

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**LOS ANGELES AŞINMA KAYBININ ALTERNATİF BİR YÖNTEMLE
KESTİRİLMESİ**

Cemal GÜNDOĞUŞ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ANKARA
2021**

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

LOS ANGELES AŞINMA KAYBININ ALTERNATİF BİR YÖNTEMLE KESTİRİLMESİ

Cemal GÜNDOĞUŞ

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Kamil KAYABALI

Agregaların, sahadaki performansları ile korelasyon eksikliği nedeniyle 1925 yılında geliştirilen Los Angeles aşınma deneyi (LAAT), 1937 yılında ASTM tarafından kabul edilmiştir. Agregaların sertliği ile aşınma özelliklerinin belirlendiği bu deney dünyada çok yaygın bir şekilde kullanılmasına rağmen bazı dezavantajları vardır. Test cihazının çok gürültülü çalışması, cihazın geniş alan kaplaması, numune hazırlama ve deney aşamalarının uzun sürmesi (numunenin hazırlanmasından deneyin bitimine kadar geçen süre 37 saati bulabilmektedir), diğer benzer testlere göre daha fazla numune gereksinimi ve fiziksel açıdan zorlayıcı olması bu deneyin dezavantajları olarak sıralanabilir. Bu tez çalışmasının amacı fazla numune ihtiyacı olan ve çok gürültülü çalışan Los Angeles aşınma deneyinin (LAAT) yerine, tek eksenli sıkışma dayanımı deneyi, modifiye Proctor deneyi ve görüntü analizi yaparak ampirik ilişkiler elde etmek ve bu ilişkilerin geçerliliğini test etmektir. Bu amaçla hazırlanan 11 farklı kaya numunesi fotoğraflandıktan sonra Image-Pro Plus programı ile fraktal boyut analizi, tek eksenli sıkışma dayanımı deneyi, L.A. aşınma deneyi ve modifiye Proctor deneyi yapılmıştır. Tek eksenli sıkışma dayanımı ile L.A. aşınma deneyi, tek eksenli sıkışma dayanımı ile fraktal boyut analizi, modifiye Proctor deneyi ile L.A. aşınma deneyi ve L.A. aşınma deneyi ile fraktal boyut analizi kendi aralarında basit regresyon analizi yapılarak değerlendirilmiş olup bu değerler dikkate alındığında Los Angeles aşınma deneyi ile modifiye Proctor deneyi arasında anlamlı bir ilişki bulunabileceği anlaşılmıştır. Bulunan deneştirme katsayıları ile atıflardaki anlamlı ilişkiler karşılaştırıldığında farklı türden kaya numunelerinden çok sayıda örnek alınması önerilmektedir.

Şubat 2021, 94 sayfa

Anahtar kelimeler: Los Angeles aşınma testi, tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_c), fraktal boyut, yüzey pürüzlülüğü, köşelilik, modifiye Proctor

ABSTRACT

Master Thesis

ESTIMATION OF LOS ANGELES ABRASION LOSS USING AN ALTERNATIVE METHOD

Cemal GÜNDOĞUŞ

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geological Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Kâmil KAYABALI

LA Abrasion Test, developed in 1925 due to lack of correlation with performance of aggregates in the field, was accepted by ASTM in 1937. Although this test determines the hardness and abrasion properties of aggregates, it has disadvantages even though it is widely used in the world. The disadvantages of this test are the very noisy operation of the test device, the large area that device contains, the long duration of sample preparation and the experiment (the time from sample preparation to the end of the experiment may take up to 37 hours), the need for more samples than other similar tests, and the fact that it is physically challenging. The aim of this thesis is to obtain empirical relationships and test the validity of these relationships by performing uniaxial compressive strength test, modified Proctor test and image analysis instead of Los Angeles abrasion test (LAAT) which requires high amount of samples and runs very loudly. After photographing 11 different rock samples, fractal dimension analysis, uniaxial compressive strength test, LAAT, and modified Proctor test were performed for the purpose. The results were evaluated by making simple regression analysis among themselves and when these values were taken into consideration, it was understood that there could be a significant relationship between LAAT and the modified Proctor test. When comparing coefficients of determination that is found with citations, it is recommended to take a large number of samples from different types of rock samples.

February 2021, 94 pages

Key Words: Los Angeles abrasion test, uniaxial compressive strength (σ_c), fractal dimension, surface roughness, angularity, modified Proctor test

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması kapsamında Los Angeles aşınma kaybının (LAA%) fazla numune ihtiyacı olan ve çok gürültülü çalışan deney tamburu yerine modifiye Proctor deneyi, tek eksenli sıkışma dayanımı ve agrega numunelerinin görüntü analizi ile bulunan fraktal boyut değerleri ile birlikte elde edilecek olan ampirik ilişki yardımıyla bulunması amaçlanmıştır.

Yüksek Lisans çalışmam esnasında, bilgi, öneri ve yardımları ile çalışmalarımı yönlendiren ve gelişmeye katkıda bulunan, tez çalışmamın ve araştırmamın her aşamasında engin bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım danışmam hocam Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Öğretim Üyesi Sayın Prof. Dr. Kâmil KAYABALI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Numunelerin ince kesit ve tanımlamalarında yardımlarını esirgemeyen Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Öğretim Üyesi Sayın Yusuf Kağan KADIOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Değerli bilgi ve yorumları ile katkı sağlayan Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Öğretim Üyesi Sayın Sair KAHRAMAN'a teşekkür ederim.

Bilgi ve deneyimleri ile katkı sağlayan ve tez çalışmamın bütün aşamalarında, yardımlarını ve önerilerini esirgemeyen meslektaşım Sayın Deniz YILMAZ'a teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmalarında yardımlarını ve önerilerini esirgemeyen meslektaşım Mahmut ÇIKLAÇOPUR'a teşekkür ederim.

Yüksek lisans tez çalışmamın tüm aşamalarında ilgi ve destekleri ile yanımda olan, maddi ve manevi desteklerle bana güç veren sevgili aileme en derin sevgi ve şükranlarımı sunarım.

Cemal GÜNDOĞUŞ

Ankara, Şubat 2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	ii
SİMGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	iviii
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	7
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	13
3.1 Numunelerin Fiziksel ve İndeks Özelliklerinin Belirlenmesi.....	13
3.2 Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı Deneyleri.....	15
3.3 Fraktal Boyut Analizi.....	17
3.4 Los Angeles Aşınma Deneyi.....	19
3.5 Modifiye Proctor Deneyi.....	22
4. DENEYSEL BULGULAR.....	24
4.1 Mineralojik Özellikler.....	24
4.2 Los Angeles Aşınma Değeri.....	31
4.3 Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı.....	32
4.4 Fraktal Boyut, D.....	35
4.5 Modifiye Proctor Deneyi.....	38
4.6 Regresyon Analizi.....	40
5. SONUÇLAR.....	43
KAYNAKLAR.....	46
EKLER.....	50
EK 1 Normal gerilme-eksenel birim deformasyon çizelge ve grafikleri.....	51
EK 2 Image-Pro Analizi Ekran Görüntüleri.....	62
ÖZGEÇMİŞ.....	84

SİMGELER DİZİNİ

σ_c	Tek eksenli sıkışma dayanımı
D	Fraktal boyut
1D	Çizgi fraktal boyutu
gr	Gram
L/D	Boy/Çap oranı
ΔL	Yükleme anında boydaki değişim
M	Kütle
mm	Milimetre
MPa	Megapaskal
γ	Birim ağırlık
σ	Normal gerilme
ϵ_a	Eksenel birim deformasyon
AIMS	Agrega görüntüleme sistemi
ASTM	Amerikan Test ve Malzeme Derneği
LAAT	Los Angeles Aşınma Deneyi
LAA	Los Angeles aşınma dayanımı
MP	Modifife Proctor

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Tek eksenli sıkıştırma işleminde tipik laboratuvar gerilme-birim deformasyon eğrileri Pells (1993).....	5
Şekil 3.1 a) Kesilmiş kaya numuneleri, b) Karot alınan kaya numunesi	14
Şekil 3.2 (a) LA Aşınma deneyi için farklı tane boyutuna göre hazırlanmış numuneler, (b) ASTM standardına göre alınan karotlar	14
Şekil 3.3 Tek eksenli sıkışma dayanımı deney düzeneği	16
Şekil 3.4 a) Deney sırasında numune, b) Deney sonrası numune	17
Şekil 3.5 Fraktal boyut analizi için fotoğraflanan numuneler	18
Şekil 3.6 Image-Pro Plus için hazırlanan görüntü	18
Şekil 3.7 Image-Pro Plus ekran görüntüsü	19
Şekil 3.8 LA Aşınma deneyi için farklı tane boylarına göre hazırlanmış numune örnekleri	21
Şekil 3.9 LA aşınma kaybı deney düzeneği	22
Şekil 3.10 a) Modifiye Proctor deney düzeneği, b) LA Aşınma dayanımı deney sonrası görüntü	23
Şekil 4.1 No 1 işaretli Diyabaz bileşimindeki kayanın mikrofotografı (Çapraz nikol)	25
Şekil 4.2 No 2 işaretli Bazalt bileşimindeki kayanın mikrofotografı (Çapraz nikol)	25
Şekil 4.3 No 3 işaretli Trakit bileşimindeki kayanın mikrofotografı (Çapraz nikol)	26
Şekil 4.4 No 4 işaretli Litik Tüf bileşimindeki kayanın mikrofotografı (Çapraz nikol)	26
Şekil 4.5 No 5 işaretli Granodiyorit bileşimindeki kayanın mikrofotografı (Çapraz nikol)	27
Şekil 4.6 No 6 işaretli Mermer bileşimindeki kayanın mikrofotografı (Çapraz nikol)	27
Şekil 4.7 No 7 işaretli İgnimbirit bileşimindeki kayanın mikrofotografı (Çapraz nikol)	28
Şekil 4.8 No 8 işaretli Gölsel Kireçtaşı bileşimindeki kayanın mikrofotografı (Çapraz nikol)	29
Şekil 4.9 No 9 işaretli Killi Kireçtaşı bileşimindeki kayanın mikrofotografı (Çapraz nikol)	29
Şekil 4.10 No 10 işaretli Kireçtaşı bileşimindeki kayanın mikrofotografı (Çapraz nikol) ..	30
Şekil 4.11 No 11 işaretli Kireçtaşı bileşimindeki kayanın mikrofotografı (Çapraz nikol) ..	30
Şekil 4.12 2 numaralı numunenin eksenel birim deformasyon-normal gerilme grafiği	34

Şekil 4.13 Tek eksenli sıkışma dayanımı- LA Aşınma kaybı grafiği	34
Şekil 4.14 Tek eksenli sıkışma dayanımı- fraktal boyut grafiği	37
Şekil 4.15 LAA-fraktal boyut grafiği.....	37
Şekil 4.16 LA aşınma kaybı-Modifiye Proctor grafiği	40



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 İnce kesit analizi sonucu kaya isimleri	15
Çizelge 3.2 Deney numunelerinin sınıflandırılması.....	20
Çizelge 4.1 Los Angeles Aşınma deneyi sonrası kayıplar	31
Çizelge 4.2 Tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri.....	33
Çizelge 4.3 2 Numaralı numunenin tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri	33
Çizelge 4.4 Agregaların fraktal boyut değerleri.....	36
Çizelge 4.5 Modifiye Proctor deneyi sonuçları	38
Çizelge 4.6 LAA-MP aşınma yüzdeleri karşılaştırması.....	39
Çizelge 4.7 Farklı bağımsız değişkenler ile LAA arasında bulunan anlamlı denklemler (a, b, c, d, e, f ve g sabit değerlerdir).....	42

1. GİRİŞ

Artan nüfus ile paralel olarak şehirleşme ve bununla birlikte köprü, yol, bina ve metro gibi yapıların artışı, ayrıca nüfus artışı ile beraber gelen yüksek enerji ihtiyacı nedeniyle büyük barajların inşası temel yapı birimi olan agregaların önemini de arttırmaktadır. Agregalar, doğal kumlardan ve çakıllardan veya taş ocağından çıkan kayaların kırılmasıyla elde edilen sağlam kaya parçacıklarından oluşur (Eden ve French 2005). Agregalar alındığı kayanın kökenine bağlı olarak farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olabilir. Doğadan (akarsu yatakları, çöl ve deniz kıyıları) doğrudan doğruya taneli olarak temin edilebilen veya taş ocağı işletmeciliğiyle üretilen taş bloklarının kırılıp elenmesi ile elde edilen taneli malzemeye kırmataş denmektedir (Arioğlu vd. 2006). Kökenleri farklı olan kırmataşlarda yapılan çalışmada, kayaçların petrografik özellikleri ve şeklinin agrega kırılma ve darbe dayanımlarını etkilediği belirtilmiştir (Ramsay vd. 1974). Fookes'e (1991) göre kayaların mühendislik özellikleri ile darbe dayanımları, kayaların agrega olabirliğini etkileyen önemli parametrelerdir. Edet (1992) kayaların agrega olabirliğini fiziksel özellikleri ve bünyesindeki mikro çatlakların kontrol ettiğine değinerek, özellikle patlatma yolu ile üretilmiş agregalarda bu duruma dikkat edilmesi gerektiğini belirtmiştir. Williams ve McNamara (1992) bileşimleri farklı olan kireçtaşları üzerinde yaptıkları çalışmada kireçtaşlarındaki mineralojik bileşimin değişmesinin kayaların dirençlerini önemli oranda etkilediğini ortaya koymuşlardır. Agregalar çeşitli litolojilere sahip olmakla birlikte yapı projelerinin en temel malzemeleri arasındadır. Örneğin beton üretiminde kullanılan agreganın tane şekli, mineral yapısı, aşınma dayanımı, tane dağılımı, özgül ağırlığı, don dayanımı, su emmesi, birim ağırlığı, boşluk oranı, sertliği ve kimyasal etkilere olan dayanımı beton dayanımını etkileyen en önemli etkenlerdendir. Ayrıca agregalar karayolu, demiryolu, otoyol, bina, köprü, beton baraj ve diğer inşaat projelerinin ana bileşenleridir. Örneğin yol inşaatlarında, alt temel, temel ve kaplama tabakalarından oluşan bir sistem olan esnek üst yapılarda kullanılan malzemelerin yaklaşık %95'i agregadan oluşmaktadır. Dolayısıyla, agreganın dış etkenlere karşı olan dayanımı son derece önemli olup, agregaların en önemli özelliklerinden birisi darbeye, çarpışmaya ve yıpranmaya karşı olan dayanımıdır (Ajalloeian ve Kamani 2017). Bu yapı malzemesinin aşınmaya karşı dayanımı, asfalt, demiryolu balastı,

yol tabanı ve beton agregaları gibi uygulamalar için en gerekli özelliklerden birisidir (Hofer vd. 2013 Afolagboye vd. 2015). Agregaların aşınmaya karşı direncinin tespiti için Böhme deneyi, dikey (geniş diskli) aşındırma deneyi, Los Angeles aşındırma testi gibi farklı deneyler olsa da başlıca deney Los Angeles aşınma deneyidir (LAAT) (Al-Harhi 2001).

LAA testi hem agregaların birbirleri arasında yuvarlanıp çarpışması ile oluşan aşınmaya hem de deney cihazının içindeki çelik bilyelerin oluşturduğu çarpışma ve ufalama etkisiyle oluşan aşınmaya karşı direnci değerlendirmek için yapılır (Fener ve Kahraman 2007). Dünya çapında yoğun kullanımına rağmen LAAT özel donanım gerektiren ve fazla numune ihtiyacı olan zaman alıcı bir deneydir. Bu deney ile alakalı bir başka dezavantaj ise bazı durumlarda diğer agregada deneylerinin test sonuçları bulunabilirken LAAT'nin yapılabilmesi için yeterli sayıda numuneye erişimin zor veya kısıtlı olmasıdır (Esfahani vd. 2018). Dolayısıyla LAAT ile diğer agregada deneyleri arasında bir korelasyon yapılması ekonomik ve teknik açıdan faydalı olacaktır. Kurulan bu ilişki ile agregaların LAA deneyindeki davranışlarını daha iyi anlamak mümkün olabilecektir. Bu bağlamda kaya mühendisliğinde farklı parametreleri ilişkilendirmek, çeşitli amaçlar için kullanılabilen yaygın bir uygulamadır (Palassi ve Danesh 2016). LAAT ile diğer yaygın agregada deneyleri arasındaki ilişkinin daha iyi anlaşılması ile birlikte mühendislerin uygun kalitede agregaları seçmesi projelerin ön hazırlık aşamasında sağlanabilecektir. Agregada uygulamalarının çoğu, malzemenin sağlam olmasını gerektirir çünkü yeterli sertlik ve aşınma direncine sahip olmayan agregalar inşaat ve performans sorunlarına neden olabilir (Uğur vd. 2010). Agregaların belirli bir inşaat tipinde kullanımı için uygunluğu, malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri açısından değerlendirilmesiyle belirlenir. Bağlı olmayan taneli malzemenin aşınma direncini ölçmek için standart bir yöntem olan LAAT ile elde edilen değerler temel olarak taşıma, harmanlama ve yerleştirme işlemleri sırasındaki darbe ve örselenmenin neden olduğu parçalanmayı ölçmektedir (Mohajerani vd. 2017).

Los Angeles aşınma deneyi (LAAT) ilk olarak 1920'lerde kaldırım malzemelerinin kalitesinin değerlendirilmesinde nicel bir yöntem sağlamak için geliştirilmiştir (Prowell vd. 2005). Zamanla LAAT çeşitli uluslararası standartlara dahil edildiğinden Los Angeles

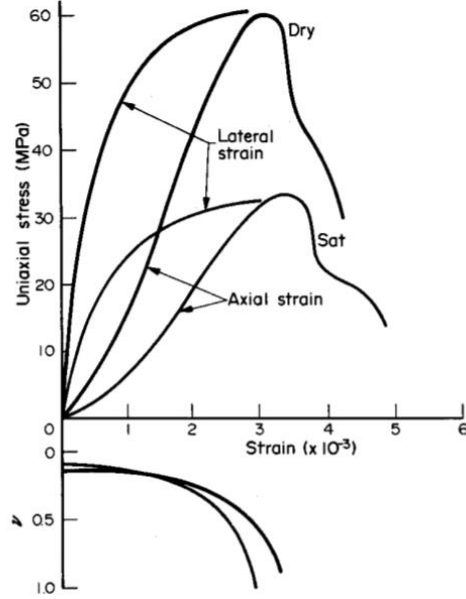
aşınma dayanımı değerinin alternatif yöntemlerle ilişkisini araştırmak için birkaç girişimde bulunulmuştur. Kahraman ve Toraman'a (2008) göre bunun sebebi, test prosedürünün zaman alıcı olması ve doğrudan veya dolaylı diğer yöntemlere göre daha fazla numune gerektirmesidir. LAAT doğal veya yapay agregaların standartlarla belirlenmiş yükü belirli bir süre uygulayarak aşınmaya karşı dayanımlarının hesaplanmasında kullanılmakta olup buradaki hedef agregaların dış ortamda karşılaşılabileceği aşındırma kuvvetlerini benzeştirerek amaca (karayolu beton ve asfalt kaplamaları, akarsu köprü ayağı, sulama kanalının kaplama betonlarında vb.) uygun olup olmadığının araştırılmasıdır. Deneyin çok gürültülü olması, fazla numune gereksinimi, numunenin hazırlanmasından deneyin tamamlanmasına kadar uzun bir sürenin geçmesi, deneyin fiziksel zorlukları gibi nedenlerden dolayı LAA değerinin kestirilmesinde alternatif arayışlara girilmiştir.

Kazi ve Al-Mansour (1980) ile Ballivy ve Dayre (1984) tek eksenli sıkışma dayanımı deneyi ile Los Angeles deneylerini karşılaştırmıştır. Kasim ve Shakoor (1996) standart Proctor, tek eksenli sıkışma dayanımı ve Los Angeles deneylerini arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Al Harthi ve Abo Saada (1997) 90 agrega ile yaptıkları inceleme LAA ile agrega darbe değeri ve agrega kırılma değerleri arasındaki korelasyon araştırılmıştır. Fener ve Kahraman (2007) LAAT, tek eksenli sıkışma dayanımı ve porozite testlerini yaparak karşılaştırmıştır. Hunt (2001) Mikro-Deval ile L.A. deneylerini karşılaştırmıştır. Cooley ve James (2003) LAAT ile Mikro-Deval deneylerini karşılaştırmıştır. Prowell vd. (2005) LAAT ile sodyum sülfat dona dayanıklılık ve Mikro-Deval deneylerini karşılaştırdığında aralarında iyi bir korelasyonun olduğu sonucuna ulaşmıştır. Rangaraju vd. (2005) Mikro-Deval ile Los Angeles deneylerini karşılaştırmıştır. Brandes ve Robinson (2006) ABD'de yaptıkları çalışmada Mikro-Deval, Los Angeles deneyleri ve sodyum sülfat dona dayanıklılık testlerini karşılaştırmıştır. Fowler vd. (2006) yaptıkları çalışmada Mikro-Deval, Los Angeles, sodyum sülfat ve donma-çözülme deneyleri arasındaki korelasyonu araştırmışlardır. Kolay ve Kayabalı'nın (2005) yaptıkları çalışmada bir deney numunesinin profilinde köşeliliğin artması ve profilin dairesellikten uzaklaşması durumunda fraktal boyut değerinin büyüdüğü sonucuna varılmıştır. Kolay'ın (2007) mikro yapıların ve köşeliliğin suda dağılmaya karşı duraylılık indeksine etkisinin incelendiği çalışmasında mikro süreksizlik içermeyen deney örneklerinde

köşeliliğinin suda dağılmaya karşı duraylılık indeksini etkileyen önemli bir etken olduğu sonucuna varılmıştır. Cuelho vd. (2008) LAAT, sodyum sülfat ve magnezyum sülfat dona dayanıklılık testlerini karşılaştırmışlardır. Özçelik (2011) Los Angeles aşınma kaybını kayaların bazı fiziksel ve mekanik özellikler ile tahmin edilmesini araştırmıştır. Nener-Plante (2013) sıcak asfalt karışımları ile ilgili yaptığı çalışmada LAAT ile Mikro-Deval testi arasındaki ilişkiyi irdelemiştir. Török (2014) 31 andezit ve 8 bazalt agregasında LAA ile Mikro-Deval testlerini karşılaştırmıştır. Palassi ve Danesh (2016) 20 agrega numunesinde LAA ile agrega darbe değeri ve agrega kırılma değerleri arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Mohajerani vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada modifiye Proctor sıkıştırma testinin Los Angeles aşınma değerinin belirlenmesinde uygun bir alternatif olup olamayacağı incelenmiştir. Liu vd. (2017) yaptığı çalışmada Mikro-Deval ile LAAT arasında bir ilişki olup olmadığı incelenmiştir. Kılıç ve Kahraman'ın (2017) kireçtaşı agregalarında yaptıkları incelemede LAA ile Shore sertliği, tek eksenli sıkışma dayanımı, su emme oranı ve özgül ağırlık parametreleri arasındaki ilişkiyi araştırılmıştır. Esfahani vd. (2018) yaptıkları çalışmada agrega çarpışma değeri, su emiciliği, agrega darbe değeri, tek eksenli sıkışma dayanımı, nokta yük dayanım indeksi parametreleri ile LAA değerinin öngörebilirliğini incelenmiş LAAT ile tek eksenli sıkışma dayanımı deneyi arasında $R^2=0,263$ gibi düşük bir deneştirme katsayısına ulaşılmıştır. Aksoy (2018) 5 farklı kireçtaşından oluşan 54 adet kayaç numunesi ile yaptığı çalışmada Los Angeles aşınma değerinin basit laboratuvar deneyleriyle elde edilen indeks özellikleri ile bulunması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda 7 değişken ile yapılan lineer regresyon analizinde $R^2= 0,99$ bulunmuş ancak değişken sayısı azaldıkça determinasyon katsayısının düştüğü ve hataların arttığı belirtilmiştir. Görüldüğü gibi Los Angeles aşınma deneyi ile birçok farklı deney veya parametre arasındaki ilişki karşılaştırılmışsa da bu çalışmada yapılan fraktal boyut analizi ile LA aşınma kaybının arasında olabilecek bir bağlantı daha önce çalışılmamıştır.

Tek eksenli sıkışma (UCS) testi, kaya mekaniği çalışmaları için yapılan en yaygın laboratuvar testidir. Ayrıca bu deney, yapıların yüklere karşı stabilitesini değerlendirmek için farklı mühendislik projelerinde yaygın olarak kullanılan kayaların en önemli mekanik özelliklerinden birisidir Gholami ve Fakhari (2017). Laboratuvar deneyleri sonucu

çoğunlukla karşılaşılabilecek gerilme-birim deformasyon eğrileri aşağıda gösterilmiştir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 Tek eksenli sıkıştırma işleminde tipik laboratuvar gerilme-birim deformasyon eğrileri Pells (1993)

Mandelbrott (1977), doğadaki düzensiz ve parçalanmış kalıpları karakterize etmek ve görünüşte kaotik ve rastgele kalıpların ölçülebileceği bir araç sağlamak için fraktal geometri geliştirmiştir. Fraktal boyut köşeliliği ölçmek için kullanılır. Bu geometrik kavram onu doğada düzensiz şekilli nesnelere uygulayan Mandelbrot (1983) tarafından sunulmuştur. Fraktal boyut kavramı parçalanma ve bölünme ile ilgili olup ayrıca ülkeler, adalar ve göller gibi kavramların sınır şekillerini nicel olarak tanımlamaktadır (Hyslip ve Vallejo 1997). Fraktal boyut (D), köşelilik ve yüzey pürüzlülüğü arttıkça artar (Kolay vd 2010). Fraktal boyut (D) istatistiksel bir niceliktir. Doğrusal fraktal boyut (1D) düz ve pürüzsüz yüzeyler için 1.0'dır (Sönmez vd 2016).

