



**T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**KAYAÇLARIN FİZİKSEL-MEKANİK ve
AŞINDIRICILIK ÖZELLİKLERİ İLE DOKU
KATSAYISI ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN
İNCELENMESİ ve KAYAÇ DOKU
KATSAYISININ GÖRÜNTÜ İŞLEME
TEKNİĞİ KULLANARAK HESAPLANMASI
Emre KARAKAYA**

DOKTORA TEZİ

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

**Ekim-2024
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Emre KARAKAYA tarafından hazırlanan “Kayaçların Fiziksel-Mekanik ve Aşındırıcılık Özellikleri İle Doku Katsayısı Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi ve Kayaç Doku Katsayısının Görüntü İşleme Tekniğı Kullanarak Hesaplanması” adlı tez çalışması 23/09/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliğı / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Maden Mühendisliğı Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Niyazi BİLİM
(Konya Teknik Üniversitesi)

Danışman

Prof. Dr. Bilgehan KEKEÇ
(Konya Teknik Üniversitesi)

Üye

Doç. Dr. Ali Ekrem ARITAN
(Afyon Kocatepe Üniversitesi)

Üye

Doç. Dr. Ramazan ÇOMAKLI
(Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi)

Üye

Dr. Öğretim Üyesi Gürsel KANSUN
(Konya Teknik Üniversitesi)

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması Konya Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından 221109027 numaralı proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

.

İmza

Emre KARAKAYA

Tarih:

ÖZET

DOKTORA TEZİ

KAYAÇLARIN FİZİKSEL-MEKANİK ve AŞINDIRICILIK ÖZELLİKLERİ İLE DOKU KATSAYISI ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN İNCELENMESİ ve KAYAÇ DOKU KATSAYISININ GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNİĞİ KULLANARAK HESAPLANMASI

Emre KARAKAYA

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Bilgehan KEKEÇ

2024, 123 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Bilgehan KEKEÇ
Prof. Dr. Niyazi BİLİM
Doç. Dr. Ali Ekrem ARITAN
Doç. Dr. Ramazan ÇOMAKLI
Dr. Öğretim Üyesi Gürsel KANSUN

Kayaçlar, karmaşık heterojen kütlelerdir. Bir kayanın mekanik özellikleri onun mineralojisine, dokusuna, yapısına ve bozunmasına (weathering) bağlı olarak değişim göstermektedir. Bu çalışmanın ilk aşamasında, farklı bölgelerden elde edilmiş olan 20 adet, farklı oluşumlara sahip kayaç (magmatik, metamorfik ve sedimanter) örneklerinin fiziksel-mekanik (Schmidt, gözeneklilik-yoğunluk, Brazilian dayanımı, tek eksenli basma dayanımı, nokta yükleme dayanımı) ve aşındırıcılık (Los Angeles aşınma dayanımı, mikro deval aşınma dayanımı ve böhme aşınma dayanımı) özellikleri belirlenmiştir. Kayaçların XRF analizleri yapılmıştır ve bu kayaçlardan ince kesitler alınarak ince kesit görüntüleri polarizan mikroskop ile fotoğraflanmış ve analiz edilmiştir. XRF ve ince kesit görüntüleri kullanılarak mineralojik ve petrografik tanımlama yapılmıştır.

Tez çalışmasının ikinci aşamasında ise geleneksel yöntemlerle ince kesitler üzerinden göz ile tanelerin incelenmesi ve gerekli değerlerin tahmin edilmesi ile hesaplanan doku katsayısı değerinin, segmentasyon ve derin öğrenme tabanlı görüntü işleme tekniği kullanarak çok daha hızlı ve daha sağlıklı bir şekilde hesaplayan özgün bir yazılım geliştirilerek hesaplanması sağlanmıştır. Doku katsayısının görüntü işleme metodolojileriyle hesaplanabilmesi için kütüphanelerin sürekli güncellenmesi, görüntü işleme metodlarının çokluğu ve işlevselliği ve uygulanabilirlik kriteri değerlendirildiğinde Python yazılım dilinin diğer yazılım dillerinden daha kullanışlı olduğu öngörülmüştür. Bu nedenle “doku katsayısını” görüntü işleme yöntemiyle hesaplanmasında Python yazılım dili kullanılmıştır. Dokuyu oluşturan mineral taneciklerin her birinin segmentasyonunda ise Segment Anything algoritması kullanılmıştır. Geliştirilen yazılım sayesinde çalışmada yer alan kayaçların doku katsayı (DK) değerleri belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Doku katsayısı, görüntü işleme, segmentasyon, kaya dokusu, kaya mühendisliği.

ABSTRACT

PhD THESIS

INVESTIGATION OF THE RELATIONS BETWEEN THE PHYSICAL-MECHANICAL AND ABRASIVE PROPERTIES OF ROCKS AND THE TEXTURE COEFFICIENT AND THE CALCULATION OF THE ROCK TEXTURE COEFFICIENT USING IMAGE PROCESSING TECHNIQUE

Emre KARAKAYA

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Mining Engineering**

Advisor: Prof. Dr. Bilgehan KEKEÇ

2024, 123 Pages

Jury

Advisor Prof. Dr. Bilgehan KEKEÇ

Prof. Dr. Niyazi BİLİM

Doç. Dr. Ali Ekrem ARITAN

Doç. Dr. Ramazan ÇOMAKLI

Assistant Prof. Gürsel KANSUN

Rocks are complex heterogeneous masses. The mechanical properties of a rock vary depending on its mineralogy, texture, structure and weathering. In the first stage of this study, 20 rock samples of different formations (magmatic, metamorphic and sedimentary) obtained from different regions were examined for physical-mechanical (Schmidt, porosity-density, Brazilian strength, uniaxial compressive strength, point loading strength) and corrosivity (Los Angeles abrasion resistance, micro deval abrasion resistance and Böhme abrasion resistance) properties were determined. XRF analyzes of the rocks were performed and thin sections were taken from these rocks, thin section images were photographed and analyzed with a polarizing microscope. Mineralogical and petrographic identification was made using XRF and thin section images.

In the second stage of the thesis study, the texture coefficient value, which was calculated by visually examining the grains through thin sections with traditional methods and estimating the necessary values, was calculated by developing an original software that calculates it much faster and more accurately using segmentation and deep learning-based image processing techniques. Considering the constant updating of libraries, the multiplicity and functionality of image processing methods, and the applicability criteria in order to calculate the texture coefficient with image processing methodologies, it is predicted that the Python programming language is more useful than other programming languages. For this reason, Python software language was used to calculate the "texture coefficient" using the image processing method. Segment Anything algorithm was used in the segmentation of each mineral grain that forms the texture. Thanks to the developed software, texture coefficient (DK) values of the rocks included in the study were determined.

Keywords: Texture coefficient, image processing, segmentation, rock texture, rock engineering.

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın her safhasında beni destekleyip yönlendiren, teşvik eden ve benim yetişmem için emeğini esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Bilgehan KEKEÇ'e sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Tez izleme komite üyesi olarak fikirleriyle daima bana yol gösteren ve bugünlere gelmemde birçok emeği olan Maden Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Niyazi BİLİM'e teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca tez çalışmamdaki kayaçların mineralojik ve petrografik analizleri yapan ve tezime katkıda bulunan Dr. Öğretim Üyesi Gürsel KANSUN'a teşekkür ederim.

Arazi çalışmalarının yapılmasında her türlü destek ve yardımlarından dolayı Ali Sami ŞENER'e ve doktora tezimin görüntü işleme kısmında yol gösteren ve katkıda bulunan Fatih Veli ADIGÖZEL'e teşekkürlerimi sunarım.

Bu günlere gelmemi borçlu olduğum babam Yakup Karakaya'ya, annem Ayşe KARAKAYA'ya, teşekkürü bir borç bilirim.

Emre KARAKAYA
KONYA-2024

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Problemin Tanımı.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı.....	1
1.3. Tezin İçeriği	2
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Genel	3
2.2. Kayaçların oluşumlarına göre sınıflandırılması.....	3
2.3. Hidrotermal Maden Yatakları	5
2.4. Kayaç Dokusu.....	6
2.4.1. Doku analiz yöntemleri.....	8
2.4.2. Sedimanter, Magmatik ve Metamorfik Doğal Yapı Taşlarındaki Genel Doku Türleri	9
2.4.3. Kayaç dokusunun geometrik özellikleri	12
2.4.4. Kayaç Dokusunun Sayısallaştırılması	14
2.5. Kayaçların Doku Katsayısı ile Fiziksel ve Mekanik Özellikler Arasındaki İlişki	18
2.6. Görüntü İşleme Tekniklerinin Yer Bilimlerinde Kullanım Alanı	22
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	24
3.1. Genel	24
3.2. Laboratuvarda Gerçekleştirilen Mekanik Deneyler.....	26
3.2.1. Schmidt sertliği belirleme deneyi	27
3.2.2. Yoğunluk ve gözeneklilik belirleme deneyi	28
3.2.3. Nokta yükleme dayanım deneyi.....	28
3.2.4. Tek eksenli basınç dayanım deneyi	29
3.2.5. Brazilian (Dolaylı) çekme dayanım deneyi	30
3.3. Laboratuvarda Gerçekleştirilen Aşınma Deneyleri	31
3.3.1. Böhme aşındırıcılık deneyi	31
3.3.2. Mikro Deval aşınma deneyi.....	31
3.2.3. Los Angeles aşınma deneyi	32
3.2.4. Cerchar aşınma deneyi.....	33
3.3. Mineralojik ve Petrografik Analizler	34

3.4. Doku Katsayısı, Segmentasyon ve Görüntü İşleme.....	35
3.4.1. Doku katsayısı (DK) eşitliği ve doku katsayısı parametrelerinin hesaplanması.....	35
3.4.2. Görüntü segmentasyonu algoritması	38
3.4.3. Derin öğrenme tabanlı görüntü segmentasyonu tekniğiyle kayaç doku segmentasyonu.....	40
3.4.4. Doku Katsayısı (DK) Değerinin Görüntü İşleme Yöntemiyle Hesaplanması	46
3.4.5. Korelasyon yöntemi.....	51
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	52
4.1. Çalışmada Yer Alan Kayaçların Araştırma Sonuçları	52
4.1.1. Çalışmada yer alan kayaçların fiziksel ve mekanik deney sonuçları.....	52
4.1.2. Çalışmada yer alan kayaçların aşındırıcılık deney sonuçları.....	53
4.1.3. Çalışmada yer alan kayaçların mineralojik ve petrografik özellikleri.....	55
4.1.4. Görüntü işleme ve segmentasyonu sonucu DK değerlerinin hesaplanması .	71
4.2. Tartışmalar	73
4.2.1. Kayaçların fiziko-mekanik ve aşındırıcılık özelliklerinin birbirleri arasındaki ilişkilerin doğrusal regresyon analizi ile incelenmesi.....	73
4.2.2. Çalışmada kullanılan tüm örneklerin ilişki parametrelerinin incelenmesi ...	74
4.2.3. Kayaçların fiziko-mekanik ve aşındırıcılık özelliklerinin birbirleri arasındaki ilişkilerin doğrusal regresyon analizi ile incelenmesi.....	97
4.2.4. Kayaçların doku katsayısı formülünde yer alan parametrelerin kendi içindeki ilişkileri	100
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	103
5.1 Sonuçlar.....	103
5.2 Öneriler	106
KAYNAKLAR	108

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

DK: Doku Katsayısı

MTA: Maden Tetkik Arama

UCS: Tek Eksenli Basma Dayanımı Deneyi

BTS: Brazilian Dayanım Deneyi

XRF: X ışını floransı



1. GİRİŞ

1.1. Problemin Tanımı

Kaya mühendisliği çalışmalarında kayaç davranışının belirlenebilmesi için, kaya özelliklerinin (fiziksel, mekanik ve indeks) belirlenmesi gerekmektedir. Kayaçların dokusal ve bileşimsel özellikleri kayaçların mühendislik özelliklerini etkilemektedir. Kayaçların bileşimsel özellikleri, kayaçların mühendislik özelliklerini etkilemekle birlikte, kayaç mühendislik özelliklerini etkileyen daha önemli faktör kayaçların dokusal özelliklerinin olduğu bilinmektedir. Bu da kayaçların dokusal ve mineralojik özelliklerinin, kazı makinelerinin seçiminde önemli bir faktör olduğunu ortaya koymaktadır. Mineral tane şekli, tane yönlenmesi, tane boyu, tane çapı, tane girişiminin derecesi ve tane paketlenme yoğunluğu gibi dokusal özellikler, kaya mühendisliği çalışmalarını etkileyen önemli bir etmendir. Aşındırıcı mineral içeriği, kuvars-feldispat oranı, kuvars tane boyu, mineral bileşimi, mineral oranı, mineral tanesi/kayaç parçası oranı, çimento derecesi ve çimento tipi gibi özellikler ise bileşimsel kayaç özelliklerini ifade etmektedir.

Kayaçların fiziksel-mekanik, aşındırıcılık ve dokusal özelliklerinin birbiri arasındaki ilişkiler üzerine, literatür araştırmaları yapıldığında bu konu üzerinde birçok çalışmanın varlığı tespit edilmektedir. Fakat çalışmalarda kullanılan kayaç türünün ve sayısının azlığı, kaya mühendislik özelliklerinden birinin ele alınması (bu konu ile ilgili çalışmalar genel olarak kayaçların mekanik-fiziksel özellikleri ile dokusal özelliklerini ele almaktadır), bu konunun tam anlamıyla anlaşılmamasına ve konuya bir bütün olarak bakılmasını engellemektedir.

Bu çalışma da farklı 20 kayaç örneğinin (magmatik, metamorfik ve sedimanter) örneğinin fiziksel-mekanik özellikleri ve aşındırıcılık özellikleri belirlenmiştir., Örnek kayaçların fiziko-mekanik özellikleri, aşınma ve aşındırma özellikleri ile kayaç dokusal özelliklerinin birbirleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Ayrıca, geleneksel yöntemlerle elde edilen doku katsayısı değerinin, görüntü işleme tekniği kullanarak çok daha hızlı ve daha sağlıklı bir şekilde hesaplayacak bir yazılımın geliştirilmesi bu çalışmanın literatüre ve bilime en önemli katkısı olacaktır

1.2. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada, farklı bölgelerden elde edilmiş 20 adet, farklı kayaç (magmatik, metamorfik ve sedimanter) türlerinin fiziksel-mekanik, aşındırıcılık ve dokusal özelliklerinin araştırılarak bu özelliklerin birbirleri arasındaki ilişkilerin ortaya konulması hedef olarak belirlenmiştir. Doku katsayısının belirlenmesinde ince kesit üzerinden mikroskoptan göz ile incelenme temeline dayalı geleneksel yöntem yerine görüntü işleme tekniği kullanarak ince kesit fotoğrafları üzerinden çok daha hızlı ve daha sağlıklı bir şekilde doku katsayısını hesaplayacak bir yazılımın geliştirilmesi bu çalışmanın en önemli amacı olmaktadır. Bu

amaçlar doğrultusunda bu çalışma için örnek seçilen bazı kayaçların mühendislik özellikleri belirlenerek, yapı taşlarının kullanım amacı ve kullanım yerinin en iyi şekilde seçilmesi, kayaçlarla ilgili mühendislik operasyonlarında kolaylık sağlanması, yer bilimlerindeki mühendislik uygulamalarında kullanılan geleneksel metotların, modern ve teknolojik metotlara geçişinin sağlanması vb. gibi optimistlik materyallerin ortaya konulacağı düşünülmektedir.

1.3. Tezin İçeriği

Bu doktora tez çalışmasının içeriği aşağıda belirtildiği gibidir.

Bölüm 1’de problemin tanımı, tezin amacı ve çalışmanın içeriği konusunda bilgiler verilirken Bölüm 2’de geniş bir literatür araştırması sunulmuştur. Laboratuvarda gerçekleştirilen fiziko-mekanik ve aşındırıcılık deneyleri, mineralojik ve petrografik analizler, doku katsayısı, segmentasyon ve görüntü işleme Bölüm 3’te anlatılırken Bölüm 4’te tez çalışmasında yer alan kayaçların fiziko-mekanik ve aşındırıcılık deney sonuçları, mineralojik ve petrografik analiz sonuçları ve görüntü işleme ve segmentasyonu sonucu DK değerlerinin hesaplama sonuçları verilmiştir. Ayrıca kayaçların fiziko-mekanik ve aşındırıcılık değerleri ile DK değerleri arasındaki ilişkiler ile tez çalışmasında önerilen DK hesaplama metodu ile literatürde yer alan bazı DK hesaplama metotlarının karşılaştırılmasına değinilmiştir. Son bölümde de yapılan çalışmalar sonucunda ulaşılan sonuçlar ve öneriler sunulmuştur.



Andezit, Trakit, Riyolit, Diyabaz, Aplit, Pegmatit, Porfir, Granit, Gabro, Siyenit, Diyorit gibi magmatik kayalar bulunmaktadır. Şekil 2.2’de magmatik kayalara örnek bir gösterim yer almaktadır.



Şekil 2. 2. Magmatik kayalara örnek gösterim (MTA, 2018)

Metamorfik kayalar: Doğadaki kayalar, oluştukları sıcaklık ve basınç koşullarının dışında, 200 ila 800 derece Celsius sıcaklık ve belirli basınç koşulları altında kalma sonucunda katı bir durumda kalarak yapısal, dokusal ve bileşimsel değişikliklere uğrar. Bu değişikliklere "Metamorfizma" denir ve bu süreçle ortaya çıkan yeni kayaça da "Metamorfik Kayaç" adı verilir. Mermer, gnays, şist, kuvarsit, arduvaz ve serpantin, bu metamorfik kayalara örnek olarak bilinir. Şekil 2.3’te metamorfik kayalara örnek bir gösterim yer almaktadır.



Şekil 2. 3. Metamorfik kayalara örnek gösterim (MTA, 2018)

Sedimanter kayalar: Yerkabuğunda önceki oluşumlarına sahip olan her türden kaya, fiziksel aşınma ve kimyasal ayrışma sonucunda yer çekimi kuvveti, rüzgâr, dalga, su ve buzullar tarafından taşınarak göl, akarsu havzaları ve denizlerde depolanır. Bu depolama sonrasında çeşitli süreçlerin etkisiyle yeniden taşlaşarak oluşan formasyonlara "tortul (sedimanter-çökel) kayalar" adı verilir.

Sedimanter kayalarını diğer kaya türlerinden ayıran önemli bir özellik, içerdikleri fosillerdir. Bu kayaların incelenmesi, geçmiş dönemlere ait dış etkenler hakkında (iklim, bitki örtüsü, canlı yaşamı vb.) yerkabuğu ve canlı yaşamının tarihçesini anlamada diğer kaya türlerine (magmatik, metamorfik) göre daha net bilgiler sunar. Sedimanter kayalar, yerkabuğunun hacminin %5'ini oluştururken, magmatik ve metamorfik kayalar %95'ini oluşturur. Ancak, yüzeyde kapladıkları alan açısından, sedimanter kayaların kapladığı alan %75 civarındayken, magmatik ve metamorfik kayaların kapladığı alan %25 civarındadır.

Bu nedenle, sedimanter kayaçlar, insanların faydalandığı birçok maden yatağını içerir. Petrol, yeraltı ve yerüstü suları, kömür, demir, boksit, altın, elmas, uranyum gibi çok değerli madenler, sedimanter kayaçlar içinde bulunmaktadır. Şekil 2.4'te sedimanter kayaçlara örnek bir gösterim yer almaktadır.



Şekil 2. 4. Tortul kayaçlara örnek gösterim (MTA, 2018)

Sedimanter kayaçlar, genellikle Kırıntılı (kumtaşı, çakıl taşı, konglomera, breş, puding), Kimyasal (kireçtaşı, traverten, oniks, dolomit), ve Organik (fosilli kireçtaşı, kömür, gnays, şist) olmak üzere üç ana gruba ayrılır. Bu kayaçlar arasında, yerkabuğunda en yaygın olarak kireçtaşı, kumtaşı ve çakıl taşları-konglomeralar (breş ve puding) sıkça görülür. Bu kayaçlar, doğal taş sektöründe geniş bir kullanım alanına sahiptir (MTA, 2018).

2.3. Hidrotermal Maden Yatakları

Kaynağı ve oluşum biçimi konusunda çeşitli görüşler bulunan “hidrotermal eriyikler”, farklı hacimlerde cevher yataklarının çökmesine neden olur. Hidrotermal eriyiklerin kaynağının magma olduğuna dair bir şüphe yoktur, ancak bu eriyiklere yüzey sularının da karıştığı bilinmektedir. Maden ve mineral çökeltten yüksek sıcaklıktaki eriyiklerin magmatik özelliklerinden şüphe edilmesinin yanı sıra, çevre kayaçlardan metal çözünmesi ve metallerin yeniden çökmesi, hidrotermal eriyiklerin yalnızca magmanın diferansiyasyonunu takiben oluşmadığını göstermektedir. Çözücü etkenin, derinlerde dolaşan ve volkanik ocakların etkisiyle ısınan kloritli sular olduğu kabul edilmektedir. Genel bir değerlendirme yapılacak olursa, hidrotermal solüsyonları oluşturan sular hem jüvenil hem de vadoz sulardan meydana gelmektedir, ancak vadoz suların etkisi oldukça sınırlıdır (Mamat, 2014).

Hidrotermal eriyikler, bünyelerinde bulunan metalleri plütonik kütleden uzak bölgelere taşıyabilirler. Plütondan uzaklaştıkça sıcaklıklarının azalması nedeniyle, plütona yakın bölgelerde yüksek sıcaklık mineralleri, daha uzak bölgelerde ise orta ve düşük sıcaklık mineralleri oluşur. Hidrotermal eriyiklerin kaynağından çökmesine kadar olan tüm hareketler, kayaçlardaki boşlukların durumuna göre gerçekleşir. Kayaçların boşluklu yapısı, kayaç oluşumu süreciyle paralel olarak şekillenebilir. Bu tür boşluklara gözenekler, kristal ağı boşlukları, gaz boşlukları, lav tünelleri, soğuma çatlakları, volkanik breş boşlukları ve katman yüzeyleri örnek olarak verilebilir. Kayaç oluştuktan sonra da çeşitli boşluklar

meydana gelebilir. Örneğin, çatlaklar ve kırıklar, kıvrımlanma boşlukları, erime ve ayrışma boşlukları ve volkan bacaları bu tür boşluklardandır. Çizelge 2.'de hidrotermal yatakların sınıflandırılması yer almaktadır (Mamat, 2014).

Çizelge 2. 1. Hidrotermal yatakların sınıflandırılması (Mamat, 2014)

	Lindgren	Schneidehölz	Fersman
Hipotermal	300-400 °C	350-400 °C	300-400 °C
Mesotermal	200-300 °C	200-350 °C	200-300 °C
Epitermal	50-200 °C	50-200 °C	100-200 °C

Çizelge 2.2'de hidrotermal damarların oluşum sıcaklıklarına göre yan kayaçta oluşabilecek alterasyonların gösterimi yer almaktadır.

Çizelge 2. 2. Hidrotermal alterasyonlar (Mamat, 2014)

Hidrotermal Evreler	Kayaç	Alterasyon
Hipotermal	Granitler, şistler, lavlar	Greyzenleşme, topaz, mika, turmalin, piroksen, amfibol
Mesotermal	Kireçtaşı, Asidik derinlik kayacı, Bazik derinlik kayacı, Lavlar	Silisleşme, jasperoid, dolomit, siderit Serisit, kuvars, Serpantinleşme, epidot, klorit Silisleşme, killeşme
Epitermal	Kireçtaşı, Lav	Silisleşme Alünit, klorit, pirit, serisit

2.4. Kayaç Dokusu

Kayaç dokusu tanımı bazı araştırmacılara göre farklı şekillerde tanımlanmaktadır. Kayacı oluşturan bileşenlerin uyumu olarak ifade edilmektedir (Ulusay, 1989). Doku kayaç orijinin ve tektonik geçmişi bir ürünü olmakla birlikte mineral tanelerinin boyutu, şekli ve dağılımı olarak tanımlanmaktadır. Doku; kayacın bileşenleri arasındaki geometrik ilişkiler, kristalleşme derecesi veya örgü olarak tanımlanmaktadır (Williams ve ark, 1982).

Kayaçlarda doku incelemesinin ve çalışmanın genel amacı üç madde halinde sırlanabilir;

Kayaçtaki minerallerin doku simetrisini ve kayaçlarda daha önce bir deformasyon oluşmuşsa oluşan deformasyon simetrisi hakkında bilgi sahibi olmak,

Kayacı oluşturan mineraller; termal, elastik ve manyetik özellikler gösterebileceği için kayaçların fiziki anizotropisinin modellenmesi amacıyla doku çalışmaları yapılmaktadır. Özellikle hacimli kayaçlarda oluşan anizotropi dokuya bağlı oluşmaktadır (Ullemeyer ve diğ., 2000).

Kayaç doku oluşumu üzerinde önemli bir etkiye sahip olan ısı, basınç, gerilme dağılımları, kayma ve malzemelerin dağılması gibi faktörler kayaçlardaki doku oluşum süreçlerinin anlaşılmasını sağlamaktadır (Skirotzki, 1994).

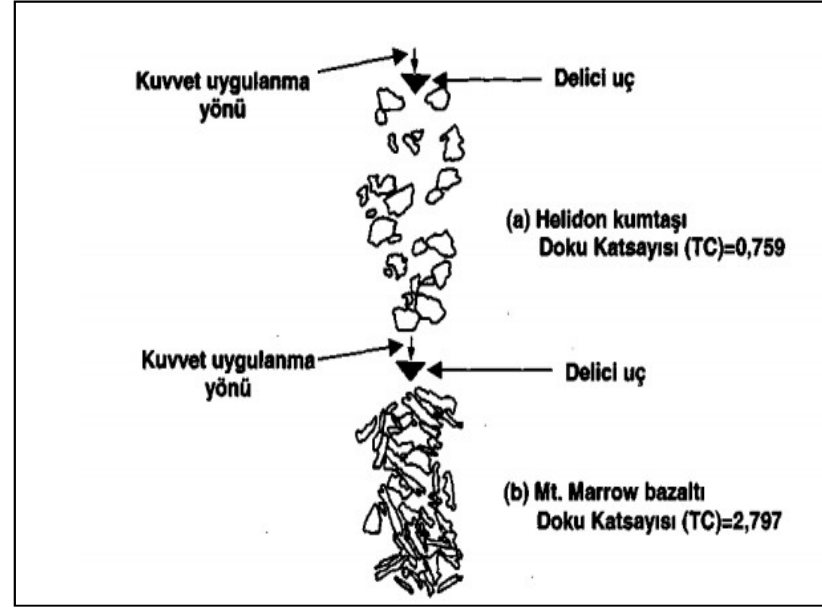
Aşağıda yer alan özelliklerden bir ya da birkaçının kayaç malzemesinde yer alması yüksek bir doku katsayısı değerinin göstergesidir:

Yüksek derecede girişime sahip testere dişi şekilli taneleri gösterecek şekilde, tane alanı ile de ilintili olarak uzun tane çevresi,

Uzun ve ince tanelerin yüksek derecede girişimli dokuyu ifade eder şekilde yönelmesi,

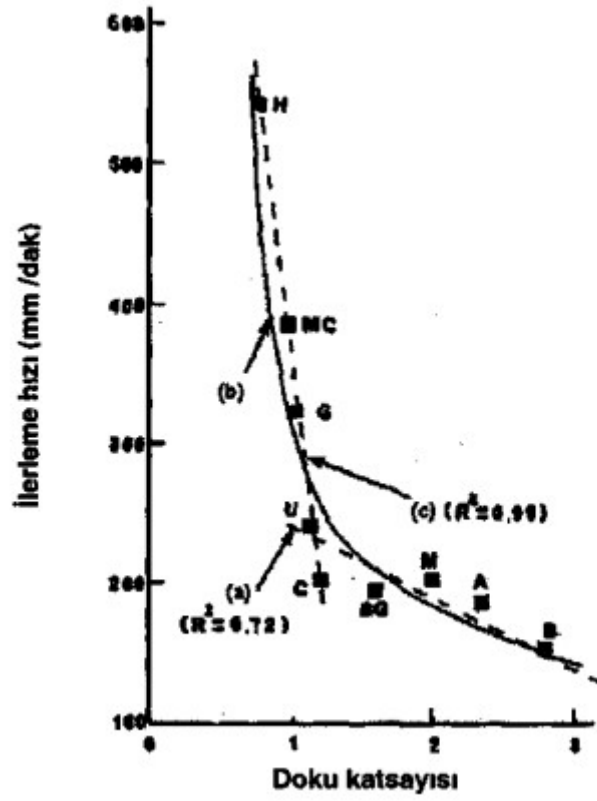
Matriks alanına oranla daha büyük bir toplam tane alanı.

Yüksek bir doku katsayısı değerine sahip kayaç malzemesi, yük altında kendi mikro yapısının içinde meydana gelecek olan çatlak yayılımına karşı yüksek dirençli kabul edilmektedir (Şekil 2.5). Diğer bir ifadeyle kayacın dokusal özellikleri, çatlak çoğalmasına fiziksel bir direnç oluşturmaktadır. Doku katsayısı modeline göre, düşük doku katsayısına sahip kayaçlar, düşük dayanımlı olmaktadır ve yüksek kesme hızları ile delinmesi öngörülmektedir (Howarth ve Rowlands, 1987).



Şekil 2. 5. Kayaç dokusunun çatlak yayılımına direnci (Howarth ve Rowlands, 1987)

Howarth ve Rowlands, 1987, Magmatik kayaçlar, mermerler ve kumtaşları üzerinde yaptıkları çalışmada, çalışmada kullandıkları kayaçların doku katsayılarını belirlemişlerdir. Daha sonra kayaçların doku katsayısı değerleri ile ilerleme hızı değerleri arasında büyük bir korelasyon bulmuşlardır. Doku katsayısı ile ilerleme hızı arasındaki ilişki Şekil 2.6'da yer almaktadır.



Şekil 2. 6. İlerleme hızı ile doku katsayısı arasındaki korelasyon (Howarth ve Rowlands, 1987)

2.4.1. Doku analiz yöntemleri

Kayaçların dokularını analiz etmek için kullanılan yöntemler aşağıda sıralanmaktadır;

1-Optik Yöntemler: Minerallerin optik ve anizotropik özelliklerine dayanan bu yöntemde optik yön ölçümleri sağlanmaktadır. Kübik mineraller izotropik olduğu için bu yöntem kübik minerallerde kullanılmamaktadır.

2-Elektron Dağılımı: Kristal hedefe çarpan elektronlar yüzeyin içine dağılırlar. Çarpan elektronlardan bir kısmı atomların nükleusu ile etkileşime geçerek yüksek bir açı ile yansımaktadırlar. Hedefe çarptırılan elektronlardan bazıları, yüzeyden başlangıçtaki enerjilerine yakın bir enerji ile kaçmayı başarmaktadır. Bu aşamada kristal hedefin atom düzenini yansıtmaktadırlar.

3-X-ray dağılımı: Atomların elektro-magnetik saçılımı ile atomların kabuk elektronları etkileşimine dayanan bir yöntemdir. Mineral yüzeyine yansıyan ve geçen x ışınlarının ölçülmesiyle belirlenmektedir.

4-Neutron dağılımı: Bu yöntemin en büyük avantajı, hacimli numunelerin incelenebilmesi ve düşük soğurma yapılabilmesidir. X-ray yöntemine benzer bir yöntemle analiz yapılmaktadır (Kekeç, 2005).

2.4.2. Sedimanter, Magmatik ve Metamorfik Doğal Yapı Taşlarındaki Genel Doku Türleri

Sedimanter, Magmatik ve Metamorfik doğal yapı taşlarındaki genel doku türleri aşağıda alt başlıklar halinde anlatılmaktadır.

2.4.2.1. Sedimanter kayaçlarda genel doku türleri

Sedimanter kayaçlar, içeriklerine göre detritik/silikatlı ve kalsitli veya kimyasal olarak iki grupta sınıflandırılır.

- **Detritik kayaçlar**

Bu kayaçlar, silikat minerallerinin çimento görevi gördüğü diğer kayaç parçalarından meydana gelmiştir. Detritik kayaçların ana bileşenleri kuvars, feldispat, kaya parçaları, kil mineralleri ve mikadır. Herhangi bir mineral tipi bulunabilir; fakat bunlar genellikle bulunduğu bölgedeki mineralleri temsil eder. En yaygın detritik tortul kayaçlar ise breş, konglomera, kumtaşı, silttaşı ve şeyldir.

- **Kimyasal tortul kayaçlar**

Suda çözünebilen kayaçların erimesi ve suyla taşınarak başka bölgelere birikmesi sonucunda oluşurlar. Kimyasal tortul kayaçların en bilinen örnekleri jips, traverten, kireç taşı (kalker) ve çakmaktaşıdır (Kourouma, 2019).

2.4.2.2. Magmatik kayaçlarda görülen genel doku türleri

Doku; kayacın kristalleşme derecesini, kristallerin tek tek ve birbirlerine göre büyüklüklerini, kristal tanelerinin düzgünlük derecelerini ve kayaç içindeki düzenlerini anlatan bir özelliktir.

Magmatik kayaçlarda dokular; tane iriliğine göre, kristalleşme derecesine göre, tane durumuna göre ve özel dokular olmak üzere 4 gruba ayrılır.

1-Tane iriliğine göre:

a-Faneritik doku: Kayacı oluşturan bileşenler gözle görülebilecek iriliktir. Derinlik ve bazı damar kayaçlarında görülür.

b- Afanitik doku: Taneler gözle görülemeyecek kadar küçüktür. Çoğu volkanik kayaçta gözlenir.

Tane iriliğine göre, ayrıca, makrokristalin, mikrokristalin ve kriptokristalin dokular olarak da tanımlanabilir.

2- Kristalleşme derecesine göre:

a-Holokristalin doku: Kayaç tamamen kristallerden oluşmuştur. Derinlik, damar ve bazı yüzey kayaçlarında görülür.

b-Hipokristalin doku: Kayaç kristallerden ve volkanik camdan oluşmuştur. Çoğu yüzey kayacı böyledir.

c-Hiyalin doku: Kayaç hemen hemen sadece volkanik camdan oluşmuştur. Buna camsı doku da denir. Bazı yüzey kavaçlarında görülür. Bu dokuda mikroskobik çok küçük- ince kristaller (kristalit) gözlenebilmektedir.

3-Tane durumuna göre:

a-Tanesel doku (Granüler doku): Kayaç tamamen kristallerden oluşmuştur ve kristaller çoğu zaman aşağı yukarı aynı büyüklüktedir. Bu doku derinlik kayaçlarında görülür.

Tanesel doku kayacı oluşturan minerallerin şekli dikkate alınarak 3'e ayrılır:

Panidiyomorf (İdiyomorf) tanesel doku, Hipidiyomorf tanesel doku ve Allotriyomorf (ksenomorf) tanesel doku.

b-Porfirik doku: Kayacı oluşturan bileşenler genellikle iki farklı büyüklük grubuna ayrılır. İri kristallere fenokristal denir. Fenokristal dışında kalan bileşenler daha küçük kristallerden ve/veya camdan oluşur. Bu kısma da hamur veya matriks denir. Küçük kristaller plajiyoklas çubuklarından oluşuyorsa bu çubukçukların adı mikrolit tir. Porfirik dokularda kendi içinde 3'e ayrılır: holokristalin porfirik doku, hipokristalin porfirik doku ve vitrofirik porfirik dokudur.

4- Özel Dokular:

a-İntersetal doku: Plajiyoklas mikrolitleri gelişigüzel dağılmıştır. Aralarındaki çokgen boşluklar daha küçük kristaller, örneğin klorit, kalsit, zeolit tarafından doldurulmuştur. Eğer ara materyal cam ise hiyalopolitik dokuya geçiş görülür.

b-Hiyalopolitik doku: Mikrolitler gelişigüzel dizilmiştir. Aralarındaki çokgen boşluklar cam tarafından doldurulmuştur.

c-Pilitaksitik doku: Kayaç veya kayacı oluşturan hamur tamamen mikrolitlerden oluşuyor ve mikrolitler karmaşık veya belli belirsiz paralel durumdaysa bu dokuya pilotaksitik doku denir.

d-Trakitik doku: Hamurda volkanik cam görülüyor ve hamuru oluşturan mikrolitler yönlenmiş durumdaysa trakitik doku oluşur.

e-Hiyalopolitik fluidal doku: Hamurda bulunan mikrolitler arasında cam bulunuyor ve mikrolitler bir yönlenme gösteriyorsa bu dokuya hiyalopolitik-fluidal doku denir.

f-Poiklitik doku: Küçük kristaller daha sonra oluşmuş iri kristaller içinde kalmışsa bu doku oluşur.

g-Ofitik doku: Çok sayıda iri plajiyoklas kristallerinin arasını proksen kristalleri doldurmuş durumdadır. Gabro ve dolerit gibi kayaçlarda görülebilir. Eğer proksenin yerini cam almışsa buna da hiyalooofitik doku denir.

h-Diyabazik doku: Düzgün plajiyoklas kristalleri birbirlerine dokunurlar ve aralarındaki çokgen boşluklar ksenomorf proksen kristalleri tarafından doldurulmuştur.

Ayrıca plajiyoklas kristallerinin kapladığı alan proksen kristallerinin kapladığı alandan daha fazladır. Ofitik doku da ise proksenler daha fazladır.

Şekil 2.7’de magmatik kayalarda görülen bazı doku türlerinin gösterimi yer almaktadır.



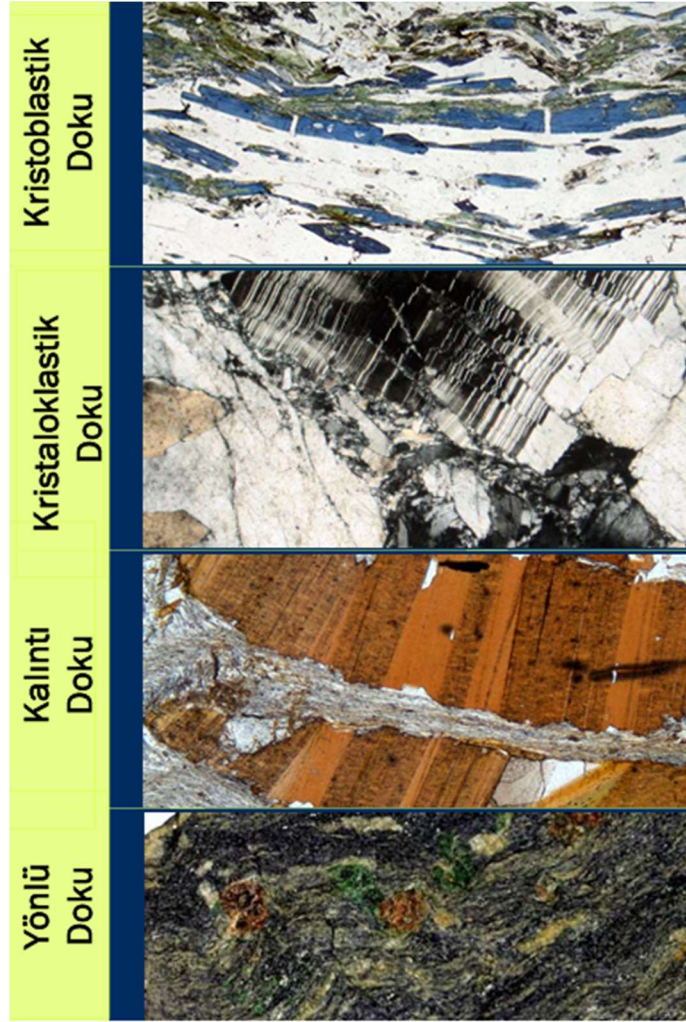
Şekil 2. 7. Magmatik kayalarda görülen temel doku türleri; a) İri taneli doku, b) İnce taneli doku, c) Porfiritik doku, d) camsı, e) Tüf dokusu, f) Vesiküler dokusu (Kourouma, 2019)

2.4.2.3. Metamorfik kayalarda görülen genel doku türleri

Metamorfik kayalarda dokular; Kristal yapılarına ve birbirleri ile olan ilişkilerine göre dokular (Kristoblastik dokular), kristallerin fiziki deformasyonu sonucu oluşan dokular (Kristaloklastik dokular), metamorfizma öncesi (protolite ait) kazanılmış dokular (Kalıntı dokular) ve metamorfizma sonucu kazanılmış makroskopik ve mezoskopik ölçekte gözlenebilen dokular (Yönlü dokular) olmak üzere 4’e ayrılır.

- **Kristal yapılarına ve birbirleri ile olan ilişkilerine göre dokular (Kristoblastik dokular):** Granoblastik doku, Lepidoblastik doku, Nematoblastik doku, Fibroblastik doku, Homoblastik doku, Heteroblastik doku, Porfiroblastik doku, Mozayik doku, Grift doku, Implikasyon dokusu olarak 10’a ayrılır.
- **Kristallerin fiziki deformasyonu sonucu oluşan dokular (Kristaloklastik dokular):** Kataklastik doku, Mörter dokusu, Porfiroklastik doku, Milonitik doku olmak üzere 4’e ayrılır.
- **Metamorfizma öncesi (protolite ait) kazanılmış dokular (Kalıntı dokular):** Blasto-porfirik doku ve Mimekitik doku olmak üzere 2’ye ayrılır.
- **Metamorfizma sonucu kazanılmış makroskopik ve mezoskopik ölçekte gözlenebilen dokular (Yönlü dokular):** Lineasyon/Foliasyon, Şistozite, Gnaysozite, Fibrogranolepidoblastik doku olmak üzere 4’e ayrılır.

Şekil 2.8’de metamorfik kayalarda görülen doku türlerine ait örnek görseller yer almaktadır.



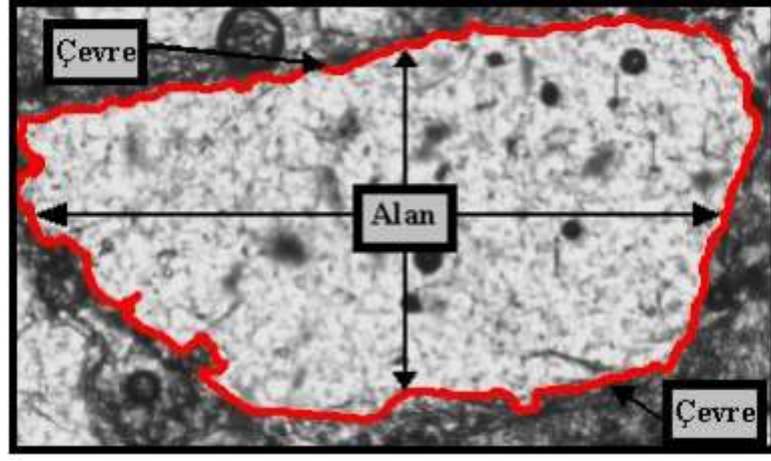
Şekil 2. 8. Metamorfik kayalarda sıkça görülen doku türlerine örnek bir gösterim (Jeo-26601, 2020)

2.4.3. Kayaç dokusunun geometrik özellikleri

Kayaç dokusunu oluşturan tanelerin geometrik özelliklerinin belirlenmesi, kayaçların dokusal özelliklerinin sayısallaştırılmasını sağlamaktadır. Kayaçlardan alınan ince kesit örneklerinin mikroskop altındaki görüntüsü alınması ve bu görüntüler üzerinde birtakım çalışmalar gerçekleştirilmesiyle tanelerin geometrik özellikleri belirlenebilmektedir. Kayaç dokusunda bulunan her bir tanenin alanı, çevresi, uzunluğu, genişliği ve açısının tayin edilmesi kayaç dokusunun geometrik özelliğini vermektedir. Buna ek olarak analiz yapılan alanda, matriks malzemesinin toplam alanı da kayaç dokusunun sayısallaştırılması için gereklidir. Her bir tanenin geometrik özelliği tayin edildikten sonra her bir tanenin özelliği de tayin edilerek kayaç dokusu sayısallaştırılabilmektedir (Öztürk, 2006).

2.4.3.1. Tanelerin alanı ve çevresi

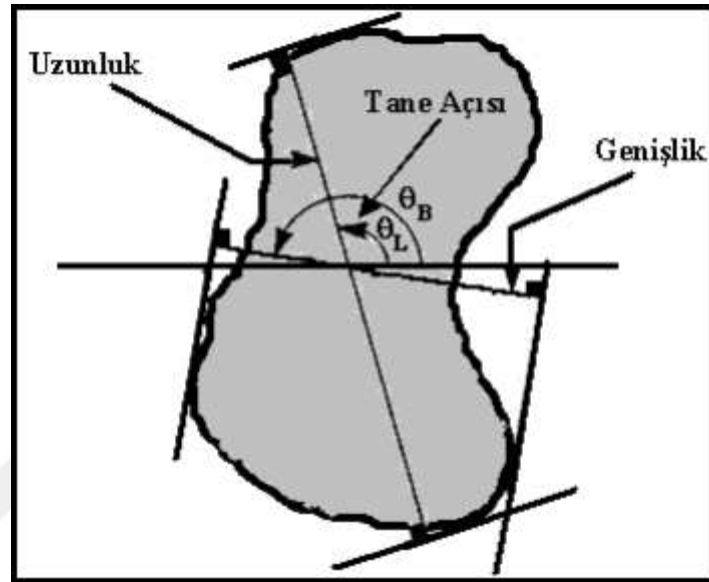
Kayaçlardan alınan ince kesit ve ince kesitten alınan görüntü 2 boyutlu bir resim olmaktadır. Bu resimde bulunan tanelerin uzayda kapladıkları alan, her bir tanenin alanı olarak tanımlanır. Bir taneyi oluşturan sınırların toplamı ise tanelerin çevresi olarak tanımlanmaktadır. Şekil 2.10'da bir tanenin çevresinin ve alanının görünümü örnek olarak gösterilmektedir.



Şekil 2. 9. Kayaç dokusunda yer alan bir tanenin alanı ve çevresi (Öztürk, 2006)

2.4.3.2. Tane uzunluğu, genişliği ve açısı

Feret çaplarından faydalanılarak bir tanenin uzunluğu ve genişliği bulunmaktadır. Tanenin dış yüzeyine çizilen iki teğet arasındaki dik uzaklığa feret çapı denmektedir (Herdan ve Smith, 1953). Tanenin uzunluğunun ve genişliğinin belirlenebilmesi için her 5° açı için tanenin sahip olduğu feret çapı değerlerinin tayin edilmesi gereklidir. Bir tanenin genişliğini en küçük feret çapı verirken, en büyük feret çapı tanenin uzunluğunu vermektedir. En büyük feret çapının (uzunluğun) yatay eksenle yapmış olduğu açı, bir tanenin açısı olarak tanımlanmaktadır. Bir tanenin uzunluğunun, genişliğinin ve açısının gösterimi Şekil 2.11’de yer almaktadır.



Şekil 2. 10. Bir tanenin genişlik, uzunluk ve açısının gösterimi (Akkoç, 2002)

2.4.4. Kayaç Dokusunun Sayısallaştırılması

Queensland Üniversitesi Maden, Mineral ve Metalürji Mühendisliği Bölümü'nde (Avustralya), kayaçların delinebilirlik özellikleri ile dokusal özellikleri arasındaki ilişkileri ortaya çıkarmak için ilk çalışmalar yapılmıştır (Howarth ve Rowlands, 1986; Howarth ve Rowlands, 1987). Bu araştırmaların sonucunda ortaya çıkan model, kayaların mineralojik-petrografik analizine dayanarak, tane şekli, tane yönlendirmesi, tanelerin birbirine girişim düzeyi ve paketlenme yoğunluğu gibi kaya dokusu özelliklerini içeren bir kaya doku katsayısı denklemi önermektedir. Türetilen eşitlik aşağıda yer almaktadır;

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

Eşitlikte;

TC/DK: Doku katsayısı

AW: Paketlenme yoğunluğu

N_0 : Görünüş oranı 2,0' den küçük olan tanelerin sayısı)

N_1 : Görünüş oranı 2,0' den büyük olan tanelerin sayısı)

FF_0 :Tüm N_0 tanelerinin şekil faktörü değerlerinin ortalaması

AR_1 : Tüm N_1 tanelerinin uzunluk / genişlik oranı değerlerinin ortalaması

AF_1 : Tane yönelmesini ifade eden açı faktörüdür.

Kayaç dokusunun sayısal olarak tespit edilmesi için aşağıdaki 4 faktör kullanılmaktadır. Bu 4 faktörün en doğru şekilde tespitinden sonra kayaç doku katsayısı yukarıdaki DK (doku katsayısı) formülü kullanılarak boyutsuz olarak sayısallaştırılmaktadır.

- 1- Tane yuvarlaklığı ve değerlendirilmesi
- 2- Tane sapmasının ölçülmesi ve değerlendirilmesi
- 3- Tane açısının ölçülmesi ve değerlendirilmesi
- 4- Tane bağlanmasına bağlı olarak sonuçların değerlendirilmesi

Kayaç doku katsayısının belirlenmesi sürecinde ilk olarak, kayaç malzemesinden alınan ince kesitlerin polarize mikroskop altında çekilen görüntülerinden yararlanılır. Bu görüntüler, görüntü işleme yöntemiyle analiz edilir ve kayaç dokusunu oluşturan tanelerin özellikleri belirlenir. Bu özellikler kullanılarak yukarıda belirtilen 4 farklı faktörün değerlendirmesi yapılabilir ve bu değerler, DK formülünde kullanılmak üzere elde edilir.

Doku katsayısı analizinin gerçekleştirilmesi için ilk adım, içerisinde en az 20-30 tanenin bulunduğu bir referans alanının seçilmesidir. Bu referans alanı içindeki tanelerin her

birinin çevre, alan, uzunluk, genişlik ve açı geometrik değerleri, görüntü işleme yazılımı kullanılarak elde edilir.

Kayaç dokusunun sayısal olarak belirlenmesi için, AR (Aspect Ratio) ve FF (Form Factor) değerlerinin ilk olarak bulunması gerekmektedir. AR değeri, tanenin uzunluğunun genişliğine oranını ifade eder ve tanenin sapma derecesini gösterir. AR değerinin artması, sapmanın arttığı anlamına gelir. FF değeri ise tanenin yuvarlaklıktan sapma derecesini ifade eder ve tanenin pürüzlülüğünü belirlemek için kullanılır. FF ve AR değerleri aşağıdaki formüllerle hesaplanır (Howarth ve Rowlands, 1987).

$$AR = \frac{\text{Uzunluk}}{\text{Genişlik}}$$

$$FF = 4 \times \pi \times \frac{ALAN}{\text{ÇEVRE}^2}$$

Sapmanın artması FF değerini düşürürken FF değerinin 1 olması mükemmel yuvarlak tane şeklini göstermektedir.

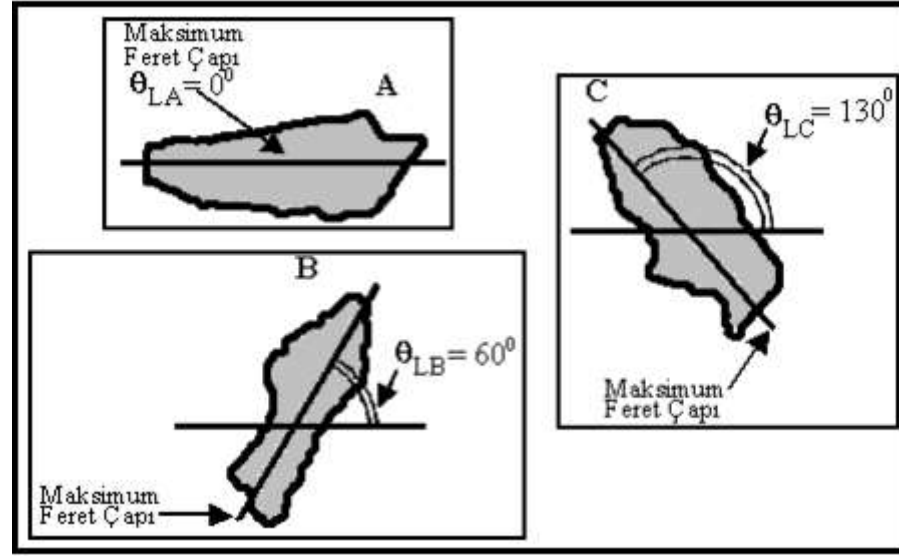
Analizler esnasında AR değerinin 2 olduğu durum sınır değer olarak kabul edilmektedir. 2 değerinin altındaki taneler için FF değerlerinin ortalaması kullanılırken 2.0'den yüksek olan taneler için AR değerlerinin ortalaması alınır (Howarth ve Rowlands, 1987).

AF parametresi tanelerin yönlerinin tespit edilmesi için kullanılan parametre AF parametresidir. AF parametresi sadece sapmış taneler (AR>2) için kullanılır. Açı faktörünün bulunması için ise aşağıdaki işlemler gerçekleştirilmektedir.

