

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**GRANÜLER MALZEMELERİN DURUŞ AÇISININ SLUMP
DENEYİ İLE BELİRLENMESİ VE FRAKTAL KATSAYISI İLE
SÜRTÜNME AÇISININ İLİŞKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

MERT ALİ TAŞDEMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Şener CERYAN (Tez Danışmanı)
Doç. Dr. Hakan ELÇİ (Eş Danışman)
Doç. Dr. Ömer ÜNDÜL
Dr. Öğr. Üyesi Gökhan BÜYÜKKAHRAMAN
Dr. Öğr. Üyesi Murat YILMAZ

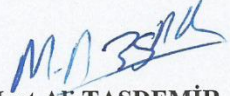
BALIKESİR, ŞUBAT - 2021

ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Granüler Malzemelerin Duruş Açısının Slump Deneyi İle Belirlenmesi ve Fraktal Katsayısı İle Sürtünme Açısının İlişkisinin Araştırılması**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.


Mert Ali TAŞDEMİR

Bu tez çalışması Balıkesir Üniversitesi BAP Koordinasyon Birimi tarafından (BAP) 2019 / 009 nolu proje ile desteklenmiştir.

ÖZET

GRANÜLER MALZEMELERİN DURUŞ AÇISININ SLUMP DENEYİ İLE BELİRLENMESİ VE FRAKTAL KATSAYISI İLE SÜRTÜNME AÇISININ İLİŞKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MERT ALİ TAŞDEMİR

BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. ŞENER CERYAN)

(EŞ DANIŞMAN: DOÇ. DR. HAKAN ELÇİ)

BALIKESİR, ŞUBAT - 2021

Granüler malzemeler yığın halindeyken yatay düzleme göre oluşturduğu en yüksek eğim açısına duruş açısı denir. Granüler malzemelerin depolanma süreçlerini kontrol edebilmek için oluşan yığının duruş açısının mekanik davranışının bilinmesi gerekir. Duruş açısı, jeoteknikte statik koşullar altında eğimli yüzeylerin stabilitesini ve istinat duvarları gibi destek yapılarının güvenliğini ve maliyetini etkileyen önemli bir parametredir. Duruş açısına; granüler malzemenin dane boyutu, şekli, pürüzlülüğü, sürtünme açısı, yığın oluşturduğu zeminin pürüzlülüğü ve suya doygunluk derecesi etki eder. Bu çalışma, duruş açısının laboratuvar çalışmaları yardımıyla, kayma potansiyeli bulunan eğimli bölgelerde, kaymaya sebep olacak parametreleri, mikro ölçekte inceleyip sonra çıkan sonuçları makro davranışlarla ilişkilendirmeyi ve aralarındaki ilişkilerin bulunmasını amaçlamaktadır. Bu çalışmada granüler malzemelerin duruş açısını belirlemek için, standart bir yöntem olan taze beton çökme (slump) deneyi kullanılmıştır. Çalışmada granüler malzemelerde sıklık durumunun duruş açısına etkisi slump deney aleti yardımıyla araştırılmıştır. Sıkı granüler malzemelerden oluşan yığınların duruş açıları, gevşek granüler malzemelerden oluşan yığınlara göre daha yüksek duruş açısı değerine sahiptir. Çalışmada granüler malzeme olarak farklı boyutlarda, farklı şekillerde, farklı dane yüzey pürüzlülüğüne, farklı litolojilere ve farklı su içeriği değerlerine sahip agrega kullanılmıştır. Granüler malzeme olarak kullanılan, farklı litolojiye sahip, ince ve iri agregaların arasındaki pürüzlülük ve sürtünme açısı ilişkisinde incelendiğinde; Los Angeles parçalanma deneyi yapılan aşındırılmış agregalar, Micro Deval aşınma deneyi yapılmış pürüzsüz agregalar ve pürüzlü agregaların duruş açıları karşılaştırılmıştır. Bu bağlamda, pürüzlülük ve duruş açıları karşılaştırmaları değerlendirilmiş ve ilgili veriler grafik halinde sunulmuştur. Suyu doygun agregalardan oluşturulan duruş açıları kuru agregalardan oluşturulan duruş açılarından büyük çıkmıştır. MATLAB paket programı kullanılarak danelerin alan ve çevre değerleri hesaplanmıştır. Bu değerlerden Fraktal katsayısı bulunarak danelerin pürüzlülük değerleri bulunmuş ve pürüzlülük değerleri sayısallaştırılmıştır. Fraktal katsayısı 1'e yakın olan değerler pürüzsüz, 1'den uzak olanlar ise pürüzlü olarak tanımlanmıştır.

ANAHTAR KELİMELELER: Duruş açısı, fraktal katsayısı, granüler malzemeler, sürtünme açısı.

Bilim Kod / Kodları : 91132, 92011, 92016, 92008

Sayfa Sayısı : 79

ABSTRACT

DETERMINATION OF THE ANGLE OF REPOSE OF GRANULAR MATERIALS BY SLUMP EXPERIMENT AND INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN FRICTION ANGLE AND FRACTAL COEFFICIENT

MSC THESIS

MERT ALİ TAŞDEMİR

**BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
GEOLOGICAL ENGINEERING**

**(SUPERVISOR: PROF. DR. ŞENER CERYAN)
(CO-SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. HAKAN ELÇİ)
BALIKESİR, FEBRUARY - 2021**

Angle of repose, when the granular material is in a pile, the highest angle of slope created by the horizontal plane is called. In order to control the storage processes of granular materials, the mechanical behavior of the angle of repose of the pile must be known. The angle of repose is an important parameter that affects the stability of cohesionless soils on sloping surfaces under static conditions in geotechnics and the safety and cost of supporting structures such as retaining walls. This parameter varies depending on the grain size of the granular material, the grain shape, grain roughness, the roughness of the soil where the heap is formed and the degree of saturation of the grains in the water. This study aims to examine the parameters that will cause slipping in the slopes with the potential to slide, in micro scale, and to associate the results with macro behaviors, with the help of laboratory studies of the stance angle. In this study, fresh concrete slump test, which is a standard method, was used to determine the stance angle of granular materials. This work, the effect of densest states on the stance angle of granular materials was investigated with the help of a slump test device. The dense piles of granular material gave higher angle of repose value than the loose of granular material piles. In the study, aggregate with different sizes, different shapes, different surface roughness, different lithologies and different water content values were used as granular materials. When examined in the relationship between roughness and friction angle between fine and coarse aggregates with different lithologies used as granular materials; The angles of repose of the abraded aggregates that were tested in Los Angeles, the smooth aggregates and the rough aggregates that were tested by Micro Deval wear were compared. As a result of the experiments; The angle of repose the rough aggregates were higher than the angle of repose of the abraded aggregates and the angle of repose of the abraded aggregates were greater than the angle of repose of the smooth aggregates. In this context, the comparisons of roughness and angle of repose are presented in graphics. The angle of repose formed from water-saturated aggregates were higher than those formed from dry aggregates. Using the MATLAB package program, the area and environmental values of the grains were calculated. From these values, the fractal coefficient was found and the roughness values of the grains were found and the roughness values were quantified. The coefficient of fractal is defined as smooth, with a coefficient close to 1, and rough ones that are far from 1.

KEYWORDS: Angle of repose, fractal coefficient, granular materials, friction angle.

Science Codes: 91132, 92011, 92016, 92008.

Number of Pages: 79

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
TABLO LİSTESİ	vi
ÖNSÖZ	viii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Önemi	2
1.2 Materyal ve Yöntem	3
1.2.1 Numune Hazırlama	3
1.2.2 Slump Deneyi.....	4
1.2.3 Fiziksel, Kimyasal ve Mineralojik Özellikler	4
1.2.4 Kesme Kutusu Deneyi.....	4
1.2.5 Fraktal Boyut Kavramı ve Pürüzlülük	4
1.3 Önceki Çalışmalar.....	5
2. GRANÜLER MALZEMELERİN İNDEKS ÖZELİKLERİ	12
2.1 Çalışma İçin Kullanılan Kayaçların Fiziksel, Kimyasal ve Mineralojik Özellikleri	12
2.1.1 Granüler Malzemelerin Gevşek Yığın Yoğunluğu, Boşluk Yüzdesi ve Porozitesi ...	15
3. GRANÜLER MALZEMELERİN DURUŞ AÇILARININ BELİRLENMESİ	16
3.1 Duruş Açısının Tanımlanması ve Ölçüm Yöntemleri	16
3.2 Deney Aletleri.....	17
3.3 Slump Deneyi Aleti Kullanılarak Duruş Açısı Deneyinin Yapılışı	17
3.4 Granüler Malzemelerin Duruş Açılarının Slump Deneyi ile Belirlenmesi.....	20
3.4.1 Andezit Örneklerine Ait Slump Deney Sonuçları.....	21
3.4.2 Bazalt Örneklerine Ait Slump Deney Sonuçları	25
3.4.3 Granit Örneklerine Ait Slump Deney Sonuçları	30
3.4.4 Kireçtaşı Örneklerine Ait Slump Deney Sonuçları.....	34
3.4.5 Kumtaşı Örneklerine Ait Slump Deney Sonuçları.....	39
4. İNCE DANELİ GRANÜLER MALZEMENİN İÇSEL SÜRTÜNME AÇISININ KESME KUTUSU DENEYİYLE BULUNMASI	47
4.1 Deneyin Yapılışı	47
4.2 Kesme Kutusu Deneyi Sonuçları	48
5. FRAKTAL ANALİZİ	49
5.1 Fraktal Boyut Kavramı	49
5.2 Yüzey Pürüzlülüğü.....	51
5.3 Yuvarlaklık ve Köşeliliğin Bulunması.....	52
5.4 Danelerin Fraktal Boyutlarının Bulunması	57
6. SONUÇLAR	72
7. KAYNAKLAR	74
ÖZGEÇMİŞ	79