Zemin sıkıştırma yöntemi ilk olarak 1930 ile 1933 yılları arasında Ralph R. Proctor tarafından zeminin maksimum kuru birim ağırlığını belirlemek için geliştirilmiştir (Proctor 1948). 1930'larda, daha sonra ASTM D1557-10 olarak anılacak olan yöntemle benzer bir

yöntem ile Proctor (1945) bir toprak dolgu barajın inşası sırasında mekanik mukavemet testleri uygulamıştır. Proctor yöntemi, geliştirilmesinden bu yana yol yapımında kullanılan bağlanmamış taneli malzemelerin incelenmesinde kullanılan en yaygın sıkıştırma yöntemi haline gelmiştir (Cerni ve Camilli 2011). Günümüzde ise ince taneli malzemeler için standart Proctor deneyi kullanılırken iri taneli malzemeler için modifiye Proctor yöntemi kullanılmaktadır (Mohajerani vd. 2017).

AASHTO T99 (AASHTO D 698) standardına göre de yapılan ve 1930'larda geliştirilmiş olan standart Proctor testinde üç katmana ayrılmış kalıptaki zemin örneğinde 305 mm düşme mesafesi bulunan 2,49 kg'lık bir tokmak kullanılır. Bu tokmak tarafından toplam 600 kN-m/m³ iş oluşturulur. 1958'de ise daha doğru sonuçlar elde edebilmek için modifiye Proctor testi geliştirilmiştir. AASHTO T180-90 (ASTM D1557)'de tanımlanan bu yöntemde kalıptaki zemin beş katmana ayrılmış olup tokmağın ağırlığı da 4,54 kg'a çıkarılmıştır. Düşme mesafesi 457 mm olup toplam sıkıştırma enerjisi 4,5 kat artırılarak 2700 kN-m/m³'e ulaşmıştır (Syed vd. 2020).

Bu çalışmanın amacı Los Angeles aşınma kaybını tek eksenli sıkıştırma dayanımı ile fraktal boyut cinsinden veren bir ilişki ortaya koyarak aşınma kaybının dolaylı olarak elde edilmesine yönelik bir yöntem geliştirmektir. Bu kapsamda numuneler farklı bileşimdeki agregaların mineralojik, petrografik ve dokusal özelliklerine bakılarak seçilmiştir. Ayrıca Los Angeles aşınma kaybını alternatif bir yoldan belirlemeye yönelik olarak modifiye Proctor deneyi değerlendirilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Kazi ve Al-Mansour (1980) yaptıkları çalışmada Cidde şehri yakınlarındaki Suudi Arabistan agregalarında (volkanik ve plütonik kayalar) Schmidt çekiciyle yapılan tek eksenli sıkışma dayanımı deneyi ile LAAT arasında güçlü bir korelasyon elde etmiştir.

Ballivy ve Dayre (1984) kireçtaşları için yaptıkları deneylerde tek eksenli sıkışma dayanımı deneyi ile LAAT arasında farklı kireçtaşı tipleri için farklı korelasyon dereceleri bulmuşlardır. Gözenekli kireçtaşları güçlü korelasyon gösterirken, masif ve daha az gözenekli kireçtaşları için korelasyon, tane boyunun bir fonksiyonu olarak gelişmiştir. Kaba taneli veya kristalin kireçtaşları aşınma yüzünden aynı sıkışma dayanımına sahip ince taneli kireçtaşlarından daha fazla yüzde kaybı göstermiştir.

Cargill ve Shakoor (1990) ABD'nin çeşitli bölgelerinden topladıkları 14 kaya numunesinde (8 kumtaşı, 3 kireçtaşı, 1 dolomit, 1 mermer ve 1 gnays) tek eksenli sıkışma dayanımı ile nokta yük dayanımı, Los Angeles aşınma, Schmidt çekici ve suda dağılmaya karşı duraylılık deneyleri arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Tek eksenli sıkışma dayanımında sonuçların Berea kumtaşı için en düşük 34,8 MPa ile gnays için en yüksek 288,2 MPa arasında olduğu belirtilmiştir. LAAT ile tek eksenli sıkışma dayanımı deneyi arasındaki korelasyonun doğrusal olmadığı fakat logaritmik ölçek kullanıldığında doğrusal olduğu belirtilmiştir. Los Angeles aşınma kaybının tek eksenli sıkışma dayanımı ile ters orantılı olduğu sonucuna varılmıştır.

Senior ve Rogers (1991) Los Angeles aşınma deneyine eleştirel yaklaşımları çalışmalarında her biri 420 gram olan çelik bilyeler ve agrega örnekleri tambur dönerken içindeki raf yardımıyla alınıp neredeyse tamburun çapı kadar bir mesafeden düştüğünden agregaların üzerine düşen bilyeler darbe yüküne sebep olduğunu ve darbe sebebiyle granit gibi yüksek kaliteli, kaba taneli kristalin malzeme sahada iyi performans göstermesine rağmen parçalanıp yüksek kayıp değerleri verdiğini, sleyt gibi daha düşük kaliteli ve yumuşak malzemenin ise

daha düşük kayıp değerleri verdiğini çünkü kristalin yapıları nedeniyle darbe yüklerini snmleyebildiğini belirtmişlerdir.

Kasim ve Shakoore (1996) ABD ve Kanada'nın farklı bölgelerinden topladıkları 22 kaya numunesinde (11 karbonat, altı kumtaşı, iki granit, bir nefelin siyenit) tek eksenli sıkışma dayanımı, standart Proctor ve Los Angeles aşınma dayanımı deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Kumtaşlarında yapılan tek eksenli sıkışma dayanımı ile standart Proctor deneyleri arasında deneştirme katsayısı $R^2 = -0,99$, metamorfik kayalarla tek eksenli sıkışma dayanımı ile standart Proctor deneyleri arasında $R^2 = -0,82$ ve kumtaşlarında uygulanan Los Angeles aşınma deneyi ile standart Proctor testleri arasında $R^2 = 0,99$ gibi çok yüksek değerler elde edilmiştir.

Al Harthi ve Abo Saada (1997) Suudi Arabistan'ın batı bölgesindeki Wadi Al-Ayamanyah'dan toplanan 90 doğal agrega numuneleri ile yaptıkları inceleme L.A. aşınma kaybı ile agrega darbe değeri ve agrega kırılma değerleri arasındaki korelasyon araştırılmıştır. L.A. aşınma değeri ile agrega darbe değeri arasında $R^2=0,68$ bulunmuştur.

Hunt (2001)'de ABD'de 22 farklı kaynaktan aldığı 44 örnekten yaptığı çalışmada Mikro-Deval ile L.A. deneyleri arasında yüksek korelasyon olduğu sonucuna varmıştır.

Fletcher vd. (2003) yaptıkları çalışmada kaba ve ince agregaların dokusunu, kşeliliğini ve şeklin 3 boyutunu ölçen bilgisayar otomasyonlu bir sistem geliştirmişlerdir. 13 ince taneli ve 9 kaba taneli agregada, agrega görüntüleme sistemi (AIMS) kullanılarak yapılan 3 boyutlu analizler ile dijital kumpas kullanılarak yapılan manuel ölçümler mükemmel korelasyon göstermiştir.

Cooley ve James (2003) ABD'nin güneydoğu eyaletlerinden toplanan toplam 72 agrega örneklerinde L.A. deneyi ile Mikro-Deval deneylerini karşılaştırmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda deneştirme katsayısı $R^2=0,06$ gibi çok düşük bir değer çıkmış ve bu iki yöntem arasında bir korelasyon bulunmadığı belirtilmiştir.

Prowell vd. (2005) yaptıkları çalışmada L.A. aşındırma deneyi ile sodyum sülfat ve Mikro-Deval deneylerini karşılaştırdığında aralarında iyi bir korelasyonun olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Rangaraju vd. (2005) yaptıkları çalışmada ABD'nin Güney Karolina eyaletinde 23 farklı kaynaktan aldıkları örneklerde (bunlardan 19'u Granit olarak sınıflandırılmıştır) Mikro-Deval ile Los Angeles deneyleri arasında korelasyonun olmadığı sonucuna varılmıştır.

Kolay ve Kayabalı (2005) yaptıkları çalışmada agregaların köşelilik ve pürüzlülük özelliklerini fraktal analiz ile nicel olarak tanımlamış ayrıca agregaların köşelilik ve pürüzlülüklerinin belirlenmesinde kolaylık sağlamak amacıyla, agregalara ait mükemmel profilleri ve bu profillerin fraktal boyutlarını gösteren bir kılavuz oluşturulmuştur.

Fowler vd. (2006) yaptıkları çalışmada ABD ve Kanada'dan 117 farklı kaynaktan aldıkları örneklerde Mikro-Deval, Los Angeles, sodyum sülfat ve donma-çözülme deneyleri arasında korelasyonun çok az olduğu sonucuna varmıştır.

Brandes ve Robinson (2006) ABD'de 12 taş ocağından aldıkları farklı agrega örneklerinde yaptıkları çalışmada Mikro-Deval ile Los Angeles deneyleri arasında korelasyonun düşük olduğundan bahsetmiştir.

Tercan ve Özçelik (2006) Ankara'daki bir andezit ocağından alınan 108 adet numunenin sertlik ve mekanik özellikleri ile aşınma ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkiyi inceledikleri çalışmada; Los Angeles aşınma deneyi ile Böhme deneyi arasında düşük korelasyon, tek eksenli sıkışma dayanımı ile -0,88 gibi yüksek bir negatif korelasyon olduğu belirtilmiştir.

Fener ve Kahraman (2007) tarafından Türkiye'nin değişik bölgelerinde toplanmış 35 farklı kayaç tipinde (9 magmatik, 11 metamorfik ve 15 sedimanter) Los Angeles, tek eksenli

sıkışma dayanımı ve porozite testleri yapılmıştır. Deneysel sonuçları regresyon analizi ile test edilmiş ve tek eksenli sıkışma dayanımı ile Los Angeles deneyleri arasında iyi korelasyon bulunmuştur. Ayrıca kaya örnekleri poroziteye göre sınıflandırıldığında korelasyonun arttığı görülmüştür.

Cuelho vd. (2008) yaptıkları çalışmada ABD'nin çeşitli yerlerinden toplanan 326 agrega örneği ile yaptıkları deneylerde sodyum sülfat donatı dayanıklılık ile Los Angeles aşındırma testleri arasında %79,8 oranında bir uyuma saptamışlardır. Ayrıca yaptıkları başka bir çalışmada ABD'nin çeşitli yerlerinden toplanan 300 agrega örneği ile yaptıkları deneylerde Los Angeles aşındırma deneyi ile magnezyum sülfat testi arasında %87,7 oranında bir uyuma saptamışlardır.

Özçelik (2011) Türkiye'nin farklı bölgelerinden alınan 32 agrega örneğinde Los Angeles aşınma kaybını kayaların bazı fiziksel ve mekanik özellikler ile tahmin edilmesini araştırmıştır. Numunelerin 10 adedi volkanik, 11 adedi metamorfik ve diğer 11 adedi de sedimenter kayalardır. Yapılan çalışmada sedimenter kaya numunelerinde L.A. aşınma değeri ile Shore sertliği, birim ağırlık, nokta yük dayanımı, tek eksenli sıkışma dayanımı ve çekme dayanımı arasında yüksek korelasyon bulunmuştur.

Nener-Plante (2013) agregaların sıcak asfalt karışımları için dayanıklılığını araştırdığı çalışmasında Maine eyaletinden alınan 72 agrega örneğinde LAAT ile Mikro-Deval deneyi arasında kayda değer olmayan bir korelasyon bulunmuştur ($R^2=0,06$).

Török (2014) Macaristan'ın 10 farklı bölgesinden alınan 31 andezit numunesi ile 2 farklı bölgeden alınan 8 bazalt numune setinde LAAT ile Mikro-Deval testini karşılaştırmıştır. EN standartlarına göre yapılan deneyler sonucunda kırmataş andezit örneğinde LAAT ile Mikro-Deval deneyi arasında $R^2=0,91$, bazalt örneğinde ise aynı deneyler için $R^2= 0,78$ bulunmuştur.

Afolagboye vd. (2015)'nin Nijerya'nın güney batısından topladıkları 50 agrega numunesinde petrografik analiz ve laboratuvar deneyleri (su emme kapasitesi, özgül ağırlık, agrega darbe değeri, agrega kırılma değeri, agrega yassılık indeksi, Los Angeles aşınma dayanımı ve tek eksenli sıkışma dayanımı) yapılmıştır. Numunelerin LAA değerleri %17,4 ile % 29,8 arasında, tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri ise 139 MPa ile 168 MPa arasında değiştiği görülmüştür. Ayrıca LAAT sonuçlarında ince taneli örneklerin kaba tanelilere göre aşınmaya karşı daha dayanıklı oldukları sonucuna varılmıştır.

Palassi ve Danesh (2016) İran'ın Tahran bölgesinden alınan kireçtaşı, mermer ve granit agregalarından alınan 20 numunede ASTM standartlarına göre bulunan L.A. aşınma dayanımı değeri ile İngiliz standardına göre yapılan deneyler ile bulunan agrega darbe değeri ve agrega kırılma değerleri arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. L.A. aşınma dayanımı değeri ile agrega darbe değeri arasında deneştirme katsayısı, $R^2=0,92$, agrega kırılma değeri arasındaki deneştirme katsayısı, $R^2=0,88$ bulunmuştur.

Mohajerani vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada modifiye Proctor sıkıştırma testinin Los Angeles aşınma değerinin belirlenmesinde uygun bir alternatif olup olamayacağı incelenmiştir. Avustralya'nın 6 değişik bölgesinden alınan 19 farklı agrega örneği ile yapılan çalışmada Los Angeles aşındırma değeri ile modifiye Proctor sıkıştırma deneyi sonuçları arasında güçlü bir korelasyon görülmüştür.

Liu vd. (2017) Alaska'nın üç farklı bölgesinden alınan 16 numune üzerinde yapılan LAAT ve Mikro-Deval deneyleri arasında deneştirme katsayısı, $R^2=0,12$ bulunmuştur. Dolayısıyla bu iki yöntem arasında kaydadeğer bir ilişki bulunmadığı belirtilmiştir.

Kılıç ve Kahraman (2017) Çukurova'nın farklı bölgelerinden alınan 29 farklı kireçtaşı agrega numunesinde LAAT, su emme oranı, tek eksenli sıkışma dayanımı, özgül ağırlık ve Shore sertliği deneylerini uygulamışlardır. Los Angeles aşınma dayanımı ile Shore sertliği arasında $R^2= 0,851$, LAA ile tek eksenli sıkışma dayanımı değeri arasında $R^2=0,89$ gibi yüksek deneştirme katsayıları bulunmuştur.

Esfahani vd. (2018) İnan'ın çeşitli bölgelerinden elde edilen 273 agrega numunesini önce kökenlerine göre 3 sınıfa ayırmıştır. Bunlardan 123'ü sedimanter, 71'i volkanik ve 79'u metamorfik kayalardan alınan agrega numuneleridir. Los Angeles aşınma değeri ile agrega çarpışma değeri, su emiciliği, agrega darbe değeri, tek eksenli sıkışma dayanımı, nokta yük dayanım indeksi parametreleri arasındaki ilişkinin incelendiği bu araştırmada LAA ile agrega çarpışma değeri arasında $R^2=0,79$, agrega darbe değeri arasında $R^2=0,48$, tek eksenli sıkışma dayanımı değeri arasında $R^2=0,263$ ve nokta yük indeks değeri arasında da $R^2=0,30$ deneştirme katsayıları bulunmuştur.

Aksoy (2018), Ağrı, Muğla, Elazığ ve Adıyaman'dan alınan 5 farklı kireçtaşıdan oluşan 54 adet kayaç numunesinin birim hacim ağırlıkları, hacimce su emme yüzdeleri, P ve S dalgalarının hızları, poroziteleri, tek eksenli sıkışma dayanımları, Schmidt sertlikleri ve aşınma dayanımları hesaplanmıştır. Yapılan bu çalışmada Los Angeles aşınma değerinin basit laboratuvar deneyleriyle elde edilen indeks özellikleri ile bulunması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda 7 değişken ile yapılan lineer regresyon analizinde $R^2= 0,99$ bulunmuş ancak değişken sayısı azaldıkça determinasyon katsayısının düştüğü ve hataların arttığı belirtilmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu tez çalışmasında kullanılan kaya materyal, diyabaz (No 1), bazalt (No 2), trakit (No 3), litik tuf (No 4), granodiyorit (No 5), mermer (No 6), ignimbirit (No 7), gölsel kireçtaşı (No 8), killi kireçtaşı (No 9) ve kireçtaşından (No 10, No 11) oluşmaktadır. Çalışmada kullanılan kaya örnekleri Ankara çevresinden derlenmiştir. Bu araştırmada kullanılan ekipmanlar, tek eksenli sıkışma deney düzeneği, Los Angeles aşınma deneyi düzeneği, modifiye Proctor deney düzeneği, etüv, elekler, kumpas, balyoz, jeolog çekici ve fotoğraf makinası olarak sayılabilir. Deneye tabi tutulacak olan agrega blokları laboratuvara getirildikten sonra, bir kısmı balyoz, jeolog çekici ve çeşitli boylardaki elekler yardımı ile Los Angeles aşınma deneyi ve modifiye Proctor deneyi için hazırlanmaktadır (Şekil 3.2a). Hazırlanan bu numuneler fraktal boyut analizi için fotoğraflanıp Media Cybernetics firmasına ait Image-Pro Plus yazılımına aktarılmaktadır (Şekil 3.5). Alınan örnekler ayrıca ince kesit laboratuvarında hazırlandıktan sonra tanımlamaları yapılmıştır (Çizelge 3.1). Deneye tabi tutulacak olan diğer agrega örnekleri ise tek eksenli sıkışma dayanımı deneyinde karot numunesi olarak kullanılmak üzere karot alma ve karot kesme makinaları ile hazırlanmasıyla oluşmaktadır (Şekil 3.2b).

3.1 Numunelerin Fiziksel ve İndeks Özelliklerinin Belirlenmesi

Tek eksenli sıkışma dayanımı numunelerinin fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla Ankara çevresinden derlenen 11 farklı agrega bloklarından karot alma makinesi ile alınan 61 adet karot numunesi (Şekil 3.1a, b), karot kesme makinasıyla ASTM D7012 standardı tarafından önerilen boy/çap oranına (L/D) 2/1'e göre kesilir, kumpas yardımıyla çapları 55 mm ve boyları ortalama 110 mm olarak ölçülür (Şekil 3.2b). Los Angeles Aşınma deneyi için ise 11 kaya numunesinin tane boyutuna göre sınıflandırılması gerekmektedir. Bunun için balyozla parçalanmış kaya blokları ASTM C131'de önerilen elek numaraları 1 ½", 1", ¾", ½" ve 3/8" olan eleklerde tane boyuna göre sınıflandırılmıştır (Şekil 3.2a). Elek açıklıkları 37,5 mm-25 mm, 25 mm-19 mm, 19 mm-12,5 mm ve 12,5 mm-9,5 mm olan setler yardımıyla

tane boyuna göre ayrılan numuneler temizlenip yıkandıktan sonra $110 \pm 5^\circ\text{C}$ 'de 17 saat boyunca etüde kurutulmuştur. Ardından tartılan numuneler her bir elek aralığı için 1250 ± 5 gr olmak üzere her bir kaya numunesi için 5000 ± 25 gr toplamda 55 kg örnek hazırlanmıştır. Los Angeles aşınma deneyi için hazırlanan numunelerin aynısı modifiye Proctor deneyi için de hazırlanmıştır.



(a)



(b)

Şekil 3.1 a) Kesilmiş kaya numuneleri, b) Karot alınan kaya numunesi



(a)



(b)

Şekil 3.2 a) LA Aşınma deneyi için farklı tane boyuna göre hazırlanmış numuneler, b) ASTM standardına göre alınan karotlar

Numunelerin mineralojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla ince kesit analizi yapılmıştır. Yapılan bu analize göre kaya adları aşağıda verilmiştir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1 İnce kesit analizi sonucu kaya isimleri

Numune Adı	Kaya Adı
No 1	Diyabaz
No 2	Bazalt
No 3	Trakit
No 4	Litik Tüf
No 5	Granodiyorit
No 6	Mermer
No 7	İgnimbirit
No 8	Gölsel Kireçtaşı
No 9	Killi Kireçtaşı
No 10	Kireçtaşı
No 11	Kireçtaşı

3.2 Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı Deneyleri

Tek eksenli sıkışma koşulları altında, silindirik örneklerle yenilme anında uygulanan gerilme, tek eksenli sıkışma dayanımı olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmada Ankara çevresinden alınan kaya numuneleri karot olarak kesildikten sonra karot numunelerinin sıkışma dayanımlarının belirlenmesi amacıyla tek eksenli sıkışma dayanımı deneyi yöntemi uygulanmıştır. Eşitlik (3.1)'deki formül kullanılarak karot numunelerin tek eksenli sıkışma dayanımları belirlenmiştir.

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \quad (3.1)$$

Burada;

σ_c : Tek eksenli sıkışma dayanımı

F: Yenilme anında deney örneğine uygulanan kuvvet

A: Yüklemenin yapıldığı örnek yüzeyinin alanıdır.

Bu yöntemde yükü numunenin üstüne eşit dağıtabilmek için alta ve üste çapları aynı olan metal diskler eklenmiştir (Şekil 3.3). Alt kısmın yukarı doğru hareketiyle beraber numune yenilene kadar düşey yük sabit ve sürekli bir şekilde uygulanmıştır (Şekil 3.4a). Biten her deneyden sonra ölçüm değerleri taşınır bellek yardımıyla deney cihazından alınmıştır. Alınan bu değerler Excel’de işlenerek Normal Gerilme-Eksenel Birim Deformasyon grafikleri olarak görselleştirilmiş olup grafiklerin tamamı Ek 1’de verilmiştir. Her bir kaya numunesinden en az 4 adet karota deney uygulanmıştır ve çıkan sonuçların ortalaması alınarak o kaya numunesinin tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_c) hesaplanmıştır (Şekil 3.4b).



Şekil 3.3 Tek eksenli sıkışma dayanımı deney düzeneği



(a)

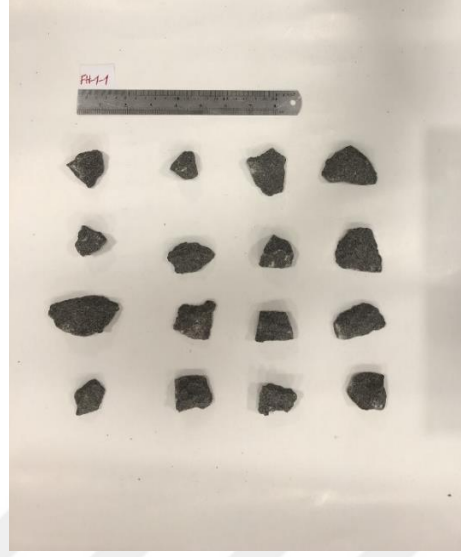


(b)

Şekil 3.4 a) Deney sırasında numune b) Deney sonrası numuneler

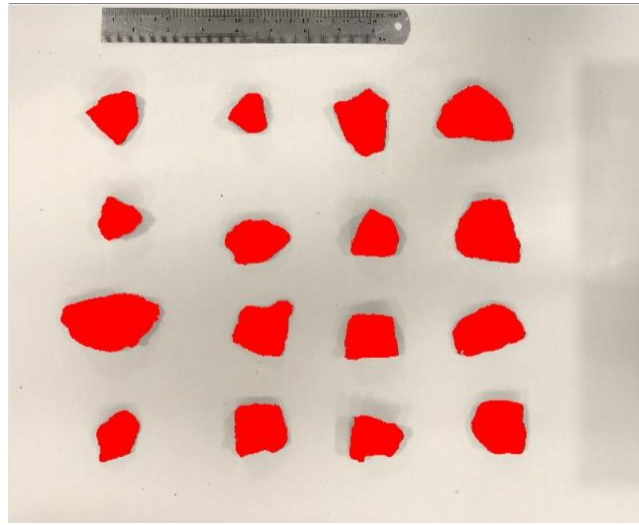
3.3 Fraktal Boyut Analizi

Mandelbrott (1977), doğadaki düzensiz ve parçalanmış kalıpları karakterize etmek ve görünüşte kaotik ve rastgele kalıpların ölçülebileceği bir araç sağlamak için fraktal geometriyi geliştirmiştir. Basitçe açıklamak gerekirse fraktal boyut değeri (D) köşeliliği ölçmek için kullanılmaktadır. Bu çalışmada agregaların fraktal boyut değerlerinin (D) bulunabilmesi için Media Cybernetics firmasına ait Image-Pro Plus program kullanılmıştır. Bu programın özelliği yukarıdan dik bir açıyla, gölge kalmayacak şekilde fotoğraflanan agrega numunelerinin çok hassas bir şekilde otomatik olarak fraktal boyut analizini yapabilesidir. Bu tez çalışması kapsamında Los Angeles Aşınma deneyi için hazırlanan 11 kaya numunesi 37,5 mm-25 mm, 25mm-19mm, 19 mm-12,5 mm ve 12,5 mm-9,5 mm tane boyutlarına göre ayrıldıktan sonra fraktal boyut analizi için Image-Pro programında kullanılmak üzere, yukarıdan 90°'lik bir açıyla fotoğraflanmıştır (Şekil 3.5). Böylece programı yanıltablecek gölge oluşumunun önüne geçmek amaçlanmıştır.

