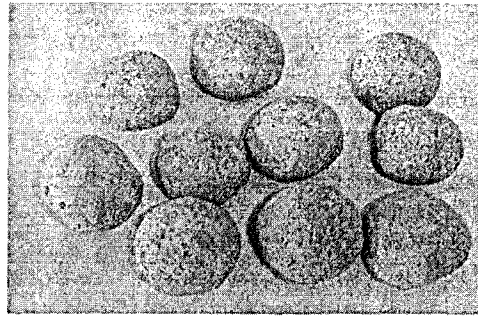
ISRM (1981)'in önerdiği nokta yükleme deneyi numuneleri çapsal ve eksenal deneyler için silindirik Şekilli numuneleri ve parça deneyler için düzgün olmayan Şekilli numuneleri önermektedir. Bu tez çalışmasında her bir örnek kayaçtan 42mm çapında ve 50mm boyunda 8'er adet numune hazırlanmış ve çapsal deneyler yapılmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Nokta yükleme dayanımı deneyi numuneleri

d) Suda dağılma dayanımı indeks deneyi numunelerinin hazırlanması

Bu deney için ISRM (1981) tarafından önerilen numuneler kullanılmıştır. Bu öneriye göre her bir örnek kayaçtan 10'ar adet yaklaşık kre Şekilli numuneler hazırlanmıştır. Her bir numunenin ağırlığı 45-60 gr ağırlığında toplam ağırlık ise 450-500 gr olacak Şekilde ayarlanmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Suda dağılma dayanım deneyi numuneleri

e) Kırılma ve ufalanma deney numunelerinin hazırlanması

Numuneler, yaklaşık olarak 15 cm x 10 cm x 8 cm boyutlarındaki kayalardan, el çekici ile, laboratuvar ölçekli çeneli kırıcıya uygun olacak şekilde parçalara ayrılarak elde edilmiştir. Hazırlanan numune parçaları kırıcıya atılarak belirli aralıklarda kırılmış ve daha sonrada öğütülmüştür. Ayrıca kırılma özelliklerinin yanı sıra daha önceden çeneli kırıcıda kırduğumuz ve elde ettiğimiz ürünler arasından +4 mm ve +2 mm fraksiyonundaki malzemeler alınarak her biri 200 gr olacak şekilde farklı numune adedi kadar beslenmiş ve her biri 30 dakika süre ile öğütme işlemine tabii tutulmuştur ve öğütülebilme çalışmaları için gerekli numune elde edilmiştir.

3.3. Çalışmada Kullanılan Yöntemler

Bu tez çalışmasında kullanılan yöntemler aşağıda alt başlıklar halinde kısaca açıklanmıştır.

3.3.1. Doku analiz yöntemi

Bu amaçla seçilen kayaların ince kesitleri alınarak laboratuvar petrografik mikroskop ile dokuları araştırılmış, tane boyutları ve dağılımları tespit edilip, içerdikleri minerallerin çeşitleri ve yüzdeleri çizelgeler ve tablolarla gösterilmiştir.

Petrografik analizler için bir çok teknik ve yöntem kullanılmaktadır. Bu çalışmada, optik yöntem kullanılmıştır. Optik yöntemlerle bir kayacı tanımlayabilmek için bir çok önemli parametre kullanılır. Bunlar; renk, pleokroizma, kristallerin şekilleri, zonlanma, kapanım, ikizlenme, alterasyon, sönme açısı, röliyef, dilinim ve çatlaklanma gibi parametrelerdir. Bütün bu parametrelere bağlı olarak kayaç numunesinin petrografik ve mineralojik özellikleri tayin edilebilmektedir.

Optik mineralojide, mineralleri tanımaya çalışırken alet olarak özel bir mikroskop kullanılmaktadır. Bu mikroskobun olağan mikroskoplardan farkı polarizör ve analizör adı verilen iki nikol prizması kapsamasıdır. Bu nedenle bu mikroskoba polarizan mikroskop adı verilmiştir. Polarizan mikroskobu ilk defa 1834 yılında Talbot tarafından yapılmış, teknik ilerledikçe günümüze dek bir çok özel

amaçlar için mikroskoplar yapılmıştır. Minerallerin polarizan mikroskopta tayin edilmeleri klasik mineralojik inceleme yöntemlerinden birini teşkil etmektedir. Bugün yeni ve geliştirilmiş birçok yöntemin varlığına rağmen mikroskopta yapılan incelemeler öneminden hiçbir şey yitirmemiş, ayrıca modern ve çok üstün vasıflara sahip mikroskopların imal edilmesi ile bu tür incelemeler daha mükemmel bir şekilde yapılmaya başlanmıştır. Polarizan mikroskop ile yapılan incelemeler ile minerallerin tayin edilmesi, bunların kimyasal bileşimlerine bir yaklaşımda bulunulması, kayaçların mineralojik bileşimlerinin, yapı/doku, kristalleşme ve deformasyon özelliklerinin ortaya çıkarılması mümkün olmaktadır.

İncekesitleri hazırlanan örnekler; alttan aydınlatmalı polarizan mikroskop yardımıyla incelenerek mineralojik bileşimleri ve dokusal özellikleri belirlenmiştir. Uygun örneklerde mineralojik analiz yapılarak mineral yüzdeleri bulunmuştur. Böylece kayaçlar uluslararası sınıflama sistematiklerine göre adlandırılmıştır. Buna bağlı olarak kayaçların oluşum ortamları hakkında yorumlar yapılmıştır.

Bu çalışmada, her bir numunenin mineralojik içeriği ve yüzdesi, tane boyut oranları ve dağılımı vb. özellikleri incelenmiş ve belirlenmiştir.

Elde edilen tüm bu veriler neticesinde, her bir kayaç numunesinin doku karakteristiğini ortaya koymak için aşağıdaki eşitlikte verilen ortalama tane boyut indeksi (OTBI) kullanılmıştır.

$$OTBI = \frac{1}{100} \sum_{k=1}^n P_k \quad (3.1)$$

OTBI = Ortalama tane boyut indeksi

P = Toplam yüzde tane boyutu

k = Sınıflandırma aralık sayısı

3.3.2. Fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlenmesinde kullanılan yöntemler

Bu çalışmada kayaç örneklerinin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlenmesinde ISRM (1981) standart deney yöntemleri kullanılmıştır. Buna göre;

3.3.2.1. Fiziksel özelliklerin belirlenmesi

Bu tez çalışmasında kullanılan örnek kayaçların fiziksel dayanımlarının belirlenmesi için uygulanan yöntemler aşağıda alt başlıklar halinde verilmiştir.

a) Yoğunluk, nem içeriği, gözeneklilik belirleme deneyleri

Kayaçın yoğunluk, nem içeriği ve gözeneklilik özelliklerinin belirlenmesi için yapılan deneylerdir. Örnek numunelerin mineral tane yoğunluğu aşağıda verilen eşitlik kullanılarak yapılmıştır.

$$\rho_g = \frac{(P_2 - P_1) \times \rho_w}{(P_4 + P_2) - (P_3 + P_1)} \quad (3.2)$$

ρ_g = Mineral tane yoğunluğu

P_1 = Piknometrenin boş ağırlığı

P_2 = Piknometre ve içine konulan numunenin ağırlığı

P_3 = Piknometre, numune ve saf suyun toplam ağırlığı

P_4 = Saf su dolu piknometrenin ağırlığı

ρ_w = Suyun yoğunluğu

Kayaçın nem oranının bulunması için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$NemOranı = \frac{A - B}{B} \times 100 (\%) \quad (3.3)$$

A = İlk tartı (Numunenin Tabii ağırlığı)

B = Kurutulduktan sonraki ağırlık

Kayaçın toplam gözenekliliğinin belirlenmesi için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$\text{Toplam gözeneklilik} = \frac{\rho_g - \rho_d}{\rho_g} \times 100 (\%) \quad (3.4)$$

ρ_d = Kuru yoğunluk ρ_g = Mineral tane yoğunluğu

b) Sertlik belirleme deneyi

Bu deney kayacın sertliğini belirlemek için yapılmaktadır. Bu deney ile bulduğumuz sertlik değeri neticesiyle dolaylı olarak kayacın tek eksenli basma dayanımına ulaşmakta mümkündür.

Kaya sertliğinin göreceli olarak saptanmasında shore scleroscope ve schmidt çekici olmak üzere iki temel alet kullanılmış ve aşağıda verilen eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Aritmetik Ortalama} = a = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \quad (3.5)$$

$$\text{Standart sapma} = d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - a)^2}{N - 1}} \quad (3.6)$$

3.3.2.2. Mekanik özelliklerin belirlenmesi

Bu tez çalışmasında kullanılan örnek kayaçların mekanik özelliklerinin belirlenmesi için kullanılan yöntemler aşağıda alt başlıklar halinde verilmiştir.

a) Basınç dayanım karakteristiği

Basınç dayanımı, belirli boyutlarda hazırlanan kayaçlara belirli ve farklı doğrultularda etkiyen gerilmeler karşısında davranışları ve kırılmaya karşı gösterdiği direnç karakteristiğidir.

Basınç dayanım karakteristiği iki farklı basınç gerilmesi altında yapılmıştır.

- Tek eksenli basınç gerilme etkisi
- Nokta yükleme gerilme etkisi

1. Tek eksenli basınç dayanımı

Bu test ile genellikle silindirik şekle sahip olan kayaç numunelerinin dayanım karakteristiklerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan bir deneydir. Tek eksenli basınç dayanım değeri aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\sigma_c = \frac{F_c}{A} \quad (3.7)$$

Burada;

σ_c = Tek eksenli basınç dayanımı, kg/cm²,

F_c = Numune yenilme yük değeri, kg,

A = numune yüzey alanı, cm².

2. Nokta yükleme dayanımı

Nokta yükleme dayanım deneyleri, yapı taşları türünün kayaç kalite sınıflamaları için kullanılan indeks değerini belirlemek için yapılmaktadır. Ancak, deney sonucunda, tek eksenli basınç dayanım değerini de tahmin edebilmek mümkün olmaktadır. Deneyler 4 farklı numune boyutlandırması şeklinde yapılabilmektedir. Bunlar; Çap deneyi, Eksenel deney, Blok deneyi, Parça deneyidir. Bu çalışmada çapsal deneyler yapılmıştır.

Nokta yükleme basınç dayanım değeri aşağıda verilen eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır.

$$I_s = \frac{P}{D^2} \quad (3.8)$$

I_s : Düzeltilmiş nokta yükleme dayanımı, (kPa)

D: Numune çapı, (m)

P: Kırılma anındaki yük, (kN)

$$F = \left(\frac{D}{A}\right)^{0,45} \quad (3.9)$$

F: Büyüklük ve çap düzeltme katsayısı

A: 50 mm

$$I_{s(50)} = F \times I_s \quad (3.10)$$

$I_{s(50)}$: Düzeltilmiş nokta yükleme dayanım indeksi

$$\text{Tek eksenli basma dayanımı} = 22 \times I_{s(50)} \quad (3.11)$$

$$\text{Tek eksenli çekme dayanımı} = I_{s(50)} / 0,8 \quad (3.12)$$

b) Dolaylı çekme (Brazilian) deneyi

Bu deney, disk şeklinde hazırlanmış kayaç örneklerinin çapsal yükleme altında çekilme dayanımlarının dolaylı yoldan tayini amacıyla yapılmaktadır.

Kullanılan örnek kayacın endirekt çekme dayanımı aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\sigma_t = \frac{0,636 \times F_c}{D \times L} = T_o = \frac{2 \times F_c}{\pi \times D \times L} \quad (3.13)$$

$\sigma_t = T_o$ = Numunenin çekme dayanımı (kg/cm²)

F_c = Yenilme anındaki yük (kg)

D = Numunenin Çapı (cm)

L = Numunenin kalınlığı (cm)

c) Suda dağılma dayanımı

Bu deneyde amaç, kullanılan kayaç numunelerinin standart iki çevrim süresince kurumaya ve ıslanmaya bırakılması durumunda, parçalanmaya ve zayıflamaya karşı gösterdiği duraylılığın belirlenmesidir.

Kayaç numunesini suda dağılma dayanımını bulabilmek için aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$I_{d-1} = \frac{B-D}{A-D} \times 100 (\%) \quad (3.14)$$

$$I_{d-2} = \frac{C-D}{A-D} \times 100 (\%) \quad (3.15)$$

A= Tambur ve fırından çıkan numunenin ağırlığı

B= İlk devir işleminden sonra kurutulan numune ve tamburun ağırlığı

C= ikinci devir işleminden sonra kurutulan numunenin ve tamburun ağırlığı

D= Tamburun ağırlığı

d) Kırılma ve ufalanma deneyleri

Kayaçların kırılma ve ufalama ile boyutu küçültülerek şekil ve hacim faktörleri bulunmuştur. Ayrıca örnek kayaçların öğütülme dereceleri ve kırılma özellikleri incelenmiştir.

Şekil ve hacim faktörleri aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır.

1. Boyut ve numin katsayısı kullanılarak şekil ve hacim faktörü hesaplanması : Mikroskop yöntemleri olarak da adlandırılmaktadır. Şekil ve hacim faktörü, kırılmış tanelerin boyut ve numin katsayıları kullanılarak hesaplanmıştır.

$$d_m = \frac{L_o + B_o + T_o}{3} \quad (3.16)$$

$$d_n = \frac{X_1 + X_2}{2} \quad (3.17)$$

$$2(L_o B_o + B_o T_o + L_o T_o) = f d_y^2 \quad (3.18)$$

$$L_o B_o T_o = k d_y^3 \quad (3.19)$$

L_o : Tanelerin ortalama uzunluğu (mm)

B_o : Tanelerin ortalama eni (mm)

T_o : Tanelerin ortalama kalınlığı (mm)

f : Şekil faktörü, k : Hacim faktörü

d_m : Boyut katsayısı, d_n : Numin katsayısı

X_1 : Üst elek açıklığı, X_2 : Alt elek açıklığı

y : d_m veya d_n

2. *Heywood yöntemi* : Heywood (1963) tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemde, şekil ve hacim faktörü tayini, ölçülen tane boyutlarının oranlanması ile elde edilen uzama ve düzgünlük oranları kullanılarak hesaplanmıştır.

$$n = \frac{L_o}{B_o}, m = \frac{B_o}{T_o} \quad (3.19)$$

n : Uzama oranı , m : Düzgünlük oranı

$$f(H) = 1,57\left(1 + \frac{n+1}{nm}\right), k(H) = \frac{\pi\sqrt{\pi}}{8m\sqrt{n}} \quad (3.20)$$

3.3.2.3. Korelasyon yöntemi

Bu çalışmada, değerlendirmeler korelasyon katsayısına bağlı olarak yapılmıştır. Korelasyon bilindiği üzere iki değişken arasındaki ilişkinin çalışılmasında kullanılan istatistiksel bir tekniktir. Değişkenler arasındaki ilişkilerin çalışılması, veri gruplarının betimlenmesinde olduğu kadar bilimsel çalışmalarda konu edilen yapıların ve bu yapılar arasındaki ilişkilerin ortaya çıkarılmasında da kullanılmaktadır.