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Çalışmada kullanılan kayaç örnekleri.....	12
Şekil 2.2: Çalışmada kullanılan granüler malzemelerin elek analizi sonuçları.....	13
Şekil 2.3: Çalışmada kullanılan örneklerin agrega, mikroskop görüntüleri ve değerleri.....	20
Şekil 3.1: Slump deney aleti malzemeleri a) Slump konisi, şişleme çubuğu, cetvel b) Elektronik açılöçer.....	17
Şekil 3.2: Slump konisinin a) Doldurulmuş hali b) Boşaltma aşamasının genel görünümü.....	18
Şekil 3.3: Granüler malzemelerin duruş açısının ölçülmesinin gösterimi a) Cetvel ile ölçüm b) Elektronik açılöçer ile ölçüm.....	18
Şekil 3.4: Andezit 10 – 14 mm pürüzlü zeminde şişlenmemiş haldeki duruş açısı.....	19
Şekil 3.5: Bazalt 10 – 14 mm pürüzlü zeminde şişlenmemiş haldeki duruş açısı.....	19
Şekil 3.6: Granit 10 – 14 mm pürüzlü zeminde şişlenmemiş haldeki duruş açısı.....	19
Şekil 3.7: Kumtaşı 10 – 14 mm pürüzsüz zeminde şişlenmemiş haldeki duruş açısı.....	20
Şekil 3.8: Kireçtaşı 10 – 14 mm şişlenmemiş, kuru ve suya doymuş haldeki duruş açısı....	20
Şekil 3.9: Pürüzlü, kuru andezit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	21
Şekil 3.10: Pürüzlü, suya doymuş andezit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	22
Şekil 3.11: Aşındırılmış, kuru andezit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	23
Şekil 3.12: Aşındırılmış, suya doymuş andezit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları....	23
Şekil 3.13: Pürüzsüz, kuru andezit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	24
Şekil 3.14: Pürüzsüz, suya doymuş andezit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	25
Şekil 3.15: Pürüzlü, kuru bazalt örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	26
Şekil 3.16: Pürüzlü, suya doymuş bazalt agregasına ait duruş açıları karşılaştırmaları.....	26
Şekil 3.17: Aşındırılmış, kuru bazalt örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	27
Şekil 3.18: Aşındırılmış, suya doymuş bazalt örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	28
Şekil 3.19: Pürüzsüz, kuru bazalt örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	29
Şekil 3.20: Pürüzsüz, suya doymuş bazalt örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	29
Şekil 3.21: Pürüzlü, kuru granit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	30
Şekil 3.22: Pürüzlü, suya doymuş granit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	31
Şekil 3.23: Aşındırılmış, kuru granit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	32
Şekil 3.24: Aşındırılmış, suya doymuş granit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	32
Şekil 3.25: Pürüzsüz, kuru granit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	33
Şekil 3.26: Pürüzsüz, suya doymuş granit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	34
Şekil 3.27: Pürüzlü, kuru kireçtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	35
Şekil 3.28: Pürüzlü, suya doymuş kireçtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	35
Şekil 3.29: Aşındırılmış, kuru kireçtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	36
Şekil 3.30: Aşındırılmış, suya doymuş kireçtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları...37	
Şekil 3.31: Pürüzsüz, kuru kireçtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	38
Şekil 3.32: Pürüzsüz, suya doymuş kireçtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	38
Şekil 3.33 Pürüzlü, kuru kumtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	39
Şekil 3.34: Pürüzlü, suya doymuş kumtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	40
Şekil 3.35: Aşındırılmış, kuru kumtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	41
Şekil 3.36: Aşındırılmış, suya doymuş kumtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları...42	
Şekil 3.37: Pürüzsüz, kuru kumtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	42
Şekil 3.38: Pürüzsüz, suya doymuş kumtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	43
Şekil 3.39: Karışık (0-14 mm) malzemelerin duruş açısı.....	44
Tablo 3.40: Karışık-kuru granüler malzemelerin duruş açılarının gösterimi.....	44
Şekil 3.41: Karışık-suya doymuş granüler malzemelerin duruş açılarının gösterimi.....	45

Şekil 3.42: Aşındırılmış, karışık, kuru granüler malzemelerin duruş açılarının gösterimi...	46
Şekil 3.43: Karışık-suya doymun granüler malzemelerin duruş açılarının gösterimi.....	46
Şekil 4.1: Direkt kesme kutusu deney düzeneği.....	47
Şekil 4.2: Kesme kutusu deney aleti.....	47
Şekil 5.1: Fraktal kavramı için çizilen eğriler.....	50
Şekil 5.2: Agregada pürüzlülük derecesi a) Pürüzlü agregada b) Aşındırılmış agregada c) Pürüzsüz agregada.....	51
Şekil 5.3: Yuvarlaklaşma sınıflaması.....	52
Şekil 5.4: Form faktör formülüne göre yuvarlaklık grafiği.....	54
Şekil 5.5: Köşelilik formülüne göre yuvarlaklık grafiği.....	55
Şekil 5.6: Danenin yuvarlaklık ve köşelilik durumunun gösterimi.....	56
Şekil 5.7: Çalışmada kullanılan granüler malzemeler.....	56
Şekil 5.8: Granit agregasına ait 10 – 14 mm boyutundaki pürüzlü tanenin alanı.....	57
Şekil 5.9: Pürüzlü granit agregasının fraktal katsayısının bulunması.....	58
Şekil 5.10: Granit agregasına ait 10 – 14 mm boyutundaki aşındırılmış tanenin alanı.....	58
Şekil 5.11: Aşındırılmış granit agregasının fraktal katsayısının bulunması.....	59
Şekil 5.12: Granit agregasına ait 10 – 14 mm boyutundaki pürüzsüz tanenin alanı.....	59
Şekil 5.13: Pürüzsüz granit agregasının fraktal katsayısının bulunması.....	60
Şekil 5.14: Pürüzlülük ile fraktal katsayısının karşılaştırılmaları.....	60
Şekil 5.15: Pürüzlü andezit agregasının fraktal katsayısının bulunması.....	61
Şekil 5.16: Aşındırılmış andezit agregasının fraktal katsayısının bulunması.....	62
Şekil 5.17: Pürüzsüz andezit agregasının fraktal katsayısının bulunması.....	62
Şekil 5.18: Andezit - pürüzlülük ile fraktal katsayısının karşılaştırılmaları.....	62
Şekil 5.19: Pürüzlü bazalt agregasının fraktal katsayısının bulunması.....	63
Şekil 5.20: Aşındırılmış bazalt agregasının fraktal katsayısının bulunması.....	64
Şekil 5.21: Pürüzsüz bazalt agregasının fraktal katsayısının bulunması.....	64
Şekil 5.22: Bazalt pürüzlülük ile fraktal katsayısının karşılaştırılmaları.....	64
Şekil 5.23: Pürüzlü granit agregasının fraktal katsayısının bulunması.....	65
Şekil 5.24: Aşındırılmış granit agregasının fraktal katsayısının bulunması.....	66
Şekil 5.25: Pürüzsüz granit agregasının fraktal katsayısının bulunması.....	66
Şekil 5.26: Granit pürüzlülük ile fraktal katsayısının karşılaştırılmaları.....	66
Şekil 5.27: Pürüzlü kireçtaşı agregasının fraktal katsayısının bulunması.....	67
Şekil 5.28: Aşındırılmış kireçtaşı agregasının fraktal katsayısının bulunması.....	68
Şekil 5.29: Pürüzsüz kireçtaşı agregasının fraktal katsayısının bulunması.....	68
Şekil 5.30: Kireçtaşı - pürüzlülük ile fraktal katsayısının karşılaştırılmaları.....	68
Şekil 5.31: Pürüzlü kumtaşı agregasının fraktal katsayısının bulunması.....	69
Şekil 5.32: Aşındırılmış kumtaşı agregasının fraktal katsayısının bulunması.....	70
Şekil 5.33: Pürüzsüz kumtaşı agregasının fraktal katsayısının bulunması.....	70
Şekil 5.34: Kumtaşı - pürüzlülük ile fraktal katsayısının karşılaştırılmaları.....	70
Şekil 5.35: Fraktal analizleri yapılan kayaç örnekleri.....	71

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Çalışmada kullanılan kayaçların fiziksel özellikleri.....	12
Tablo 2.2: Çalışmada kullanılan kayaçların ana oksit yüzdeleri.....	14
Tablo 2.3: Çalışmada kullanılan granüler malzemelerin fiziksel özellikleri	15
Tablo 3.1: Pürüzlü, kuru andezit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	21
Tablo 3.2: Pürüzlü, suya doymuş andezit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	22
Tablo 3.3: Aşındırılmış, kuru andezit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	22
Tablo 3.4: Aşındırılmış, suya doymuş andezit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	23
Tablo 3.5: Pürüzsüz, kuru andezit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	24
Tablo 3.6: Pürüzsüz, suya doymuş andezit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	24
Tablo 3.7: Pürüzlü, kuru bazalt örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	25
Tablo 3.8: Pürüzlü, suya doymuş bazalt örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	26
Tablo 3.9: Aşındırılmış, kuru bazalt örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	27
Tablo 3.10: Aşındırılmış, suya doymuş bazalt örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	28
Tablo 3.11: Pürüzsüz, kuru bazalt örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	28
Tablo 3.12: Pürüzsüz, suya doymuş bazalt örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	29
Tablo 3.13: Pürüzlü, kuru granit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	30
Tablo 3.14: Pürüzlü, suya doymuş granit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	31
Tablo 3.15: Aşındırılmış, kuru granit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	31
Tablo 3.16: Aşındırılmış, suya doymuş granit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	32
Tablo 3.17: Pürüzsüz, kuru granit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	33
Tablo 3.18: Pürüzsüz, suya doymuş granit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	33
Tablo 3.19: Pürüzlü, kuru kireçtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	34
Tablo 3.20: Pürüzlü, suya doymuş kireçtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	35
Tablo 3.21: Aşındırılmış, kuru kireçtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	36
Tablo 3.22: Aşındırılmış, suya doymuş kireçtaşına ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	37
Tablo 3.23: Pürüzsüz, kuru kireçtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	37
Tablo 3.24: Pürüzsüz, suya doymuş kireçtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	38
Tablo 3.25: Pürüzlü, kuru kumtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	39
Tablo 3.26: Pürüzlü, suya doymuş kumtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	40
Tablo 3.27: Aşındırılmış, kuru kumtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	41
Tablo 3.28: Aşındırılmış, suya doymuş kumtaşına ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	41
Tablo 3.29: Pürüzsüz, kuru kumtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	42
Tablo 3.30: Pürüzsüz, suya doymuş kumtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.....	43
Tablo 3.31: Karışık-kuru granüler malzemelerin duruş açılarının gösterimi.....	44
Tablo 3.32: Karışık-suya doymuş granüler malzemelerin duruş açılarının gösterimi.....	45
Tablo 3.33: Aşındırılmış, karışık, kuru malzemelerin duruş açılarının gösterimi.....	45
Tablo 3.34: Karışık-suya doymuş granüler malzemelerin duruş açılarının gösterimi.....	46
Tablo 4.1: Kesme kutusu deney sonuçları.....	48
Tablo 5.1: Maroof ve Mahboubi, 2019' un önerdikleri dane pürüzlülüğü ilişkileri.....	52
Tablo 5.2: Form faktör formülüne göre yuvarlaklık sınıflaması.....	54
Tablo 5.3: Köşelilik formülüne göre yuvarlaklık sınıflaması.....	55
Tablo 5.4: Danenin yuvarlaklık ve köşelilik durumunun gösterimi.....	55
Tablo 5.5: Pürüzlü granit agregasının alan-çevre değerleri (10-14 mm).....	58
Tablo 5.6: Aşındırılmış granit agregasının alan-çevre değerleri (10-14 mm).....	59
Tablo 5.7: Pürüzsüz granit agregasının alan-çevre değerleri (10-14 mm).....	60
Tablo 5.8: Andezit agregasının alan-çevre değerleri (4 - 8 mm).....	61

Tablo 5.9: Bazalt agregasının alan-çevre değerleri (4 - 8 mm).....	63
Tablo 5.10: Granit agregasının alan-çevre değerleri (4 - 8 mm).....	65
Tablo 5.11: Kireçtaşı agregasının alan-çevre değerleri (4 - 8 mm).....	67
Tablo 5.11: Kumtaşı agregasının alan-çevre değerleri (4 - 8 mm).....	69

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde katkılarından ve desteklerinden dolayı danışman hocalarım Prof. Dr. Şener CERYAN ve Doç. Dr. Hakan ELÇİ' ye teşekkür ederim.