N_1 sapmış tane sayısını, i ağırlık katsayısını, x_i ise iki açı arasındaki farkın mutlak değerinin dar açı cinsinden değerini göstermektedir.

$$AF_1 = \sum_{i=1}^9 \left(\frac{x_i}{N_1 \times (N_1 - 1)} \right) x_i$$

Örnek olarak üç tane sapmış tane bulunan bir ince kesitte açı faktörünün bulunuşu aşağıda Şekil 2.12'de gösterilmektedir (Howarth ve Rowlands, 1987).



Şekil 2. 11. Tane açılarının gösterimi (Akkoç, 2002)

1- $N_1(N_1-1)/2 = 3 \times 2/2 = 3$

2- Açıl değerleri, (θ_L); A (0°), B (60°), C(130°),

3- Tek açıl farklarının mutlak değeri;

$$|\theta_{LA}-\theta_{LB}| = 60^\circ \quad |\theta_{LA}-\theta_{LC}| = 130^\circ \quad |\theta_{LB}-\theta_{LC}| = 70^\circ$$

4- Dar açılın bulunması; yukarıda bulunan açıl farklarının 90° ' den büyük olması durumunda, dar açıl hesabı yapılır, $130 - 180 = 50^\circ$.

5- Her bir fark değeri için ağırlık katsayısı Çizelge 4'ten bulunur.

- Ağırlık [$|\theta_{LA}-\theta_{LB}|$] = 6,0
- Ağırlık [$|\theta_{LA}-\theta_{LC}|$] = 5,0
- Ağırlık [$|\theta_{LB}-\theta_{LC}|$] = 7,0

6- Eşitlik b' de belirtildiği şekliyle (θ_L) değeri hesap edilir,

$$\theta_L = [(6/(1/3)) + ((5/(1/3))) + ((7/(1/3)))] = 6,0.$$

7- DK eşitliğinde verilen AF_1 değeri ise bulunan bu değerin 5'e bölünmesiyle elde edilir,

$$AF_1 = 6,0/5 = 1,2.$$

Çizelge 2.3'te dar açıl ağırlıkları ve hesap çizelgesi yer almaktadır.

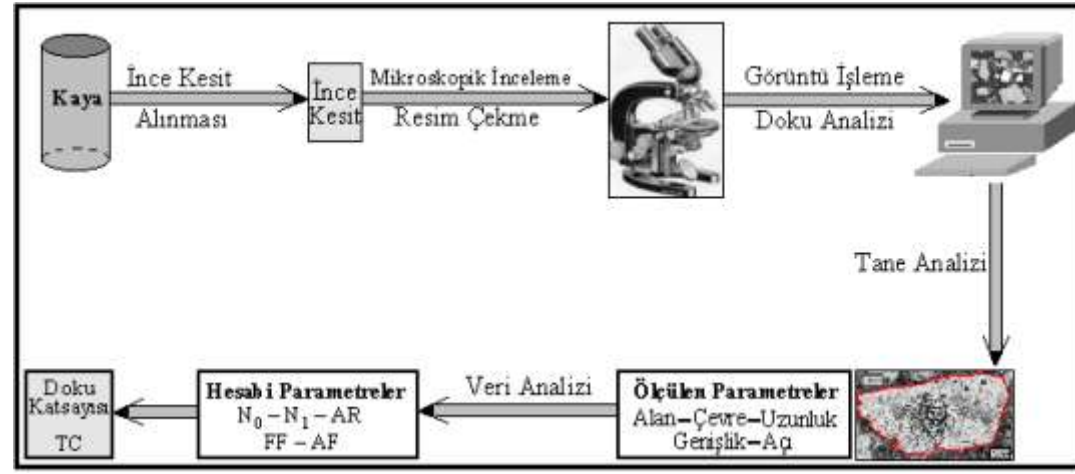
Çizelge 2. 1. Dar açı ağırlıkları hesap çizelgesi (Howart ve Rowlands, 1987)

No	Sınıf Aralığı	Ağırlık (i)
1	$\theta_L \leq 10^\circ$	1
2	$10^\circ < \theta_L \leq 20^\circ$	2
3	$20^\circ < \theta_L \leq 30^\circ$	3
4	$30^\circ < \theta_L \leq 40^\circ$	4
5	$40^\circ < \theta_L \leq 50^\circ$	5
6	$50^\circ < \theta_L \leq 60^\circ$	6
7	$60^\circ < \theta_L \leq 70^\circ$	7
8	$70^\circ < \theta_L \leq 80^\circ$	8
9	$80^\circ < \theta_L \leq 90^\circ$	9

İnce kesit görüntüsü alınan resimdeki tüm sapmış taneler için tüm bu işlemler tekrarlanır ve sonuç olarak ince kesitin AF_1 değeri tespit edilmiş olur. Daha sonraki süreçte ise geriye sadece tane yığılma ağırlığının belirlenmesi kalmaktadır. DK eşitliğindeki AW değeri ise, referans alanı içerisindeki tanelerin toplam alanlarının, inceleme yapılan referans alanına oranı olarak tanımlanır. Azalan AW değeri çimento malzemesinin çoğaldığını gösterirken, artan AW değeri matris malzemesinin azaldığını göstermektedir. AW değerinin formülü aşağıda yer almaktadır.

$$AW = \frac{\text{Toplam doku taneciği alanı}}{\text{Referans alanı}}$$

Tüm bu işlemleri özetleyecek olursak herhangi bir kayacın doku katsayısının belirlenebilmesi için ilgili kayacı bir ince kesitin mikroskop altındaki görüntüsü alınmalı daha sonra bu görüntünün bilgisayar ortamına aktarılması ve görüntü işleme yazılımı kullanarak bu görüntünün işlenmesi gereklidir. Görüntü işleme sonucunda 2 farklı grupta veri elde edilmektedir. 1. grup verilerde tanelerin uzunluğu, genişliği, açısı, çevresi ve alanı yer almaktadır. 2. grup verilerde ise sapmış ve sapmamış tane sayıları, şekil faktörü, görünüm oranı ve tane yığılma ağırlığı değerleri yer almaktadır. Tüm bu verileri kullanarak DK değeri hesaplanmaktadır. Şekil 2.13'te DK değerinin tespiti için yapılması gereken aşamalar kısaca gösterilmektedir (Öztürk, 2006).



Şekil 2. 12. Doku katsayısının hesaplanması için gerekli işlemler (Öztürk, 2006)

2.5. Kayaçların Doku Katsayısı ile Fiziksel ve Mekanik Özellikler Arasındaki İlişki

Kayaç özelliklerine göre uygun mekanik kazı makinelerinin seçimi, kazı işleminin en etkili ve verimli bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlar. Bu nedenle, mekanize kazı makinelerinin seçimi öncesinde, kazılacak formasyonun çeşitli kaya kütle parametreleri dikkate alınır. Bu parametreler arasında Mohs sertliği, kayacın dokusal yapısı (tane boyutu ve şekli), porozite, yoğunluk, aşındırıcılık, P dalgası yayılma hızı, elastik ve plastik özellikler, tek eksenli basma dayanımı, nokta yükleme dayanımı, Schmidt sertliği, çekme dayanımı, kaya kütlelerinin yapısı (eklemler, çatlaklar ve yataklanma), petrografik özellikler ve RQD (Rock Quality Designation) değeri bulunmaktadır (Protodyakonov, 1962; Carcedo ve diğ., 1995; Serradj, 1996; Thuro, 1997; Kahraman ve diğ., 2000; HOSSEINI ve diğ., 2006; Taheri ve diğ., 2016).

Kaya dokusu veya mikro-fiber çalışmaları, kaya mekaniğinde hangi faktörlerin önemli olduğunu veya önemsiz olduğunu bulmak için önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca, birçok pratik kaya mekaniği çalışması, temel jeolojik veya mikroskobik çalışmalara dayanmaktadır (Moorhouse 1959; Prikryl 2006; Oztürk and Nasuf 2013; Ündül, 2016). Bu çalışmalar mühendislik özelliklerinde doku çeşitliliğinin etkilerini açıklamak için yapılmaktadır (Ulusay et al. 1994; Bell and Lindsay 1999; Prikryl 2001; Tamrakar et al. 2007; Yesiloglu-Gultekin et al. 2013; Ajalloeian et al. 2017 and others). Ayrıca, kaya mühendisliği özellikleri çeşitli dokusal özellikler ile ilişkilidir ve çok sayıda araştırmacı, kaya mühendisliği özellikleri ile dokusal özellikler arasında güçlü ilişkiler bulmuştur (Howarth and Rowlands 1987; Jeng et al. 2004; Tiryaki and Dikmen 2006; Alber and Kahraman 2009; Momeni et al. 2016; Kamani and Ajalloeian 2019).

Howarth ve Rowlands (1986, 1987) granit, bazalt, mermer, kumtaşı gibi 10 kayaç örneğinde mukavemet ve delinebilirliğin değerlendirilmesi için doku katsayısını kullanmıştır. Kaya dokusu ile delinebilirlik arasında ters bir ilişki olduğunu bulmuşlardır ($DK < 1$ için $R^2 = 0.72$ ve $DK > 1$ için $R^2 = 0.99$). Ayrıca DK ile tek eksenli basma dayanımı ve Brazilian dayanımı arasında doğrusal bir korelasyon bulmuşlardır (tek eksenli basma dayanımı için R^2

= 0.92, Brazilian dayanımı için $R^2=0.81$). Başka bir çalışmada DK ile kuru yoğunluk arasında $R^2=0.73$, DK ile tek eksenli basma dayanımı arasında $R^2=0.62$, DK ile Shore sertliği arasında $R^2=0.69$, DK ile Young modülü arasında $R^2=0.69$, DK ile aşınma faktörü arasında $R^2=0.83$ bulunmuştur (Ersoy and Waller 1995). Bir diğer çalışma herhangi bir kaya için yorum yapmak ve ilgili kayacın tek eksenli basma dayanımını bulmak için DK'nin kullanılabileceğini öne sürmüştür (Azzoni ve diğ., 1996).

Kaya mühendisliği çalışmalarında kayaç davranışının belirlenebilmesi için, kaya özelliklerinin (fiziksel, mekanik ve indeks) belirlenmesi gerekmektedir. Kayaçların dokusal ve bileşimsel özelliklerini büyük ölçüde etkileyen faktör, kayaçların mühendislik özellikleri olmaktadır (İrfan ve Dearman, 1978; Bell, 1978; Hugman ve Friedman, 1979; Onodera ve Asoka Kumara, 1980; Howarth ve Rowlands, 1986; Shakoor ve Bonelli, 1991; Ulusay vd., 1994; Tuğrul ve Zarif, 1999). Kayaçların bileşimsel özellikleri, kayaçların mühendislik özelliklerini etkilemekle birlikte, kayaç mühendislik özelliklerini etkileyen daha önemli faktör kayaçların dokusal özelliklerinin olduğu bilinmektedir (Ulusay vd., 1994; Tuğrul ve Zarif, 1999). Bu da kayaçların dokusal ve bileşimsel özelliklerinin, kazı makinelerinin seçiminde önemli bir faktör olduğunu ortaya koymaktadır. Mineral tane şekli, tane yönelmesi, tane boyu, tane çapı, tane girişiminin derecesi ve tane paketlenme yoğunluğu gibi dokusal özellikler, kaya mühendisliği çalışmalarını etkileyen önemli bir etmendir. Sert mineral içeriği, kuvars-feldispat oranı, kuvars tane boyu, mineral bileşimi, mineral oranı, mineral tanesi/kayaç parçası oranı, çimento derecesi ve çimento tipi gibi özellikler ise bileşimsel kayaç özelliklerini ifade etmektedir.

Doku katsayısı (texture coefficient/DK) adlı bir modeli, laboratuvarında gerçekleştirdikleri delinebilirlik çalışması sonucunda geliştirmişlerdir (Howarth ve Rowlands, 1987). Bu modelin geliştirilmesi fikri; kayacın yük altında çatlak oluşumuna karşı kayaçların dokusal yapılarının, bir direnç oluşturduğuna dayanmaktadır. Delinebilirlik çalışmalarında, delici ucun ilerleme hızı ile doku katsayısının yüksek bir korelasyon verdiği görülmüştür (Howarth ve Rowlands, 1987; Azzoni vd., 1996).

Dokusal özellikler kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde etkili olup delinebilirlik, ezilebilirlik, kayaların kesilebilirliği veya kazılabilirliğini etkilemektedir. Kayaçların dokusal özellikleri tane boyutu, tane geometrisi, mineral bileşeni, matriks gibi birçok parametreden meydana gelir. Birçok araştırmacı kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkiyi araştırmıştır (Bell and Culshaw 1998; Tuğrul and Zarif 1999; Åkesson et al. 2001; Přikryl 2001; Räisänen et al. 2005). Kayaçların mekanik özellikleri ile petrografik özellikleri arasındaki ilişkiyi inceleyen birçok araştırma da mevcuttur (Kekeç, 2005). Gunsallus ve Kulhawy (1984) ve Zorlu et al. (2004) kuvars içeriği ve tek eksenli basınç dayanımı (UCS) arasında pozitif bir ilişki olduğunu bildirmiştir. Tandon ve Gupta (2013) Himalaya'da yer alan farklı kayaçlarının UCS üzerindeki dokusal özelliklerini

araştırmıştır. Kayaçların dayanımının öncelikle mika gibi zayıf minerallerin miktarına ve yönüne bağlı olduğunu bildirdiler.

Howarth ve Rowlands (1986, 1987), kayayı ölçmek için doku katsayısı (DK) adı verilen sayısal bir model geliştirmişlerdir. DK ile UCS, BTS, statik tanjant Young modülü ve penetrasyon oran arasında güçlü korelasyonlar buldular. DK'nin kayaçların dayanımını ve delinebilirliği tahmin etmek için kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Birçok araştırmacı DK ile fiziksel-mekanik özellikler arasındaki ilişkiyi incelemiştir (Ersoy and Waller 1995; Azzoni et al. 1996; Ozturk et al. 2014; Comakli and Atici 2017; Esmailzadeh et al. 2017). Bu çalışmalar, DK'nin kayaç mukavemeti, UCS ve BTS gibi mekanik deneyler arasında pozitif doğrusal korelasyon olduğunu göstermiştir. Öztürk ve Nasuf (2013) kayalar için DK'ye dayalı bir dayanım sınıflandırması geliştirmiştir. Araştırmacılar kayanın kesilebilirliği üzerine DK'nin etkilerini araştırdı ve kaya kesme makinası ve DK kullanarak küçük ölçekli çalışmalardan elde edilen sonuçları istatistiksel olarak analiz etmişlerdir (Ozturk et al. 2004; Tiryaki and Dikmen 2006; Tumac et al. 2017).

TTK'ye ait olan Amasra bitümlü kömür örnekleri üzerinde yaptıkları çalışmada numune örneklerinin fiziko-mekanik özellikleri, kesilebilirlik ve doku katsayısı değerleri arasında güçlü korelasyonlar bulmuşlardır ve kayaçların doku katsayısı değerlerinin artmasıyla kayaç dayanımının arttığını ifade etmişlerdir (Öztürk ve diğ., 2004).

DK ve özgül enerji (SE) arasında güçlü bir korelasyon olduğunu ortaya koymuşlardır. Tumac et al. (2017) portatif doğrusal kaya kesme makinesinden elde edilen SE ve kesme kuvvetleri ve DK arasında güçlü korelasyonlar bulmuşlardır.

Türkiye'nin 10 farklı ocağına ait 21 farklı agrega numunesi kullanarak bu numunelerin doku katsayısını bulmak için numunelerden ince kesit örnekleri alıp numunelerin görüntüsünü bir görüntü işleme tekniği geliştirerek analiz etmiş ve her bir numunenin doku katsayısını belirlemiştir. Daha sonra agrega numunelerinin her birinin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirleyip fiziko-mekanik özellikleri ile doku katsayısı değerleri arasındaki korelasyonları incelemiştir (Öztürk, 2006).

Kumtaşı, trakit, traki andezit ve andezit kayaçlarının doku katsayısı değerleri ile fiziko-mekanik özellikleri arasındaki ilişkileri inceleyerek kayaç doku katsayısının, fiziksel-mekanik özellikleri etkilediğini ifade etmiştir (Günaydın, 2006). Granit ve mermer numuneleri üzerinde yaptıkları çalışmada, numunelerin doku katsayısı değerleri ile kırılma özellikleri arasında çok güçlü bir korelasyon bulmuşlardır (Çomaklı ve Çayırılı, 2017).

Çomaklı ve Çayırılı (2019), 12 farklı kaya numunesinin doku katsayısı (DK) ve fiziko-mekanik değerlerini belirlemişler ve doku katsayısı ile kaya kırılma özellikleri arasındaki ilişkileri araştırmışlardır. Araştırma sonucunda DK ile tek eksenli basma dayanımı Brazilian dayanımı ve Schmidt sertliği arasında pozitif bir doğrusal ilişki bulmuşlardır. R^2 değerleri sırasıyla 0.64, 0.63 ve 0.71 olarak elde edilmiştir.

Kayaçların jeolojik ve mekanik özellikleri (doku, basınç ve çekme dayanımı, mineraloji, Young modülü, aşındırıcılık, mikro çatlaklar, gözeneklilik) ezilebilirliği doğrudan etkilediği birçok araştırmacı tarafından ortaya koyulmuştur (Berry et al. 1984; Bearman et al. 1991; Lizotte and Scoble 1994; Räisänen and Torppa 2005; Kekec et al. 2006). Bazı araştırmacılar çeneli kırıcı testleri yaparak kayaçların fiziko-mekanik özellikleri ile ezme indeksi (CI) arasında ilişkileri araştırmıştır (Kahraman et al. 2018). Kahraman ve Toraman (2008), Los Angeles aşındırıcılık indeksi ile CI arasındaki ilişkiyi araştırmış ve güçlü bir üstel ilişki olduğuna dikkat çekmiştir.

Kumtaşı gibi yüksek doku katsayısına sahip olan bir kayaçta ilerleme hızının da düşük çıkması beklenirken uygulamada yüksek ilerleme hızı görülmektedir (Ersoy ve Waller, 1995). Bazı kayaçların mineralleri iri taneli ve paketlenme yoğunluğu yüksek olduğu için yüksek bir doku katsayısı değerine sahip gözükebilir fakat doku katsayısının hesaplanmasında, mineral matriks yapısı ve mineral taneleri ilgili bazı özelliklerinde dikkate alınması gerekmektedir.

Çeşitli kumtaşı, magmatik kayaç ve mermerler üzerinde yapılan doku katsayısı hesaplama çalışmalarında, kayaçların doku katsayısı ile kayaçların ilerleme hızı ve dayanımı arasında yüksek bir korelasyon ilişkisi bulunmuştur. Kayaç dokusunun, çatlak oluşumuna ve yayılımına bir direnç oluşturması nedeniyle kayaçlardaki doku katsayısı değeri, kayaç dayanımı ve kayaç delinebilirliğinin belirlenmesinde kullanılmaktadır (Howarth ve Rowlands, 1987).

Kayacın dayanım özelliklerini ve kesilebilirliğini, kayacın mineralojik özelliği önemli ölçüde etkilemektedir. Kayacın kuvars içeriği, kayacın dayanımı ve kesilebilirliğini etkileyen önemli bir parametre olup bu parametre üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Kumtaşları üzerine yapılan çalışmada kayacın kuvars içeriği ile tek eksenli basma dayanımı arasında doğrusal bir ilişki elde edilmiştir (Shakoor ve Bonelli, 1991). Granitler üzerinde yapılan çalışmada, kayaç dayanımı ile kuvars içeriği arasında yüksek korelasyonlu bir ilişki elde edilmiştir (Tuğrul ve Zarif, 1999). Kayacın dokusal özelliklerini değiştiren en önemli parametre, kayacın içerdiği demir ve magnezyum gibi mafik minerallerin miktarıdır. Mafik mineraller fiziksel ve kimyasal şartlar altında kolayca değişime uğramaktadır ve böylece bulunduğu kayacın dokusal özelliklerini değiştirmektedir. Kömür içeren sedimanter içerikli kayaçlarda yapılan CERCHAR aşındırıcılık indeksi sonucunda kayaç aşındırıcılığına, kayacın kuvars içeriği ve Mohs sertlik ölçütü ile doğru orantılı etki ettiği ortaya çıkmıştır (West, 1986). Bununla birlikte kayacın kuvars içeriğinin, aşındırıcılığa tek başına etki eden faktör olmadığı bilinmektedir (McFeat-Smith, 1977).

2.6. Görüntü İşleme Tekniklerinin Yer Bilimlerinde Kullanım Alanı

Günümüzde görüntü işleme tekniklerindeki gelişim birçok alanda olduğu gibi yer bilimlerindeki uygulama alanı da giderek artmaktadır. Birçok araştırmacı yer bilimlerindeki problemleri çözmek veya yer bilimlerindeki mühendislik ve uygulama alanlarını kolaylaştırmak için görüntü işleme tekniklerini kullanmaktadır. Bu uygulama örnekleri arasında şunlar yer almaktadır: katı-gözenek ilişkisinin araştırılması ve kayalarındaki feldspat dağılım oranlarının belirlenmesi (Passas ve diğerleri, 1996), kırılmış agrega malzemelerinin parça dağılımı ve geometrisinin analiz edilmesi (Wang, 1999), mermerlerin petrografik özelliklerinin tespiti (Lumbreras ve Serrat, 1996), kaya çatlaklarındaki yüzey pürüzlülüğü ve açıklığının incelenmesi, özellikle lazer ışık kaynağı kullanılarak (Lanaro, 2000), ve sayısal görüntü analizi tabanlı bir yüzey parlaklık ölçüm sistemi gibi çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Ayrıca, doğal taş sektöründe görüntü işleme yöntemlerini uygulamak için yapılan bazı çalışmalar da mevcuttur.

Bu araştırmaların bir kısmı, doğal taşların renk tanımlamalarına odaklanırken (Gökay ve Gündoğdu, 2008), birçoğu ise işlenmiş doğal taşların sınıflandırılması ve desenlerinin belirlenmesi uygulamalarını kapsamaktadır (Deviren ve diğerleri, 2000; Carrino ve diğerleri, 2002). Ayrıca, bazı mermer türlerinin parlaklık karşılaştırmalarında da görüntü analiz yöntemleri kullanılmıştır (Erdoğan, 2000).

Görüntü işleme ve yapay sinir ağlarına dayalı birçok çalışma ise özellikle kaya sınıflandırma ve tanıma uygulamalarında yapılmıştır;

Atacama çölü kayalarının sınıflandırılmasını, tespitini ve segmentasyonunu gerçekleştirmek için makine öğrenim teknolojisi ve bilgisayarla görme tekniklerini kullanmışlardır (Thompson ve diğ., 2005), Güney İtalya'daki kireçli karbonatların görüntülerini sinir ağlarında eğitilerek sinir ağlarına dayalı bir doku tanıma metodu önermişlerdir (Marmo ve diğ., 2005), kaya dilimlerinin gri görüntüsünü görüntü işleme yöntemiyle eğiterek kaya türü sınıflandırma modeli oluşturmuşlardır (Cheng ve diğ., 2013), matematiksel morfoloji ve görüntü işleme yöntemlerini kullanarak kaya sınıflandırması yapmış ve 6D özellik alanına dayalı bir sınıflandırma yöntemi önermişlerdir. (Młynarczuk ve diğ., 2013), 3D x-ışını tomografisi kullanarak gri tonlamalı kaya görüntüsü elde ettiler ve bu görüntülerden matrisleri, gözenekleri ve kaya parçacıklarını tanımlamak için makine öğrenme tekniklerinin doğruluğunu ve performansını değerlendirmişlerdir (Chauhan ve diğ., 2016), kayaların doğal görüntüsü kullanılarak %86.3 doğrulukla otomatik tanıma ve sınıflandırma yapan bir model oluşturmuş (Dunlop, 2006), kayaların ince kesit görüntülerini kullanıp eğiterek yapay sinir ağına dayalı %98 tanımlama doğruluğuna sahip kaya parçacığı otomatik sınıflandırma modeli oluşturmuşlardır (Cheng ve diğ., 2017), kaya eklem yüzeylerinin görüntülerini kullanarak görüntü işleme ve yapay sinir ağına dayalı bir metod ile jeolojik güç indeksini ölçmüşlerdir (Hong ve diğ., 2017), doku görüntülerini kullanarak kaya özelliklerini tanımlamak için denetimsiz bir özellik öğrenme metodu önermiştir

(Lepistö ve diğ., 2005), Granit, breş ve filit görüntülerini kullanarak kaya tanımlama modellerini, taşıma öğrenim yoluyla eğitmek ve test etmek için Inception-v3 erişimli sinir ağı modelini kullanmıştır (Zhang ve diğ., 2018), kaya mikroskop görüntülerini X-ışını floresan teknolojisi kullanarak analiz etmiş ve X-ışını floresan spektrum verilerini ve görüntüleme özelliklerini değerlendirmek için makine öğrenim algoritmalarını kullanmıştır (Rahman ve diğ., 2016), yapay sinir ağı kullanarak minerallerin tanınma modeli oluşturmuştur (Baykan ve diğ., 2010), ince kesit görüntüleri içindeki gözeneklilik türlerinin yarı otomatik tanımlanması için bir örüntü tanıma algoritması oluşturmuşlardır (Ghiasi-Freez ve diğ., 2012).



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Genel

Bu bölümde bahsedilen ve bu tez çalışmasında örnek olarak kullanılan magmatik, metamorfik ve sedimanter kayaç olmak üzere 20 adet kayaç örneği doğal taş ocakları ve doğal taş işleme fabrikalarından alınmıştır. Toplanan kayaç numunelerinin fiziksel-mekanik özellikleri (Tek ekeni basma dayanımı, Brazilian dayanımı, Schimidt sertliği, nokta yükleme dayanımı, gözeneklilik-yoğunluk değeri vb.) ve aşındırıcılık özellikleri (Böhme aşınma deneyi, Los Angeles aşındırma deneyi ve mikro deval aşınma deneyi ve Cerchar İndeks testi (CI)) belirlenmiştir. Bununla birlikte kayaç numunelerinden ince kesitler alınarak ayrıntılı bir şekilde mineralojik ve petrografik analizleri (XRF) analizleri yapılmıştır. İnce kesit alımları ve XRF analizleri ise MTA kurumu laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar Konya Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Kaya Mekaniği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Bu bölümün son aşamasında ise görüntü işleme tekniği üzerine çalışmalardan bahsedilmiştir ve çalışmada yer alan kayaçların doku katsayısı değerleri görüntü işleme tekniği ile belirlenmiştir.

Çalışmada kullanılan kayaç numunelerinin listesi Çizelge 3.1'de yer almaktadır. Çalışmada kullanılan magmatik kayaçların bünyesinden plütonik kayaçlar sınıfından 2 kayaç, volkonik kayaç sınıfından ise 5 kayaç seçilmiştir. Metamorfik kayaçların bünyesinden masif yapılı olan metamorfik kayaç sınıfından 5 kayaç, metalik mineral grubundan 2 adet mineral seçimi yapılmıştır.

Çizelge 3. 1. Çalışmada kullanılan kayaç numunelerinin listesi

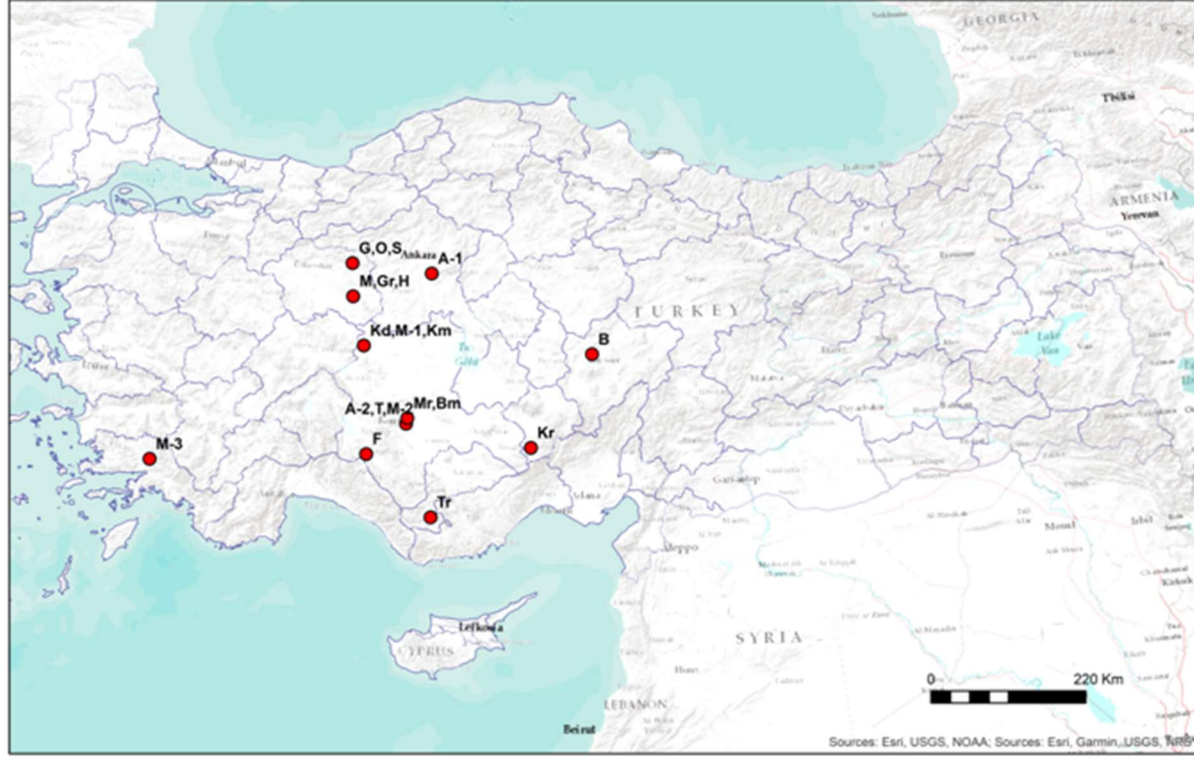
MAGMATİK KAYAÇLAR		METAMORFİK KAYAÇLAR	
Plütonik Kayaçlar	Volkanik Kayaçlar	Masif Yapılı Olanlar	Foliasyonlu Olanlar
Granodiyorit	Bazalt	Mermer	
Gabro	Andezit-2	Mermer	
-	Andezit	Serpantinit	
-	Tüf	Mermer	
-	Fonolit	Oniks	-
SEDİMANTER KAYAÇLAR			
Traverten			
Kalsitli Dolomit			
Mam			
Kireç taşı			
METALİK MİNERALLER			
Galenit			
Manyezit			

Çizelge 3.2’de ise çalışmada kullanılan 20 adet kayaç numunelerinin isimleri ve lokasyonları yer almaktadır.

Çizelge 3. 2. Kayaç ve mineral numunesi isimleri ve lokasyonları

No	Kayaç Adı	Lokasyonu
1	Traverten	Karaman/Ermenek
2	Bazalt	Kayseri/Kocasinan
3	Gabro	Eskişehir/Mihalıççık
4	Kurşun	Niğde/Ulukışla
5	Andezit	Ankara/Gölbaşı
6	Kalsitli Dolomit	Konya/Yunak
7	Mermer-1	Konya/Yunak
8	Fonolit	Konya/Seydişehir
9	Oniks	Eskişehir/Mihalıççık
10	Andezit-2	Konya/Meram
11	Manyezit	Eskişehir/Sivrihisar
12	Tüf	Konya/Meram
13	Granodiyorit	Eskişehir/Sivrihisar
14	Serpantinit	Eskişehir/Mihalıççık
15	Marn	Konya/Selçuklu
16	Biyomikrit	Konya/Selçuklu
17	Mermer-3	Muğla/Menteşe
18	Mermer-2	Konya/Meram
19	Hematit	Eskişehir/Sivrihisar
20	Kuvarsmuskovitşist	Konya/Yunak

Şekil 3.1’de çalışmada yer alan kayaçların alındığı şehirlerin Türkiye haritası üzerinde gösterimi yer almaktadır.



Şekil 3. 1. Çalışmada yer alan kayaçların alındığı şehirlerin harita üzerinde gösterimi (G: Gabro, O: Oniks, S: Serpantinit, A-1: Andezit-1, M: Manyezit, Gr: Granit, H: Hematit, Kd: Kalsitli Dolomit, M-1: Mermer-1, Km: Kuvarsmuskovitist, A-2: Andezit-2, T: Tüf, M-2: Mermer-2, Mr: Marn, Bm: Biyomikrit, B: Bazalt, Kr: Kurşun, F: Fonolit, Tr: Traverten, M-3: Mermer)

3.2. Laboratuvarda Gerçekleştirilen Mekanik Deneyler

Çalışmanın bu kısmında araziden elde edilen 20 adet kayaç (magmatik, metamorfik, sedimanter ve metalik türlerden oluşan farklı kayaçlar) numunesi Konya Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Laboratuvarına getirilip ilgili kayaç numuneleri üzerinde bir takım kaya mekaniği testlerinin uygulanması gerçekleştirilmiştir.

Temin edilen kayaçlardan, laboratuvar ölçekli karot alma makinesi ile karot alımı yapılmış olup alınan karotlar, numune kesme-boyutlandırma makinesi ile kaya mekaniği deneyleri için istenilen standartlara göre hazır hale getirilmiştir. Şekil 3.2’de laboratuvar ölçekli karot alım makinesi ve numune kesme-boyutlandırma makinesi gösterilmektedir.



Şekil 3. 2. Laboratuvar ölçekli karot alım makinesi (solda) ve numune kesme-boyutlandırma makinesi (sağda)

Karot alma makinesi ile alınacak karotlar, kaya mekaniği deneylerini uygulamak için her bir kayaç numunesinden NX karot boyutunda yaklaşık 54 mm çapında ve en az 10 karot örneği alınmıştır. Gerçekleştirilen tüm kaya mekaniği deneyleri TSE'nin ve ISRM'in önermiş olduğu standartlar çerçevesinde gerçekleştirilmiştir.

Kayaçlardan elde edilen karot numuneler üzerinde sırasıyla aşağıdaki sıralanan deneyler gerçekleştirilmiştir;

- Schmidt sertliği deneyi
- Gözeneklilik deneyi
- Yoğunluk deneyi
- Tek eksenli basma dayanım deneyi
- Nokta yükleme dayanım deneyi
- Brazilian (Dolaylı) çekme dayanımı.

3.2.1. Schmidt sertliği belirleme deneyi

Çalışmada yer alan kayaç blokları üzerinde Konya Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği Laboratuvarında bulunan sertlik ölçümü deneylerinde kullanılan L tipi dijital Schmidt çekici yardımıyla kayaçların sertlikleri ölçülmüştür. Şekil 3.3'te laboratuvarımızda yer alan dijital Schmidt çekicinin gösterimi yer almaktadır.



Şekil 3. 3. Dijital Schmidt çekicinin gösterimi

Bu deneyde, her bir kayaç numunesinde Schmidt çekici, bir noktaya 5 vuruş yapılarak bu 5 vuruş sonucunda en büyük değer alınmak suretiyle toplamda 20 vuruş yapılmıştır. Son olarak ise toplamdaki 20 vuruşun ortalaması ve standart sapması hesaplanmıştır.

3.2.2. Yoğunluk ve gözeneklilik belirleme deneyi

Bu test, TS EN 1936 standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiş olup, deney için hazırlanan numune boyutları da bu standartlara uygun olarak düzenlenmiştir. İlk aşamada, numunelerin hacimleri hesaplanmış ve ardından bu numunelerin kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Kuru ağırlıkları belirlenen numuneler, 48 saat boyunca suya doyurulmuş ve doygun ağırlıkları ile su içindeki ağırlıkları belirlenmiştir. Bu elde edilen değerler kullanılarak, kayacın porozite ve kuru yoğunluk değerleri hesaplanmıştır.

3.2.3. Nokta yükleme dayanım deneyi

Bu deney, ISRM (Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği) tarafından 1985'te önerilen standartlara göre gerçekleştirilmiştir. Numunelerin boy/çap oranları 0,5-0,55 arasında boyutlandırılmıştır. Laboratuvarımızda bulunan nokta yükleme dayanım cihazının değer okuma bölümü kalibre edilmiş ve dijital hale getirilmiştir. Bu sayede deneylerin yürütülmesi daha kolay hale gelmiş ve okunan değerler daha güvenilir sonuçlar sağlamaktadır. Laboratuvarımızda yer alan nokta yükleme dayanım cihazının gösterimi Şekil 3.4'te gösterilmektedir.



Şekil 3. 4. Nokta yükleme dayanım cihazının gösterimi

Diğer deneylerde olduğu gibi bu deneyde de 10 numune hazırlanmış ve bu 10 numune üzerinde gerçekleştirilen eksenel nokta yükleme deneylerinin ortalaması alınarak nokta yükleme dayanım değerleri bulunmuştur.

3.2.4. Tek eksenli basınç dayanım deneyi

Tek eksenli basınç dayanımı deneyi için hazırlanan numune boyutları ve deney prosedürü ISRM 1981'in önerdiği yöntemler ışığında yapılmıştır. Numunelerin boy/çap oranları 2,5-3,0 arasında seçilmiş olup numuneler deneye tabii tutulmuştur. Şekil 3.5'te Konya Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği'nde bulunan 3000 kN kapasiteli hidrolik pres kullanılmıştır.



Şekil 3. 5. Hidrolik presin görünümü

3.2.5. Brazilian (Dolaylı) çekme dayanım deneyi

Dolaylı çekme dayanım deneyi, ISRM (1981) 'in önerdiği deney standartlarında ve nokta yükleme dayanım deneyinin ölçülmesinde kullanılan Şekil 3.6'da görünümü yer alan cihazda gerçekleştirilmiştir. Her kayaç için 10 numune ve boy/çap oranı $\frac{1}{2}$ olarak hazırlanılmıştır.



Şekil 3. 6. Brazilian dayanım deneyinin gösterimi

3.3. Laboratuvarda Gerçekleştirilen Aşınma Deneyleri

Kayaçların aşındırıcılık özelliklerini belirlemek için aşağıdaki deneyler gerçekleştirilmiştir.

- Böhme aşınma deneyi
- Mikro Deval aşınma deneyi
- Los Angeles aşınma deneyi
- Cerchar aşındırma deneyi

3.3.1. Böhme aşındırıcılık deneyi

Konya Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Laboratuvarında yer alan Böhme aşındırma cihazı Şekil 3.7’de yer almaktadır.



Şekil 3. 7. Böhme aşındırma cihazının gösterimi

Sürtünme ile aşınma kaybı deneyi için, TS 2824 EN 1338 (2005) standartlarına uygun olarak kenar uzunlukları 71 mm olan küp biçiminde deney numuneleri hazırlanmıştır. Bu numunelerin zımparaya temas eden yüzü düz şekildedir. Deneyde, sürtünme şeridi üzerine 20 g korund tozu serpilmiş ve 294 N’lık bir yük, çelik manivela aracılığıyla uygulanmıştır. Otomatik olarak duran disk üzerinden, 22 devir sonunda korund tozu ve numune atıkları temizlenmektedir. Daha sonra, tekrar 20 g korund tozu sürtünme şeridi üzerine serpilir ve numune düşey eksen etrafında 90° çevrilir. Her bir numune için 22 devirden oluşan deney, numuneye toplamda 16 kez uygulanmıştır. Deney numunesi iyice temizlendikten sonra, numune hassas terazide tartılmış ve ağırlık kaybı kaydedilmiştir.

3.3.2. Mikro Deval aşınma deneyi

Mikro-Deval deneyinde suyun aşındırıcı etkisi de dikkate alındığı için özellikle iri agregalar ve su ile temas halindeki malzemeler için bu deney yöntemi tercih edilmektedir (Allen Cooley ve diğ., 2002; Kandhal ve Parker 1998). Deneyde bir tambur ve içinde çelik bilyeler ile su bulunmaktadır. Bu şekilde kayaç parçacıklarının su ve bilyeler arasındaki

sürtünmeden dolayı aşınma ölçülebilmektedir. Deney sonucunda başlangıçtaki numunenin 1.6 mm'den daha küçük tane büyüklüğüne indirilen kısmının yüzdesi Mikro-Deval katsayısı olarak dikkate alınacaktır. Mikro-Deval katsayısının yüksek olması aşınma direncinin düşük olduğunu göstermektedir. Mikro-Deval deneyi TS-EN 1097-1 (2002)'ye göre uygulanacaktır. Konya Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Laboratuvarında yer alan Mikro Deval aşındırma cihazı Şekil 3.8'de yer almaktadır.



Şekil 3. 8. Mikro Deval aşındırma cihazının gösterimi

Bu deneyde her bir kayaç numunesi çeneli kırıcı ile kırılmış ve kırılan kayaç parçaları 10 ila 14 mm'lik eleklerden geçirilmiş ve -14 mm ila +10 mm arasında kalan kayaç parçacıklar elde edilmiştir. Belirtilen elek açıklığındaki kaya parçacıkları tozlarından arındırılması için yıkanmış ve 105 °C fırında 1 gün süre ile bekletilmiştir. Daha sonra ise Şekil 3.7'de görülen değirmenlerin her birinin içine toplamda 5000 gr küçük misketler, 500'er gr kaya parçası ve 2,5 lt su koyulmuştur. Son aşamada ise değirmenlerin kapağı kapatılmış ve cihaza konarak 12000 devir tur attırılmıştır. En son aşamada ise öğütme sonrası 500 gr'dan kalan kaya numunesi parçaları 1,6 mm'lik elekten geçirilerek elek üstü kalan malzeme alınıp fırına konup 105 °C de 1 gün süre ile bekletilmiş ve 1 günün sonunda tartımı yapılmıştır.

3.2.3. Los Angeles aşınma deneyi

Her kayaç numunesi için, iri malzeme ve orta malzeme olmak üzere (-14 +10) toplamda 5000 g numune, TS 706 EN 12620 standardına uygun olarak yıkanmış ve ardından 110 ± 5 °C sıcaklıkta etüvde kurutulmuş, sonrasında tartılmıştır. Bu işlem, numune sabit ağırlığa ulaşana kadar devam etmiştir. Dakikada 31-33 devir hızında dönen tambura, bilyeler ve etüvde kurutulmuş numuneler bırakılmış, kapak kapatılarak 500 devir uygulanmıştır. Her deneyin ardından kullanılan bilyeler temizlenerek bir sonraki deney için hazırlanmıştır.

Deneyin sonunda elde edilen agrega parçacıkları, 1.6 mm göz açıklıklı elekte elenmiş ve elek üstünde kalan parçacıklar tartılmıştır (TS EN 1097-2 standardına göre).

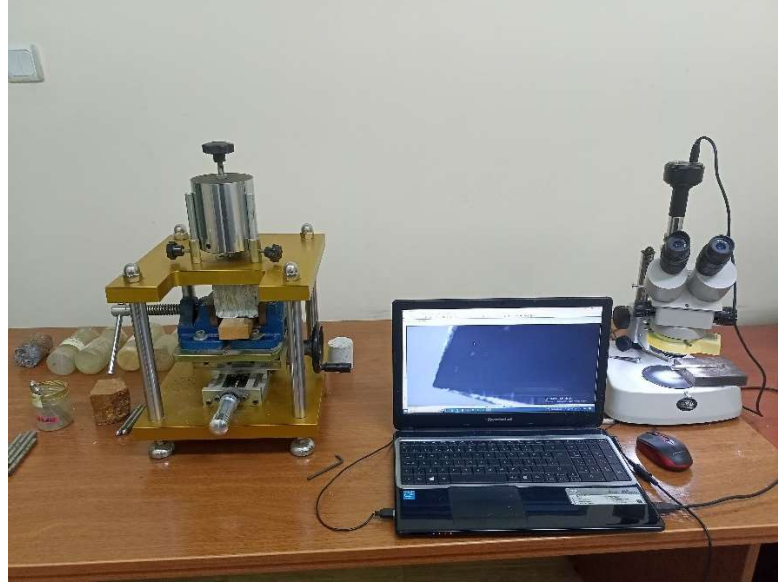
Konya Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Laboratuvarında yer alan Los Angeles aşındırma cihazı Şekil 3.9'da yer almaktadır.



Şekil 3. 9. Los Angeles aşındırma cihazı

3.2.4. Cerchar aşınma deneyi

Cerchar Aşınma İndeksi deneyi ilk olarak Fransa'da, Charbonnages de France'ın Cerchar Araştırma Enstitüsü'nde 1971 yılında geliştirilmiş ve sonuçlar Valantin (1973) tarafından yayımlanmıştır. Bu test yöntemi, keski aşınması ve sarfiyatının belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Deneylerde, Rockwell sertliği 54, çekme dayanımı 2000 MPa ve konik açısı 90° olan konik uçlar kullanılmıştır. Kaya örnekleri üzerindeki çizim işlemi, her seferinde yeni bir ucla aynı yönde 5 kez tekrarlanmıştır. Konik uçların uç kısımlarında oluşan aşınma yüzeyinin çapı, ışık yansımali 35X büyütme mikrometre ölçekli binoküler mikroskop altında ölçülmüştür. 1/10 mm'lik aşınma yüzeyi bir Cerchar aşınma indeksi birimi olarak kabul edilmiştir. Dolayısıyla, kayalara ait Cerchar aşınma indeksi değeri, 5 çizimin aritmetik ortalaması alınarak bulunmuştur. Şekil 3.10'da Cerchar aşındırma cihazı ve uçların ölçümünün yapıldığı mikroskopun görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 3. 10. Cerchar aşındırma cihazı ve uçların ölçümü için kullanılan mikroskobun görseli

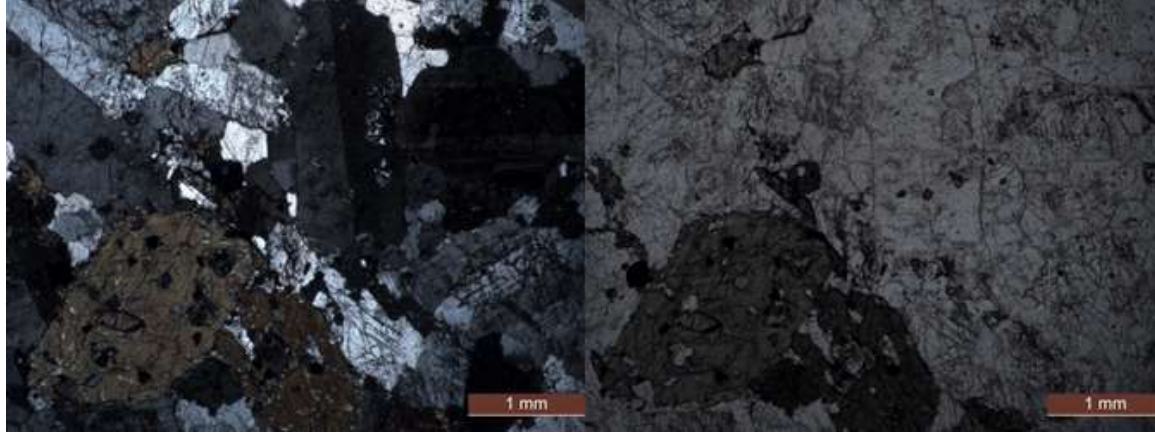
Deneyler ASTM D7625 (2010) standartlarına göre yapılmıştır. Cerchar aşınma indeksine göre aşındırıcılık sınıflaması Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3. 3. Cerchar aşınma indeksi sınıflandırması (ASTM, 2010)

Ortalama CAI	Sınıflaması
0,3-0,5	Çok düşük aşınma
0,5-1	Düşük aşınma
1-2	Orta Aşınma
2-4	Yüksek aşınma
4-6	Aşırı yüksek aşınma
6-7	Kuvarsitik

3.3. Mineralojik ve Petrografik Analizler

Tez çalışmasında yer alan kayaçların ince kesit alımları için çalışmada yer alan kaya numuneleri MTA kurumuna gönderilmiştir. MTA kurumu kayaç numunelerinden ince kesit alarak mikroskop altında tek nikol ve çift nikol görüntüleri Konya Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde fotoğraflamıştır. Kayaçların mikroskop altındaki tek ve çift nikol görüntülerine örnek bir gösterim Şekil 3.11'de yer almaktadır.



Şekil 3. 11. Granodiyorit kayacının çift nikol (solda) ve tek nikol (sağda) dijital fotoğraf görüntüsü

Kaya dokularının tek nikol ve çift nikol görüntülerinin alınmasının en büyük amacı, doku görüntüsünde yer alan doku taneciklerinin net bir şekilde görülebilmesini sağlamaktır. Şekil 3.11’de görüldüğü üzere granodiyorit kaya doku görüntüsünün çift nikol görüntüsünde yer alan doku taneciklerinin belirginliği, tek nikol görüntüsünden daha iyidir. Kaya dokularına ait çift nikol görüntüler, segmentasyon ve görüntü işleme çalışmasında kullanılmıştır. Bu görüntüler ayrıca mineralojik ve petrografik analizlerin yorumlanmasında da kullanılmıştır.

Çalışmada yer alan kayaçların her birinin mineral bileşen içeriğini belirlemek için XRF (X-Işınlı Floresans Spektrometresi) analizi yapılmıştır. XRF analizinde Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 , MgO ve SiO_2 bileşenlerinin yüzdelik oranları tayin edilmiştir.

3.4. Doku Katsayısı, Segmentasyon ve Görüntü İşleme

3.4.1. Doku katsayısı (DK) eşitliği ve doku katsayısı parametrelerinin hesaplanması

Tez çalışmasının bu kısmında Howarth ve Rowlands’ın (1987) tarafından literatüre kazandırılan doku katsayısı eşitliği (DK) kullanılmıştır. Bu çalışmanın önemli bir kısmını oluşturan yeni yazılıma tanıtılan bu eşitlik, görüntü işleme yöntemi ile kayacı oluşturan tanelerin özelliklerinin belirlenmesi ve kullanılmasıyla Doku katsayısını hesaplayabilmektedir.

DK eşitliğinde yer alan parametrelerin net bir şekilde açıklanması çok büyük önem arz etmektedir. Aşağıda DK eşitliği yer almakta olup parametreleri açıklanmaktadır.

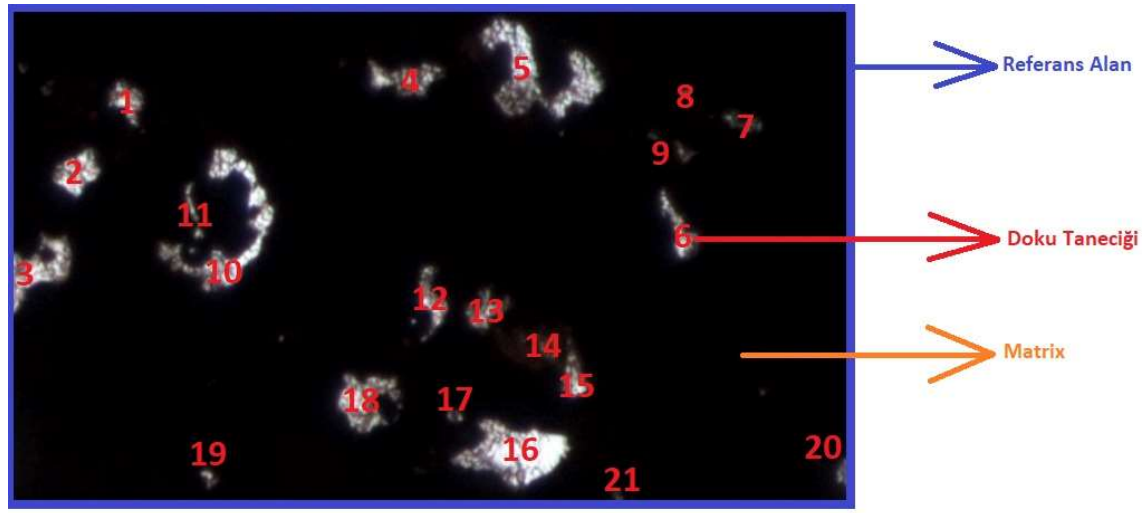
$$TC = AW \times \left[\left(\frac{N_0}{N_0+N_1} \times \frac{1}{FF_0} \right) + \left(\frac{N_1}{N_0+N_1} \times AR_1 \times AF_1 \right) \right] \quad (1)$$

Howarth ve Rowlands’ın önerdiği bu formülde;

TC : Doku katsayısı

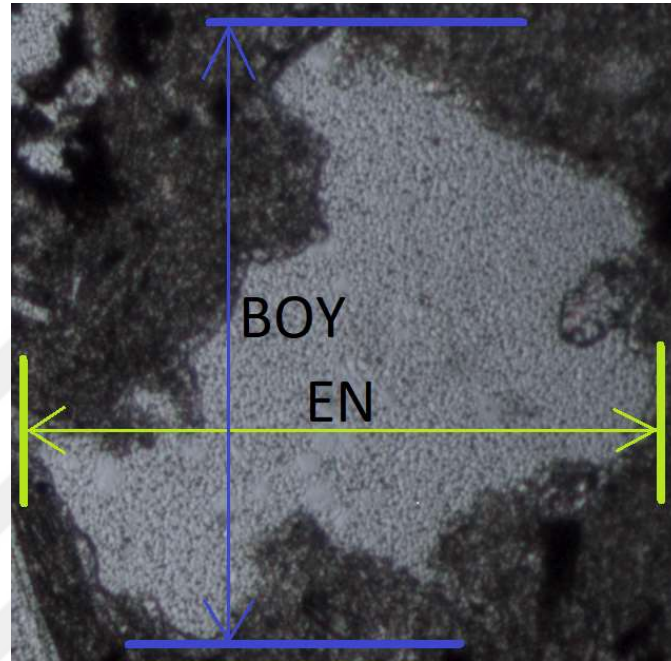
AW : Görüntüdeki taneciklerin toplam alanının görüntünün alanına bölünmesiyle elde edilir.