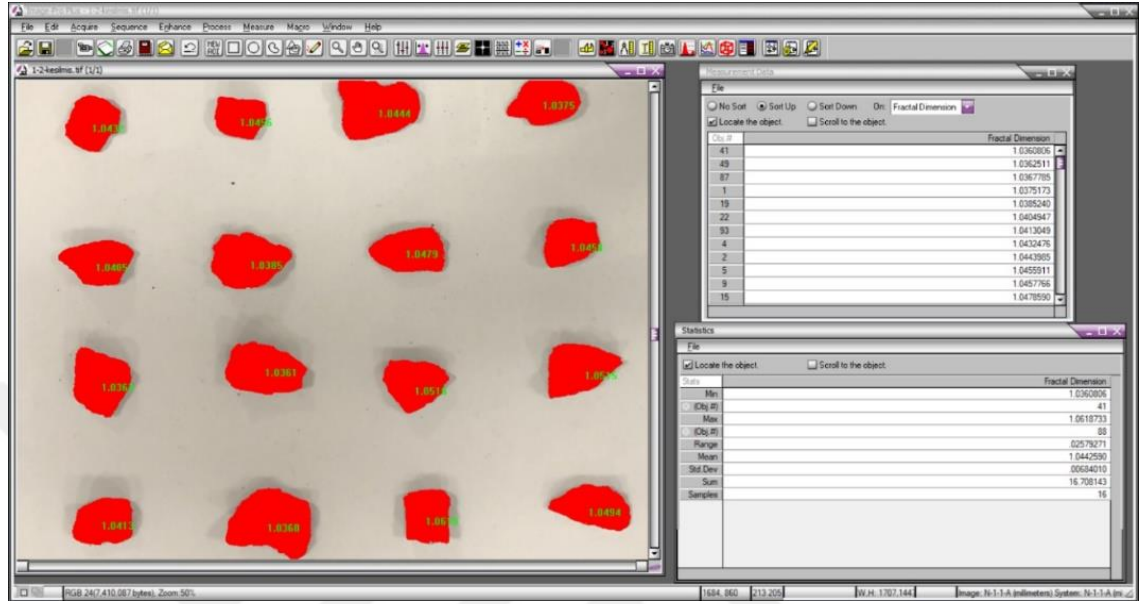


Şekil 3.5 Fraktal boyut analizi için fotoğraflanan numuneler

Bir kaya numunesi için her bir elek aralığından 16 numune fotoğraflanarak 4 farklı boyutta 64 örnek, 11 kaya numunesi için toplamda 704 örnek, fraktal boyut analizi için kullanılmıştır (Şekil 3.6). Fotoğraflar Image-Pro Plus programında kullanılmak üzere düzenlendikten sonra fotoğraftaki cetvel ölçek olarak kullanılıp kalibrasyon yapılmıştır. Böylece hassas bir şekilde otomatik olarak fraktal boyut değerleri hesaplanmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.6 Image-Pro Plus için hazırlanan görüntü



Şekil 3.7 Image-Pro Plus ekran görüntüsü

3.4 Los Angeles Aşınma Deneyi

1920'lerde kaldırım malzemelerinin kalitesinin değerlendirilmesinde nicel bir yöntem sağlamak için geliştirilen Los Angeles aşınma deneyi, doğal veya yapay agregaların standartlarla belirlenmiş yükü belirli bir süre uygulayarak aşınmaya karşı dayanımlarının hesaplanmasında kullanılmaktadır. Buradaki hedef, agregaların dış ortamda karşılaşabileceği aşındırma kuvvetlerini benzeştirerek amaca (karayolu beton ve asfalt kaplamaları, akarsu köprü ayağı, sulama kanalının kaplama betonlarında vb.) uygun olup olmadığının araştırılmasıdır. Tez çalışmasında deney düzeneği ASTM C131 standardına göre hazırlanmıştır. Bu standart 37,5 mm (1 ½")'den küçük tane boyuna sahip olan agregalar için kullanılmaktadır. Bu deneyde döner bir tambur ile çapları 46 mm ile 48 mm arasında, kütleleri ise 390 gr ile 445 gr arasında değişen ve sayıları numunelerin tane boyuna göre belirlenen çelik bilyeler kullanılır (Çizelge 3.2). Bu çalışmada kaba taneli numuneler kullanıldığından ve tane boyu sınıfı A olduğu için 12 bilye ve her kaya tipi için buna karşılık

gelen 5000 ± 25 gr numune kullanılmıştır. ASTM C131 standardına göre deney tamburunun et kalınlığı en az 12 mm, iç çapı 711 ± 5 mm, iç uzunluğu ise 508 ± 5 mm olmalıdır.

Çizelge 3.2 Deney numunelerinin sınıflandırılması

Tane boyu sınıfı	Çelik bilye sayısı	Elek açıklığı (mm)		Numune kütlesi (g)	Toplam kütle (g)
		Geçen	Kalan		
A	12	40	25	1250 ± 25	5000 ± 10
		25	20	1250 ± 25	
		20	12,5	1250 ± 10	
		12,5	10	1250 ± 10	
B	11	20	12,5	2500 ± 10	5000 ± 10
		12,5	10	2500 ± 10	
C	8	10	6,3	2500 ± 10	5000 ± 10
		6,3	5	2500 ± 10	
D	6	5	2,5	5000 ± 10	5000 ± 10

Tambur döndükçe içindeki metal plaka, numuneyi ve çelik küreleri alır, tamburun içinde diğer tarafa düşene kadar taşır böylece darbeli bir kırma etkisi yaratılır. Cihaza önceden girilen tur sayısı tamamlanana kadar bu işlem devam eder böylelikle numuneler demir bilyelerin aşındırma ve öğütme etkilerine maruz kalarak tambur içinde beraber yuvarlanırlar. Devir sayısı tamamlandıktan sonra örneklerin toplandığı alt hazne çıkarılır ve numuneler aşınma kaybının yüzde olarak hesaplanması için 12 numaralı elek (1,7 mm elek açıklığı) ile elenir. Elek üstünde kalan numuneler tartıldıktan sonra ilk kütleden çıkarılarak kayıp, yüzde olarak hesaplanır ve çıkan sonuç Los Angeles aşınma kaybı (LAA%) oranını verir.

Bu çalışmada Los Angeles Aşınma deneyi için küp şeklinde kesilmiş 11 farklı kaya numunesi balyoz ile parçalandıktan sonra ASTM C131 standartlarına göre hazırlanmıştır. Ardından elek numaraları 1 ½", 1", ¾", ½" ve 3/8" olan eleklerde tane boyuna göre sınıflandırılmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 LA Aşınma deneyi için farklı tane boylarına göre hazırlanmış numune örnekleri

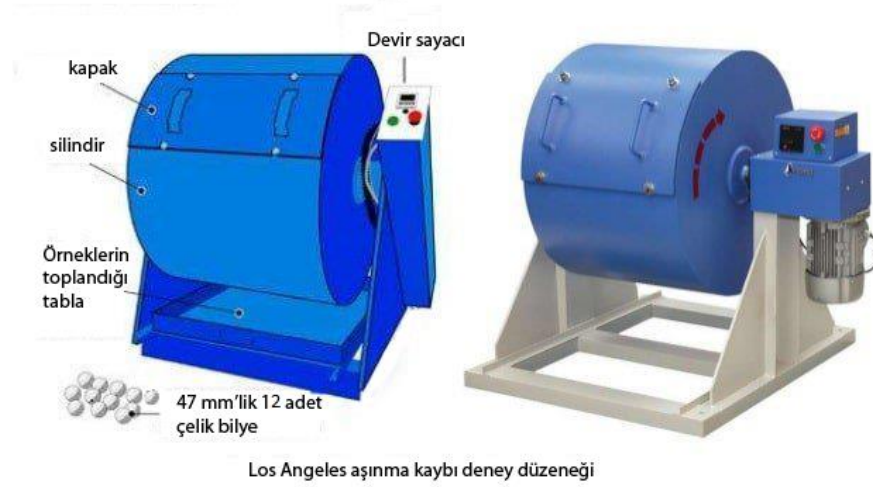
Elek açıklıkları 37,5 mm-25 mm, 25 mm-19 mm, 19 mm-12,5 mm ve 12,5 mm-9,5 mm olan setler yardımıyla ayrılan numuneler temizlenip yıkandıktan sonra $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 'de 17 saat boyunca etüvde kurutulmuştur. Daha sonra kurutulan numuneler tartıldıktan sonra elek açıklıklarına göre her birinden yaklaşık 1250 gram olacak şekilde bir kaya numunesi için toplam yaklaşık 5000 gram örnek hazırlanmıştır. Aşındırma yükü olarak 45 mm-49 mm çapında ve kütleleri 400 gr-445 gr arasında olan 12 adet demir bilye, 5000 gramlık numuneler ile beraber tamburun içine yerleştirilmiştir (Şekil 3.9). Tambur hızı sabit olmak üzere devir sayısı 500 olarak ayarlandıktan sonra biten deney sonunda (Şekil 3.10b) numuneler No.12 elekten (1,7 mm elek aralığı) geçirilerek elek üstünde kalan örnekler tekrar yıkanıp etüvde kurutulduktan sonra tartılarak numune kaybı Eşitlik (3.2) ile yüzde olarak hesaplanmıştır.

$$\text{Aşınma Kaybı (\%)} = \frac{(C - Y) \times 100}{C} \quad (3.2)$$

Burada;

C: Başlangıçtaki malzeme miktarı, gr

Y: Deney sonrası 1,7 mm elek üstü kalan malzeme miktarı, gr



Şekil 3.9 LA aşınma kaybı deney düzeneği

3.5 Modifiye Proctor Deneyi

Modifiye Proctor deneyi, 2. Dünya savaşı sıralarında ağır nakliye uçaklarının iniş yaptığı pistlerde daha iyi sıkışmanın gerekmesinden ötürü Amerikan ordusu tarafından geliştirilmiştir. Modifiye Proctor deneyi, standart Proctor deneyine göre 4,5 kat daha fazla enerjiye sahiptir. Bu tez çalışmasında modifiye Proctor deneyi Mohajerani vd. (2017) tarafından yapılan çalışmadaki gibi LAAT numuneleri ile modifiye Proctor deney düzeneğinin kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Los Angeles aşınma dayanımı için

hazırlanan numunenin aynısı modifiye Proctor deneyi için de hazırlanarak aşınmanın L.A. aşınma deneyi tamburu yerine modifiye Proctor deney düzeneği ile gerçekleşmesi sağlanmıştır (Şekil 3.10a). ASTM D1557 standardına göre yapılan deneyde 4,5 kg ağırlığındaki tokmak 457 mm \pm 1,3 düşme yüksekliğinden bırakılarak 5 katmanın her birine 25 tokmak darbesi uygulanmıştır. Rutin modifiye Proctor deneyinden tek farkı numunelerin yaş yerine kuru olmasıdır. Deney tamamlandıktan sonra numuneler, Los Angeles aşınma deneyinde olduğu gibi No.12 elekten (1,70 mm elek aralığı) geçirilerek elek üstünde kalanlar tartılmış ve numune kaybı yüzde olarak hesaplanmıştır.



(a)



(b)

Şekil 3.10 a) Modifiye Proctor deney düzeneği b) LA Aşınma dayanımı deney sonrası görüntüsü

4. DENEYSEL BULGULAR

Tek eksenli sıkışma dayanımı, modifiye Proctor deneyi ve agrega numunelerinin görüntü analizi ile bulunan fraktal boyut değerleri ile Los Angeles aşınma deneyine alternatif bir yöntemin araştırıldığı bu çalışmada 11 farklı kaya numunesi üzerinde deneyler yapılmıştır. Tek eksenli sıkışma dayanımı deneyi için 61 adet karot örneği, fraktal boyut analizi için 208 örnek, modifiye Proctor ve Los Angeles aşınma dayanımı deneylerinin her biri için 55 kilogram örnek hazırlanmış ve deneysel veriler elde edilmiştir. Ayrıca kayaların mineralojik özelliklerinin belirlenmesi ve tanımlamalarının yapılabilmesi amacıyla ince kesit analizi yapılmıştır. Yapılan deneyler neticesinde edinilen sonuçlar Datafit programı ile regresyon analizi yapılarak değişkenler arasında anlamlı bir ilişki aranmıştır.

4.1 Mineralojik Özellikler

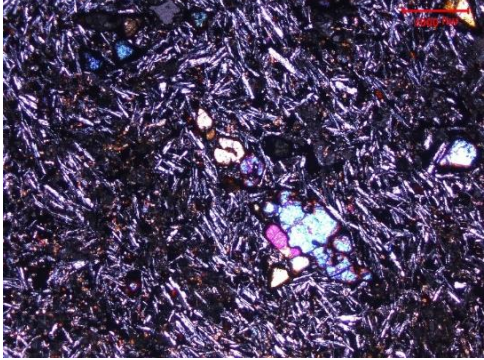
Bu çalışmada kullanılan kaya örneklerinin mineralojik özelliklerini belirlemek amacıyla ince kesitler hazırlanmış ve hazırlanan bu ince kesitlerin mikroskop vasıtasıyla analizi yapılarak kayaların adlandırılması yapılmıştır. Mikroskop çalışmaları Leica marka ve DM2500P model üzerinde tüm ince kesit determinasyonları yapılmıştır. İnceleme yapıldıktan sonra örneklerin karakteristik mikrofotografları Leica DFC295 kamera yardımı ile görüntüleme işlemi gerçekleştirilmiş ve teze konmuştur.

Buna göre; No 1 (Diyabaz) numunesi ofitik dokuya sahip olup mineralojik bileşiminde labrador, bitovnit türü triplajiyoklaz ve az oranda piroksen ve daha az oranda da olivin, ilmenit, manyetit yer almaktadır (Şekil 4.1).

No	Kaya Adı	Genel Dokusu	Mikro Fotoğraf
No 1	Diyabaz	Ofitik	

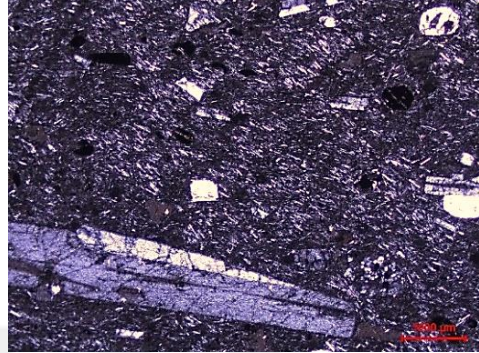
Şekil 4.1 No 1 işaretli Diyabaz bileşimindeki kayanın mikrofotografı (Çapraz nikol)

No 2 (Bazalt) örneğinin genel dokusu intersertal doku özelliğinde olup mineralojik içeriği plajiyoklaz mikrolitleri, piroksen, olivin, ilmenit, manyetit, limonit ve volkan camından oluşmaktadır. Örnek içerisinde plajiyoklaz oranları mafik minerallerden çok daha fazladır (Şekil 4.2).

No	Kaya Adı	Genel Dokusu	Mikro Fotoğraf
No 2	Bazalt	İntersertal	

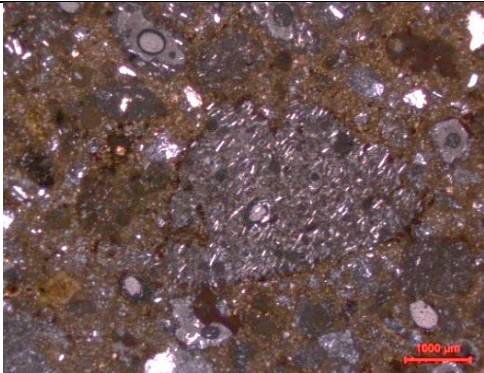
Şekil 4.2 No 2 işaretli Bazalt bileşimindeki kayanın mikrofotografı (Çapraz nikol)

No 3 (Trakit) numunesinin genel dokusu hiyalopilitik porfirik doku özelliği göstermekte ve başlıca sanidin, plajiyoklaz, çok az oranda amfibol, biyotit, piroksen ve volkan camı içermektedir (Şekil 4.3).

No	Kaya Adı	Genel Dokusu	Mikro Fotoğraf
No 3	Trakit	Piyalopilitik porfirik doku	

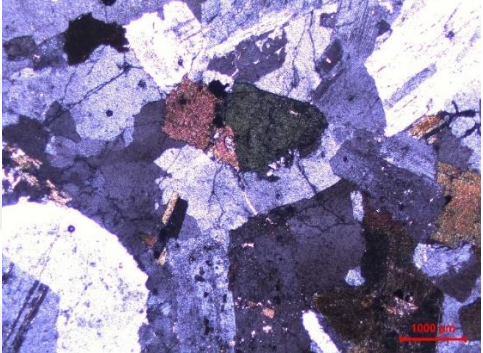
Şekil 4.3 No 3 işaretli Trakit bileşimindeki kayanın mikrofotografı (Çapraz nikol)

No 4 (Litik Tüf) numunesinin dokusu hiyaloklastik dokudur. İçerdiği başlıca mineraller plajiyoklaz, kuvars, sanidin, çok az oranda amfibol ve piroksen ayrıca volkan camıdır.

No	Kaya Adı	Genel Dokusu	Mikro Fotoğraf
No 4	Litik Tüf	Hyaloklastik	

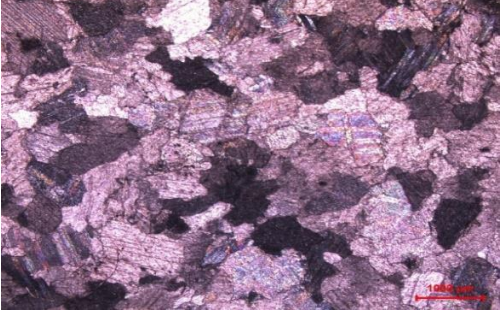
Şekil 4.4 No 4 işaretli Litik Tüf bileşimindeki kayanın mikrofotografı (Çapraz nikol)

No 5 (Granodiyorit) numunesinde başlıca kuvars, ortoklaz, oligoklas, az oranda biyotit, amfibol ve opak mineral olarak magnetit içermektedir. Kayaç içinde az oranda killeşme ve serisitleşme gözlenmiştir (Şekil 4.5).

No	Kaya Adı	Genel Dokusu	Mikro Fotoğraf
No 5	Granodiyorit	Holokristalin Tanesel doku	


Şekil 4.5 No 5 işaretli Granodiyorit bileşimindeki kayanın mikrofotografı (Çapraz nikel)

No 6 (Mermer) örneğinin granoblastik mozaik dokulu olup başlıca polisentetik ikiz içeren kalsit ve çok az oranda da rekristalize kalsit, aragonit içerdiği belirlenmiştir (Şekil 4.6).

No	Kaya Adı	Genel Dokusu	Mikro Fotoğraf
No 6	Mermer	Granoblastik Poligonal	

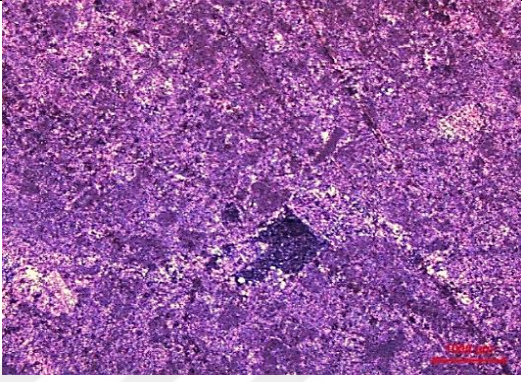
Şekil 4.6 No 6 işaretli Mermer bileşimindeki kayanın mikrofotografı (Çapraz nikel)

No 7 (İğnimbirit) numunesi hiyaloklastik doku özelliği göstermekte ve başlıca plajiyoklaz, kuvars, sanidin, volkanik kaya parçası, pomza kaya parçası, andezit kaya parçası ve bunun yanında az oranda piroksen içermektedir. Opak mineral olarak hematit ve manyetit bulunmakta olup volkan külü ve volkan kıymığı da kaya içerisinde gözlenmiştir (Şekil 4.7).

No	Kaya Adı	Genel Dokusu	Mikro Fotoğraf
No 7	İğnimbirit	Hiyaloklastik	

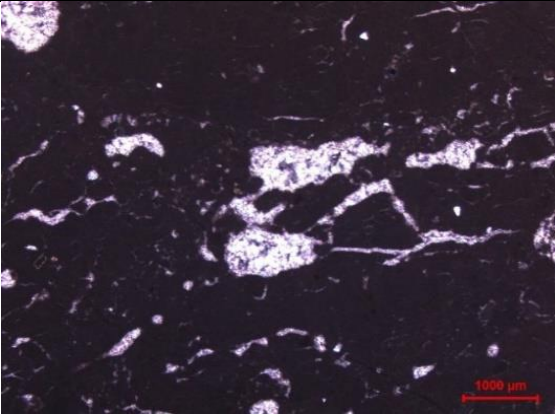
Şekil 4.7 No 7 işaretli İğnimbirit bileşimindeki kayanın mikrofotografı (Çapraz nikel)

No 8 (Gösel kireçtaşı) numunesi mikritik ve boşluklu doku özelliğinde olup başlıca kalsit, rekristalize kalsit ve çok az oranda amorf silika mineralleri ile boşluk, kırık ve çatlaklar içermektedir (Şekil 4.8).

No	Kaya Adı	Genel Dokusu	Mikro Fotoğraf
No 8	Gösel Kireçtaşı	Mikritik	

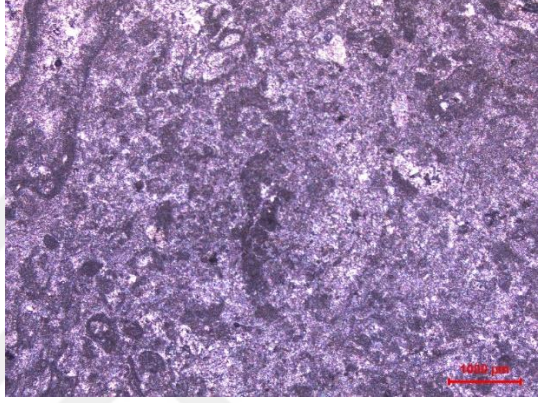
Şekil 4.8 No 8 işaretli Gösel Kireçtaşı bileşimindeki kayanın mikrofotografı (Çapraz nikol)

No 9 (Killi kireçtaşı) numunesinin mineralojik bileşimi mikritik dokulu, oldukça kompakt, kırık çatlaklar boyunca amorf silika mineralleri yerleşmiş, başlıca kil ve kalsitten oluşmaktadır (Şekil 4.9).

No	Kaya Adı	Genel Dokusu	Mikro Fotoğraf
No 9	Killi Kireçtaşı	Mikritik	

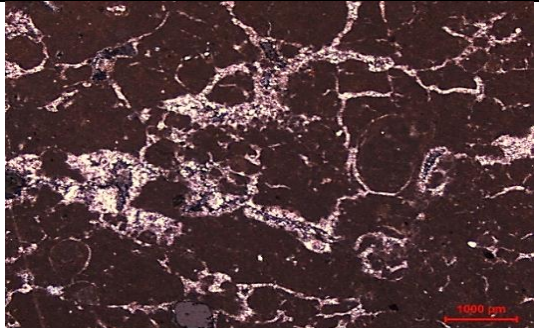
Şekil 4.9 No 9 işaretli Killi Kireçtaşı bileşimindeki kayanın mikrofotografı (Çapraz nikol)

No 10 (Kireçtaşı) mikritik dokuya sahiptir. Başlıca mineraller kalsit, kırık çatlaklar boyunca rekristalize kalsit ve çok az oranda opak mineral içermektedir (Şekil 4.10).

No	Kaya Adı	Genel Dokusu	Mikro Fotoğraf
No 10	Kireçtaşı	Mikritik	

Şekil 4.10 No 10 işaretli Kireçtaşı bileşimindeki kayanın mikrofotografı (Çapraz nikol)

No 11 (Kireçtaşı) numunesi mikritik dokuya sahiptir. Boşluk içermekte olup boşlukların bir kısmı rekristalize kalsitler tarafından doldurulmuştur. Örnek belirgin bir şekilde kılcal çatlakların içerisine rekristalize kalsitler tarafından doldurulduğu ince kesitlerinde görülmüştür (Şekil 4.11).

No	Kaya Adı	Genel Dokusu	Mikro Fotoğraf
No 11	Kireçtaşı	Mikritik	

Şekil 4.11 No 11 işaretli Kireçtaşı bileşimindeki kayanın mikrofotografı (Çapraz nikol)

4.2 Los Angeles Aşınma Değeri

Los Angeles aşınma dayanımı deneyi sonrasında numunelerin kayıpları %21 ile %44 arasında değişmektedir. Diyabaz (No 01) numunesinin kaybı %28, bazalt (No 02) numunesinin kaybı %26, trakit (No 03) numunesinin kaybı %21, litik tuf (No 04) numunesinin kaybı %40, granodiyorit (No 05) numunesinin kaybı %39, mermer (No 06) numunesinin kaybı %44, ignimbirit (No 07) numunesinin kaybı %24, gölsel kireçtaşı (No 08) numunesinin kaybı %32, killi kireçtaşı (No 09) numunesinin kaybı %37, kireçtaşı (No 10) numunesinin kaybı %31, kireçtaşı (No 11) numunesinin kaybı %27 olarak bulunmuştur. Bulunan tüm değerler Çizelge 4.1’te verilmiştir. En az kayıp %21 ile trakit (No 03) numunesine ait olup, en fazla kayıp ise %44 ile mermer (No 06) numunesinde gerçekleşmiştir. Bu deney sonucunda iki adet numune yok olduğundan tezin geri kalanında değerlendirmeye alınmayarak tez 11 adet numuneyle çalışılmıştır.