Çalışma kapsamında alınan görüntü analizlerinde yardımlarından dolayı Doç. Dr. Altuğ HASÖZBEK'e ve Doç. Dr. İlker ÖZKAN'a, alınan görüntülerin Fraktal Analizinin değerlendirilmelerinden dolayı Mert Cem TAŞDEMİR'e teşekkür ederim.

Çalışma konusunu öneren Dokuz Eylül Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü hocalarından rahmetli Prof. Dr. Necdet TÜRK' ü saygıyla yad ediyorum.

Eğitim hayatım boyunca hep yanımda olan, maddi ve manevi olarak desteklerini benden hiç esirgemeyen, varlıklarını her zaman yanımda hissettiğim canım aileme sonsuz teşekkür ederim.

Balıkesir, 2021

Mert Ali TAŞDEMİR

1. GİRİŞ

Granüler malzemeler endüstriyel ve mühendislik uygulamalarında yaygın kullanılan malzemelerdir. İri ve ince agregaların mühendislik uygulamalarında kullanılması kaçınılmazdır. Bundan dolayı granüler malzemelerin işlenmesi ve üretilmesi sürecini optimize etmek ve kolaylaştırmak için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır (Al-Hashemi vd., 2018). Bu yöntemlerden birisi de duruş açısıdır. Duruş açısı, granüler malzemelerden oluşturulan yığının bozulmadan, duraylı bir şekilde kalmasını sağlayan en yüksek açı olarak ifade edilir. Duruş açısı, granüler malzemelerin işleme, depolama ve taşıma sistemlerinin tasarımı için önemlidir (Teferra, 2019). Granüler malzemeler eğim yönünde akışkan gibi davranarak hareket edebilecek durumda oldukları için taşınması ve üretilmesinde zorluklar ortaya çıkarır. Duruş açısı jeoteknikte statik koşullarda ayrık zeminlerin eğimli yüzeylerdeki stabilitesini, istinat duvarları gibi dayanma yapılarının güvenliğini ve maliyetini etkileyen önemli bir parametredir. Bu parametre, granüler malzemenin dane boyutuna, dane şekline, dane pürüzlülüğüne, yığın oluşturduğu zeminin pürüzlülüğüne ve danelerin suya doygunluk derecesine bağlı olarak değişir. Literatürde granüler malzemelerin duruş açısını belirlemek için önerilen yöntemler olmasına karşın henüz bir standart önerilmemiştir. Dahası aynı özelliklere sahip granüler malzemeye uygulanan farklı yöntemler ile elde edilen duruş açıları arasında önemli derecede farklılıklar vardır (Rouse, 2014). Bunun sebebi, duruş açısını bulmayı öneren yöntemlerde kullanılan ekipmanların farklılığı ve bu ekipmanlarda, granüler malzemenin dane boyutu ile ölçüm kabı hacmi arasındaki oransız boyut farkı ve buna bağlı olarak, iri granüler malzemeler için sınırlayıcı olması durumudur. Bu çalışmada Slamp deneyi aleti kullanılarak sonuçların güvenilirliğini sağlamak ve sıklık durumunun duruş açısına etkileri araştırılmak istenmiştir. Sıklık; şişlemeye bağlı olarak ortaya çıkar. Granüler malzemeler ne kadar şişlenirse o kadar sıkışır ve daha az oturma gösterir. Sıklık ne kadar fazlaysa duruş açısı da o kadar fazla olur. Zemin mukavemeti, danelerin yüzey şekli ile ilgilidir. Daha kırıklı yüzey şekillerine sahip agregalar, birbirleriyle temas noktalarında daha yüksek gerilmeler oluşturarak daha yüksek gerilmeler meydana getirirler. Yuvarlaklaşmış danelerde daha az gerilme meydana gelir.

Çalışmada granüler malzeme olarak farklı boyutlarda, farklı şekillerde, farklı dane yüzey pürüzlülüğüne, farklı litolojilere (5 farklı litoloji) ve farklı su içeriği değerlerine sahip agrega (ince ve iri daneli agrega) kullanılmıştır. Böylelikle agrega litolojisinin duruş açısına olan etkisi de araştırılmıştır.

İçsel Sürtünme Açısı, jeoteknik mühendisliğinde; kuru, kohezyonsuz zeminlerin taşıma gücünü tanımlama yoludur. İçsel sürtünme açısı; kuru, kohezyonsuz zeminler için, yaklaşık olarak duruş açısına eşittir. Bu nedenle, bu deney İçsel Sürtünme Açısını tahmin etmenin ucuz bir yoludur. Genellikle içsel sürtünme açısı, doğrudan kesme veya üç eksenli test gibi pahalı laboratuvar testlerinden belirlenir (Elton, 2015). Ayrıca duruş açısı aşırı (en kötü durum) koşullar altında elde edilen özel bir içsel sürtünme açısı olarak tanımlamıştır (Terzaghi, 1943).

Granüler malzemelerin yüzey şekil özellikleri, zeminin davranışını etkileyen önemli bir parametredir. Granüler malzemelerin yüzey pürüzlülüğü de zeminin davranışını etkileyen bir özelliktir. Fraktal geometri, sayısal değerler sağlamak için pürüzlülük ve dane boyutu dağılımı gibi düzensiz veya parçalı modellere uygulanabilir. Fraktal geometri sayesinde danelerin pürüzlülüğü karakterize edilir ve pürüzlülüğün dokusal ve yapısal yönleri arasındaki ilişki irdelenebilir (Hyslip ve Vallejo, 1997). Pürüzlü daneleri tanımlamak için fraktal geometri kavramını; kaya ve zemin mekaniği, sedimantoloji ve çevre-geotekniği alanında çalışan araştırmacılar detaylı kullanmaktadırlar (Akbulut, 2002).

Bu çalışmada Fraktal geometri kullanılarak danelerin pürüzlülük değerleri hesaplanmış ve pürüzlülüğün duruş açısına etkisi incelenmiştir. Farklı pürüzlülük yüzeylerine sahip granüler malzemelere ait örneklerin Olympus marka, SZ61 model, Binoküler mikroskobu yardımıyla fotoğrafları çekilmiş ve Stream Basic uygulaması yardımıyla ölçeklendirilmiştir. Matlab paket programı kullanılarak danelerin alan ve çevre değerleri hesaplanmış ve sonrasında yorumlanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda granüler malzemelerde dane boyu arttıkça duruş açısı da artmaktadır. Bununla birlikte yığın oluşturulan zemin pürüzlülüğü de arttıkça duruş açısı artmaktadır. Dane pürüzlülüğü azaldıkça duruş açısı azalmaktadır. Pürüzlü agregada en yüksek duruş açısı değeri bulunurken pürüzsüz agregada en düşük duruş açısı değeri bulunmuştur.

1.1 Çalışmanın Önemi

Bu araştırmada, granüler malzemelerin duruş açısının mikro özelliklerinin (dane boyu, dane şekli, dane yüzey pürüzlülüğü ve dane su içeriği değeri) makro özelliğine yani duruş açısına etkisini belirlenmiş ve granüler malzemelerin duruş açısının slump deneyi ile ortaya konmuştur. Granüler malzemelerden oluşturulacak mühendislik yapılarının stabilitesi

güvenlik açısından önem arz etmektedir. Oluşturulacak şevlerin duraylılığını belirlemek için kullanılan yöntemlerden biri duruş açısı ölçümüdür. Literatürde önerilen yöntemlerin hiçbirinin standartlaştırılmamış olması ve önerilen tek standart olan “ASTM C 1444” (ASTM, 2000) tekrarlanabilirlik (aynı şartlar altında bir operatör tarafından gerçekleştirilen iki ölçüm arasındaki hata) ve üretilebilirlik (iki farklı ölçüm cihazı ile yapılan iki ölçüm arasındaki hata) testleri arasında büyük farklılıklar olması nedeniyle yürürlükten kaldırılmış olması bu parametrenin ölçülmesinde bir belirsizliği doğurmaktadır. Bu çalışma literatürdeki bu boşluğun giderilmesi yönünde önemli bir aşamayı oluşturmaktadır. Çok çeşitli alanlarda kullanılan granüler malzemelerin fazlalığı ve geniş uygulama alanlarından dolayı hem makro hem de mikro-mekanik davranışlarının kapsamlı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Yapısal ve dokusal özellikler veya duruş açısı gibi danelerle ilişkili özellikler, granüler malzemelerin davranışını etkilemektedir. Bu çalışmada, daneli malzemenin duruş açısının, mikro davranışını anlamak ve ardından onu makro davranışla ilişkilendirmek için detaylı çalışmalar yapılmıştır. Bu nedenle, duruş açısı teorisi, tanımları, ölçüm yöntemleri, uygulamalar ve etkileyen faktörler hakkında incelemeler yapılmıştır (Al-Hashemi ve Al Amoudi, 2018).

1.2 Materyal ve Yöntem

Bu çalışma, granüler malzemelerin duruş açısına etkilerini araştırmak için yapılmıştır. Çalışmada kullanılan deney aşamaları ve yöntemler detaylı olarak aşağıda alt başlıklar halinde açıklanmıştır.