Korelasyon katsayısı, R ile gösterilmektedir. Korelasyon katsayısının karesi ise belirleyicilik katsayısı (coefficient of determination) olarak tanımlanmaktadır. Bu katsayı iki değişkenin ortak kısmının miktarını ifade eder. Bu değer 1' e yaklaştıkça ilişki artar 0' yaklaştıkça ilişki azalır ve yok olur, yine bu değer -1' e yaklaştıkça ilişki ters yönde artar. Korelasyon katsayısı aşağıdaki eşitlik ile tanımlanmaktadır:

$$R(X,Y) = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}} \quad (3.21)$$

x : x değişkeni değerleri

y : y değişkeni değerleri

\bar{x} : x değişkenlerinin aritmetik ortalaması

\bar{y} : y değişkenlerinin aritmetik ortalaması

BÖLÜM IV

LABORATUAR ÇALIŞMALARI VE DEĞERLENDİRMELER

Bu bölümde, tez kapsamında çalışılan, doğal yapı taşlarının doku, fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiş aralarındaki ilişkiler, mevcut veriler çerçevesinde tanımlanmıştır.

4.1. Petrografik Özelliklerin İncelenmesi

Bu çalışmada kullanılan yapı taşlarının petrografik analizleri polarizan mikroskop kullanılarak ayrıntılı olarak tanımlanmıştır. Tanımlanan bu kayaçların belirlenen mineral içerikleri ve oranları ince kesit fotoğrafları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

4.1.1. Kayaç örneklerinin petrografik analizleri

Afyon Beyaz Mermer (Mermer-A): Kayaç Pelozoyik kireçtaşıdır. Muhtemel yaşı üst kretasedir. İçerisinde Peloyik fosiller vardır ve kayaç tamamen mikritten oluşmuştur. İskeletsel taneler mikrit içerisinde sparitik olarak gözlenmektedir. Yer yer bu sporitik dolgular içerisinde silisleşmeler mevcuttur. Kayaç ikincil damarlar ile kesilmiş ve bu damarlar tekrar sparikalsit ile dolgulanmıştır. Örnek kayaç numunesinin ince kesit fotoğrafı ve mineral içeriği Şekil 4.1'de verilmiştir.

Mineral adı	Mermer-A (%)
İskeletsel taneler	38
Mikrit	60
Opak	2

Şekil 4.1. Mermer-A'ya ait ince kesit fotoğrafı ve mineralojik analizi

Bursa Beji (Bursa-B): Kayaç muhtemelen lagün ortamında çökelmiş bir kireçtaşıdır. Çökelme esnasında ortam oldukça sakin iken, çökelme şartlarının değişmesi sonucu küçük akıntılar zemin üzerinde kanallar meydana getirmiş daha sonra akıntıların getirdiği Ooid, intraklast, biyoklast gibi malzemeler bu kanalcıklar içerisine dolmuş ve bu tanelerde mikrosparitik bir çimento ile bağlanmıştır. Daha sonra tektonik hareketlerle ikincil çatlaklar gelişmiş bu çatlaklar kalsit ile dolmuştur (Şekil 4.2).

Mineral adı	Bej -B (%)	
Ooid		2
Intraklast		13
İskeletsel taneler		25
Sparit		10
Porozite		
Dolomit		
Organik Materyal		
Mikrit		50

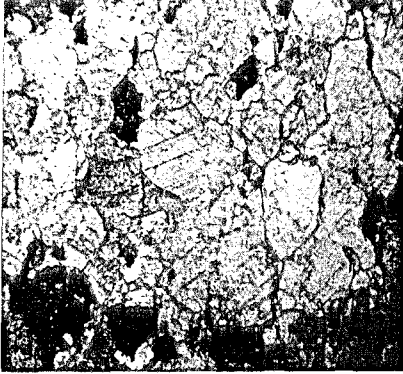
Şekil 4.2. Bej-B mermerine ait ince kesit fotoğrafı ve mineralojik analizi

Muğla Beyaz Mermer (Muğla-M): Tane sınırları sitalitiktir, ayrıca tane sınırları düzensiz ama yine de iyi gelişmiş tane sınırları da mevcuttur. Kayaç tamamen mermerleşmiştir. Mineraller üzerinde deformasyon izleri gözlenmiştir. Örnek kayaç numunesinin ince kesit fotoğrafı ve mineral içerikleri Şekil 4.3'de verilmiştir.

Mineral adı	Mermer-M (%)	
İskeletsel taneler		
Mikrit		
Opak		
Kalsit		100


Şekil 4.3. Mermer-M'ye ait ince kesit fotoğrafı ve mineralojik analizi

Yozgat Beji (Bej-Y): Kesit içerisindeki mineraller genelde öz şekilsizdir. Romboedrik yapılı dolomit minerali ve zonlanma gözlenmiştir (Şekil 4.4). Kayaç dokusu kseneotopik mozaik dokudur. Kayaç adı ise dolomit olarak adlandırılmıştır.

	Mineral adı	Bej-Y (%)
	İskeletsel taneler	
Mikrit		
Opak		
Dolomit		100


Şekil 4.4. Bej-Y mermerine ait ince kesit fotoğrafı ve mineralojik analizi

Limra: Kayaç içerisinde 0.2-0.4 mm arasında sparitik karbonat taneleri , yer yer mikritik taneler bulunmaktadır. Bağlayıcı madde olarak dolomit gözlenmiştir (Şekil 4.5). Kayaç dolomitik kireçtaşı olarak adlandırılmıştır.

	Mineral adı	Limra (%)
	Ooid	
İntraklast		70
İskeletsel taneler		3
Sparit		
Porozite		
Dolomit		22
Organik Materyal		5
Mikrit		

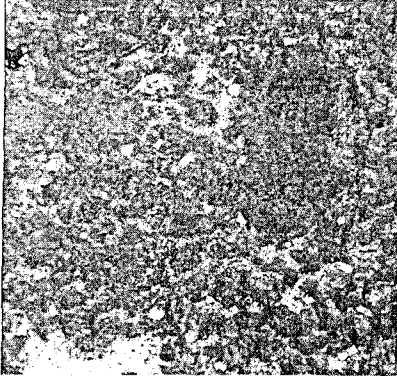
Şekil 4.5. Limra numunesine ait ince kesit fotoğrafı ve mineralojik analizi

Mut Traverteni (Traverten-M): Kayaç oluşumunda alglerin rolü büyüktür. Örneğin küçük karbonat parçalarını tutarak mikrit kalsitlerin oluşumuna yardımcı olmuşlardır. Yine organik malzemenin oluşması ile oluşan boşlukların sparitik kalsit ile dolgulandığı gözlenmiştir. Ayrıca yer yer kovukların orta bölümünde boşluklara rastlanmaktadır (Şekil 4.6). Kayaç adı biyointrasparit olarak belirlenmiştir.

	Mineral adı	Traverten-M (%)
	Ooid	6
	İntraklast	24
	İskeletsel taneler	24
	Sparit	34
	Porozite	12
	Dolomit	
	Organik Materyal	
	Mikrit	

Şekil 4.6. Traverten-M'ye ait ince kesit fotoğrafı ve mineralojik analizi

Gödenne Traverteni (Traverten-G): Oldukça çalkantılı bir ortamda çökelmiştir. Kayaç içerisindeki intraklastlar oldukça fazla tabanda süreklenmiş ve çevresinde mikritik zarf gelişmiş bir kısmı ooid türü yapılar oluşmuştur. Kayaç içerisinde çatlağa rastlanmamış olup taneleri spari kalsit çimento bağlamıştır. Kayaç içerisine havza dışından fazla malzeme gelmemiş olup birkaç tane kuvars kristaline rastlanmıştır. Örnek kayaç numunesinin ince kesit fotoğrafı ve mineral içerikleri Şekil 4.7'de görülmektedir.

	Mineral adı	Traverten-G (%)
	Ooid	8
	İntraklast	40
	İskeletsel taneler	6
	Sparit	30
	Porozite	12
	Pellet	15
	Organik Materyal	
	Mikrit	

Şekil 4.7. Traverten-G'ye ait ince kesit fotoğrafı ve mineralojik analizi

Anadolu Gri Granit (Granit-AG): Şekil 4.8’de görüldüğü gibi genellikle gri koyu gri renkli kuvars, plajiyoklas ve alkali feldispatlar gözle görülebilecek iriliktir. Kayaca biyotit ve amfiboller koyu rengi vermektedir. Kayaç dokusu kristalleşme derecesine göre holokristalen doku, tane durumuna göre hipidyomorf dokudur. Biyotitlerde oksitleşme ve kloritleşme, plajiyoklaslarda serisitleşme ve mirmekitik doku, plajiyoklaslarda albit ikizli, zonlu doku ve yarı özşekilli taneler, ortoklaslarda karlsbat ikizi yaygın ve özşekilsiz pertitik dokulu taneler, amfibollerde ise epidotlaşma gözlenmektedir.

Mineral adı	Granit-AG (%)
Kuvars	29
Plajiyoklas	31,5
Ortoklas	21
Amfibol	1,5
Biyotit	7
Mikroklin	
Opak	3
Epidot	3
Sfen	
Muskovit	1,5
Apatit	1,5
Serisit	1

Şekil 4.8. Granit-AG’ye ait ince kesit fotoğrafı ve mineralojik analizi

Kaman Rosa (Granit-KR): Kayaçta taneseli bir fazın içinde yine bu faza ait oldukça iri taneli ortoklas ve plajiyoklas fenokristalleri vardır. Bu sebeple kayaç adı granit porfir olarak tanımlanmıştır. Ayrıca Şekil 4.9’da görüldüğü gibi bozunma ve diğer özellikler bakımından plajiyoklaslarda serisitleşme ve karbonatlaşma, biyotitlerde oksitlenme ve kloritleşme gözlenmiştir.

Mineral adı	Granit-KR (%)	
	Mineral adı	Granit-KR (%)
Kuars		22
Plajiyoklas		34
Ortoklas		18
Amfibol		12
Biyotit		10
Mikroklin		3
Opak		1
Epidot		
Sfen		
Muskovit		
Apatit		
Serisit		


Şekil 4.9. Granit-KR'ye ait ince kesit fotoğrafı ve mineralojik analizi

Kırçıçeği Granit (Granit-KÇ): Gri, yeşilimsi gri ve pembemsi gri renkli kuvars, plajiyoklas, ortoklas, amfibol ve biyotitler makroskobik olarak gözlenebilmektedir. Kayaç dokusu, kristalleşme durumuna göre holokristalen doku, tane durumuna göre porfirik dokudur. Plajiyoklaslarda serisitleşme ve karbonatlaşma, biyotitlerde oksitlenme ve kloritleşme, ortoklaslarda pertitik doku görülmektedir. Kayaçta tanesal bir fazın içinde yine bu faza ait oldukça iri taneli ortoklas ve plajiyoklas fenokristalleri görülmektedir. Bu sebeple kayaç adı granit porfir olarak tanımlanmıştır. Örnek kayaç numunesinin ince kesit fotoğrafı ve mineral içerikleri Şekil 4.10'da verilmiştir.

Mineral adı	Granit-KÇ (%)	
	Mineral adı	Granit-KÇ (%)
Kuars		3
Plajiyoklas		5
Ortoklas		75
Amfibol		6
Biyotit		4
Mikroklin		
Opak		2
Epidot		1
Sfen		1
Muskovit		3
Apatit		
Serisit		

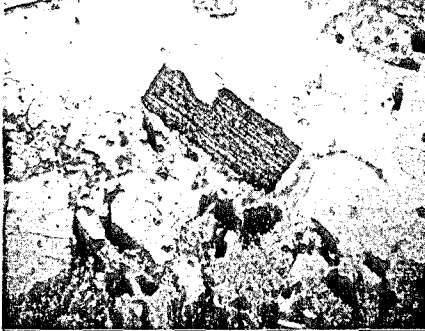
Şekil 4.10. Granit-KÇ'ye ait ince kesit fotoğrafı ve mineralojik analizi

Ankara Andeziti (Andezit-A): Kayaç içerisinde grimsi, pembe renkli boşluklu görünümüne sahip plajiyoklas, amfibol fenokristalleri gözle görülebilecek durumdadır. Kayaç kristalleşme derecesine göre holokristalen doku, tane durumuna göre porfirik doku, hamur fazına göre trakitik doku, holokristalen porfirik doku gözlenmektedir (Şekil 4.11). Amfibollerde apatitleşme ve kloritleşme mevcuttur. Şekil 4.14’de görüleceği gibi kayaçta % 80 oranında mikrolit bulunmaktadır.

	Mineral adı	Andezit-A (%)
	Plajiyoklas	9
	Amfibol	6
	Opak	5
	Plajiyoklas mikrolitleri	80
	Biyotit	
	Kuvars	
	Volkanik cam	

Şekil 4.11. Andezit-A’ya ait ince kesit fotoğrafı ve mineralojik analizi

Sille dasiti (Dasit-S): Kayaç içerisinde açık pembe, bej renkli kuvars biyotit ve plajiyoklas fenokristalleri gözle görülebilecek iriliktendir. Kristalleşme derecesine göre hipokristalin doku, tane durumuna göre porfirik doku vitrofirik porfirik doku gözlenmektedir. Biyotitlerde ve amfibollerde oksitlenme, plajiyoklaslarda zonlanma ve elek dokusu gözlenmektedir. Plajiyoklaslarda volkanik cam kapanımları görülmektedir. volkanik camın büyük bir kısmı hidrotermal çözeltilerle tekrar kristalleşmekte ve bunun sonucunda μ boyutunda ikincil kuvarslar oluşmaktadır. Örnek kayaç numunesinin ince kesit fotoğrafı ve mineral içerikleri Şekil 4.12’de verilmiştir.



Mineral adı	Dasit-S (%)
Plajiyoklas	35
Amfibol	8
Opak	
Plajiyoklas mikrolitleri	
Biyotit	12
Kuvars	10
Volkanik cam	35

Şekil 4.12. Dasit-S'ye ait ince kesit fotoğrafı ve mineralojik analizi

4.1.2. Kayaç örneklerinin doku tanımlamasının yapılması

Önceden de belirtildiği üzere, bu çalışmada kullanılan kayaç örneklerinin doku tanımlaması ortalama tane boyut indeksi (OTBİ) ile tanımlanmıştır.