Şekil 3.12’de bir kaya dokusunun mikroskopik görüntüsünde referans alan, matrix (doku olmayan alan) ve doku taneleri gösterilmektedir. Görüldüğü üzere görüntüde 21 adet doku taneciği bulunmaktadır ve referans alanı görüntünün tamamının alanıdır. Matris ise dokuların bulunmadığı alandır ve hesaba katılmamaktadır. (Howarth ve Rowlands, 1987)



Şekil 3. 12. Görüntüdeki doku, doku olmayan alan (matrix) ve referans alanı

N_0 ve N_1 değerlerinin hesaplanabilmesi için öncelikle en-boy oranının (aspect ratio) hesaplanması gerekmektedir. Görüntüde bulunan her bir doku tanesinin en boy oranı hesaplanarak, en-boy oranı sayısal olarak 2'den büyük olanların sayısı N_1 ; en-boy oranı sayısal olarak 2'den küçük olanların sayısı N_0 olarak bulunur. AR_1 Değeri ise görüntüdeki tüm doku taneciklerinin analizinden sonra, en-boy oranı sayısal olarak 2'den büyük taneciklerin sayısal değerleri toplanarak N_1 'e (görüntüdeki en-boy oranı 2'den büyük olan doku taneciklerinin sayısı) bölünerek hesaplanmaktadır. Şekil 3.13'te görüntüdeki herhangi bir doku tanesinin en-boy özellikleri gösterilmiştir ve en-boy hesaplama işlemi tüm taneciklere uygulanmaktadır.

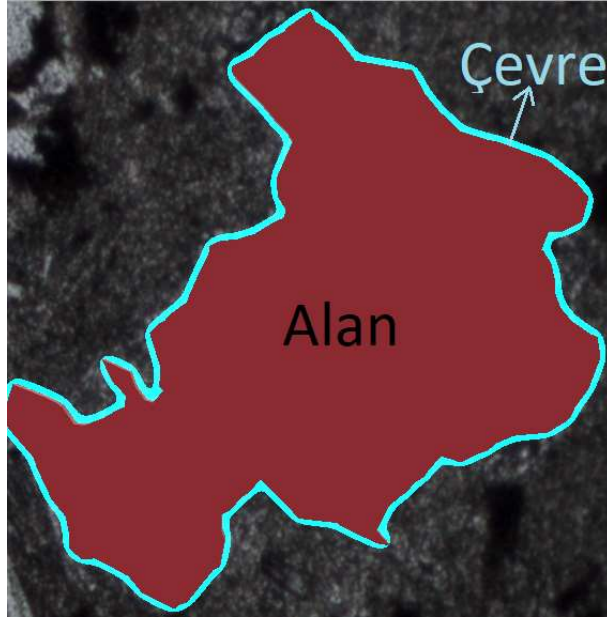


Şekil 3. 13. Herhangi bir doku tanesinde en ve boy gösterimi

FF_0 : En-boy değeri 2'den küçük olan doku taneciklerinin form faktörlerinin eşitlik 2'de verilen formül yardımıyla hesaplanması ve bunların ortalamasının alınması ile elde edilir.

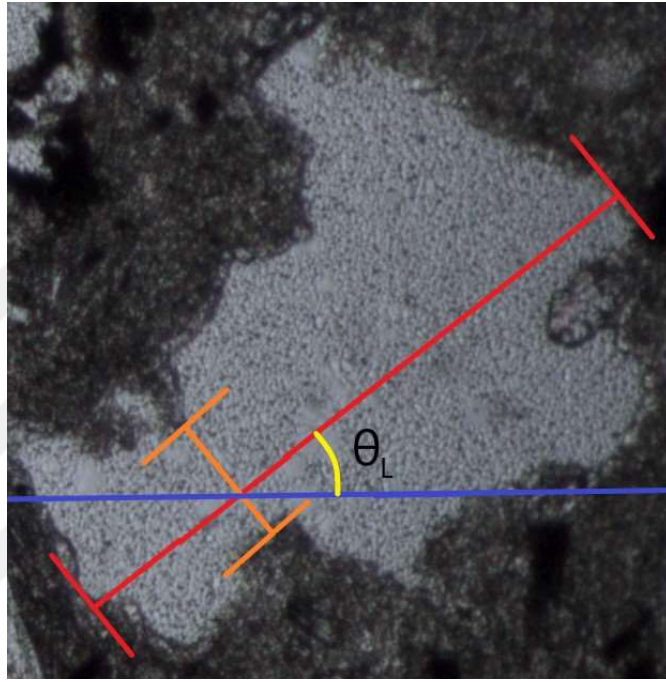
Şekil 3.14'te herhangi bir kaya doku tanesinin alanı ve çevresi gösterilmektedir. FF_0 Değeri, görüntüdeki her bir doku tanesinin alanı ve çevresinin hesaplanmasıyla elde edilir.

$$FF_0 = 4 \times \pi \left(\frac{ALAN}{\text{ÇEVRE}^2} \right) \quad (2)$$



Şekil 3. 14. Herhangi bir doku tanesinde alan ve çevre gösterimi

AF_1 : Görüntüdeki en-boy oranı 2'den büyük olan doku taneciklerinin konumlanma (oryantasyon) açısıdır. Şekil 3.15'te herhangi bir doku tanesinin en uzun kenarı ve en kısa kenarı çizilip bunların kesişiminden geçecek yatay eksen gösterilerek bu kenarlar arasında kalan açı (θ_L) belirtilmiştir.



Şekil 3. 15. Herhangi bir dokunun açısı (θ_L) gösterimi

Açı değerleri, en-boy oranı 2’den büyük olan her bir doku tanesi için hesaplanır. Daha sonra bu doku taneleri arasındaki açı farkı kombinasyonları hesaplanır. Bu açı farkı matrisinin her bir elemanı (θ) aşağıda yer alan eşitlik 3’e girdi olarak sağlanır:

$$AF_1 = \sum_{i=1}^9 \left(\frac{x_i}{\frac{N_1 \times (N_1 - 1)}{2}} \right) x_i \quad (3)$$

x_i : Her bir sınıf içerisindeki eleman sayısı,

N_1 : En-boy oranı 2’den büyük olan doku taneciklerinin sayısı,

i : ağırlık faktörü ve sınıf numarası

Çizelge 3.4’te açı farklarının sınıf ve ağırlıkla olan ilişkisi verilmiştir. Bu çizelgeye göre ağırlık faktörü ve sınıf numarası belirlenmektedir.

Çizelge 3. 4. Sınıflar ve ağırlığın açı farkları ile olan ilişkisi

Numara	Sınıf Aralığı	Ağırlık (i)
1	$\theta \leq 10$	1
2	$10 < \theta \leq 20$	2
3	$20 < \theta \leq 30$	3
4	$30 < \theta \leq 40$	4
5	$40 < \theta \leq 50$	5
6	$50 < \theta \leq 60$	6
7	$60 < \theta \leq 70$	7
8	$70 < \theta \leq 80$	8
9	$80 < \theta \leq 90$	9

Hesaplanan AF_1 değeri, DK değerinden ters orantılı şekilde etkilenmemesi ve sapmanın engellenmesi için 5’e bölünmelidir. Böylece nihai AF_1 değeri elde edilir (Howarth ve Rowlands, 1987).

Çalışmada yer alan kayaçların ince kesitleri, mikroskop altında incelenmiş olup görüntüleri kayıt altına alınmıştır. Alınan ince kesit görüntüleri görüntü işleme ve segmentasyon algoritmaları ile yeni bir bakış açısıyla incelenmiş olup DK değerleri hesaplanmıştır.

3.4.2. Görüntü segmentasyonu algoritması

Segmentasyon kelime anlamıyla, görüntüyü aynı cinsten obje ve bölgelere ayırmaktadır. Yani görüntüde benzer özellikler gösteren piksellerin sınıflanarak (kümelenerek) anlaşılır bir şekilde ifade edilmesidir. Günümüzde medikal görüntü işleme, otonom araçlar, yer ve harita bilimi gibi birçok alanda sıklıkla görüntü segmentasyonu

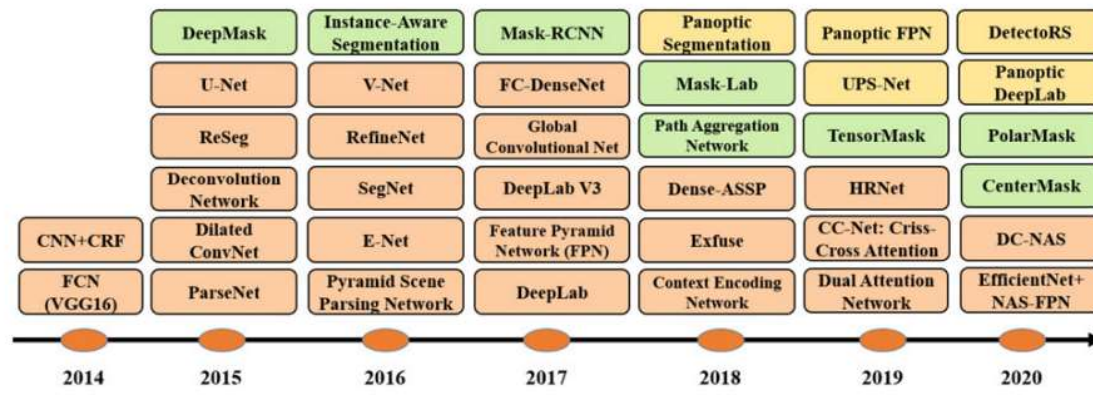
algoritmaları kullanılmaktadır. Şekil 3.16'da görüntü segmentasyonuna ait örnekler verilmiştir.



Şekil 3. 16. Görüntü segmentasyonuna örnekler

Günümüzde birçok görüntü segmentasyonu teknikleri geliştirilmiştir. Bu tekniklerden bazıları aşağıda açıklanmıştır:

- Eşik Değeri (Thresholding): Bu teknikle görüntü piksellerinin daha önceden belirlenmiş eşik değeri baz alınarak segmentasyon işlemi gerçekleştirilir. Örneğin, piksel eşik değeri 100 olarak belirlenen bir görüntünün segmentasyonu, görüntünün her bir pikselinin incelenerek bu eşik değerinden büyük veya küçük olma durumuna göre gerçekleştirilmektedir.
- Kümeleme (Clustering): Görüntüde bulunan benzer özellikteki pikseller incelenip bunların kümelenmesiyle segmentasyon işlemi gerçekleştirilir. Bu teknikte küme sayısı deneme yanılma yolu ile belirleneceğinden dolayı tecrübe gerektirir.
- Köşe tabanlı (Edge-based): Görüntüdeki keskin piksel geçişlerinin köşe olduğunu değerlendirerek görüntüdeki köşe kısımlarının segmentasyonu olarak tanımlanır. Örneğin, araçların şerit takibi yapabilmesi için bu görüntü segmentasyonu tekniği kullanılmaktadır.
- Derin Öğrenme Tabanlı (Deep-Learning based): Yapay sinir ağları kullanılarak bir derin öğrenme modeli kurulur. Kurulan bu model milyonlarca veri-seti (görüntü) kullanılarak eğitilir ve veri-setinde daha önce bulunmayan bir görüntü bu modele girdi olarak



Şekil 3. 17. Derin öğrenme tabanlı görüntü segmentasyonu tekniklerinin yıllara göre gelişimi (Minaee ve diğ., 2021)

Kayaçların mikroskobik doku görüntülerini incelemek ve segmentasyonunu sağlayarak dokuların fiziksel özelliklerini (alan, çevre, açı, en-boy oranı, vb.) belirlemek için en uygun teknik derin öğrenme tabanlı görüntü segmentasyonu algoritmasıdır. Kayaç görüntülerindeki keskin geçişlerin belirlenmesinin zorluğu, iç-içe geçmiş doku taneciklerinin ayırt edilememesi, doku taneciklerinin farklı renkte olması ve daha doğru segmentasyon sonuçları vermesi nedeniyle derin öğrenme tabanlı görüntü segmentasyonu tekniği bu çalışma kapsamında tercih edilmiştir.

3.4.3. Derin öğrenme tabanlı görüntü segmentasyonu tekniğiyle kayaç doku segmentasyonu

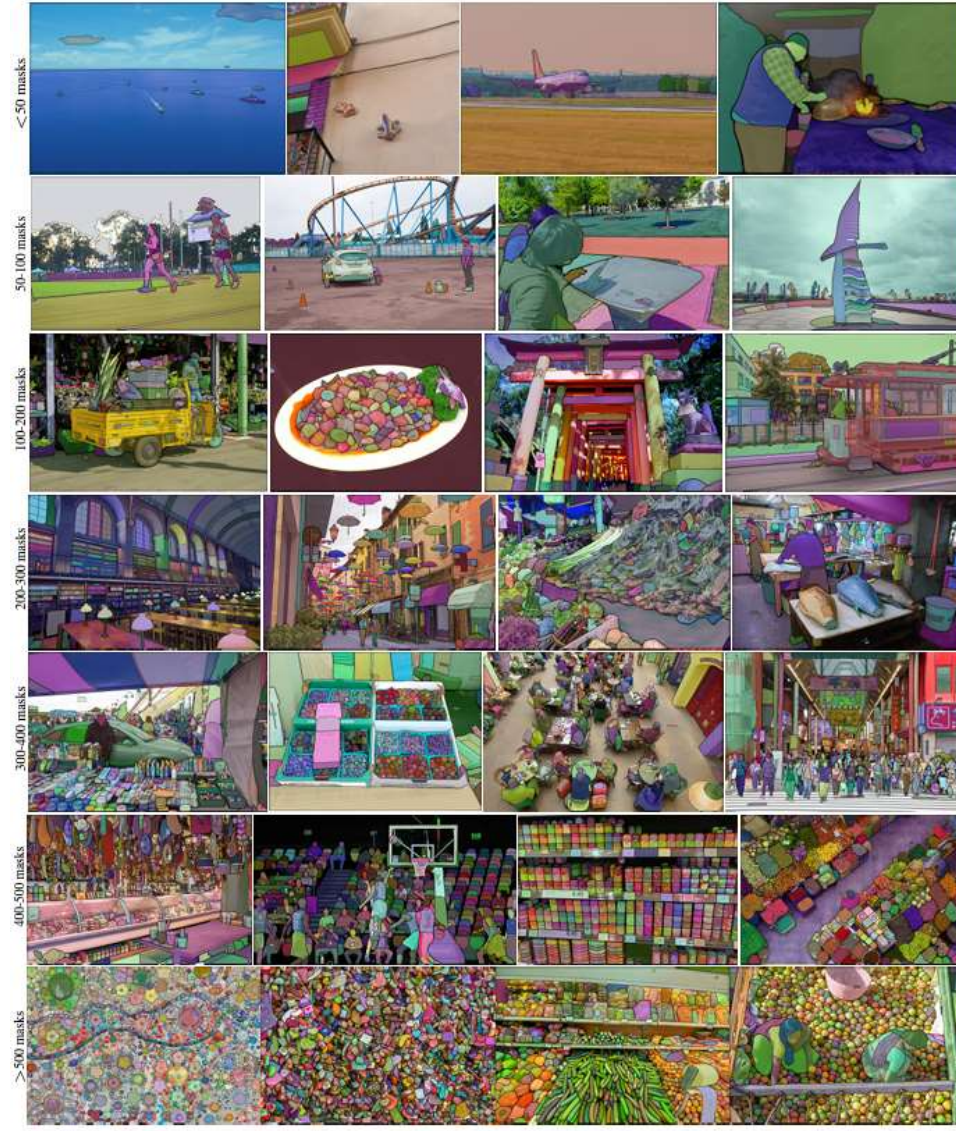
Kayaç dokularının mikroskobik görüntülerinde doku taneciklerinin aşağıda belirtilen fiziksel özelliklerini belirlemek, benzer özellikteki doku taneciklerinin kümelenmesini sağlamak amacıyla segmentasyon işlemi gerçekleştirilmektedir.

- Alan
- Açı
- Çevre
- En-Boy Oranı

Literatürde çeşitli (uygulama-spesifik, hazır model, segment anything vb.) derin öğrenme tabanlı görüntü segmentasyonu teknikleri mevcuttur. Bu çalışmada Segment Anything modeli kullanarak görüntüden belirtilen fiziksel özelliklerin çıkartılması gerçekleştirilmiştir.

Segment anything Facebook tarafından geliştirilen ve Tesla, Microsoft, Amazon gibi birçok teknoloji devi denilebilecek firma/kurum tarafından kullanılmaktadır. Segment anything'de kullanılan yapay sinir ağı modeli yaklaşık 11 milyon görüntü ve 1 milyar'dan fazla maskeleme işlemi gerçekleştirilerek eğitilmiştir. (Kirillov, ve diğ., 2023). Bu çalışmada doku taneciklerinin incelenmesinde ve özellik çıkarımı (feature extraction) yapılmasında oldukça olumlu sonuçlar vermiş olup segmentasyon performans değerleri (IoU, stability) bu

çalışma sonucunda verilmiştir. Şekil 3.18’de segment anything modeli ile gerçekleştirilen görüntü segmentasyonuna dair örnekler verilmiştir.



Şekil 3. 18. Segment Anything modeli ile maskelenen görüntüler (Kirillov ve diğ., 2023)

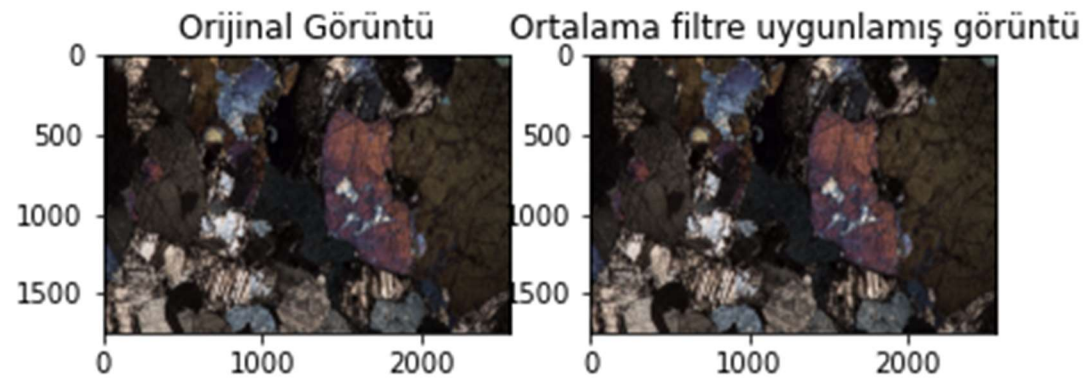
Şekil 3.18’de görüldüğü üzere Segment Anything modelinin farklı görüntülerdeki maske sayısı (segmente edilen nesne sayısı) ve maskeleme performansı net bir şekilde görülmektedir. Görüntü segmentasyonu kriterlerinden olan mIoU (kesişim-birleşim) değeri 95 olarak verilmiştir. (Kirillov ve diğ., 2023) Bu değer ise segmentasyonu kalitesini göstermektedir. Yani segment anything modeli bir görüntüyü en az %95 doğrulukla segmente etmektedir.

Görüntü segmentasyonunun nasıl gerçekleştiğini anlamak için aşağıdaki üç terimi bilmek gerekmektedir:

1. Ön İşlem (Pre-processing): Görüntüler, segmentasyon performansını artırmak amacıyla ön işlemlere tabii tutulmaktadır. Bu ön işlem teknikleri aşağıda açıklanmıştır:

- **Filtreleme:** Filtreleme işlemi görüntüde bulunan ve istenmeyen gürültülerin giderilmesi için kullanılır. Gürültülerin giderilmesi için görüntüdeki benzer piksel değerlerinin (görüntüde bulunan yeşil-kırmızı-mavi (RGB) değerleri) incelenerek farklı tekniklerle çözünürlük iyileştirmeleri yapılmaktadır. Literatürde birçok filtreleme tekniği mevcuttur. Alçak geçirgen filtre (low pass filter), yüksek geçirgen filtre (high pass filter), ortalama filtresi (mean filter) ve gauss filtresi (Gaussian filter) bu tekniklere örnek olarak verilebilir.

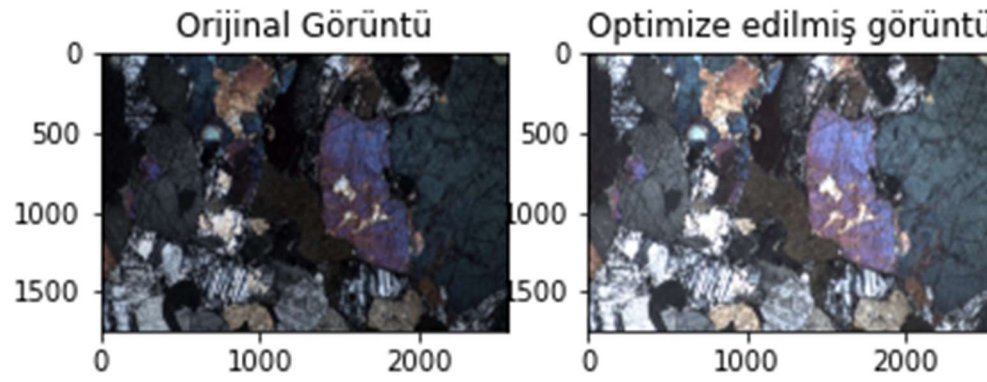
Kayaç doku görüntülerinde ortalama filtresi kullanılarak komşu piksel değerlerine bakılarak dokulardaki renk geçişlerinin daha belirgin olması sağlanmıştır. Şekil 3.19'da örnek olarak gösterilen gabro kayacının doku görüntüsünün orijinal hali ve ortalama filtre uygulanmış şekli verilmiştir.



Şekil 3. 19. Gabro kayaç görüntüsünün orijinal görüntüsü (solda) ve ortalama filtre uygulanmış görüntüsü (sağda)

- **Görüntü iyileştirme:** Görüntünün parlaklığı ve kontrast ayarlarının modifiye edilerek görüntüdeki renk geçişlerinin daha keskin olması ve renklerin daha belirgin hale getirilmesi hedeflenir. Parlaklık ve kontrast değerleri modifiye edilerek iyileştirilen görüntülerin segmentasyon performansında artış gözlemlenmiştir.

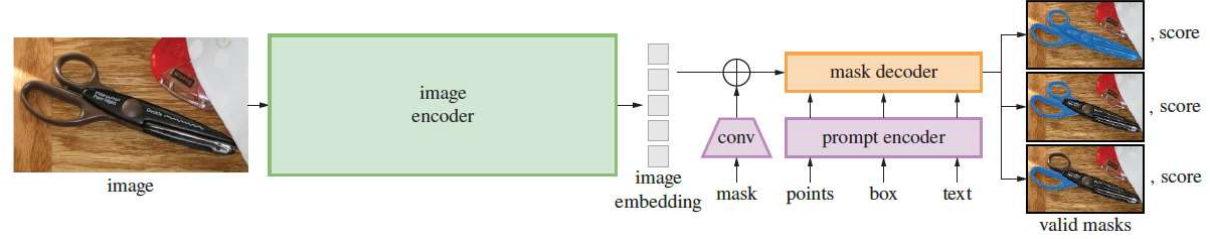
Kayaç doku görüntülerinde parlaklık ve kontrast değerleri, görüntü segmentasyonunu iyileştirmek amacıyla optimize edilmiştir. Şekil 3.20'de örnek olarak gösterilen gabro kayacının orijinal hali ve kontrast ve parlaklık değerlerinin optimize edilmiş hali verilmiştir.



Şekil 3. 20. Gabro kayaç görüntüsünün orijinal görüntüsü ve parlaklık ve kontrast değerlerinin değiştirilerek optimize edilmiş görüntüsü

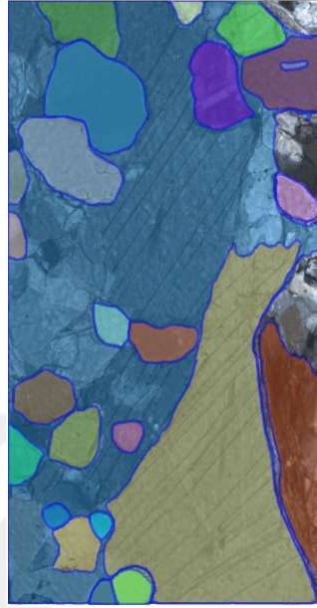
2. Yapay Sinir Ağı (YSA), biyolojik sinir sisteminden ilham alınarak geliştirilmiş bir bilgi işleme teknolojisidir. YSA, biyolojik nöron hücrelerinin ve bu hücreler arasındaki sinaptik bağlantıların dijital bir modellemesini gerçekleştirerek basit bir biyolojik sinir sisteminin çalışma şeklini taklit eder (Elmas, 2018).

Segment Anything modeli birden fazla katman içerecek şekilde sinir ağı oluşturularak modellenmiştir (Kirillov ve diğ., 2023). Şekil 3.21’de Segment Anything modelinin sinir ağları ve katman yapısı verilmiştir.



Şekil 3. 21. Segment Anything modeli yapay sinir ağı katman yapısı

3. Maskeleme: Görüntü Segmentasyonu algoritmalarında maskeleme işlemi, görüntüde bulunan benzer özellikteki piksel değerlerinin kümelenecek belirgin hale getirilmesidir. Maskeleme görüntüde benzer piksel özellikleri gösteren kısımların belirgin bir renk kaplanması işlemidir. Şekil 3.22’de örnek bir kayaç doku görüntüsünün maskeleme görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3. 22. Kayaç doku görüntüsünde maskeleme işleminin gösterimi

Segment Anything modeli kullanılarak kayaçların fiziksel özelliklerinin belirlenmesi işlemleri aşağıda özetlenmiştir:

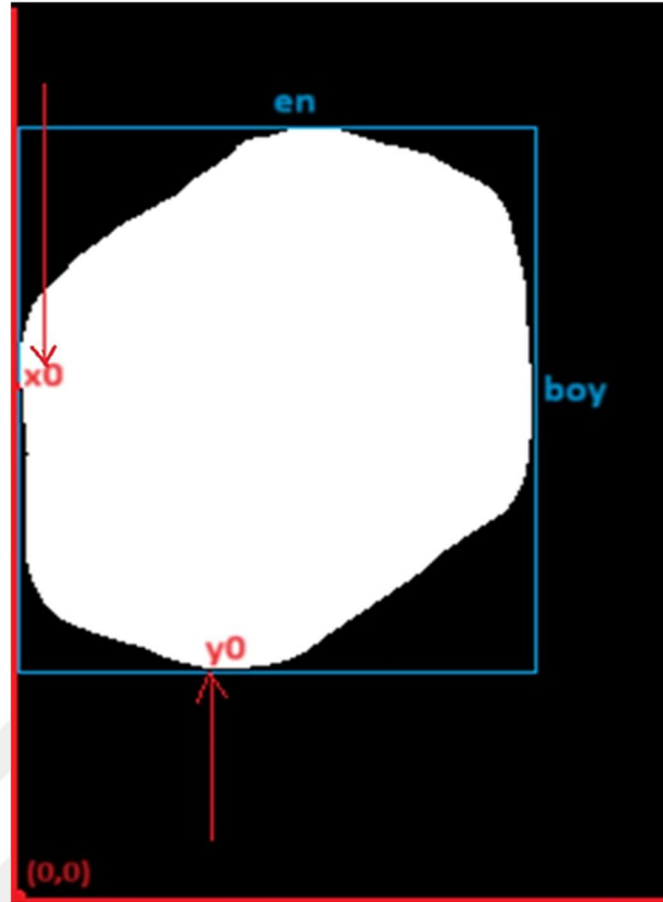
- 1- Segmentasyon işlemi gerçekleştirilecek kayaç doku görüntüsü ön işlem tekniklerine (ortalama filtre, kontrast ve parlaklık değerleri optimizasyonu) tabii tutulmaktadır. Ön

işlem teknikleri, OpenCV kütüphanesi yardımıyla Python yazılım dili ile geliştirilen kod yardımıyla yapılmıştır.

2- Daha önce farklı veri setleri ile eğitilip modeli oluşturulan Segment Anything derin öğrenme segmentasyon tekniği kullanılarak doku görüntüsündeki doku taneciklerinin saptanması gerçekleştirilmiştir. Segmentasyon işlemi, kayaç doku görüntüsünü segmente ederken aşağıdaki işlemleri gerçekleştirmektedir:

- Doku görüntüsü, 64x32 parçaya bölerek kırpar.
- Her bir kırpılan parçada piksel değerlerinin renk saptaması yapar.
- Renk saptamasına göre dokuların x-y koordinat düzleminde orijine göre dokunun X_0 ve Y_0 noktalarını belirler (X_0 noktası x koordinatında dokunun en soldaki başlangıç noktasını; Y_0 noktası ise y-koordinatında dokunun en aşağıdaki başlangıç noktasını ifade etmektedir).

Şekil 3.23'te kayaç doku görüntüsünde saptanan dokunun x_0 ve y_0 değerini gösteren örnek bir görsel verilmiştir.



Şekil 3. 23. Saptanan kayaç dokusundaki x_0 ve y_0 değerinin gösterimi

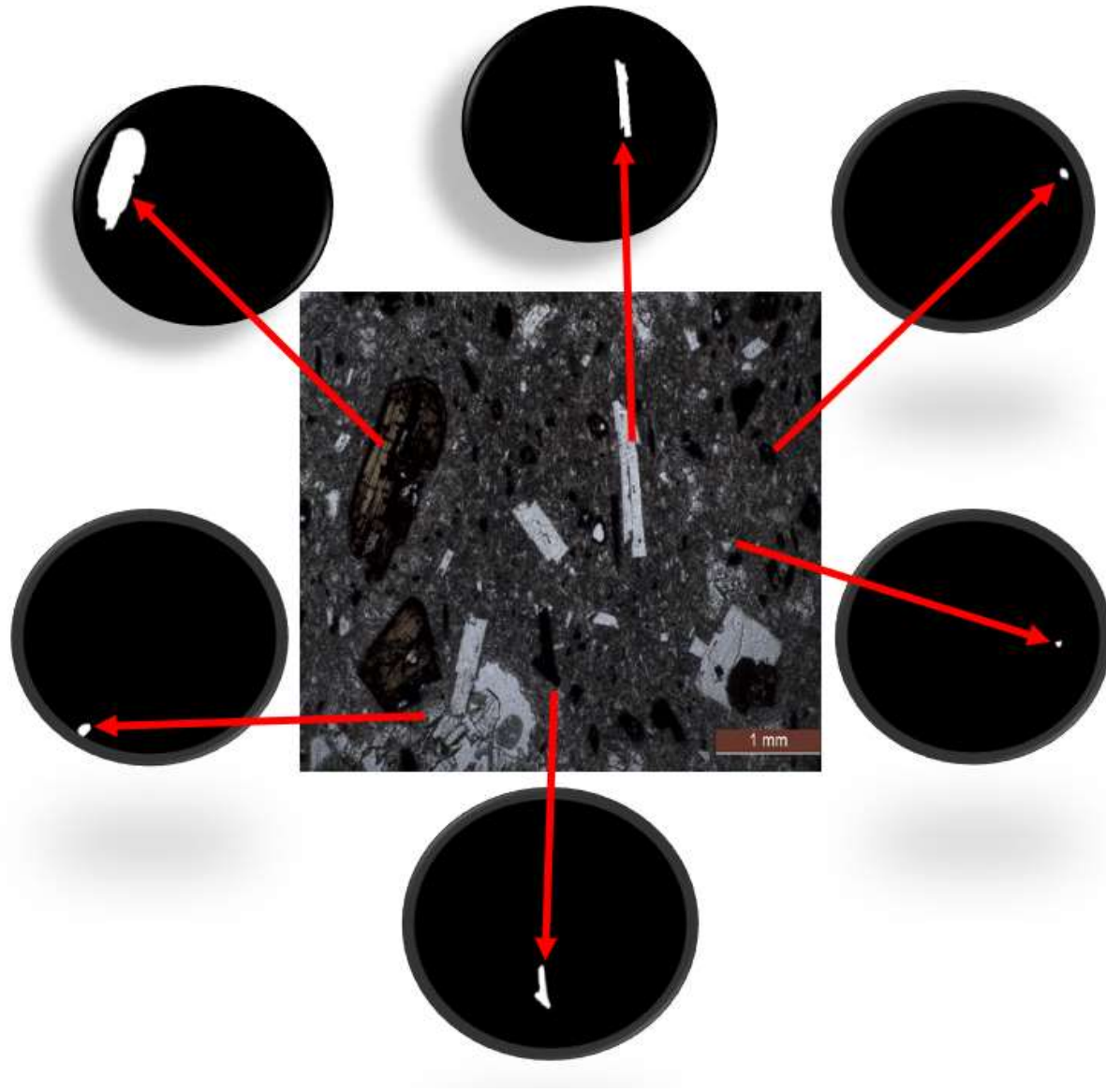
x_0 ve y_0 değeri belirlenen kayaç doku görüntüsünün en yüksek noktası ve en geniş noktası belirlenerek dokunun eni ve boyu belirlenmiş olur. Şekil 3.23'te saptanmış kayaç dokusunun en-boy gösterimi verilmiştir. En-boy değerleri birbirine bölünerek en-boy oranı hesaplanır.

- 3- Saptanan kayaç dokularının en-boy oranı hesaplandıktan sonra OpenCV kütüphanesi ve contour yardımıyla görüntünün alanı, çevresi ve doku oryantasyonu hesaplanır. Python OpenCV kütüphanesi bu değerlerin belirlenmesinde önemli rol oynar ve yazılan kod yardımıyla her bir dokunun fiziksel özellikleri hafızada tutulur ve kaydedilir.

Area değeri, saptanan her bir doku taneciğinin alanının, OpenCV kütüphanesi ile hesaplanmasıyla elde edilmiştir. Bbox_x0 ve bbox_y0 değeri ise Şekil 3.23'te detaylı olarak gösterilen doku taneciğinin en sol noktası ile orijine olan uzaklığı bbox_x0; doku taneciğinin en alt noktası ile orijine olan uzaklığı bbox_y0 olarak hesaplanmış ve kaydedilmiştir. Bbox_w değeri saptanan doku taneciğinin en sağ noktasının belirlenip en sağ noktasından en sol noktasının (bbox_x0) çıkartılmasıyla elde edilir. Bbox_h değeri ise saptanan doku taneciğinin en üst noktasının belirlenip en üst noktasından en aşağı noktası (bbox_y0) çıkartılmasıyla elde edilir. Stability score ise segmentasyon işlemi gerçekleştirilmiş doku taneciğinin kesişim/birleşim (IoU) oranıdır ve segmentasyon performansını gösterir. Stability score değerinin yüksek olması segmentasyon performansının yüksek olduğunu gösterir. Bu işlemlerin hepsi Python yazılım dilinin OpenCV kütüphanesi yardımıyla yapılmıştır.

Segment Anything modeli kullanarak çalışmada yer alan fonolit kayacı segmente işlemine tabi tutulmuştur ve fonolit kayacına ait dokudaki taneciklerin segmentasyon sayısı orijinalde 144 adettir. Yani dokudaki 144 adet taneciğin segmentasyonu $97,7 \pm 0,010$ doğrulukla gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.24'te çalışmada yer alan fonolit kayacına ait dokudaki bazı taneciklerin segmentasyon görüntüleri örnek olarak verilmiştir.

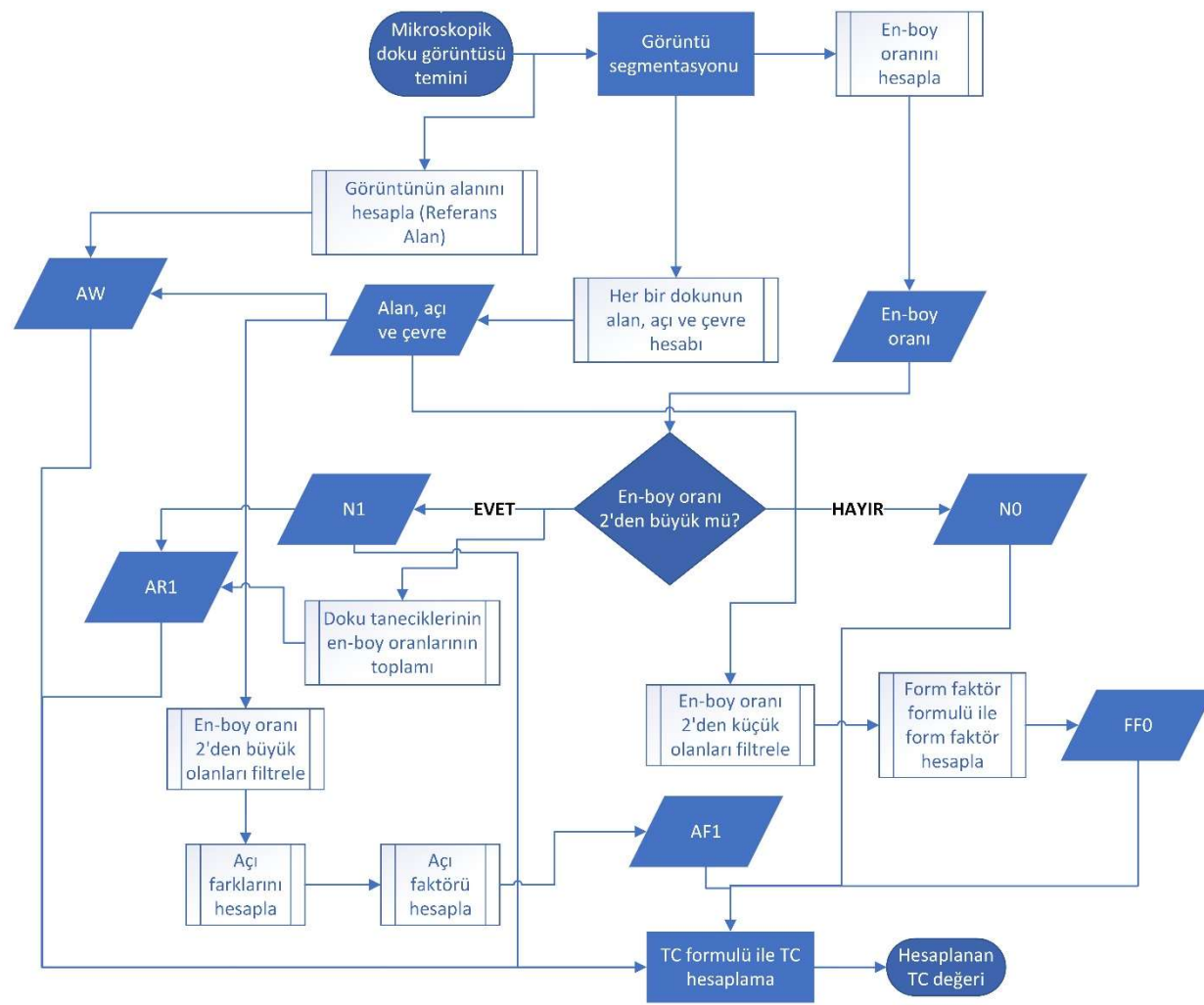




Şekil 3. 24. Fonolit kayacına ait dokunun segmente edilmiş doku tanelerine örnek bir gösterim

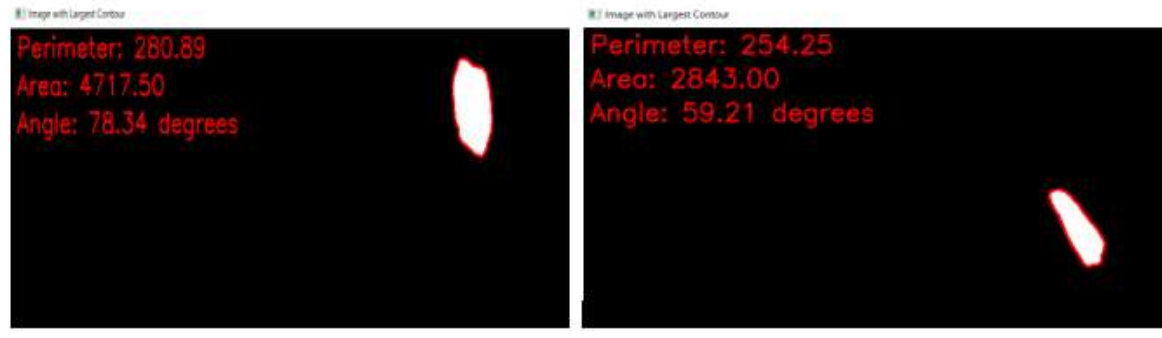
3.4.4. Doku Katsayısı (DK) Değerinin Görüntü İşleme Yöntemiyle Hesaplanması

Bu başlık altında görüntü segmentasyonu gerçekleştirilen 20 adet kaya dokusunun doku katsayısı değeri yeni bir yaklaşım metoduyla hesaplanmıştır. Bu hesaplama işlemi Python yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Doku katsayısı hesaplanırken algoritma şematiği Şekil 3.25'te verilmiştir.



Şekil 3. 25. Doku katsayısı hesabı için akış diyagramı

Doku katsayısı değerinin hesaplanması için yukarıda verilen akış diyagramında ilk adım kayaç dokularının mikroskop ile görüntülerinin temin edilmesidir. Daha sonra başlık 3.4.3'te verilen segmentasyon tekniği kullanılarak kayaç doku görüntüleri segmente edilmiştir. Şekil 3.24'te örnek olarak verilen fonolit kayacına ait doku görüntüsünden 144 adet segmente edilmiş doku taneciği tespit edilmiştir. Bu doku taneciklerinin her birinin en-boy oranı hesaplanarak kaydedilmiştir. Kaydedilen en boy-oranlarının, sayısal değeri 2'den büyük olan taneciklerin sayısı N_1 ; sayısal değeri 2'den küçük olan taneciklerin sayısı N_0 olarak belirlenmiştir (Howarth ve Rowlands, 1987). Tespit edilen dokuların alan, açı ve çevre gibi fiziksel özellikleri Şekil 3.25'te verilen algoritma yardımıyla geliştirilen kod ile hesaplanmıştır. Şekil 3. 26'da fonolit doku görüntüsüne örnek olarak verilen 2 adet doku taneciğinin çevre, alan ve açı bilgilerinin hesaplandığına dair gösterimler yer almaktadır.



Şekil 3. 26. Fonolit doku görüntüsünde segmente edilen doku taneciklerinin çevre, alan ve açı hesabına örnek gösterim

Segmente edilen doku görüntüsünde yer alan doku taneciklerinin her birinin alanı hesaplandıktan sonra bu doku taneciklerinin her birinin alanı toplanıp kaydedilmiştir. Segmente edilen görüntünün alanı (referans alan) hesaplanıp tespit edilen doku taneciklerinin toplam alanına bölünmesiyle AW değeri yazılan kod ile hesaplanmıştır.

En-boy oranı sayısal olarak 2 değerinden büyük olan doku taneciklerinin en-boy oranları toplanıp N_1 değerine bölünmesiyle AR_1 değeri hesaplanmış ve kaydedilmiştir.

Açı faktörü (AF_1) değeri, en-boy oranı sayısal olarak 2'den büyük olan doku taneciklerinin açı farkı kombinasyonu belirlendikten sonra eşitlik 3'te verilen formül ile hesaplanmıştır.

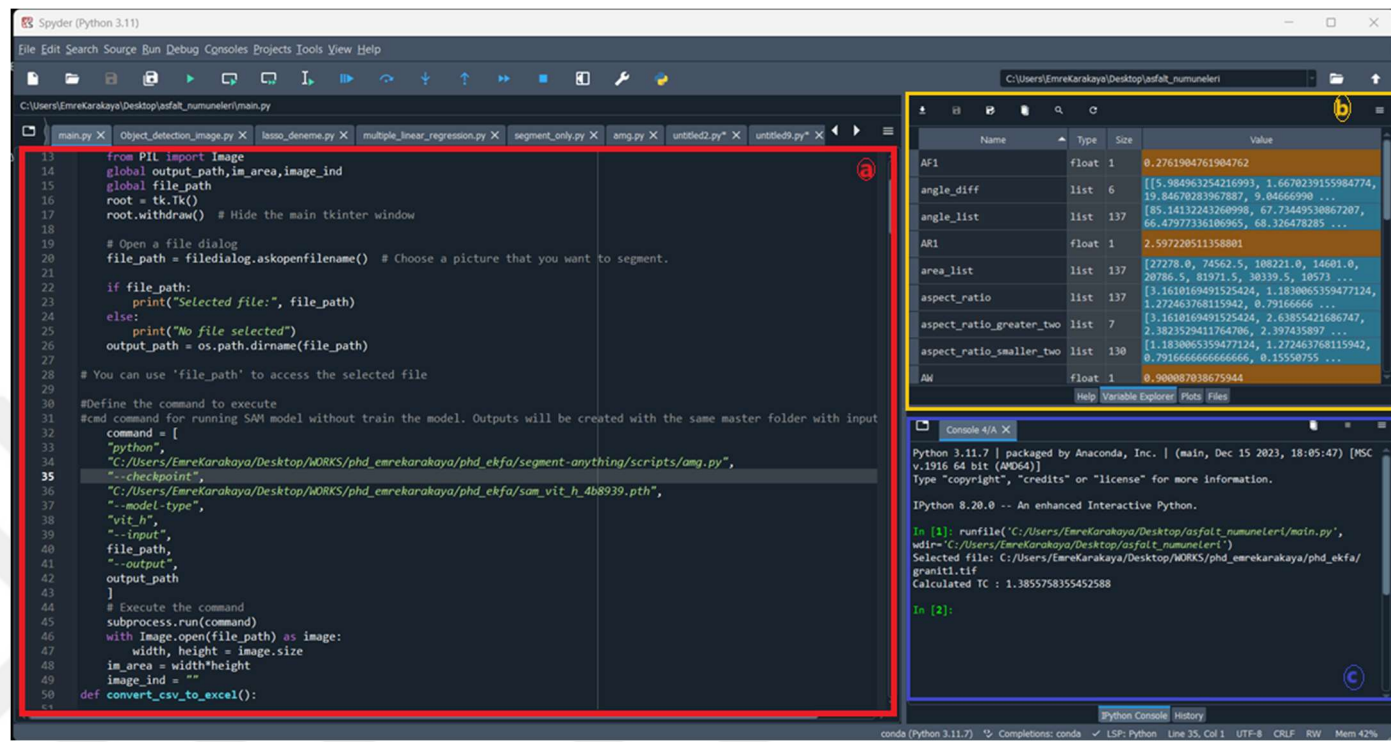
Form faktörü (FF_0) değeri, en-boy oranı sayısal olarak 2'den küçük olan ve alanı ve çevresi belirlenmiş her bir doku taneciği için Eşitlik 2'de verilen formül yardımıyla hesaplanmıştır. Nihayetinde DK (doku katsayısı) değeri, elde edilen AW , N_1 , N_0 , AF_1 , FF_0 ve AR_1 değerleri Eşitlik 1'de yer alan formülde yerlerine koyularak yazılan kod ile hesaplanmıştır.

Şekil 3. 27'de örnek olarak verilen fonolit kayacına ait doku görüntüsü, yazılan kod yardımıyla hesaplanan DK değeri için gerekli parametrelerin yazılım ortamında kaydedilen listesi verilmiştir.

AF1	float	1	0.5666666666666667
angle_list	list	144	[54.38873038223265, 45.39290889806062, 67.89719661280705, 83.413369548 ...]
AR1	float	1	2.5120979567031654
area_list	list	144	[12857.5, 30611.0, 223267.0, 54820.5, 110532.5, 17846.5, 42341.5, 8200 ...]
aspect_ratio	list	143	[1.1088709677419355, 0.5802469135802469, 0.2608, 0.8823529411764706, 0 ...]
AW	float	1	0.3893260044642857
FF0	float	1	0.7049134859081315
N0	int	1	140
N1	int	1	4
perimeter_list	list	144	[469.6883795261383, 834.6803684234619, 2219.890601992607, 1547.1686073 ...]
TC	float	1	0.5523566965906341

Şekil 3. 27. Fonolit kayacına ait doku görüntüsünün DK değeri hesabı için hesaplanmış ve kaydedilmiş parametrelerin gösterimi

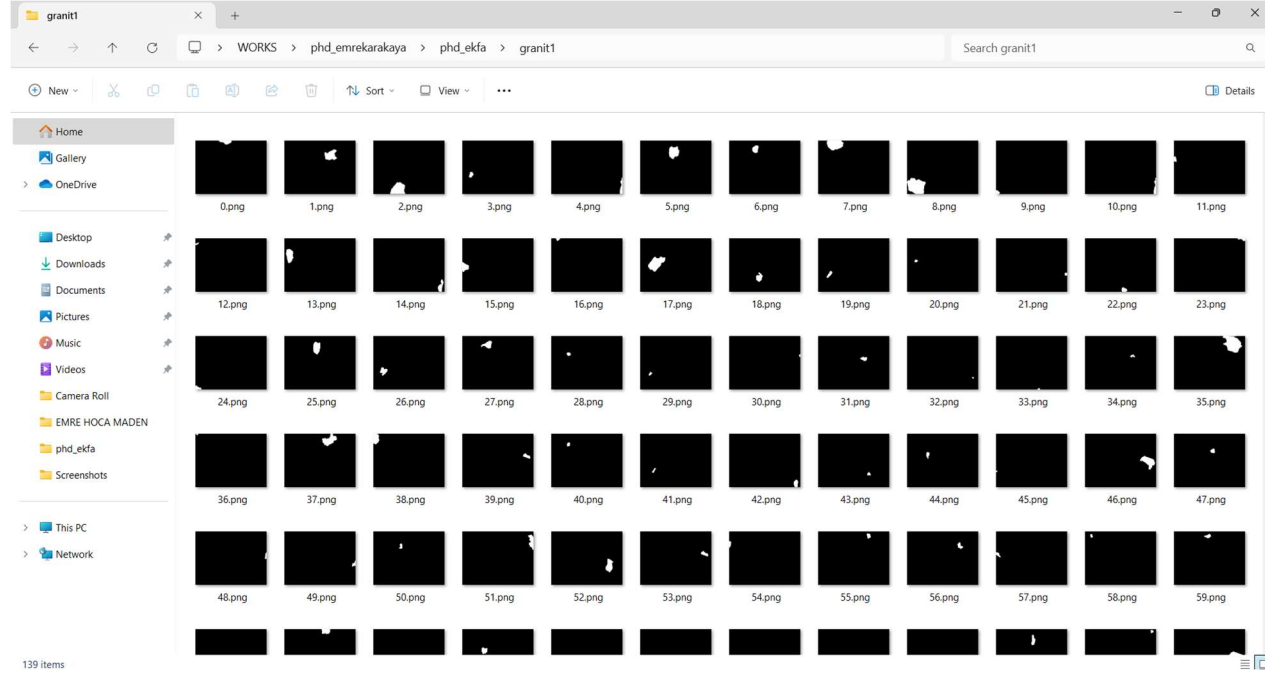
Şekil 3. 28'te kayaçların doku katsayısını hesaplamak için Python programına yazdığımız kod (a) ve bu çalışmada yer alan granodiyorit kayacı için doku katsayısı hesaplaması (c) gösterilmektedir. Bu programda ayrıca doku katsayısı eşitliğinde yer alan parametrelerin (AW, N₀, N₁, AF₁, AR₁, FF₀) her birinin yer aldığı sonuçları veren bir bölme de mevcuttur (c).



Şekil 3. 28. Doku katsayısını hesaplamak için yazılan kod (a), hesaplanan doku katsayısının gösterimi (b), doku katsayısı eşitliğinde yer alan her bir parametrenin gösterimi (c)

Doku katsayısı hesabı için geliştirdiğimiz program doku katsayısı hesabında sonra ilgili doku görüntüsünde yer alan her bir mineralin segmentasyon verilerini de vermektedir.

Şekil 3.29’da granodiyorit doku görüntüsünün birinci fotoğrafının segmentasyon görüntüleri yer almaktadır. Granodiyorit doku görüntüsünde 139 mineral segmente edilmiştir ve görüntüde bulunan her bir mineral ayrı ayrı segmente edilerek belirlenmiştir.