1.2.1 Numune Hazırlama

Çalışmada granüler malzeme olarak ince ve iri daneli agregalar kullanılmıştır. 5 farklı çapta, 5 farklı litolojide (Andezit, Bazalt, Granit, Kireçtaşı, Kumtaşı), 3 farklı pürüzlülük yüzeyine (Pürüzlü, Aşındırılmış ve Pürüzsüz) ve farklı su içeriği değerlerine sahip (Kuru, Suya Doygun) agregalar kullanılmıştır. Litolojik farkın etkisini görmek için farklı birim hacim ağırlığına sahip kayaçlar tercih edilmiştir. Temin edilen kayaçlar, Dokuz Eylül Üniversitesi (DEU) Torbalı Meslek Yüksekokulu kaya mekaniği laboratuvarında, laboratuvar tipi çeneli kırıcı ile kırılarak ve standart elekler yardımı ile 0-2, 2-4, 4-8, 8-10, 10-14 mm agrega boyutlarına küçültülmüştür. Dane yüzey pürüzlülüğünün duruş açısına etkisini bulabilmek için granüler malzemelerin yüzeyleri aşındırılmıştır. Çeneli kırıcıdan çıkan agregaların tüm yüzeyleri kırık olduğu için bu agregalar pürüzlü ve köşeli agregalar olarak, Los Angeles

parçalama deneyi sonrası (500 devir 12 bilya) çıkan daha az pürüzlü agregalar aşındırılmış dane olarak belirtilmiş; pürüzlü ve küreselleşmiş olarak tanımlanmıştır. Micro Deval aşınma deneyi (12000 devir, aşındırıcı şarj ve su) sonrası çıkan agregalar pürüzsüz ve yuvarlaklaşmış agrega olarak ayırtlanmıştır.

1.2.2 Slump Deneyi

Granüler malzemelerin duruş açılarını belirlemek için literatürdeki yöntemlerden farklı olarak slump deney aleti kullanılmıştır. Slump deney aletinin kullanılmasının amaçları şöyledir:

- Deney sonuçlarının güvenilirliği
- Sıklık durumunun duruş açısına etkisinin gözlenmesi
- Slump konisinin hacminin iri dane boyutuna sahip agregalar için sınırlayıcı olmaması

1.2.3 Fiziksel, Kimyasal ve Mineralojik Özellikler

Elek analizi yapılan granüler malzemelerin fiziksel özellikleri hesaplanmıştır. Kuru ağırlıkları, su içinde ağırlıkları ve suya doymuş ağırlıkları tartılmıştır. Buna bağlı olarak yığın yoğunluğu, boşluk yüzdesi ve poroziteleri de bulunmuştur (TSE, 1999). Bu agregalar ile slamp deneyleri (TSE, 2010), gevşek (şişlenmemiş) ve sıkı (şişlenmiş) olarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma için kullanılan granüler malzemelerin kimyasal özellikler belirlenmiştir. Ayrıca kullanılan kayaç örneklerinden ince kesit yapılarak örneklerin mineralojik özellikleri de belirlenmiştir.

1.2.4 Kesme Kutusu Deneyi

İçsel Sürtünme Açısı, geoteknik uygulamalarında kohezyonsuz zeminlerin taşıma gücünü tanımlama yoludur. Genellikle içsel sürtünme açısı, kesme kutusu deneyiyle belirlenir. Bu çalışmada 0 – 2 mm boyutlarındaki örnekler için Kesme kutusu deneyi yapılarak malzemenin içsel sürtünme açısı bulunmuştur. Çalışmada hem duruş açısı değeri hem de içsel sürtünme açısı değeri bulunup ilişkilendirilmeye çalışılmıştır.

1.2.5 Fraktal Boyut Kavramı ve Pürüzlülük

Bu çalışmada duruş açısı hem düz zeminde hem de pürüzlü zeminde hesaplanmıştır. Yığın oluşturulan yüzeyin pürüzlülüğe etkisi de araştırılıp tablolar halinde sunulmuştur. Pürüzlü

zemin olarak zımpara kağıdı kullanılmıştır. Dane pürüzlülüğünde olduğu gibi yığın oluşturulan yüzey pürüzlülüğü de duruş açısını etkilemektedir. Duruş açısı yüzey pürüzlülüğü arttıkça artmaktadır. Çalışma kapsamında dane pürüzlülüğü sayısallaştırılmış ve yorumlanmıştır. Hem literatürdeki yöntemlerle danelerin yuvarlaklık ve köşelilik değerleri hesaplanmış hem de fraktal boyut kavramı kullanılarak danelerin alan ve çevre değerleri ölçülüp, alan ve çevre arasındaki bağlantıdan pürüzlülük değeri hesaplanmıştır. Matlab paket programı yardımıyla ölçekli olarak fotoğrafları çekilen farklı yüzey pürüzlülük değerlerine sahip danelerin alan ve çevre değerleri hesaplanmış ve yorumlanmıştır. Pürüzlü danenin fraktal katsayısı 1'den uzak, pürüzsüz danenin fraktal katsayısı 1'e yakın sonuçlar vermiştir. Aşındırılmış danelerin fraktal katsayıları ise pürüzsüz ile pürüzlü dane değerleri arasında sonuçlar vermiştir.

1.3 Önceki Çalışmalar

Bu çalışmayla ilgili olarak daha önceden benzer konulardaki çalışmalar taranmış ve aşağıda özetlenmiştir.

Terzaghi (1943); zeminlerin mekanik özellikleri, kil ile tamamen kuru ya da tamamen suya doymuş kumun özellikleri arasında değişir. Eğer kuru veya tamamen suya doymuş bir kum yatağında kazı yapılırsa, kazı yapılan şev kenarlarındaki malzeme tabana doğru kayar. Malzemenin bu davranışı, kum daneleri arasında bir bağın olmadığını gösterir. Kayan malzeme, şevlerin eğim açısı, duruş açısı olarak bilinen belirli bir açıya eşitlenene kadar durmaz. Kuru kumun ve tamamen doymuş kumun duruş açısı, eğimin yüksekliğinden bağımsızdır. Ayrıca duruş açısı aşırı (en kötü durum) koşullar altında elde edilen özel bir içsel sürtünme açısı olarak tanımlanmıştır.

Lane (1950); mühendislik problemlerinde kumun, içsel sürtünme açısının pratik amaçlar için genellikle sabit olarak kabul edilebileceğini belirtilmiştir. Duruş açısının her zaman en gevşek durumda kumun içsel sürtünme açısına eşit olacağı ifade edilmiştir.

Metcalf (1965); kırılmış kayalarda duruş açısı ile içsel sürtünme açısı arasındaki ilişkiyi incelemiş ve kırılmış kayalarla yapılan deneyler bildirmiştir. Duruş açısının genel olarak yığındaki malzemenin içsel sürtünme açısı değil, aynı malzemenin yıkılmadan sabit bir şekilde yığın oluşturabileceği açı sonucuna varmıştır. Duruş açısı kavramının etkileri ve sınırlamalarını tartışmıştır.

Miller ve Byrne (1965); Su altında oluşturulan yığınların duruş açısı değerleri sabit pürüzlü zemin üzerinde deneysel olarak belirlenir. Dane şeklinin etkisi, zeminin büyüklüğü, sınıflaması ve dane çapının ortalama zemin yığınının çapına oranı dikkate alınır.

Carrigy (1970); Çeşitli ortamlardaki granüler malzeme yığınlarının duruş açılarını ölçmek için basit bir aparat geliştirmiştir. Kullanılan danelerin şekil ve yüzey özelliklerinin, duruş açıları üzerinde en büyük etkiye sahip olduğu sonucuna varmıştır.

Statham (1974); Dönen bir tamburda ölçülen duruş açısı, gerçek sabit değer değildir. Bir kesme kutusu testinde ölçüldüğü gibi içsel sürtünme açısına tam olarak eşit değildir. Duruş açısındaki değişkenliğin bir kısmı, hemen önceki içsel sürtünme açısı değerinin büyüklüğüyle ilişkilendirilir.

Lee ve Herrmann (1992); Modellerinde, iki dane arasındaki teması kesmek için, danelere Coulomb kriteri tarafından belirlenen sınırlı miktarda kuvvet uygulamak gerektiğini vurgulamışlardır. İki boyutlu bir model kullanarak, heyelanların oluşturduğu yığınlara duruş açısı Θ_R (sınırdaki eğim) olduğunu söylemişlerdir. Ayrıca, bu yığınlar, kaydırma açısından Θ_T , daha küçük bir açıyla durağan halde bulunmaktadır.

Bowles (1997); Geoteknik uygulamalarda kullanılan yöntemlerden biri olan duruş açısının, birincil uygulaması şev stabilitesinin ve istinat yapılarının tasarımının belirlenmesi olduğunu belirtmiştir.

Dury vd. (1998); Granüler malzemelerin bulunduğu yarı dolu bir döner tamburdaki akış için duruş açısı deneyleri ve bilgisayar simülasyonları ile incelenmiştir.

Samadani ve Kudrolli (2001); Nem içeriğinin varlığı, daneli malzemenin özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir. Örneğin, nemli granüler malzemedan oluşturulan bir yığının duruş açısı aynı malzemedan yapılmış kuru bir yığının duruş açısından daha büyüktür. Daneler arasında oluşan yapışma kuvvetleri yığının daha sıkı durmasını sağlamaktadır.

Akbulut (2002); yer bilimciler; zemin yapısı, boşluk dağılımı veya bunların zemin mukavemetine etkisini, zemin ve kaya danelerinin pürüzlülüğünün zemine etkisini araştırmak için, fraktal boyut kavramını kullanmışlardır.

Zhoua vd. (2002); granüler malzemelerin özelliklerinin belirlenmesinde en önemli makroskobik parametre olan duruş açısının değerlerini sayısal ve deneysel bir çalışmayla sunmaktadırlar.

Chik ve Vallejo (2005); Laboratuvarda bir toprak yığınının kademeli olarak birikmesi, bir yamacın tepesinde yığının oluşmasını temsil ettiğini belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada, kaba kum ve ince kumdan oluşan ikili karışımlarda duruş açısını laboratuvar ortamında ölçmüşlerdir. Karışımların yerleştirildiği zeminin pürüzlülüğünün duruş açısı üzerindeki etkisi de incelemişlerdir.

Kolay ve Kayabalı (2005); Yaptıkları çalışmada, uygulamalı jeoloji çalışmalarında kütlelerin içsel dirençleri, gözenekliliği, geçirimsizliği göz önünde bulundurulmuş agregaların köşelilik ve pürüzlülük değerlerinin fraktal analiz ile modelleyerek köşelilik ve pürüzlülük değerlerini nicel olarak ifade etmişlerdir. Agregaların hem şekil hem de pürüzlülük özelliklerini fraktal boyut ile ifade edilebileceğini söylemişlerdir.

Geldart, Abdullah, Hassanpour, Nwoke ve Wouters (2006); Endüstride, ince daneli malzemelerin(tozların) taşıma ve depolamayı içeren işlemlerde akıcılığını ölçmenin hızlı ve tekrarlanabilir bir yöntemine olan ihtiyacına cevap olarak, duruş açısı ölçüm fikrini bulmuşlardır.

Chukwu ve Akande (2007); Granüler malzemelerin duruş açılarını ölçmeye yarayan bir aparat geliştirmişlerdir. Daneli malzemelerin fiziksel özelliklerinin haznelerin ve silo gibi diğer depolama tesislerinin tasarım ve yapımında duruş açısının etkisi kısaca tartışılmıştır.