OTBİ'nin hesaplanabilmesi için kayaç örneklerinden alınan ince kesitlerin polarizan mikroskop altında tane boyları ölçeklendirilmiş ve bu boyutların sınırları içerisinde kalan tanelerin uzunluk ölçümleri ve sayımları yapılarak yüzde olarak hesaplanmıştır.

Yapılan çalışmalar neticesinde elde edilen sayısal veriler aşağıda Çizelge 4.1'de sunulmuştur.

Çizelge 4.1. Kayaç örneklerinin OTBİ değerleri

Kayaç türü	Numune Adı	OTBİ
Sokulumlu	Granit-AG	2,78
	Granit-KR	3,99
	Granit-KÇ	4,22
Volkanik	Andezit-A	0,297
	Dasit-S	0,398
Metamorfik	Mermer-A	2,50
	Mermer-M	4,25
	Bej-Y	1,89
Sedimanter	Bej-B	1,50
	Traverten-M	2,60
	Traverten-G	1,97
	Limra	0,40

Yukarıda Çizelge 4.1’de verilen sayısal veriler incelendiğinde mermer ve granit türü kayaçların iri taneli, volkanik kayaç türü olan andezit ve dasitin, sokulumlu ve metamorfik kayaçlara oranla daha ince taneli oldukları görülmüştür. Sedimanter kayaç türlerinin ise en fazla ince tane içerdikleri gözlenmiştir. Ancak sedimanter kayaç türlerinin çökeltme sırasında oluşan akıntılar, organik malzemeler ve gözenekliliğin etkisi dolayısı ile doku tanımlamasında, olduğundan daha iri taneli olarak değerlendirilmiştir.

4.2. Numunelerin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

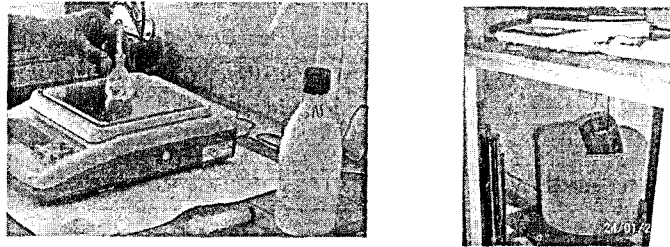
Bu çalışmada kullanılan kayaç örnekleri üzerinde fiziksel ve mekanik deneyler yapılmıştır ve bu deneyler sonucunda kayacı temsil edecek sayısal değerlere ulaşılmıştır.

4.2.1. Fiziksel deneyler ve sonuçları

Bu çalışma kapsamında, örnek seçilen kayaçların fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla yoğunluk, gözeneklilik, nem içeriği ve sertlik belirleme deneyleri olmak üzere dört farklı deney yapılmıştır. Bu deneyler ve sonuçları aşağıda alt başlıklar halinde sunulmuştur.

a) Yoğunluk, gözeneklilik ve nem içeriği deney sonuçları

Bu deneyler sonucunda kayaç örneklerine ait mineral tane yoğunluğu, kuru yoğunluk, toplam porozite ve nem içeriği değerleri elde edilmiştir. Deneyde kullanılan malzemeler Şekil 4.13’de gösterilmiş ve yapılan deneyler sonucunda elde edilen sayısal veriler aşağıda Çizelge 4.2’de sunulmuştur.



Şekil 4.13. Piknometre deneyi ve doymuş ağırlık belirleme deney düzenekleri

Çizelge 4.2. Yoğunluk, gözeneklilik ve nem içeriği deneylerinin değerleri

Numune Adı	ρ_g (g/cm ³)	P (%)	N (%)
Granit-AG	2,67	5,62	0,05
Granit-KR	2,81	6,76	0,12
Granit-KÇ	2,58	1,16	0,14
Andezit-A	2,61	20,69	1,12
Dasit-S	2,60	13,08	0,27
Mermer-A	2,73	1,83	0,01
Mermer-M	2,73	2,19	0,01
Bej-Y	2,88	3,47	0,05
Bej-B	2,71	1,48	0,03
Traverten-M	2,68	12,31	0,07
Traverten-G	2,74	8,76	0,08
Limra	2,69	11,90	0,02

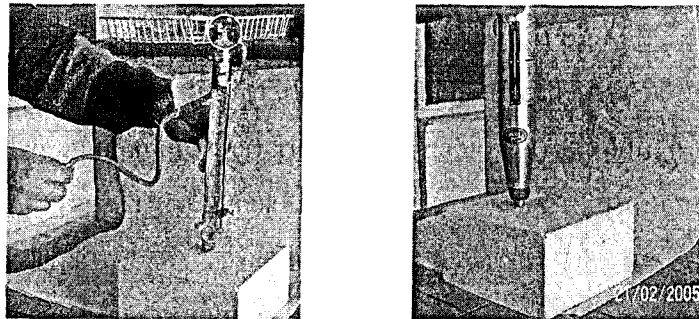
ρ_g : Mineral tane yoğunluğu, N: Nem içeriği, P:Toplam porozite

Çizelge 4.2'de görüldüğü üzere mineral tane yoğunluk değerleri açısından kayaç türleri arasında önemli bir farklılık görülememiştir. Ancak volkanik kayaçların mineral tane yoğunluğunun diğerlerine oranla daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Kayaç türlerinin gözeneklilik değerleri karşılaştırıldığında volkanik ve sedimanter kayaçların daha gözenekli olduğu görülmüştür. Kayaçların nem içeriği değerleri ise laboratuvar ortamı baz alınarak belirlenmiştir. Nem içeriği değerleri karşılaştırıldığında yine volkanik ve sedimanter kayaçların nem oranlarının daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

b) Sertlik belirleme deney sonuçları

Araziden ve işletildiği fabrikalardan getirilen numunelerin shore ve schmidt sertlik değerleri aşağıdaki resimlerde görüldüğü şekilde gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. Shore ve schmidt sertlik değerleri ölçüm şekilleri

Yapılan deneyler sonucunda kayaç örneklerinin sayısal değerleri Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Sertlik belirleme deneyi değerleri

Numune Adı	d	s
Granit-AG	99,10 ± 6,18	69,05 ± 0,626
Granit-KR	89,30 ± 3,51	68,95 ± 1,07
Granit-KÇ	85,20 ± 5,75	68,85 ± 0,832
Andezit-A	76,60 ± 5,40	66,00 ± 1,55
Dasit-S	66,80 ± 5,29	50,50 ± 2,17
Mermer-A	59,90 ± 2,18	58,35 ± 0,944
Mermer-M	57,60 ± 4,22	55,90 ± 2,18
Bej-Y	70,20 ± 2,72	68,40 ± 0,966
Bej-B	80,50 ± 1,83	68,60 ± 0,966
Traverten-M	77,10 ± 3,80	54,70 ± 0,95
Traverten-G	60,5 ± 3,59	58,10 ± 1,44
Limra	58,10 ± 4,32	44,55 ± 1,64

d: Shore sertliği, s: Schmidt sertliği

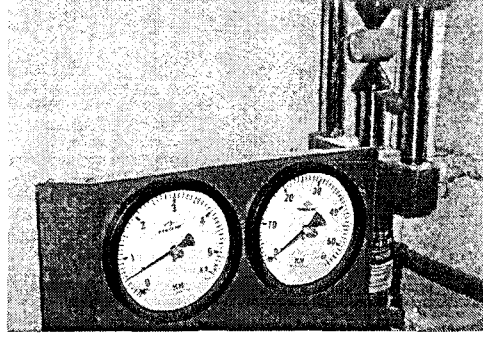
Kayaç numunelerine ait sertlik değerleri, blok şeklindeki kayaç numuneleri üzerinde, her bir noktadan beş değer okunarak ve en büyük değerler kaydedilerek toplam yirmi noktadan alınan değerlerin ortalaması kullanılarak tespit edilmiştir. Belirlenen sertlik değerlerine göre en yüksek sertlik değerlerinin granit türü kayaçlara ait olduğu gözlemlenmiştir. Kullanılan bütün numunelere bakıldığında en düşük sertlik değerlerinin Dasit-S ve Limra’ya ait olduğu belirlenmiştir.

4.2.2. Mekanik deneyler ve sonuçları

Bu tez çalışmasında nokta yükleme dayanımı, dolaylı çekme dayanımı ve tek eksenli basınç dayanımı olmak üzere üç farklı mekanik deney yapılmış ve sonuçları ile birlikte alt başlıklar halinde aşağıda özetlenmiştir.

a) Nokta yükleme dayanımı deneyi sonuçları

Kayaç örneklerinin nokta yükleme dayanımlarını belirlemek için her bir numuneden alınan 8 örnek üzerinde çapsal nokta yükleme dayanımı deneyleri yapılmıştır (Şekil 4.15). Deney sonuçları ise Çizelge 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.15. Nokta yükleme dayanımı deney düzeneği

Çizelge 4.4. Nokta yükleme dayanımı deneyi değerleri

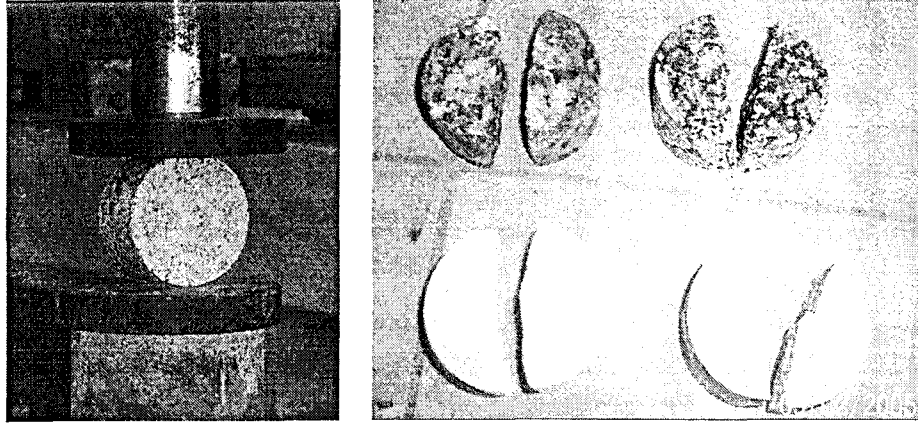
Numune Adı	I_{S50} (Mpa)
Granit-AG	$8,040 \pm 1,460$
Granit-KR	$8,120 \pm 0,710$
Granit-KÇ	$9,778 \pm 0,750$
Andezit-A	$5,360 \pm 0,610$
Dasit-S	$1,435 \pm 0,236$
Mermer-A	$3,755 \pm 0,485$
Mermer-M	$5,256 \pm 0,510$
Bej-Y	$5,793 \pm 0,679$
Bej-B	$6,168 \pm 1,011$
Traverten-M	$4,958 \pm 0,586$
Traverten-G	$5,876 \pm 0,847$
Limra	$1,482 \pm 0,223$

I_{S50} : Nokta yükleme dayanımı

Her bir kayaç örneğinden 8'er adet olmak üzere yapılan çapsal nokta yükleme deneyleri sonucunda, yine en yüksek değerlerin granit türü kayaçlara ait olduğu belirlenmiştir. Limra ve Dasit-S ile yapılan nokta yükleme dayanımı değerlerinin, diğer numunelere göre oldukça düşük olduğu görülmüştür.

b) Dolaylı çekme dayanımı deneyi sonuçları

Kayaç örneklerini temsilen yapılan 8 adet (54 x 27 mm) numune üzerinde yapılan deneyler (Şekil 4.16) sonucunda elde edilmiş olan sayısal değerler Çizelge 4.5'de sunulmuştur.



Şekil 4.16. Dolaylı çekme dayanımı deney düzeneği ve örnek numuneler

Çizelge 4.5. Dolaylı çekme dayanımı deneyi değerleri

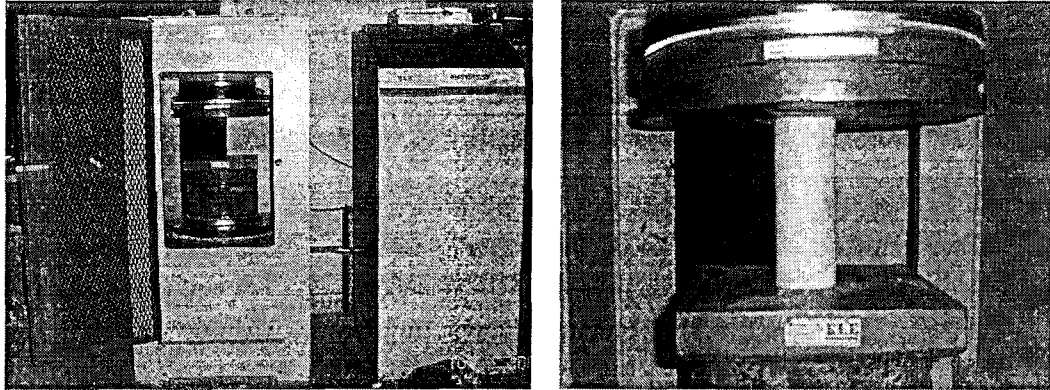
Numune Adı	σ_t (Mpa)
Granit-AG	4,041 ± 0,248
Granit-KR	3,114 ± 0,127
Granit-KÇ	3,156 ± 0,158
Andezit-A	2,165 ± 0,235
Dasit-S	0,481 ± 0,101
Mermer-A	1,417 ± 0,230
Mermer-M	2,324 ± 0,356
Bej-Y	2,124 ± 0,421
Bej-B	2,491 ± 0,322
Traverten-M	1,455 ± 0,153
Traverten-G	1,780 ± 0,125
Limra	1,182 ± 0,241

σ_t : Dolaylı çekme dayanımı

Toplam 12 farklı kayaç üzerinde yapılan dolaylı çekme dayanımı sonuçları incelendiğinde, diğer mekanik deneylerin sonuçlarında olduğu gibi, burada da; granit türü kayaçların en yüksek dolaylı çekme dayanımı değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. En düşük değer ise Dasit-S' ye ait olduğu görülmüştür. İki farklı bölgeye ait travertenlerin ise birbirlerine yakın değerlere sahip olduğu belirlenmiştir.

c) Tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları

Deney için hazırlanan numuneler hidrolik basınç presinde kırılmış (Şekil 4.17) ve kırılma yükleri kaydedilerek Çizelge 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.17. Tek eksenli basınç deneyi düzeneği