Çizelge 4.1 Los Angeles Aşınma deneyi sonrası kayıplar

Los Angeles Agrega Aşınma Deneyi			
Numune Adı	Deney Öncesi (gr)	Deney Sonrası (gr)	Kayıp (%)
N 01	5000	3599	28
N 02	5000	3687	26
N 03	5000	3956	21
N 04	5000	2981	40
N 05	5000	3026	39
N 06	5000	2818	44
N 07	5000	3813	24
N 08	5000	3376	32
N 09	5000	3160	37
N 10	5000	3464	31
N 11	5000	3642	27

4.3 Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı

Bu tez çalışmasında elde edilen tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri, agrega numunelerinin görüntü analizi ile bulunan fraktal boyut değerleri ile birlikte değerlendirilerek ampirik bir ilişki yardımıyla Los Angeles aşınma kaybının bulunmasında kullanılmıştır. Tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri ortalamaları 18 MPa litik tuf (No 04) ile 108 MPa bazalt (No 02) arasında değişim göstermekte olup en düşük değer 17 MPa ve en yüksek değer 126 MPa'dır.

Diyabaz (No 01) numunesinin en düşük ve en yüksek σ_c değerleri 51 MPa ve 79 MPa olup ortalama σ_c değeri 68 MPa'dır. İnce kristalen diyabaz (No 02) numunesinin en düşük σ_c değeri 94 MPa, en yüksek σ_c değeri 126 MPa, ortalama σ_c değeri 108 MPa'dır. Trakit (No 03) en düşük σ_c değeri 51 MPa olmakla beraber en yüksek σ_c değeri 78 MPa ve ortalama σ_c değeri 65 MPa'dır. Litik tuf (No 04) numunesinin en düşük ve en yüksek σ_c değerleri 16 MPa ve 20 MPa'dır, ortalama σ_c değeri ise 18 MPa'dır. Granodiyorit (No 05) numunesinin en düşük σ_c değeri 59 MPa ve en yüksek σ_c değeri 100 MPa olmakla birlikte ortalama σ_c değeri ise 80 MPa'dır. Mermer (No 06) numunesinin en düşük σ_c değeri 30 MPa, en yüksek σ_c değeri 48 MPa, ortalama σ_c değeri 38 MPa'dır. İgnimbirit (No 07) numunesinin en düşük ve en yüksek σ_c değerleri 33 MPa ve 69 MPa olup, ortalama σ_c değeri 56 MPa'dır. Gölsel kireçtaşı (No 08) numunesinin en düşük σ_c değeri 15 MPa, en yüksek σ_c değeri 45 MPa, ortalama σ_c değeri 34 MPa'dır. Killi kireçtaşı (No 09) numunesinin en düşük ve en yüksek σ_c değerleri 17 MPa ve 51 MPa olmakla beraber ortalama σ_c değeri ise 29 MPa'dır. Kireçtaşı (No 10) numunesinin en düşük ve en yüksek σ_c değerleri 17 MPa ve 38 MPa'dır, ortalama σ_c değeri ise 30 MPa'dır. Kireçtaşı (No 11) numunesinin en düşük σ_c değeri 17 MPa, en yüksek σ_c değeri 51 MPa, ortalama σ_c değeri 33 MPa'dır. Tüm örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri Çizelge 4.2'de sunulmuştur. Tek eksenli sıkışma dayanımı değerinin LAA ile karşılaştırılması aşağıda verilmiştir (Şekil 4.2).

Çizelge 4.2 Tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri

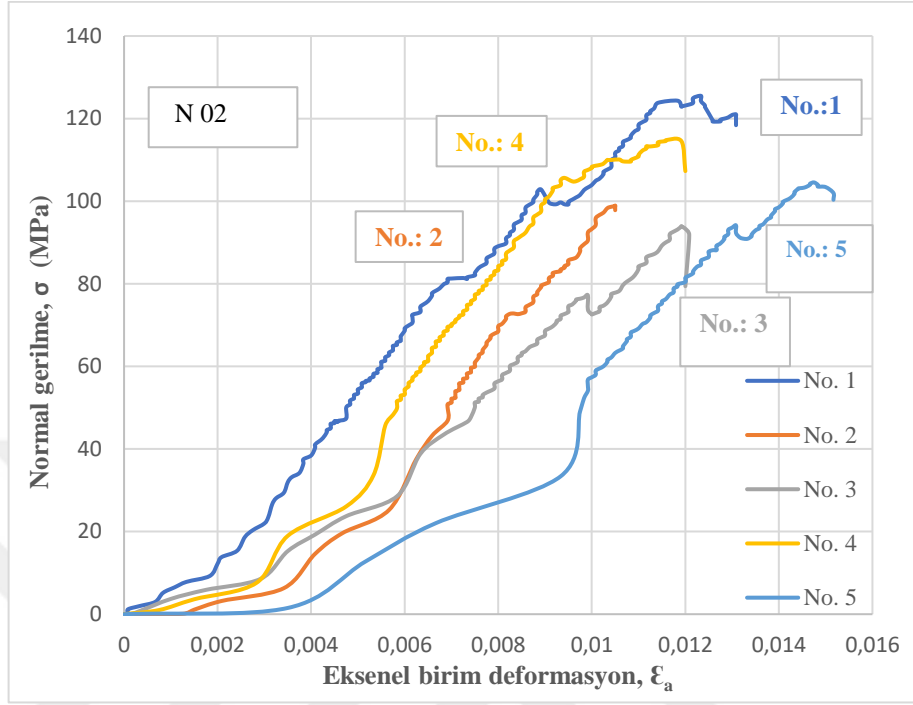
Tek Eksenli Sıkışma Deneyi							
Numune Adı	1. Deneş (Mpa)	2. Deneş (Mpa)	3. Deneş (Mpa)	4. Deneş (Mpa)	5. Deneş (Mpa)	6. Deneş (Mpa)	Ortalama Değer (MPa)
No 01	51	87	46	73	70	79	68
No 02	126	99	94	115	105	-	108
No 03	72	67	60	51	62	78	65
No 04	18	17	16	18	20	16	18
No 05	82	59	77	100	82	80	80
No 06	48	44	38	27	43	30	38
No 07	61	62	51	33	59	69	56
No 08	45	15	40	35	-	-	34
No 09	23	25	20	37	17	51	29
No 10	38	28	36	17	-	-	33
No 11	50	33	30	29	30	28	30

Örnek olarak 2 Numaralı numunenin tek eksenli sıkışma dayanımından elde edilen veriler ve Çizelge 4.3 ve Şekil 4.1’de verilmiştir. Tek eksenli sıkışma dayanımı ile LAA değeri arasındaki deneşirme katsayısının (R^2) 0,1624 gibi düşük bir değeri olduğu görülmektedir (Şekil 4.2).

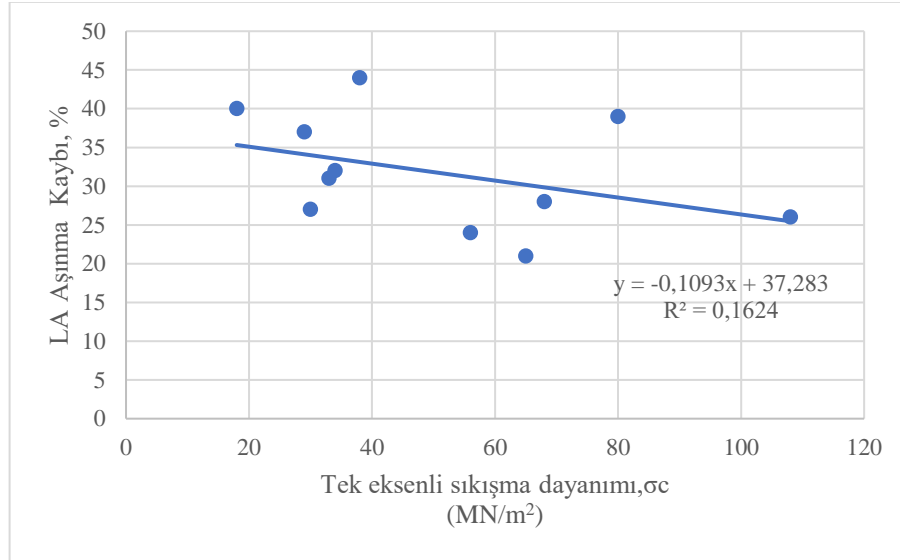
Çizelge 4.3 2 Numaralı numunenin tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri

	No.01	No.02	No.03	No.04	No.05
D (mm)	55	55	55	55	55
L (mm)	120	120	120	120	120
M (g)	733	722	688	734	688
γ (kN/m ³)	25,22	24,84	23,67	25,26	23,67
σ_c (MN/m ²)	126	99	94	115	105

Kısaltmalar: D = çap, L = boy, M = kütle, γ = birim ağırlık, σ_c = tek eksenli sıkışma dayanımı



Şekil 4.12 2 numaralı numunenin eksenel birim deformasyon-normal gerilme grafiği



Şekil 4.13 Tek eksenli sıkışma dayanımı- LA Aşınma kaybı grafiği

4.4 Fraktal Boyut, D

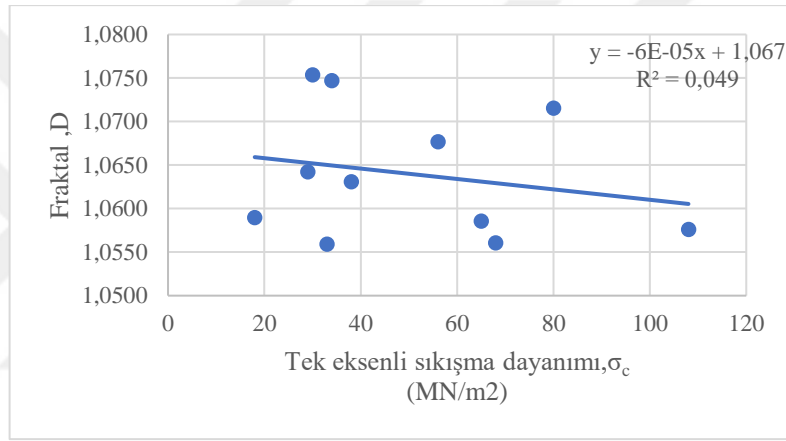
Bu çalışmada agrega numunelerinin fraktal boyut analizleri Media Cybernetics firmasına ait Image-Pro Plus programı ile yapılmıştır. Her bir kaya numunesi için Los Angeles aşınma dayanımı deneyinde de kullanılan dört farklı elek aralığı tane boyutunu sınıflandırma amacıyla fotoğraflamada kullanılmıştır. Yapılan fraktal boyut analizlerinde her tane boyu aralığı için 16 adet agrega numunesi ve her bir kaya numunesi için 64 adet agrega numunesi kullanılarak toplamda 704 numune fraktal boyut analizi için fotoğraflanıp Image-Pro Plus programına aktarılarak programın fraktal boyut değerlerini otomatik olarak hesaplaması sağlanmıştır.

No 01 (diyabaz) numunesinin ortalama fraktal boyut değeri 1,0560, en küçük fraktal boyut değeri 1,0391 ve en büyük fraktal boyut değeri 1,0829'dur. No 02 (bazalt) numunesinin ortalama fraktal boyut değeri 1,0576 olup en küçük ve en büyük fraktal boyut değerleri 1,0377 ve 1,0914'tür. No 03 (trakit) numunesinin ortalama fraktal boyut değeri 1,0585, en küçük fraktal boyut değeri 1,0392 ve en büyük fraktal boyut değeri 1,0951'dir. No 04 (litik tuf) numunesinin ortalama fraktal boyut değeri 1,0589 olmakla beraber en küçük ve en büyük fraktal boyut değerleri 1,0398 ve 1,1072'dir. No 05 (granodiyorit) numunesinin ortalama fraktal boyut değeri 1,0715, en küçük fraktal boyut değeri 1,0421 ve en büyük fraktal boyut değeri 1,1386'dır. No 06 (mermer) numunesinin ortalama fraktal boyut değeri 1,0631 olup en küçük ve en büyük fraktal boyut değerleri 1,0333 ve 1,1567'dir. No 07 (ignimbirit) numunesinin ortalama fraktal boyut değeri 1,0677, en küçük fraktal boyut değeri 1,0409 ve en büyük fraktal boyut değeri 1,1346'dır. No 08 (gösel kireçtaşı) numunesinin ortalama fraktal boyut değeri 1,0747 olmakla beraber en küçük fraktal boyut değeri 1,0360 ve en büyük fraktal boyut değeri 1,1957'dir. No 09 (killi kireçtaşı) numunesinin ortalama fraktal boyut değeri 1,0642 iken en küçük fraktal boyut değeri 1,0347 ve en büyük fraktal boyut değeri 1,1509'dur. No 10 (kireçtaşı) numunesinin ortalama fraktal boyut değeri 1,0559 olup en küçük fraktal boyut değeri 1,0380 ve en büyük fraktal boyut değeri 1,0855'dir. No 11 (kireçtaşı) numunesinin ortalama fraktal boyut değeri 1,0753 olup en küçük ve en büyük fraktal boyut değerleri 1,0406 ve 1,0753'tür. Agrega numunelerinin Image-Pro Plus programı ile yapılan tüm fraktal boyut değeri analizleri Çizelge 4.4'te verilmiştir.

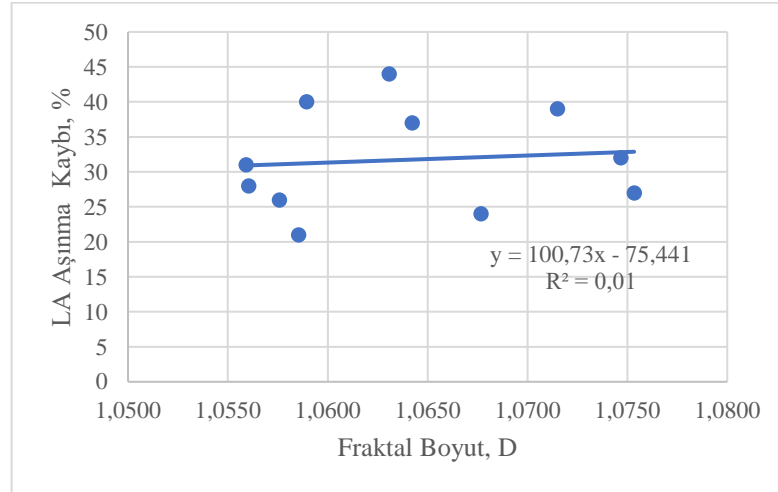
Çizelge 4.4 Agregaların fraktal boyut değerleri

Numune Adı	Fraktal Boyut Değerleri	Elek Aralıkları				Minimum Değerler Ortalaması	Maksimum Değerler Ortalaması	Genel Ortalama	Toplam Agrega Sayısı
		37,5 mm-25 mm	25 mm-19 mm	19 mm-12,5 mm	12,5 mm-9,5 mm				
No 01	Min	1.0248	1.0361	1.0397	1.0561	1.0391		64	
	Max	1.0604	1.0619	1.1142	1.0952		1.0829		
	Ortalama	1.0382	1.0443	1.0682	1.0734		1.0560		
No 02	Min	1.0252	1.0324	1.0369	1.0562	1.0377		64	
	Max	1.0535	1.0802	1.1158	1.1161		1.0914		
	Ortalama	1.0358	1.0498	1.0672	1.0775		1.0576		
No 03	Min	1.0253	1.0326	1.0465	1.0524	1.0392		64	
	Max	1.0988	1.1136	1.0807	1.0874		1.0951		
	Ortalama	1.0472	1.0564	1.0617	1.0688		1.0585		
No 04	Min	1.0245	1.0317	1.0429	1.0601	1.0398		64	
	Max	1.0780	1.0857	1.1005	1.1646		1.1072		
	Ortalama	1.0413	1.0479	1.0643	1.0822		1.0589		
No 05	Min	1.0320	1.0331	1.0425	1.0608	1.0421		64	
	Max	1.1313	1.1155	1.1375	1.1701		1.1386		
	Ortalama	1.0623	1.0599	1.0721	1.0916		1.0715		
No 06	Min	1.0183	1.0241	1.0374	1.0532	1.0333		64	
	Max	1.1735	1.2350	1.0856	1.1326		1.1567		
	Ortalama	1.0543	1.0692	1.0586	1.0701		1.0631		
No 07	Min	1.0306	1.0400	1.0390	1.0540	1.0409		64	
	Max	1.1258	1.0938	1.1464	1.1726		1.1346		
	Ortalama	1.0528	1.0600	1.0709	1.0870		1.0677		
No 08	Min	1.0256	1.0267	1.0371	1.0547	1.0360		64	
	Max	1.1867	1.1967	1.2558	1.1434		1.1957		
	Ortalama	1.0647	1.0766	1.0758	1.0816		1.0747		
No 09	Min	1.0224	1.0284	1.0358	1.0520	1.0347		64	
	Max	1.2152	1.1537	1.0893	1.1452		1.1509		
	Ortalama	1.0662	1.0632	1.0555	1.0720		1.0642		
No 10	Min	1.0233	1.0322	1.0505	1.0461	1.0380		64	
	Max	1.0663	1.0701	1.1071	1.0983		1.0855		
	Ortalama	1.0371	1.0503	1.0677	1.0685		1.0559		
No 11	Min	1.0245	1.0461	1.0409	1.0511	1.0406		64	
	Max	1.2104	1.0983	1.2135	1.1849		1.1768		
	Ortalama	1.0732	1.0685	1.0784	1.0812		1.0753		

Tek eksenli sıkışma dayanımı değerinin fraktal boyut analizi ile karşılaştırılması Şekil 4.3’de verilmiştir. Tek eksenli sıkışma dayanımı ile fraktal boyut arasındaki deneştirme katsayısının, R^2 , 0,049 gibi düşük bir değer olduğu görülmektedir (Şekil 4.3). LAA ile fraktal boyut değerlerinin karşılaştırıldığı grafik ise Şekil 4.4’te verilmiştir. Fraktal boyut ile LAA değeri arasındaki deneştirme katsayısının, R^2 , 0,01 gibi çok düşük bir değer olduğu görülmektedir (Şekil 4.4).



Şekil 4.14 Tek eksenli sıkışma dayanımı-fraktal boyut grafiği



Şekil 4.15 LAA-fraktal boyut grafiği

4.5 Modifiye Proctor Deneyi

Deney sonuçları bu tez çalışmasında kullanılmak üzere lisans öğrencilerinin Prof. Dr. Kamil Kayabalı danışmanlığında yaptığı çalışmadan alınmıştır. Diyabaz (No 01) numunesinin kaybı %40, bazalt (No 02) numunesinin kaybı %28, trakit (No 03) numunesinin kaybı %32, litik tuf (No 04) numunesinin kaybı %39, granodiyorit (No 05) numunesinin kaybı %33, mermer (No 06) numunesinin kaybı %35, ignimbirit (No 07) numunesinin kaybı %27, gölsel kireçtaşı (No 08) numunesinin kaybı %28, killi kireçtaşı (No 09) numunesinin kaybı %37, kireçtaşı (No 10) numunesinin kaybı %34, kireçtaşı (No 11) numunesinin kaybı %28 olarak bulunmuştur. Modifiye Proctor deneyi sonucunda çıkan tüm değerler Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5 Modifiye Proctor deneyi sonuçları

Numune Adı	Deney öncesi numune miktarı (gr)	Deney sonrası numune miktarı (gr)	Kayıp (%)
No 01	5000	3000	40
No 02	5000	3600	28
No 03	5000	3400	32
No 04	5000	3050	39
No 05	5000	3350	33
No 06	5000	3250	35
No 07	5000	3650	27
No 08	5000	3600	28
No 09	5000	3150	37
No 10	5000	3300	34
No 11	5000	3600	28

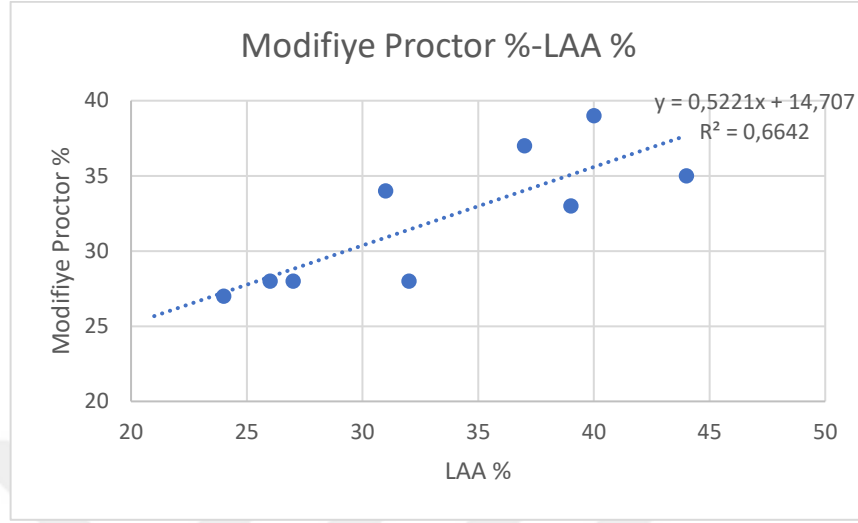
Deney sonrasında en düşük kayıp %27 ile ignimbirit (No 07) numunesinde görülmektedir. En yüksek kayıp ise %40 ile diyabaz (No 01) numunesinde görülmektedir. Diyabaz (No 01)

ve trakit (No 03) numuneleri haricinde çıkan değerler Los Angeles deneyi ile benzer değerleri göstermektedir (Çizelge 4.6). LAA ile modifiye Proctor deneyi değerlerinin karşılaştırıldığı grafik Şekil 4.5’de verilmiştir. 1 (diyabaz) ve 3 (trakit) No’lu numune sonuçları normalden uzaklaştığı için çıkarıldıktan sonra Modifiye Proctor deneyi ile LAA değeri arasındaki deneştirme katsayısının, R^2 , 0,6642 gibi anlamlı bir değer olduğu görölmektedir (Şekil 4.5).

Çizelge 4.6 LAA-MP aşınma yüzdeleri karşılaştırması

Numune Adı	Los Angeles Aşınma %	Modifiye Proctor Aşınma %
01	28	40
02	26	28
03	21	32
04	40	39
05	39	33
06	44	35
07	24	27
08	32	28
09	37	37
10	31	34
11	27	28

Killi kireçtaşı (No 09) numunesinin iki deneyde de aynı sonucu verdiği, litik tuf (No 04) ve kireçtaşı (No 11) numunelerinin iki deney arasındaki farkı ise %1 olarak görölmektedir.



Şekil 4.16 LA aşınma kaybı- Modifiye Proctor grafiği

4.6 Regresyon Analizi

Regresyon analizi, bir veya daha fazla değişkeni etkileyen bir veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi incelemek için kullanılan güçlü bir istatistiksel yöntemdir. Regresyon analizi, bir veya daha fazla bağımsız değişken ile bir yanıt değişkeni arasındaki ilişkiyi test eden bir regresyon çizgisine sahip bir veya daha fazla değişkenin sonuçlarını tahmin etmek için de kullanılabilir. İki tür değişken arasındaki ilişkiyi tanımlayan model, regresyon modeli olarak adlandırılır. Analize dâhil edilen değişkenlerin sayısına bağlı olarak üç tür regresyon analizi tanımlanabilir olup bunlar aşağıda sunulmuştur (Abbas ve Wasin 2020).

- Yalnızca bir yanıt değişkeni Y ile bir bağımsız değişken X arasındaki ilişki, basit doğrusal regresyon adı verilen bir modelle tanımlanabilir.
- Yalnızca bir yanıt değişkeni Y ile iki veya daha fazla bağımsız değişken (X_1, X_2, \dots, X_n) arasındaki ilişki çoklu doğrusal regresyon adı verilen bir modelle tanımlanabilir.
- Birkaç yanıt değişkeni ile birkaç bağımsız değişken arasındaki ilişki çok değişkenli çoklu doğrusal regresyon adı verilen bir modelle tanımlanabilir.

R^2 , tüm X değişkenleri tarafından “açıklanan” veya “atfedilen” Y’deki varyasyonun yüzdesini gösteren deneştirme (belirtme) katsayısıdır. R^2 , deneştirme katsayısı, tatmin edici

bir değere sahip değilse araştırmacı bağımsız değişkenlerin sayısını arttırarak uyumlu bir deneştirme katsayısı hesaplayabilir (Siegel 2012). R^2 , 0 ile 1 arasında değişen bir değer olup, R^2 'nin değeri ne kadar yüksekse regresyon analizinin matematiksel ifadesi problemin verilerine o kadar iyi uyar, böylece bağımlı değişkenin bağımsız değişkenle tatmin edici bir korelasyonu sağlanır (Profillidis ve Botzoris 2019). R^2 değeri, regresyon analizi modeli tarafından bulunan varyasyon yüzdesini temsil ederken, $1-R^2$ model tarafından açıklanamayan veri değerlerindeki varyasyon yüzdesini temsil eder (Abbas ve Wasin 2020).

Bu tez çalışmasında Oakdale Engineering firmasına ait Datafit programı ile regresyon analizleri yapılmıştır. Datafit programı ile yapılan lineer regresyon analizlerinde Los Angeles aşınma dayanımının, tek eksenli sıkışma dayanımı, fraktal boyut ve modifiye Proctor deneyi sonuçları değerlendirilmiştir.