Fraczek, Zlobecki ve Zemanek (2007); Çalışmalarında, granüler malzemelerin doğal durumda duruş açısının değerlendirilmesi için bilgisayar görüntü analizinin potansiyel bir uygulamasını sunmuşlardır.

Ghazavi, Hosseini ve Mollanouri (2008); Kumların yığın oluşturma şeklinin normalde koni biçimli olduğunu ve kum taneleri yığının yıkılmadan durduğu açı yönünde ilerlediğini

vurgulamışlardır. Duruş açısının kum tanelerinin içsel sürtünme açısıyla bağıntılı olduğunu belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada üç tür kumda gerçekleştirilen laboratuvar çalışmalarının sonuçlarını sunmaktadırlar. Bu çalışma için özel bir cihaz hazırlamışlardır. Cihazdan çeşitli yüksekliklerden kum dökerek yığın oluşturmuşlar ve duruş açısını yığın geometrisi kullanılarak ölçmüşlerdir. Sürtünme açısını belirlemek için de kum üzerinde kesme kutusu deneyleri yapmışlardır. Sonuçlarda ise, duruş açısının kumun içsel sürtünme açısı ile korele edilebileceğini göstermişlerdir.

Liu (2008); Granüler malzemelerin duruş açısı değerleri, farklı çaplarda ve uzunluklarda silindirler ve farklı pürüzlülük derecelerine sahip zeminler kullanılarak incelenmiştir. Yapılan deneylere göre granüler malzemelerin duruş açısı, yığınların üzerinde olduğu zeminin pürüzlülük derecesinden etkilenmiştir. Taban ne kadar pürüzlü ise, duruş açısı o kadar yüksek çıkmıştır.

Cavarretta (2009); Granüler malzemelerin mekanik davranışı, dane özelliklerine bağlıdır. Araştırmanın amacı, danelerin mikro mekanik özellikleri ile malzemenin genel mekanik davranışı arasında ilişki kurmaktır. Danelerin hem mekanik hem de geometrik özellikleri göz önünde bulundurularak granüler malzemelerin şekil analizi için yeni bir yaklaşım önerilmiş ve klasik yöntemlerle karşılaştırmalar yapılmıştır.

Zaalouk ve Zabady (2009); Üç çeşit buğday çeşidinin, %9,30, %10,0, %11,11 ve %12,5 seviyelerindeki nem içeriği değerlerine ait duruş açıları belirlemek için yapılmıştır. Duruş açısı, inceledikleri tüm çeşitler için nem içeriğinin artmasıyla doğrusal olarak arttığını belirtmişlerdir.

Arasan (2011); Geoteknik araştırmalarda, granüler malzemeler için kayma mukavemeti ve kayma mukavemeti açısı önemli özelliklerdir. Bu özellikler öncelikli olarak dane şekli, dane boyutu ve dane boyu dağılımı tarafından kontrol edilmektedir. Bu çalışmada, granüler zeminlerin geoteknik özellikleri (dane boyu dağılımı, maksimum ve minimum boşluk oranları, rölatif sıklık, kayma mukavemeti açısı vb.) ve şekilsel özellikleri (yuvarlaklık, küresellik, köşelilik, konvekslik, fraktal boyut vb.) hesaplanmış ve dane şeklinin zeminlerin geoteknik özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

Nakashima, Shioji, Kobayashi, Aoki, Shimizu, Miyasaka ve Ohdoi (2011); Bir haznedeki kuru kum dökülerek kum danelerinin duruş açısı üzerinde yer çekimi etkilerini belirlemişlerdir. Kumun duruş açısına etkiyen yer çekimi ihmal edilebilir düzeydedir. Duruş açısını simüle etmek için iki boyutlu ayırık elemanlar yöntemi (DEM) kullanılmıştır.

Wang, Zhao, Liang ve Wen, (2013); Duruş açısını, granüler malzemenin eğimli bir bölgede biriktirilmiş yığınının veya birikintilerin aşınmasının oluşturduğu açı olarak tanımlamışlardır. Yaptıkları çalışmada, Çin'deki 2008 Sichuan Depremi'nin neden olduğu heyelan birikintisi kalıntılarının duruş açısını incelemişlerdir. Duruş açısını sahada ölçmüş ve sonrasında laboratuvarında test etmişlerdir. Ayrıca duruş açısını laboratuvarında çok basit bir manuel test kullanılarak test etmişlerdir. Laboratuvarında elde edilen duruş açısının değeri sahadakilerden daha büyüktür.

Alias, Kasa ve Taha (2014); Dane boyutunun granüler malzemelerin kayma dayanımı üzerindeki etkisini, doğrudan kayma testleri kullanılarak incelemişlerdir. Elek boyu 2.36 mm'den geçen parçacıklar için küçük doğrudan kesme testi (60-60 mm x 24 mm derinliğinde), standart 20 mm elekleri geçen taneler için büyük doğrudan kesme testi (300 mm x 300 mm x 200 mm derinliğinde) kullanılarak test etmişlerdir. Büyük doğrudan kesme testleri ve küçük doğrudan kesme testleri, 0.09 mm / dak. Aynı kesme hızı ve 100, 200 ve 300 kPa'lık benzer normal gerilmeler kullanılarak gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlar, dane boyutu arttıkça kayma mukavemetinin arttığını göstermektedir.

Rouse (2014); Duruş açısını - bir toprak yığınının bozulmadan sabit kalmasını sağlayan maksimum açı olarak tanımlamış ve eğimli veya istinat duvarları gibi projelerin emniyetini ve maliyetlerini etkilediğini belirtmiştir. Altı farklı kum için altı farklı yöntem kullanılarak elde edilen duruş açılarının, farklılıklarını ölçmek, açıklamak ve açının değerini etkileyen faktörlerin bazılarını belirlemek için burada karşılaştırmıştır.

Liu, Guo, Lu ve Gong (2015); Dane boyunun, toz haline getirilmiş kömürün akış özelliklerine etkisi araştırılmıştır. İçsel sürtünme açısını, efektif içsel sürtünme açısını, kohezyonu ve çeper sürtünme açısını ölçmek için dairesel bir kesme hücresi ve toz haline getirilmiş kömürün akma özelliklerini belirlemek için şeffaf bir Perspex haznesi kullanılmış. Deney sonuçları dane büyüklüğünün içsel sürtünme açısından ziyade kohezyon ve çeper sürtünme açısı üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermiştir.

Al-Hashemi, Bukhary (2016); Duruş Açısı, zeminlerin fiziksel özelliklerinden biri olduğundan belirlenmesi kolay bir yöntemdir. Duruş açısı, Hollow Silindir testi kullanılarak belirlenmiştir.

Lanzerstorfer, C. (2016); Kuru atık toz temizleme sistemlerinde, ayrıştırılan tozun akışkanlığı, depolama ve taşıma ekipmanlarının tasarımı için önemli bir özelliktir. Duruş açısı, genellikle daneli malzemenin akışkanlığı için önemli bir göstergedir.

Bhople, Kumar ve Haldkar (2017); Çalışmalarının temel amacı, nem içeriğinin; tahıllar ve bakliyalarda duruş açısı üzerindeki etkisini ölçmek için bir model geliştirmişlerdir.

Khanal, Elmouttie ve Adhikary (2017); yaptıkları çalışmada, Ayrık Element Yöntemi'ndeki (DEM) dairesel veya küresel taneler, bazı daneli düzenekler için istenen duruş açısının elde edilmesinde sınırlamalara sahiptir. Dane şeklinin, duruş açısı üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Kum için, nem içeriğine, kum danelerinin şekil ve boyut dağılımına bağlı olarak, duruş açısı 15 ile 45 derece arasında ölçülmüştür. Duruş açısı, kütle yoğunluğu, içsel sürtünme açısı, yığın yoğunluğu ve dane büyüklüğü dağılımı, Ayrık Element Yöntemi (DEM) modelini kalibre etmek için kullanılan yaygın parametrelerdir.

Rackl, Grötsch ve Günthner (2017); İçsel sürtünme açısı, Coulomb'un malzeme teorisine göre; duruş açısının arctan'ı olarak belirlenmektedir. Yığın haldeki malzemeler her zaman konik şekiller oluşturmaktadır.

Vallejo, Esipitia ve Caicedo (2017); bu çalışma, dane büyüklüğü dağılımının (psd) kuru granüler malzemelerin hareketliliği üzerindeki etkisine dair deneysel bir analiz sunmaktadır. Farklı fraktal boyut değerlerine sahip granüler karışımlar, içi boş bir silindire yerleştirilmiştir. Silindir kaldırılmış ve karışımın akış mesafesi silindirin orijinal konumuna göre ölçülmüştür. Karışımların akış mesafelerinin fraktal boyut değerleri, psd değerleri ile doğrudan ilişkili olduğu belirlenmiştir. Yani, karışımın akış mesafesi ne kadar büyük olursa, test edilen granüler karışımın fraktal boyut psd'si o kadar büyük olur. Bu nedenle, kuru granüler karışımlardaki fraktal boyut psd'nin, kuru granüler karışımların alanda hareket etme kolaylığı üzerinde büyük bir etkisi olduğu görülmektedir.

Al-Hashemi ve Al-Amoudia (2018); Granüler malzemelerin duruş açısının mikro davranışını anlamak ve sonra onu makro davranışlarla ilişkilendirmek için önemli bir parametre olduğunu göstermişlerdir. Duruş açısının farklı kullanım alanlarını aşağıdaki şekilde özetlemişlerdir.

Tarım (silo ve haznelerin tasarımı için),

Farmakoloji (ilaç üretimi ve akışkanlık tespitinde),

Jeoloji (kum tepeciklerinin değerlendirilmesi ve izlenmesi, heyelan riskleri),

Madencilik,

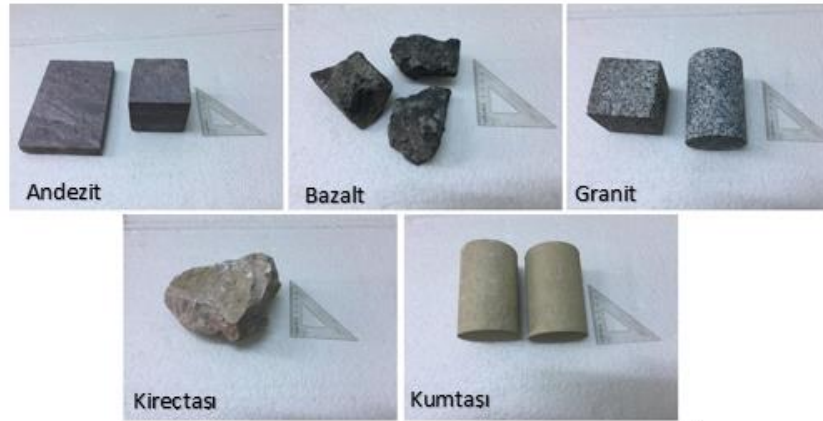
İnşaat mühendisliği.