Çizelge 4.6. Tek eksenli basma dayanımı deneyi değerleri

Numune Adı	σ_c (Mpa)
Granit-AG	166,713 ± 10,657
Granit-KR	82,572 ± 6,772
Granit-KÇ	91,594 ± 9,258
Andezit-A	75,118 ± 7,215
Dasit-S	29,224 ± 8,210
Mermer-A	73,844 ± 7,321
Mermer-M	72,961 ± 7,125
Bej-Y	46,385 ± 6,123
Bej-B	55,310 ± 5,356
Traverten-M	61,193 ± 8,224
Traverten-G	39,325 ± 6,318
Limra	50,602 ± 4,263

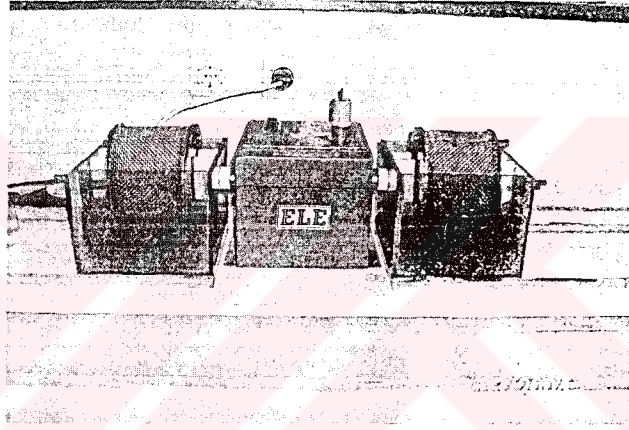
σ_c : Tek eksenli basınç dayanımı

Çizelge 4.6’ da verilen tek eksenli basınç değerlerine göre bütün kayaç örnekleri içerisinde granit türü kayaçların, granit türü kayaçlar içerisinde ise Granit-AG’ nin oldukça yüksek bir değere sahip olduğu belirlenmiştir. Dasit-S kayaç örneğinin diğer kayaç örneklerine göre düşük bir değere sahip olmasına rağmen

genel olarak bütün kayaların basınç karakteristiklerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir.

d) Suda dağılma dayanımı deney sonuçları

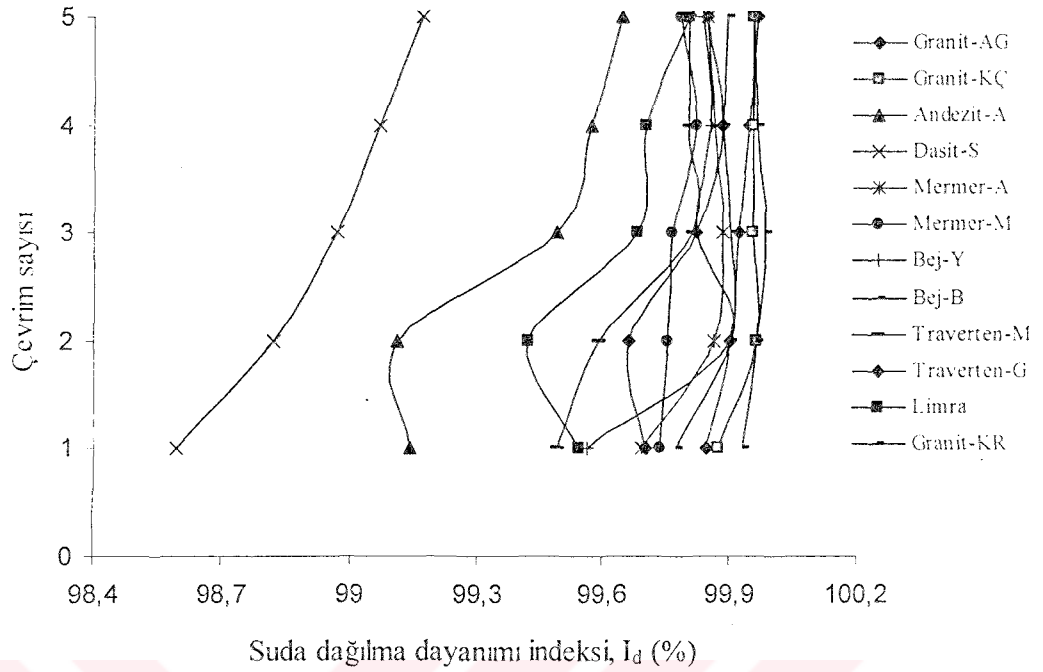
Bu çalışmada kullanılan kayaç örneklerinden standarda uygun olarak hazırlanan suda dağılma dayanımı deneyleri (Şekil 4.18) numuneler üzerinde 5 seri olmak üzere 10 adet deney yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.7’de verilmiştir. Ayrıca numunelerin her bir çevriminden sonra hesaplanan suda dağılma dayanım indeks değerleri, çevrim sayıları dikkate alınarak hesaplanmış ve aralarındaki ilişkiler Şekil 4.19’da grafik olarak verilmiştir.



Şekil 4.18. Suda dağılma dayanımı deney düzeneği

Çizelge 4.7. Suda dağılma dayanımı deneyi sonuçları

Numune Adı	I _{d-I}	I _{d-II}	I _{d-III}	I _{d-IV}	I _{d-V}
Granit-AG	99,84	99,90	99,92	99,94	99,96
Granit-KR	99,77	99,90	99,90	99,89	99,89
Granit-KÇ	99,87	99,96	99,95	99,95	99,95
Andezit-A	99,14	99,11	99,49	99,57	99,64
Dasit-S	98,59	98,82	98,97	99,07	99,17
Mermer-A	99,69	99,86	99,88	99,86	99,84
Mermer-M	99,73	99,75	99,76	99,82	99,78
Bej-Y	99,56	99,90	99,82	99,85	99,83
Bej-B	99,93	99,96	99,98	99,96	99,95
Traverten-M	99,49	99,59	99,81	99,80	99,80
Traverten-G	99,70	99,66	99,82	99,88	99,84
Limra	99,54	99,42	99,68	99,70	99,80



Şekil 4.19. Çevrim sayısı ile suda dağılma dayanımı indeksi arasındaki ilişkiler

Şekil 4.19'da çevrim sayılarına karşılık suda dağılma indeksindeki değişimler incelendiğinde genel olarak kayaç numunelerinin indeks değerlerinin ilk önce arttığı ve bir noktadan sonra sabit devam ettiği görülmüştür. Ancak oluşumlarına göre volkanik kayaç sınıfına giren dasit ve andezit türü kayaçlarda bu artışın daha fazla olduğu gözlenmiş ve azalan bir artış eğiliminin devam ettiği belirlenmiştir.

e) *Kırılma ve öğütülme deney sonuçları*

Malzemenin kırılması, ufalanması ve sınıflandırılması işlemlerinde, araziden alınan blok numuneler çekiç ile kırılarak, kırıcıya beslenecek boyuta (64+32 mm) indirilmiştir. Kırma işlemleri, laboratuvar ölçekli Sigmoid V- şekilli çeneli kırıcı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kırıcı çene aralığı 2 cm olarak ayarlanmıştır. Kırılan malzemelerin sınıflandırılması işlemi; 0,5 mm - 32 mm arasında sıralanmış, TS 1227-1228 standartlarına uygun, farklı boyutlarda kare gözlü tel ve metal elekler kullanılarak kuru ortamda gerçekleştirilmiştir.

Öğütme deney koşulları standart S ve B tekniğine (Austin et. al., 1984) göre yapılmıştır. Deneyle; bilya şarj oranı 0,20, malzeme-bilya şarj oranı yaklaşık 0,62 ve malzeme şarj oranı 0,05 koşullarında yapılmıştır.

Öğütme işlemlerinde porselen bilyalı laboratuvar ölçekli değirmen kullanılmıştır. Her bir numuneden $-1,0+0,5$ mm boyut aralığında, 200'er gr malzeme alınarak, 30'ar dakika süre ile kuru ortamda öğütülmüştür ve değirmenden çıkan numune 212 μ m açıklıklı elek ile eleme işlemine tabii tutulmuştur.

Kırılma işlemlerinden sonra sınıflandırılan numune tane miktarlarının ağırlık yüzde oranları hesaplanmış ve kümülatif elek altına geçen miktar ile tane boyutu arasındaki ilişki grafikleri kullanılarak, kırılan numunelerin ağırlıkça %50'sinin geçtiği elek açıklık (d_{50}) değerleri hesaplanmıştır. Aynı zamanda, örnek kayaların kırılma karakteristiklerini belirlemek için doku tanımlamasında kullandığımız OTBİ yaklaşımından yararlanmıştır. Elek açıklıkları ve eleme sonucu elde edilen fraksiyonların ağırlık yüzdeleri baz alınarak hesaplanan değerler OTBİ* olarak tanımlanmıştır (Çizelge 4.8).

Numunelerin öğütülebilirlik derecesi ise önceden de belirtildiği üzere 212 μ m elek altına geçen miktarın yüzdesi hesaplanarak belirlenmiştir. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar Çizelge 4.9'da özetlenmiştir.

Kırılan numunelerin şekil ve hacimlerdeki değişimleri belirlemek için önceden de belirtildiği üzere şekil ve hacim faktörü hesaplama yöntemlerinden faydalanılmıştır (Eşitlik 3.15, Eşitlik 3.16, Eşitlik 3.17, Eşitlik 3.18, Eşitlik 3.19 ve Eşitlik 3.20). Bu hesaplamalarda; +16 mm üstü tanelerde şekilsel farklılıklar belirgin olarak görülmediği için -4+2 mm, -8+4 mm ve -16+8 mm elek aralıklarındaki numuneler kullanılmıştır. Bu çalışmalar neticesinde elde edilen veriler Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.8. Kayaç örneklerinin OTBİ* değerleri

Numune Adı	OTBİ*
Granit-AG	5,30
Granit-KR	5,03
Granit-KÇ	5,11
Andezit-A	5,07
Dasit-S	4,75
Mermer-A	5,16
Bej-Y	5,14
Bej-B	5,15
Traverten-M	4,98
Limra	5,12

Çizelge 4.9. Numunelerin kırılma ve öğütülme değerleri

Numune Adı	d ₅₀	g (%)
Granit-AG	20,946	38,36
Granit-KR	16,216	40,31
Granit-KÇ	19,324	39,25
Andezit-A	18,986	45,59
Dasit-S	14,392	65,92
Mermer-A	19,527	96,78
Bej-Y	18,514	89,36
Bej-B	16,892	38,12
Traverten-M	16,860	89,98
Limra	18,243	100

g: Öğütülme dereceleri

Çizelge 4.10. Numunelerin şekil faktörü ve hacim katsayısı değerleri

Numunenin Adı	Şekil faktörü ve hacim katsayısı																
	Elek aralığı : -4+2						Elek aralığı : -8+4						Elek aralığı : -16+8				
	Mikroskop yöntemi				Heywood yöntemi		Mikroskop yöntemi				Heywood yöntemi		Mikroskop yöntemi		Heywood yöntemi		
	f(d _m)	f(d _n)	k(d _m)	k(d _n)	f(H)	k(H)	f(d _m)	f(d _n)	k(d _m)	k(d _n)	f(H)	k(H)	f(d _m)	f(d _n)	k(d _m)	f(H)	k(H)
Granit-AG	5,54	10,29	0,77	1,94	2,90	0,29	5,52	10,17	0,77	1,92	2,98	0,30	5,53	8,47	0,78	3,08	0,32
Granit-KR	5,70	11,88	0,86	2,59	3,41	0,40	5,64	10,27	0,83	2,03	3,20	0,35	5,46	10,14	0,77	3,26	0,36
Granit-KÇ	4,93	15,10	0,60	3,22	3,04	0,29	5,53	11,40	0,77	2,29	3,00	0,31	5,50	9,16	0,78	3,14	0,33
Mermer-A	5,45	12,75	0,75	2,67	3,00	0,31	5,27	12,87	0,67	2,57	2,82	0,26	5,47	12,98	0,77	3,13	0,33
Traverten-M	5,38	13,00	0,74	2,79	3,23	0,35	5,60	9,53	0,79	1,75	2,92	0,30	5,49	9,95	0,77	3,16	0,34
Andezit-A	5,46	12,62	0,75	2,65	3,05	0,35	5,51	12,19	0,79	2,59	3,28	0,36	5,61	7,57	0,81	3,12	0,34
Dasit-S	5,59	11,73	0,82	2,48	3,27	0,37	5,56	9,83	0,80	1,88	3,16	0,34	5,57	11,16	0,81	3,36	0,38
Bej-Y	5,46	13,04	0,76	2,79	3,05	0,32	5,14	10,07	0,61	1,68	2,63	0,22	5,47	10,76	0,77	3,14	0,33
Bej-B	4,87	13,79	0,55	2,60	2,65	0,22	5,37	10,67	0,72	2,02	2,97	0,30	5,58	8,22	0,79	2,99	0,31
Limra	5,15	12,94	0,66	2,63	3,03	0,30	5,07	14,38	0,58	2,78	2,57	0,21	5,56	9,46	0,79	3,04	0,32

Numunelerin, tane boyutuna bağılı olarak şekil ve hacim faktörü değerlerindeki değişimi ve uygun yöntemi belirleyebilmek için değişim katsayısı yaklaşımından faydalanılmıştır. Bu amaçla numunelerin farklı boyutlarda ki şekil ve hacim faktörlerinin değişim katsayısı hesaplanmış ve Çizelge_4.11’de sunulmuştur. Çizelge 4.11’de boyut katsayısına ve tane boyut oranlarına göre yapılan hesaplamalar ile numin katsayısına göre yapılan hesaplamalar arasında önemli farklılıkların olduğu görülmüştür. Numin katsayısı hesaplamalarına göre tane boyutu küçüldükçe numunelerin kırılma şekilleri birbirine benzemektedir. Ancak deney sırasındaki gözlemler ve diğer iki yöntem ile yapılan hesaplamalar bunun tam tersi şekilde geliştiğini yani taneler irileştikçe birbirlerine benzediğini küçüldükçe farklılaştığını, göstermiştir. Bu değerlendirmeler doğrultusunda, boyut katsayısı ve boyut oranlamaları kullanılarak hesaplanan şekil ve hacim faktörü değerleri ve yayılımı daha fazla olduğu için $-4+2$ elek aralığı bu çalışma için referans elek açıklığı olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 4.11. Farklı elek aralıklarında sınıflandırılmış agregaların şekil ve hacim faktörlerinin değişim katsayıları

Elek açıklığı	Değişim katsayıları					
	Mikroskop yöntemi			Heywood yöntemi		
	$f(d_m)$	$f(d_n)$	$k(d_m)$	$k(d_n)$	$f(H)$	$k(H)$
$-4+2$	4,94	9,52	12,51	11,39	6,48	14,99
$-8+4$	3,48	13,33	11,07	16,92	5,45	13,49
$-16+8$	0,92	15,42	1,91	22,55	3,18	5,83

4.2.3. Kayaçların doku, fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkilerin araştırılması

Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen veriler ve doku analizi sonucunda elde edilen OTBİ değerleri birbirleri ile grafiksel olarak ilişkilendirilmiş ve korelasyon değerlerine göre yorumlanmıştır.