Şekil 3. 29. Granitdiyorit-1 doku görüntüsünde yer alan minerallerin her birinin segmentasyon görüntüleri

Geliştirdiğimiz program, doku katsayısı hesaplanan ilgili kayaca ait her bir mineralin en, boy, alan, aç ve çevre gibi fiziksel özelliklerini veren bir Excel dosyası da vermektedir. Şekil 3.30’da granodiyorit-1 doku görüntüsünde yer alan her bit mineralin fiziksel özellikleri yer almaktadır.

D2																
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	id	bbox_x0	bbox_y0	bbox_w	bbox_h	predicted_iou	stability_score	real_iou	aspect_ratio	Area	Perimeter	Angle				
2	0	669	0	373	118	0,999807537	0,987790883	0,987600769	3,161016949	27278	881,1859	85,14132				
3	1	1152	256	362	306	0,997592568	0,969140172	0,966807033	1,183006536	74562,5	1350,864	67,7345				
4	2	486	1187	439	345	0,997391462	0,983304024	0,980739038	1,272463768	108221	1434,798	66,47977				
5	3	195	899	133	168	0,995937586	0,982827723	0,97883507	0,791666667	14601	531,2447	68,32648				
6	4	1975	1069	72	463	0,994539261	0,985274911	0,979894582	0,155507559	20786,5	1076,517	87,0051				
7	5	828	163	304	376	0,99442184	0,97406888	0,968635368	0,808510638	81971,5	1255,786	73,19987				
8	6	666	134	187	228	0,993122578	0,977650046	0,970926334	0,820175439	30339,5	716,9676	70,16265				
9	7	246	0	488	281	0,992546797	0,983601034	0,976270055	1,736654804	105739,5	1380,129	89,52628				
10	8	0	1071	535	461	0,991850257	0,973230839	0,965299257	1,160520607	181335	1841,533	62,93304				
11	9	0	1418	109	116	0,99140203	0,983549839	0,97509336	0,939655172	9279	402,4508	46,56633				
12	10	1975	851	72	682	0,991040349	0,979272008	0,970498073	0,105571848	20975,5	1091,831	86,9827				
13	11	0	449	78	162	0,990867138	0,989634693	0,980596496	0,481481481	9680,5	437,2376	81,4065				
14	12	0	124	100	71	0,985789418	0,990836203	0,976755844	1,408450704	4221,5	289,865	61,53779				
15	13	45	306	223	411	0,98482877	0,977687955	0,962855226	0,542579075	62892	1134,632	86,54854				
16	14	1859	1183	164	350	0,984205008	0,973663568	0,95828456	0,468571429	31000	956,8671	75,4723				
17	15	0	677	193	293	0,984066129	0,981221914	0,965587251	0,658703072	36008	858,9848	82,14737				
18	16	133	0	132	72	0,98321259	0,988093317	0,971505789	1,833333333	6022,5	352,3503	79,92615				
19	17	226	525	499	435	0,982534289	0,967839539	0,950935534	1,147126437	122905	1625,866	51,72801				
20	18	772	981	198	271	0,981696725	0,981305003	0,963343908	0,730627306	31950,5	859,8204	73,61128				
21	19	245	933	164	203	0,980772614	0,97516799	0,956418059	0,807881773	14765,5	582,2813	53,37197				
22	20	211	611	102	78	0,980459511	0,989410758	0,970077188	1,307692308	5698	297,9066	71,20345				
23	21	1975	984	72	92	0,980316699	0,983955204	0,964587718	0,782608696	5197,5	283,3797	89,53993				
24	22	1053	1409	171	126	0,980097651	0,974605143	0,955208212	1,357142857	15728	509,4457	74,16231				
25	23	1828	0	219	83	0,978333771	0,981752932	0,960482048	2,638554217	9666,5	580,3503	79,15636				
26	24	0	1416	177	119	0,978278875	0,979082704	0,957815926	1,487394958	12758	548,5341	71,22108				
27	25	829	162	206	371	0,977663934	0,97023797	0,948566671	0,555256065	57588	1051,637	86,66382				

Şekil 3. 30. Granodiyorit-1 doku görüntüsünde yer alan her bir mineralin fiziksel özellikleri (Id: segmente edilen minerallerin numarası, bbox_x0: mineralin x-y koordinat sisteminde yer aldığı en soldaki başlangıç noktası, bbox_y0: mineralin x-y koordinat sisteminde yer aldığı en alttaki başlangıç noktası, bbox_w: mineralin eni, bbox_h: mineralin boyu, predicted_iou: mineralin saptandığı tahmin edilen ve temel gerçek sınırlayıcı kutuları arasındaki örtüşme değeri, stability_score: mineralin saptandığı duraylılık değeri, reel_iou:

mineralin saptandığı gerçek sınırlayıcı kutuları arasındaki örtüşme değeri, aspect_ratio: mineralin en/boy oranı, area: mineralin alanı, perimeter: mineralin çevresi, angle: mineralin açısı.)

3.4.5. 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 4 ile tanımlanmaktadır:

$$R(X,Y) = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}} \quad (4)$$

x: x değişkeni değerleri

y: y değişkeni değerleri

$\bar{x}$: x değişkenlerinin aritmetik ortalaması

$\bar{y}$: y değişkenlerinin aritmetik ortalaması



4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Çalışmada Yer Alan Kayaçların Araştırma Sonuçları

Tez çalışmasının bu bölümünde, kayaçların fiziko-mekanik, aşındırıcılık, mineralojik-petrografik ve DK sonuçları yer almaktadır.

4.1.1. Çalışmada yer alan kayaçların fiziksel ve mekanik deney sonuçları

Çalışmada yer alan 20 adet kayaç üzerinde, materyal ve yöntem kısmında açıklandığı üzere doğal yoğunluk, gözeneklilik, Schmidt sertliği, nokta yükleme dayanımı, tek eksenli basma dayanımı ve Brazilian dayanımı testleri gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.1’de çalışmada yer alan kayaçların fiziko-mekanik deney sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4. 1. Çalışmada yer alan kayaç ve minerallerin fiziksel ve mekanik deney sonuçları

No	Kayaç Adı	Doğal Yoğunluk Değeri (gr/cm ³)	Gözeneklilik (%)	Schmidt Sertliği	Nokta Yükleme Dayanım Değerleri (Isso)	Tek Eksenli Basma Dayanım Değerleri (MPa)	Brazilian Dayanım Değerleri (MPa)
1	Traverten	2,57±0,02	2,08±0,22	45,55±1,61	3,82±0,31	36,57±7,86	3,63±0,24
2	Bazalt	2,34±0,03	5,95±0,32	62,56±1,43	5,49±0,43	83,47±4,38	4,68±0,41
3	Gabro	3,06±0,02	0,33±0,07	50,08±0,95	11,59±3,51	144,09±17,69	12,84±0,12
4	Kurşun	3,93±0,13	1,35±1,64	42,64±2,05	4,32±1,23	58,54±9,27	4,78±0,71
5	Andezit-1	2,51±0,01	4,49±0,21	63,94±1,74	5,81±0,32	63,01±13,55	4,15±0,55
6	Kalsitli Dolomit	2,75±0,01	0,69±0,13	64,4±1,63	9,49±0,25	48,57±9,14	7,84±1,66
7	Mermer-1	2,71±0,01	0,65±0,05	48,58±1,79	6,13±1,16	43,66±9,90	4,37±0,53
8	Fonolit	2,20±0,01	9,67±0,05	57,74±2,15	6,26±0,29	69,11±4,76	5,96±0,51
9	Oniks	2,81±0,01	0,69±0,1	48,59±1,98	4,32±0,54	51,87±6,91	4,46±0,03
10	Andezit-2	2,33±0,01	9,90±0,34	38,8±2,09	5,70±0,33	65,42±3,03	6,98±0,42
11	Manyezit	2,46±0,28	8,64±6,08	57,54±2,13	12,86±2,03	142,07±58,37	12,75±2,63
12	Tüf	1,06±0,03	37,95±0,77	36,36±1,84	1,06±0,13	11,04±1,84	1,56±0,13
13	Granodiyorit	2,70±0,00	1,91±0,14	50,42±1,85	5,33±1,31	74,03±15,87	6,09±0,39
14	Serpantinit	2,73±0,02	0,74±0,16	45,72±1,38	5,91±0,53	94,72±23,44	8,76±1,64
15	Marn	2,27±0,05	14,16±1,55	42,35±2,37	3,71±0,88	50,62±20,94	3,74±0,59
16	Biyomikrit	2,70±0,00	0,67±0,49	34,01±2,56	3,54±0,60	45,66±6,83	6,54±1,46
17	Mermer-3	2,71±0,00	0,40±0,07	38,72±3,69	4,55±0,31	42,98±6,45	6,73±0,78
18	Mermer-2	2,71±0,05	1,98±1,26	47,47±2,05	5,64±0,41	45,68±8,92	5,88±0,74
19	Hematit	2,43±0,15	22,77±3,11	33,05±2,48	2,16±0,71	12,55±2,76	2,23±0,56
20	Kuvarsmuskovitşist	2,66±0,08	1,67±0,24	33,52±1,12	2,83±0,36	26,2±2,53	5,29±0,03

Çizelge 4.1’de görüldüğü üzere, kayaçların fiziko-mekanik test sonuçları yer almaktadır. Literatüre bakıldığında benzer kayaçlarda fiziko-mekanik test yapan araştırmacıların vermiş olduğu fiziko-mekanik sonuçlar benzerdir. Ayrıca bu tez çalışmasında yer alan aynı tür kayaçların (Mermer-1, Mermer-2, Mermer-3 ve Andezit-1, Andezit-2) fiziko-mekanik test sonuçları da birbirine benzerdir.

4.1.2. Çalışmada yer alan kayaçların aşındırıcılık deney sonuçları

Çalışmada yer alan kayaçların Böhme, Mikro Deval, Los Angeles ve Cerchar aşındırıcılık deney sonuçları sırasıyla Çizelge 4.2, 4.3, 4.4 ve 4.5’ te verilmiştir.

Çizelge 4. 2. Kayaç ve mineral numunelerinin böhme aşındırıcılık deneyi sonuçları

Kayaç Adı	Yoğunluk (gr/cm ³)	Toplam Kütle Kaybı (gr)			Ortalama Hacim Kaybı (cm ³ /50cm ²)	Ortalama Aşınma Direnci (cm)	Aşınma Yüzdesi (%)
		No: 1	No: 2	No:3			
Oniks	2,81	25,4	30,9	41,9	11,65	0,23	23,29
Kalsitli Dolomit	2,75	26,6	25,3	23,6	9,15	0,18	18,30
Bazalt	2,34	19,9	16,4	18,9	7,86	0,16	15,72
Traverten	2,57	28,3	39	37,7	13,62	0,27	27,23
Mermer-1	2,71	25,3	24,9	33,9	10,34	0,21	20,68
Fonolit	2,21	37,60	45,9	35	17,87	0,36	35,74
Tüf	1,06	46,90	35,50	38,7	25,91	0,52	51,82
Andezit-2	2,33	11,80	18,80	14,45	4,38	0,09	8,75
Serpantinit	2,73	21,70	25,80	22,84	5,80	0,12	11,59
Gabro	3,06	1,44	1,50	1,47	0,98	0,02	1,96
Granodiyorit	2,70	9,50	9,10	9,28	2,30	0,05	4,59
Andezit-1	2,51	10,8	7,9	8,2	2,48	0,05	4,96
Marn	2,27	32,7	25,6	28,71	8,56	0,17	17,12
Mermer-3	2,71	36	26,7	30,11	7,71	0,15	15,42
Manyezit	2,46	6,10	6,45	6,19	1,70	0,03	3,40
Biyomikrit	2,70	8,41	7,33	8,23	5,25	0,1	10,49
Mermer-2	2,71	5,5	5,02	5,39	3,51	0,07	7,01
Kurşun	3.93	4,68	3,54	3,98	2,74	0,05	5,47
Hematit	-	-	-	-	-	-	-
Kuvarsmuskovitşist	-	-	-	-	-	-	-

Çizelge 4.2 ‘de görüldüğü üzere en az aşınma kaybı gabro, granodiyorit, manyezit, Andezit-1 ve kurşun kayacında görülürken en çok aşınan kayaçlar tüf, fonolit ve traverten olmuştur. Hematit ve kuvarsmuskovitşist böhme aşınma deneyinde parçalandığı için teste tabii tutulamamıştır.

Çizelge 4. 3. Kayaç ve mineral numunelerinin Mikro Deval aşınma deney sonuçları

Kayaç Adı	Numune Miktarı (gr)	1,6 mm Elek Üzerinde Kalan Numune Miktarı (gr)		Aşınma Oranı (%)		Ortalama Aşınma Oranı (%)
		No:1	No:2	No:1	No:2	
Oniks	500	360,93	362,07	27,81	27,58	27,69
Kalsitli Dolomit	500	412,39	414,56	17,52	17,08	17,30
Mermer-1	500	332,43	334,21	33,51	33,15	33,33
Traverten	500	362,18	367,67	27,56	26,46	27,01
Gabro	500	422,27	424,21	15,54	15,15	15,34
Kurşun	500	263,69	277,55	47,26	44,49	45,87
Granodiyorit	500	319,8	330,18	36,04	33,99	35,01

Tüf	500	103,25	83,52	79,35	83,29	81,32
Serpantinit	500	423,06	423,09	15,38	15,38	15,38
Manyezit	500	467,27	467,9	6,54	6,42	6,48
Andezit-2	500	374,68	370,97	25,06	25,80	25,43
Marn	500	348,04	347,07	30,39	30,58	30,49
Biyomikrit	500	413,03	414,34	17,39	17,13	17,26
Mermer-3	500	311,97	304,53	37,60	39,09	38,34
Mermer-2	500	392,14	387,91	21,57	22,41	21,99
Andezit-1	500	417,72	415,26	16,45	16,94	16,69
Fonolit	500	346,40	345,12	30,72	30,97	30,84
Bazalt	500	449,48	451,19	10,10	9,76	9,93
Kuvarsmuskovitşist	500	195,42	197,58	60,92	60,49	60,70
Hematit	500	326,79	330	34,64	34	34,32

Çizelge 4.3' e bakıldığında mikro deval aşınma en çok kuvarsmukovitşist ve tüf kayacında gerçekleşirken en az aşınma kaybı manyezit ve bazalt kayacında görülmüştür.

Çizelge 4. 4. Kayaç ve mineral numunelerinin Los Angeles aşınma deney sonuçları

Kayaç Adı	Numune Miktarı (gr)	1,6 mm Elek Üzerinde Kalan Numune Miktarı (gr)		Aşınma Oranı (%)		Ortalama Aşınma Oranı (%)
		No:1	No:2	No:1	No:2	
Oniks	5000	3113,78	2994,84	37,72	40,10	38,91
Kalsitli Dolomit	5000	3543,97	3592,47	29,12	28,15	28,63
Mermer-1	5000	2548,98	2580,29	49,03	48,4	48,71
Traverten	5000	3360,04	3413,04	32,80	31,74	32,27
Gabro	5000	4173,6	4199,76	16,54	16,01	16,27
Kurşun	5000	1815,2	1816,4	63,70	63,68	63,69
Granodiyorit	5000	2495,47	2498,87	50,1	50,04	50,02
Serpantinit	5000	4069,52	4063,79	18,60	18,72	18,66
Manyezit	5000	3926,27	3928,41	21,47	21,43	21,45
Tüf	5000	2571,55	2570,78	48,56	48,58	48,57
Andezit-2	5000	3609,59	3611,74	27,80	27,76	27,78
Biyomikrit	5000	3591,40	3588,58	28,17	28,22	28,20
Mermer-3	5000	1895,64	1897,44	62,08	62,05	62,06
Marn	5000	3541,45	3539,74	29,17	29,20	29,19
Mermer-2	5000	3881,94	3878,05	22,38	22,43	22,40
Bazalt	5000	3091,74	3089,15	38,16	38,21	38,19
Fonolit	5000	3866,45	3863,84	22,67	22,72	22,69
Andezit-1	5000	3908,28	3956,32	21,83	20,87	21,35
Kuvarsmuskovitşist	5000	2417,86	2384,7	51,64	52,30	51,97
Hematit	5000	2297,85	2299,51	54,04	54,01	54,02

Çizelge 4.4' e bakıldığında Los Angeles aşınma dayanımı yüksek olan kayalar gabro, serpantinit, andezit-1 ve marn kayaları olurken Los Angeles aşınma dayanımı düşük olan kayalar kurşun, granodiyorit, mermer-3, kuvarsmuskovitşist ve tuf olmaktadır.

Çizelge 4. 5. Kayaç ve minerallerin Cerchar aşınma sonuçları ve sınıflandırılması (ASTM,2010)

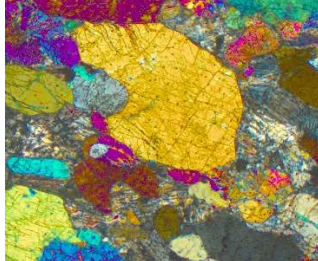
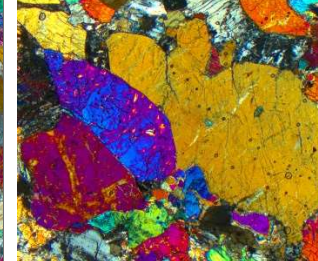
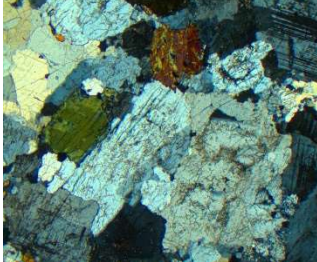
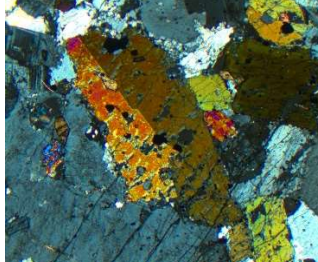
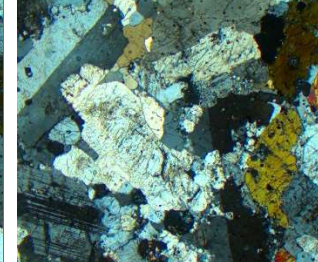
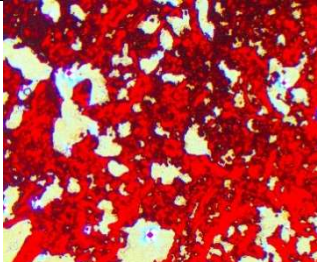
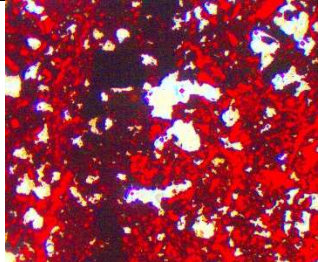
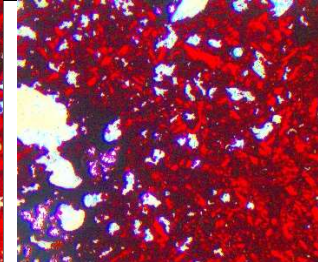
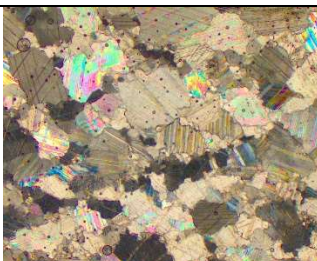
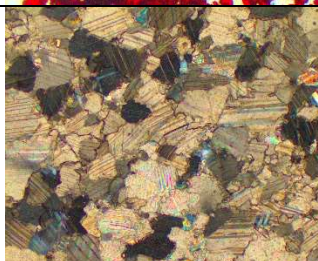
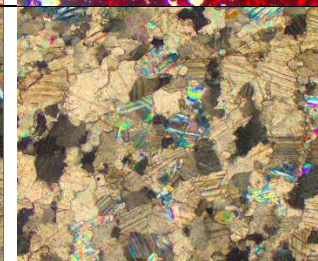
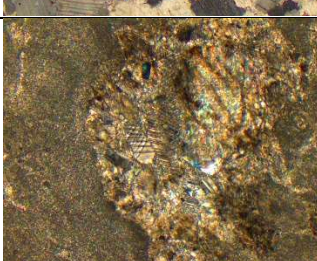
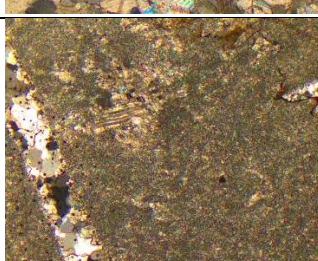
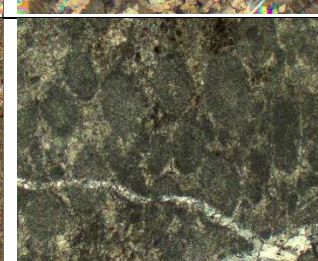
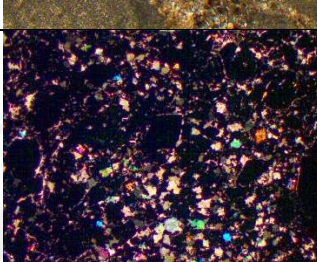
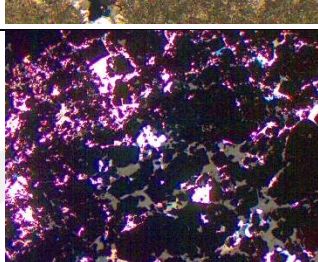
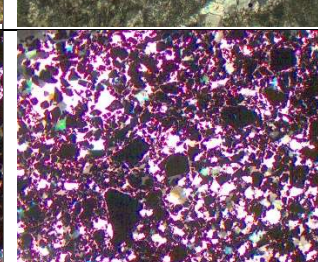
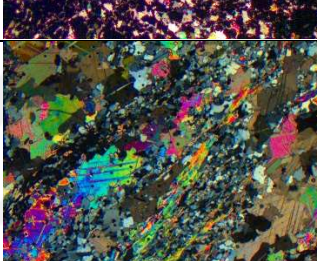
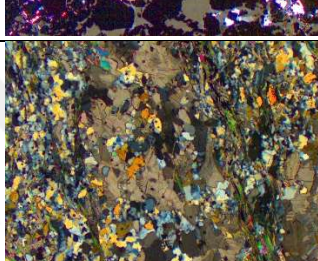
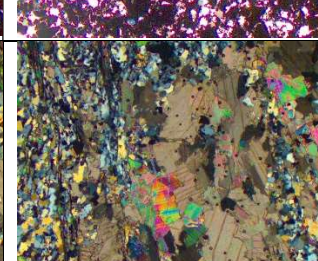
Kayaç Adı	CAI	Sınıflandırması
Oniks	2,2	Yüksek aşındırıcı
Kalsitli Dolomit	1,92	Orta aşındırıcı
Mermer-1	1,25	Orta aşındırıcı
Traverten	1,25	Orta aşındırıcı
Gabro	4,12	Çok yüksek aşındırıcı
Kurşun	2,56	Yüksek aşındırıcı
Granodiyorit	4,68	Çok yüksek aşındırıcı
Serpantinit	2,16	Yüksek aşındırıcı
Manyezit	3,1	Yüksek aşındırıcı
Tuf	0,24	Çok düşük aşındırıcı
Andezit-2	3,16	Yüksek aşındırıcı
Biyomikrit	1,9	Orta aşındırıcı
Mermer-3	2,225	Yüksek aşındırıcı
Marn	1,94	Orta aşındırıcı
Mermer-2	1,96	Orta aşındırıcı
Bazalt	3,28	Yüksek aşındırıcı
Fonolit	1,325	Orta aşındırıcı
Andezit-1	3,66	Yüksek aşındırıcı
Kuvarsmuskovitşist	2,275	Yüksek aşındırıcı
Hematit	3,345	Yüksek aşındırıcı

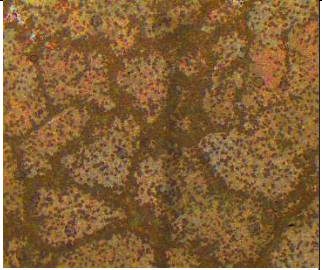
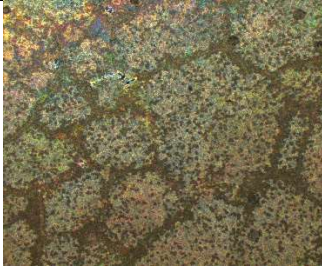
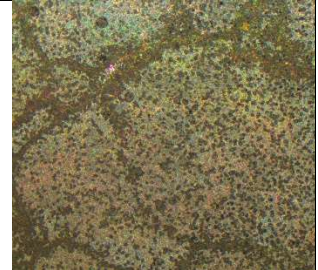
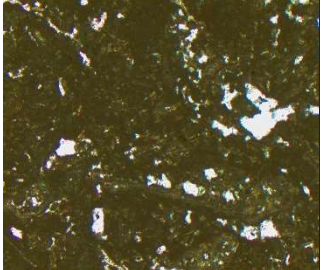
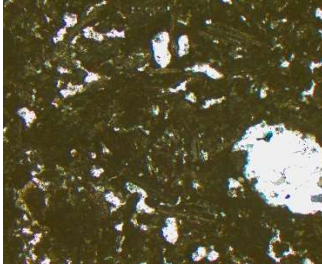
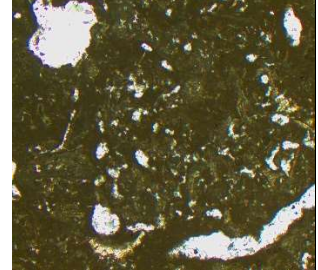
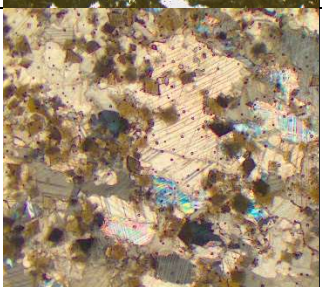
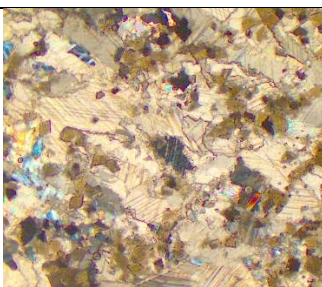
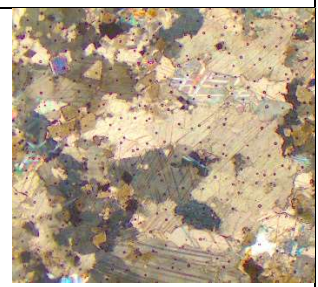
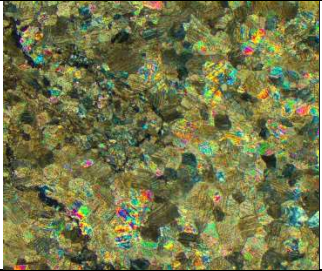
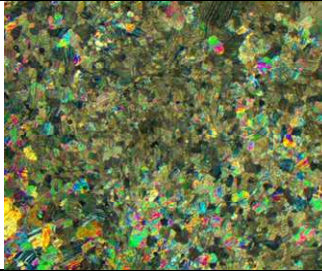
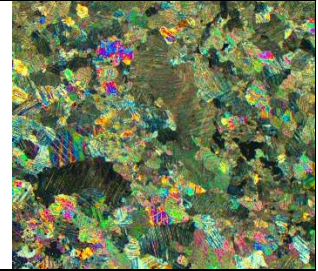
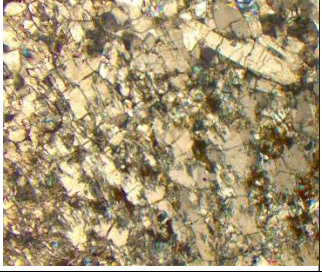
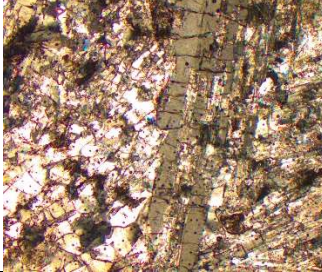
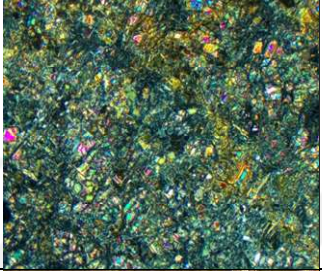
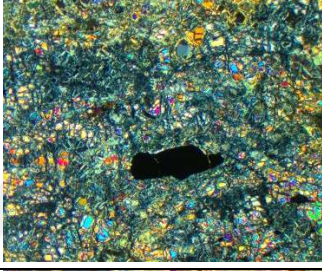
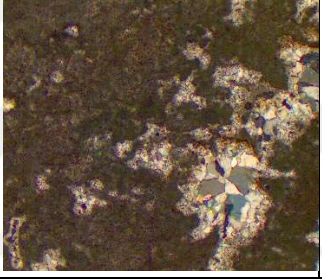
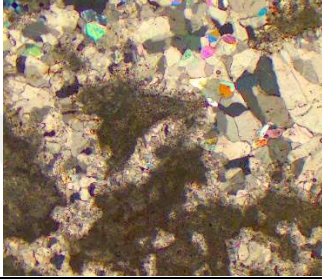
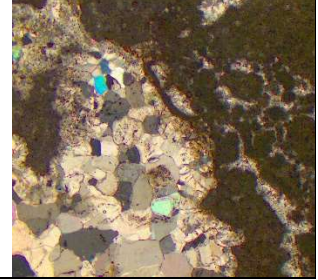
Çizelge 4.5'te tez çalışmasında yer alan kayaların Cerchar aşındırma dayanımına bakıldığında çok yüksek aşındırıcı olan kayalar granodiyorit ve gabro olurken en düşük aşındırıcı kayacın tuf olduğu görülmektedir. Diğer kayaların ise yüksek aşındırıcı ve orta aşındırıcı olduğu görülmektedir.

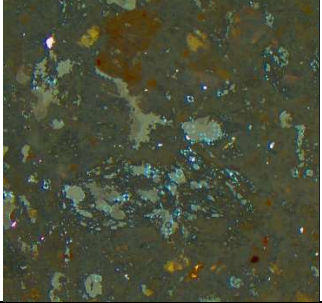
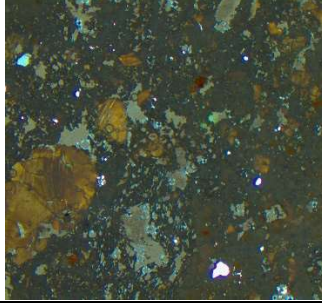
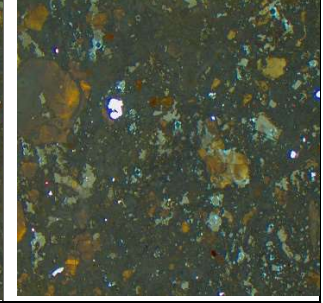
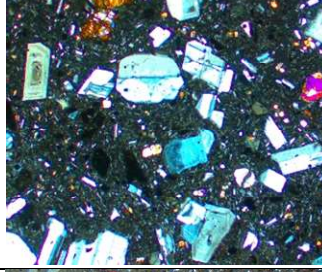
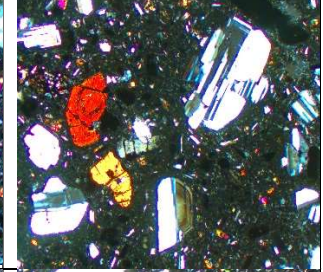
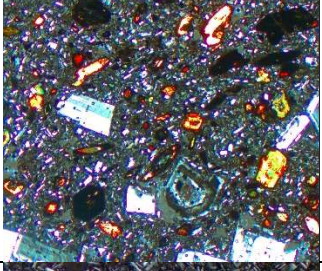
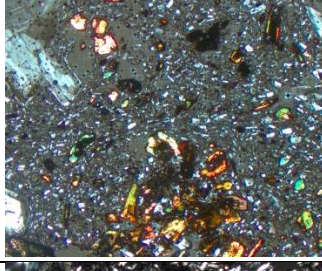
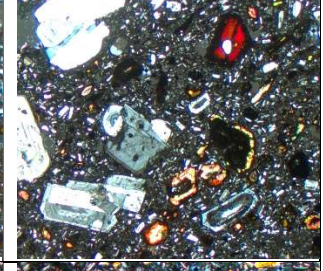
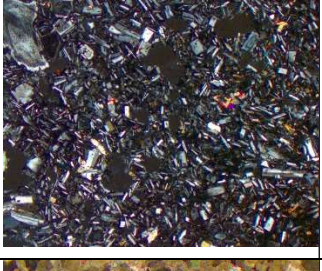
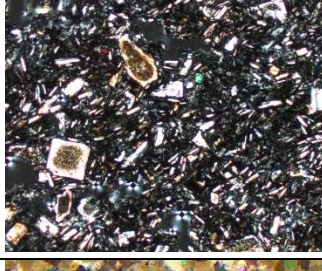
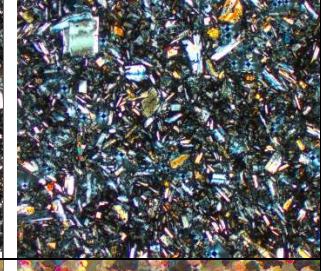
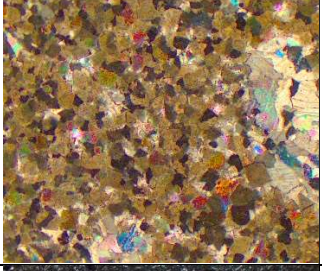
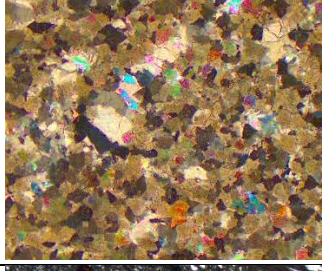
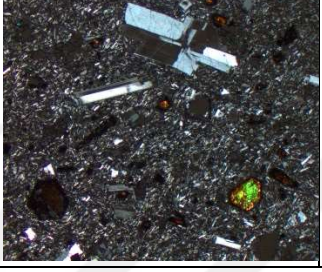
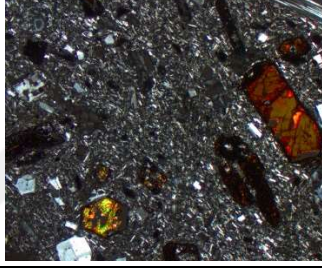
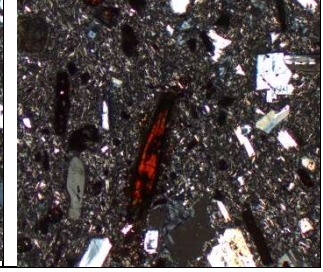
4.1.3. Çalışmada yer alan kayaların mineralojik ve petrografik özellikleri

Bu bölümde çalışmada yer alan kayaların mineralojik ve petrografik özelliklerini belirlemek için ince kesitleri MTA aracılığıyla alınmıştır. Alınan ince kesitlerin fotoğrafları ise Konya Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği bölümünde yer alan mikroskoba entegre edilmiş kamera yardımıyla çekilmiştir. Her bir kayaca ait ince kesitin 3 farklı yerinden görüntü elde edilmiştir. Kayaların ince kesit görüntüleri, kayaların doku katsayısını görüntü işleme yardımıyla bulmak için de kullanılmıştır. Temin edilen ince kesit görüntüleri Çizelge 4.6'da yer almaktadır.

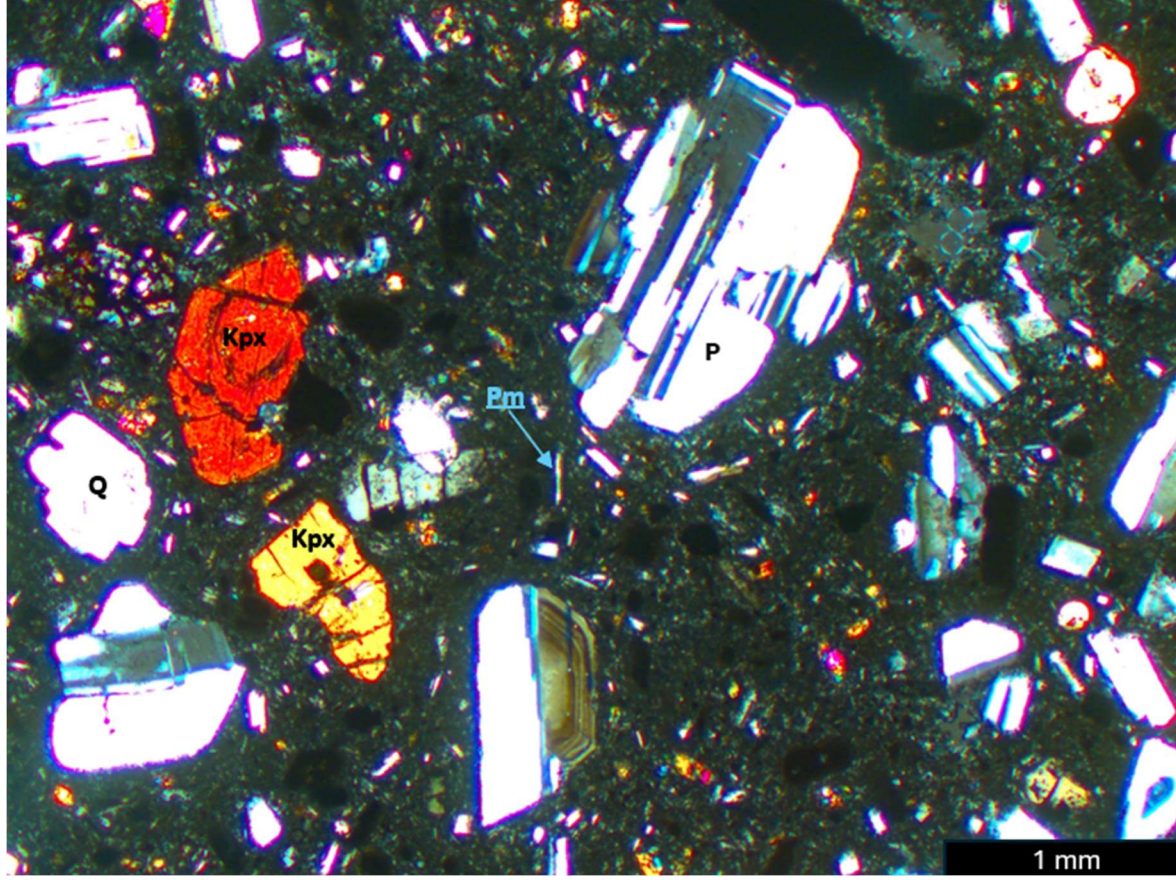
Çizelge 4. 6. Kayaç ve minerallerin ince kesit görüntüleri

Kayaç Adı	Fotoğraf-1	Fotoğraf-2	Fotoğraf-3
Gabro			
Granodiyorit			
Hematit			
Mermer-3			
Biyomikrit			
Kurşun			
Kuvarsmuskov itşist			

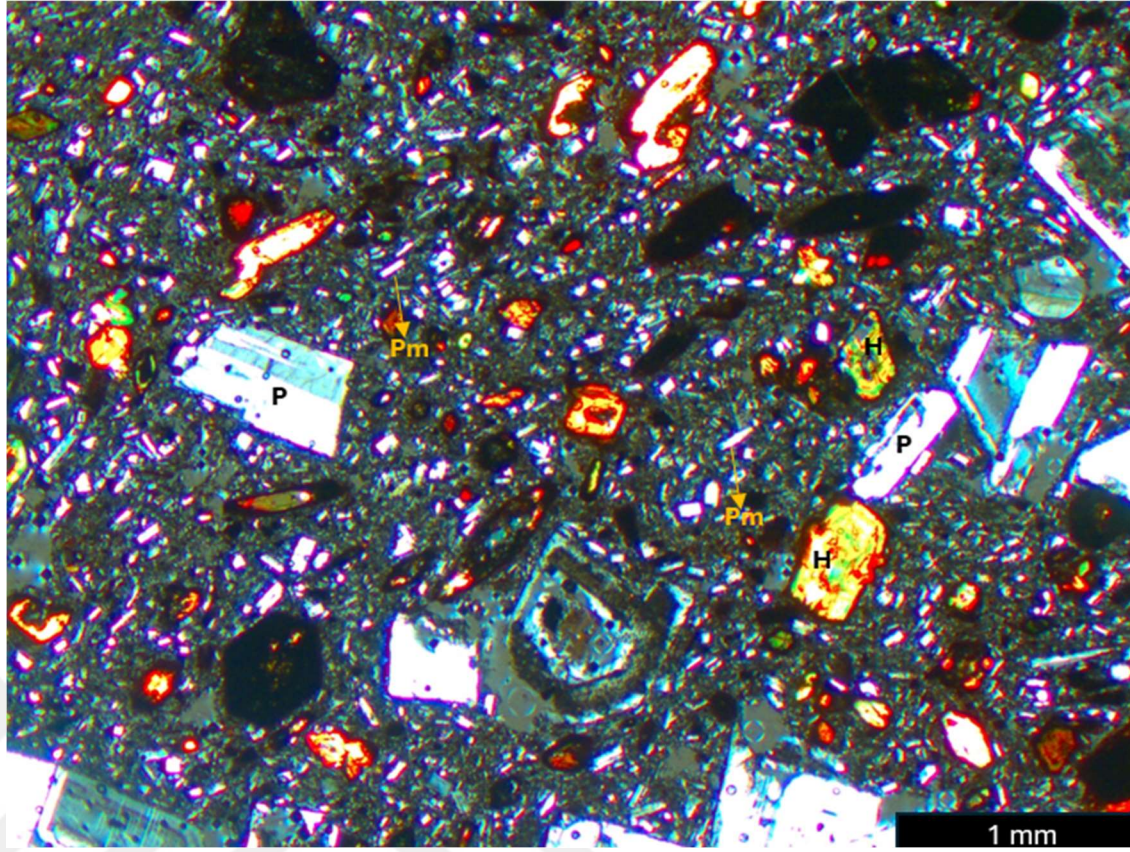
Manyezit			
Marn			
Mermer-1			
Mermer-2			
Oniks			
Serpantinit			
Traverten			

Tüf			
Andezit-1			
Andezit-2			
Bazalt			
Kalsitli Dolomit			
Fonolit			

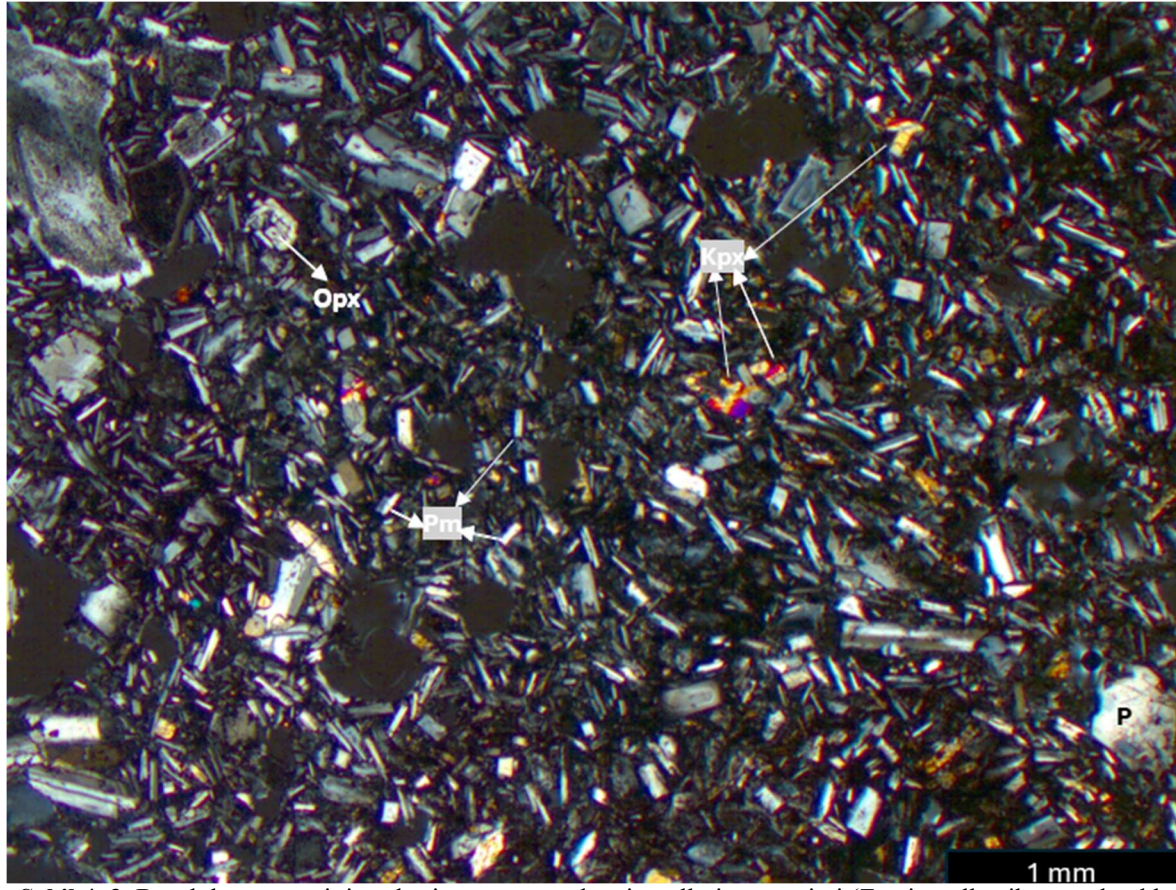
Kayaç doku görüntülerinde mineral tanımlamaları ise aşağıda verilen kaya doku görüntülerinde yer almaktadır.