Regresyon analizlerinin sonucunda LAA ile farklı değişkenler/değişken arasındaki ilişki Çizelge 4.7'de verilmiştir. Modifiye Proctor ile LAA karşılaştırıldığı 5. ve 6. denklemde 1 (diyabaz) ve 3 (trakit) No'lu numune sonuçları normalden uzaklaştığı için çıkarılmıştır. Çizelge 4.6'da görüldüğü üzere lineer regresyon analizleri sonucunda Los Angeles aşınma dayanımı ile tek eksenli sıkışma dayanımı, fraktal boyut ve modifiye Proctor deneyleri arasında 0,495 deneştirme katsayısına sahip bir denklem elde edilmiştir. İki farklı bağımsız değişken ve yedi sabit değer bulunan regresyon analizleri sonucunda Los Angeles aşınma dayanımı, tek eksenli sıkışma dayanımı ve modifiye Proctor deneyleri arasında deneştirme katsayısı 0,923 gibi çok yüksek bir değer olan denklem elde edilmesine rağmen bu denklemin pratikte kullanımı kolay değildir. İki farklı bağımsız değişken ve altı sabit değer bulunan regresyon analizleri sonucunda Los Angeles aşınma dayanımı, tek eksenli sıkışma dayanımı ve modifiye Proctor deneyleri arasında deneştirme katsayısı 0,569 olan kullanımı görece daha pratik olan bir eşitlik elde edilmiştir. İki farklı bağımsız değişken ve yedi sabit değer bulunan regresyon analizleri sonucunda Los Angeles aşınma dayanımı, tek eksenli sıkışma dayanımı ve fraktal boyut arasında deneştirme katsayısı 0,547 olan bir denklem elde edilmiştir.

Çizelge 4.7 Farklı bağımsız değişkenler ile LAA arasında bulunan anlamlı denklemler (a, b, c, d, e, f ve g sabit değerlerdir)

No.	X ₁	X ₂	X ₃	Denklem	R ²
1	σ _c	D	MP	LAA= exp(ax ₁ +bx ₂ +cx ₃ +d)	0,495
2	σ _c	MP	-	LAA= a+bx ₁ +cx ₂ +dx ₂ ² +ex ₂ ³ +fx ₂ ⁴ +gx ₂ ⁵	0,923
3	σ _c	MP	-	LAA= a+bx ₁ +cx ₁ ² +dx ₁ ³ +ex ₂ +fx ₂ ²	0,569
4	σ _c	D	-	LAA= a+bx ₁ +cx ₂ +dx ₁ ² +ex ₂ ² +fx ₁ x ₂	0,547
5	MP	-	-	LAA= ax ⁵ +bx ⁴ +cx ³ +dx ² +ex+f	0,734
6	MP	-	-	LAA= ax ³ +bx ² +cx+d	0,727

Tek bağımsız değişken ile yapılan regresyon analizinde Los Angeles aşınma dayanımı ile modifiye Proctor deneyleri arasında 0,734 ve 0,727 belirtme katsayıları olan denklemler elde edilmiştir. Belirtme katsayısı 0,727 olan denklemin dört adet sabit değeri olup kullanımı 5 Numaralı denkleme göre daha kolay gözükmektedir.

5 SONUÇLAR

1. Tek eksenli sıkışma dayanımı ile fraktal boyut analizi arasında yapılan basit regresyon analizi neticesinde deneştirme katsayısı $R^2 = 0,049$ çıkmıştır. Bu sonuç iki değer arasında anlamlı bir ilişkinin olmadığını göstermektedir.
2. Bu tez çalışmasında öncelikle tek eksenli sıkışma dayanımı ve fraktal boyut analizinin Los Angeles aşınma kaybının bulunmasında değerlendirilmesi düşünülmüştür ancak yapılan literatür çalışmaları sırasında Mohajerani vd.'nin (2017) modifiye Proctor deneyi ile Los Angeles aşınma deneyi arasında yüksek korelasyon bulması neticesinde tez çalışmasına bu deneyin de alınması uygun görülmüştür.
3. Mohajerani vd.'nin (2017) çalışmasından esinlenerek hazırlanan modifiye Proctor deneyinde oluşan kayıp ile Los Angeles aşınma değerleri karşılaştırıldığında $R^2 = 0,2629$ çıkmıştır. 1 numaralı numune normalden uzaklaştığı için hesaplamalardan çıkarıldığında $R^2 = 0,4982$ 'ye yükselmiş, 3 numaralı numune de aynı sebepten hesaplamadan çıkarıldığında deneştirme katsayısı $R^2 = 0,6642$ 'ye ulaşmıştır. Bu sonuç iki değer arasında anlamlı bir ilişkinin olduğunu göstermektedir. Ayrıca killi kireçtaşı (No 09) numunesinin iki deneyde de aynı sonucu verdiği, litik tuf (No 04) ve kireçtaşı (No 11) numunelerinin ise iki deney arasındaki farklarının ise %1 olduğu görülmüştür.
4. Tek eksenli sıkışma dayanımı ile Los Angeles aşınma kaybı arasında yapılan basit regresyon analizi neticesinde deneştirme katsayısı $R^2 = 0,1624$ çıkmıştır. Bu sonuç ile iki değer arasında anlamlı bir ilişkinin olmadığı sonucuna varılmıştır.
5. Los Angeles aşınma kaybı ile fraktal boyut analizi arasında yapılan regresyon analizi neticesinde deneştirme katsayısı $R^2 = 0,01$ çıkmıştır. Çıkan sonuç neticesinde iki değer arasında anlamlı bir ilişkinin olmadığını görülmüştür. Bu sonuçlar kayaların petrografik analiz sonuçları ile uyum gösterdiği görülmüştür.

6. Fraktal boyut analizleri sonucunda fraktal boyut değerlerinin ortalamaları 1,0559 ile 1,0753 arasında değişmektedir. Fraktal boyut değeri 1,0'dan uzaklaştıkça köşelilik artmakta ve yuvarlaklılık azalmaktadır. Elek aralığı küçülüp tane boyu ufaldıkça da köşeliliğin arttığı gözlenmektedir.
7. LAA'nın bağımlı değişken, fraktal boyut ve σ_c 'nin bağımsız değişkenler olduğu lineer regresyon analizinde $R^2=0,547$ çıkmıştır. Bu tez çalışmasında kullanılan 11 kaya numunesinden elde edilen bu deneştirme katsayısı, pek çok farklı kaya numunesinde gelecekte benzer araştırmalar yapılabilmesine değer bir bulgu olduğunu göstermiştir.
8. Los Angeles aşınma kaybının bağımlı değişken, σ_c ve MP'nin bağımsız değişkenler olduğu, 7 sabit değerli lineer regresyon analizinde $R^2=0,923$ gibi çok yüksek bir deneştirme katsayısı elde edilmiş olmasına rağmen denklemin pratikte kullanımının kolay olmayacağı sonucuna varılmıştır.
9. Kullanılan numunelerin tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerine bakıldığında 50 MPa üstünde σ_c değeri olan numunelerin geneli %30'un altında L.A. aşınma kaybı göstermektedir. %44'e ulaşan Los Angeles aşınma kaybı değerlerine bakıldığında tek eksenli sıkışma dayanımı deneyi basit ve hızlı bir deney olarak ön değerlendirme için kullanılabileceğini göstermektedir. Ayrıca yapılan basit regresyon analizlerinde iki değer arasında $R^2=0,734$ ve $R^2=0,727$ deneştirme katsayılarının bulunması bu değerlendirmeyi destekler niteliktedir.
10. Datafit programı ile yapılan lineer regresyon analizlerinde Los Angeles aşınma dayanımı ile tek eksenli sıkışma dayanımı, fraktal boyut ve modifiye Proctor deneyleri arasında $R^2=0,495$ deneştirme katsayısına sahip bir denklem elde edilmiştir. Güçlü bir korelasyon göstermese de gelecek çalışmalarda araştırılmaya değer olduğunu göstermektedir.
11. Toplam 11 örnek içerisinde üç volkanik, iki piroklastik ve bir adet derinlik olmak üzere toplamda altı adet magmatik kaya kullanılmıştır. Bir adet metamorfik kaya olarak mermer bileşimindeki kaya kullanılmıştır. Geri kalan dört örnek ise sedimenter

kayalardan seçilerek deney çalışmaları yapılmıştır. Magmatik kayalar; bir adet bazalt, bir adet diyabaz, bir adet trakit ve bir adet granodiyorit bileşimindedir. Piroklastik kayalar ise litik tuf ve ignimbirit bileşimindedir.

12. Petrografik analiz sonuçlarına göre diyabaz, bazalt, trakit ve granodiyorit oldukça dayanıklı, sert (kuvars, feldispat, amfibol ve piroksen gibi) minerallerden oluşması Los Angeles aşınma kaybı ve tek eksenli sıkışma deney sonuçları diğer kayalara nazaran daha yüksek olduğu ortaya konulmuştur.



KAYNAKLAR

- Abbas, F. M., & Wasin, A. A. (2020). Regression Analysis. F. M. Abbas, & A. A. Wasin içinde, *Applied Statistics for Environmental Science with R* (s. 113-132).
- Afolagboye, L. O., Talabi, A. O., & Akinola, O. O. (2015). Evaluation of selected basement complex rocks from Ado-Ekiti, SW Nigeria, as source of road construction aggregates. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 75, 853-865.
- Ajalloeian, R., & Kamani, M. (2017). An investigation of the relationship between Los Angeles abrasion loss. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*(78), 1555-1563.
- Aksoy, H. S. (2018). Kireçtaşlarının aşınma dirençlerinin endeks özellikleri yardımıyla belirlenmesi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 237-244.
- Al Harthi, A. A., & Abo Saada, Y. E. (1997, April). Wadi natural aggregates in Western Saudi Arabia for use in Concrete. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 55, 27-37. doi:10.1007/BF02635406
- Al-Harthi, A. A. (2001). A field index to determine the strength characteristics of crushed aggregate. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 60, 193-200.
- Arioğlu, E., Arioğlu, N., & Yılmaz, A. O. (2006). *Beton Agregaları*. İstanbul: Evrim Yayınevi.
- Ballivy, G., & Dayre, M. (1984). The mechanical behaviour of aggregates related to physicomechanical properties of rocks. *Int. Ass. Eng. Geol. Bull.*, 29, s. 339-342.
- Brandes, H. G., & Robinson, C. E. (2006). Correlation of Aggregate Test Parameters to Hot Mix. *Journal of Transportation Engineering*, 132(1).
- Cargill, J. S., & Shakoor, A. (1990). Evaluation of empirical methods for measuring the uniaxial compressive strength of rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 27(6), 495-503.
- Cerni, G., & Camilli, S. (2011). Comparative Analysis of Gyrotory and Proctor Compaction Processes of Unbound Granular Materials. *Road Materials and Pavement Design* , 12(2), 397-421.
- Cooley, A. L., & James, R. S. (2003). Micro-Deval Testing of Aggregates in the Southeast. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 1837(1).
- Cuelho, E., Mokwa, R., Obert, K., & Miller, A. (2008). *Comparative Analysis of Micro-Deval, L.A. Abrasion and Sulfate*. Bozeman, MT: Transportation Research Board.
- Eden, M. A., & French, W. J. (2005). Aggregates. M. A. Eden, & W. J. French içinde, *Encyclopedia of Geology* (s. 34-43). doi:https://doi.org/10.1016/B0-12-369396-9/00254-9

- Edet, A. (1992). Physical properties and indirect estimation of microfractures using Nigerian carbonate rocks as examples. *Engineering Geology*(33), 71-80.
- Esfahani, M. K., Kamani, M., & Ajalloeian, R. (2018). An investigation of the general relationships between abrasion resistance of aggregates and rock aggregate properties. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78, 1555-1563. doi:<https://doi.org/10.1007/s10064-017-1209-y>
- Fener, M., & Kahraman, S. (2007). Predicting the Los Angeles abrasion loss of rock aggregates from the uniaxial compressive strength. *Materials Letters*(61), 4861-4865.
- Fletcher, T., Chandan, C., Masad, E., & Sivakumar, K. (2003, January 1). Aggregate Imaging System for Characterizing the Shape of Fine and Coarse Aggregates. *Transportation Research Record*. doi:<https://doi.org/10.3141%2F1832-09>
- Fookes, P. G. (1991). Geomaterials. *Quarterly Journal of Engineering Geology*(24), s. 3-15.
- Fowler, D. W., Allen, J. J., Lange, A., & Range, P. (2006). *The Prediction of Coarse Aggregate Performance by Micro-Deval and Other Aggregate Tests*. International Center for Aggregate Research. The University of Texas at Austin.
- Gholami, R., & Fakhari, N. (2017). Chapter 27-Support Vector Machine: Principles, Parameters, and Applications. *Handbook of Neural Computation* (s. 515-535). içinde
- Hofer, V., Bach, H., Latal, C., & Neubauer, A.-C. (2013). Impact of Geometric and Petrographic Characteristics on the Variability of LA Test Values for Railway Ballast. *Mathematical Geosciences*, 727-752.
- Hunt, E. (2001). *Micro-Deval Coarse Aggregate Test Evaluation*. Salem, OR: Oregon Department of Transportation Research Group.
- Hyslip, J. P., & Vallejo, L. E. (1997). Fractal analysis of the roughness and size distribution of granular materials. *Engineering Geology*(48), 231-244.
- Kahraman, S., & Toraman, O. Y. (2008, August 27). Predicting Los Angeles abrasion loss of rock aggregates from crushability index. *Bulletin of Materials Science*(31), 173-177. doi:<https://doi.org/10.1007/s12034-008-0030-4>
- Kasim, M., & Shakoor, A. (1996, October). An investigation of the relationship between uniaxial compressive strength and degradation for selected rock types. *Engineering Geology*, 44(1-4), 213-227.
- Kazi, A., & Al-Mansour, Z. R. (1980, March). Influence of geological factors on abrasion and soundness characteristics of aggregates. *Engineering Geology*, 15(3-4), s. 195-203. doi:[https://doi.org/10.1016/0013-7952\(80\)90034-4](https://doi.org/10.1016/0013-7952(80)90034-4)
- Kılıç, A. M., & Kahraman, E. (2017, Aralık). Çukurova Bölgesi Kireçtaşlarının Los Angeles Aşınma Direnci ile Fiziko-Mekanik Özellikleri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(4), 31-38.

- Kolay, E. (2007). Örnek mikro yapısının ve köşeliliğinin suda dağılmaya karşı duraylılık indeksine etkisi ve suda dağılmaya karşı duraylılık indeksiyle bazı fiziksel özellikler arasındaki ilişki. *Yerbilimleri*, 28(2), 99-112.
- Kolay, E., & Kayabali, K. (2005). Agregaların köşeliliğinin ve pürüzlülüğünün belirlenmesinde fraktal boyut yönteminin kullanılması. *Yerbilimleri*, 26(2), 49-61. [http://www.yerbilimleri.hacettepe.edu.tr/no26\(2\)/26-2_04.pdf](http://www.yerbilimleri.hacettepe.edu.tr/no26(2)/26-2_04.pdf) adresinden alındı
- Kolay, E., Kayabali, K., & Tasdemir, Y. (2010). Modeling the slake durability index using regression analysis, artificial neural networks and adaptive neuro-fuzzy methods. *Bulletin of Engineering Geology and Environment*(69), 275-286.
- Lang, A. P., Range, P. H., Fowler, D. W., & Allen, J. J. (2007). Prediction of coarse aggregate performance by micro-deval and other soundness, strength, and intrinsic particle property tests. *Transportation Research Report*(2026), 3-8. doi:10.3141/2026-01
- Liu, J., Zhao, S., & Mullin, A. (2017). Laboratory assessment of Alaska aggregates using Micro-Deval test. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, 11, 27-34. doi:<https://doi.org/10.1007/s11709-016-0359-5>
- Mandelbrot, B. B. (1983). *The Fractal Geometry of Nature*. San Francisco: Freeman.
- Mandelbrot, B. B. (1977). *Fractals Form, Chance and Dimension*. San Francisco: Freeman.
- Mohajerani, A., Nguyen, B. T., Tanriverdi, Y., & Chandrawanka, K. (2017, October). A new practical method for determining the LA abrasion value for aggregates. *Soils and Foundations*, 57(5), s. 840-848. doi:<https://doi.org/10.1016/j.sandf.2017.08.013>
- Nener-Plante, D. (2013, January). Durability Assessment of Coarse Aggregates for Hot-Mix Asphalt in Maine. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 2335(1), 29-36. doi:<https://doi.org/10.3141/2335-04>
- Ozcelik, Y. (2011). Predicting Los Angeles abrasion of rocks from some. *Scientific Research and Essays*, 6(7), 1612-1619. doi:10.5897/SRE10.1164
- Palassi, M., & Danesh, A. (2016). Relationships Between Abrasion/Degradation of Aggregate Evaluated from Various Tests and the Effect of Saturation. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 49, 2937–2943.
- Pells, P. J. (1993). Chapter-3 Uniaxial Strength Testing. *Comprehensive Rock Engineering*. içinde Pergamons Press.
- Proctor, R. R. (1945). Proctor on military airfield. *Transaction of the American Society of Civil Engineers (ASCE)*, 110, 799-809.
- Proctor, R. R. (1948). Laboratory soil compaction methods, penetration resistance measurements, and the indicated saturated penetration resistance. *Proceedings of the*

Second International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 5, s. 242-247.

- Prowell, B. D., Zhang, J., & Brown, E. R. (2005). *Aggregate Properties and the Performance of Superpave-Designed Hot Mix Asphalt*. Transportation Research Board. National Cooperative Highway Research Program. doi:<https://doi.org/10.17226/13844>
- Ramsay, D. M., Dhir, R. K., & Spence, I. M. (1974). The role of rock and clast fabric in the physical performance of crushed-rock aggregate. *Engineering Geology*, 267-285.
- Rangaraju, P. R., Edlinski, J., & Amikhanian, S. (2005). *Evaluation of South Carolina Aggregate Durability Properties*. Federal Highway Administration. South Carolina Department of Transportation.
- Senior, S. A., & Rogers, C. A. (1991). Laboratory Tests for Predicting Coarse Aggregate Performance in Ontario. *Transportation Research Record*(1301), 97-106.
- Sonmez, H., Ercanoglu, M., Kalender, A., Dagdelenler, G., & Tunusluoglu, C. (2016). Predicting uniaxial compressive strength and deformation modulus of volcanic bimrock considering engineering dimension. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*(86), 91-103.
- Syyed, A. R., Zarnish, M., Aqsa , N., Muhammad, A., Amjad, F., & Muhammad, W. (2020). Compaction performance analysis of alum sludge waste modified soil. *Construction and Building Materials*, 230, 116953.
- Tercan, A. E., & Özçelik, Y. (2006). Canonical ridge correlation of mechanical and engineering index properties. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*(43), 58-65.
- Török, Á. (2014). Los Angeles and Micro-Deval Values of Volcanic Rocks and Their Use as Aggregates, Examples from Hungary. G. Lollino, A. Manconi, F. Guzzetti, M. Culshaw, P. Bobrowsky, & F. Luino (Dü.), *Engineering Geology for Society and Territory*. içinde 5, s. 115-118. Springer, Cham. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-319-09048-1_23
- Ugur, I., Demirdag, S., & Yavuz, H. (2010, Ocak). Effect of rock properties on the Los Angeles abrasion and impact test characteristics of the aggregates. *Materials Characterization*, 61(1), 90-96. doi:10.1016/j.matchar.2009.10.014
- Williams, D. M., & McNamara, K. (1992). Limestone to dolomite conversion and its effects on rocks strength: a case study. *Quarterly Journal of Engineering Geology*(24), s. 131-135.