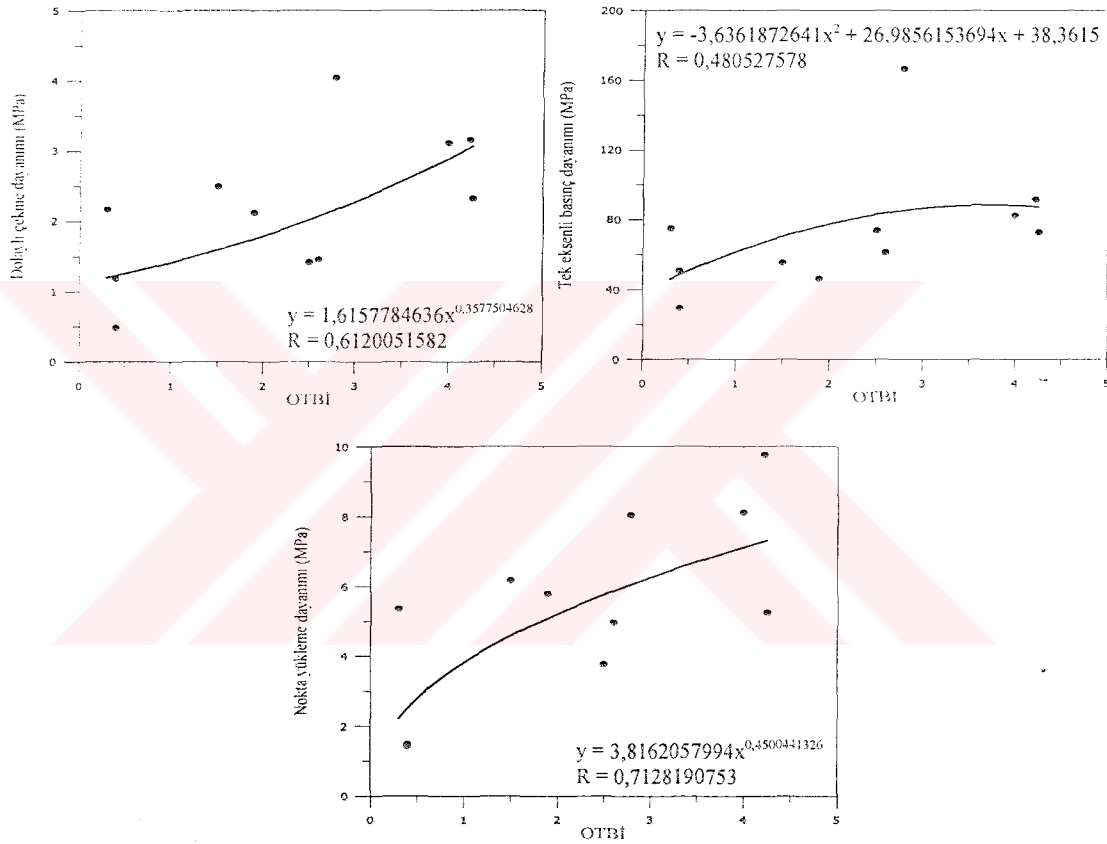
Burada grafikler yorumlanırken korelasyon değerleri 0,7’nin üzerinde ise ilişki mevcut, 0,6-0,7 ilişki muhtemel ve 0,5 in altında ise ilişkinin olmadığı şeklinde yorumlanmıştır.

4.2.3.1. Doku ile fiziksel ve mekanik özellikler arasındaki ilişkilerin tanımlanması

OTBİ değerleri ile fiziksel ve mekanik özellikler arasında ilişki grafikleri ve korelasyon değerleri bulunmuş, aşağıda alt başlıklar halinde özetlenmiştir.

a) OTBİ ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesi

Kayaçların doku özellikleri ile mekanik değerleri araştırılmış, elde edilen veriler korelasyon katsayısı dikkate alınarak değerlendirilmiştir (Şekil 4.20).



Şekil 4.20. Kayaçların doku özellikleri ile mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler

Şekil 4.20.'de verilen OTBİ ilişkileri grafikleri incelendiğinde OTBİ ile nokta yükleme dayanımları arasında bir ilişkinin olduğu görülmüştür. Ancak grafiklerden de anlaşılacağı üzere OTBİ ile tek eksenli basınç dayanımı ve dolaylı çekme dayanımı arasında bir ilişkinin olmadığı görülmüştür. Bununla birlikte üzerinde çalışılan kayaç örnekleri oluşumlarına göre (sokulumlu, sedimenter, volkanik ve metamorfik) kendi aralarında ayrılarak OTBİ ile ilişkilendirildiğinde ise korelasyon değerlerinde büyük bir artışın olduğu görülmektedir (Çizelge 4.12). Dolayısıyla aynı

tür kayaçların, doku ve mekanik özellikleri arasında her ne kadar veriler yetersiz ise de, bir ilişkinin olabileceği düşünülmektedir.

Kayaç örneklerinin doku, fiziksel ve mekanik değerleri arasındaki ilişki incelenirken, kayaçlar oluşumlarına göre ve toplam türler olarak değerlendirilmiş korelasyon değerleri aşağıda Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.12 Kayaçların oluşum sınıflamalarına göre korelasyon ilişkisi

	Kayaç türleri	OTBI	g	d ₅₀	OTBI*
d	S	-0,990	-0,649	0,545	0,824
	S+V	0,708	-0,868	0,706	0,894
	S+V+M	0,517	-0,856	0,319	0,440
σ_c	S	0,970	0,892	0,844	0,995
	S+V	0,888	0,785	0,889	0,991
	S+V+M	0,496	0,610	0,778	0,848
σ_t	S	0,986	0,864	0,772	0,968
	S+V	0,701	0,967	0,810	0,926
	S+V+M	0,622	0,718	0,709	0,823
I _{S(50)}	S	0,638	0,001	0,165	0,264
	S+V	0,747	0,960	0,756	0,857
	S+V+M	0,639	0,688	0,656	0,759
P	S	-0,461	0,242	-0,365	0,019
	S+V	-0,899	0,480	-0,244	-0,375
	S+V+M	-0,771	-0,281	-0,324	-0,450
ϕ_g	S	-0,024	0,643	-0,737	-0,422
	S+V	0,451	-0,363	-0,181	0,150
	S+V+M	0,227	0,469	-0,018	0,263
OTBI	S	---	0,750	-0,658	-0,896
	S+V	---	-0,722	0,293	0,484
	S+V+M	---	-0,302	0,285	0,453

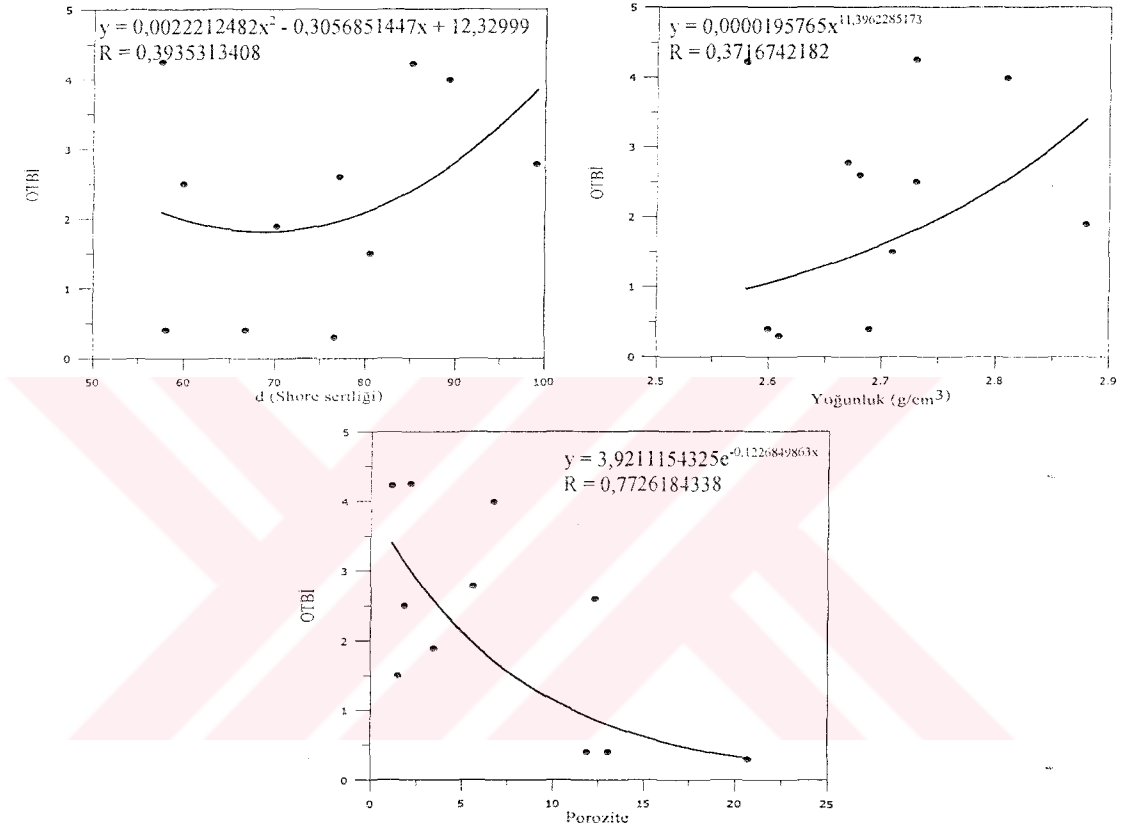
S: Sokulumlu, V: Volkanik, M: Metamorfik

Çizelge 4.12 incelendiğinde kayaç türüne bağlı olarak parametreler arasındaki ilişkilerdeki değişimler belirgin olarak görülmektedir. Dokuyu tanımlayan parametre OTBI ve etkilediği düşünülen parametreler arasındaki ilişkiler incelendiğinde OTBI ile kırılma ve öğütme arasında bir ilişkinin olduğu ve bu ilişkinin kayaç türü değiştikçe azaldığı ve yok olduğu görülmektedir. Örneğin sokulumlu kayaçlarda OTBI ile öğütme arasında aynı yönde (tane boyutu artarken öğütülme oranı artmaktadır) uygun bir ilişki görülürken volkanik kayaçlar eklendiğinde bu ilişkinin devam ettiği ancak beklenildiği gibi ters yönlü bir ilişki görülmektedir. Metamorfik kayaçları bu analize eklediğimizde ise herhangi bir ilişki bahsetmek mümkün olmamaktadır. Çizelge 4.12’de verilen verilerden yola çıkılarak doku, fiziksel ve mekanik özellikler arasındaki ilişkilerin kayaçların oluşum türleri içerisinde daha

yoğun olduklarını, farklı oluşum türü kayalar ile bir bütün alındığında azaldığını söyleyebiliriz.

b) OTBİ ve fiziksel özellikler arasındaki ilişkilerin belirlenmesi

OTBİ değerleri ile fiziksel özellikler arasındaki ilişki aşağıda Şekil 4.21’de grafiklerle tasvir edilmiştir.

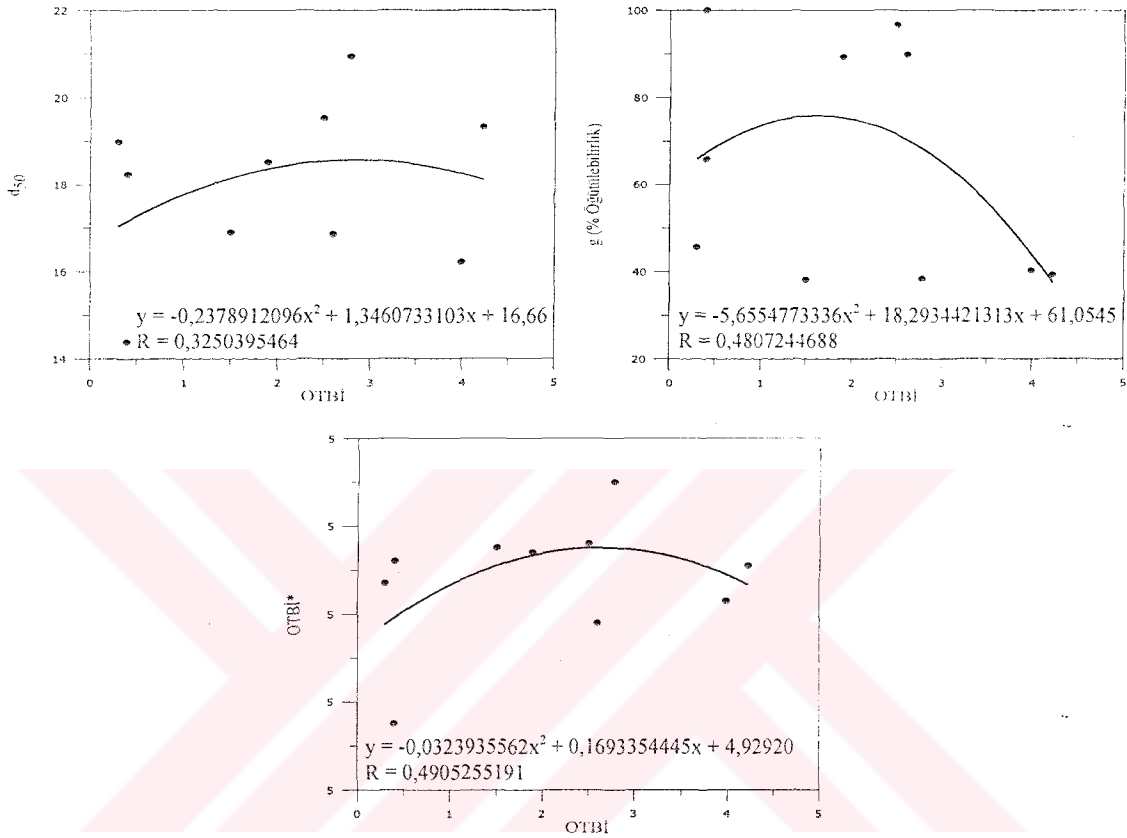


Şekil 4.21. Kayaçların doku özellikleri ile fiziksel özellikleri arasındaki ilişkiler

Şekil 4.21’de görüldüğü gibi kayaçların doku ve fiziksel özellikleri arasında, beklenilenin aksine belirgin derecede bir ilişki görülememiştir. Grafiklerdeki karşılaştırmalarda görülen korelasyon değerleri incelendiğinde OTBİ ile gözeneklilik arasında ters orantılı bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir. Sertlik ve mineral tane yoğunluğu ile OTBİ ilişkisi grafikleri incelendiğinde korelasyon değerlerini düşük olduğu, dolayısıyla bir ilişkinin varlığından bahsetmenin mümkün olmadığı görülmüştür.

c) OTBİ ile kayaçların kırılma ve öğütülme özellikleri arasındaki ilişkiler

Kayaçların doku ile kırılma ve öğütülme özelliklerini tanımlayan parametreler arasında bir ilişkinin olup olmadığı araştırılmış ve aşağıda Şekil 4.22'de görüldüğü gibi değerlendirilmiştir.