Masoudian, Zevgolis, Deliveris, Marshall, Heron ve Koukouzas (2019); madencilik faaliyetlerinde üretilen yüksek miktarlardaki artık malzemenin (pasa), linyit üreticilerine önemli ekonomik ve çevre sorunları getirdiğini belirtmişlerdir. Avrupa linyit madeni pasalarının jeoteknik özelliklerine genel bakış açısıyla yaklaştıkları çalışmalarında yığınların kararlılığının önemini tartışmışlardır. Ek olarak artık malzemelerdeki şev stabilitesi sorunu, linyit madenciliği işlemleri için önemli bir zorluktur. Linyit madeni bozulmalarının istikrarsızlıkları önemli çevresel ve ekonomik yükümlülüklerle sonuçlanır ve bu nedenle bu tür sorunların öngörülmesi ve önlenmesi bir öncelik olmalıdır.

2. GRANÜLER MALZEMELERİN İNDEKS ÖZELİKLERİ

2.1 Çalışma İçin Kullanılan Kayaçların Fiziksel, Kimyasal ve Mineralojik Özellikleri

Bu çalışmada granüler malzemelerin duruş açalarına litolojinin etkisi araştırılmıştır. Çalışma için; Andezit, Bazalt, Granit, Kireçtaşı ve Kumtaşı olmak üzere beş farklı litolojiye sahip kayaç örnekleri kullanılmıştır. Andezit örnekleri Manisa ilinde bulunan Yunt Dağı mevkisinden alınmıştır. Bazalt örnekleri İzmir ili Aliğa ilçesinden alınmıştır. Granit örnekleri İzmir ili Bergama ilçesi Kozak bölgesinden alınmıştır. Kireçtaşı örnekleri İzmir ili Karaburun ilçesine aittir. Kumtaşı örnekleri ise Ordu ilinden alınmıştır (Şekil 2.1).



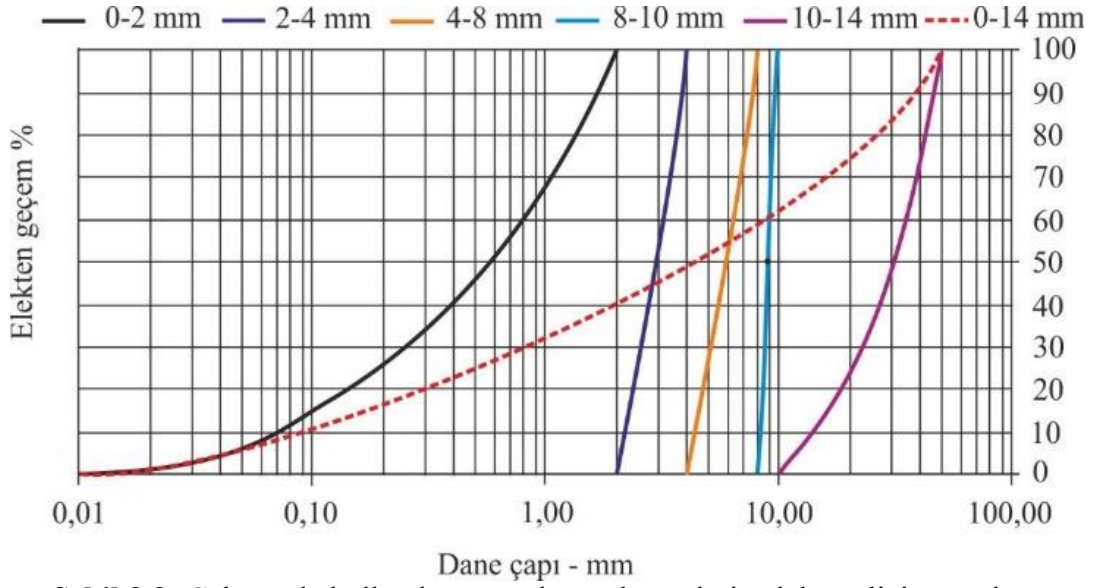
Şekil 2.1: Çalışmada kullanılan kayaç örneklerinin genel görünüşleri.

Çalışma için kullanılan kayaçların laboratuvar ortamında fiziksel özellikler kapsamında kuru ve suya doymun yoğunluk değerleri ve gözeneklilik değerleri belirlenmiştir (Tablo 2.1).

Tablo 2.1: Çalışmada kullanılan kayaçların fiziksel özellikleri.

Litoloji	Kuru ρ_b (Mg/m ³)	Suya doymun ρ_b (Mg/m ³)	Açık Gözeneklilik ρ_r (%)	n
Andezit	2446 ± 15	2473 ± 13	2.630 ± 0,201	5
Bazalt	2692 ± 4	2702 ± 4	0,201 ± 0,031	5
Granit	2680 ± 2	2691 ± 1	1,088 ± 0,098	5
Kumtaşı	2261 ± 240	2371 ± 23	11,104 ± 0,667	5
D. kireçtaşı	2769 ± 40	2750 ± 23	0,461 ± 0,307	5

D:Dolomitik, ρ_b : görünür yoğunluk, ρ_r : açık gözeneklilik, n: örnek sayısı,
±: Standart Sapma



Şekil 2.2: Çalışmada kullanılan granüler malzemelerin elek analizi sonuçları.

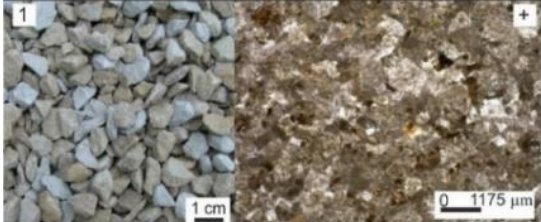
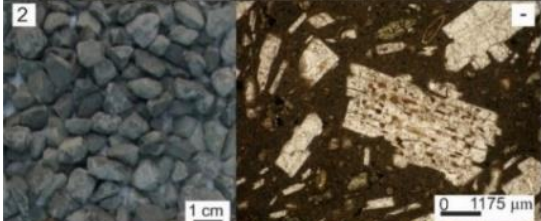
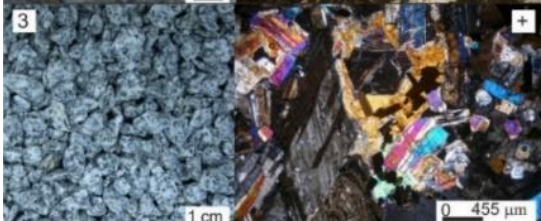
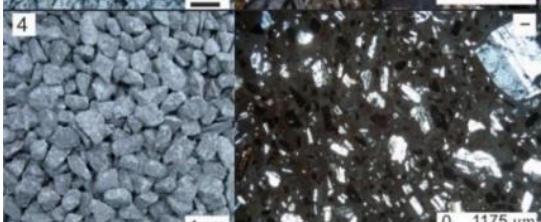
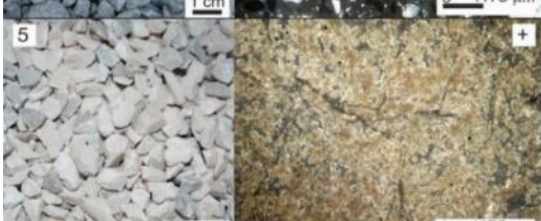
Farklı litolojilere sahip kayaç örnekleri laboratuvar tipi çeneli kırıcı yardımıyla kırılmış ve granüler malzeme elde edilmiştir. Ardından elek analizi yapılarak 0 – 2 mm, 2 – 4 mm, 4 – 8 mm, 8 – 10 mm ve 10 – 14 mm boyutlarına getirilmiştir (Şekil 2.2).

Bu çalışma için kullanılan granüler malzemelerin kimyasal özellikler belirlenmiştir (Tablo 2.2). Çalışmada kullanılan bir numaralı kayaç örneği kayaç % 60 feldispat, % 30 kuvars ve % 10 kaya kırıntısından oluşan iyi boylanmış litik (arkoz) kumtaşlarıdır. İki numaralı kayaç örneği hipokristalen bir dokuya sahip bazalttır. Kayaç, % 38 plajoklas, % 11 piroksen, % 5 de olivin içerir. Ayrıca kayaçta % 44 plajoklas, proksen mikrolitleri içeren volkanik cam matriks vardır. Üç numaralı kayaç örneği % 34-53 plajoklas, %24-35 alkali feldispat, % 21-29 kuvars, % 5-10 biyotit , % 3-8 amfibol mineralleri içeren holokristalin doku gösteren tipik bir granittir. Dört numaralı kayaç kahverengimsi kırmızı renkli, ince orta taneli, öz şekilli minerallere sahip ve belirgin bir lav akma dokusu gösteren andezittir. Kayaç K-feldispat, kuvars ve plajoklas ve çeşitli boyutlarda küçük biyotit taneleri içeren hipokristalin dokuya sahiptir. Beş numaralı örnek dolomit ve kalsit minerallerinden oluşan dolomitik kireçtaşıdır. Dolomitik kireçtaşları genellikle öz şekilli veya yarı öz şekilli iri dolomit kristalleri ve mikro spar boyutlarında (4-20 mikron) kristallerden oluşan, dolospar ve/veya mikrodolosparlarla ve spar kalsit ile temsil edilir. İri dolomit kristalleri genellikle zonlu yapı sunarlar. Diyajenetik fasiyes içinde basınç çözünmesi olayına bağlı olarak, ileri ve orta derecede stilo-breş veya stilo-nodüler yapılar gelişmiştir ve kayaç yersel olarak pembemsi renk kazanmıştır (Şekil 2.3).

Tablo 2.2: Çalışmada kullanılan kayaçların ana oksit yüzdeleri.