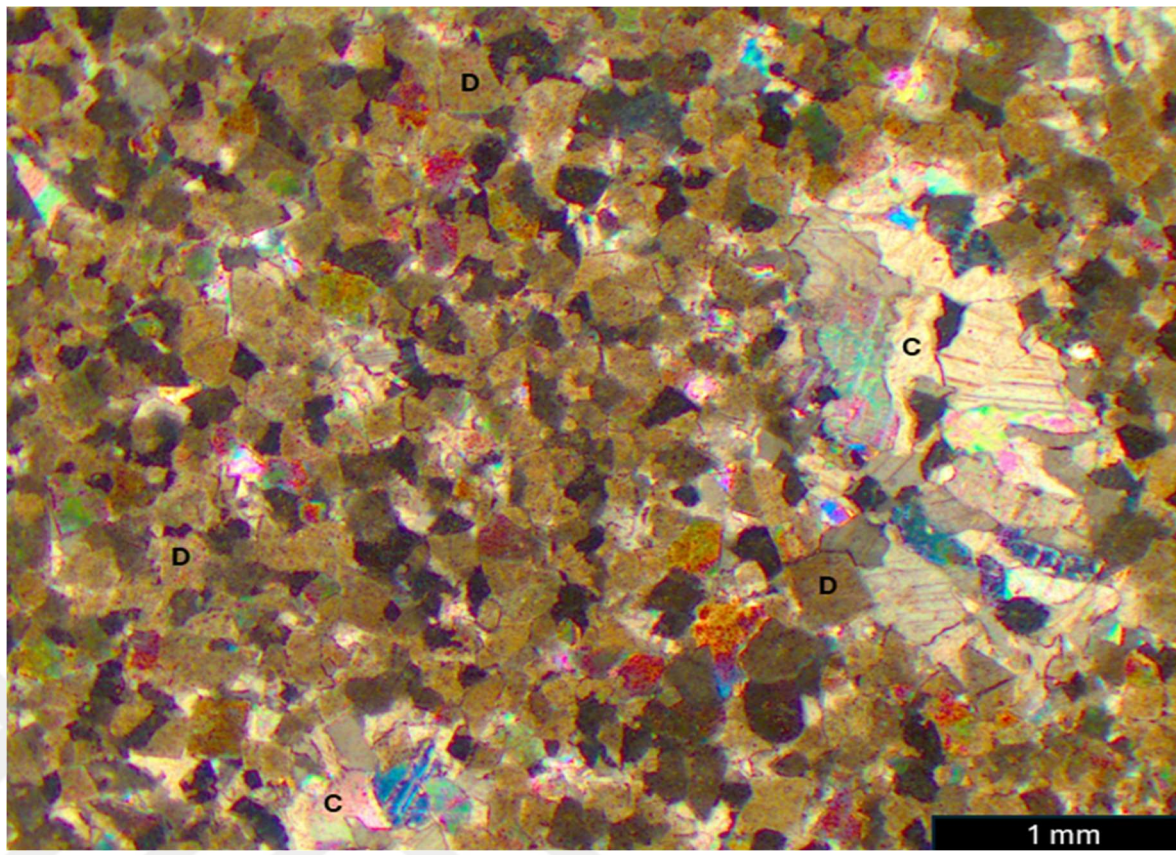
Şekil 4. 1. Andezit-1 kayacına ait ince kesit görüntüsünde minerallerin gösterimi (P: Plajiyoklaz, Pm: Plajiyoklaz mikrolitleri, Kpx: Klinoprosen, Q: Kuars)



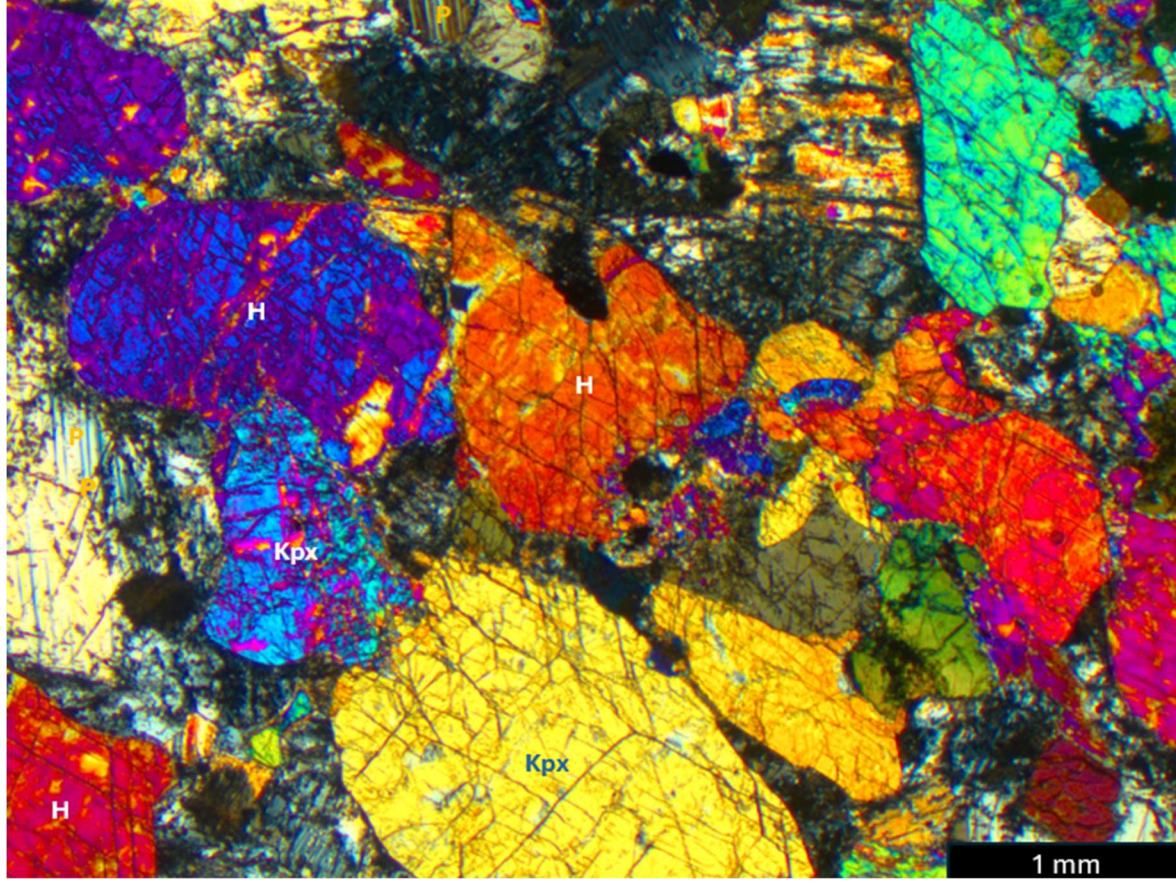
Şekil 4. 2. Andezit-2 kayacına ait ince kesit görüntüsünde minerallerin gösterimi (P: Plajiyoklaz, Pm: Plajiyoklaz mikrolitleri, H: Hornblent)



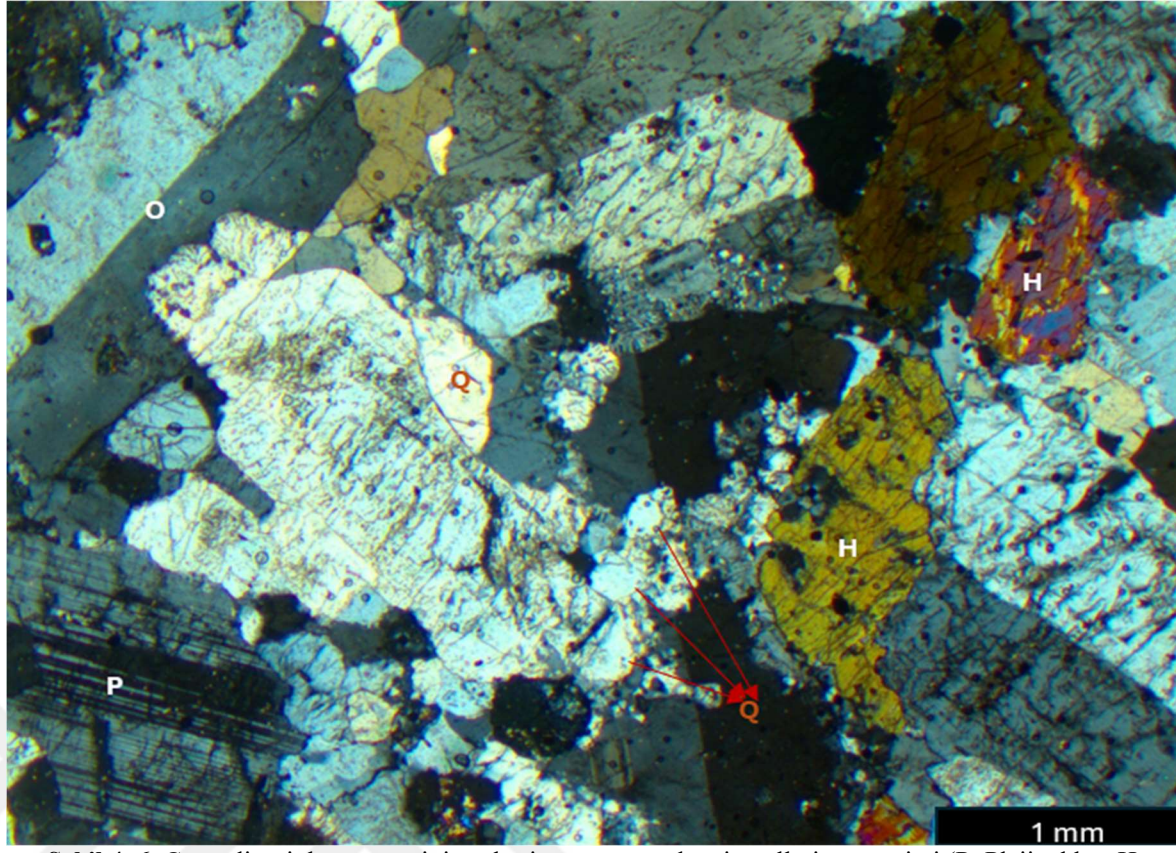
Şekil 4. 3. Bazalt kayacına ait ince kesit görüntüsünde minerallerin gösterimi (Zemin volkanik cam olmakla birlikte Pm: Plajiyoklaz mikrolitleri, Kpx: Klinoproksen, P: Plajiyoklaz, Opx: Ortoproksen)



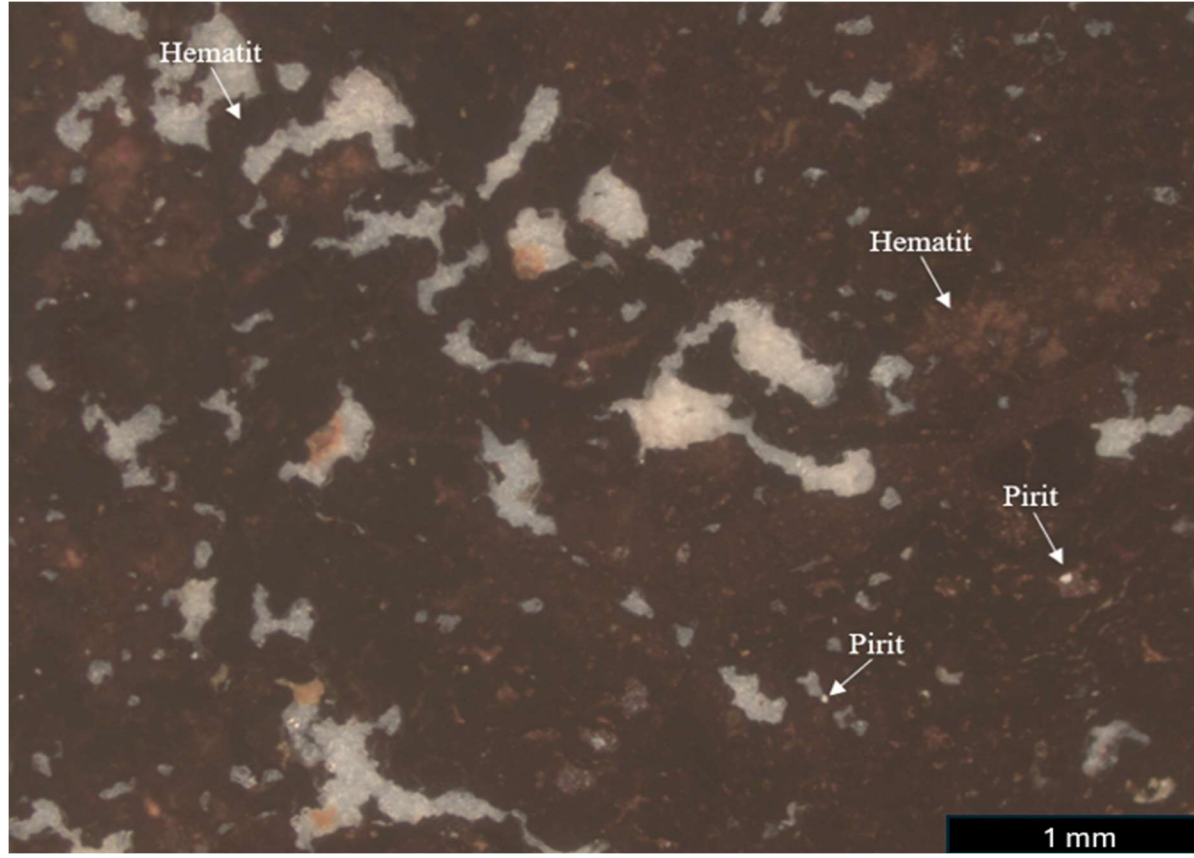
Şekil 4. 4. Kalsitli Dolomit kayacına ait ince kesit görüntüsünde minerallerin gösterimi (D: Dolomit, C: Kalsit)



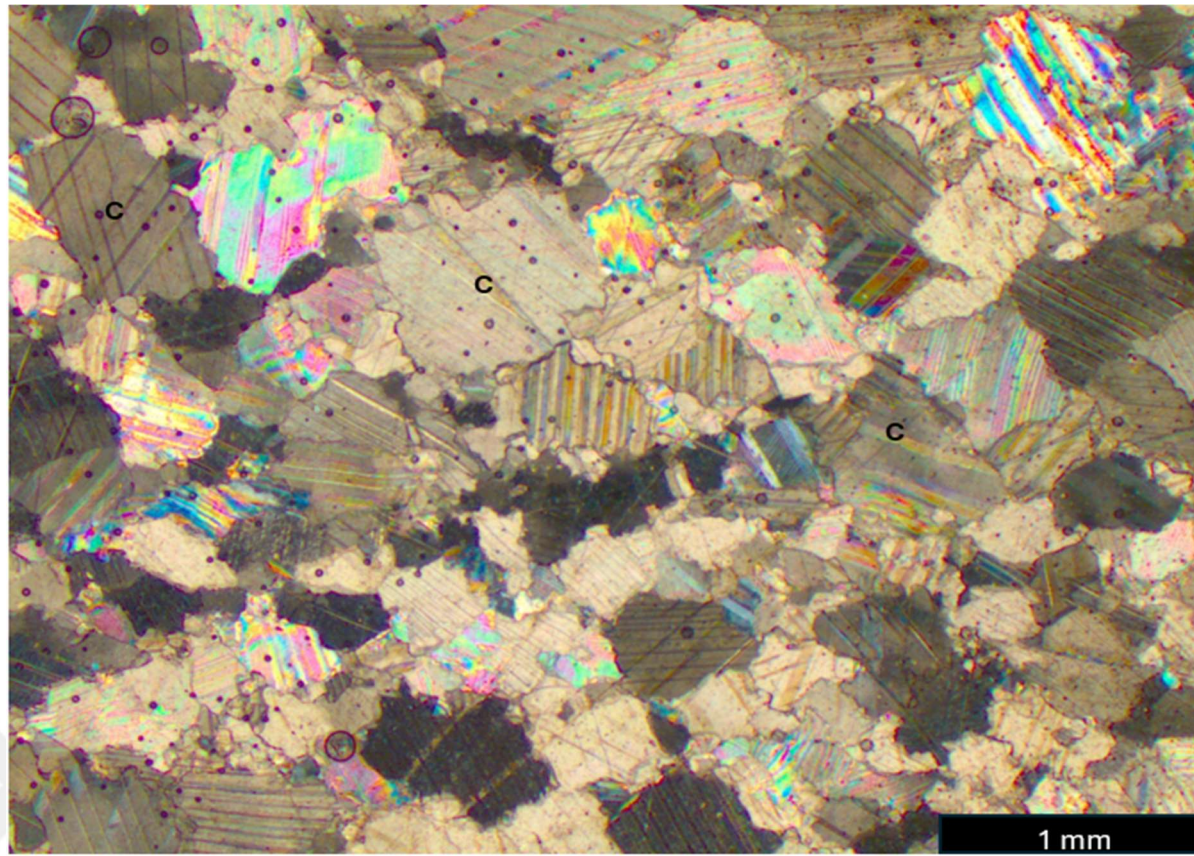
Şekil 4. 5. Gabro kayacına ait ince kesit görüntüsünde minerallerin gösterimi (H: Hornblent, Kpx: Klinoproksen)



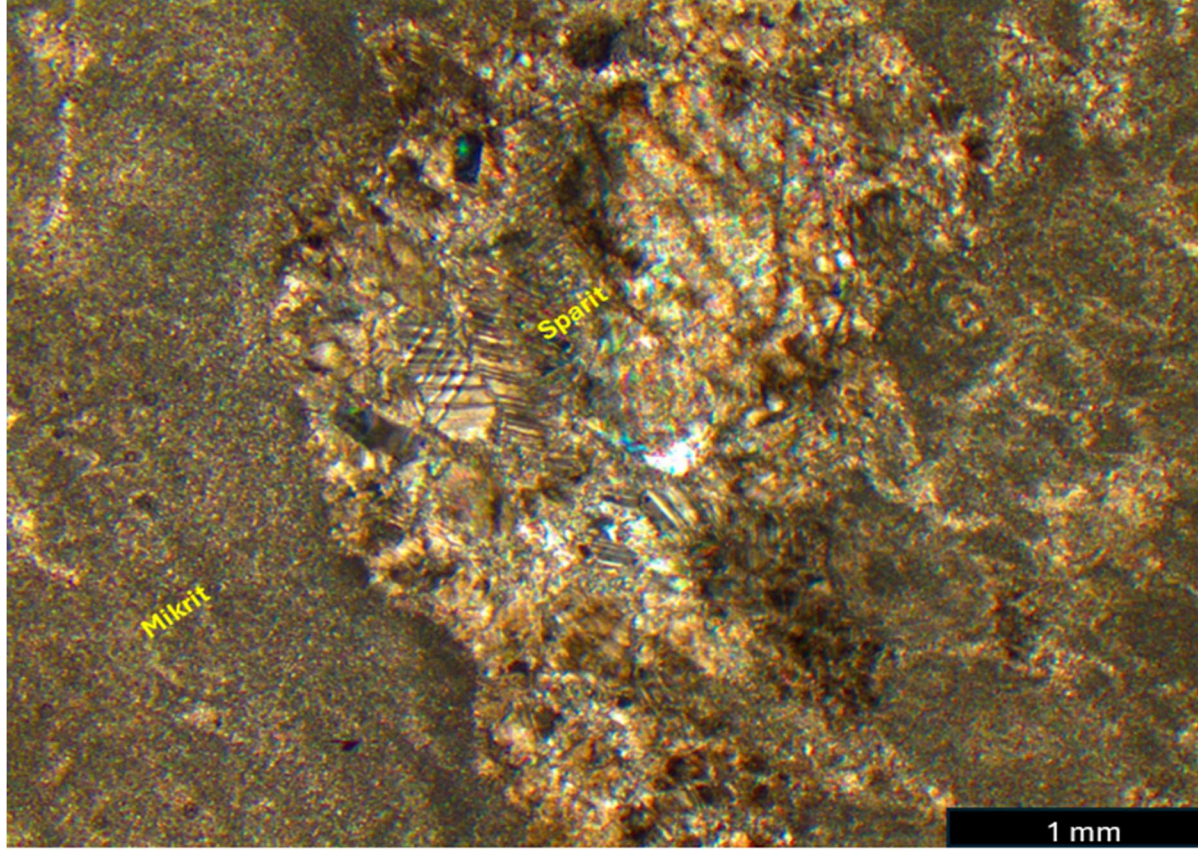
Şekil 4. 6. Granodiyorit kayacına ait ince kesit görüntüsünde minerallerin gösterimi (P: Plajiyoklaz, H: Hornblent, Q: Kuars, O: Ortoklas)



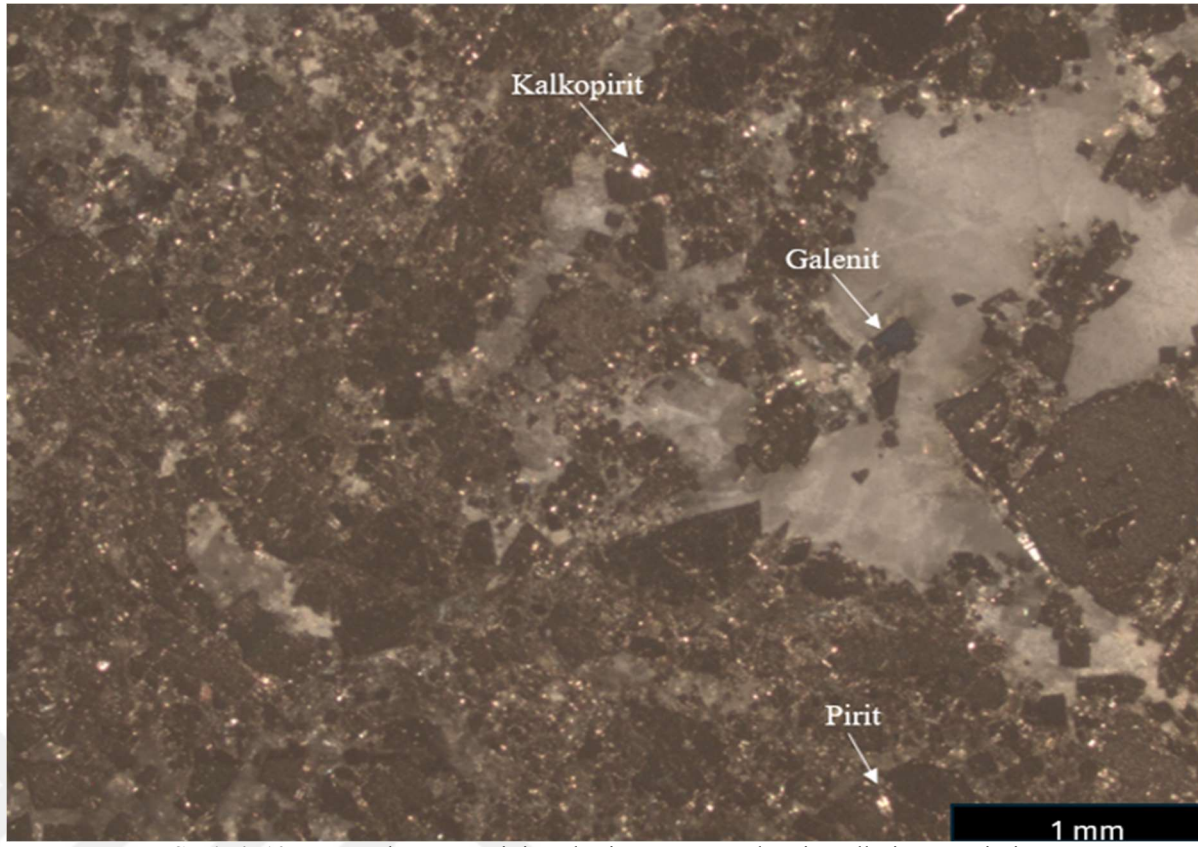
Şekil 4. 7. Hematit kayacına ait parlatılmış ince kesit görüntüsünde minerallerin gösterimi



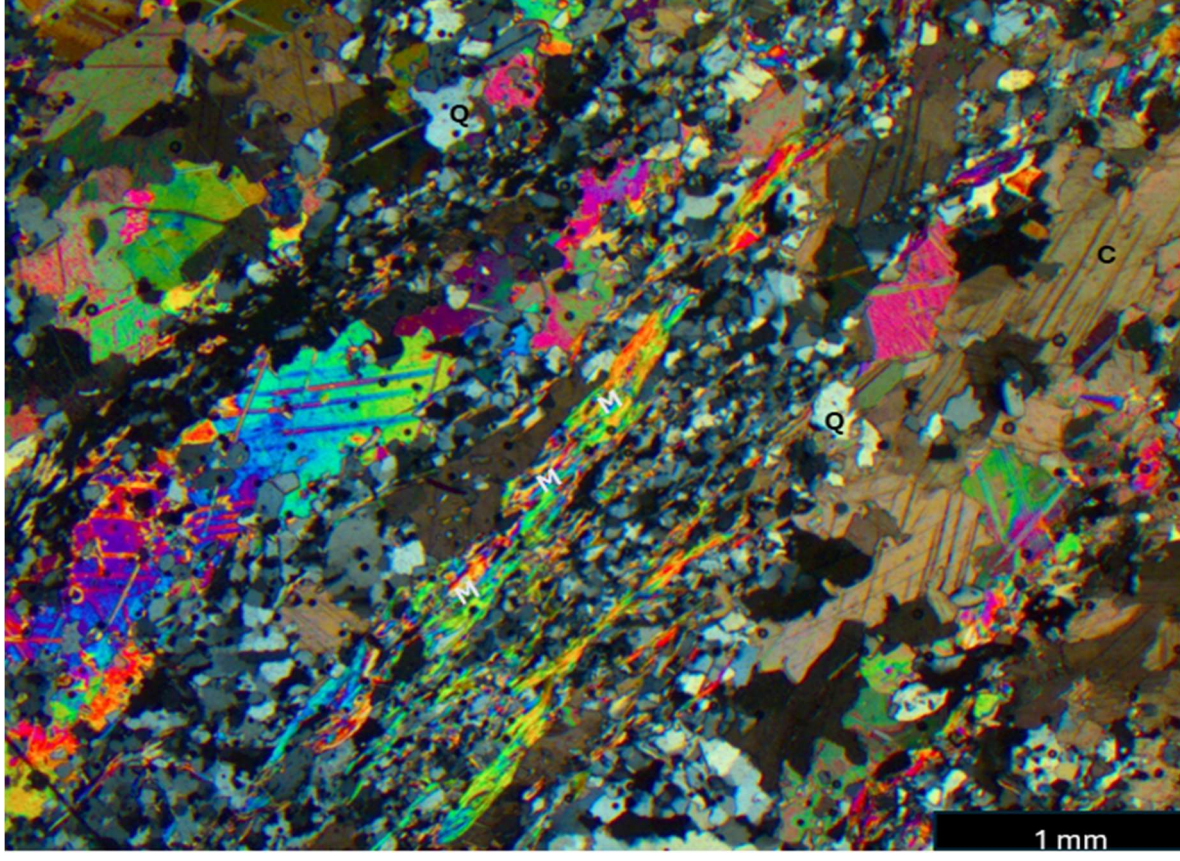
Şekil 4. 8. Mermer-3 kayacına ait ince kesit görüntüsünde minerallerin gösterimi (C: Kalsit)



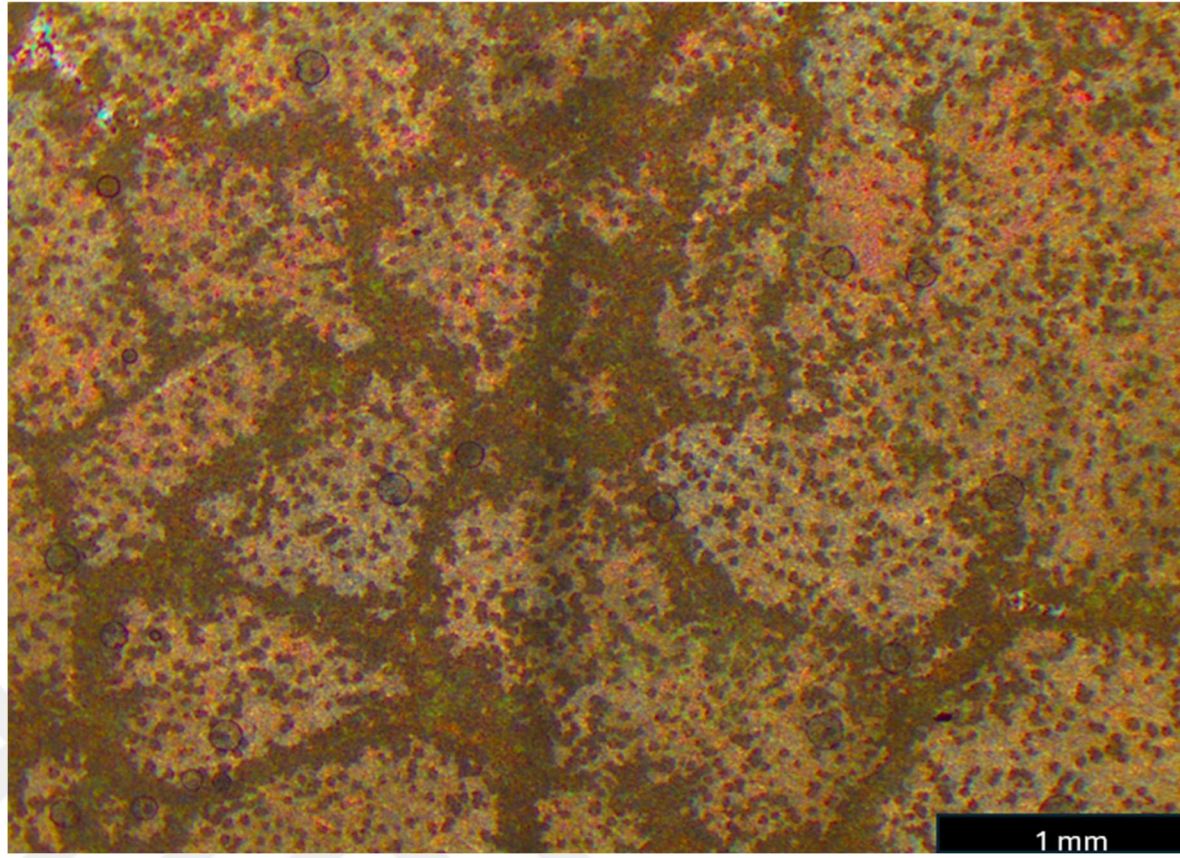
Şekil 4. 9. Biyomikrit kayacına ait ince kesit görüntüsünde minerallerin gösterimi



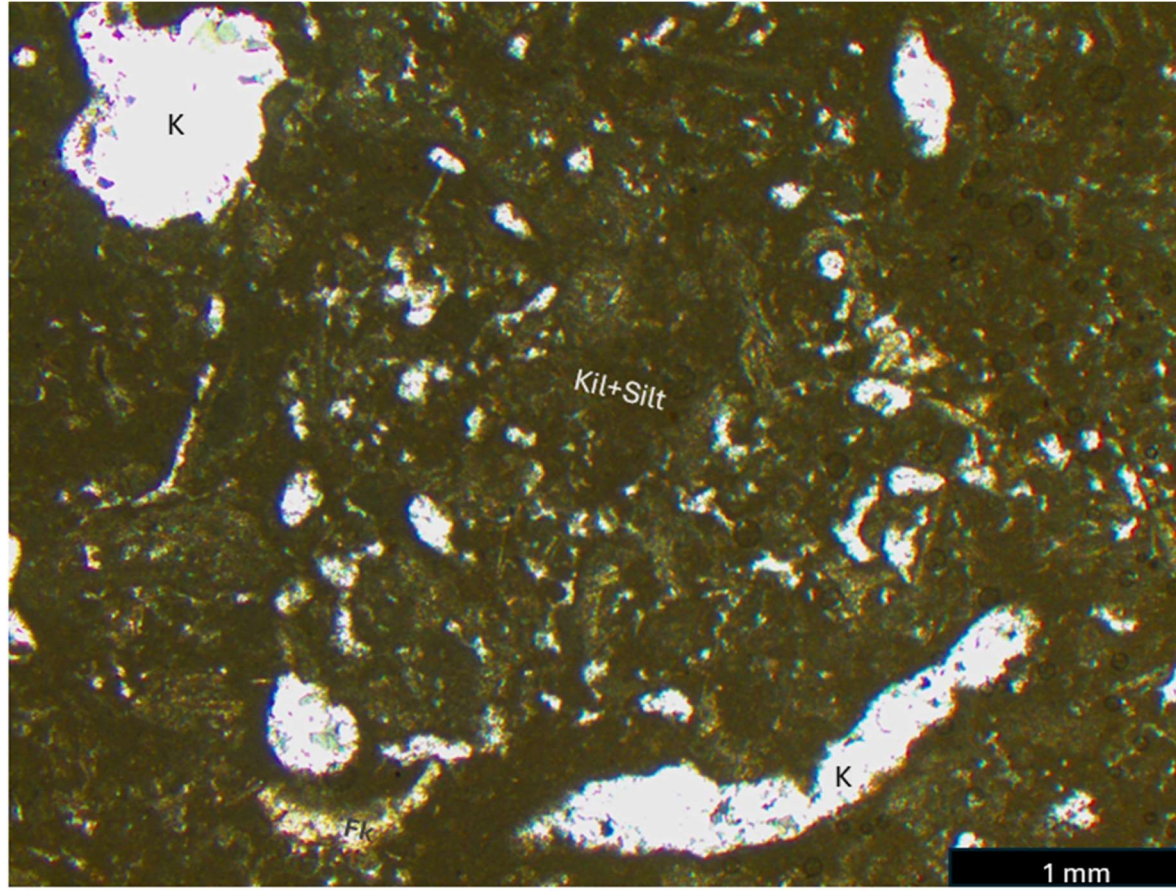
Şekil 4. 10. Kurşun kayacına ait ince kesit görüntüsünde minerallerin gösterimi



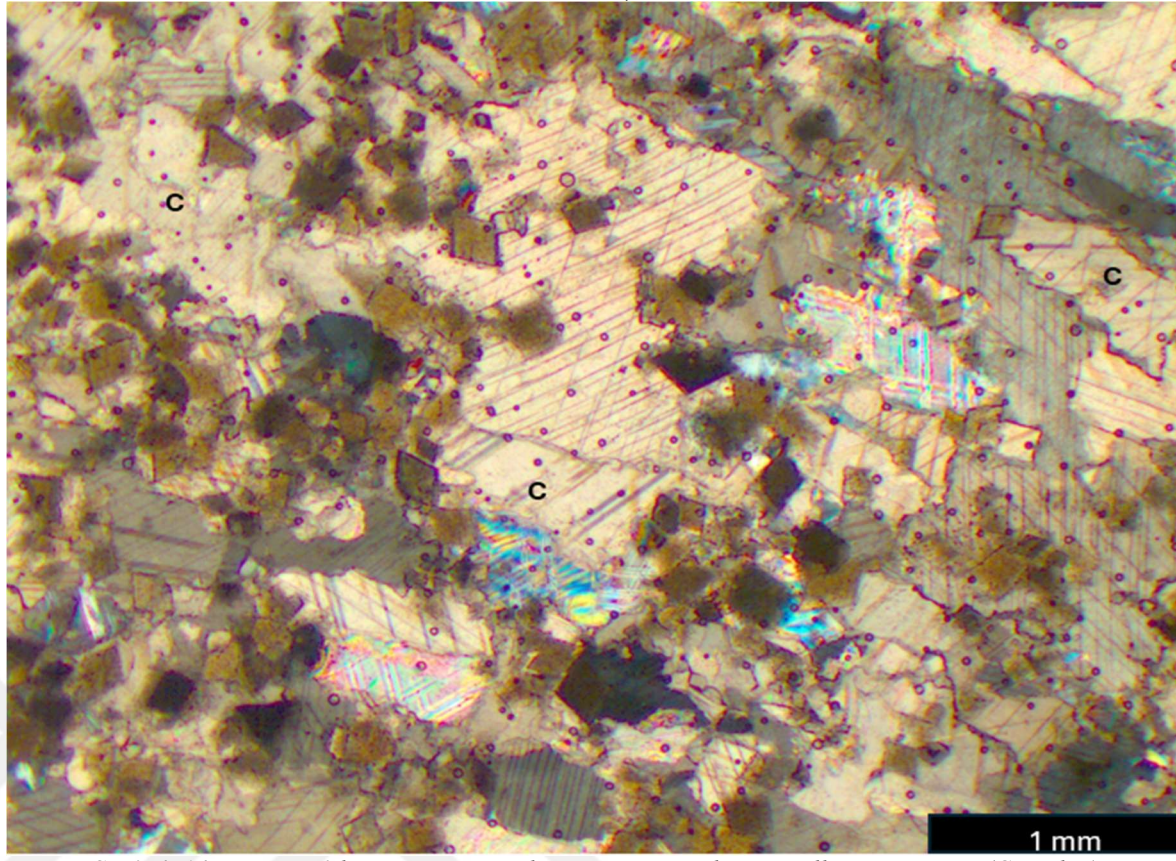
Şekil 4. 11. Kuvarsmuskovitşist kayacına ait ince kesit görüntüsünde minerallerin gösterimi (M: Muskovit, Q: Kuvars, C: Kalsit)



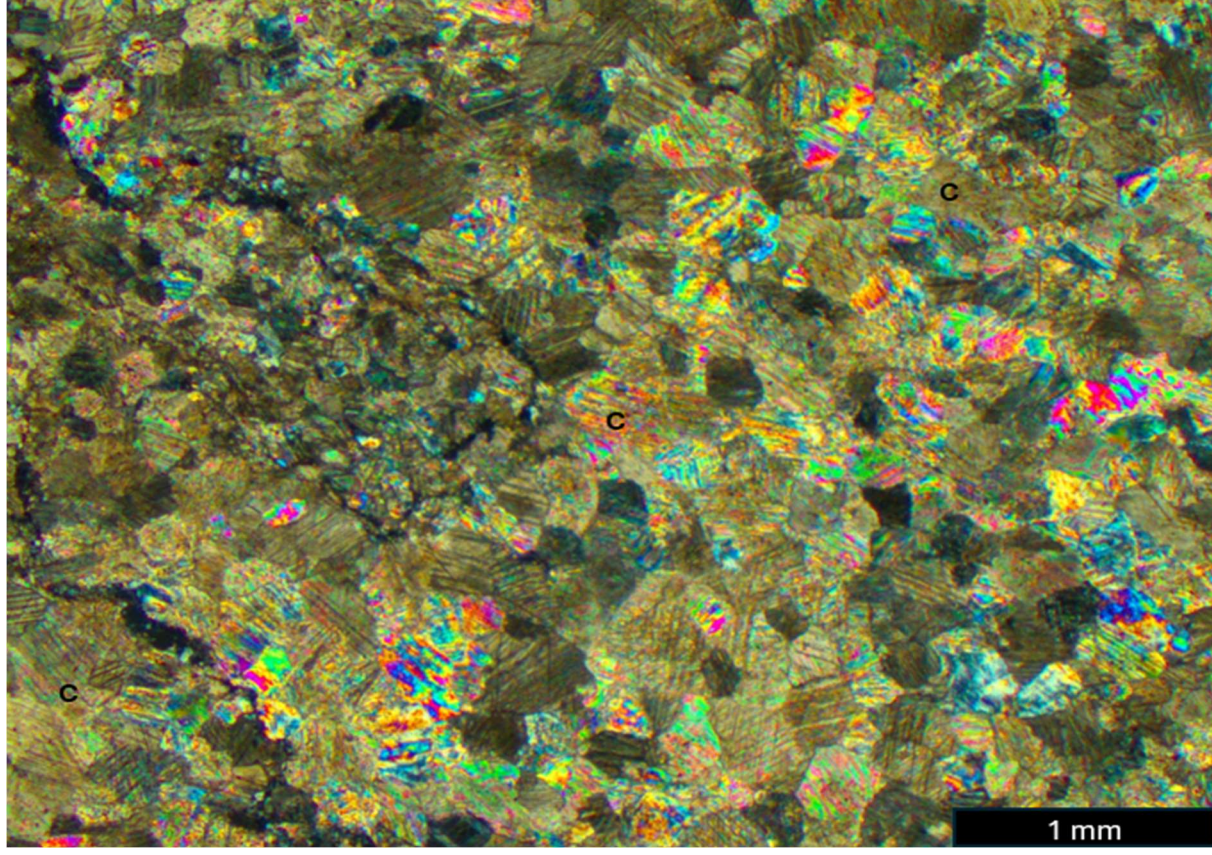
Şekil 4. 12. Manyezit kayacına ait ince kesit görüntüsünde minerallerin gösterimi



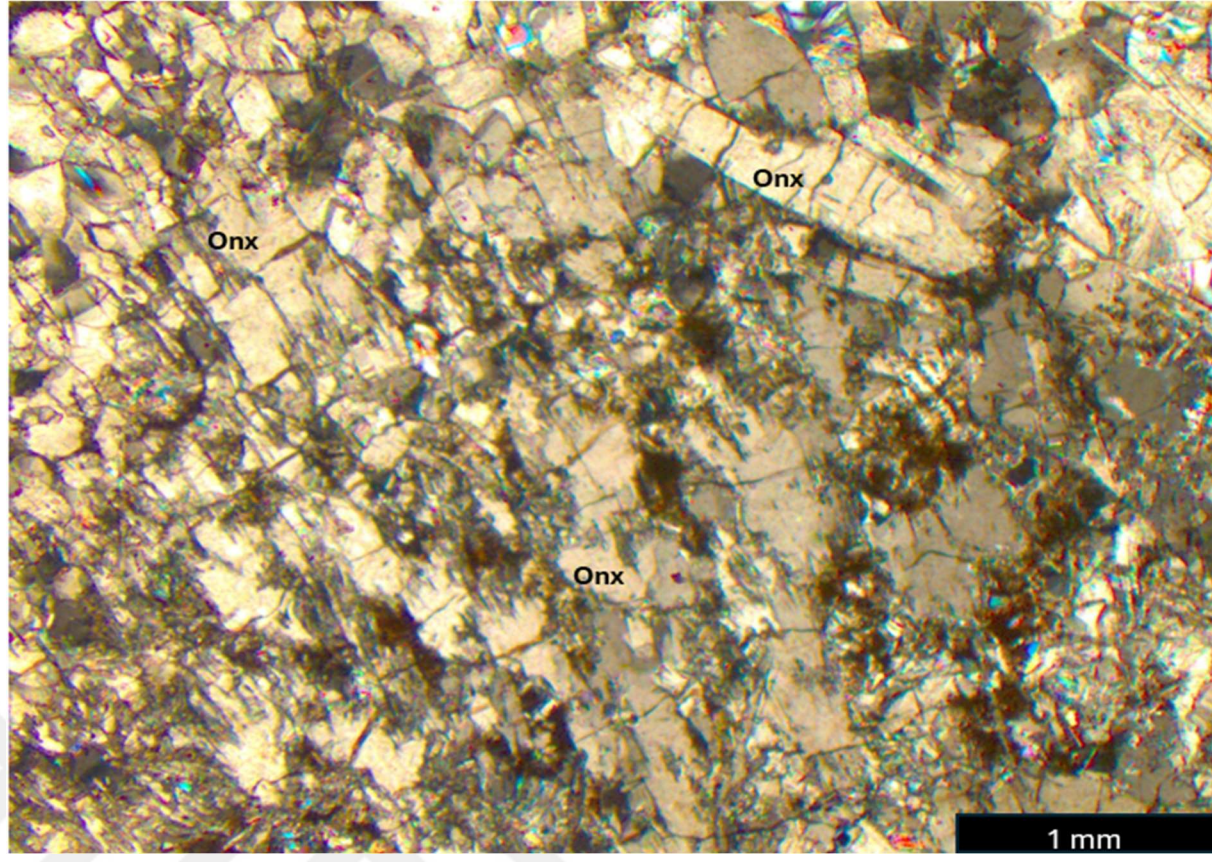
Şekil 4. 13. Marn kayacına ait ince kesit görüntüsünde minerallerin gösterimi (K: Karbonat, Fk: Fosil kavkısı)



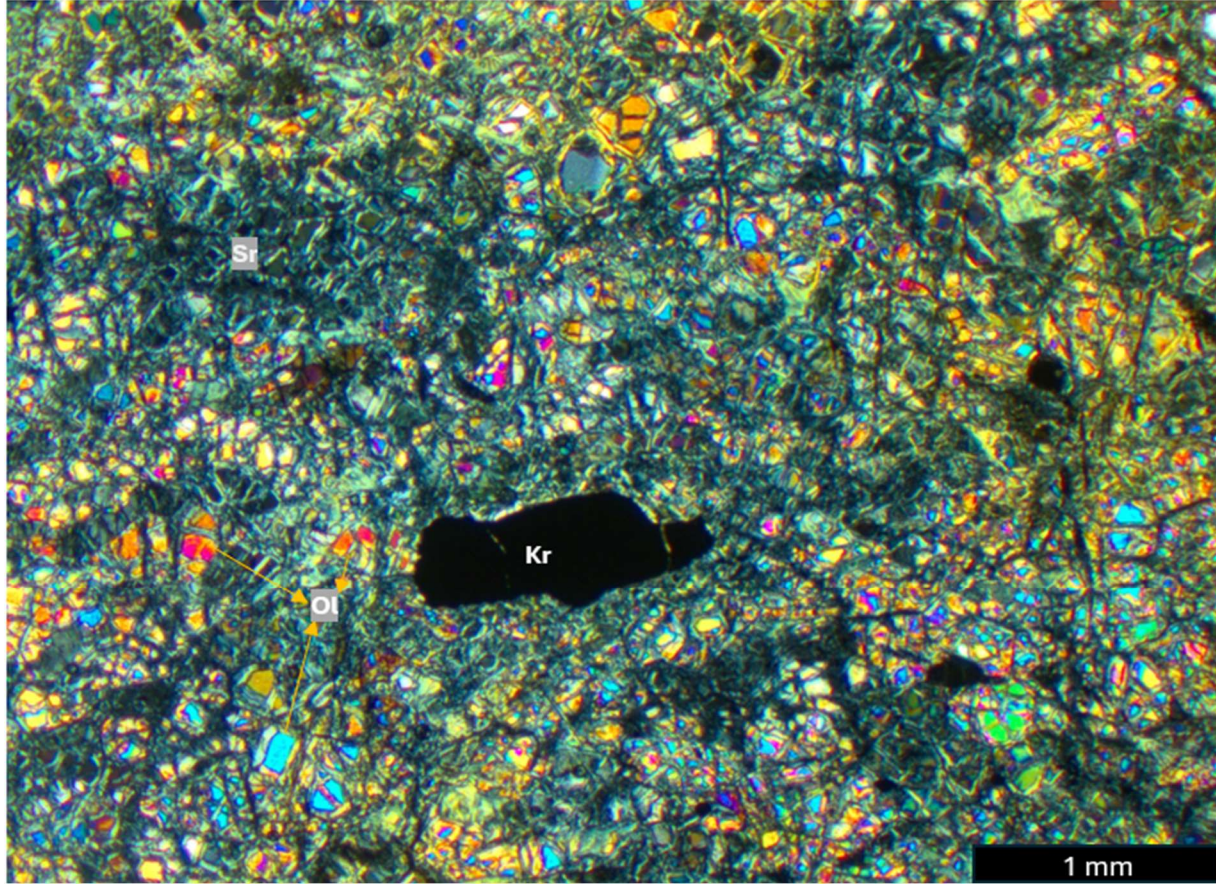
Şekil 4. 14. Mermer-1 kayacına ait ince kesit görüntüsünde minerallerin gösterimi (C: Kalsit)



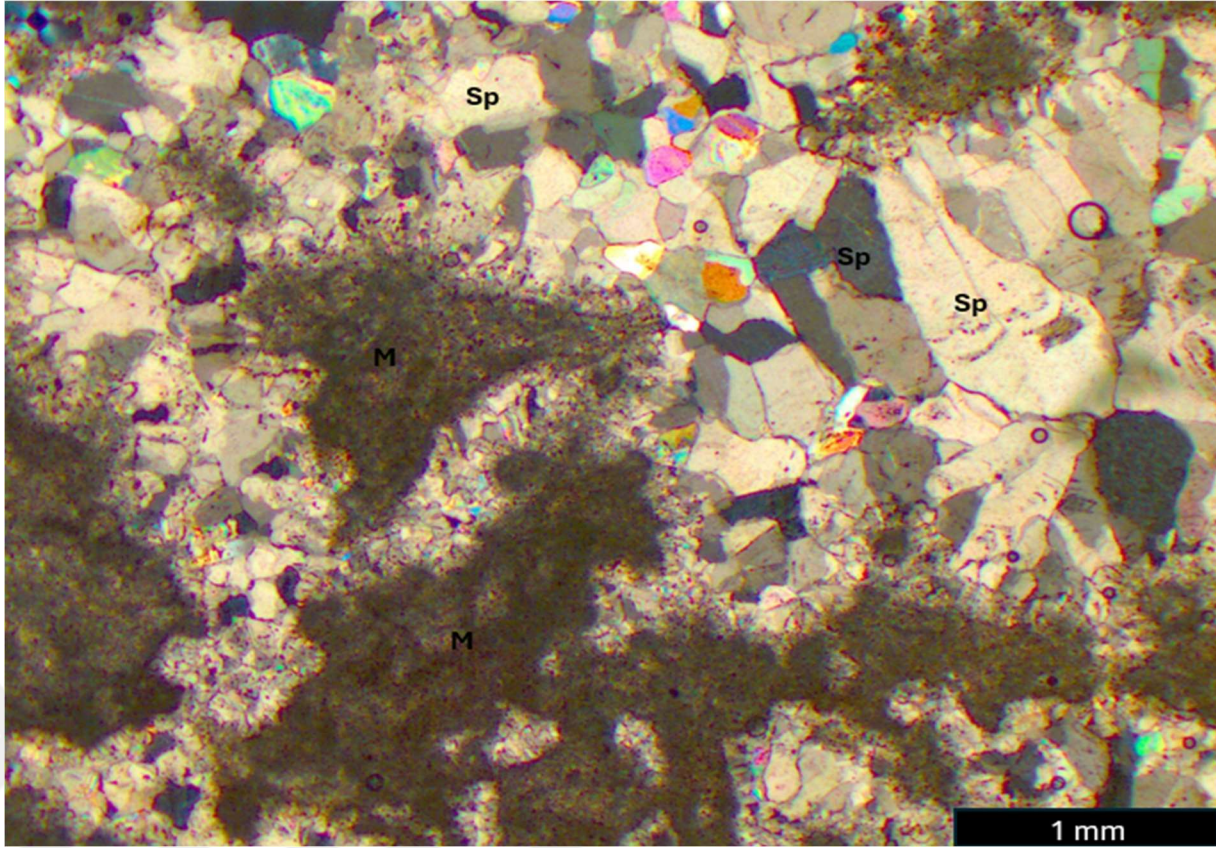
Şekil 4. 15. Mermer-2 kayacına ait ince kesit görüntüsünde minerallerin gösterimi (C: Kalsit)



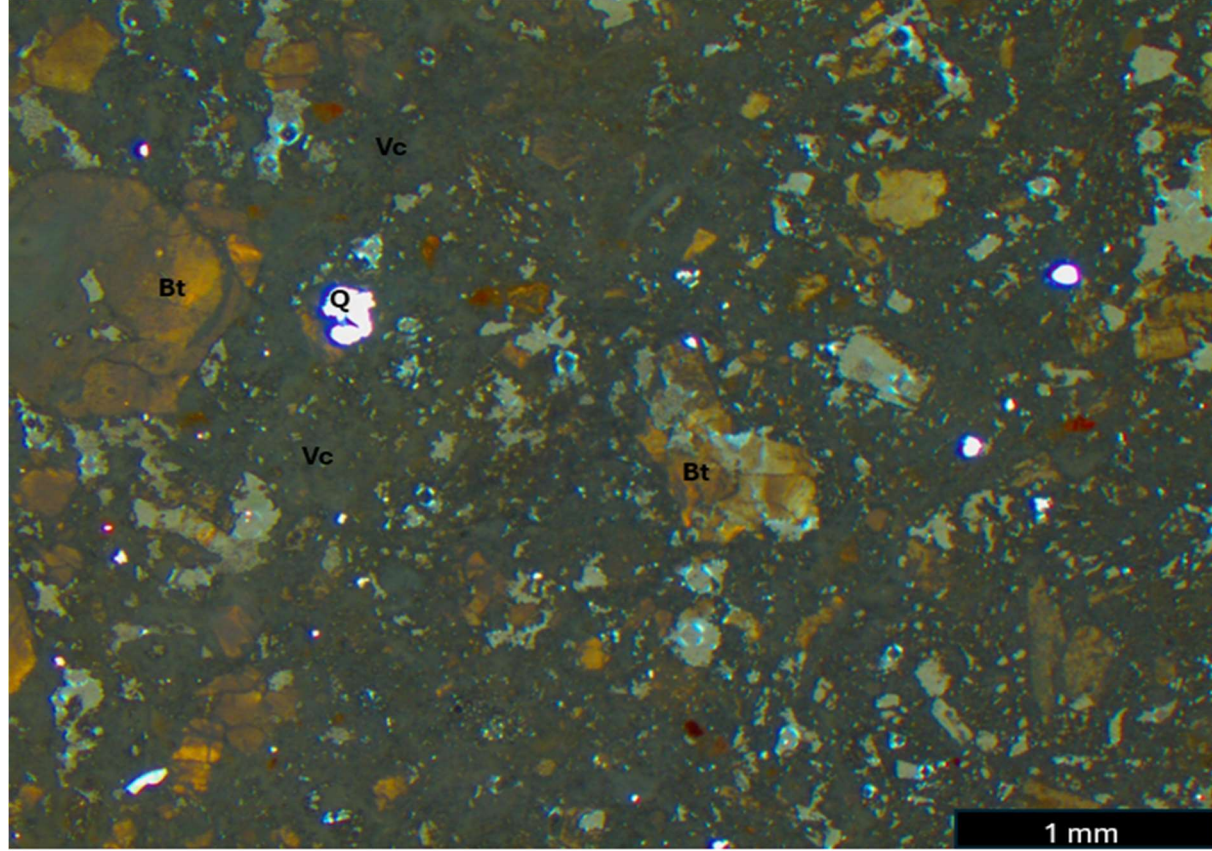
Şekil 4. 16. Oniks kayacına ait ince kesit görüntüsünde minerallerin gösterimi (Onx: Oniks)



Şekil 4. 17. Serpantinit kayacına ait ince kesit görüntüsünde minerallerin gösterimi (Ol: Olivin, Kr: Kromit, Sr: Serpantin)



Şekil 4. 17. Traverten kayacına ait ince kesit görüntüsünde minerallerin gösterimi (Sp: Sparit, M: Mikrit)



Şekil 4. 18. Tüf kayacına ait ince kesit görüntüsünde minerallerin gösterimi (Vc: Volkanik cam, Bt: Biyotit, Q: Kuvars)

İnce kesit görüntüleri dikkate alınarak mineralojik ve petrografik analiz gerçekleştirilmiştir. Kayaçlar oluşumlarına göre kökenlerine ayrılmış olup mineralojik bileşim, doku, yapı, kaya tanımlaması gibi özellikler Çizelge 4.7, 4.8, 4.9 ve 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4. 7. Magmatik kayaçların mineralojik ve petrografik analizi

Magmatik Kayaçlar								
Numune Numarası	23-H-4130 (Bazalt)	23-H-4131 (Andezit-1)	23-H-4128 (Serpantinit)	23-H-4126 (Andezit-2)	23-H-4120 (Gabro)	23-H-4121 (Granodiyorit)	23-H-4122 (Tüf)	23-H-4139 (Fonolit)
Renk	Leylak	Gri	Koyu yeşil	Bordo	Koyu yeşil	Gri	Sarı	Gri
Mineralojik Bileşim/Bileşenler	Plajioklas (%20), Klinoproksen (%32), Ortoproksen (%5), Olivin (%3), Gözenek (%9)	Plajioklas (%23), plajioklas mikrolitleri (%27), Klinoproksen (%21), Hornblend (%7), Opak mineral (%1), Volkanik cam (%20), Kuvars (%1)	Serpantin (%69), Olivin (%29), Kromit (%1), Plajioklas (%1)	Plajioklas mikrolitleri, (%30), Hornblend (%21), Biyotit (%4), Kuvars (%2), Volkanik cam (%25)	Klinoproksen (%10), Plajioklas (%42), Hornblend (%46), Apatit (%1)	Kuvars (%23), Plajioklas (%31), Ortoklas (%20), Hornblend (%25), Sfen (%1)	Kuvars (%3), biyotit (%4), kayaç parçası (%3), volkanik cam (%87), plajioklas (%3)	Plajioklas (%11), Sanidin (%20), Nefelin (%12), Alkali amfibol (%24), Hamur fazı (%33)
Doku	Holokristalin porfirik doku, Holokristalin doku	Hipokristalin doku, hipokristalin porfirik doku, Hiyalopolitik doku	Ağsal doku	Hpokrsitalin doku Hipokristalin porfirik doku Hiyalopolitik doku	Tenesel doku Holokristalin doku	Tanesel doku Holokristalin doku	Hiyalin doku Vitrofitik porfirik doku	Hpokrsitalin doku Hipokristalin porfirik doku

Yapı	Gözenekli ve afanitik dokulu	Yarı öz şekilli bazen öz şekilli.	Serpantinler lifsi şekilli ve krizotil bileşiminde. Olivin psödomorfları öz şekilsiz izleniyor.	Yarı öz şekilli	Genelde yarı öz şekilli nadiren öz şekilsiz	Öz şekilsiz ve yarı öz şekilli	-	Yarı öz şekilli, öz şekilli ve prizmatik
Alterasyon	-	Hornblendler opositeleşmiştir.	-	Hornblend ve biyotitler kenarlarından itibaren opositeleşmiştir.	-	-	-	-
Kayacın Tane Boyu	İnce taneli ve afanitik dokulu	İnce-orta taneli, makro olarak afanitik porfirik dokulu	İnce-orta taneli	İnce-orta taenli ve makro olarak afanitik porfirik dokulu	Orta-iri taneli	Orta taneli	İnce taneli (2-1/16 mm aralığında)	İnce-orta neli ve makro olarak afanitik porfirik dokulu
Kaya Tanımlaması	Bazalt (Streckeisen, 1967)	Andezit	Serpantinit Köken kayaç: Dunit	Andezit (Streckeisen, 1967)	Gabro (Streckeisen, 1967)	Granodiyorit (Streckeisen, 1967)	Tüf	Tefritik Fonolit

Çizelge 4. 8. Metamorfik kayaların mineralojik ve petrografik analizi

Metamorfik Kayalar			
Numune Numarası	23-H-4134 (Mermer-1)	23-H-4127 (Mermer-3)	23-H-4138 (Mermer-2)
Renk	Beyaz	Beyaz	Leylak
Mineralojik Bileşim/Bileşenler	Kalsit (%95), Dolomit (%5)	Kalsit (%100)	Kalsit (%100)
Doku	Granoblastik doku	Granoblastik doku	Granoblastik doku
Yapı	Genelde öz şekilsiz az bir miktar öz şekilli	Genelde öz şekilsiz çok azı girift özellikte.	Öz şekilsiz
Alterasyon	-	-	-
Kayacın Tane Boyu	Orta taneli	Orta taneli	Orta taneli
Kaya Tanımlaması	Mermer	Mermer (Winkler, 1979)	Mermer

Çizelge 4. 9. Sedimanter kayaların mineralojik ve petrografik analizi

Sedimanter Kayalar					
Numune Numarası	23-H-4137 (Kuarsmuskovitşist)	23-H-4133 (Kalsitli Dolomit)	23-H-4123 (Biyomikrit)	23-H-4135 (Traverten)	23-H-4125 (Marn)
Renk	Açık yeşil	Beyaz	Beyaz	Açık Sarı	Açık Sarı
Mineralojik Bileşim/Bileşenler	Kuars (%41), Muskovit (%35), Klorit (%14), Plajiolklas (%2), Kalsit (%6), Sfen (%1)	Dolomit (%73), Kalsit (%27)	Mikrit (%77), Sparit (%15), Fosil kavkısı (%8)	Mikritik kalsit (%51), Sparitik kalsit (%37), Gözenek (%12)	Karbonat (%52), Kil ve silt (%41), fosil kavkısı (%7)
Doku	Granolepidoblastik doku	Granoblastik doku	-	-	-
Yapı	Şistozite	Özşekilsiz	-	-	-
Alterasyon	-	-	-	-	-
Kayacın Tane Boyu	Orta taneli	Orta taneli	İnce taneli	İnce taneli	-
Kaya Tanımlaması	Kuars-muskovitşist	Kalsitli Dolomit	Biyomikrit (Folk, 1962)	Traverten	Marn

Çizelge 4. 10. Minerallerin mineralojik ve petrografik analizi

Mineraller			
Numune Numarası	23-H-4124 (Hematit)	23-H-4129 (Manyezit)	23-H-4136 (Oniks)
Renk	Kırmızı-Kahverengi	Beyaz	Bayaz-Kahverengi
Mineralojik Bileşim/Bileşenler	Hematit (%85), Spekülarit (%6), ikincil kuvars (%9)	Manyezit (%100)	Oniks (%100)
Sertlik	5,5-6,5	3,4-4,5	7
Yoğunluk	2,43	2,46	2,81
Dilinim	-	-	-
Tane Boyu	-	-	-
Çizgi Rengi	Kiraz kırmızısı		
Şekil ve Biçim			-
Mineral Adı	Hematit	Manyezit	Oniks

Çizelge 4.11’de ise kayaçların XRF sonuçları yer almaktadır. XRF analizleri MTA kurumu aracılığıyla yaptırılmıştır. XRF analizi Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 , MgO , SiO_2 içeriklerini kapsamaktadır.