Şekil 4.22. Kayaçların doku özellikleri ile kırılma ve öğütülme özellikleri arasındaki ilişkiler

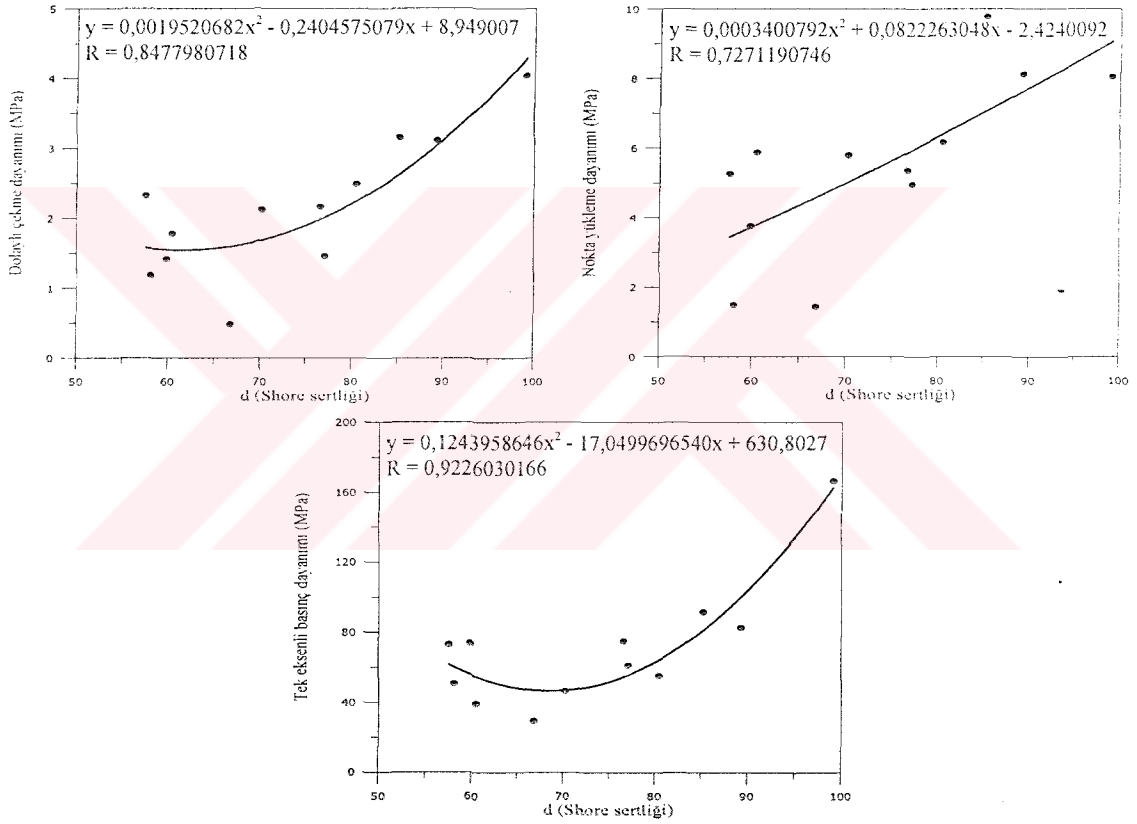
Kayaç örnekleri üzerinde yapılan kırılma ve öğütülebilirlik çalışmaları sonucu belirlenen kırılma karakteristiği, % öğütülebilirlik ve kırılma karakteristiğine bağlı olarak hesaplanan OTBİ* değerleri ile doku tanımlaması (OTBİ) arasındaki ilişki grafikleri incelendiğinde, OTBİ'nin kırılma ve öğütülme özellikleri üzerinde etkili bir parametre olmadığı belirlenmiştir.

4.2.3.2. Kayaçların fiziksel ve mekanik özellikler arasındaki ilişkilerin tanımlanması

Bu tez çalışmasında kullanılan kayaç örneklerine ait fiziksel ve mekanik özellikler arasındaki ilişki ve korelasyon ilişkileri grafikler ile belirlenmiştir. Fiziksel ve mekanik özellikler arasındaki belirlenen ilişkiler aşağıda alt başlıklar halinde özetlenmiştir.

a) Sertlik ile mekanik özellikler arasındaki ilişkilerin belirlenmesi

Kullanılan kayaç örneklerine ait sertlik değerleri ile mekanik özellikler arasındaki ilişki grafikleri Şekil 4.23'de verilmiştir.

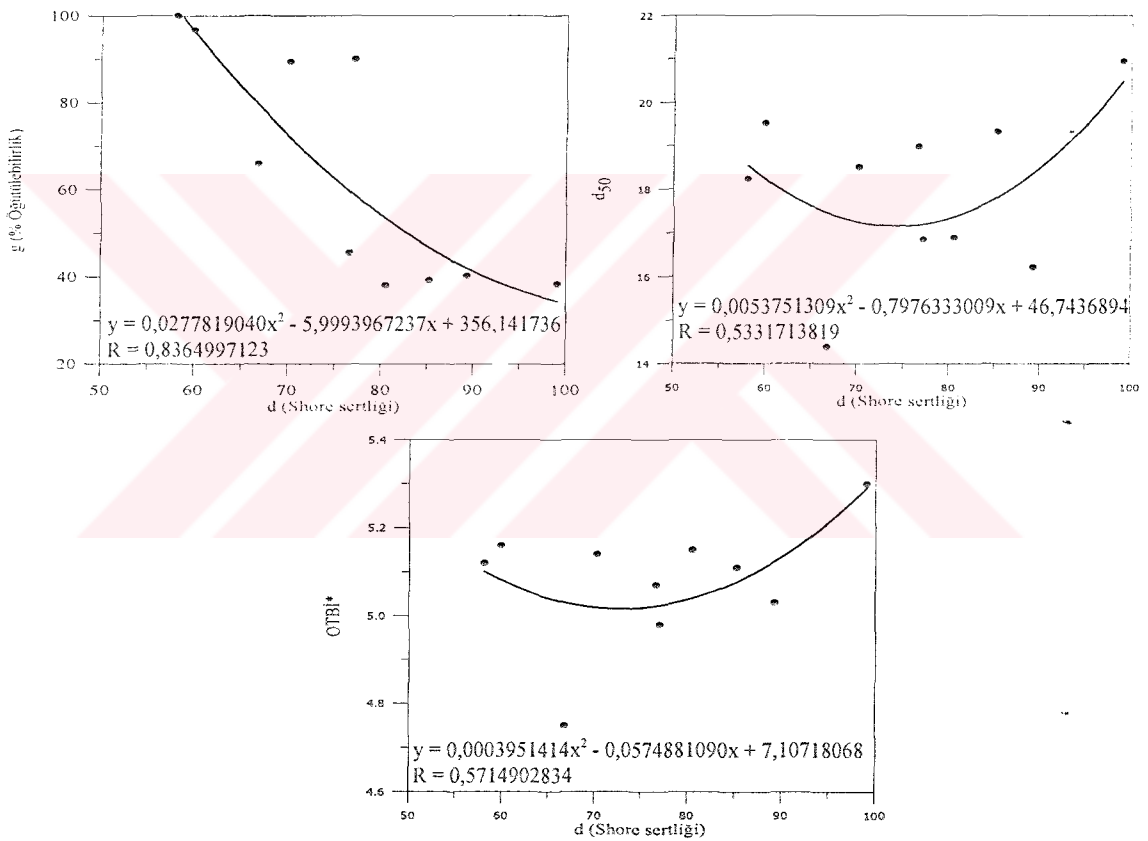


Şekil 4.23. Sertlik ve mekanik özellikler arasındaki ilişkiler

Şekil 4.23'de verilen sertlik ilişkileri grafikleri incelendiğinde verilen korelasyon değerlerine bakarak numunelerin sertlikleri ile mekanik özellikleri arasında doğru orantılı bir ilişkinin olduğu görülmektedir.

b) Sertlik ile kayaçların kırılma ve öğütülme özellikleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesi

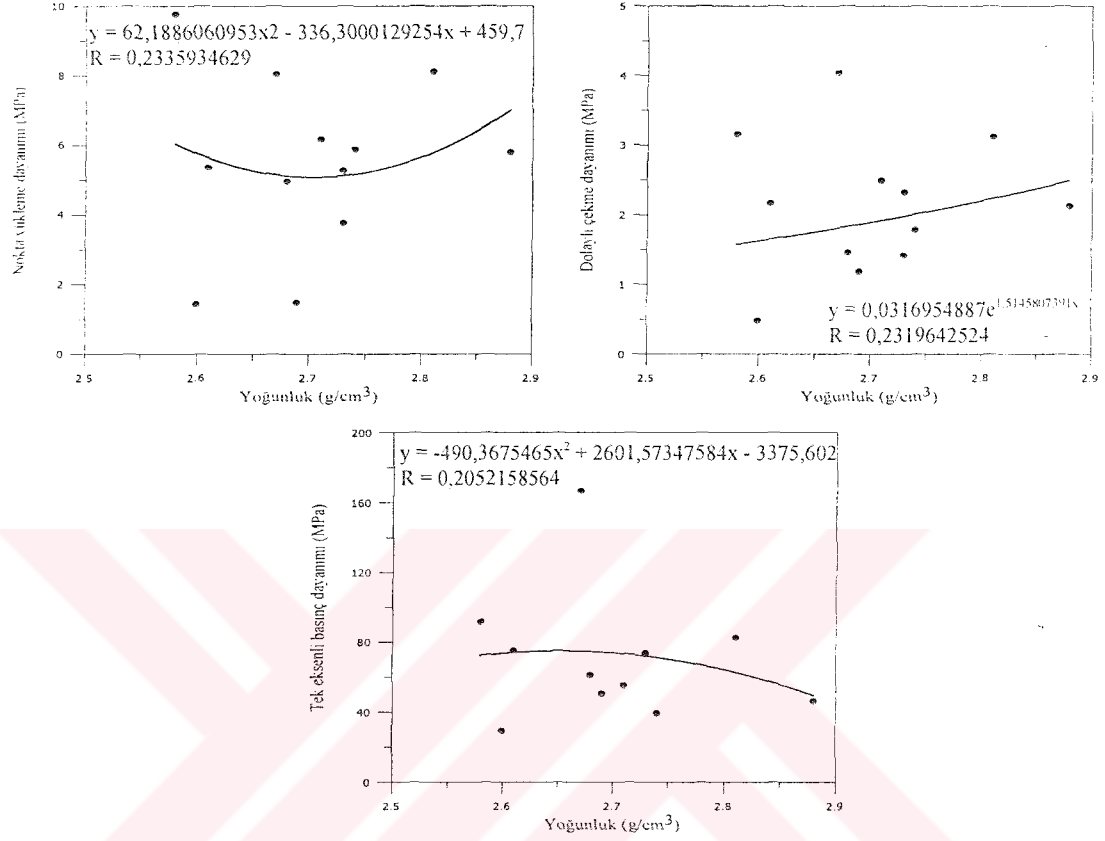
Sertlik değerleri ile kayaç örneklerine ait kırılma ve öğütülme özellikleri arasındaki ilişkiler (Şekil 4.24) incelendiğinde sertlik ile öğütülebilirlik arasında mevcut bir ilişkinin varlığından bahsetmenin mümkün olduğu görülmüştür. Sertlik ile kırılma özellikleri ve kırılmaya bağlı olarak hesaplanan OTBİ* değeri arasında bir ilişkinin olmadığı belirlenmiştir. Ancak kayaçlar oluşumlarına göre bağımsız olarak değerlendirildiğinde sertlik ile kırılma ve öğütülme özellikleri arasında bir ilişkinin muhtemel olduğu belirlenmiştir (Bkz. Çizelge 4.12).



Şekil 4.24. Sertlik ile kırılma ve öğütülme özellikleri arasındaki ilişkiler

c) Yoğunluk ile mekanik özellikler arasındaki ilişkilerin belirlenmesi

Kayaçların mineral tane yoğunlukları ile mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler ve korelasyon değerleri Şekil 4.25’de verilmiştir.