Örnek	Major element oksit %										Total
	SiO ₂	Al ₂	Fe ₂	Mg	CaO	Na ₂	K ₂ O	TiO	MnO	KK	
Kumtaşı	69.2	11.2	4.87	0.8	5.1	1.5	2.52	0.25	0.33	4.16	100
Bazalt	47,9	11,4	9,15	11,1	8,56	2,24	2,71	1,73	0,13	4,6	99.75
Granit	59.7	17.2	5.92	1.98	4.22	3.04	5.95	0,08	0,08	1.40	99.586
Andezit	61.2	16.2	4.08	1.44	5.71	3.79	2.52	0.55	0.12	4.16	99.913
D. kireçtaşı	0.30	0.11	0.03	8.37	45.4	0.00	0.07	0.01	0.00	45.19	99.533

D: Dolomitik, KK: Kızdırma kaybı

	<p>Kumtaşı</p> <table border="1"><thead><tr><th>Mineral</th><th>%</th></tr></thead><tbody><tr><td>Feldispat</td><td>58 - 63</td></tr><tr><td>Kuvars</td><td>27 - 35</td></tr><tr><td>Litik kırıntılar</td><td>8 - 12</td></tr></tbody></table>	Mineral	%	Feldispat	58 - 63	Kuvars	27 - 35	Litik kırıntılar	8 - 12				
Mineral	%												
Feldispat	58 - 63												
Kuvars	27 - 35												
Litik kırıntılar	8 - 12												
	<p>Bazalt</p> <table border="1"><thead><tr><th>Mineral</th><th>%</th></tr></thead><tbody><tr><td>Volkanik cam matrisi (plajiolklas ve proksen mikrolitleri)</td><td>44</td></tr><tr><td>Plajiolklas</td><td>38</td></tr><tr><td>Proksen</td><td>11</td></tr><tr><td>Olivin</td><td>5</td></tr></tbody></table>	Mineral	%	Volkanik cam matrisi (plajiolklas ve proksen mikrolitleri)	44	Plajiolklas	38	Proksen	11	Olivin	5		
Mineral	%												
Volkanik cam matrisi (plajiolklas ve proksen mikrolitleri)	44												
Plajiolklas	38												
Proksen	11												
Olivin	5												
	<p>Granit</p> <table border="1"><thead><tr><th>Mineral</th><th>%</th></tr></thead><tbody><tr><td>Plajiolklas</td><td>34 - 53</td></tr><tr><td>Feldispat</td><td>24 - 35</td></tr><tr><td>Kuvars</td><td>21 - 29</td></tr><tr><td>Biyotit</td><td>5 - 10</td></tr><tr><td>Amfibol</td><td>3 - 8</td></tr></tbody></table>	Mineral	%	Plajiolklas	34 - 53	Feldispat	24 - 35	Kuvars	21 - 29	Biyotit	5 - 10	Amfibol	3 - 8
Mineral	%												
Plajiolklas	34 - 53												
Feldispat	24 - 35												
Kuvars	21 - 29												
Biyotit	5 - 10												
Amfibol	3 - 8												
	<p>Andezit</p> <table border="1"><thead><tr><th>Mineral</th><th>%</th></tr></thead><tbody><tr><td>K- Feldispat</td><td>20 - 23</td></tr><tr><td>Kuvars</td><td>2 - 3</td></tr><tr><td>Plajiolklas</td><td>40 - 47</td></tr><tr><td>Biyotit</td><td>5 - 7</td></tr><tr><td>Matriks</td><td>20 - 23</td></tr></tbody></table>	Mineral	%	K- Feldispat	20 - 23	Kuvars	2 - 3	Plajiolklas	40 - 47	Biyotit	5 - 7	Matriks	20 - 23
Mineral	%												
K- Feldispat	20 - 23												
Kuvars	2 - 3												
Plajiolklas	40 - 47												
Biyotit	5 - 7												
Matriks	20 - 23												
	<p>Dolomitik kireçtaşı</p> <table border="1"><thead><tr><th>Mineral</th><th>%</th></tr></thead><tbody><tr><td>Kalsit</td><td>70 - 80</td></tr><tr><td>Dolomit</td><td>25 - 30</td></tr></tbody></table>	Mineral	%	Kalsit	70 - 80	Dolomit	25 - 30						
Mineral	%												
Kalsit	70 - 80												
Dolomit	25 - 30												

Şekil 2.3: Çalışmada kullanılan kayaçların agrega görünümleri (sol sütun), mikroskop altında genel görünümleri (orta sütun), mineral yüzdeleri (sağ sütun).

2.1.1 Granüler Malzemelerin Gevşek Yığın Yoğunluğu, Boşluk Yüzdesi ve Porozitesi

Granüler malzemelerin kuru ve suya doymuş birim hacim ağırlıkları, dane gözenekliliği ve boşluk yüzdesi TS EN 1097-3 (TSE, 1999)'a göre belirlenmiştir (Tablo 2.3).

Tablo 2.3: Çalışmada kullanılan granüler malzemelerin fiziksel özellikleri.

Litoloji	Dane çapı (mm)	Kuru ρ_b (Mg/m ³)	Suya doy. ρ_b (Mg/m ³)	ρ_r (%)	v (%)	n
Kumtaşı	0-2	1289 ± 10	1223 ± 7			3
	2-4	1058 ± 25	1123 ± 49			3
	4-8	1149 ± 24	1176 ± 8	9,44 ± 0,34	53,73 ± 0,15	3
	8-10	1084 ± 13	1173 ± 8	9,23 ± 0,17	52,24 ± 0,19	3
	10-14	1120 ± 9	1210 ± 11	9,45 ± 0,21	52,04 ± 0,11	3
Bazalt	0-2	1478 ± 9	1238 ± 17			3
	2-4	1285 ± 11	1265 ± 14			3
	4-8	1215 ± 9	1298 ± 9	1,08 ± 0,04	52,98 ± 0,65	3
	8-10	1212 ± 13	1345 ± 6	1,06 ± 0,05	52,91 ± 0,48	3
	10-14	1275 ± 15	1385 ± 15	1,11 ± 0,06	53,12 ± 0,22	3
Granit	0-2	1471 ± 8	1229 ± 27			3
	2-4	1271 ± 13	1119 ± 8			3
	4-8	1179 ± 19	1261 ± 9	1,11 ± 0,05	53,93 ± 0,55	3
	8-10	1236 ± 17	1317 ± 6	1,04 ± 0,05	55,80 ± 0,84	3
	10-14	1256 ± 15	1321 ± 5	1,08 ± 0,05	55,48 ± 0,72	3
Andezit	0-2	1371 ± 17	1210 ± 18			3
	2-4	1121 ± 14	1144 ± 9			3
	4-8	1169 ± 25	1226 ± 13	2,66 ± 0,05	54,19 ± 0,36	3
	8-10	1159 ± 8	1212 ± 7	2,26 ± 0,04	51,27 ± 1,67	3
	10-14	1174 ± 13	1258 ± 12	2,41 ± 0,05	52,05 ± 1,02	3
Dolomitik	0-2	1441 ± 34	1320 ± 14			3
	2-4	1243 ± 14	1243 ± 26			3
Kireçtaşı	4-8	1302 ± 33	1346 ± 32	0,30 ± 0,07	53,42 ± 0,65	3
	8-10	1320 ± 18	1343 ± 26	0,28 ± 0,08	55,63 ± 1,80	3
	10-14	1328 ± 11	1348 ± 17	0,31 ± 0,09	54,28 ± 1,75	3

ρ_b : agrega yığın yoğunluğu, ρ_r : agrega dane gözenekliliği, v : agrega boşluk yüzdesi, n : örnek sayısı, \pm : Standart Sapma.

3. GRANÜLER MALZEMELERİN DURUŞ AÇILARININ BELİRLENMESİ

3.1 Duruş Açısının Tanımlanması ve Ölçüm Yöntemleri

Bu çalışmada farklı dane boylarına sahip granüler malzemelerin kayma durumlarını etkileyen faktörler incelenmiştir. Slamp hunisi granüler malzeme ile doldurularak yukarı doğru çekilmiş ve koni şekilli yığın oluşturulmuştur. Yığının kaymadan durabileceği en dik açı oluşturulmuş ve yığının yatayla yaptığı açı hesaplanmıştır. Bu açının değişmesine neden olan etmenler araştırılmıştır. Bu açının değişmesine danelerin suya doygunlukları, yoğunluk, danenin pürüzlülüğü, dane boyutu ve şekli, sürtünme katsayısı ve yığının oluşturulduğu zeminin pürüzlülüğü etki etmektedir.

Suya doygun granüler malzemedan oluşturulan bir yığının duruş açısı aynı malzemedan yapılmış kuru bir yığından daha büyüktür. Daneler arasında oluşan yapışma kuvvetleri yığının daha sıkı durmasını sağlamaktadır. Malzemeler yüzey kuru - suya doygun olarak duruş açıları ölçülmüştür.

Danelerde pürüzlülük miktarı arttıkça danelerin sürtünme katsayısı artacağından, duruş açısı değerleri de buna bağlı olarak artmaktadır. Ayrıca yığın oluşturulacak zeminlerin pürüzlülüğü de sürtünmeye bağlı olarak duruş açısını arttıracaktır. Duruş açısı oluşturulan yığınların danelerinin mekanik ve geometrik özelliklerine göre değişmektedir. Yuvarlaklık, köşelilik ve pürüzlülük doğrudan duruş açısına etkilidirler.

Duruş açısının ölçümü için farklı yöntemler kullanılmıştır. Farklı problemlere göre duruş açısı ölçüm yöntemleri değişebilir. Buna bağlı olarak malzeme türü, boyutu, yüzey parametreleri duruş açısı ölçümünde önemli etmenlerdir. Literatürde mevcut farklı yöntemler ve kılavuzlar olmasına rağmen, yöntemler standartlaştırılmamıştır (Rackly vd., 2017). Bu çalışmada Slamp deney aleti kullanılarak duruş açısının laboratuvar ve arazi koşullarında daha kolay ve ucuz olarak bulunması amaçlanmıştır.

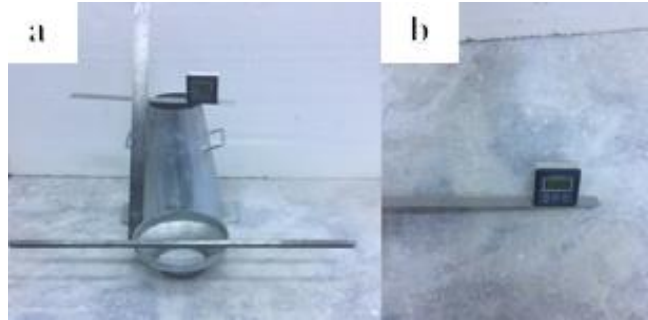
Duruş açısını belirlemek için kullanılan en yaygın yöntemler; kaydırma kutusu yöntemi, sabit huni yöntemi, döner silindir / tambur yöntemi, içi boş silindir yöntemi ve kayan silindir yöntemi şeklinde önerilmiştir (Al-Hasemi ve Al-Amoudia, 2018). Önerilen yöntemler bu çalışma içerisinde kullanılmamıştır. Bu önerilen yöntemler genellikle ince dane boylarına

sahip malzemeler için tasarlanmıştır. Bu çalışmada iri danelerin ve sıklığın duruş açısına etkisi araştırılmak istenildiğinden önerilen yöntemlerin aksine slump deney aleti kullanılmıştır.

Bu çalışmada Slamp deney aletinin kullanılmasının bir nedeni de deney sırasında yoğunluk, sıklık ve iri dane boyutuna sahip granüler malzemelerin duruş açılarının belirlenmesinde güvenilirliği sağlamak amaçlanmıştır. Slamp deneyi aletinde bulunan şişleme çubuğu yardımıyla malzemeler şişlenerek sıklığın duruş açısına etkisinin bulunması amaçlanmıştır.