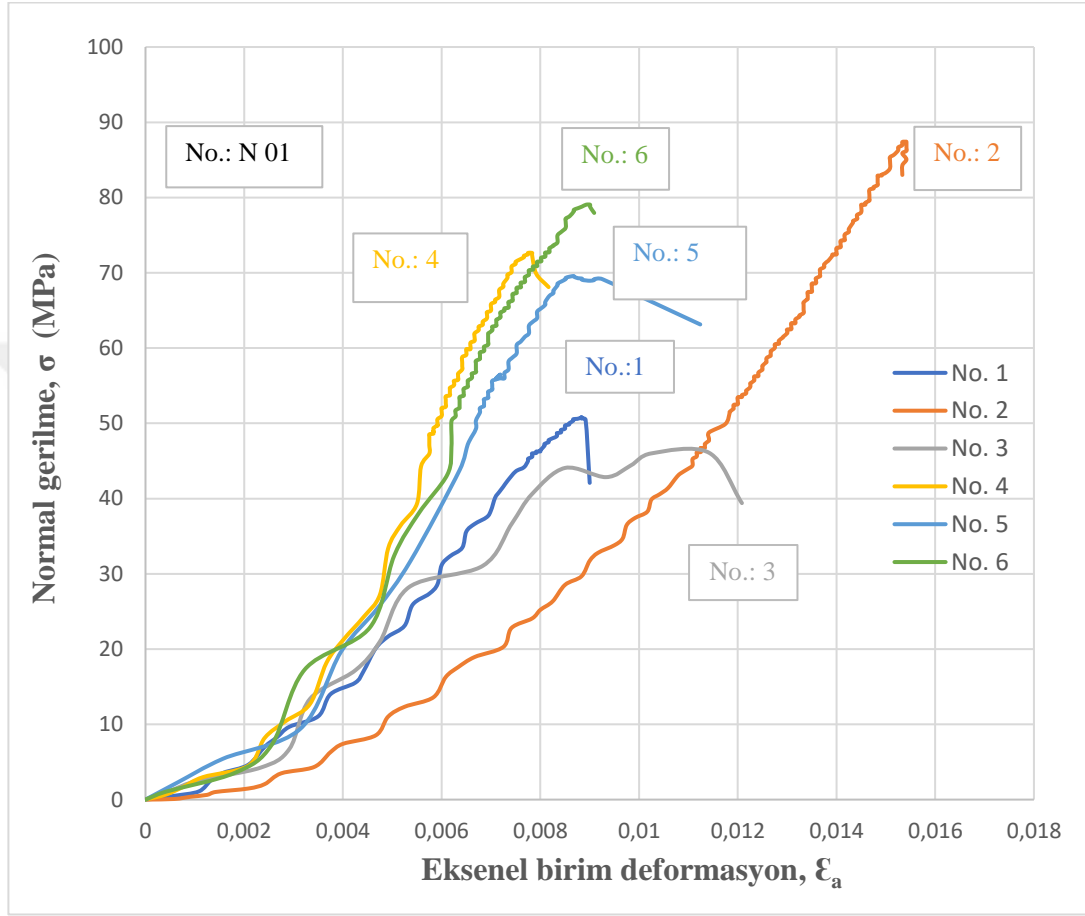
EKLER

EK 1 Normal gerilme-eksenel birim deformasyon çizelge ve grafikleri 51

EK 2 Image-Pro Analizi Ekran Görüntüleri..... 62

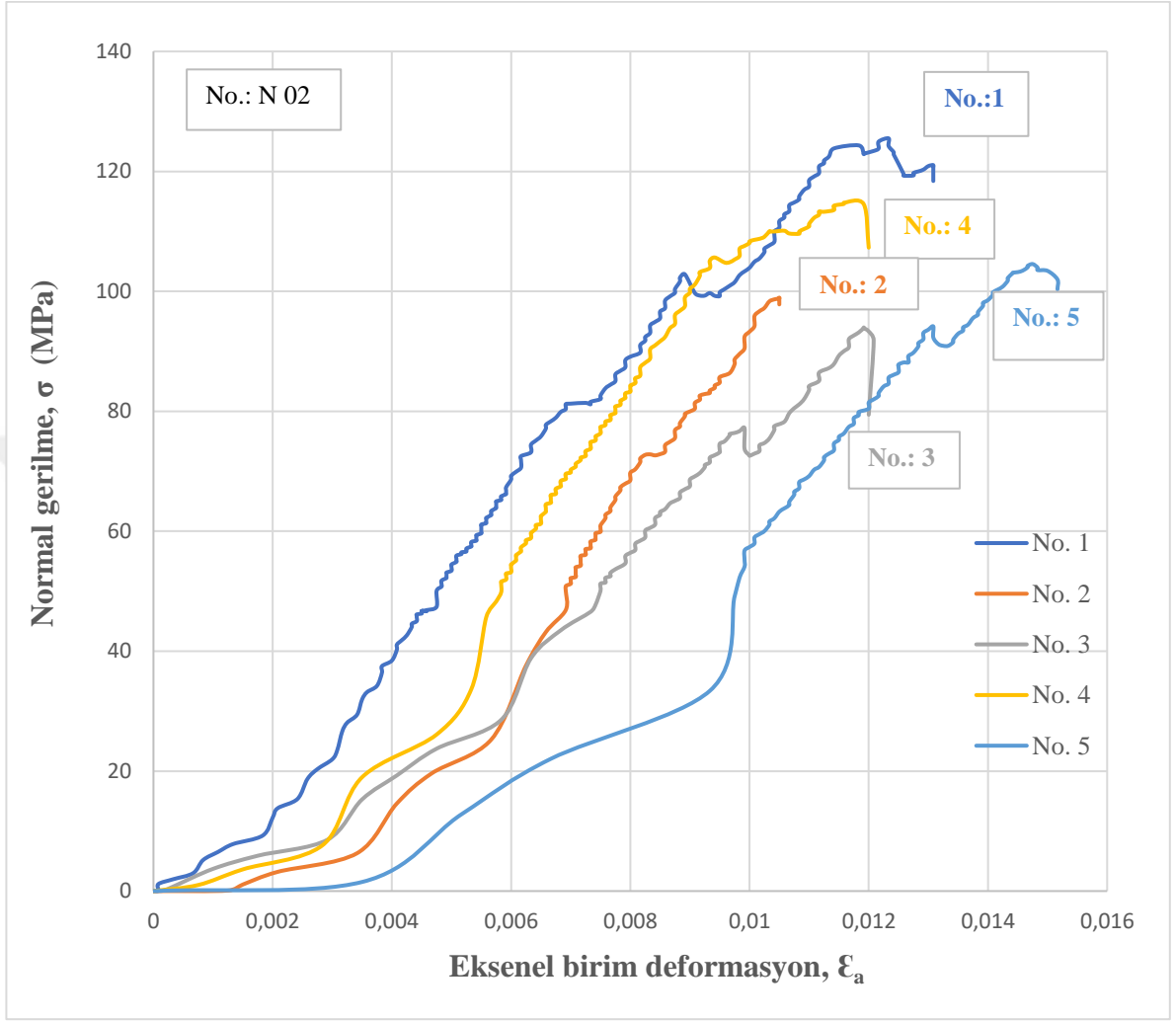


EK 1 Normal gerilme-eksenel birim deformasyon çizelge ve grafikleri



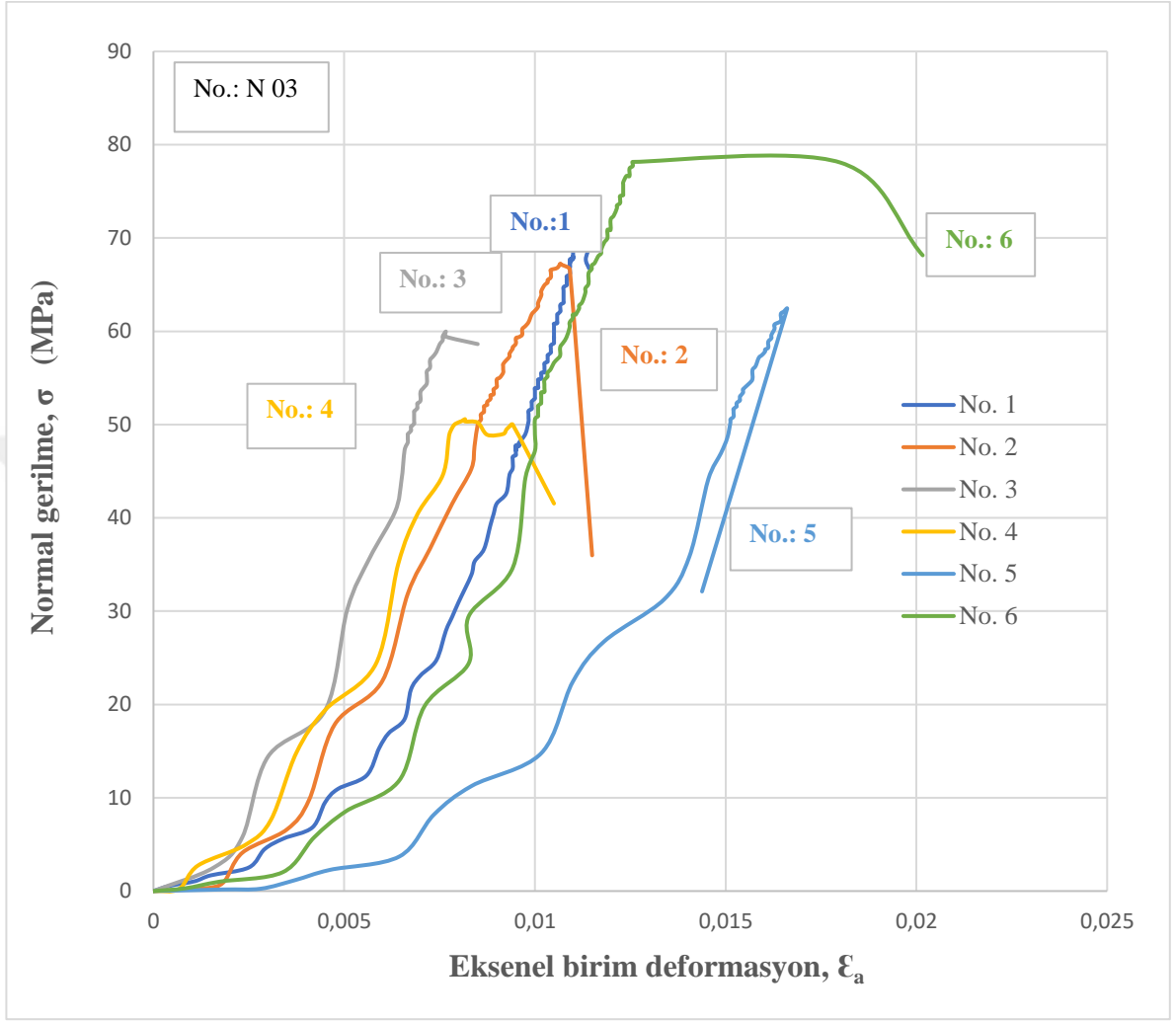
N 01 TEK EKSENLİ SIKIŞMA DENEYİ

	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
D (mm)	55,0	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0
L (mm)	120	120	120	120	121	121
M (g)	652	663	658	654	668	663
γ (kN/m ³)	22,43	22,81	22,64	22,50	22,80	22,62
σ_c (MN/m ²)	51	87	46	73	70	79



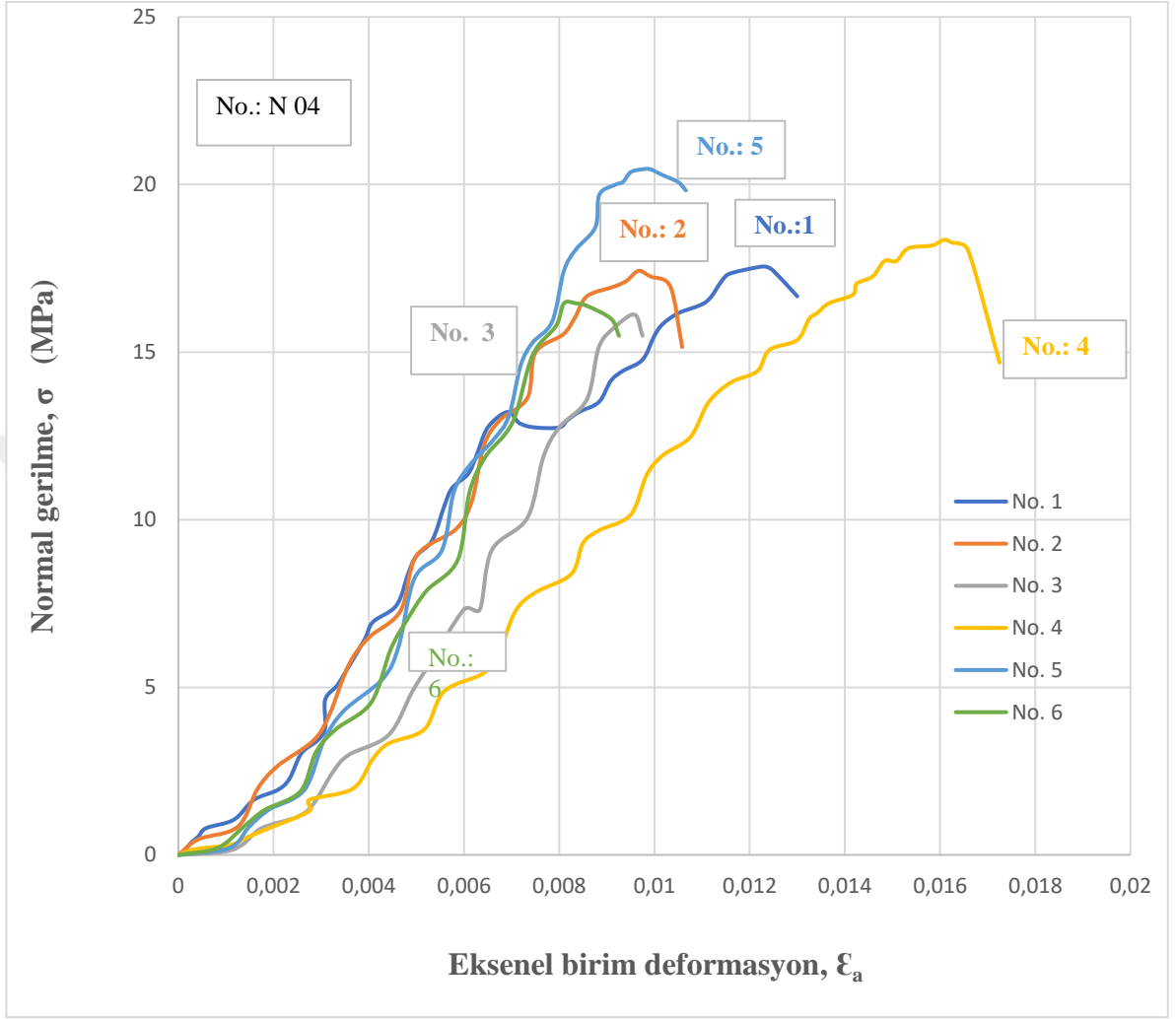
N 02 TEK EKSENLİ SIKIŞMA DENEYİ

	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
D (mm)	55	55	55	55	55
L (mm)	120	120	120	120	120
M (g)	733	722	688	734	688
γ (kN/m ³)	25,22	24,84	23,67	25,26	23,67
σ_c (MN/m ²)	126	99	94	115	105



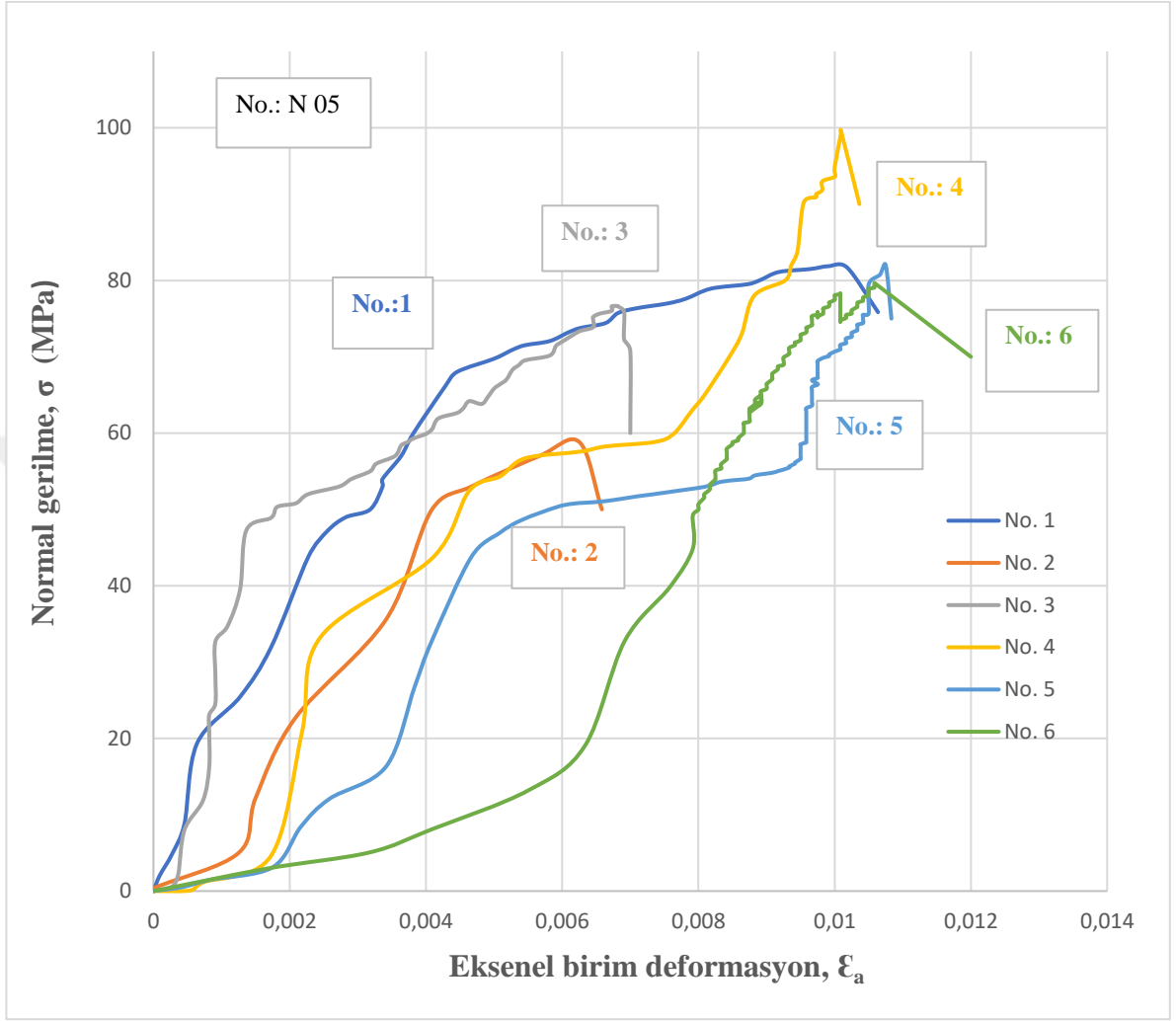
N 03 TEK EKSENLİ SIKIŞMA DENEYİ

	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
D (mm)	55	55	55	55	55	55
L (mm)	120	120	120	120	121	121
M (g)	575	572	574	574	575	576
γ (kN/m ³)	19,79	19,68	19,75	19,75	19,62	19,66
σ_c (MN/m ²)	72	67	60	51	62	78



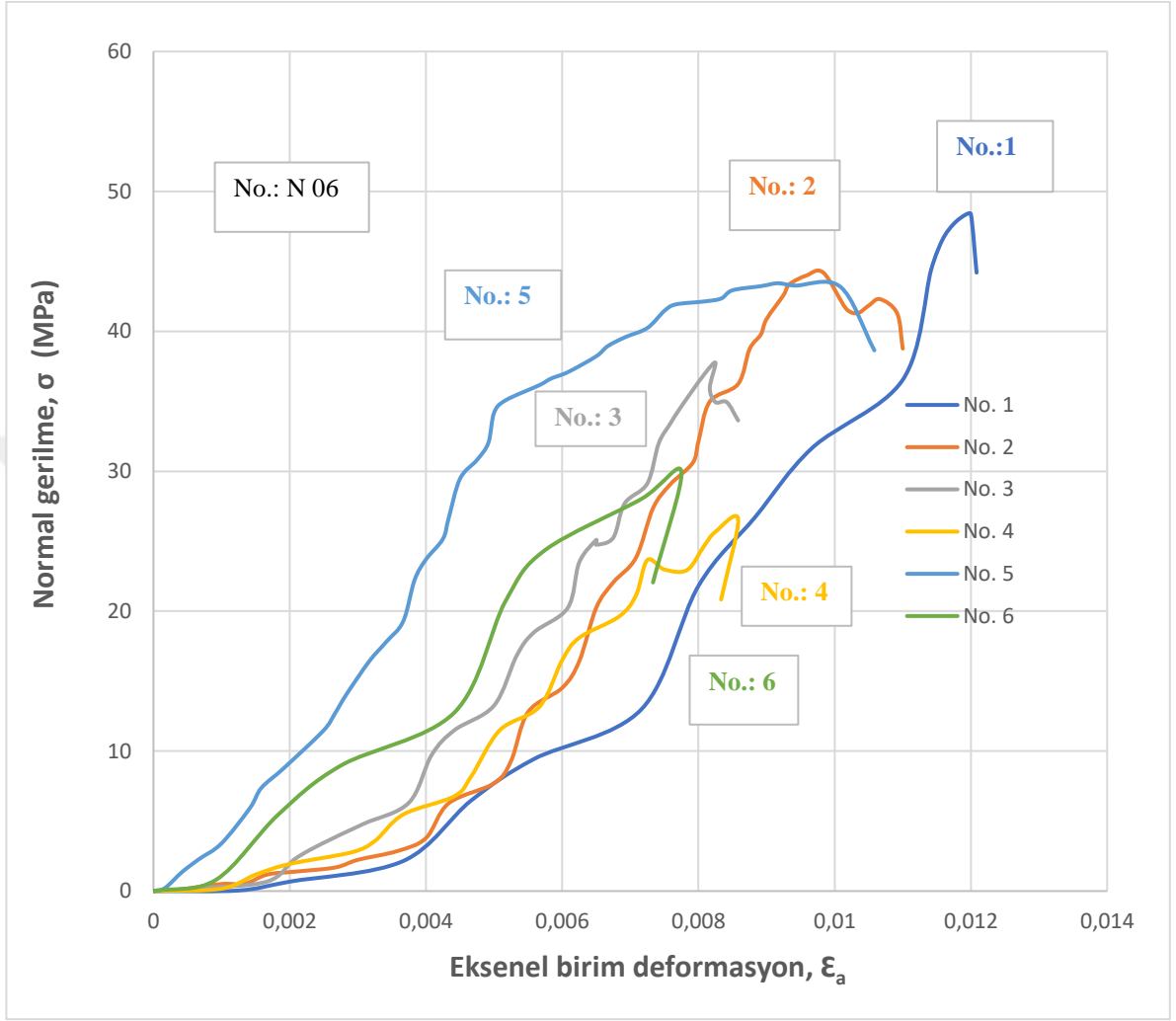
N 04 TEK EKSENLİ SIKIŞMA DENEYİ

	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
D (mm)	55	55	55	55	55	55
L (mm)	120	120	120	120	121	121
M (g)	411	414	392	419	407	406
γ (kN/m ³)	14,14	14,25	13,49	14,42	13,89	13,85
σ_c (MN/m ²)	18	17	16	18	20	16



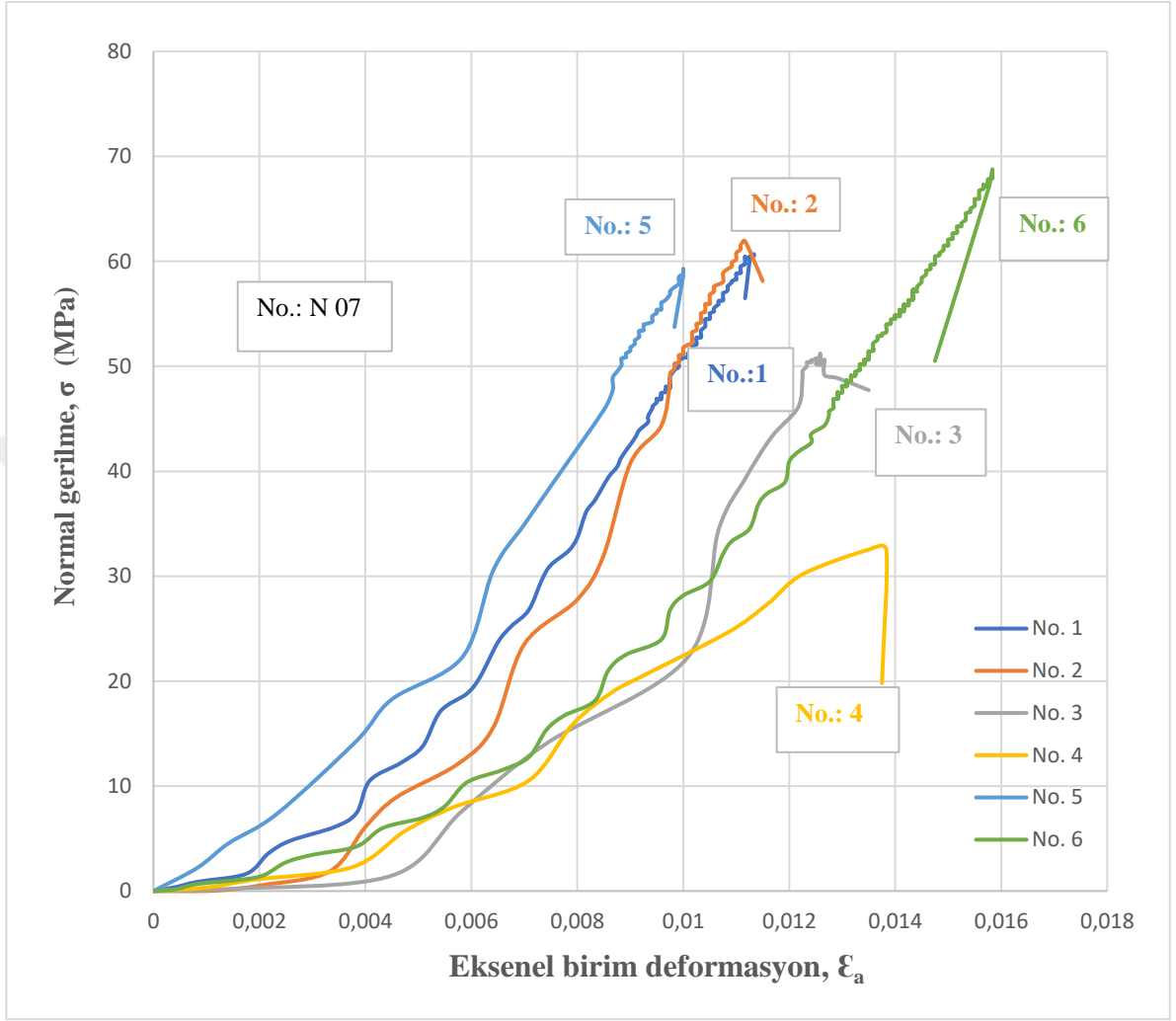
N 05 TEK EKSENLİ SIKIŞMA DENEYİ

	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
D (mm)	55	55	55	55	55	55
L (mm)	110	120	110	110	120	120
M (g)	658	603	649	624	683	686
γ (kN/m ³)	24,70	20,75	24,36	23,42	23,50	23,60
σ_c (MN/m ²)	82	59	77	100	82	80



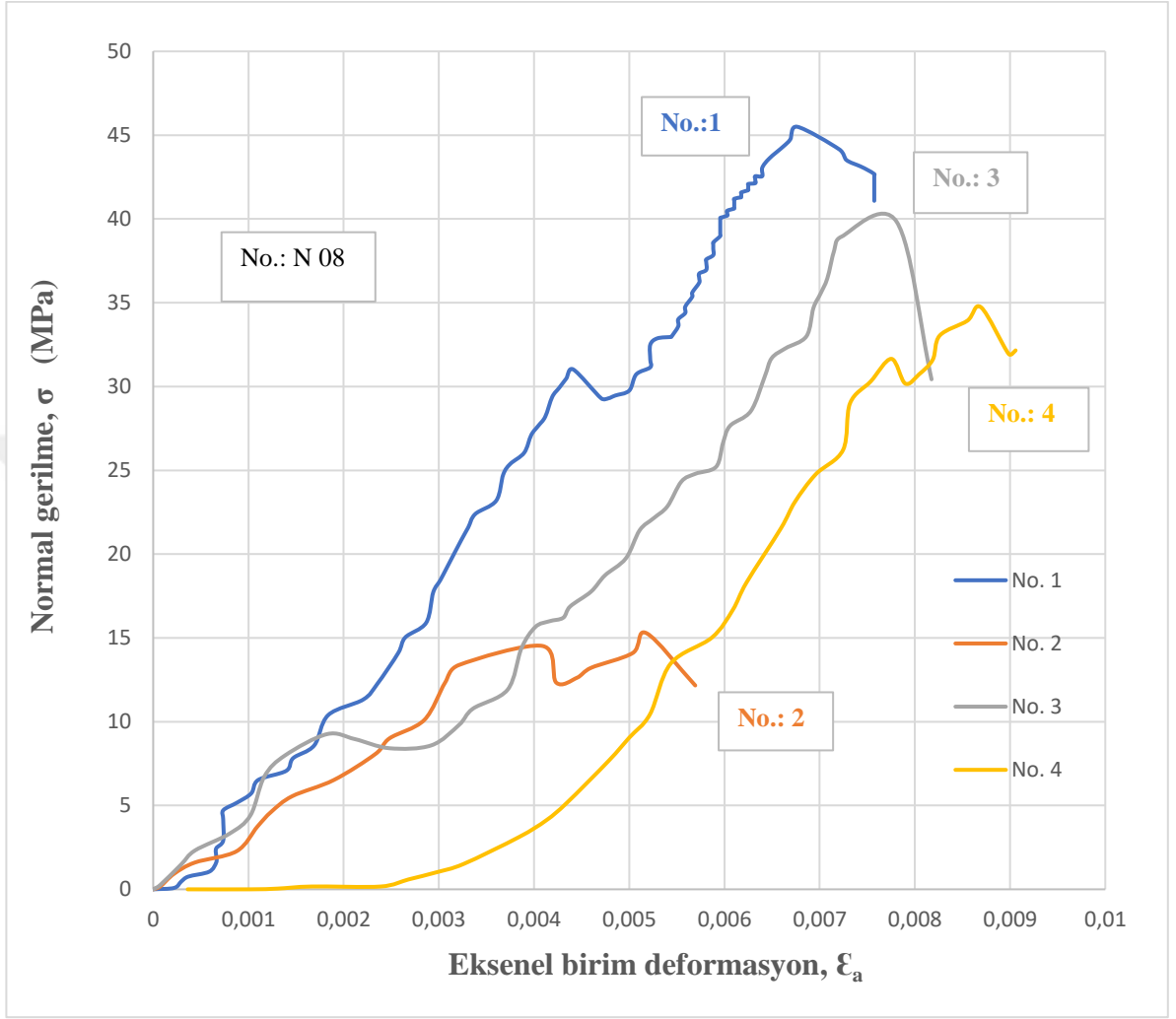
N 06 TEK EKSENLİ SIKIŞMA DENEYİ

	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
D (mm)	55	55	55	55	55	55
L (mm)	120	120	120	120	120	120
M (g)	689	682	689	681	676	678
γ (kN/m ³)	23,71	23,47	23,71	23,43	23,26	23,33
σ_c (MN/m ²)	48	44	38	27	43	30