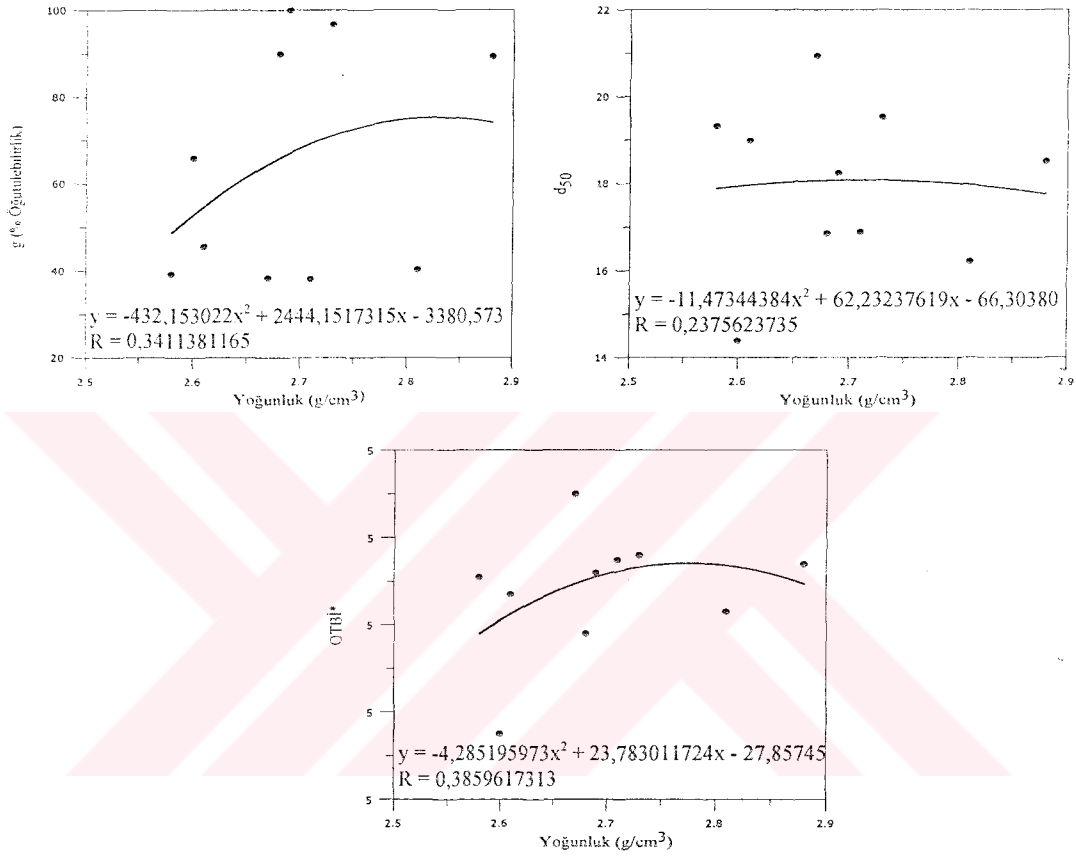


Şekil 4.25. Yoğunluk ile mekanik özellikler arasındaki ilişkiler

Mineral tane yoğunluğu ile mekanik özellikler arasındaki ilişki grafikleri incelendiğinde korelasyon değerlerinin oldukça düşük olduğu görülmüştür. Buna bağlı olarak mineral tane yoğunluğunun kayaçların mekanik özellikleri üzerinde etkili bir parametre olmadığı belirlenmiştir.

d) Yoğunluk ile kayaçların kırılma ve öğütülme özellikleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesi

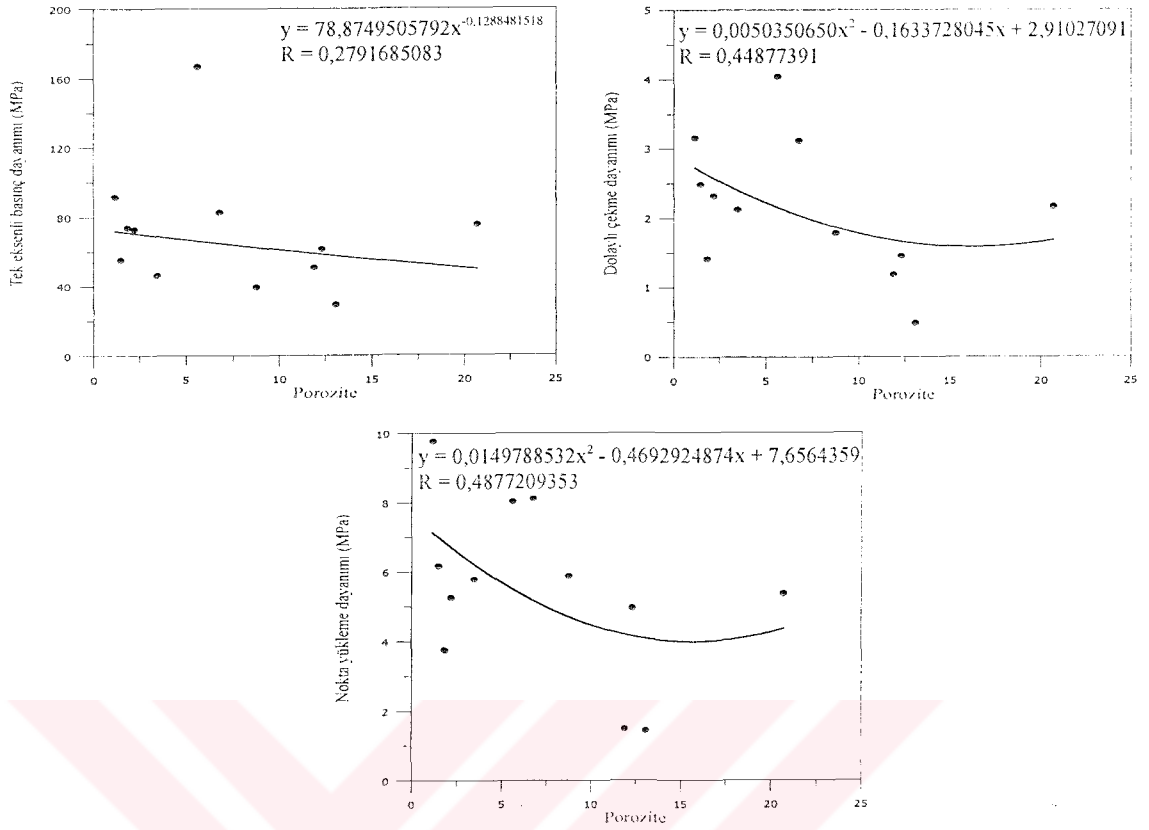
Mineral tane yoğunluğu ile kırılma ve öğütülebilirlik özellikleri arasındaki ilişki grafiklerine (Şekil 4.26) göre mineral tane yoğunluklarının kayaçların kırılma ve öğütülme özelliklerini etkilemediği görülmüştür.



Şekil 4.26. Yoğunluk ile kırılma ve öğütülme özellikleri arasındaki ilişkiler

e) Porozite ile mekanik özellikler arasındaki ilişkilerin belirlenmesi

Şekil 4.27'de görüldüğü gibi kayaçların porozite ve mekanik özelliklerin ilişki grafikleri incelendiğinde korelasyon değerlerinin, beklenilenin aksine oldukça düşük olduğu görülmüştür.

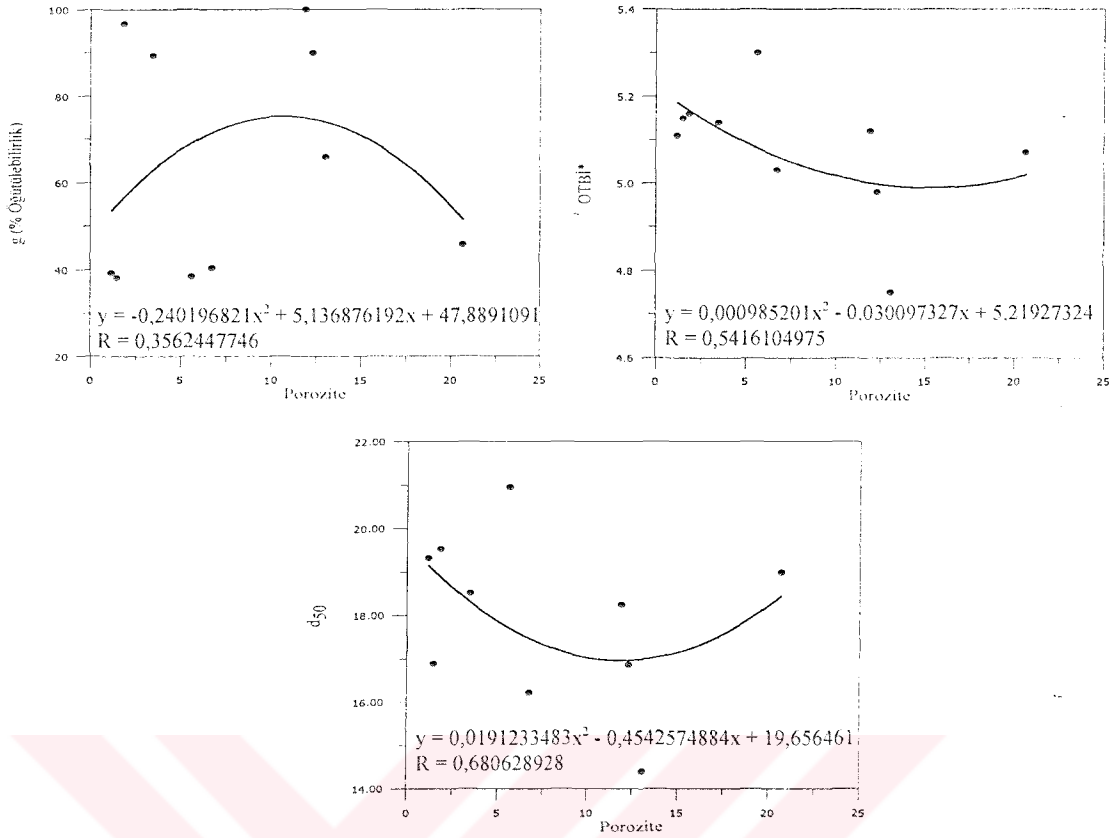


Şekil 4.27. Porozite ile mekanik özellikler arasındaki ilişkiler

f) Porozite ile kayaçların kırılma ve öğütülme özellikleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesi

Kayaçların porozite özellikleri ile kırılma ve öğütülme karakteristiği arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler ve korelasyon değerleri Şekil 4.28'de verilmiştir.

Porozite ile kırılma ve öğütülme özellikleri karşılaştırıldığında kırılma ve öğütülme özellikleri ile porozite arasında belirgin bir ilişki belirlenmemiştir. Ancak kırılma karakteristiğine bağlı olarak hesaplanan OTBİ* değeri ile porozite arasında muhtemel bir ilişkinin olabileceği görülmüştür.



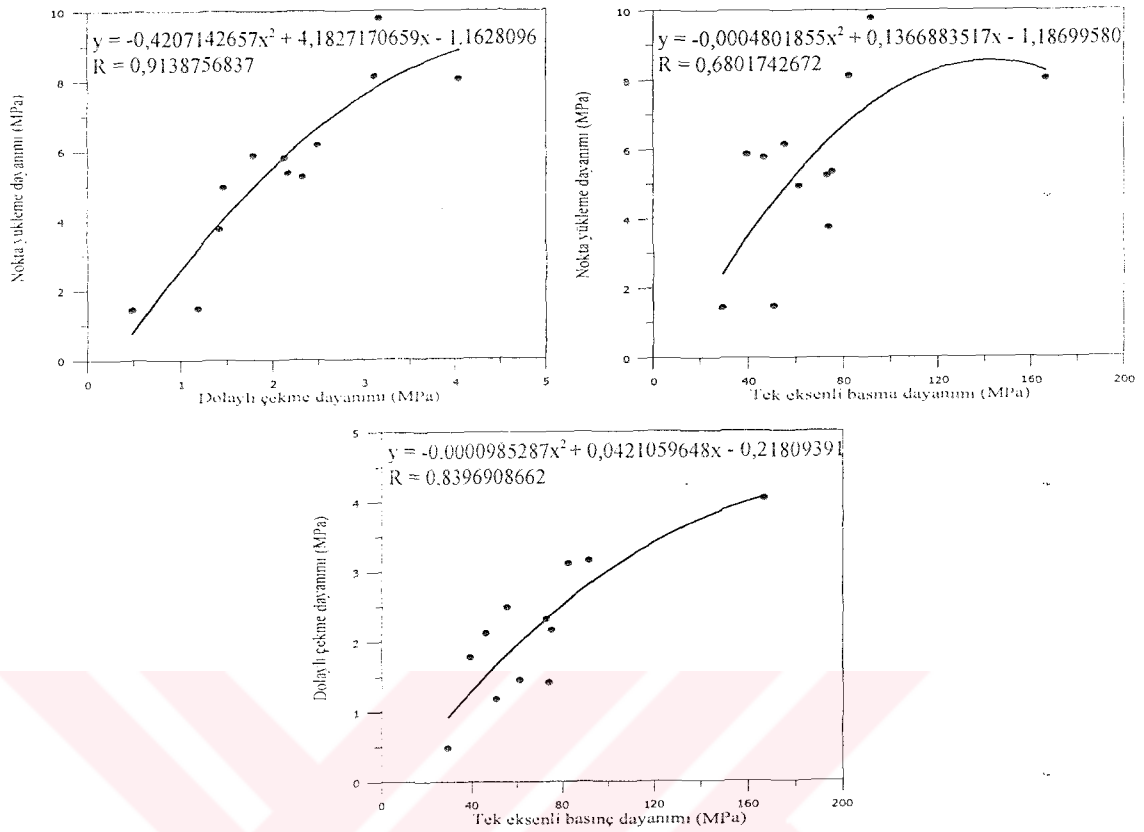
Şekil 4.28. Porozite ile kırılma ve öğütülme özellikleri arasındaki ilişkiler

4.2.3.3. Kayaçların mekanik özelliklerinin kendi aralarında ve kırılma, öğütülme özellikleri arasında ilişkilendirilmesi

Bu tez çalışması kapsamında kullanılan kayaç örneklerine ait yapılan mekanik deneyler sonucu elde edilen tek eksenli basınç dayanımı, nokta yükleme dayanımı ve dolaylı çekme dayanımları elde edilmiştir. Elde edilen bu veriler kullanılarak mekanik özellikler kendi aralarında ve bu kayaçların kırılma, öğütülme özellikleri ile ilişkilendirilmiştir.

a) Kayaçların mekanik özelliklerinin kendi aralarında ilişkilendirilmesi

Kayaç örneklerine ait belirlenen mekanik özelliklerin birbirleri ile ilişkilendirilerek grafikler halinde Şekil 4.29'da verilmiştir.