Çizelge 4. 11. Kayaçların XRF sonuçları

Kayaç Adı	Al_2O_3	CaO	Fe_2O_3	MgO	SiO_2
Traverten	0,07	55,17	0,06	0,36	0,29
Bazalt	16,7	5,8	5,1	2,7	63,3
Gabro	16,1	14,5	6,8	12,5	45,9
Andezit-1	16,5	6,4	5,7	2,9	61,1
Kalsitli Dolomit	0,09	36,8	0,09	16,2	0,1
Mermer-1	0,02	52,68	0,02	2,59	0,11
Fonolit	16,3	2,6	3,7	0,9	66,3
Oniks	0,18	53,03	0,5	0,71	0,39
Andezit-2	17,3	5,8	6,1	2,7	60,2
Manyezit	0,09	0,4	0,1	45,6	3,5
Tüf	3	0,3	0,6	0,1	89,5
Granodiyorit	17,1	5,5	5	2,5	60,4
Serpantinit	0,5	0,6	8,2	39,9	38,4
Marn	0,12	54,72	0,08	0,4	0,48
Biyomikrit	0,05	55,78	0,03	0,3	0,21
Mermer-3	0,12	55,7	0,03	0,29	0,49
Mermer-2	1,26	51,06	0,56	1,98	2,92
Kuvarsmuskovitşist	7,9	14,7	2,9	0,9	57,4
Hematit	4,9	0,2	44,8	0,3	35,3
Kurşun	-	-	-	-	-

4.1.4. Görüntü işleme ve segmentasyonu sonucu DK değerlerinin hesaplanması

Başlık 3.4.3 ve Başlık 3.4.4'te anlatılan görüntü segmentasyonu ve görüntü işleme bilgileri dikkate alınarak çalışmada yer alan 20 adet kayaç doku görüntüsünün DK değerleri geliştirilen yazılım ile hesaplanmıştır. Kayaçların doku katsayısı değerlerini hesaplamak için Başlık 4.1.3'te ve Çizelge 4.6'da yer alan ince kesit fotoğrafları kullanılmıştır. Hesaplanan DK değerleri ve Eşitlik 1.'de bahsedilen diğer parametreler Çizelge 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4. 12. Çalışmada yer alan kayaç doku görüntülerinin DK değeri ve gerekli parametrelerin gösterimi

Görüntü ismi	AW	N_0	N_1	AR_1	AF_1	FF_0	TC	Ortalama TC
Gabro-1	0,91	75	5	2,94	0,2	0,62	1,4	1,29±0,1
Gabro-2	0,9	91	14	3,6	0,25	0,64	1,33	
Gabro-3	0,8	104	10	2,92	0,2	0,66	1,14	
Granodiyorit-1	0,9	130	7	2,59	0,27	0,63	1,38	1,32±0,04
Granodiyorit-2	0,88	131	4	2,3	0,4	0,65	1,32	
Granodiyorit-3	0,84	150	6	2,64	0,22	0,64	1,28	
Tüf-1	0,21	175	6	2,51	0,27	0,66	0,31	0,38±0,05
Tüf-2	0,29	186	2	2,16	0,2	0,68	0,42	
Tüf-3	0,3	224	7	2,38	0,23	0,69	0,42	
Biyomikrit-1	0,31	21	1	2,08	0	0,71	0,42	0,39±0,03
Biyomikrit-2	0,31	42	2	2,44	0,2	0,73	0,41	
Biyomikrit-3	0,25	60	3	2,66	0,2	0,69	0,34	
Marn-1	0,12	110	6	2,67	0,24	0,64	0,18	0,24±0,04
Marn-2	0,17	107	6	2,86	0,3	0,64	0,26	
Marn-3	0,19	118	3	2,61	0,4	0,68	0,28	
Andezit1-1	0,48	206	4	2,26	0,26	0,68	0,69	0,69±0,04
Andezit1-2	0,48	240	7	2,38	0,41	0,74	0,64	
Andezit1-3	0,54	232	2	2,3	0,2	0,71	0,76	
Andezit2-1	0,39	233	14	2,89	0,23	0,73	0,51	0,53±0,13
Andezit2-2	0,29	234	20	2,43	0,26	0,72	0,38	
Andezit2-3	0,52	245	14	2,54	0,22	0,71	0,7	
Mermer1-1	0,49	197	10	2,91	0,22	0,72	0,67	0,8±0,09
Mermer1-2	0,63	256	13	3,05	0,23	0,69	0,88	
Mermer1-3	0,63	185	10	2,47	0,21	0,7	0,86	
Mermer2-1	0,61	253	11	2,57	0,2	0,7	0,84	0,74±0,15

Mermer2-2	0,38	266	1	2,11	0	0,72	0,52	
Mermer2-3	0,59	220	6	2,35	0,2	0,68	0,86	
Mermer3-1	0,86	271	12	2,81	0,29	0,65	1,28	1,19±0,05
Mermer3-2	0,8	256	18	2,5	0,24	0,66	1,15	
Mermer3-3	0,8	300	14	2,55	0,27	0,67	1,16	
Serpantinit-1	0,14	193	1	2,4	0	0,75	0,19	0,22±0,02
Serpantinit-1	0,17	188	3	2,47	0,2	0,77	0,22	
Serpantinit-1	0,2	157	4	2,58	0,2	0,78	0,25	
Manyezit-1	*GÖRÜNTÜDE DOKU BULUNAMADI.							0,44
Manyezit-2	0.35	37	2	2.48	0.2	0.76	0.44	
Manyezit-3	*GÖRÜNTÜDE DOKU BULUNAMADI.							
Bazalt-1	0,28	318	22	2,55	0,22	0,67	0,4	0,39±0,02
Bazalt-2	0,28	284	13	2,45	0,2	0,66	0,41	
Bazalt-3	0,25	315	14	2,8	0,21	0,67	0,36	
Kurşun-1	0,3	176	3	2,34	0,2	0,71	0,42	0,51±0,08
Kurşun-2	0,39	153	9	2,64	0,31	0,6	0,62	
Kurşun-3	0,35	292	4	2,19	0,23	0,67	0,51	
Kalsitli Dolomit-1	0,65	370	5	2,51	0,2	0,69	0,93	0,98±0,04
Kalsitli Dolomit-2	0,72	379	9	2,37	0,2	0,69	1,02	
Kalsitli Dolomit-3	0,72	477	6	2,57	0,2	0,7	1,01	
Traverten-1	0,4	105	6	2,44	0,2	0,67	0,58	1,04±0,3
Traverten-2	0,85	264	7	2,38	0,2	0,68	1,22	
Traverten-3	0,95	131	7	2,85	0,21	0,7	1,32	
Oniks-1	0,42	222	3	2,57	0,26	0,68	0,61	0,61±0
Oniks-2	0,42	179	7	2,54	0,23	0,68	0,61	
Oniks-3	0,45	214	10	2,52	0,23	0,71	0,61	
Fonolit-1	0,33	170	10	2,73	0,26	0,71	0,45	0,48±0,04
Fonolit-2	0,38	163	5	2,91	0,25	0,7	0,54	
Fonolit-3	0,33	172	5	2,49	0,2	0,71	0,46	
Kuvarsmuskovitsist-1	0,49	299	7	2,31	0,2	0,68	0,62	0,69±0,06
Kuvarsmuskovitsist-1	0,47	269	1	2,33	0	0,68	0,68	
Kuvarsmuskovitsist-1	0,52	287	1	2,29	0	0,66	0,78	
Hematit-1	0,43	195	6	2,69	0,2	0,59	0,71	0,53±0,12
Hematit-2	0,3	231	8	2,46	0,37	0,63	0,47	
Hematit-3	0,27	277	1	2,09	0	0,67	0,41	

Kayaçların doku katsayısı değerlerinin nasıl ve ne derecede değiştiğini görmek için her bir ince kesitten 3 farklı görüntü elde edilmiştir. Çizelge 4.11’de görüldüğü üzere her bir kayaç için hesaplanan üç farklı doku katsayısı değerlerinin standart sapmaları oldukça düşüktür ama yine de bazı kayaç türlerindeki doku katsayısı değerleri (Hematit, traverten, mermer-2, mermer-1, andezit-1 ve andezit-2) arasında farklılıklar mevcuttur. Bu nedenle herhangi bir kayacın doku katsayısı değeri hesaplandığında ilgili kayaca ait ince kesitten birden fazla görüntü üzerinde hesaplama yapılması öngörülmektedir.

Görüntü işleme tekniği doğrudan görüntünün şekli ve netliği ile ilişkilidir. Görüntü işleme prosesinde segmentasyon ana işlemdir. Segmentasyon işlemi ise görüntüdeki her bir objeyi belirleyerek görüntüdeki diğer objelerden ayırmasıdır. Bu tez çalışmasında segmentasyon modeli olarak “Segment anything” yapay sinir ağı kullanılmıştır. Başlık 3.4.3’te detaylı bir şekilde açıklandığı üzere Segment anything modeli, Facebook tarafından geliştirilen ve Tesla, Microsoft, Amazon gibi birçok firma/kurum tarafından kullanılmaktadır. Segment anything’de kullanılan yapay sinir ağı modeli yaklaşık 11 milyon görüntü ve 1 milyar’dan fazla maskeleme işlemi gerçekleştirilerek eğitilmiştir. 2023’te geliştirilen “Segment anything” modeli diğer segmentasyon modellerine kıyasla oldukça başarılıdır.

4.2. Tartışmalar

Tez çalışmasının bu bölümünde, kayaçların fiziko-mekanik ve aşındırıcılık değerlerinin birbirleri arasındaki ilişkiler ile doku katsayısı değerleri arasındaki ilişkiler ortaya konulmuştur.

4.2.1. Kayaçların fiziko-mekanik ve aşındırıcılık özelliklerinin birbirleri arasındaki ilişkilerin doğrusal regresyon analizi ile incelenmesi

Başlık 4.1.1 de alışımda yer alan kayaçların fiziksel ve mekanik deney sonuçları verilmiştir. Bu tez çalışmasında yer alan 20 adet kayacın fiziksel ve mekanik deney sonuçlarının birbirleri arasındaki ilişkiler doğrusal regresyon analizi ile incelenmiştir. Regresyon analizinde belirlilik katsayısı dikkate alınmıştır. Belirlilik katsayısı (R^2), değişkenler arasındaki bağıntıyı ölçmek üzere bir serpilmedeki açıklanmış sapmanın toplam sapmaya oranı olarak bulunan ve bağımlı değişkende bağımsız değişkence açıklanabilen değişkenliği 0 ile 1 arasında bir değer olarak dile getiren ölçümdür.

$$0 \leq R^2 \leq 1$$

- R^2 değeri 1'e yaklaştıkça değişkenler arasındaki ilişkinin anlamlılığı artmaktadır.
- R^2 değeri 0'a yaklaştıkça değişkenler arasındaki ilişkinin anlamlılığı düşmektedir.

Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen veriler arasındaki ilişkiler grafiksel olarak değerlendirilmiş ve korelasyon değerlerine göre yorumlanmıştır.

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

4.2.2. Çalışmada kullanılan tüm örneklerin ilişki parametrelerinin incelenmesi

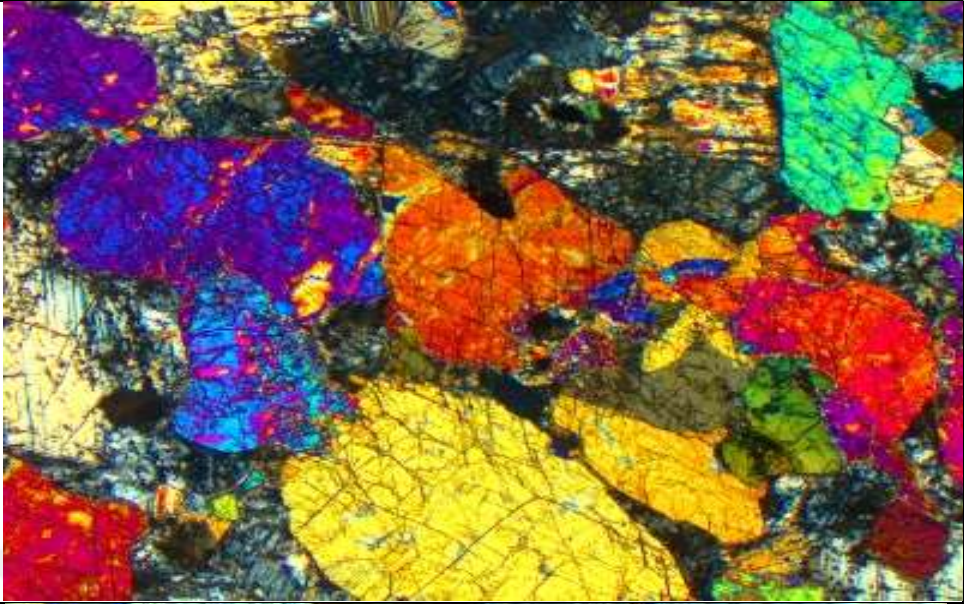
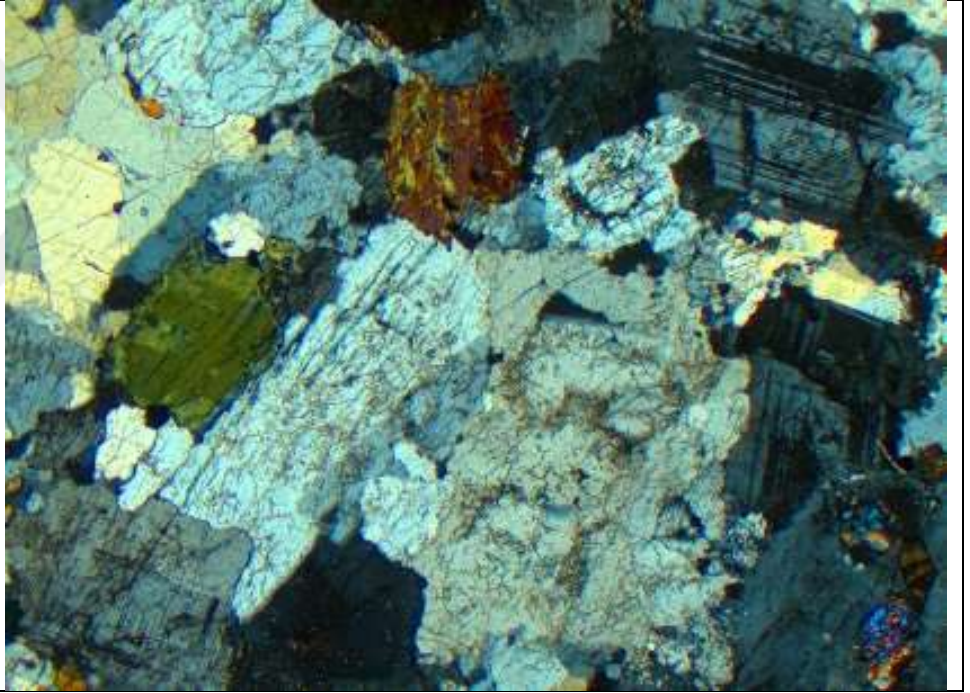
Bu çalışmada örnek kayaçların belirlenmesi esnasında çeşitlilik arz etmesi açısından kayaçların kökenlerine, mineralojik içeriklerine, doku türlerine bakılmaksızın genel manada tüm kayaç türlerini kapsayacak şekilde örneklendirme yapılmıştır. Yapılan analizler neticesinde ilişkilerin daha etkin belirlenmesi için bu örneklerin kendi içerisinde sınıflandırılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Böylece örnekler makro ölçekte, taneseli yapı, mineral içeriğine bağlı sınıflandırma, doku türüne bağlı sınıflandırma şeklinde ayrı ayrı incelenmiştir.

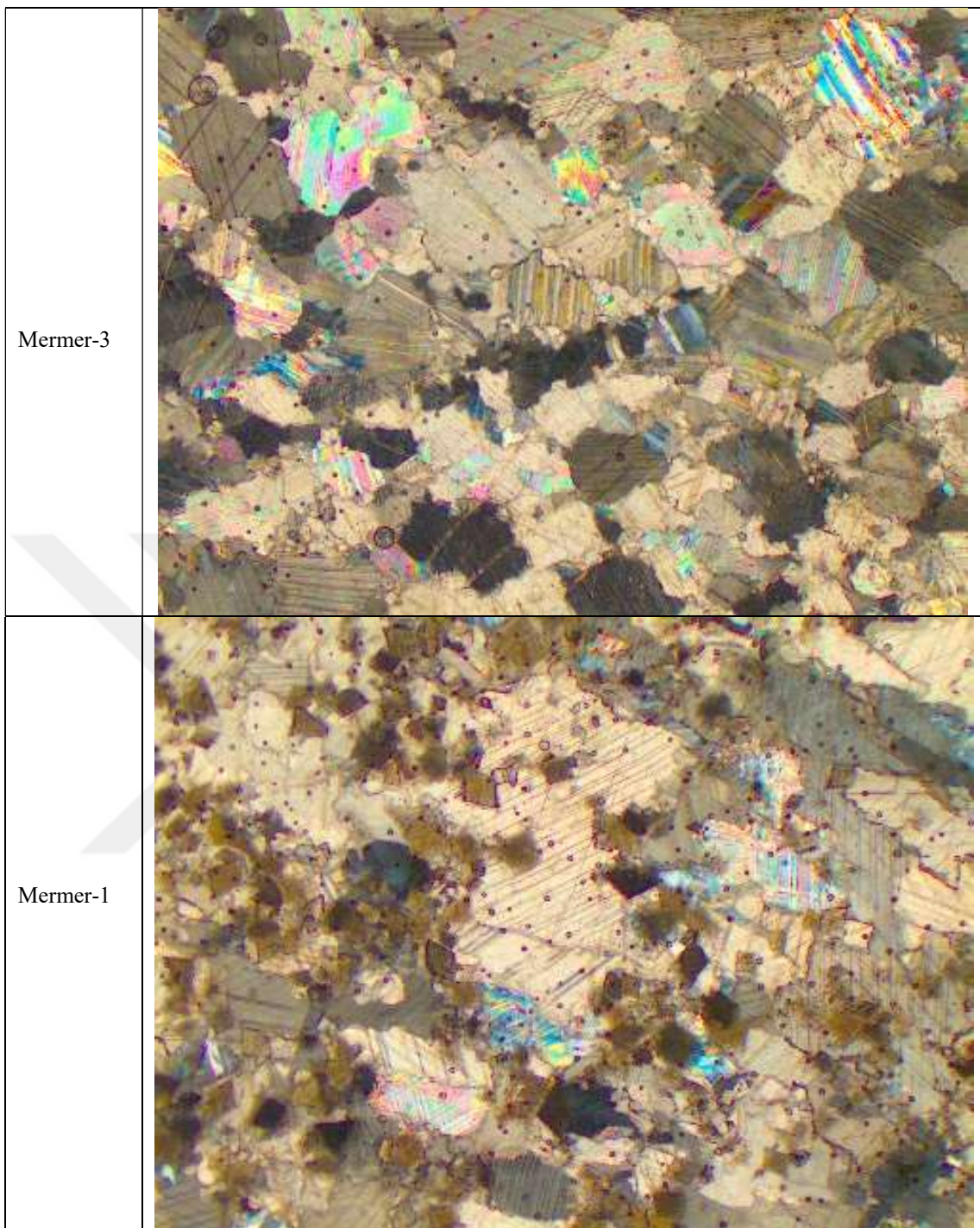
4.2.2.1. Tanesel dokuya bağlı sınıflandırma

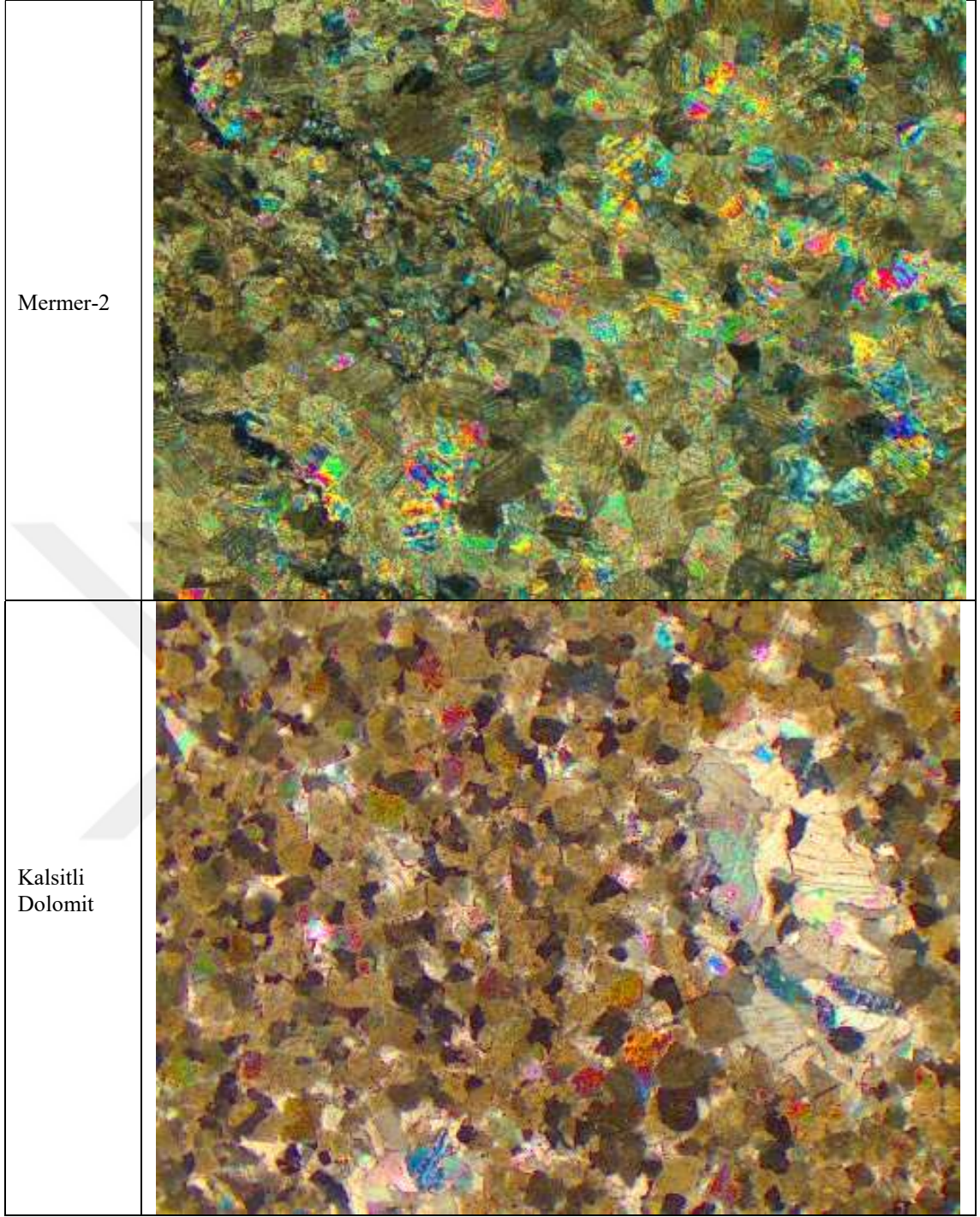
1.grup örnekler (gabro, granit, mermer-1, mermer-2, mermer-3 ve kalsitli dolomit):

Bu çalışmada örnek olarak seçilen ve ince kesitleri hazırlanan numunelerin incelenmesi neticesinde gabro, granit, mermer-1, mermer-2, mermer-3 ve kalsitli dolomit numuneleri makro ölçekte tane yapılarının belirgin ve birbirlerine kenetli olduğu gözlenmektedir (Çizelge 4.13). Bu yüzden bu numuneler birlikte değerlendirilmiş ve çalışmada 1. Grup örnek kayaçlar olarak adlandırılmıştır.

Çizelge 4. 13. 1.grup örneklerin mikroskop altındaki ince kesit görüntüleri

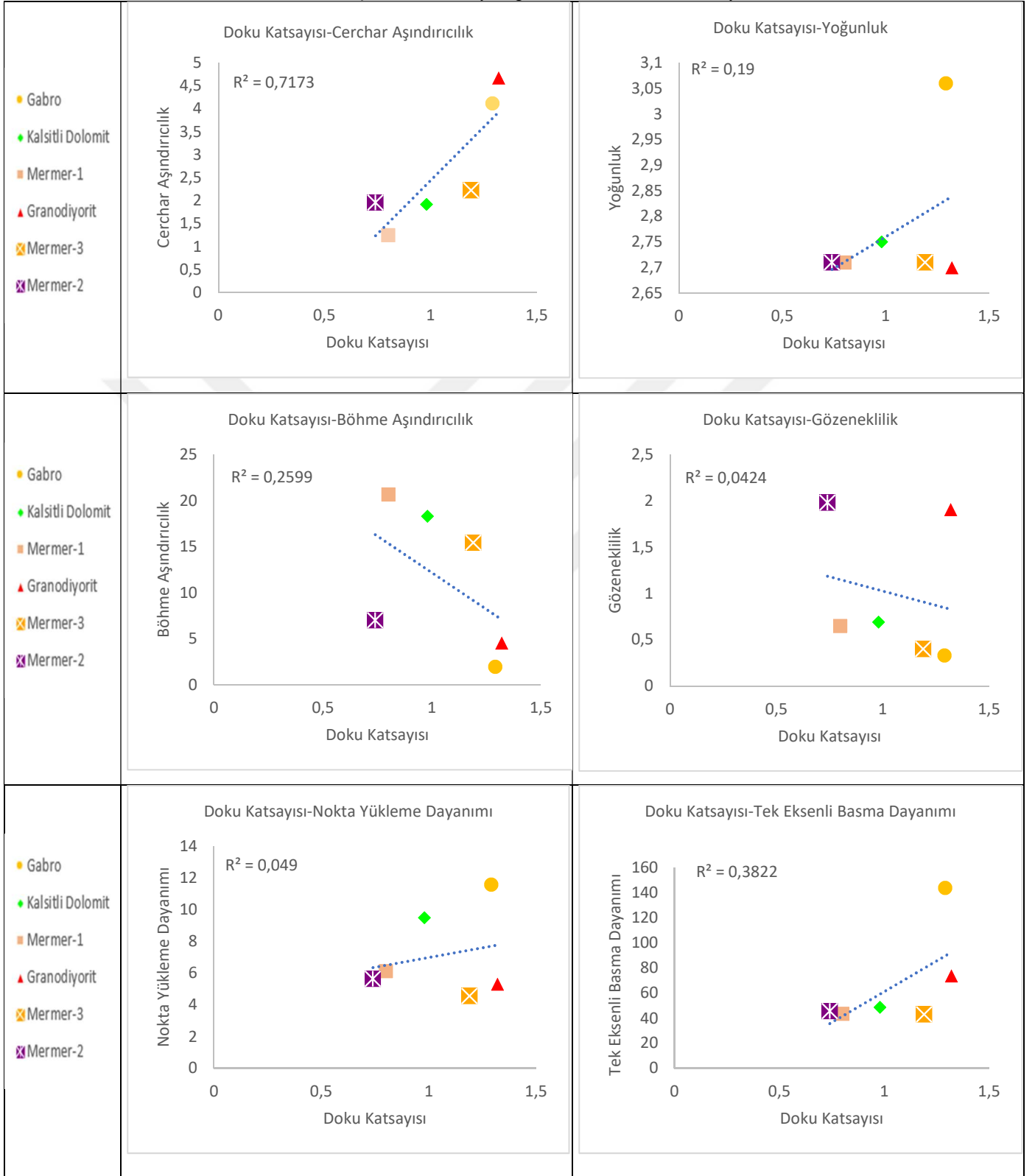
Gabro	
Granodiyor it	

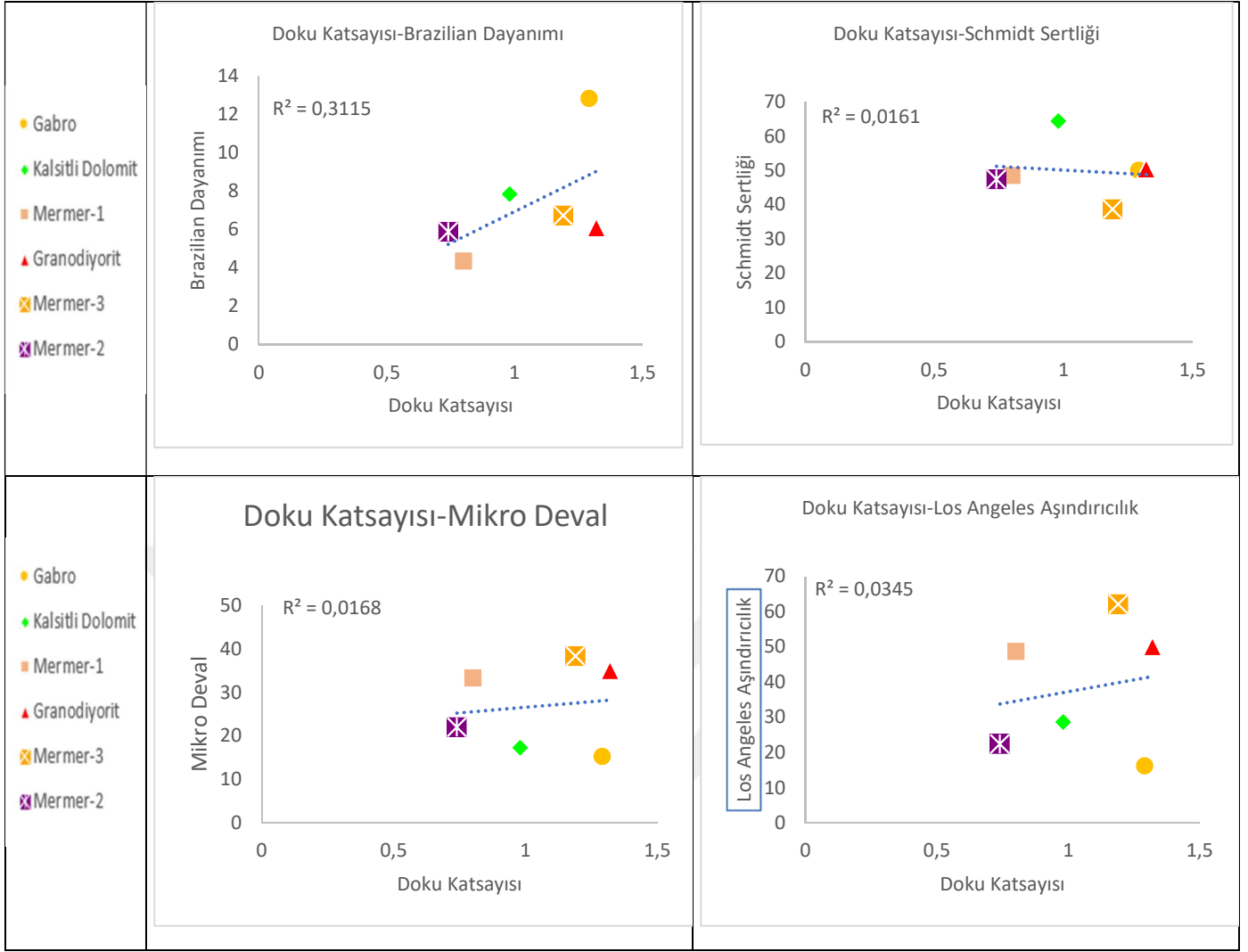




Çizelge 4.14’te 1.grup örneklerin fiziko-mekanik ve aşındırıcılık değerleri ile doku katsayısı değerleri arasındaki ilişkilerin korelasyon grafikleri ve belirlilik katsayıları yer almaktadır.

Çizelge 4. 14. 1.grup örneklerin fiziko-mekanik ve aşındırıcılık değerleri ile doku katsayısı değerleri arasındaki ilişkilerin korelasyon grafikleri ve belirlilik katsayıları





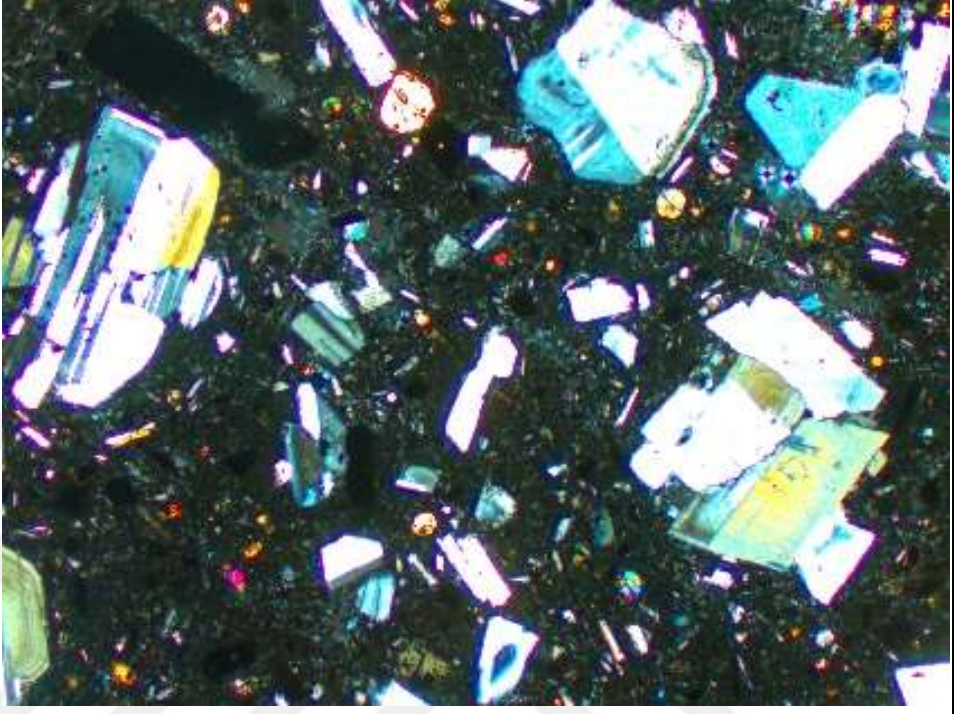
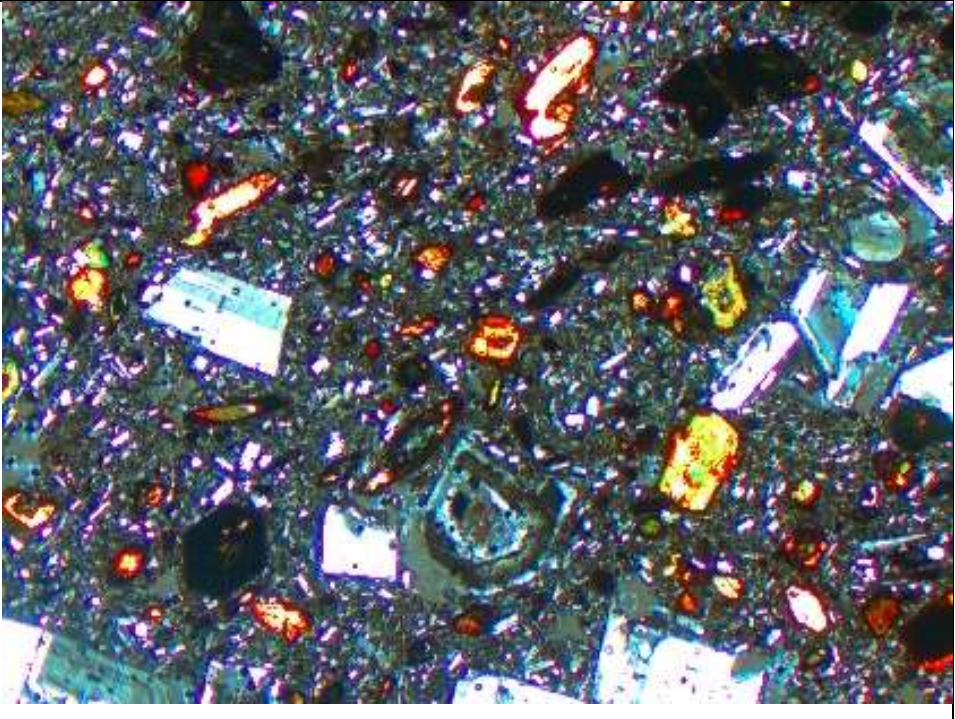
1.Grup numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri ile doku özellikleri arasındaki ilişki grafikleri incelendiğinde doku katsayısı ile Cerchar aşınma indeksi değerleri arasında bir ilişkinin mevcut olabileceği görülmektedir. Diğer test sonuçları ile doku katsayısı değerleri arasındaki ilişki grafikleri incelendiğinde ise mevcut bir ilişkinin varlığından söz edilememektedir. Çalışmanın bütününde çok sayıda kayaç numunesi kullanılmış olmasına rağmen gruplandırmalarda kayaç örneği sayısı azalmıştır. Bu sebeple çalışmada elde edilen ilişkilerin varlığını belirlemek adına aynı sınıflandırmadaki kayaç sayısının daha fazla olması gerekliliği öne çıkmaktadır.

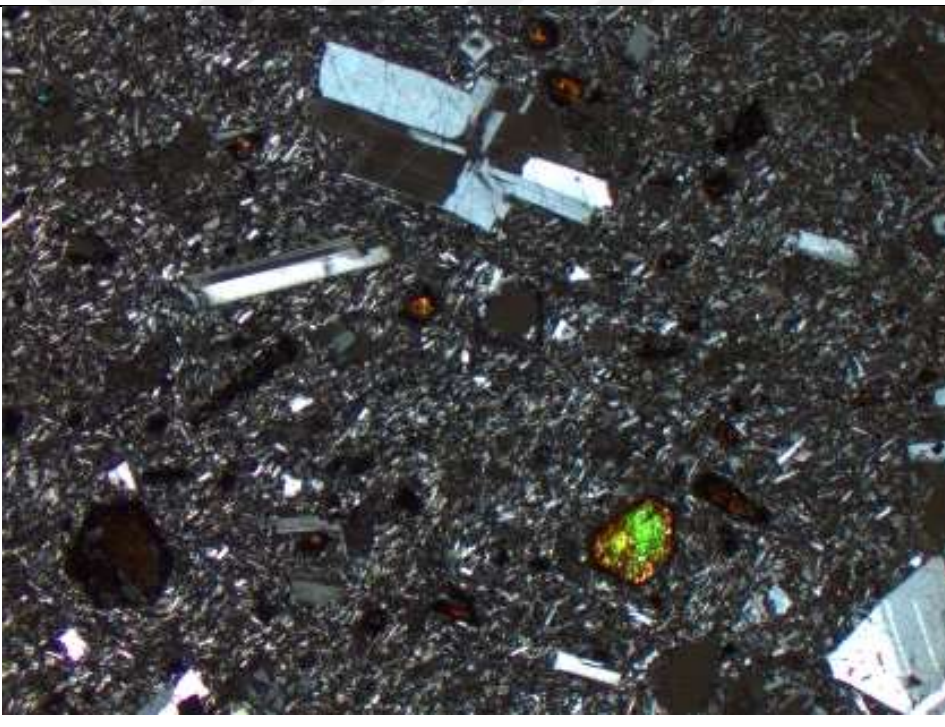
2.grup örnekler (bazalt, andezit-1, andezit-2, fonolit ve tüf):

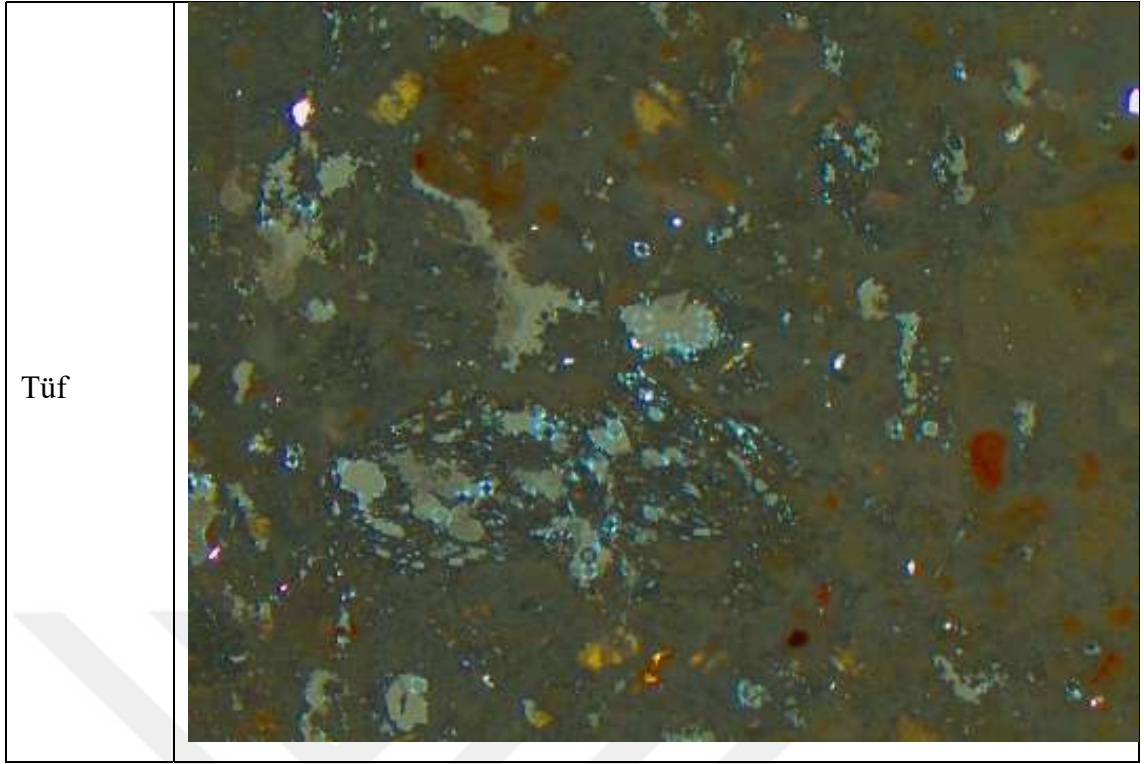
Bu çalışmada örnek olarak seçilen ve ince kesitleri hazırlanan numunelerin incelenmesi neticesinde bazalt, andezit-1, andezit-2, fonolit ve tüf numunelerinde makro ölçekte bir hamurlaşmanın içerisinde belirli ölçekte tanelerin varlığı gözlenmektedir

(Çizelge 4.15). Bu sebeple bu numuneler birlikte değerlendirilmiş ve çalışmada 2. Grup örnek kayalar olarak adlandırılmıştır.

Çizelge 4. 15. 2.grup örneklerin mikroskop altındaki ince kesit görüntüleri

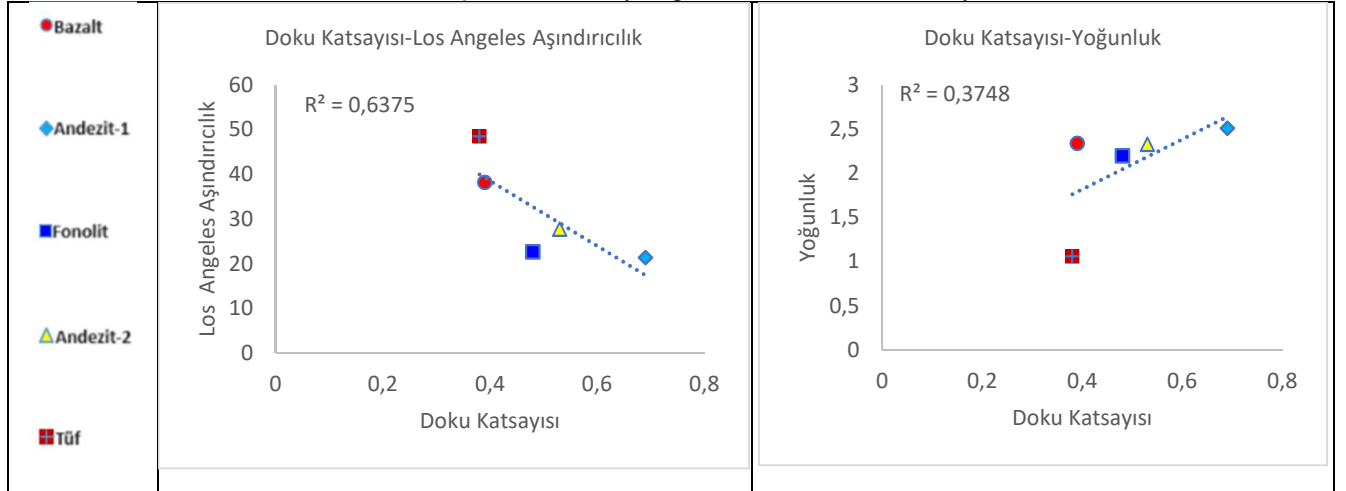
Andezit-1	
Andezit-2	

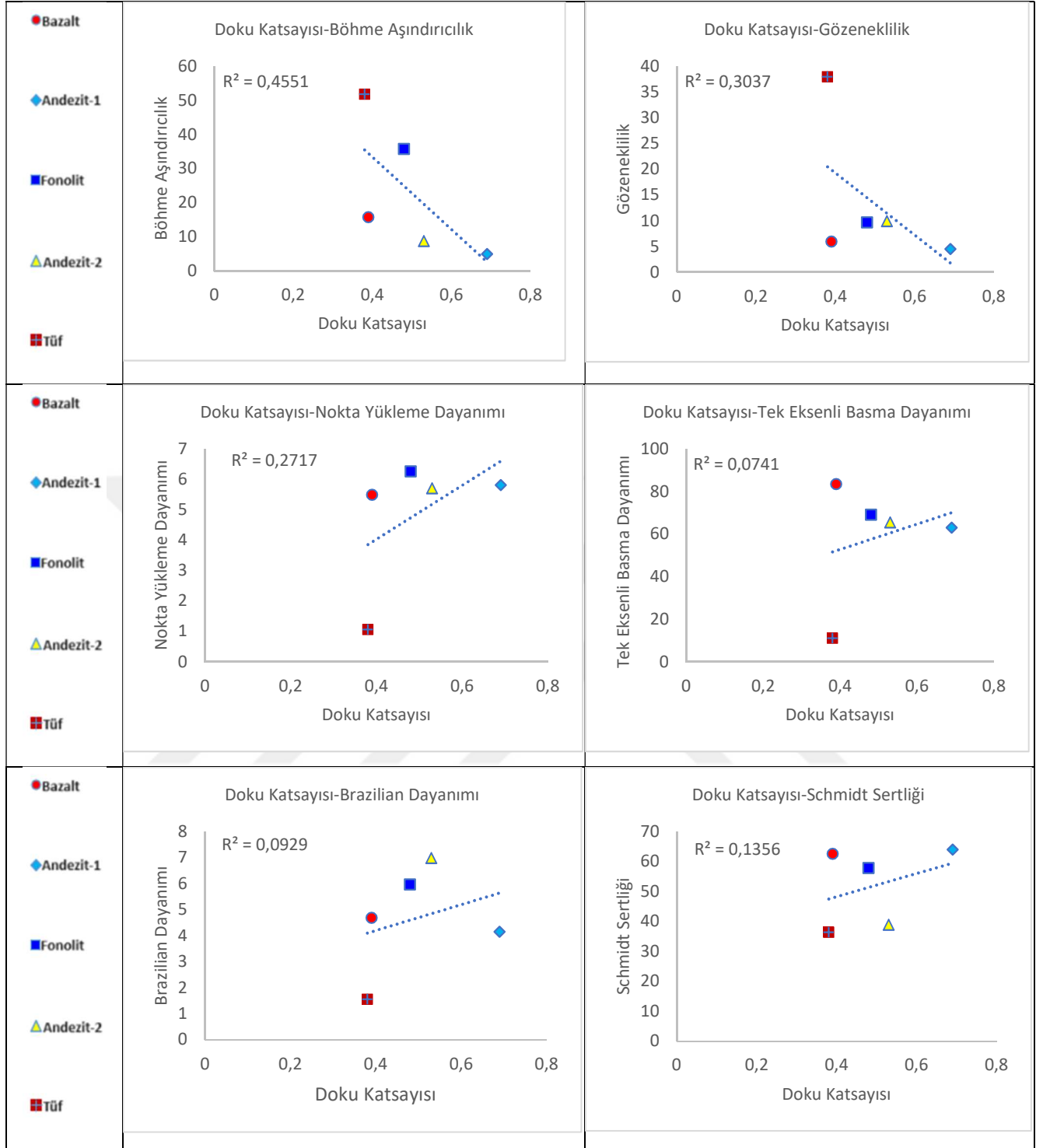
Bazalt	
Fonolit	

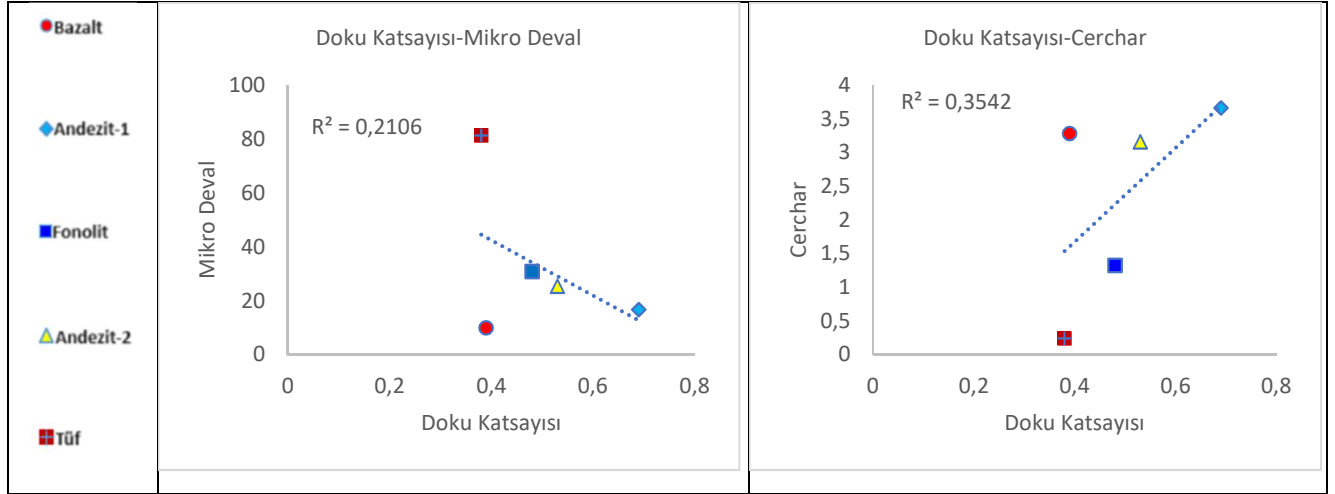


Çizelge 4.16’da 2.grup örneklerin fiziko-mekanik ve aşındırıcılık değerleri ile doku katsayısı değerleri arasındaki ilişkilerin korelasyon grafikleri ve belirlilik katsayıları yer almaktadır.