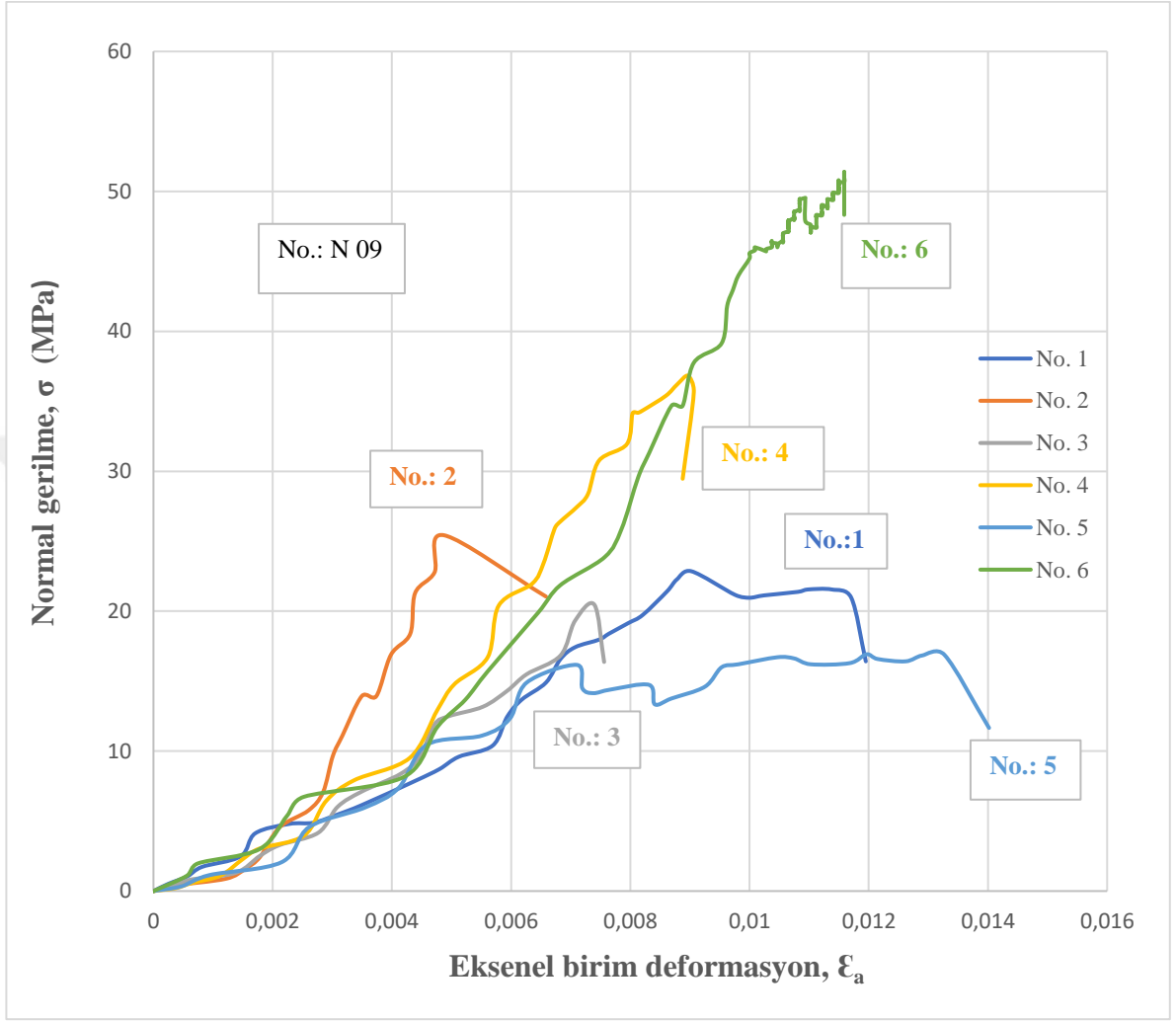
N 07 TEK EKSENLİ SIKIŞMA DENEYİ

	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
D (mm)	55	55	55	55	55	55
L (mm)	120	120	120	120	120	120
M (g)	486	485	489	480	484	487
γ (kN/m ³)	16,72	16,69	16,83	16,52	16,65	16,76
σ_c (MN/m ²)	82	59	77	100	82	80



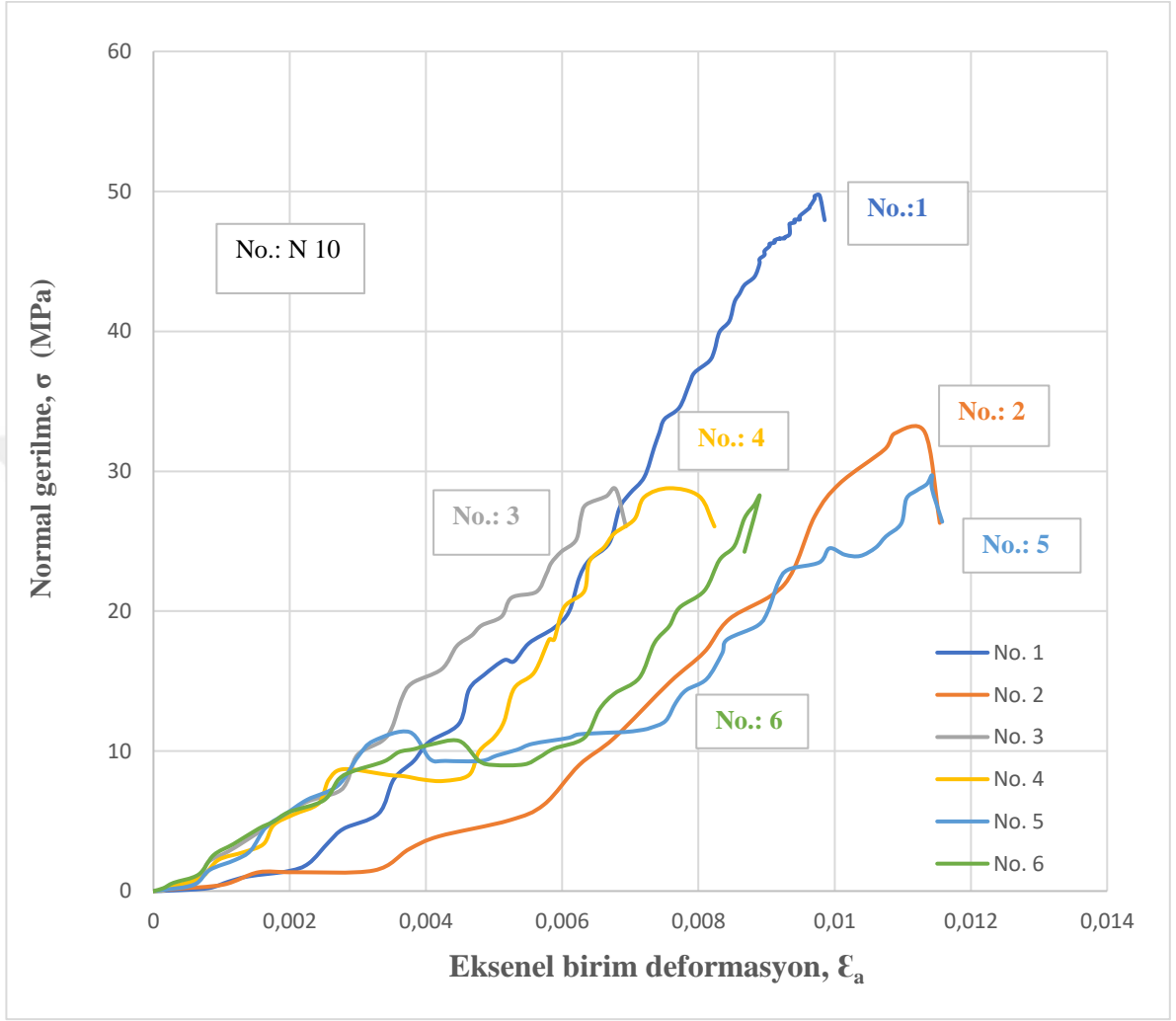
N 08 TEK EKSENLİ SIKIŞMA DENEYİ

	No.1	No.2	No.3	No.4
D (mm)	55	55	55	55
L (mm)	136	137	137	138
M (g)	809	821	814	756
γ (kN/m ³)	24,56	24,74	24,53	22,62
σ_c (MN/m ²)	45	15	40	35



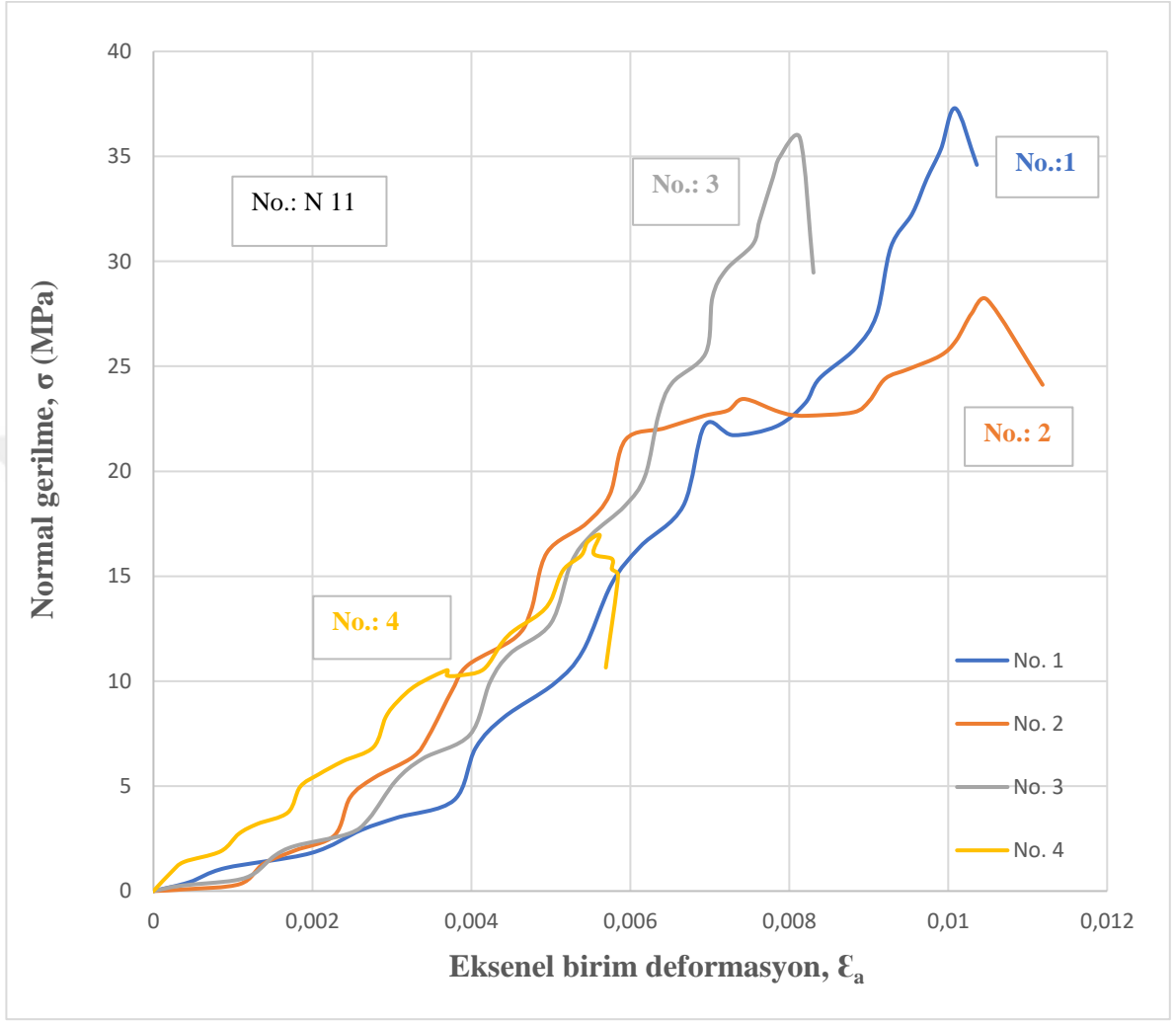
N 09 TEK EKSENLİ SIKIŞMA DENEYİ

	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
D (mm)	55	55	55	55	55	55
L (mm)	123	123	123	107	107	107
M (g)	626	614	609	548	564	577
γ (kN/m ³)	21,01	20,61	20,44	21,15	21,76	22,27
σ_c (MN/m ²)	23	25	20	37	17	51



N 10 TEK EKSENLİ SIKIŞMA DENEYİ

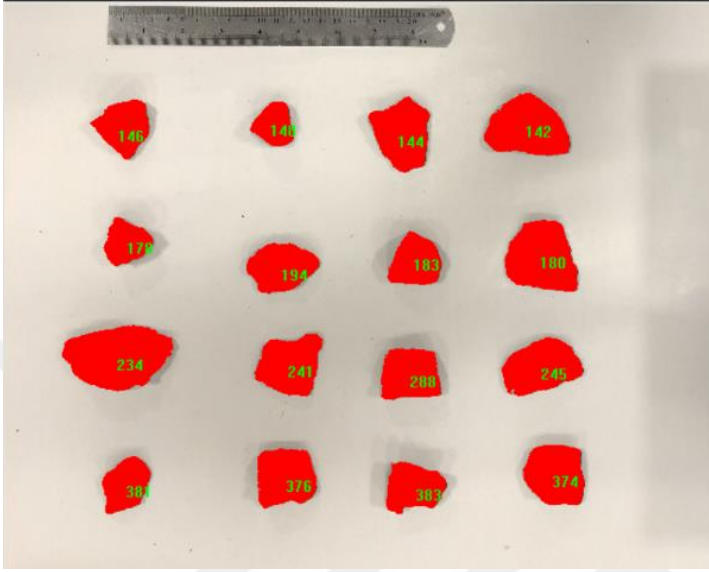
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
D (mm)	55	55	55	55	55	55
L (mm)	136	136	137	136	133	136
M (g)	726	726	725	713	700	717
γ (kN/m ³)	22,04	22,04	21,85	21,65	21,73	21,77
σ_c (MN/m ²)	50	33	30	29	30	28



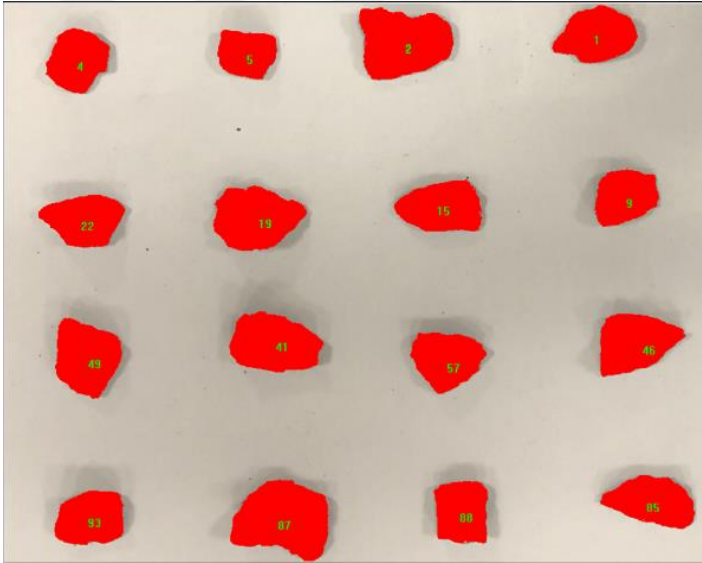
N 11 TEK EKSENLİ SIKIŞMA DENEYİ

	No.1	No.2	No.3	No.4
D (mm)	55	55	55	55
L (mm)	111	101	118	130
M (g)	647	582	695	770
γ (kN/m ³)	24,07	23,79	24,32	24,46
σ_c (MN/m ²)	38	28	36	17

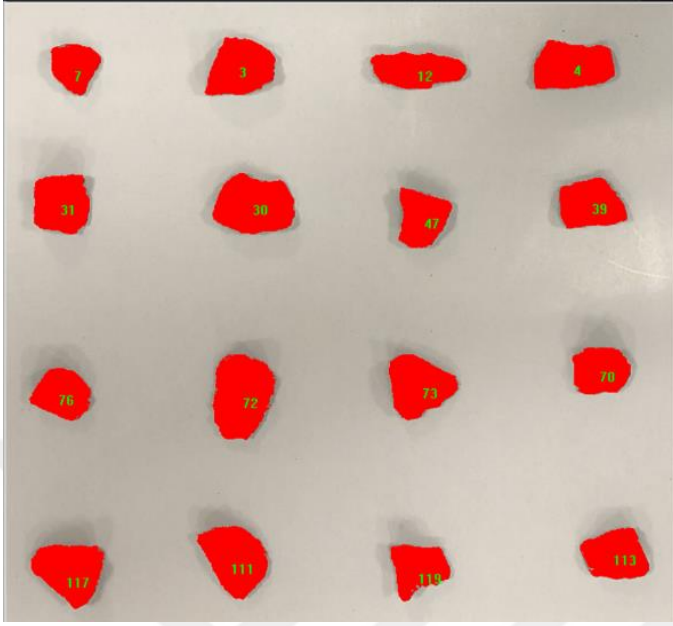
EK 2 Image-Pro Analizi Ekran Görüntüleri



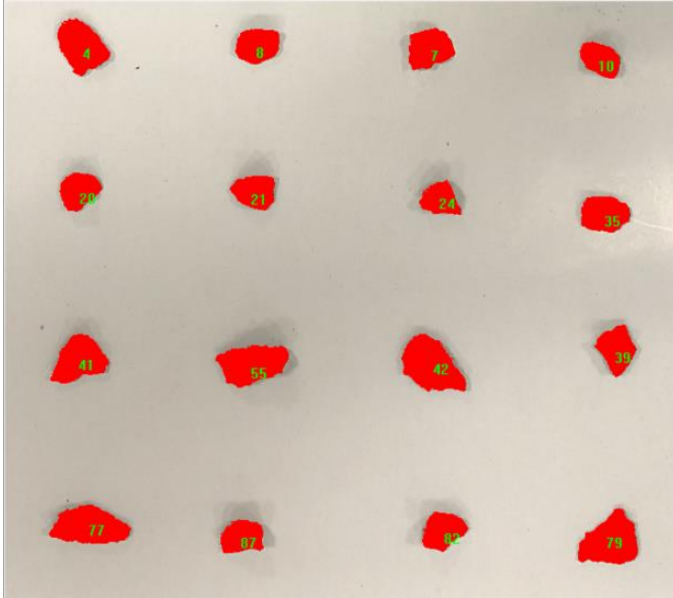
Diyabaz numunesi için hazırlanan Image-Pro Plus ekran görüntüsü



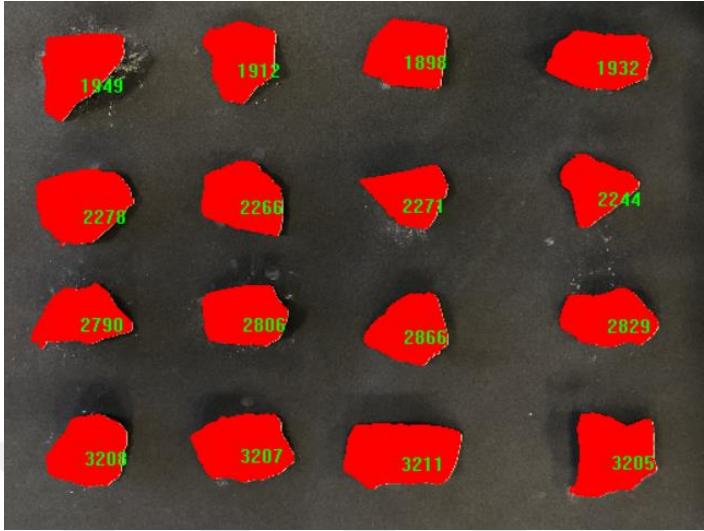
Diyabaz numunesi için hazırlanan Image-Pro Plus ekran görüntüsü



Diyabaz numunesi için hazırlanan Image-Pro Plus ekran görüntüsü



Diyabaz numunesi için hazırlanan Image-Pro Plus ekran görüntüsü



Bazalt numunesi için hazırlanan Image-Pro Plus ekran görüntüsü



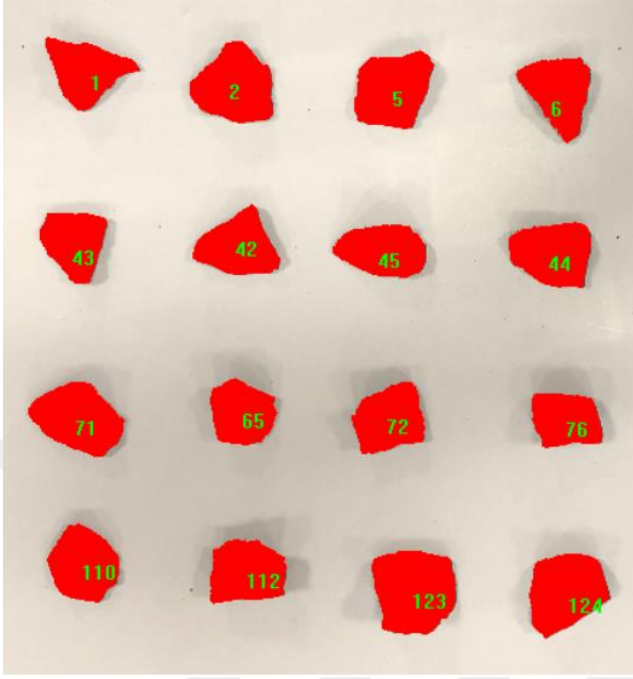
Bazalt numunesi için hazırlanan Image-Pro Plus ekran görüntüsü



Bazalt numunesi için hazırlanan Image-Pro Plus ekran görüntüsü



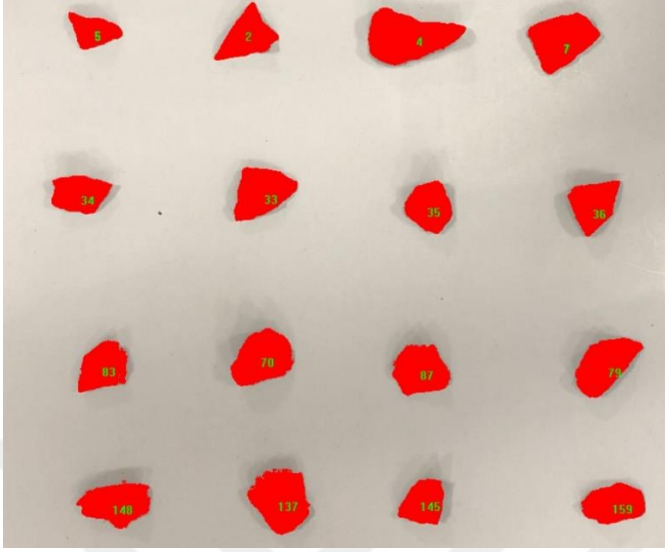
Bazalt numunesi için hazırlanan Image-Pro Plus ekran görüntüsü



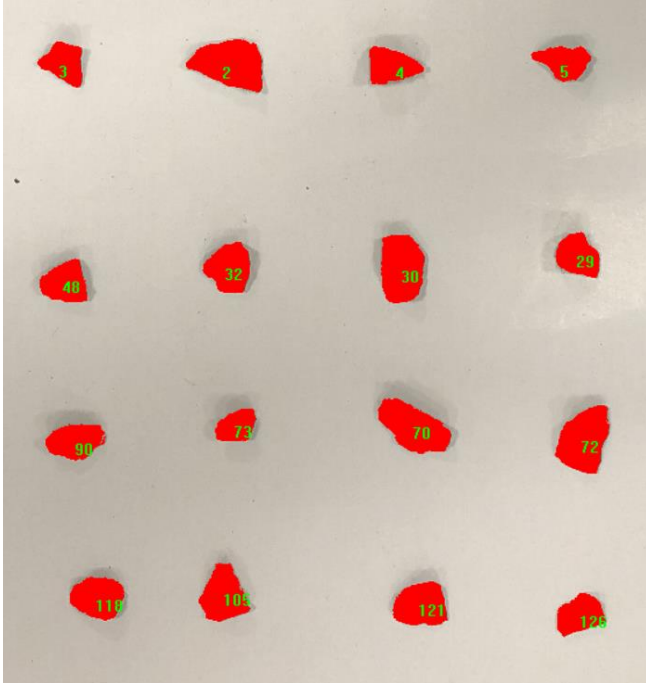
Traktit numunesi için hazırlanan Image-Pro Plus ekran görüntüsü



Traktit numunesi için hazırlanan Image-Pro Plus ekran görüntüsü



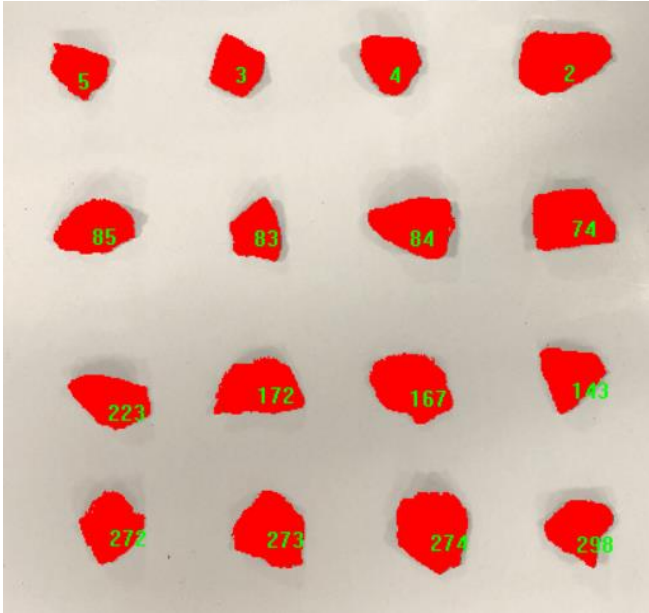
Trakit numunesi için hazırlanan Image-Pro Plus ekran görüntüsü