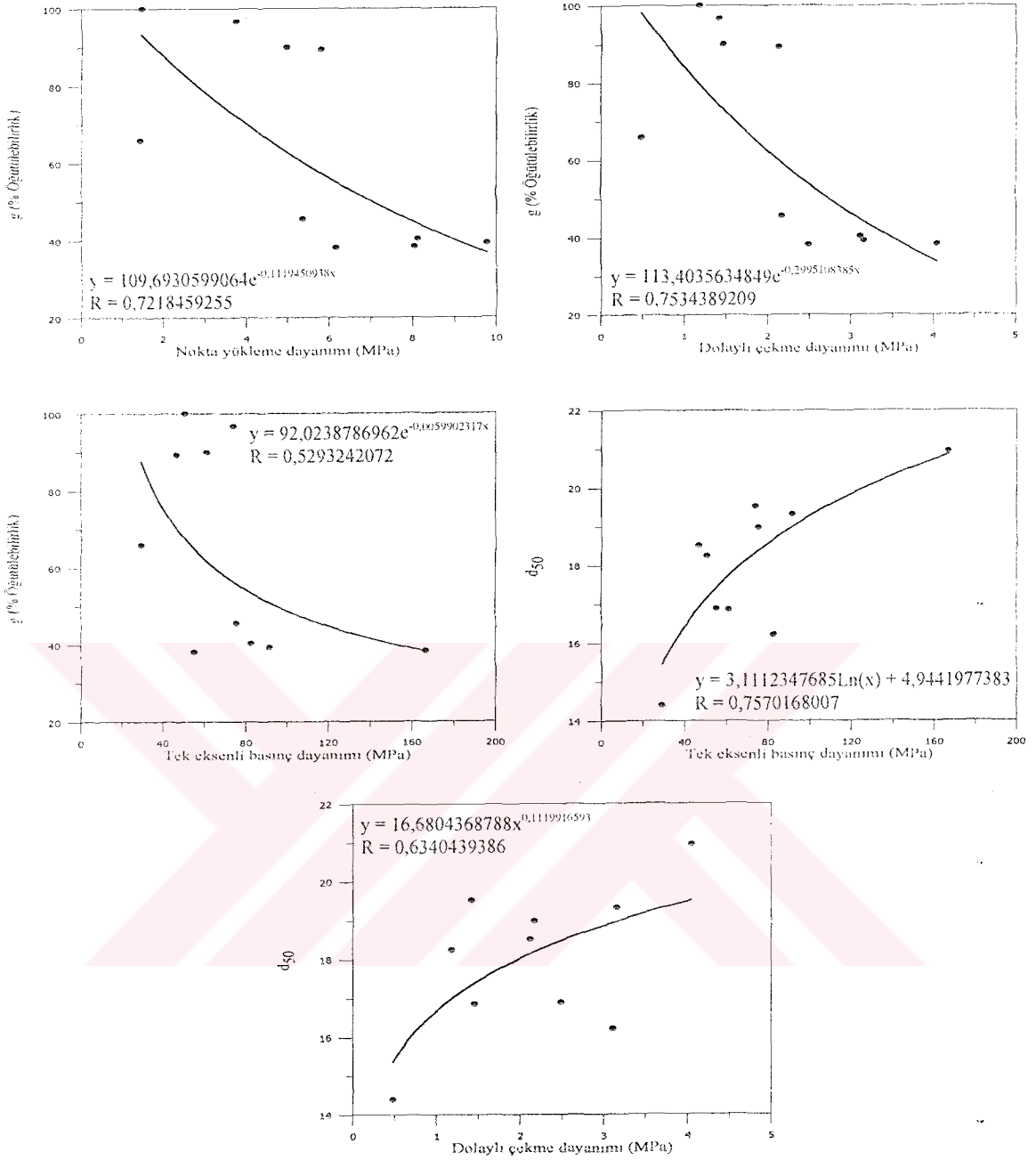


Şekil 4.29. Kayaçların mekanik özelliklerinin kendi aralarında ilişkilendirilmesi

Bu tez çalışmasında kullanılan kayaç örneklerine ait mekanik özellikler birbirleri aralarında karşılaştırıldığında nokta yükleme dayanımı ile dolaylı çekme dayanımı arasında, tek eksenli basınç dayanımı ile nokta yükleme dayanımı arasında ve tek eksenli basınç dayanımı ile dolaylı çekme dayanımları arasında mevcut bir ilişkinin olduğu ve bu ilişkinin doğru orantılı olarak arttığı belirlenmiştir.

b) Kayaçların mekanik özellikleri ile kırılma ve öğütülme özellikleri arasındaki ilişkilerin tanımlanması

Kayaç örneklerine ait mekanik özellikler ile kırılma ve öğütülme özelliklerine ait ilişki grafikleri aşağıda Şekil 4.30'da verilmiştir.



Şekil 4.30. Kayaçların mekanik özellikleri ile kırılma ve öğütülme özellikleri arasındaki ilişkiler

Şekil 4.30'da verilen mekanik özellikler grafikleri incelendiğinde korelasyon değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Buna göre; kayaç numunelerinin nokta yükleme dayanımı, dolaylı çekme dayanımı ve tek eksenli basınç dayanımları ile öğütülebilirlik özellikleri arasında ters orantılı bir ilişkinin olduğu görülmüştür. Yine

bu mekanik özellikler kayaç örneklerine ait kırılma karakteristikleri ile karşılaştırıldığında doğru orantılı olarak artan muhtemel ilişkiler belirlenmiştir.



BÖLÜM V

SONUÇLAR

Bu tez kapsamında yapılan bütün çalışma ve analizlere literatür bilgilerini de ekleyerek birlikte bir değerlendirme yapıldığında, kayaçların dokusal özellikleri, mekanik ve fiziksel özellikleri belirlenmiş ve bu özellikler arasında bir ilişkinin varlığı tespit edilmeye çalışılmıştır. Ancak bu tez kapsamında çalışılan kayaç örneklerinin farklı oluşumlar göstermesi (sokulumlu, sedimanter, volkanik, metamorfik) nedeniyle bazı kayaç örneklerinde beklenenin aksinde bir sonuçla karşılaşmıştır. Mevcut veri ve değerlendirmelere dayanarak bazı çıkarımlar yapılmıştır. Bunlar aşağıda sıralanmıştır.

- Kayaçların sertlik değerleri ile doku, mekanik ve diğer fiziksel özellikleri karşılaştırıldığında numunelerin sertlikleri ile mekanik özellikleri arasında bir ilişkinin olduğu görülmüştür. Ayrıca sertlik ile numunelerin % öğütülebilirlikleri arasında da bir ilişkinin varlığı belirlenmiştir. Ancak sertlik değerlerinin, tez çalışmamızda kullandığımız doku tanımlaması olan OTBİ ile herhangi bir ilişkisi belirlenememiştir.
- Yoğunluk parametresinin kayaçların doku özellikleri ve mekanik özellikleri üzerinde etkili bir parametre olmadığı görülmüştür.
- OTBİ ile porozite arasında ters orantılı bir ilişkinin olduğu görülmüştür. Aynı zamanda OTBİ* ile porozite arasında muhtemel bir ilişkiden bahsetmek mümkündür.
- Kayaç numunelerinin nokta yükleme dayanımı ile öğütülebilirlikleri arasında ters orantılı bir ilişkinin olduğu görülmektedir. Dolaylı çekme dayanımı ile nokta yükleme dayanımı arasında ve öğütülebilirlik arasında bir ilişkinin varlığı söz konusudur. Tek eksenli basınç dayanımları ile dolaylı çekme dayanımı ve d_{50} değerleri arasında bir ilişkiden bahsetmek mümkündür.

- OTBİ ile nokta yükleme dayanımları arasında bir ilişkinin varlığı tespit edilmiştir. Ancak OTBİ değerlerinin diğer mekanik özellikler üzerinde etkili bir parametre olmadığı görülmüştür.
- Kayaç örnekleri üzerinde yapılan suda dağılma dayanım deneyi sonuçlarında çevrim sayılarına karşılık suda dağılma indeksindeki değişimler incelendiğinde genel olarak kayaç numunelerinin indeks değerlerinin ilk önce arttığı ve bir noktadan sonra sabit devam ettiği görülmüştür. Ancak oluşumlarına göre volkanik kayaç sınıfına giren dasit ve andezit türü kayaçlarda bu artışın daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.
- Kayaç dokusunun şekil ve hacim faktörü üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı ya da baskın bir etken olmadığı görülmüştür. Yoğunluk ve gözenekliliğin baskın etkenlerden olduğu belirlenmiştir.
- Kayaç dokusunun kayaçların kırılma ve öğütülme oranı üzerinde bir etkisinin olduğu aynı oluşuma sahip numuneler bazında belirlenmiştir. Fakat bir bütün olarak değerlendirildiğinde bu durumun değiştiği gözlenmiştir.
- Numunelerin mineral içeriklerinin, kırıcıdan çıkan tanelerin boyut dağılımları ve öğütülme oranları üzerinde baskın bir etkisinin olmadığı görülmüştür.
- Şekil faktörü tayininden elde edilen sonuçlara göre kırılan kayaç taneler irileştikçe birbirine daha çok benzemekte küçüldükçe farklılaşmaktadır.
- Kayaçların mekanik özellikleri ile kayaçların fiziksel özellikleri arasındaki ilişkinin, kayaçların doku özellikleri ile fiziksel özellikleri arasındaki ilişkiden daha yoğun olduğu belirlenmiştir.
- Kayaçların kırılma ve öğütülme özellikleri üzerinde etkili olan pek çok parametrenin bulunduğu fakat bu parametrelerin etkinlik derecelerini kesin olarak belirlemenin, kayaçların heterojen bir yapı sergilemeleri nedeniyle mümkün olmadığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Adriani, G.F., and Walsh, N., 2002, Physical properties and textural parameters of calcarenitic rocks: Qualitative and quantitative evaluations, *Engineering Geology* 67: 5-15
- Akkesson, U., Lindqvist, J. E., Göransson, M. and Stigh, J., 2001, Relationship between texture and mechanical properties of granites, central Sweden, by use of image-analysing techniques, *Bull Eng. Geol. Env.* 60: 277-284
- Allen, T., 1990, Particle Size Measurement, Powder Technology Series, Delft University of Technology, Netherlands
- Austin L. G., Klimpel R. R. & Luckie P. T., 1984, Process Engineering of Size Reduction: Ball Milling, New York, USA
- Azzoni, A., Bailo, F., Rodena, E. and Zaninetti, A., 1996, Assesment of texture coefficient for different rock types and correlation with uniaxial compressive strength and rock weathering, *Rock Mec. Rock Eng*, 29(1), 39-46
- Bell, F.G., 1978, The physical and mechanical properties of the Fell Sandstones, Northumberland, England, *Engineering Geology* 12: 1-29
- DPT, 2001, Yapı malzemeleri çalışma grubu raporu, Sekizinci beş yıllık kalkınma planı: 2616-ÖİK:627
- Dürrast, H., Siegesmund, S., 1999, Correlation between rock fabrics and physical properties of carbonate reservoir rocks, *Int. J. Earth Sciences* 88: 392-408
- Ehrlich, R., Weinberg, B., 1992, An exact method for characterization of grain shape, *J. Sedimentary Petrology*, Vol. 40, pp. 205-212

- Erguvanlı, K.,1971, Mühendislere Jeoloji,İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, Gümüşsuyu, 253 s.
- Ersoy, A. and Waller, M.D., 1995, Textural characterisation of rocks, Engineering Geology,39: 123-136
- Hoek, E., 1965, Rock fracture under static stress conditions, CSIR Report, MEG 383, p. 159
- Howarth, D.F. and Rowlands, J.C., 1986, Development of an index to quantify rock texture for qualitative assesment of intact rock properties, Geotechnical Testing J. 9(4): 169-179
- Howarth, D.F. and Rowlands, J.C., 1987, Quantitative Assesment of rock texture and Correlation with Drillability and strength Properties, Rock Mech. Rock Eng. 20: 57-85
- Hugman, R.H., Friedman, M., 1979, Effects of texture and composition on mechanical behavior of experimentallydeformed carbonate rocks, Amer. Assoc. Of Petroleum Geologist Bulletin, Vol. 63, 1478-1489
- ISRM, 1981, Rock Characterization Testing and Monitoring, Suggesting Methods, Oxford
- Johnson, R.B. and De Graff, V. J., 1998, Principles of Engineering Geology, Wiley, New York
- Joy, D.C., Newbury, D.E., Davidson, D.L.,1982, Electron channelling patterns in the scanning electron microscope, Journal of Applied Physics53, R81-R122

- Kabeya, K. K., and Legge, T. F. H., 1997, Relationship between grain size and some surface roughness parameters of rock joints, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, V. 34, paper no: 146
- Kekeç, B., Ünal, M. ve Şensöğüt, C., 2004, Kayaçların doku özellikleri ile kırılma ve öğütülme özellikleri arasındaki ilişkinin incelenmesi, *ROCKMEC'2004-VIIIth Regional Rock Mechanic Symposium*, 2004, Sivas, Türkiye, pp. 49-58
- Lazzarini, L. and Tabasso, L. M., 1986, *Il restauro della pietra*, Cedam, Padova
- Leiss, B., Ullemeyer, K., Weber, K., 2000, Introduction to the special issue: Textures and physical properties of rocks, *Journal of Structural Geology*, pp.1527-1529
- Lounsbery, R.W., West, T. R., 1965, Petrography of some Indiana aggregates in relation to their engineering properties, *Univ. Kentucky Eng. Exp. Stn. Bull Ser 20* : 24-41
- Mendes, F. M., Aires-Barros, L. and Rodrigues, F. P., 1966, The use of modal analysis in the mechanical characterization of rocks masses, *1st Cong. Rock Mech.*, Lisbon, Vol. 1, pp. 217-223
- Olsson, W. A., 1974, Grain size dependence of yield stress in marble, *J. Geophys. Res.*, Vol. 79, 4859 - 4861
- Onodera, T. F. and Asoka Kumara, H.M., 1980, Relation between texture and mechanical properties of crystalline rocks, *Bull. Int. Assoc. Engineering Geology*, Vol. 22, pp. 173-177
- Orhan, H., 1997, *Sedimanter Kayaçlar*, S.Ü. Müh. Mim. Fak. Yayınları, Konya

- Özçelik, Y., 2002, Effect of mineralogical and petrographical properties of marble on cutting by diamond wire, CIM Bulletin
- Öztürk, C. A. ve Nasuf, E., 2002, Farklı yükleme koşullarındaki kayaçların dokusal özelliklerinin incelenmesi, ROCKMEC'2002-VIth Regional Rock Mechanic Symposium, 2002, Konya, Türkiye, pp. 147-153
- Polat, E., 2003, Mermerlerin elmas tel ile kesiminde dokusal özelliklerin etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Prikryl, R., 2001, Some microstructural aspects of strength variation in rocks, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 38, pp. 671-682
- Skirotzki, W., 1994, Mechanisms of texture development in rocks, Texture of Geological Materials, pp. 167-186
- Tuğrul, A. and Zarif, I.H., 1999, Correlation of mineralogical and textural characteristics with engineering properties of selected granitic rocks from Turkey, Engineering Geology, Vol. 51, pp. 303-317
- Ullemeyer, K., Braun, G., Dahms, M., Kruhl, H. J., Olese, N., Siegesmund, S., 2000, Texture analysis of a muscovite-bearing quartzite: a comparison of some currently used techniques, Journal of Structural Geology, 1541-1557
- Ulusay, R., 1989, Pratik Jeoteknik Bilgiler, Teknomad yayınları, Maya Matbaacılık ve Yayıncılık A.Ş., Ankara, 243 s.
- Unal, M. and Unver, B., 2002, An appraisal of the relationship between discontinuity surface roughness and grain size, ROCKMEC'2002-VIth Regional Rock Mechanic Symposium, 2002, Konya, Türkiye, pp. 101-109

Uz, B., 1992, Maden ve Jeoloji Mühendisliğinde Petrografi Prensipleri, 2. Baskı, İstanbul, 334 s.

Üşenmez, Ş., 1985, Sedimantoloji ve Sedimanter Kayaçlar, Gazi Üniversitesi Yayınları, Ankara

Willard, R. J. and Mc Williams, J. R., 1969, Microstructural techniques in the study of physical properties of rocks, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 6, pp. 1-12

Williams, H. Et al., 1982, Petrography, W. H. Freeman & Company, San Francisco, p. 369