Çizelge 4. 16. 2.grup örneklerin fiziko-mekanik ve aşındırıcılık değerleri ile doku katsayısı değerleri arasındaki ilişkilerin korelasyon grafikleri ve belirlilik katsayıları







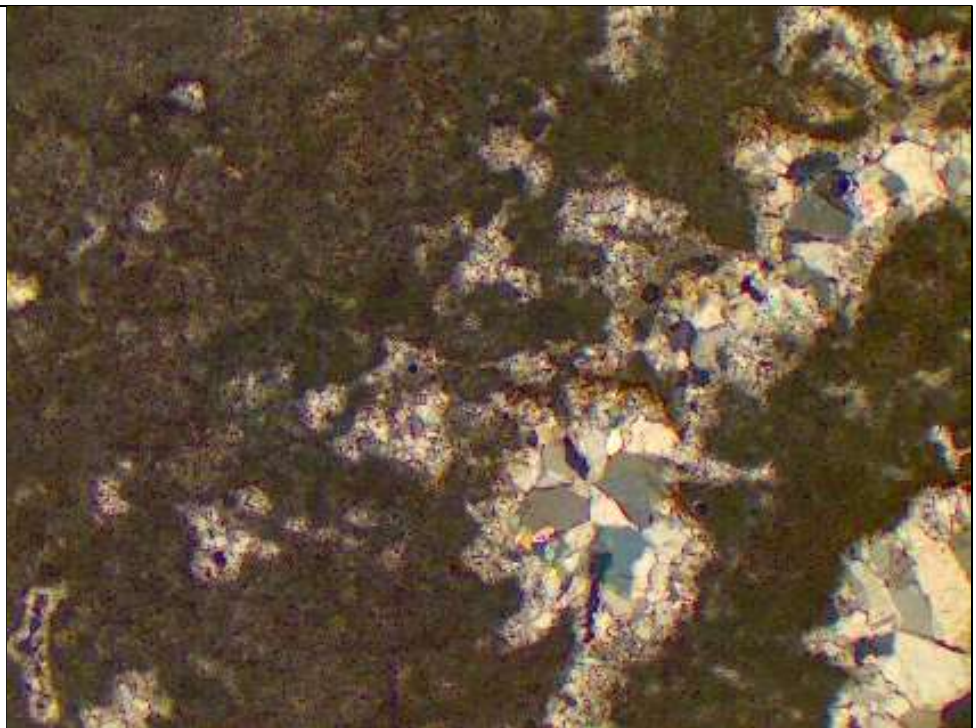
2. Grup numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri ile doku özellikleri arasındaki ilişki grafikleri incelendiğinde doku katsayısı ile Los Angeles aşınma indeksi değerleri arasında bir ilişkinin muhtemel olabileceği görülmektedir. Diğer test sonuçları ile doku katsayısı değerleri arasındaki ilişki grafikleri incelendiğinde ise mevcut bir ilişkinin varlığından söz edilememektedir. Çalışmanın bütününde çok sayıda kayaç numunesi kullanılmış olmasına rağmen gruplandırmalarda kayaç örneği sayısı azalmıştır. Bu sebeple çalışmada elde edilen ilişkilerin varlığını belirlemek adına aynı sınıflandırmadaki kayaç sayısının daha fazla olması gerekliliği öne çıkmaktadır.

3. grup örnekler (traverten, manyezit ve marn):

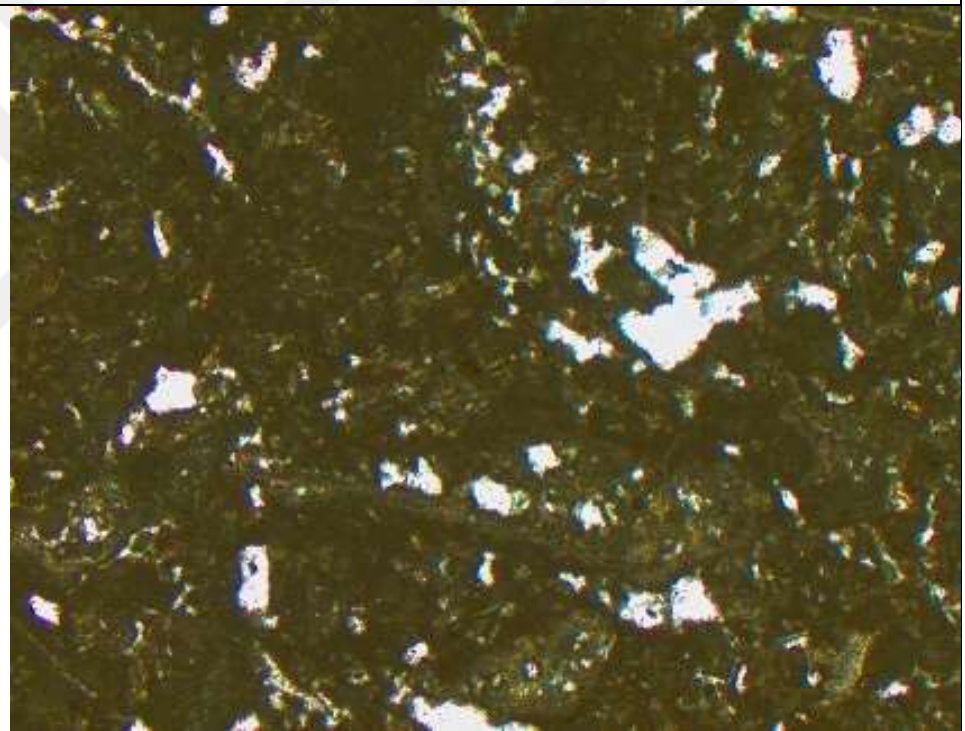
Çalışmada örnek teşkil eden kayaçların ince kesitlerinin incelenmesi neticesinde traverten, manyezit ve marn numunelerinde makro ölçekte öz tane şekillerinin net belirgin olmadığı bir yapı gözlenmektedir. (Çizelge 4.17). Bu sebeple bu numuneler birlikte değerlendirilmiş ve çalışmada 3. Grup örnek kayaçlar olarak adlandırılmıştır.

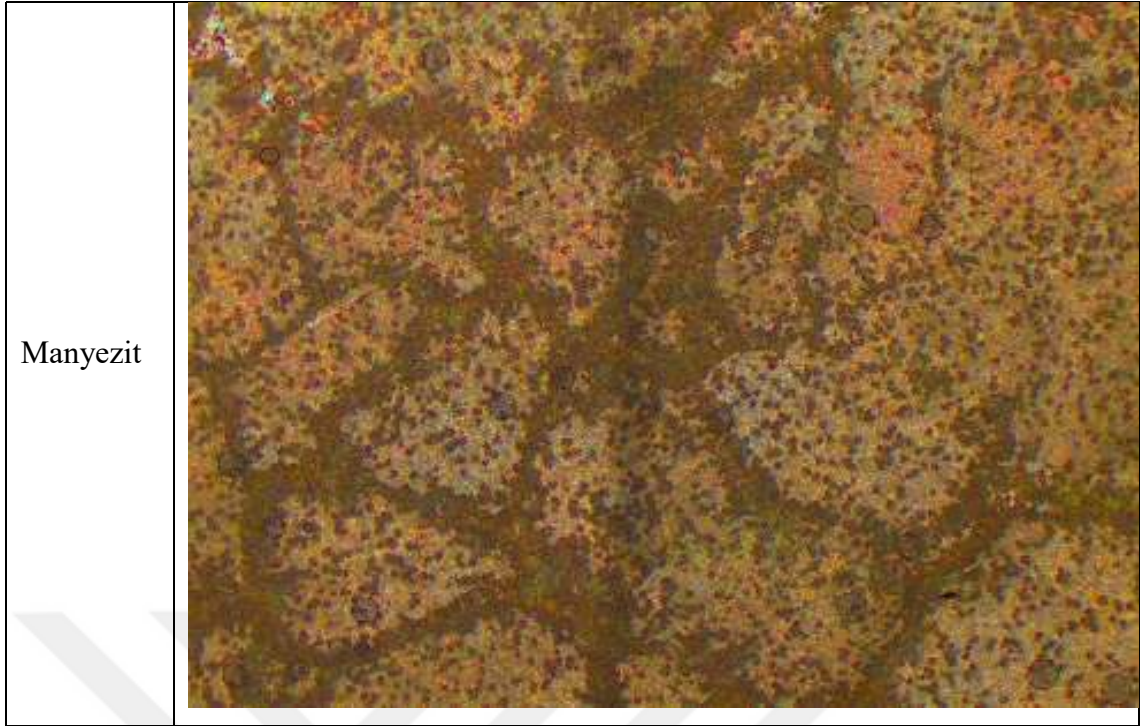
Çizelge 4. 17. 3. grup örneklerin mikroskop altındaki ince kesit görüntüleri

Traverten



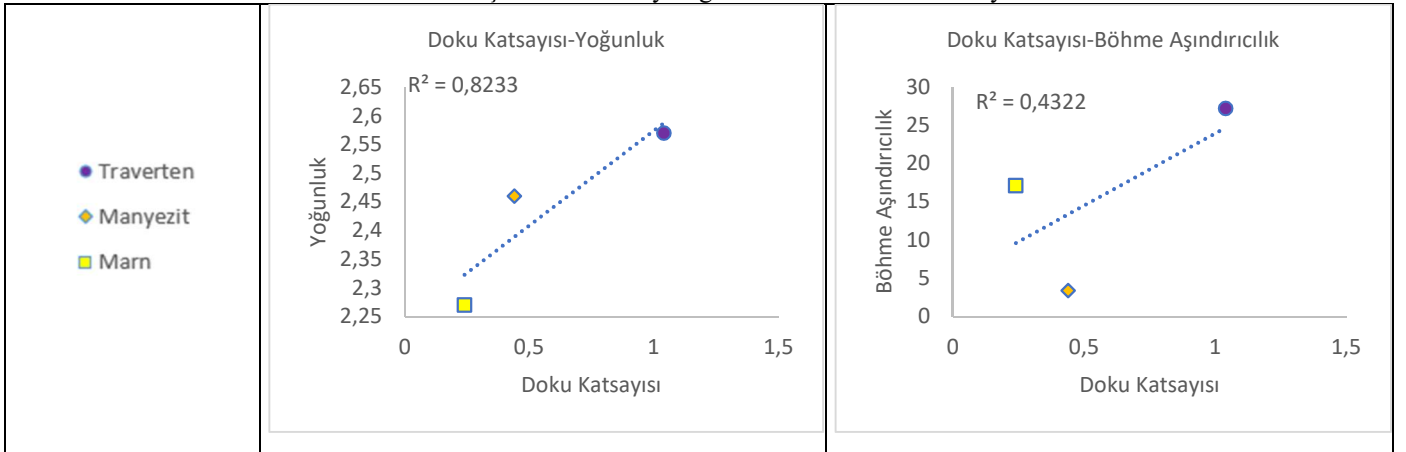
Marn

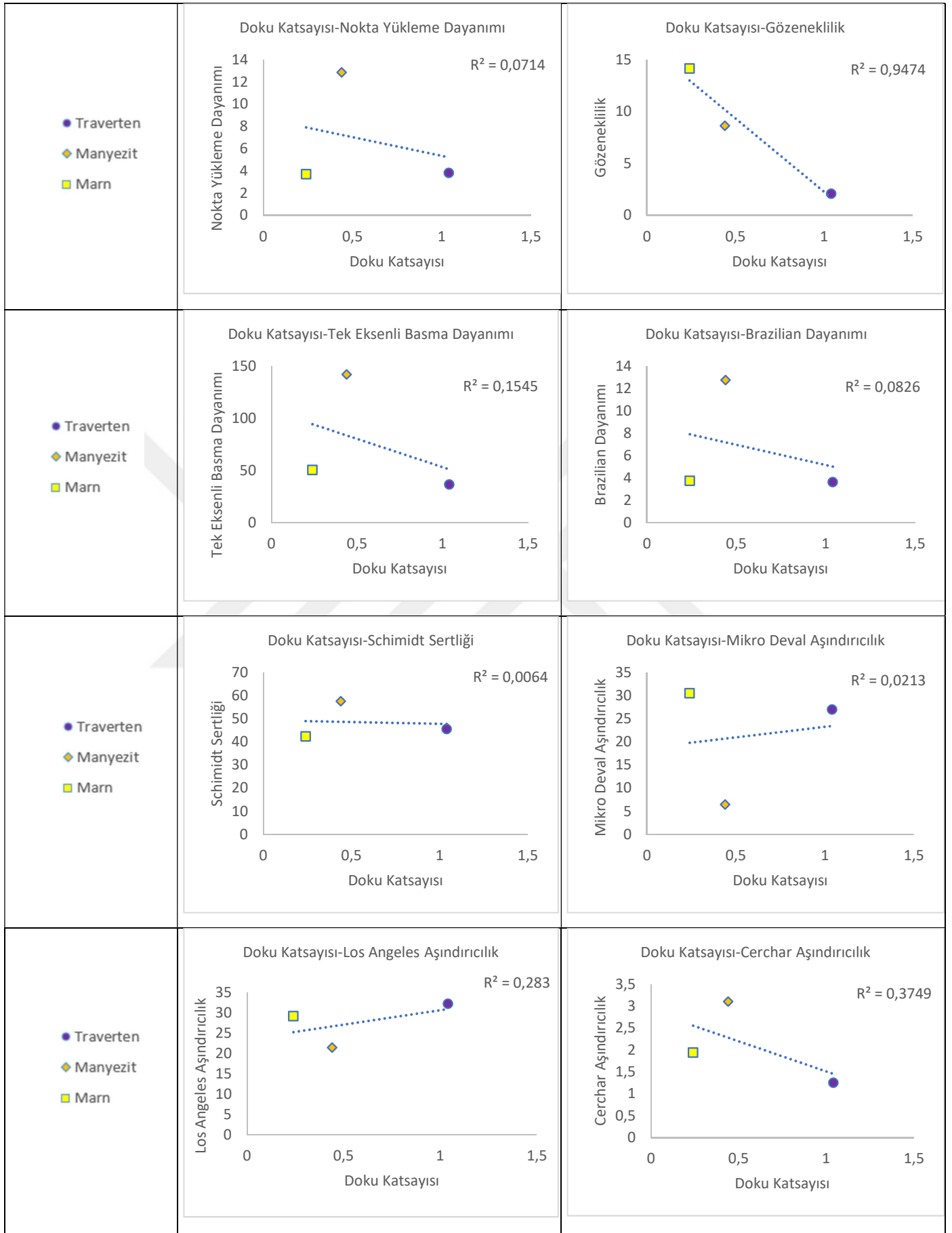




Çizelge 4.18’de 3.grup örneklerin fiziko-mekanik ve aşındırıcılık değerleri ile doku katsayısı değerleri arasındaki ilişkilerin korelasyon grafikleri ve belirlilik katsayıları yer almaktadır.

Çizelge 4. 18. 3.grup örneklerin fiziko-mekanik ve aşındırıcılık değerleri ile doku katsayısı değerleri arasındaki ilişkilerin korelasyon grafikleri ve belirlilik katsayıları



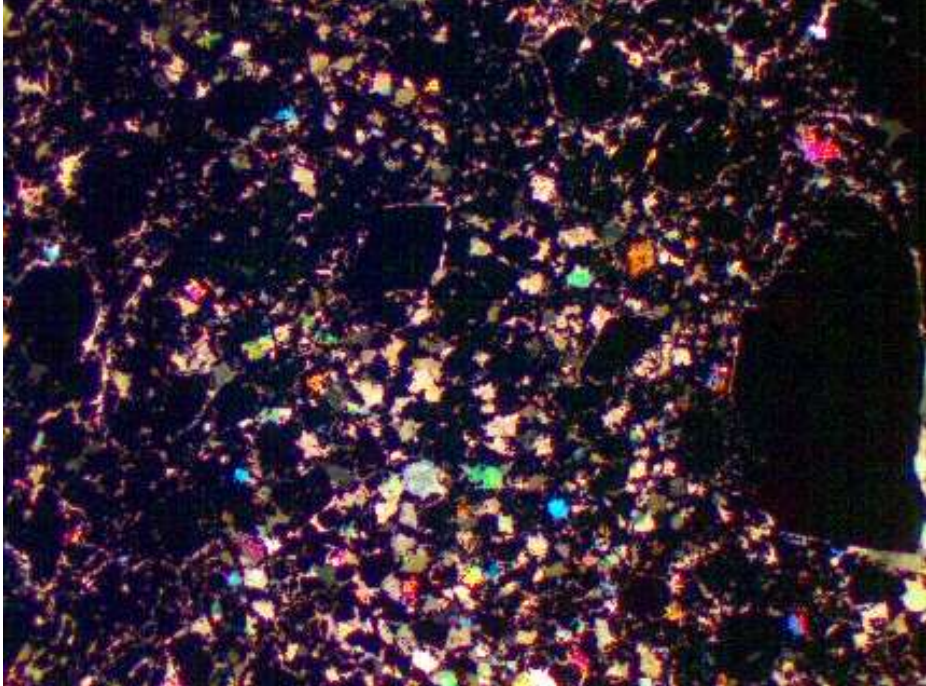


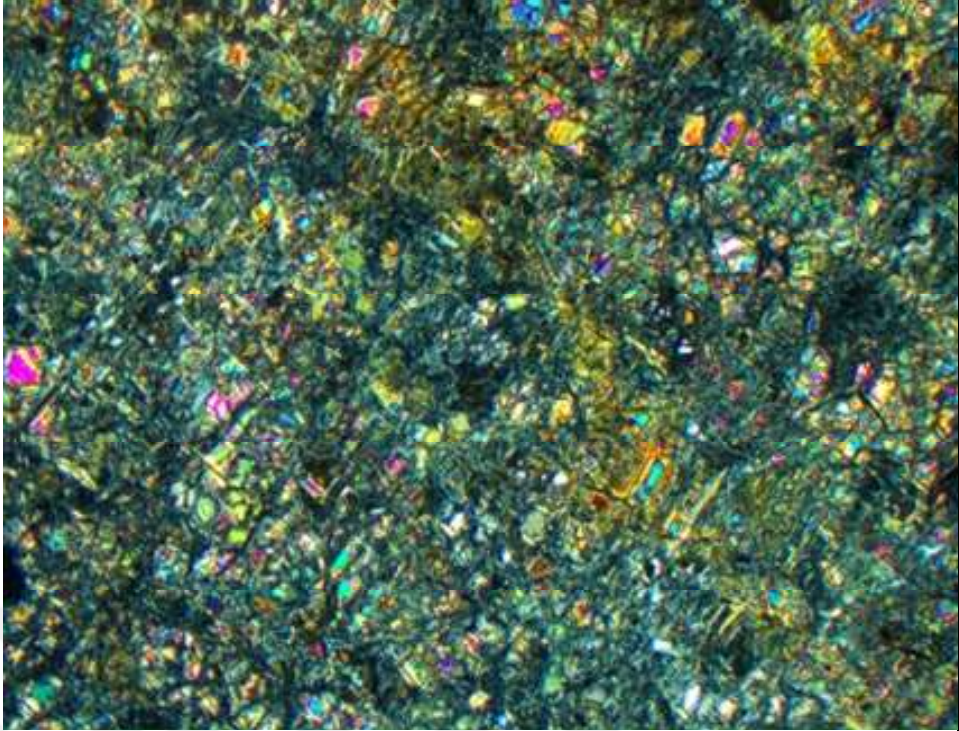
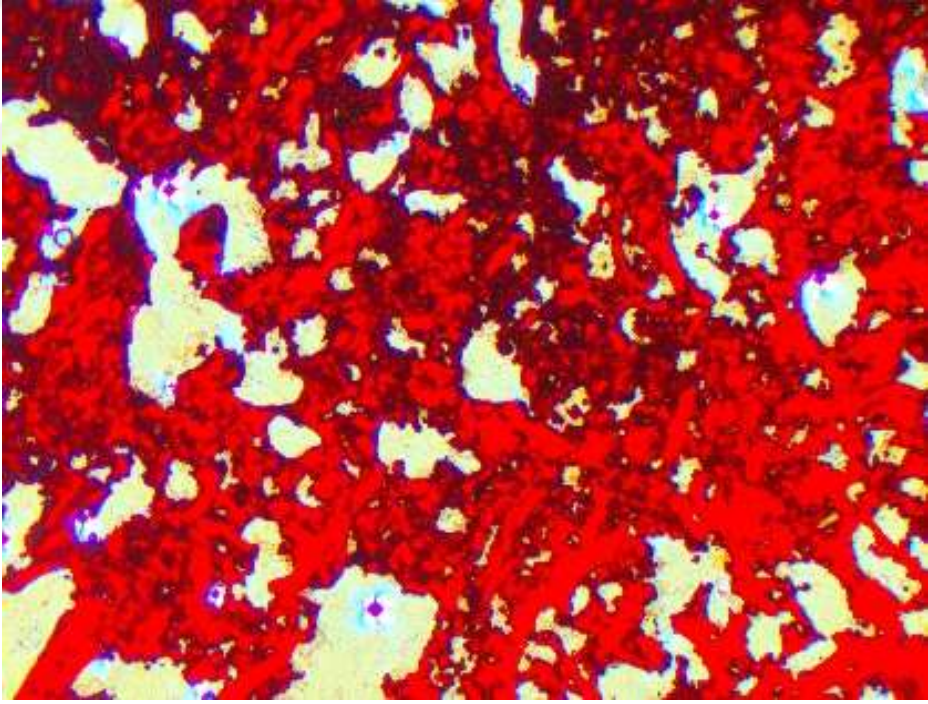
3. Grup numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri ile doku özellikleri arasındaki ilişki grafikleri incelendiğinde doku katsayısı ile yoğunluk ve gözeneklilik değerleri arasında bir ilişkinin varlığı mevcut görünse de çalışmanın bütününde yeter sayıda numune olmasına rağmen tane yapısına göre sınıflandırılmasıyla örnek sayısı azalmıştır. Buna bağlı olarak daha net sonuçlar alabilmek için örnek sayısının çoğaltılması gerekmektedir.

4. grup örnekler (kurşun, serpantin ve hematit):

Bu çalışmada örnek olarak seçilen ve ince kesitleri hazırlanan numunelerin incelenmesi neticesinde kurşun, serpantin ve hematit numunelerinde yer alan metalik içerikler göz önünde bulundurularak sınıflandırılmıştır (Çizelge 4.18). Bu sebeple bu numuneler birlikte değerlendirilmiş ve çalışmada 4. Grup örnek kayalar olarak adlandırılmıştır.

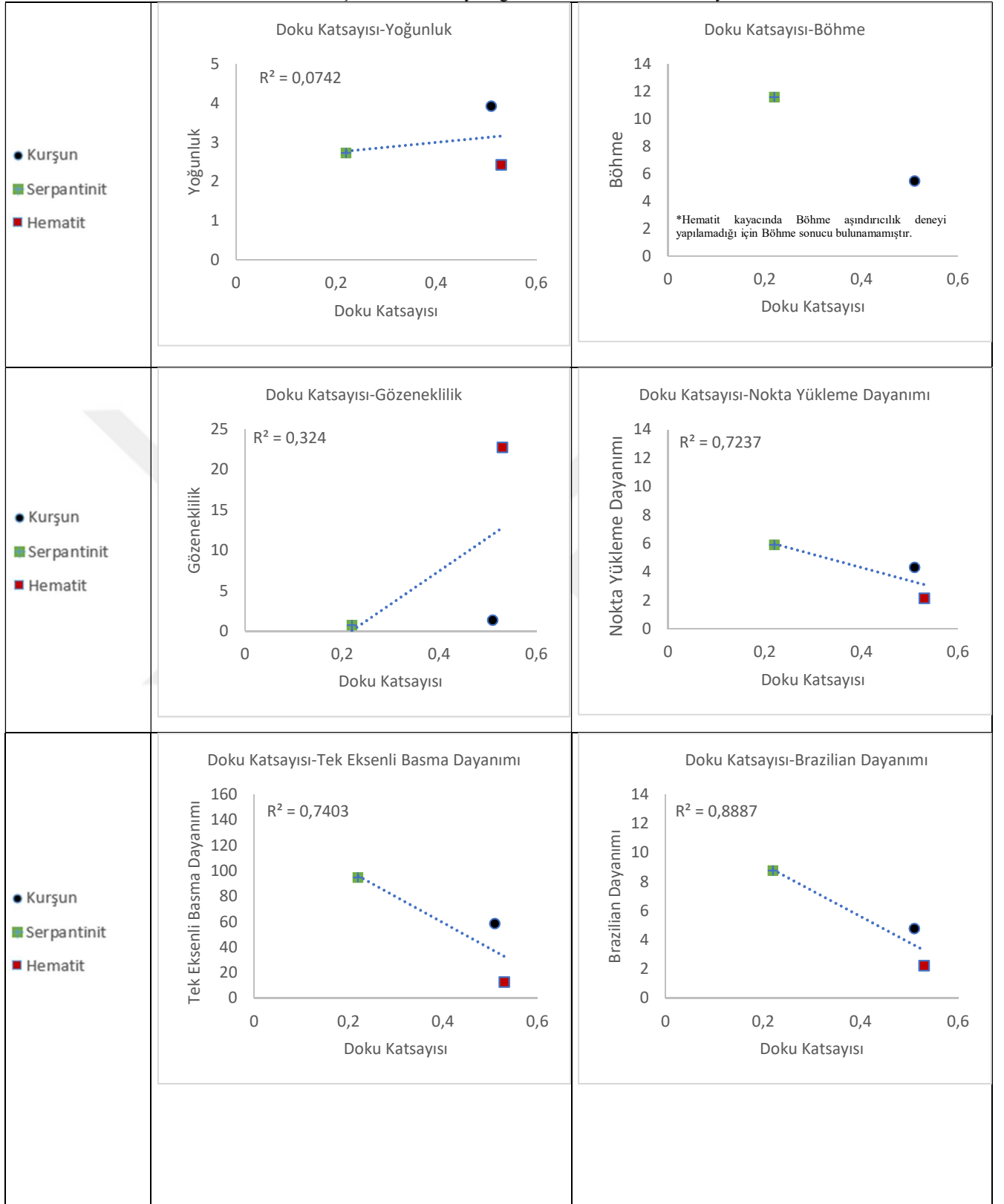
Çizelge 4. 19. 4. grup örneklerin mikroskop altındaki ince kesit görüntüleri

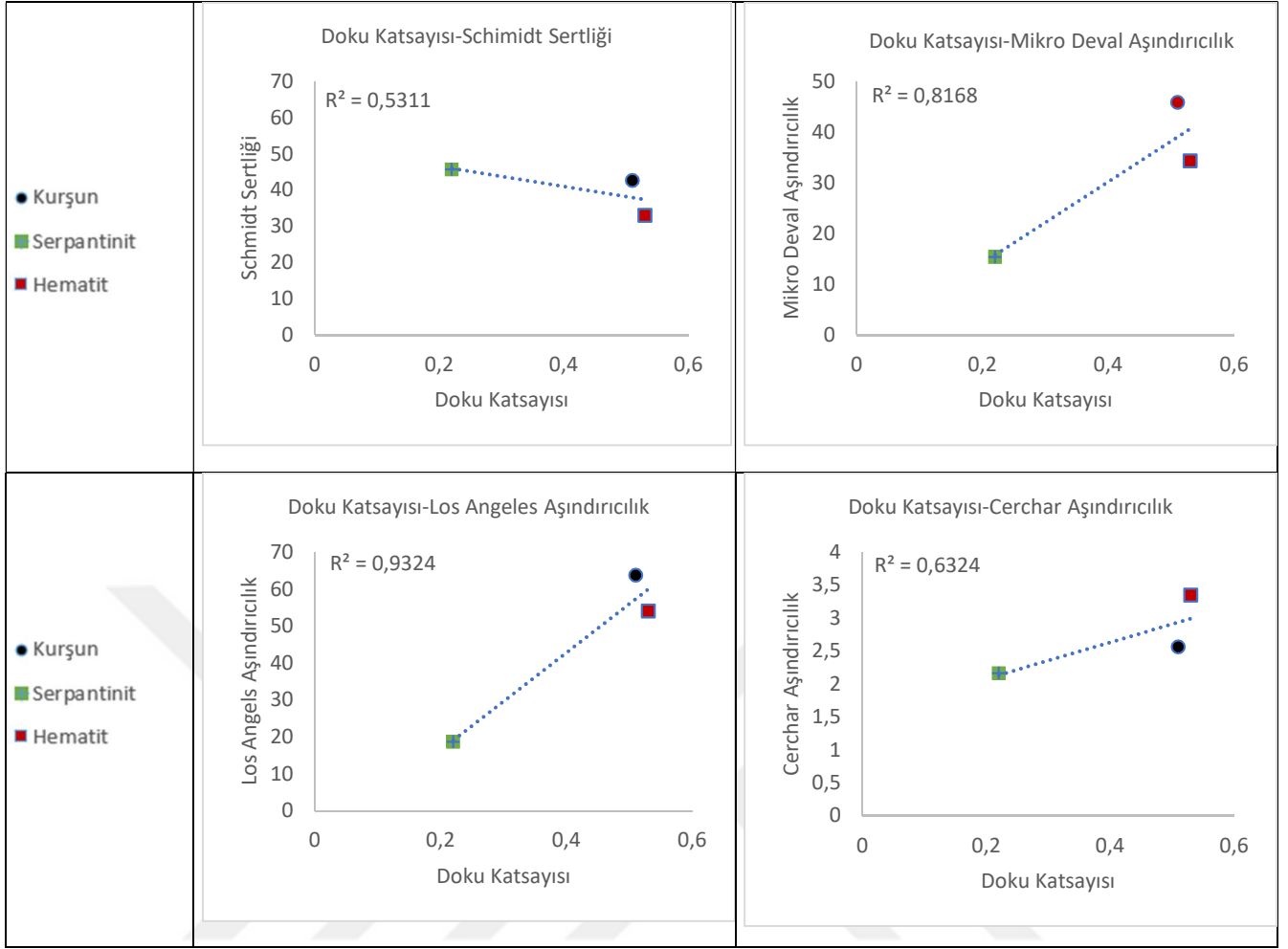
Kurşun	
--------	--

Serpantinit	
Hematit	

Çizelge 4.20’de 4.grup örneklerin fiziko-mekanik ve aşındırıcılık değerleri ile doku katsayısı değerleri arasındaki ilişkilerin korelasyon grafikleri ve belirlilik katsayıları yer almaktadır.

Çizelge 4. 20. 4.grup örneklerin fiziko-mekanik ve aşındırıcılık değerleri ile doku katsayısı değerleri arasındaki ilişkilerin korelasyon grafikleri ve belirlilik katsayıları



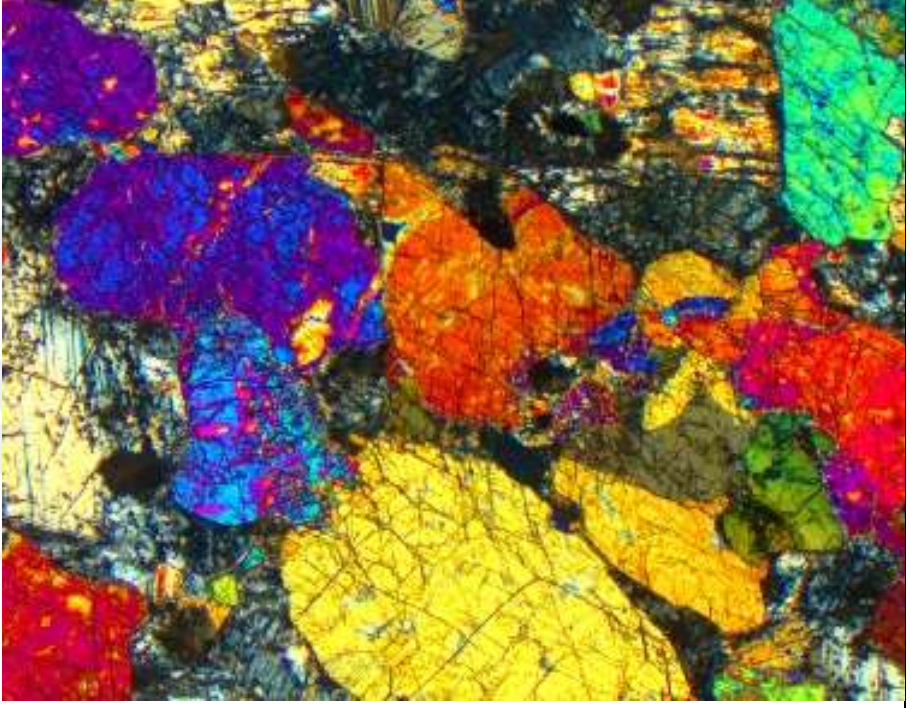
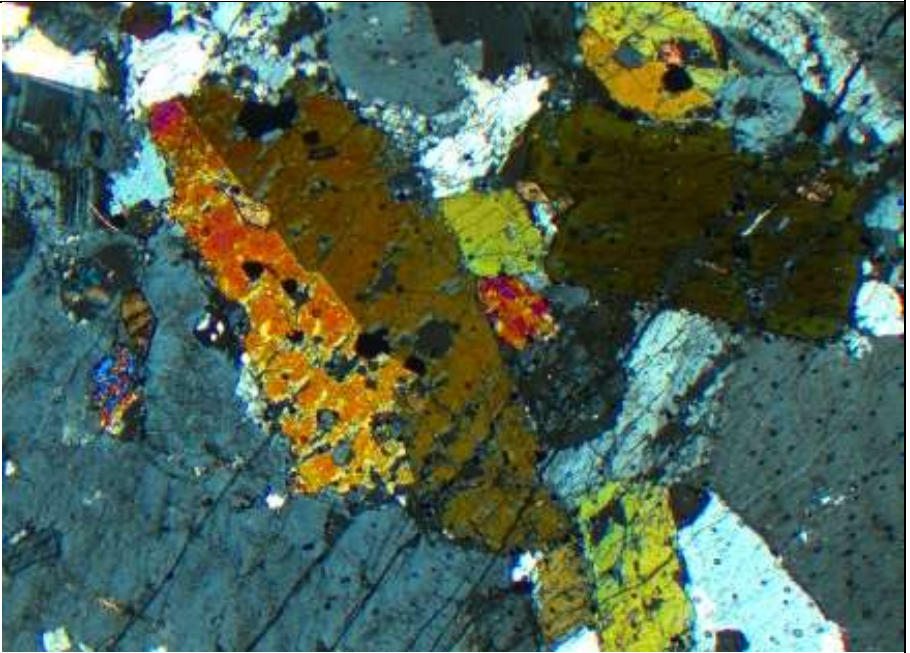


4. Grup numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri ile doku özellikleri arasındaki ilişki grafikleri incelendiğinde doku katsayısı ile nokta yükleme dayanımı, tek eksenli basma dayanımı, Brazilian dayanımı, mikro deval aşındırıcılık ve Los Angeles aşındırıcılık değerleri arasında bir ilişkinin mevcut olabileceği görülürken Schmidt sertliği ve Cerchar aşınma indeksi arasında muhtemel bir ilişkinin varlığından söz edilebilmektedir. Ancak yukarıda da bahsedildiği gibi tezin bütününde 20 farklı kayaç örneği kullanılmasına rağmen metalik içerikli sadece 4 numune bulunduğu için bu grup hematit, kurşun, manyezit ve serpantinit olmak üzere dört kayaçtan oluşmuştur. Diğer test sonuçları ile doku katsayısı değerleri arasındaki ilişki grafikleri incelendiğinde ise mevcut bir ilişkinin varlığından söz edilememektedir. Çalışmanın bütününde çok sayıda kayaç numunesi kullanılmış olmasına rağmen gruplandırmalarda kayaç örneği sayısı azalmıştır. Bu sebeple çalışmada elde edilen ilişkilerin varlığını belirlemek adına aynı sınıflandırmadaki kayaç sayısının daha fazla olması gerekliliği öne çıkmaktadır.

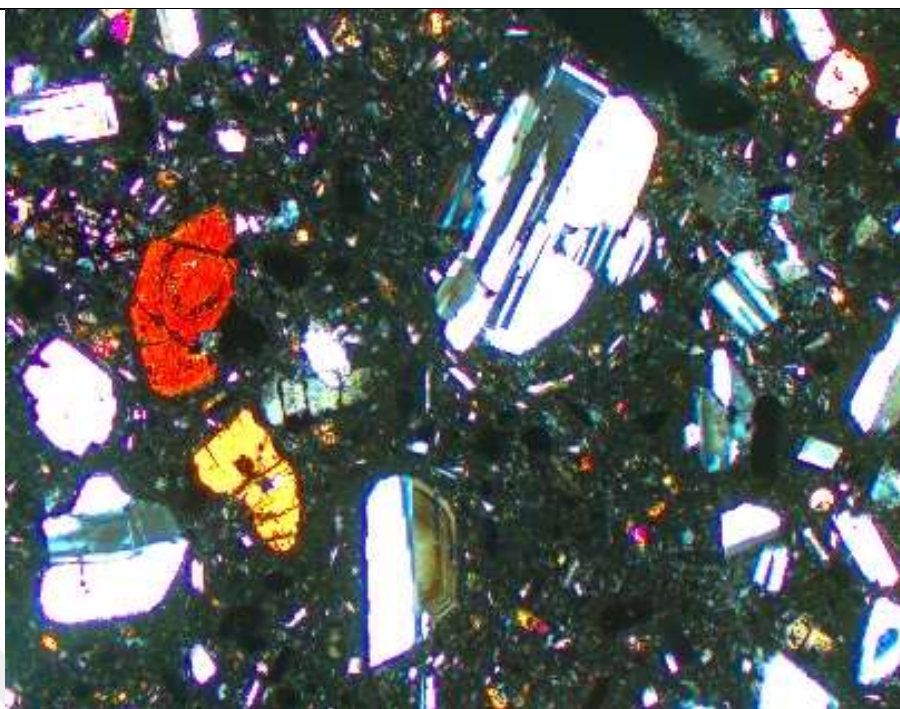
5. grup örnekler (bazalt, fonolit, gabro, granodiyorit, andezit-1 ve andezit-2):

Bu sınıflandırmada örnek olarak seçilen ve ince kesitleri hazırlanan numunelerin incelenmesi neticesinde bazalt, fonolit, gabro, granodiyorit, andezit-1 ve andezit-2 numunelerinde yer alan aşındırıcı mineral (plajiyoklas) göz önünde bulundurularak sınıflandırılmıştır (Çizelge 4.21). Bu sebeple bu numuneler birlikte değerlendirilmiş ve çalışmada 5. Grup örnek kayalar olarak adlandırılmıştır.

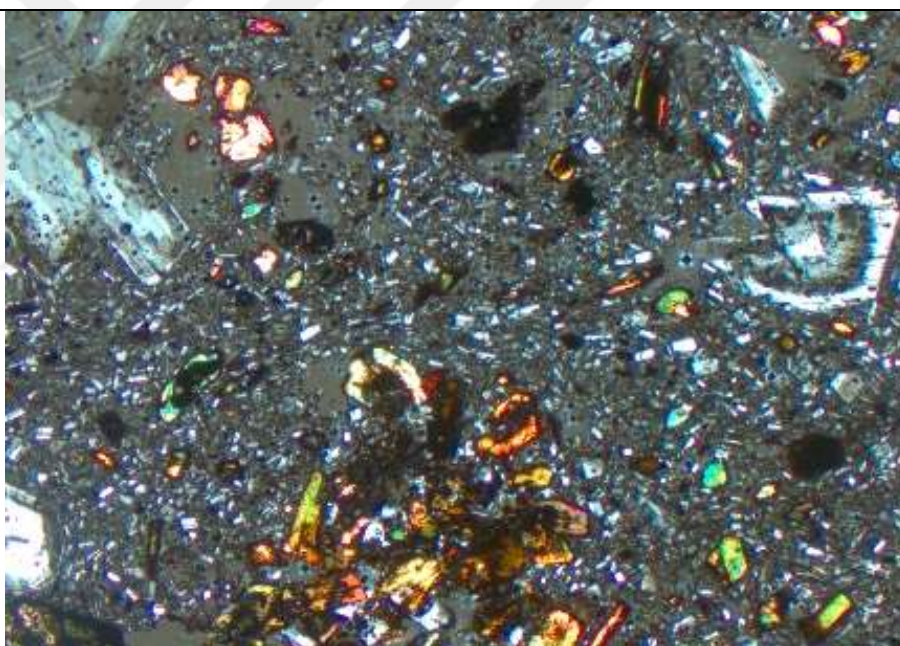
Çizelge 4. 21. 5.grup örneklerin mikroskop altındaki ince kesit görüntüleri

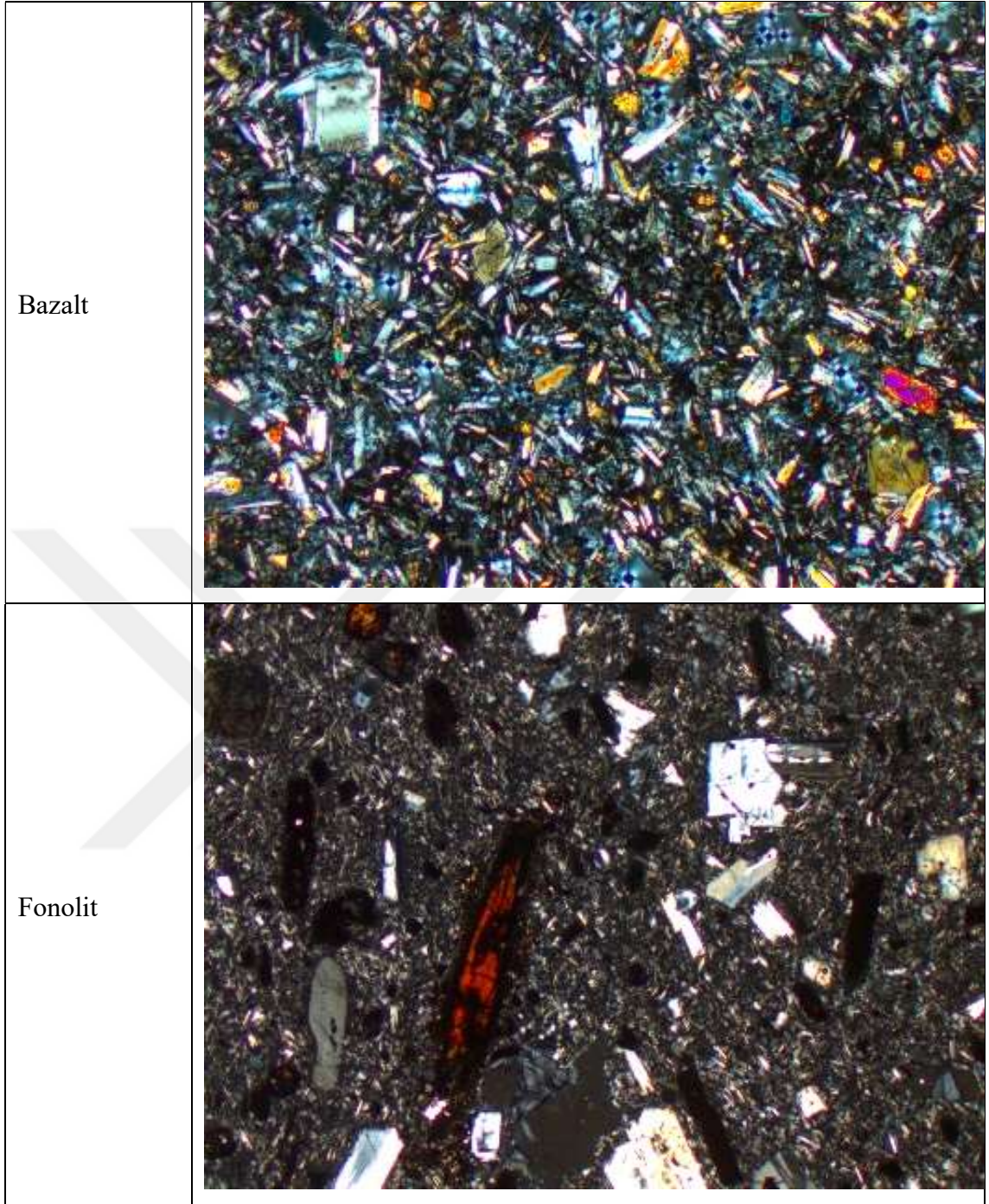
Gabro	
Granodiyorit	

Andezit-1



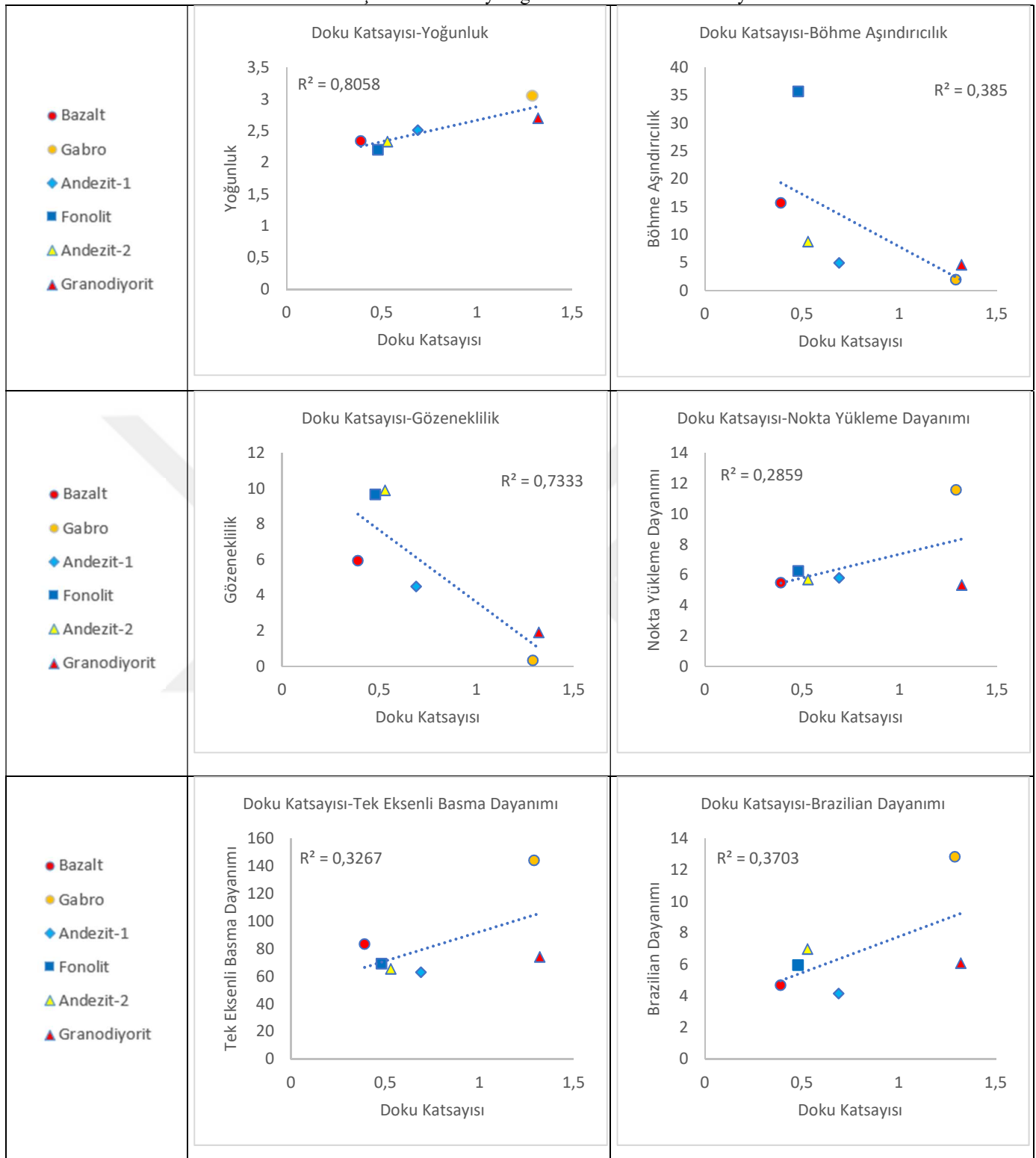
Andezit-2

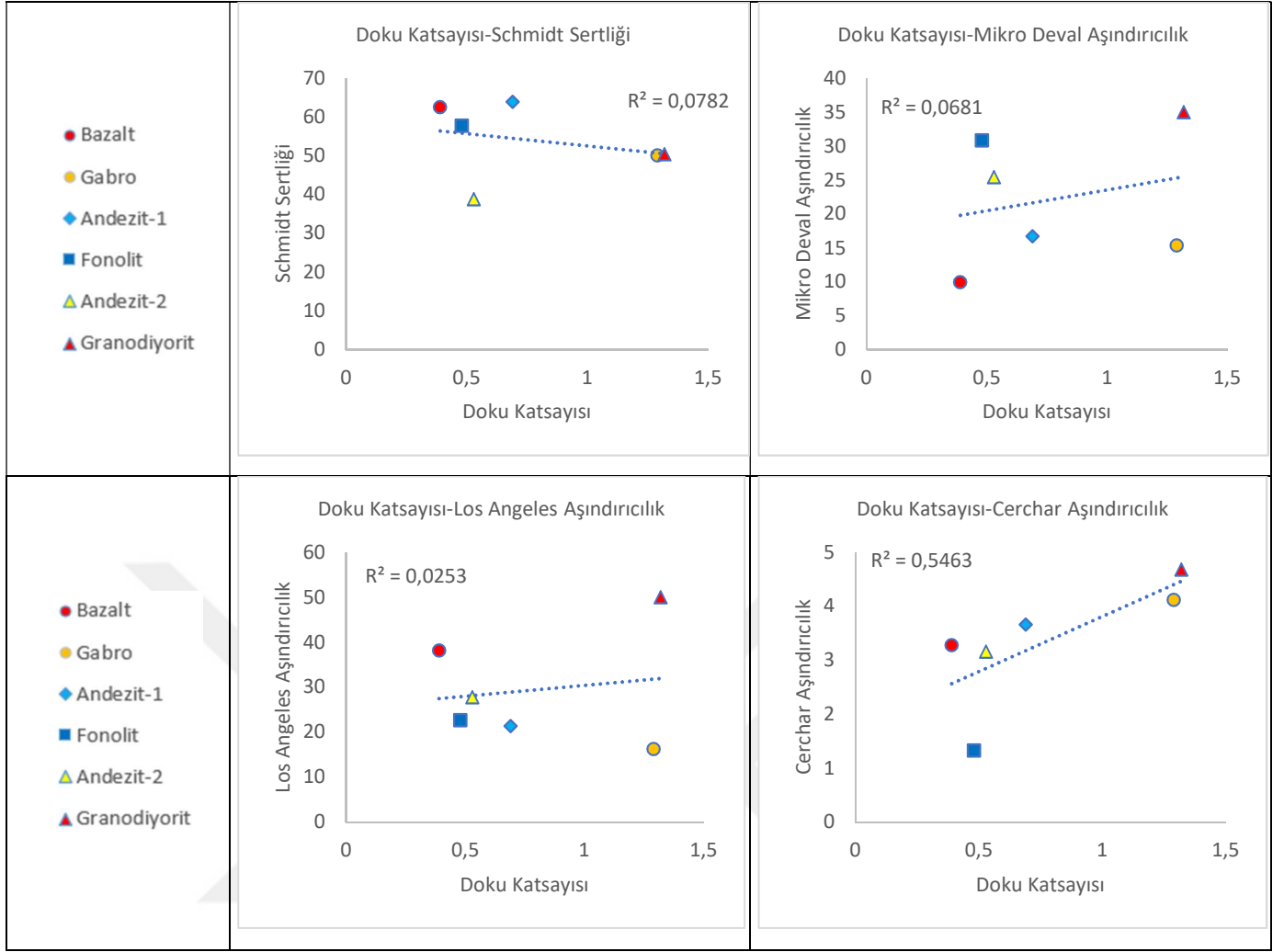




Çizelge 4.22’de 5.grup örneklerin fiziko-mekanik ve aşındırıcılık değerleri ile doku katsayısı değerleri arasındaki ilişkilerin korelasyon grafikleri ve belirlilik katsayıları yer almaktadır.

Çizelge 4. 22. 5.grup örneklerin fiziko-mekanik ve aşındırıcılık değerleri ile doku katsayısı değerleri arasındaki ilişkilerin korelasyon grafikleri ve belirlilik katsayıları





5. Grup numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri ile doku özellikleri arasındaki ilişki grafikleri incelendiğinde doku katsayısı ile yoğunluk ve gözeneklilik değerleri arasında bir ilişkinin mevcut olabileceği görülürken Cerchar aşınma indeksi arasında ise muhtemel bir ilişkinin varlığından söz edilebilmektedir. Ancak yukarıda da bahsedildiği gibi tezin bütününde 20 farklı kayaç örneği kullanılmasına rağmen plajiyoklas içerikli sadece 6 numune bulunduğu için bu grup bazalt, fonolit, gabro, granodiyorit, andezit-1 ve andezit-2 olmak üzere altı kayaçtan oluşmuştur. Diğer test sonuçları ile doku katsayısı değerleri arasındaki ilişki grafikleri incelendiğinde ise mevcut bir ilişkinin varlığından söz edilememektedir. Çalışmanın bütününde çok sayıda kayaç numunesi kullanılmış olmasına rağmen gruplandırmalarda kayaç örneği sayısı azalmıştır. Bu sebeple çalışmada elde edilen ilişkilerin varlığını belirlemek adına aynı sınıflandırmadaki kayaç sayısının daha fazla olması gerekliliği öne çıkmaktadır.