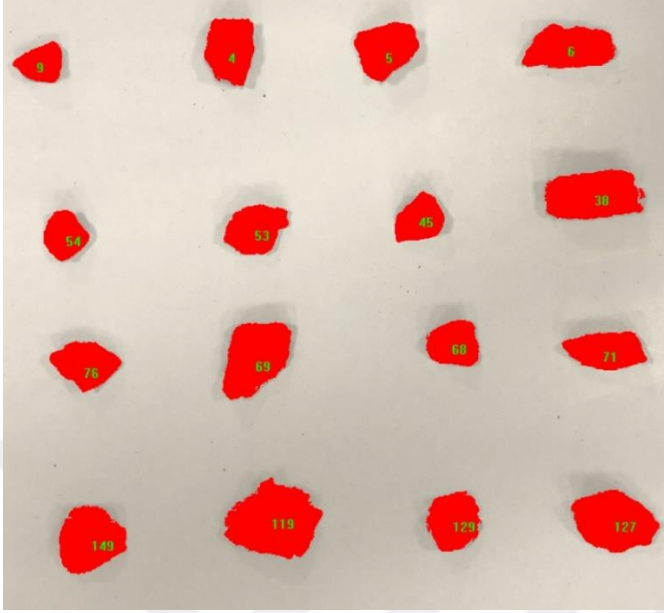
Trakit numunesi için hazırlanan Image-Pro Plus ekran görüntüsü



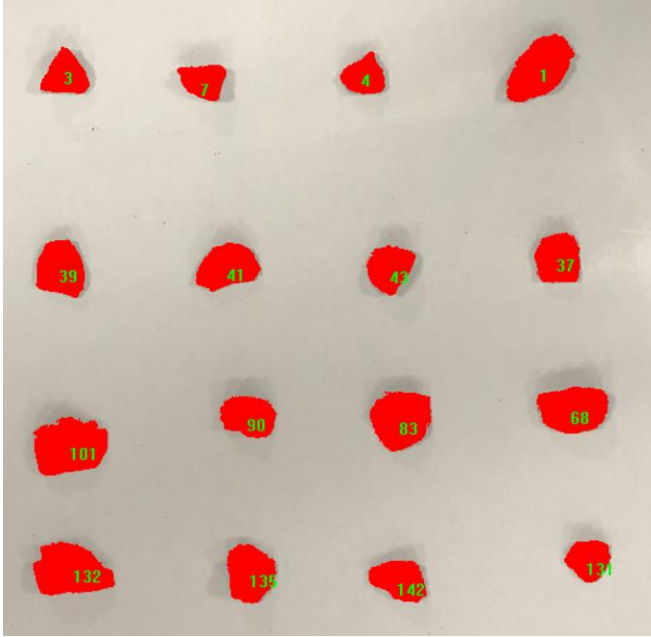
Litif Tüf numunesi için hazırlanan Image-Pro Plus ekran görüntüsü



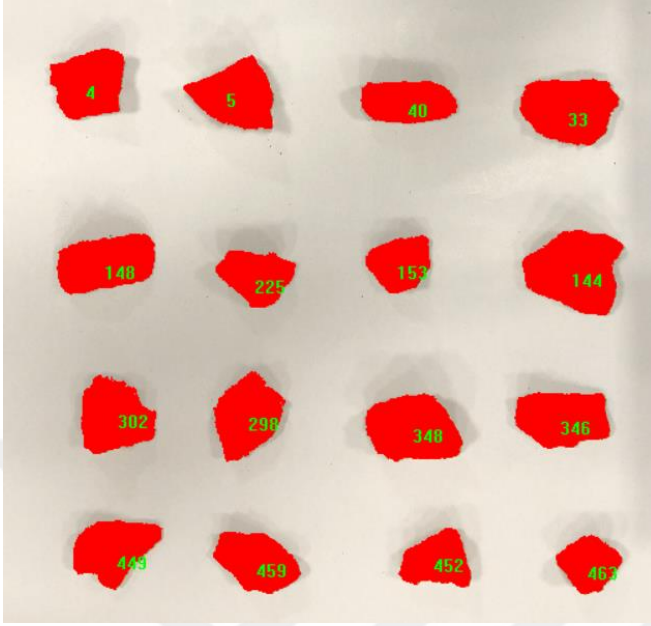
Litif Tüf numunesi için hazırlanan Image-Pro Plus ekran görüntüsü



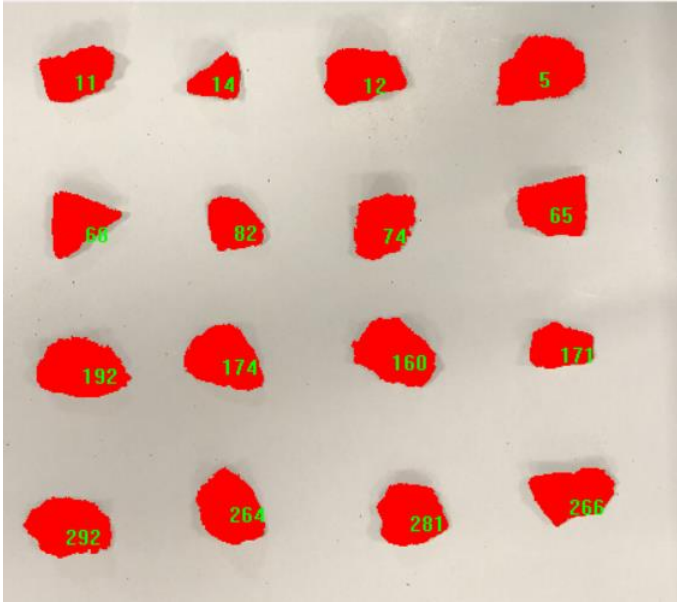
Litif Tüf numunesi için hazırlanan Image-Pro Plus ekran görüntüsü



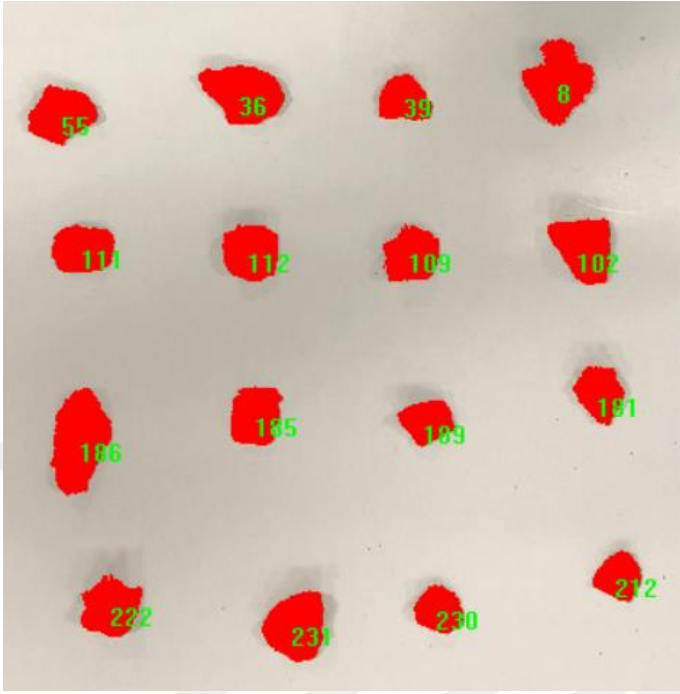
Litif Tüf numunesi için hazırlanan Image-Pro Plus ekran görüntüsü



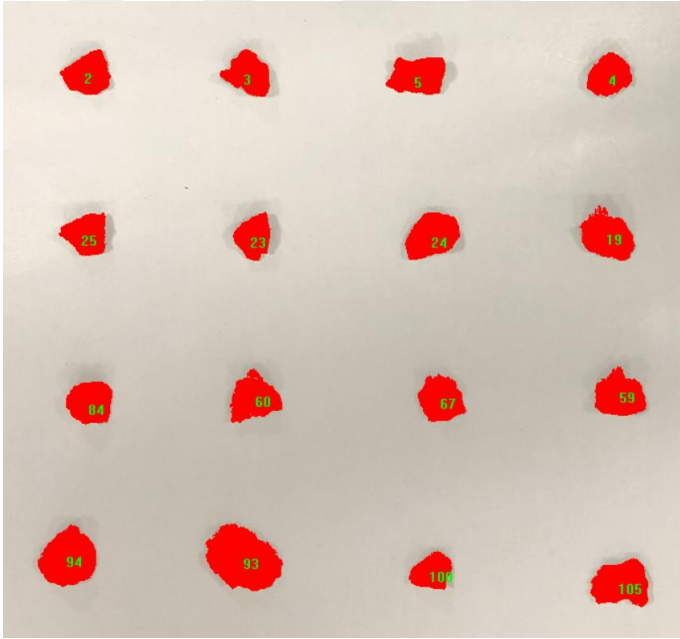
Granodiyorit numunesi için hazırlanan Image-Pro Plus ekran görüntüsü



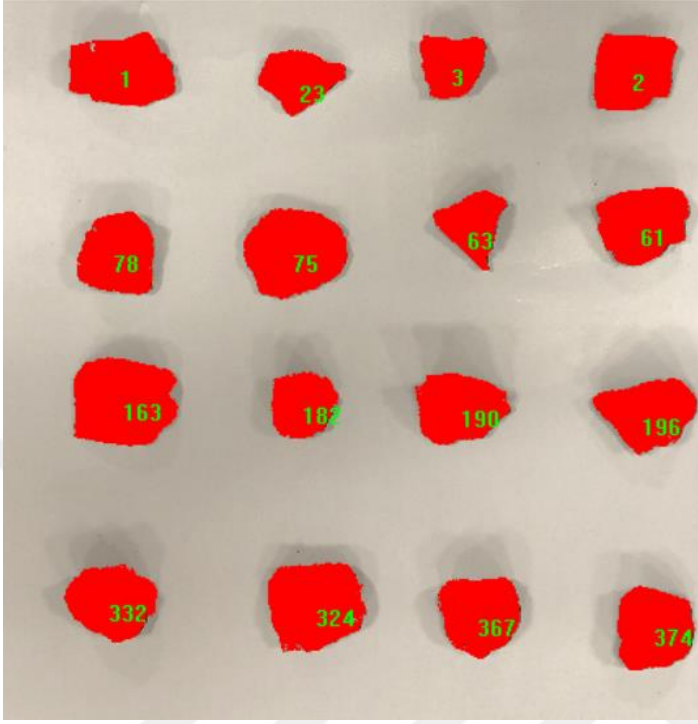
Granodiyorit numunesi için hazırlanan Image-Pro Plus ekran görüntüsü



Granodiyorit numunesi için hazırlanan Image-Pro Plus ekran görüntüsü



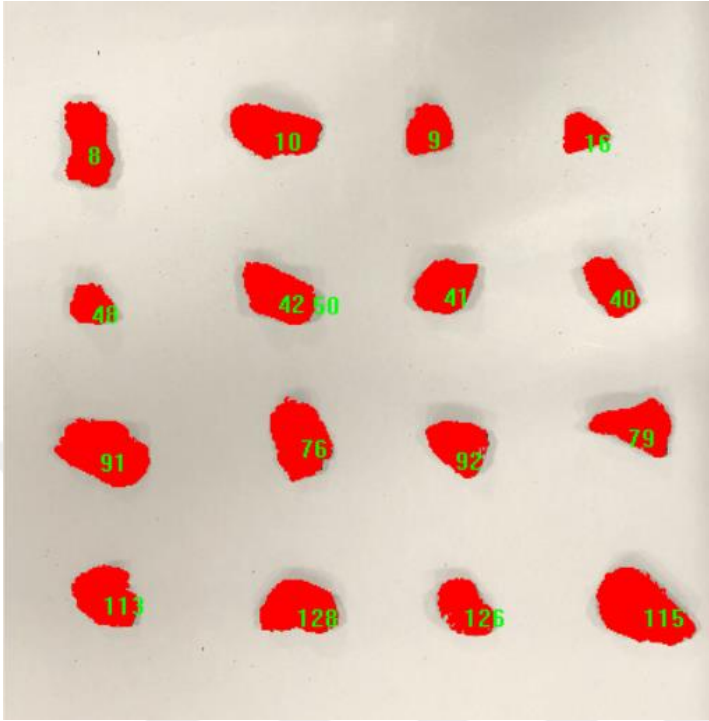
Granodiyorit numunesi için hazırlanan Image-Pro Plus ekran görüntüsü



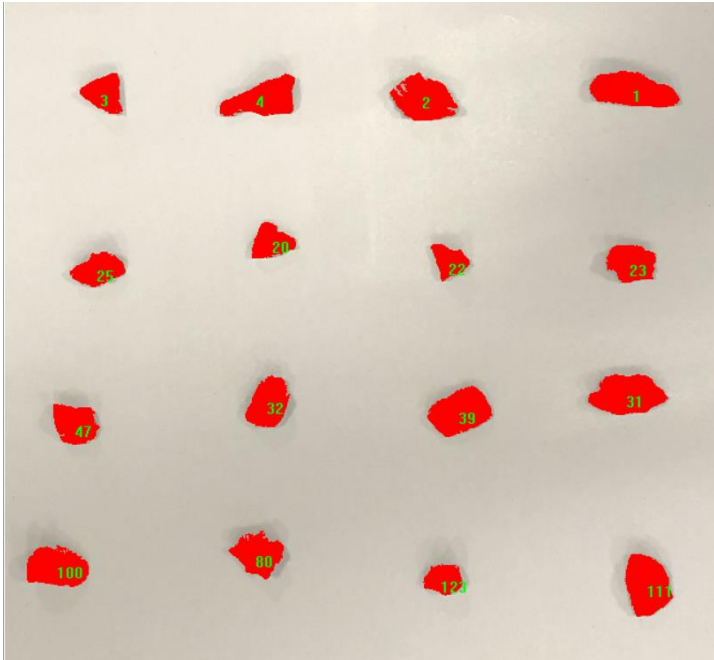
Mermer numunesi için hazırlanan Image-Pro Plus ekran görüntüsü



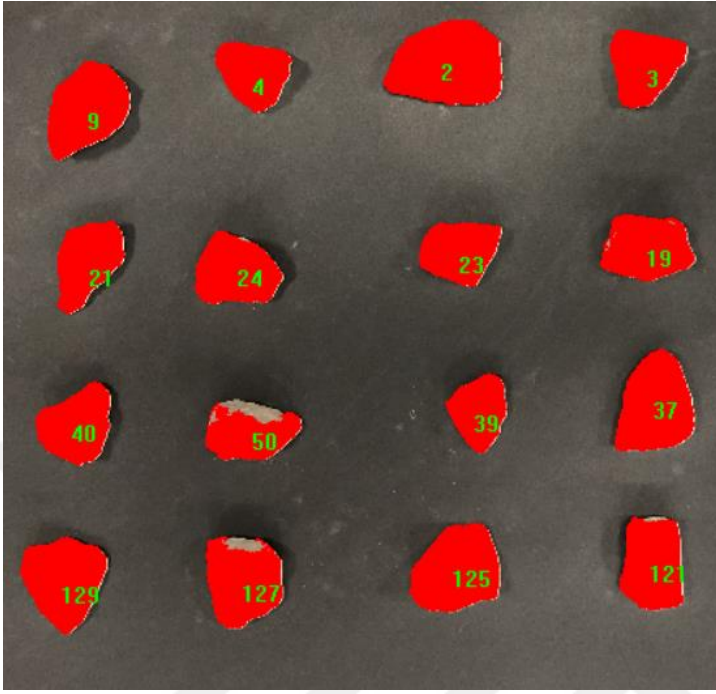
Mermer numunesi için hazırlanan Image-Pro Plus ekran görüntüsü



Mermer numunesi için hazırlanan Image-Pro Plus ekran görüntüsü



Mermer numunesi için hazırlanan Image-Pro Plus ekran görüntüsü



İgnimbirit numunesi için hazırlanan Image-Pro Plus ekran görüntüsü



İgnimbirit numunesi için hazırlanan Image-Pro Plus ekran görüntüsü



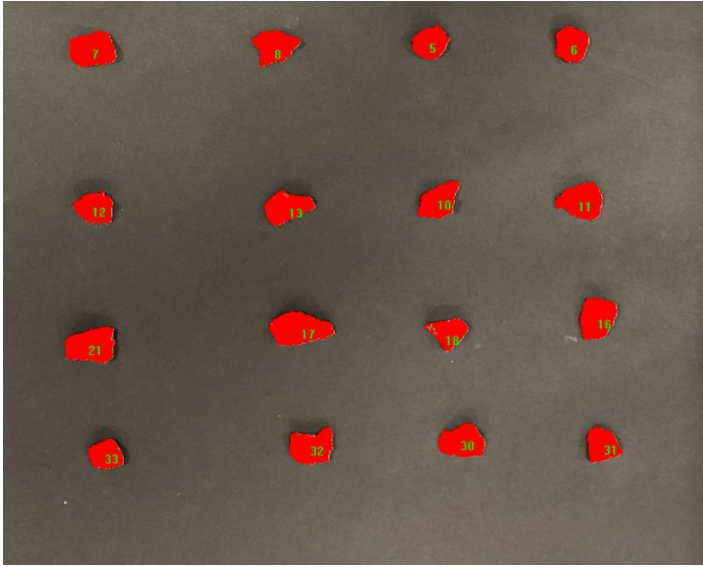
İğnibirrit numunesi için hazırlanan Image-Pro Plus ekran görüntüsü



İğnibirrit numunesi için hazırlanan Image-Pro Plus ekran görüntüsü



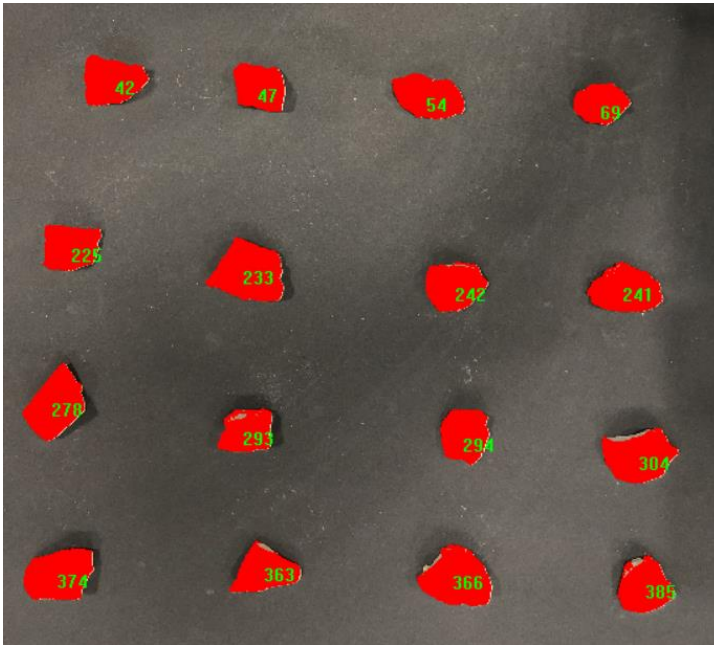
Görsel Kireçtaşı numunesi için hazırlanan Image-Pro Plus ekran görüntüsü



Görsel Kireçtaşı numunesi için hazırlanan Image-Pro Plus ekran görüntüsü



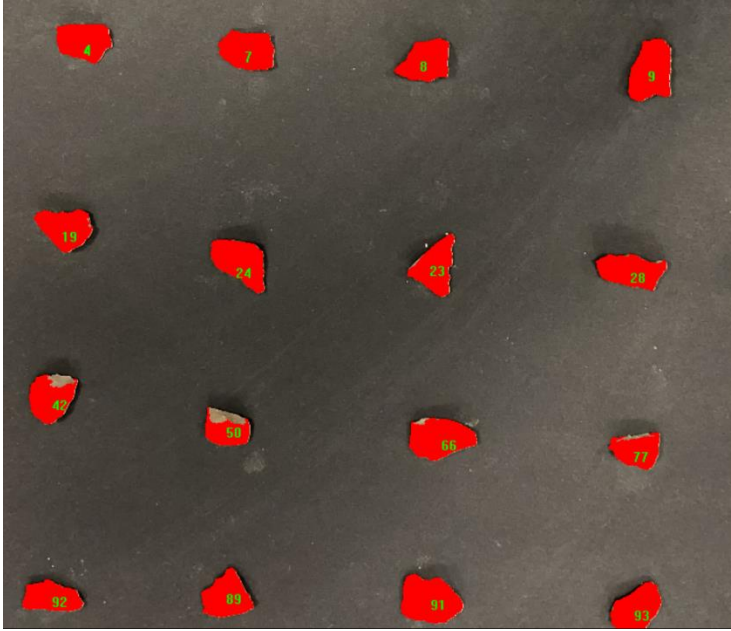
Görsel Kireçtaşı numunesi için hazırlanan Image-Pro Plus ekran görüntüsü



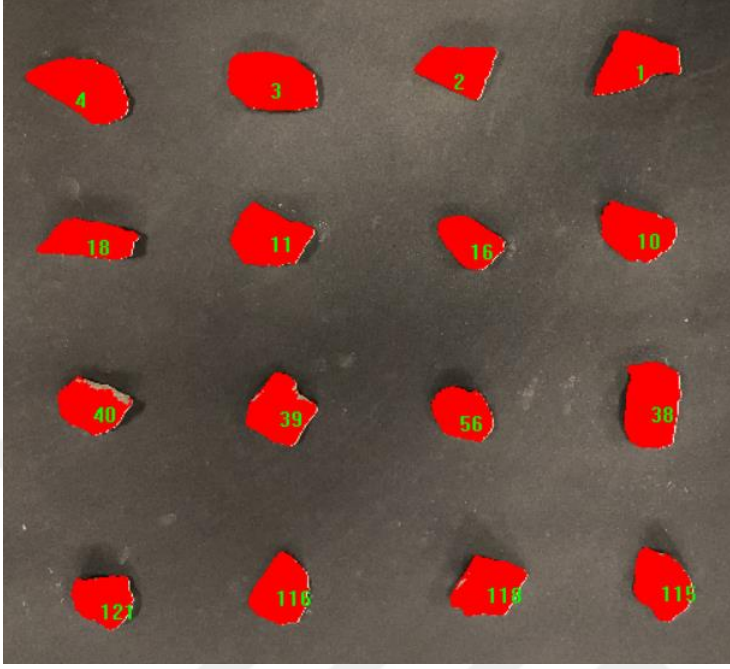
Görsel Kireçtaşı numunesi için hazırlanan Image-Pro Plus ekran görüntüsü



Killi Kireçtaşı numunesi için hazırlanan Image-Pro Plus ekran görüntüsü



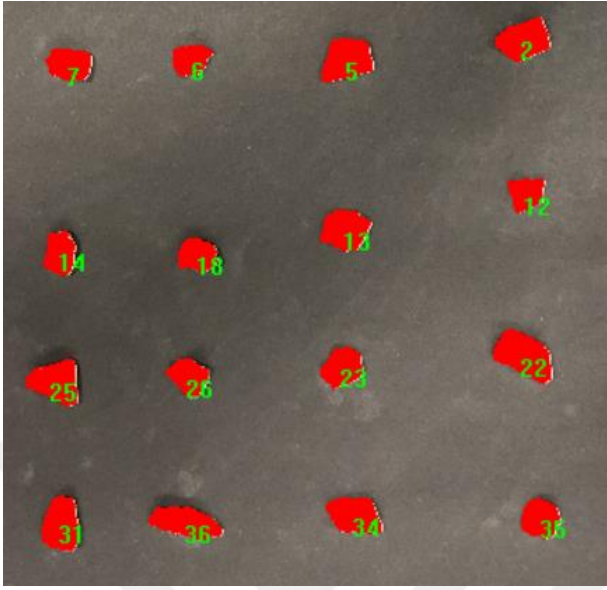
Killi Kireçtaşı numunesi için hazırlanan Image-Pro Plus ekran görüntüsü



Killi Kireçtaşı numunesi için hazırlanan Image-Pro Plus ekran görüntüsü



Killi Kireçtaşı numunesi için hazırlanan Image-Pro Plus ekran görüntüsü



Kireçtaşı numunesi için hazırlanan Image-Pro Plus ekran görüntüsü



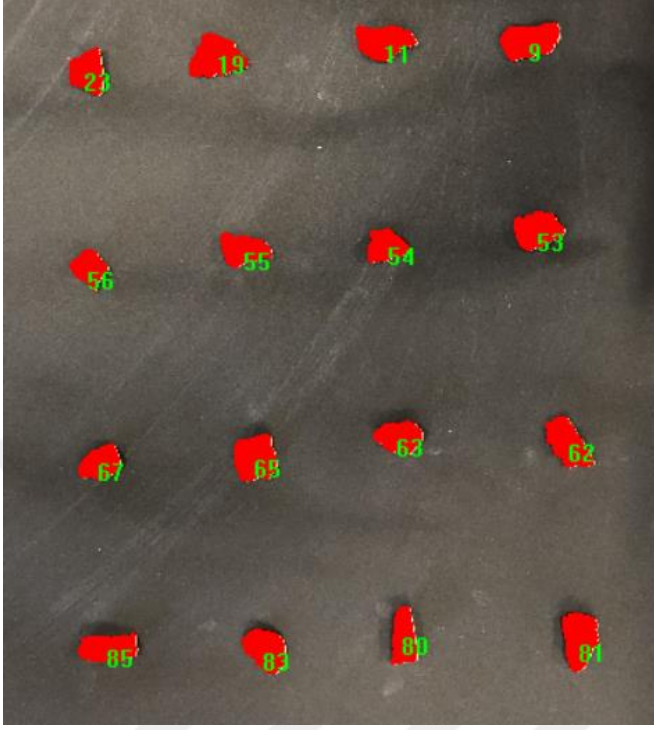
Kireçtaşı numunesi için hazırlanan Image-Pro Plus ekran görüntüsü



Kireçtaşı numunesi için hazırlanan Image-Pro Plus ekran görüntüsü



Kireçtaşı numunesi için hazırlanan Image-Pro Plus ekran görüntüsü



Kireçtaşı numunesi için hazırlanan Image-Pro Plus ekran görüntüsü



Kireçtaşı numunesi için hazırlanan Image-Pro Plus ekran görüntüsü



Kireçtaşı numunesi için hazırlanan Image-Pro Plus ekran görüntüsü



Kireçtaşı numunesi için hazırlanan Image-Pro Plus ekran görüntüsü