4.2.3. Kayaçların fiziko-mekanik ve aşındırıcılık özelliklerinin birbirleri arasındaki ilişkilerin doğrusal regresyon analizi ile incelenmesi

Başlık 4.1.1 de çalışmada yer alan kayaçların fiziksel ve mekanik deney sonuçları, Başlık 4.1.2’de de çalışmada yer alan kayaçların aşındırıcılık deney sonuçları verilmiştir. Bu tez çalışmasında yer alan 20 adet kayacın fiziko-mekanik ve aşındırıcılık deney sonuçlarının birbirleri arasındaki korelasyon ilişkileri Python’a yazılan kod yardımıyla tespit edilmiştir. Şekil 4.19’da tez çalışmasında yer alan 20 adet kayacın fiziko-mekanik ve aşındırıcılık deney sonuçlarının birbirleri arasındaki korelasyon ilişkileri gösterilmektedir.

correlation_matrix - DataFrame

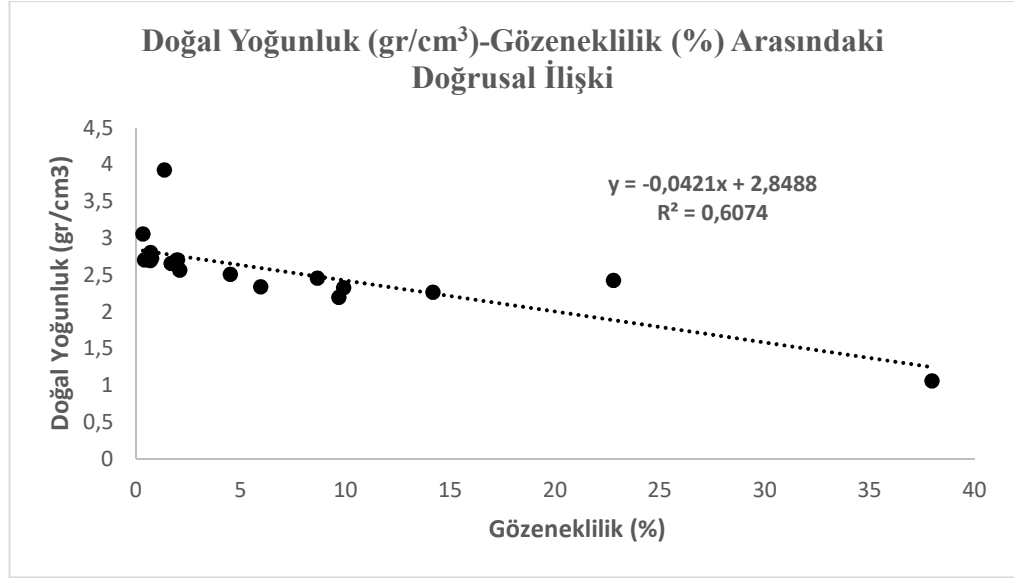
Index	Yoğunluk	Böhme Aşındırıcılık	Gözeneklilik	Nokta Yükleme Dayanımı	Tek Eksenli Basma Dayanımı	Brazilian Dayanımı	Schmidt Sertliği	Mikro Deval Aşındırıcılık	Los Angeles Aşındırıcılık	Cerchar Aşındırıcılık
Yoğunluk	1	-0.703259	-0.784402	0.281931	0.281294	0.334654	0.0734847	-0.337755	0.135332	0.39331
Böhme Aşındırıcılık	-0.703259	1	0.716728	-0.494628	-0.570219	-0.56241	-0.156349	0.683778	0.217965	-0.78279
Gözeneklilik	-0.784402	0.716728	1	-0.415348	-0.376515	-0.477163	-0.30441	0.542775	0.149563	-0.332883
Nokta Yükleme Dayanımı	0.281931	-0.494628	-0.415348	1	0.851553	0.880642	0.640498	-0.670217	-0.574109	0.365442
Tek Eksenli Basma Dayanımı	0.281294	-0.570219	-0.376515	0.851553	1	0.864821	0.507377	-0.655853	-0.577939	0.51539
Brazilian Dayanımı	0.334654	-0.56241	-0.477163	0.880642	0.864821	1	0.305703	-0.585328	-0.538955	0.372542
Schmidt Sertliği	0.0734847	-0.156349	-0.30441	0.640498	0.507377	0.305703	1	-0.582624	-0.471751	0.241282
Mikro Deval Aşındırıcılık	-0.337755	0.683778	0.542775	-0.670217	-0.655853	-0.585328	-0.582624	1	0.664751	-0.464801
Los Angeles Aşındırıcılık	0.135332	0.217965	0.149563	-0.574109	-0.577939	-0.538955	-0.471751	0.664751	1	-0.0951829
Cerchar Aşındırıcılık	0.39331	-0.78279	-0.332883	0.365442	0.51539	0.372542	0.241282	-0.464801	-0.0951829	1

Şekil 4. 19. Tez çalışmasında yer alan kayaçların fiziko-mekanik ve aşındırıcılık deney sonuçlarının birbirleri arasındaki pozitif ve negatif ilişkileri

Şekil 4.19’ a bakıldığında fiziko-mekanik ve aşındırıcılık deney sonuçlarının birbirleri arasındaki korelasyon ilişkileri en yüksek olan parametreler;

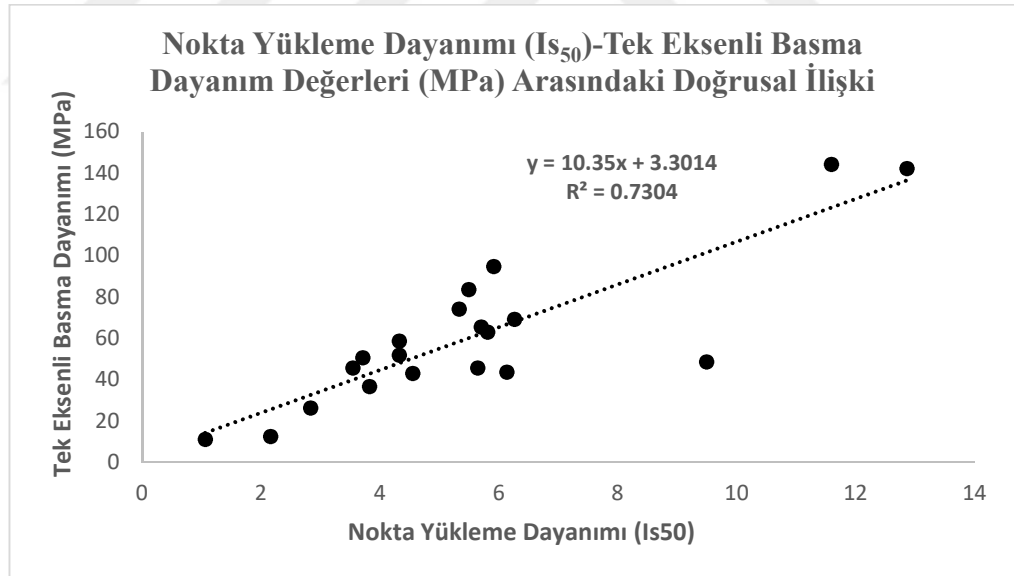
- 1- Yoğunluk-Gözeneklilik
- 2- Nokta Yükleme Dayanımı-Tek Eksenli Basma Dayanımı
- 3- Nokta Yükleme Dayanımı-Brazilian Dayanımı
- 4- Brazilian Dayanımı- Tek Eksenli Basma Dayanımı
- 5- Cerchar Aşındırıcılık-Böhme Aşındırıcılık Dayanımı olduğu görülmektedir.

Diğer parametreler arasında ise ilişki olmadığı görülmektedir. Güçlü korelasyon ilişkileri olan parametrelerin belirlilik katsayısı ve denklemleri aşağıda Şekil 4.20, 4.21, 4.22, 4.23 ve 4.24’te yer almaktadır.



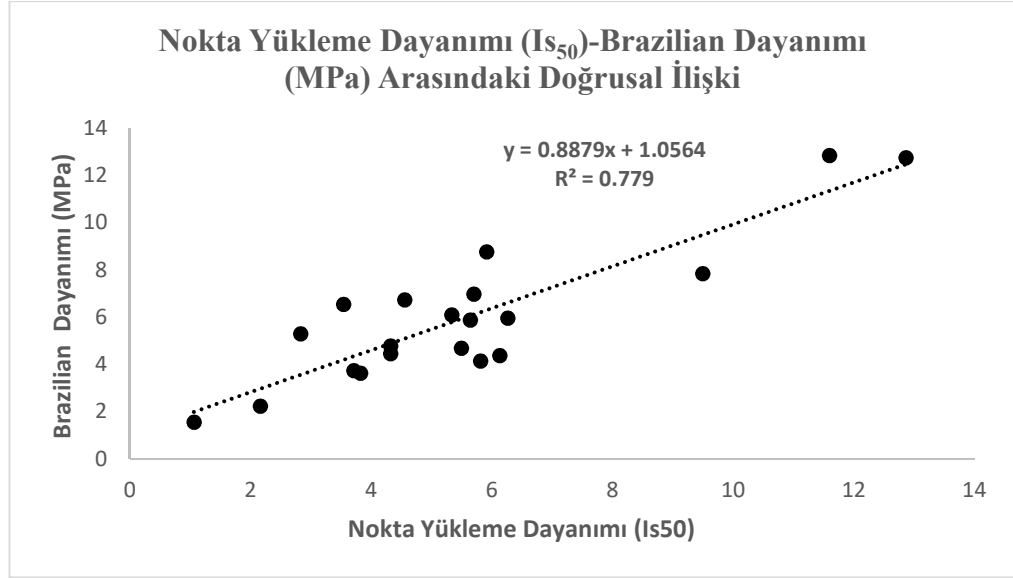
Şekil 4. 20. Doğal yoğunluk ile gözeneklilik arasındaki doğrusal regresyon ilişkisi

Şekil 4.20 analiz edildiğinde herhangi bir kayacın yoğunluğu arttıkça gözenekliliğinin düştüğü görülmektedir fakat belirlilik katsayısı ($R^2=0,6$) yorumlandığında aralarında güçlü olmayan negatif bir ilişki ortaya çıkmaktadır.



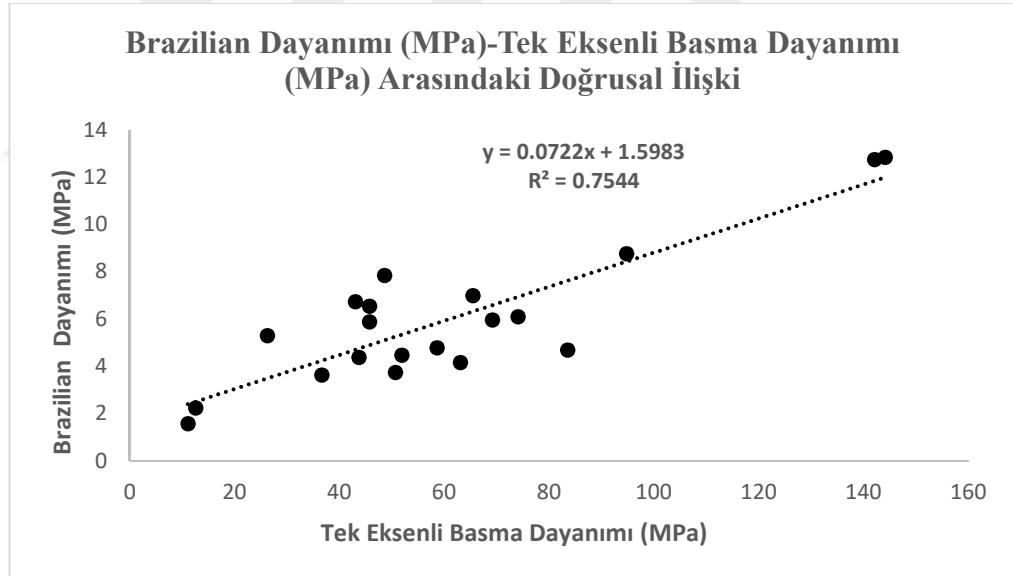
Şekil 4. 21. Nokta yükleme dayanımı ile tek eksenli basma dayanımı arasındaki doğrusal regresyon ilişkisi

Şekil 4.21 analiz edildiğinde herhangi bir kayacın nokta yükleme dayanımı arttıkça tek eksenli basma dayanımının da arttığı görülmektedir. Bu iki parametrenin belirlilik katsayısı ($R^2=0,73$) yorumlandığında aralarında güçlü bir ilişki olduğu söylenebilir.



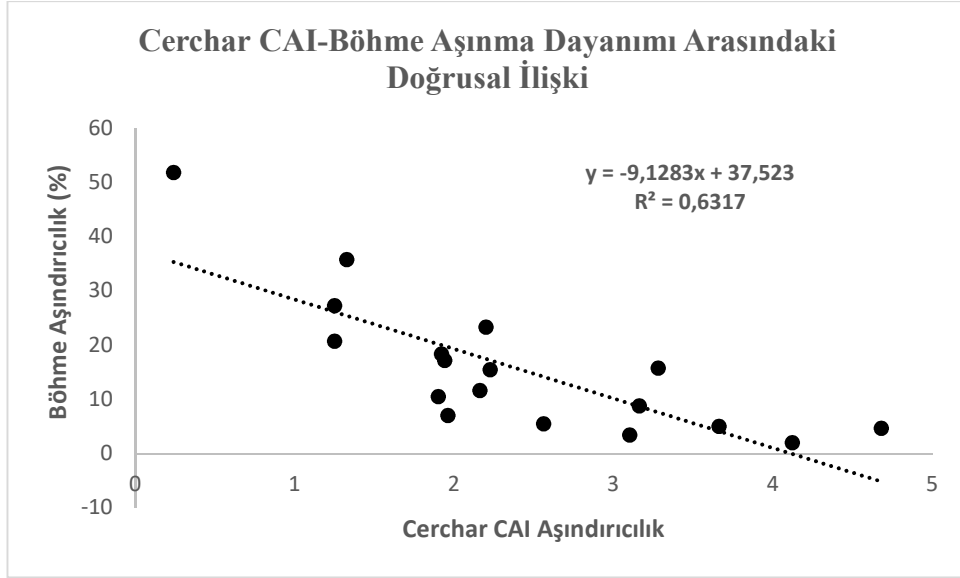
Şekil 4. 22. Nokta yükleme dayanımı ile Brazilian dayanımı arasındaki doğrusal regresyon ilişkisi

Şekil 4.22 analiz edildiğinde herhangi bir kayacın nokta yükleme dayanımı arttıkça Brazilian dayanımının da arttığı görülmektedir. Bu iki parametrenin belirlilik katsayısı ($R^2=0,77$) yorumlandığında aralarında çok güçlü bir ilişki olduğu söylenebilir.



Şekil 4. 23. Tek eksenli basma dayanımı ile Brazilian dayanımı arasındaki doğrusal regresyon ilişkisi

Şekil 4.23 analiz edildiğinde herhangi bir kayacın tek eksenli basma dayanımı arttıkça Brazilian dayanımının da arttığı görülmektedir. Bu iki parametrenin belirlilik katsayısı ($R^2=0,75$) yorumlandığında aralarında çok güçlü bir ilişki olduğu söylenebilir.



Şekil 4. 24. Cerchar CAI aşındırıcılık ile böhme aşındırıcılık dayanımı arasındaki doğrusal ilişki

Böhme aşındırıcılık deneyinde 18 adet kayacın deneyi yapılırken hematit ve kuvarsmuskovit kayacı numuneleri deney esnasında parçalandığı için veri elde edilememiştir. Bu nedenle 18 adet kayacın böhme ve Cerchar aşındırıcılık verileri karşılaştırılarak analiz edilmiştir. Şekil 4.24 analiz edildiğinde herhangi bir kayacın Cerchar aşınma dayanımı arttıkça böhme aşınma dayanımının düştüğü görülmektedir. Bu iki parametrenin belirlilik katsayısı ($R^2=0,63$) yorumlandığında aralarında güçlü olmayan negatif bir ilişki olduğu söylenebilir.

4.2.4. Kayaçların doku katsayısı formülünde yer alan parametrelerin kendi içindeki ilişkileri

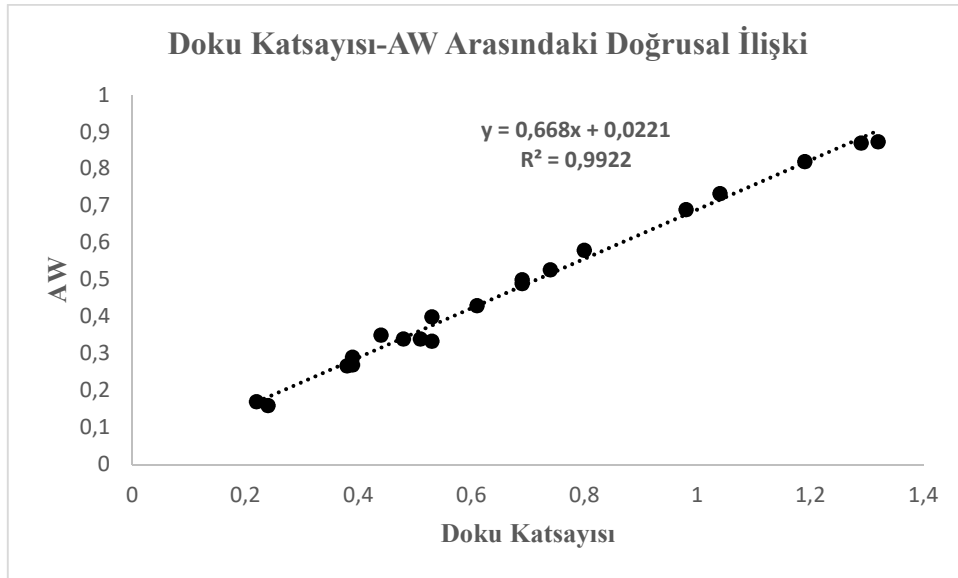
Kayaçların doku katsayısı değerleri ile doku katsayısı formülünde yer alan parametrelerin birbirleri arasındaki korelasyon ilişkileri Python'a yazdığımız kod yardımıyla tespit edilmiştir. Şekil 4.6' doku katsayısı formülünde yer alan parametrelerin birbirleri arasındaki korelasyon ilişkileri gösterilmektedir.

correlation_matrix - DataFrame

Index	aw	no	n1	ar1	af1	ff0	tc
aw	1	0.226779	0.455522	0.364465	0.163642	-0.41206	0.995988
no	0.226779	1	0.325557	-0.279339	-0.113747	-0.147176	0.220249
n1	0.455522	0.325557	1	0.526041	0.353587	-0.195332	0.44165
ar1	0.364465	-0.279339	0.526041	1	0.315469	-0.217497	0.369639
af1	0.163642	-0.113747	0.353587	0.315469	1	-0.308163	0.186792
ff0	-0.41206	-0.147176	-0.195332	-0.217497	-0.308163	1	-0.479415
tc	0.995988	0.220249	0.44165	0.369639	0.186792	-0.479415	1

Şekil 4. 25. Doku katsayı formülünde yer alan parametrelerin birbirleri arasındaki korelasyon ilişkileri

Şekil 4.25'te görüldüğü üzere parametrelerin birbirleri arasındaki pozitif ve negatif korelasyon ilişkileri yer almaktadır. En yüksek korelasyon ilişkisi ise doku katsayısı (TC) ile AW parametresi arasındadır ve çok yüksek pozitif bir ilişki görülmektedir. Diğer parametrelerin korelasyon ilişkileri ise çok düşük olduğu görülmektedir. Doku katsayısı ile AW parametresi arasındaki korelasyon ilişkisi çok yüksek oldu için bu iki parametrenin belirlilik katsayısının ve denkleminin belirlenmesi büyük bir önem arz etmektedir. Şekil 4.26'da doku katsayısı ve AW parametresinin belirlilik katsayısı ve denklemi yer almaktadır.



Şekil 4. 26. Kayaçların doku katsayısı ile AW değeri arasındaki doğrusal ilişki

Şekil 4.26 analiz edildiğinde kayaçların doku katsayısı değeri arttıkça AW değerinin de arttığı görülmektedir. Bu iki parametrenin belirlilik katsayısı ($R^2=0,99$) yorumlandığında aralarında çok güçlü bir pozitif ilişki olduğu görülmektedir. Doku

katsayısı ile AW parametresi arasındaki belirlilik katsayısı 1'e çok yakındır. Bu da bu iki parametrenin neredeyse birbirine eşit olduğunu göstermektedir. Yani herhangi bir kayacın doku katsayısını bulmak için doku katsayısı formülünde yer alan AW parametresinin bulunmasının tek başına yeterli olabileceği ortaya çıkmıştır.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu tez çalışmasında magmatik, metamorfik, sedimanter kayaçlar ve mineraller olmak üzere 20 adet kaya grubu yer almaktadır. Bu kayaçlar üzerinde fiziko-mekanik (Schmidt sertliği ölçümü, Brazilian dayanım deneyi, nokta yükleme dayanım deneyi, tek eksenli basma dayanım deneyi, yoğunluk ve gözeneklilik belirleme deneyi) ve aşındırıcılık (Los Angeles aşındırıcılık deneyi, mikro deval aşındırıcılık deneyi ve böhme aşındırıcılık deneyi) testleri gerçekleştirilmiştir. Kayaçların XRF analizleri yapılmıştır ve bu kayaçlardan ince kesitler alınarak ince kesit görüntülerinin mikroskop altındaki görüntüleri alınmıştır. İnce kesit görüntülerine dayanarak mineralojik ve petrografik tanımlama yapılmıştır. Daha sonra ise kayaçların ince kesit görüntüleri segmente edilmiş olup derin öğrenmeye dayalı görüntü işleme tekniği kullanılıp Python yazılım dilinde, tez kapsamında yazılım geliştirilerek kayaçların DK hesaplamaları yapılmıştır.

- I. Bu tez çalışmasında yer alan 20 adet kayacın fiziksel ve mekanik deney sonuçlarının birbirleri arasındaki korelasyon ilişkileri Python programına yazılan kod yardımıyla hesaplanmıştır. Daha sonra ise korelasyon ilişkisi yüksek olan parametrelerin birbirleri arasındaki lineer ilişkilerin belirlilik katsayıları ve denklemleri bulunmuştur. Fiziko-mekanik ve aşındırıcılık deney sonuçları arasında ilişki olan parametreler: yoğunluk-gözeneklilik, nokta yükleme dayanımı-tek eksenli basma dayanımı, nokta yükleme dayanımı-Brazilian dayanımı, Brazilian dayanımı-tek eksenli basma dayanımı ve Cerchar aşındırıcılık-Böhme aşındırıcılık dayanımı (sırasıyla $R^2=0,60-0,73-0,77-0,75-0,63$).
- II. Kayaçların DK değerinin görüntü işleme yöntemiyle hesaplanması bu tezin ana hedeflerinden biridir. Kayaçların doku katsayısı (DK) değerlerini bulmak için segmentasyon ve görüntü işleme teknikleri kullanılmıştır. Kayaçların ince kesit görüntüleri segmente edilmiş olup derin öğrenmeye dayalı görüntü işleme tekniği kullanılarak Python yazılım dilinde, yazılım geliştirilmiş ve kayaçların DK hesaplamaları yapılmıştır. Önerilen bu metodun doğruluğu segmentasyona bağlıdır. Çünkü herhangi bir kaya doku görüntüsündeki doku taneciklerinin en

küçük zerresinden en büyüğüne kadar hepsinin görülmesi ve doğru bir şekilde segmentasyon edilmesi, DK eşitliğindeki parametrelerin doğru hesaplanmasıyla birebir ilişkilidir. Kayaçların DK değerini net bir doğrulukla bulmak için DK değeri hesaplanacak kayaca ait dokudaki tüm doku taneciklerinin, her birinin net ve eksiksiz bir şekilde segmente edilmesi ya da belirlenmesi gereklidir. Bu işlem DK eşitliğinin ana ve en büyük faktörüdür. Daha sonra ise DK değeri hesaplanacak kaya dokusunda yer alan her bir doku taneciğinin eni, boyu, alanı, çevresi ve açısı muntazam şekilde bulunmalı ve DK eşitliğinde yer alan parametreler (AW , N_0 , N_1 , FF_0 , AR_1 ve AF_1) de hesaplanarak ulaşılmak istenen DK değerine varılmalıdır. Bu tez çalışmasında önerilen DK hesaplama metodu, öncelikle doğru ve eksiksiz bir segmentasyon gerçekleştirmekle sağlanabilmektedir. Bununla birlikte her bir doku taneciğinin istenen fiziksel özelliklerinin (doku taneciğinin eni, boyu, alanı, çevresi ve açısı) doğru bir şekilde hesaplanmasıyla mümkün olmaktadır. Kayaçlar için DK hesaplamada önerilen bu metod son derece özgün olmakla birlikte bu metodun segmentasyon doğruluk oranı ($IoU = 0,97$) çok yüksektir. Bu da bu metodun ne kadar hassas bir şekilde DK hesaplaması yaptığını göstermektedir. Ayrıca önerilen bu metod sayesinde herhangi bir kayacın DK değerini hesaplamak kısa sürede (en fazla 2 dakika) yapılabilmektedir.

- III. Kayaçların doku katsayısı değeri arttıkça AW değerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Bu iki parametre arasındaki doğrusal ilişkinin belirlilik katsayısı ($R^2=0,99$) çok yüksektir. Doku katsayısı formülünde yer alan AW değeri tek başına doku katsayısı değerini verdiği görülmektedir.
- IV. Bu tez çalışmasında çalışmanın bütününde 20 adet kayaç numunesi kullanılmış olmasına rağmen aşağıda detayları sunulan gruplandırmalarda kayaç örneği sayısı azalmıştır. :

1.grup örnekler (gabro, granit, mermer-1, mermer-2, mermer-3 ve kalsitli dolomit): Çalışmada yer alan kayaçların ince kesit görüntüleri makro ölçekte incelendiğinde tane yapılarının belirgin ve birbirlerine kenetli olduğu sınıflandırmayı içermektedir. Bu sınıflandırma sonucunda sınıflandırmada yer alan kayaçların fiziko-mekanik ve aşındırıcılık deney sonuç değerleri ile doku katsayısı değerleri arasında regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. 1.Grup numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri ile doku özellikleri arasındaki ilişki grafikleri incelendiğinde doku katsayısı ile Cerchar aşınma

indeksi değerleri arasında bir ilişkinin mevcut olabileceği görülmektedir ($R^2=0,71$). Diğer test sonuçları ile doku katsayısı değerleri arasındaki ilişki grafikleri incelendiğinde ise mevcut bir ilişkinin varlığından söz edilememektedir.

2.grup örnekler (bazalt, andezit-1, andezit-2, fonolit ve tüf): Çalışmada yer alan kayaçların ince kesit görüntüleri makro ölçekte incelendiğinde makro ölçekte bir hamurlaşmanın içerisinde belirli ölçekte tanelerin gözlemlendiği sınıflandırmayı içermektedir. Bu sınıflandırma sonucunda sınıflandırmada yer alan kayaçların fiziko-mekanik ve aşındırıcılık deney sonuç değerleri ile doku katsayısı değerleri arasında regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. 2.Grup numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri ile doku özellikleri arasındaki ilişki grafikleri incelendiğinde doku katsayısı ile Los Angeles aşınma indeksi değerleri arasında bir ilişkinin muhtemel olabileceği görülmektedir ($R^2=0,63$). Diğer test sonuçları ile doku katsayısı değerleri arasındaki ilişki grafikleri incelendiğinde ise mevcut bir ilişkinin varlığından söz edilememektedir.

3.grup örnekler (traverten, manyezit ve marn): Çalışmada yer alan kayaçların ince kesit görüntüleri makro ölçekte incelendiğinde makro ölçekte öz tane şekillerinin net belirgin olmadığı bir yapının gözlemlendiği sınıflandırmayı içermektedir. Bu sınıflandırma sonucunda sınıflandırmada yer alan kayaçların fiziko-mekanik ve aşındırıcılık deney sonuç değerleri ile doku katsayısı değerleri arasında regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. 3.Grup numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri ile doku özellikleri arasındaki ilişki grafikleri incelendiğinde doku katsayısı ile yoğunluk ve gözeneklilik değerleri arasında bir ilişkinin olabileceği görülmektedir (sırasıyla $R^2=0,82-0,94$). Diğer test sonuçları ile doku katsayısı değerleri arasındaki ilişki grafikleri incelendiğinde ise mevcut bir ilişkinin varlığından söz edilememektedir.

4.grup örnekler (kurşun, serpantin ve hematit): Bu çalışmada örnek olarak seçilen ve ince kesitleri hazırlanan numunelerin incelenmesi neticesinde kurşun, serpantin ve hematit numunelerinde yer alan metalik içerikler göz önünde bulundurularak sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma sonucunda sınıflandırmada yer alan kayaçların fiziko-mekanik ve aşındırıcılık deney sonuç değerleri ile doku katsayısı değerleri arasında regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. 4.Grup numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri ile doku özellikleri arasındaki ilişki grafikleri incelendiğinde doku katsayısı ile nokta yükleme dayanımı, tek eksenli basma dayanımı, Brazilian dayanımı, mikro deval

aşındırıcılık ve Los Angeles aşındırıcılık değerleri arasında bir ilişkinin mevcut olabileceği görülmüştür (sırasıyla $R^2=0,72-0,74-0,88-0,81-0,93$). Schmidt sertliği ve Cerchar aşınma indeksi arasında muhtemel bir ilişkinin varlığından söz edilebilmektedir (sırasıyla $R^2=0,53-0,63$).

5. grup örnekler (bazalt, fonolit, gabro, granodiyorit, andezit-1 ve andezit-2): Bu sınıflandırmada örnek olarak seçilen ve ince kesitleri hazırlanan numunelerin incelenmesi neticesinde bazalt, fonolit, gabro, granodiyorit, andezit-1 ve andezit-2 numunelerinde yer alan aşındırıcı mineral (plajiyoklas) göz önünde bulundurularak sınıflandırılmıştır. 5.Grup numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri ile doku özellikleri arasındaki ilişki grafikleri incelendiğinde doku katsayısı ile yoğunluk ve gözeneklilik değerleri arasında bir ilişkinin mevcut olabileceği görülmüştür (sırasıyla $R^2=0,80-0,73$). Cerchar aşınma indeksi arasında ise muhtemel bir ilişkinin varlığından söz edilebilmektedir ($R^2=0,54$).

5.2 Öneriler

- Kayaçların DK değerini tam bir doğrulukla bulmak için DK değeri hesaplanacak kayaca ait dokudaki tüm doku taneciklerinin, her birinin net ve eksiksiz bir şekilde segmente edilmesi ya da belirlenmesi gereklidir. Bu işlem DK eşitliğinin ana ve en büyük faktörüdür. Daha sonra ise DK değeri hesaplanacak kaya dokusunda yer alan her bir doku taneciğinin eni, boyu, alanı, çevresi ve açısı muntazam şekilde bulunmalı ve DK eşitliğinde yer alan parametreler (AW , N_0 , N_1 , FF_0 , AR_1 ve AF_1) de hesaplanarak ulaşılmak istenen DK değerine varılmalıdır. Bu tez çalışmasında önerilen DK hesaplama metodu her bir kaya dokusunda, öncelikle doğru ve eksiksiz bir segmentasyon gerçekleştirmekle birlikte her bir doku taneciğinin istenen fiziksel özelliklerini (doku taneciğinin eni, boyu, alanı, çevresi ve açısı) en doğru şekilde hesaplayarak doğru DK değerini vermektedir. Kayaçlar için DK hesaplamada önerilen bu metot son derece özgün olmakla birlikte bu metodun segmentasyon doğruluk oranı ($IoU= 0,97$) çok yüksektir. Bu nedenle görüntü işleme ve segmentasyon proseslerinde “segment anything” modelinin kullanılması önerilmektedir.
- Doku sınırları net ve belli olan kayaçlarda segmentasyon işlemi daha işlevsel ve detaylı bir ayırım işlemi yapmaktadır. Bu nedenle DK hesaplanacak kayaçların doku sınırlarının net ve belli olduğu kayaçlarda işlem daha belirgin ilerlemektedir. Doku katsayısı ile fiziko-mekanik ve aşındırıcılık arasındaki ilişkileri inceleyecek

araştırmacılar, tane yapılarının belirgin ve birbirlerine kenetli olduğu dokulara sahip kayaçları, bir hamurlaşmanın içerisinde belirli ölçekte tanelerin gözlemlendiği dokulara sahip kayaçları, aşındırıcı mineral içeren dokulara sahip kayaçları, metalik kayaçları ya öz tane şekillerinin net belirgin olmadığı dokulara sahip kayaçları sınıflandırıp numune sayısını artırarak araştırma yapımları önerilmektedir.



KAYNAKLAR

- Ajalloeian, R., Mansouri, H., & Baradaran, E. (2017). Some carbonate rock texture effects on mechanical behavior, based on Koohrang tunnel data, Iran. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 76, 295-307.
- Åkesson U, Lindqvist J, Göransson M, Stigh J (2001) Relationship between texture and mechanical properties of granites, Central Sweden, by use of image-analysing techniques. *Bull Eng Geol Environ* 60:277–284. <https://doi.org/10.1007/s100640100105>.
- Akkoç, E., 2002. Agregaların mekanik ve dokusal özellikleri arasındaki ilişkilerin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Alber M, Kahraman S (2009) Predicting the uniaxial compressive strength and elastic modulus of a fault breccia from texture coefficient. *Rock Mech Rock Eng* 42:117–127. <https://doi.org/10.1007/s00603-008-0167-x>.
- Allen Cooley, L., Michael, S. Huner and Robert H. James. 2002. NCAT Report 02-09, MicroDeval Testing of Aggregates in The Southeast, USA.
- Arama, Maden Tetkik ve Genel Müdürlüğü. "Dünyada ve Türkiye’de doğal taşlar." (2018).
- ASTM D7625-10. "Standard test method for laboratory determination of abrasiveness of rock using the CERCHAR method." American Society for Testing and Materials. 2010.
- Atici, U., and R. Comakli. "Evaluation of the physico-mechanical properties of plutonic rocks based on texture coefficient." *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy* 119.1 (2019): 63-69.
- Azzoni A, Bailo F, Rondena E, Zaninetti A (1996) Assessment of texture coefficient for different rock types and correlation with uniaxial compressive strength and rock weathering. *Rock Mech Rock Eng* 29:39–46. <https://doi.org/10.1007/BF01019938>.
- Baykan, N., Yilmaz, N., 2010. Mineral identification using color spaces and artificial neural networks. *Computers and Geosciences* 36 (1), 91–97.
- Bearman RA, Barley RW, HiDKhcock A (1991) Prediction of power consumption and product size in cone crushing. *Miner Eng* 4:1243– 1256. [https://doi.org/10.1016/0892-6875\(91\)90170-Z](https://doi.org/10.1016/0892-6875(91)90170-Z).
- Bell, F.G., 1978; "The Physical and Mechanical Properties of Fell Sandstones", Northumberland, England, *Engineering Geology*, Cilt 12, s.1-29.
- Bell FG, Culshaw MG (1998) Petrographic and engineering properties of sandstones from the Sneinton formation, Nottinghamshire, England. *Q J Eng Geol* 31:5–19. <https://doi.org/10.1144/GSL.QJEG.1998.031.P1.02>
- Bell, F. G., & Lindsay, P. (1999). The petrographic and geomechanical properties of some sandstones from the Newspaper Member of the Natal Group near Durban, South Africa. *Engineering Geology*, 53(1), 57-81.
- Berry P, Dantini EM, Massacci P (1984) Influence of mechanical characteristics of rock on size reduction processing. In: *Proc. Min. Process. Extractive Metall., Beijing, IMM*. pp 15–26.
- Bieniawski, Z. T. "The point-load test in geotechnical practice." *Engineering geology* 9.1 (1975): 1-11.
- Carcedo, F., Jimeno, C. L. ve Jimeno, E. L., 1995, *Drilling and blasting of rocks*, AA Balkema, Rotterdam, Netherlands.
- Carrino, L., Polini, W. and Turchetta S., "Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture", 216(8), 1095-1108, 2002.

- Chauhan, Swarup, et al. "Phase segmentation of X-ray computer tomography rock images using machine learning techniques: an accuracy and performance study." *Solid Earth* 7.4 (2016): 1125-1139.
- Cheng, Guo-jian, et al. "Rock image classification recognition based on probabilistic neural networks." *Science Technology and Engineering* 13.31 (2013): 9231-9235.
- Cheng, Guojian, Wenhui Guo, and Pengzhao Fan. "Study on rock image classification based on convolution neural network." *Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition)* 32.4 (2017): 116-122.
- Comakli R, Atici U (2017) Investigation of the relationship between the mineral shape properties and destruction specific energy in granitic rocks (in Turkish). *Scientific Mining Journal* 56:173–180.
- Comakli, R., & Cayirli, S. (2019). A correlative study on textural properties and crushability of rocks. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78, 3541-3557.
- Çomaklı, R., & Çayırılı, S. (2017). Kayaç Dokularındaki Minerallerin Bazı Şekil Özellikleri ile Kayaç Kırılabilirliği Arasındaki İlişkinin İncelenmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(2), 670-680.
- Deviren, M., Balcı, M. K., Leloğlu, U. M. ve Severcan, M., 2000; "A Feature Extraction Method for Marble Tile Classification", *International Conference on Computer Vision, Pattern Recognition and Image Processing (CVPRIP)*, Feb. 27- Mar. 3, Atlantic City, 2000.
- Diamantis, Konstantinos, et al. "Effect of textural characteristics on engineering properties of some sedimentary rocks." *J Cent South Univ* 28 (2021): 926-938.
- Dunlop, H., 2006. Automatic rock detection and classification in natural scenes (Master's thesis). Robotics Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh.
- Erdoğan, M. "Measurement of Polished Rock Surface Brightness By Image Analysis Methods", *Engineering Geology*, v. 57, 65-72, 2000.
- Ersoy A, Waller MD (1995) Textural characterisation of rocks. *Eng Geol* 39:123–136. [https://doi.org/10.1016/0013-7952\(95\)00005-Z](https://doi.org/10.1016/0013-7952(95)00005-Z).
- Erguvanlı, K., 1971, *Mühendislere Jeoloji*, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, Gümüşsuyu, 253 s.
- Esmailzadeh A, Behnam S, Mikaeil R et al (2017) Relationship between texture and uniaxial compressive strength of rocks. *Civil Engineering Journal* 3:480–486.
- Feng, Xia-Ting, et al. "Effects of high differential stress and mineral properties on deformation and failure mechanism of hard rocks." *Canadian Geotechnical Journal* 58.3 (2021): 411-426.
- Fereidooni, Davood, and Luís Sousa. "Predicting the Engineering Properties of Rocks from Textural Characteristics Using Some Soft Computing Approaches." *Materials* 15.22 (2022): 7922.
- Ghiasi-Freez, J., Soleimanpour, I., Kadkhodaie-Ilkhchi, A., Ziaii, M., Sedighi, M., Hatampour, A., 2012. Semi-automated porosity identification from thin section images using image analysis and intelligent discriminant classifiers. *Computers and Geosciences* 45, 36–45.
- Gökay, M.K. ve Gündoğdu, İ.B., "Color identification of Some Turkish Marbles", *Construction and Building Materials*, 22, 1342–1349, 2008.
- Gunsallus KL, Kulhawy FH (1984) A comparative evaluation of rock strength measures. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* and 21:233–248. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(84\)92680-9](https://doi.org/10.1016/0148-9062(84)92680-9).

- Günaydın, S. 2006. Kayaçların doku katsayıları ile fiziko-mekanik özellikleri arasındaki ilişkilerin incelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 80s, Isparta.
- Herdan, G., ve Smith, M.L., 1953. Small particale statistics. Elseveir, Houston.
- Hong, Kunui, Eunchol Han, and Kwangsong Kang. "Determination of geological strength index of jointed rock mass based on image processing." *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering* 9.4 (2017): 702-708.
- HOSSEINI, S. H., Pourrahimian, Y. ve AGHA, B. H., 2006, Physical modeling of joint's spacing and filling effects on drilling efficiency in mines.
- Howarth DF, Rowlands JC (1986) Development of an index to quantify rock texture for qualitative assessment of intact rock properties. *Geotech Test J* 9:169–179. <https://doi.org/10.1520/GTJ10627J>.
- Howarth, D.F. ve Rowlands, J.C., 1987; "Quantitative Assessment of Rock Texture and Correlation with Drillability and Strength Properties", *Rock Mechanics and Rock Engineering*, Cilt 20, s. 57-85.
- Hugman, R.H. ve Friedman, M, 1979; "Effects of Texture and Composition on Mechanical Behaviour of Experimentally Deformed Carbonate Rocks", *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, Cilt 63, s.1478- 1489.
- ISRM (1978) Suggested methods for determining tensile strength of rock materials. Suggested method for determining indirect tensile strength by Brazilian test. Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests. Z.T. Bieniawski and I. Haweks. *Int J Rock Mech. Min. Sci. Geomech Abstr.*
- ISRM Commission on the Classification of Rocks and Rock Masses (1981) Basic geotechnical description of rock masses. *Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abs* 18:85–110.
- ISRM, 1985; "Point load test, suggested method for determining point load strenght", *Int. J. Rock Mec. Min. Sci. Geomech Abstr.* 22, 55-60.
- İrfan, T.Y. ve Dearman, W.R. 1978; "The Engineering Petrography of a Weathered Granite in Cornwall, England", *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, Cilt 11, s.233-244.
- Jeo-26601 (2020). Metamorfik Kayaçlarda Doku ve Sınıflandırma. Laboratuvar Kılavuzu. Hacettepe Üniversitesi.
- Jeng, F. S., Weng, M. C., Lin, M. L., & Huang, T. H. (2004). Influence of petrographic parameters on geotechnical properties of tertiary sandstones from Taiwan. *Engineering Geology*, 73(1-2), 71-91.
- Kahraman S, Toraman OY (2008) Predicting Los Angeles abrasion loss of rock aggregates from crushability index. *Bull Mater Sci* 31:173– 177. <https://doi.org/10.1007/s12034-008-0030-4>.
- Kahraman S, Toraman OY, Cayirli S (2017) Predicting the strength and brittleness of rocks from a crushability index. *Bull Eng Geol Environ*. <https://doi.org/10.1007/s10064-017-1012-9>.
- Kahraman, S., Balcı, C., Yazıcı, S. ve Bilgin, N., 2000, Prediction of the penetration rate of rotary blast hole drills using a new drillability index, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 37 (5), 729-743.
- Kamani, M., & Ajalloeian, R. (2019). Evaluation of engineering properties of some carbonate rocks trough corrected texture coefficient. *Geotechnical and Geological Engineering*, 37, 599-614.
- Kandhal, P. S, Parker Jr, F. 1998. NCHRP Report 405: Aggregate Tests Related to Asphalt Concrete Performance in Pavements, USA.

- Kekeç, B., (2005) Yapı taşı olarak kullanılan kayaçların doku, fiziksel ve mekanik özelliklerin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi. 93 s.
- Kekeç B, Unal M, Sensogut C (2006) Effect of the textural properties of rocks on their crushing and grinding features. Journal of University of Science and Technology Beijing: Mineral Metallurgy Materials (Eng Ed) 13:385–392. [https://doi.org/10.1016/S1005-8850\(06\)60079-0](https://doi.org/10.1016/S1005-8850(06)60079-0).
- Kirillov, Alexander, et al. "Segment anything." arXiv preprint arXiv:2304.02643 (2023)
- Kourouma, A. (2019). *Kayaçların dokusal ve mineralojik özelliklerine bağlı olarak kırılma şekillerinin belirlenmesi* (Master's thesis, Konya Teknik Üniversitesi).
- Lanaro, F. "A Random Field Model for Surface Roughness and Aperture of Rock Fractures" International Journal of Rock Mechanics Mining Sciences & Geomech. Abstr., volume 37, p. 1195- 1210, 2000.
- Lepistö, Leena, Iivari Kunttu, and Ari Visa. "Color-based classification of natural rock images using classifier combinations." Image Analysis: 14th Scandinavian Conference, SCIA 2005, Joensuu, Finland, June 19-22, 2005. Proceedings 14. Springer Berlin Heidelberg, 2005.
- Lizotte YC, Scoble MJ (1994) Geological control over blast fragmentation. Can Min Metall Bull 87:57–71.
- Lumbreras, F., Serrat, J. "Segmentation of Petrographic Images of Marbles" Computer and Geosciences, Volume, 22 p.547-558, 1996.
- Mamat, H. S. (2014). Metal Madenciliğinde Yeraltı Açıklıklarının Tahkimatı ve Nümerik Yöntemler ile Analizi.
- Marmo, Roberto, et al. "Textural identification of carbonate rocks by image processing and neural network: Methodology proposal and examples." Computers & geosciences 31.5 (2005): 649-659.
- McFeat-Smith, I. ve Fowell, R.J., 1977; "Correlation of Rock Properties and the Cutting Performance of Tunnelling Machines", Proceedings of a conference on rock engineering, Newcastle Upon Tyne, England, s.581-602.
- McFeat-Smith, I., 1977; "Rock Property Testing for the Assessment of Tunnelling Machine Performance", Tunnels and Tunnelling, Mart, s.29-33.
- Minaee, Shervin, et al. "Image segmentation using deep learning: A survey." IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence 44.7 (2021): 3523-3542.
- Młynarczyk, Mariusz, Andrzej Górszczyk, and Bartłomiej Ślipek. "The application of pattern recognition in the automatic classification of microscopic rock images." Computers & Geosciences 60 (2013): 126-133.
- Momeni, A., Abdilor, Y., Khanlari, G. R., Heidari, M., & Sepahi, A. A. (2016). The effect of freeze–thaw cycles on physical and mechanical properties of granitoid hard rocks. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 75, 1649-1656.
- Moorhouse, W. W. (1959). The study of rocks in thin section. (No Title).
- Onodera, T.F. ve Asoka Kumara, H.M., 1980; "Relation Between Texture and Mechanical Properties of Crystalline Rocks", Bulletin of Int. Association of Engineering Geology, Cilt 22, s.173-177.
- Ozturk CA, Nasuf E (2013) Strength classification of rock material based on textural properties. Tunn Undergr Space Technol 37:45–54. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2013.03.005>.
- Ozturk CA, Nasuf E, Bilgin N (2004) The assessment of rock cutability, and physical and mechanical rock properties from a texture coefficient. Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy 104:397–402.
- Ozturk CA, Nasuf E, Kahraman S (2014) Estimation of rock strength from quantitative assessment of rock texture. J South Afr Inst Min Metall 114:471–480.

- Öztürk, C. A. (2006). Kayaç Dokusal Özelliklerinin Sınıflandırılması ve Kaya Mühendisliği Uygulamaları (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Passas, N., Butenueth, M., Freitas, M. H. "A Non Volumetric Method of Measuring the Ratio of Solids and Voids in Porous Materials With Computer Aided System" Bull. IAEG, Volume 53, p. 83-95, 1996.
- Přikryl R (2001) Some microstructural aspects of strength variation in rocks. Int J Rock Mech Min Sci 38:671–682. [https://doi.org/10.1016/S1365-1609\(01\)00031-4](https://doi.org/10.1016/S1365-1609(01)00031-4).
- Přikryl, R. (2006). Assessment of rock geomechanical quality by quantitative rock fabric coefficients: limitations and possible source of misinterpretations. Engineering Geology, 87(3-4), 149-162.
- Protodyakonov, M., 1962, Mechanical properties and drillability of rocks, Proceedings of the Fifth Symposium on Rock Mechanics, University of Minnesota, Minneapolis, MN, 103-118.
- Rahman, Ashfaqur, et al. "Association between imaging and XRF sensing: A machine learning approach to discover mineralogy in abandoned mine voids." IEEE Sensors Journal 16.11 (2016): 4555-4565.
- Räisänen M, Kupiainen K, Tervahattu H (2005) The effect of mineralogy, texture and mechanical properties of anti-skid and asphalt aggregates on urban dust, stages II and III. Bull Eng Geol Environ 64: 247–256. <https://doi.org/10.1007/s10064-004-0267-0>.
- Serradj, T., 1996, Method for assessment of rock drillability incorporating the Protodyakonov index, Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy. Section A. Mining Industry, 105.
- Shakoor, A. ve Bonelli, R.E., 1991; "Relationship Between Petrographic Characteristics, Engineering Index Properties and Mechanical Properties of Selected Sandstones", Bulletin of Association of Engineering Geology, Cilt 28, s.55-71.
- Skirotzki, W., 1994, Mechanisms of texture development in rocks, Texture of Geological Materials, pp. 167-186.
- Taheri, A., Qao, Q. ve Chanda, E., 2016, Drilling penetration rate estimation using rock drillability characterization index, Journal of The Institution of Engineers (India): Series D, 97 (2), 159-170.
- Tamrakar, N. K., Yokota, S., & Shrestha, S. D. (2007). Relationships among mechanical, physical and petrographic properties of Siwalik sandstones, Central Nepal Sub-Himalayas. *Engineering Geology*, 90(3-4), 105-123.
- Tandon RS, Gupta V (2013) The control of mineral constituents and textural characteristics on the petrophysical & mechanical (PM) properties of different rocks of the Himalaya. Eng Geol 153:125– 143. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2012.11.005>.
- Taşlıgil, N., & Şahin, G. (2016). Yapı Malzemesi Olarak Kullanılan Türkiye Doğal Taşlarının İktisadi Coğrafya Odağında Analizi. Marmara Coğrafya Dergisi, (33), 607-640.
- Thompson, David, et al. "Automatic detection and classification of features of geologic interest." 2005 IEEE aerospace conference. IEEE, 2005.
- Thuro, K., 1997, Prediction of drillability in hard rock tunnelling by drilling and blasting, World Tunnel Congress, 103-108.
- Tiryaki B, Dikmen AC (2006) Effects of rock properties on specific cutting energy in linear cutting of sandstones by picks. Rock Mech Rock Eng 39:89–120.
- TS 699, 2009. Doğal yapı taşları- İnceleme ve laboratuar deney yöntemleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 706 EN 12620+A1. Beton Agregaları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2009.

- TS EN 1097-1, 2002. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler-Bölüm 1: Aşınmaya Karşı Direncin Tayini (mikro-Deval).
- TS-EN-1097-2, 2010b, Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler-Bölüm 2: Parçalanma Direncinin Tayini İçin Yöntemler Necatibey Caddesi, 112 Bakanlıklar/ANKARA, Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 1936, "Natural Stone Test Methods-Determination of Real Density and Apparent Density, and Open Porosity", TSI, Ankara, Turkey (2007).
- Tuğrul A, Zarif IH (1999) Correlation of mineralogical and textural characteristics with engineering properties of selected granitic rocks from Turkey. Eng Geol 51:303–317. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(98\)00071-4](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(98)00071-4).
- Tumac D, Copur H, Balci C et al (2018) Investigation into the effects of textural properties on Cuttability performance of a chisel tool. Rock Mech Rock Eng. <https://doi.org/10.1007/s00603-017-1376-y>.
- Ullemeyer, K., Braun, G., Dahms, M., Kruhl, J. H., Olesen, N. Ø., & Siegesmund, S. (2000). Texture analysis of a muscovite-bearing quartzite: a comparison of some currently used techniques. Journal of Structural Geology, 22(11-12), 1541-1557.
- Ulusay, R. (1989). Pratik jeoteknik bilgiler. Teknomad Yayınları.
- Ulusay, R., Türeli, K. ve Ider, M.H., 1994; "Prediction of Engineering Properties of a Selected Litharenite Sandstone from its Pétrographie Characteristics using Correlation and Multivariate Statistical Techniques", Engineering Geology, Cilt 37, s. 135-157.
- Ündül, Ö. (2016). Assessment of mineralogical and petrographic factors affecting petrophysical properties, strength and cracking processes of volcanic rocks. Engineering Geology, 210, 10-22.
- Wang, W. "Image Analyses of Aggregates" Computers and Geosciences, Volume 25, p. 71-81, 1999.
- West, G., 1986; "A Relation Between Abrasiveness and Quartz Content for Some Coal Measures Sediments", International Journal of Mining and Geology, Cilt 4, s.73-78.
- Williams, H., Turner, F. J., & Gilbert, C. M. (1982). Petrography: An introduction to the study of rocks in thin section.
- Yesiloglu-Gultekin, N. U. R. G. Ü. L., Sezer, E. A., Gokceoglu, C., & Bayhan, H. (2013). An application of adaptive neuro fuzzy inference system for estimating the uniaxial compressive strength of certain granitic rocks from their mineral contents. *Expert Systems with Applications*, 40(3), 921-928.
- Zhang, Ye, Mingchao Li, and Shuai Han. "Automatic identification and classification in lithology based on deep learning in rock images." *Yanshi Xuebao/Acta Petrologica Sinica* 34.2 (2018): 333-342.
- Zorlu K, Ulusay R, Ocakoglu F et al (2004) Predicting intact rock properties of selected sandstones using petrographic thin-section data. Int J Rock Mech Min Sci 41. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2004.03.025>.