3.2 Deney Aletleri

Slump deney aleti seti içerisinde; kesik koni biçimli bir hazne, bir adet şişleme çubuğu, bir adet geniş çaplı huni, iki adet cetvel ve bir adet elektronik açıölçer bulunur (Şekil 3.1). Elektronik açıölçer düz bir metal cetvel tabanına yerleştirilerek duruş açısının rahatça okunması sağlanmıştır. Hem klasik yöntem olarak cetvel yardımıyla hem de elektronik açıölçer yardımıyla mekanik olarak duruş açısı ölçülmüştür.



Şekil 3.1: Slump deney aleti malzemeleri a) Slump konisi, şişleme çubuğu, cetvel b)Elektronik açıölçer.

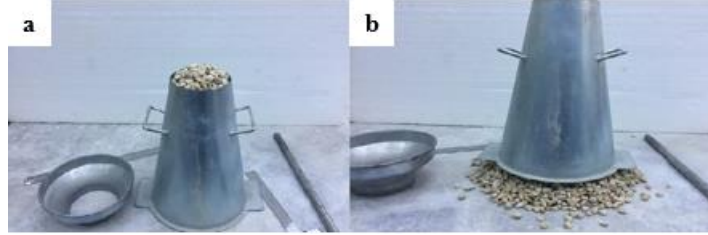
3.3 Slump Deneyi Aleti Kullanılarak Duruş Açısı Deneyinin Yapılışı

Duruş açısı granüler malzemelerden oluşturulan yığının başka bir dış kuvvet etkisi altında kalmadan kendi fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı, yerçekimi etkisi altında dengeyi koruyarak yıkılmadan durabildiği en dik eğim açısının ölçüsüdür. Bu çalışma kapsamında duruş açısı ölçme yöntemi olarak slump deney aleti kullanılmıştır.

Küçük çapı 10 cm, büyük çapı 20 cm, yüksekliği 30 cm olan kesik koni biçimindeki Slamp deneyi aleti granüler malzeme ile doldurulur (Şekil 3.2). Önce şişlenme yapılmadan gevşek

halde, hazne doldurulur. 10 saniye boyunca yavaşça yukarıya doğru çekilerek bir yığın oluşturulur. Oluşan yığının yatayla yaptığı açı hesaplanır.

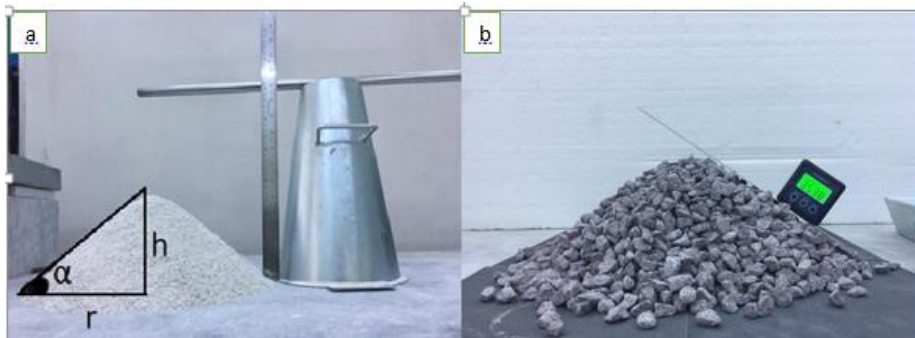
Sıkıştırılmış yığının duruş açısının tespiti için slamp deney aleti çeyreğine kadar doldurulur ve 25 kere şişlenir. Yarısına kadar yine doldurulur ve 25 kere daha şişlenir. En son koni dolmadan 25 kere daha şişlenir ve son olarak numune hazneye doldurulur. 10 saniye içinde hazne yavaşça yukarı doğru çekilerek sıkı yığın oluşturulup, sıklığın duruş açısına etkisi gözlenmiştir.



Şekil 3.2: Slamp konisinin a) Doldurulmuş hali b) Boşaltma aşamasının genel görünümü.

Oluşturulan yığının cetvel yardımıyla yüksekliği ölçülür. Yatay olarak da oluşan koninin taban yarıçapı ölçülür. Yükseklik değeri, yarıçapa bölünür. Hesap makinesi yardımıyla \tan^{-1} formülüne bölüm işleminden bulunan değer eklenir ve açı değeri hesaplanır (Şekil 3.3(a)) (3.1).

Duruş açısı ölçülecek yığının eğimli yüzeyine, elektronik açıölçerin alt kısmında bulunan mıknatıs yardımıyla sabitlenen metal cetvel konulur ve okunan açı değeri duruş açısı olarak not edilir (Şekil 3.3(b)).



Şekil 3.3: Granüler malzemelerin duruş açısının ölçülmesinin gösterimi a) Cetvel ile ölçüm b) Elektronik açıölçer ile ölçüm.

$$x = h/r \quad \alpha = \tan^{-1}x \quad (3.1)$$

h: Yığın Yüksekliği r: Yığının Yarıçapı α : Yığının Duruş Açısı

Granüler malzemeler kullanılarak oluşturulan yığınların fotoğrafları aşağıda verilmiştir. Farklı litolojilere sahip granüler malzemelerden oluşturulan yığınların yıkılmadan durdukları andaki eğim yönlerinden ölçülen açıya duruş açısı denir. Andezit, Bazalt, Granit, Kireçtaşı ve Kumtaşlarından oluşturulan yığınların duruş açıları aşağıda sunulmuştur (Şekil 3.4 - 3.8).



Şekil 3.4: Andezit 10 – 14 mm pürüzlü zeminde şişlenmemiş haldeki duruş açısı.



Şekil 3.5: Bazalt 10 – 14 mm pürüzlü zeminde şişlenmemiş haldeki duruş açısı.



Şekil 3.6: Granit 10 – 14 mm pürüzlü zeminde şişlenmemiş haldeki duruş açısı.



Şekil 3.7: Kumtaşı 10 – 14 mm pürüzsüz zeminde şişlenmemiş haldeki duruş açısı.



Şekil 3.8: Kireçtaşı 10 – 14 mm şişlenmemiş, kuru ve suya doymun haldeki duruş açısı.

3.4 Granüler Malzemelerin Duruş Açılarının Slump Deneyi ile Belirlenmesi

Bu çalışmada farklı özelliklere sahip granüler malzemeler kullanılarak duruş açısı hesaplanmıştır. Hem cetvel ile hem de elektronik açıölçer ile bulunan duruş açısı değerleri tablolarda gösterilmiştir. Farklı çap, yüzey pürüzlülüğü ve nem içeriğine sahip örneklerin duruş açısı değerleri tablolar halinde sunulmuştur. Düz (düz mermer üzerinde) ve pürüzlü (zımpara üzerinde) zemin kullanılarak yığın oluşturulan farklı zeminlerin pürüzlülüğü, farklı yüzey pürüzlülüğü, sıkı ve gevşek malzeme ve farklı nem içeriğinin duruş açılarına etkileri sunulmuştur. Düz zeminin duruş açısı değeri, pürüzlü zemine göre düşük çıkmıştır. Gevşek (şişlenmemiş) malzemelerden oluşturulan yığınların duruş açısı değerleri sıkı (şişlenmiş) malzemenin duruş açısı değerlerinden düşük çıkmıştır. Dane boyu artarken duruş açısı değeri de artmaktadır.

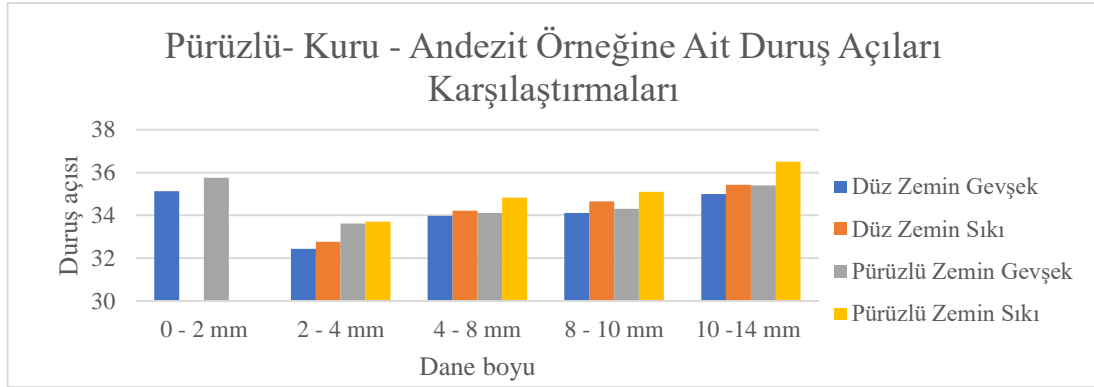
3.4.1 Andezit Örneklerine Ait Slump Deney Sonuçları

Andezit kayaç örneği laboratuvarında 0 – 2 mm, 2 – 4 mm, 4 – 8 mm, 8 – 10 mm, 10 , - 14 mm boyutlarında küçültülmüş, elek analizi yapılmıştır. Pürüzlü haldeki granüler malzemeler üzerinde slump deney aleti kullanılarak duruş açıları hesaplanmıştır. Pürüzlü, kuru halde bulunan Andezit örneklerine ait duruş açıları aşağıda verilmiştir (Tablo 3.1) (Şekil 3.9). 0 – 2 mm boyutundaki granüler malzemeler sadece şişlenmemiş durumda yığın oluşturmuşlardır. Şişlenmiş halde daneler arası kilitlenme olduğundan geometrik olarak koni şekilli yığınlar oluşmamıştır. Gevşek halde bulunan 0 – 2 mm boyutundaki malzemelerin duruş açıları aşağıdaki tabloda verilmiştir. Deney sonuçlarında gösterilen karşılaştırmalı grafiklerde verilen duruş açısı değerleri elektronik açıölçer yardımıyla ölçülen değerlerdir.

Tablo 3.1: Pürüzlü, kuru andezit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Pürüzlü	Düz Zemin				Pürüzlü Zemin			
	Gevşek		Sıkı		Gevşek		Sıkı	
Andezit Kuru	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°
0 - 2 mm	35,12	34,3			35,76	35,7		
2 - 4 mm	32,43	32,2	32,76	32,45	33,62	33,5	33,71	33,61
4 - 8 mm	33,97	33,91	34,21	34,17	34,31	34,09	34,82	34,75
8 - 10 mm	34,11	34,13	34,20	34,68	34,65	34,34	35,1	35,07
10 -14 mm	34,99	34,96	35,42	35,4	35,49	35,38	36,5	36,48

Düz zemin ve Pürüzlü zemin: yığın oluşturulan zemin. Makine: elektronik açıölçer değeri.



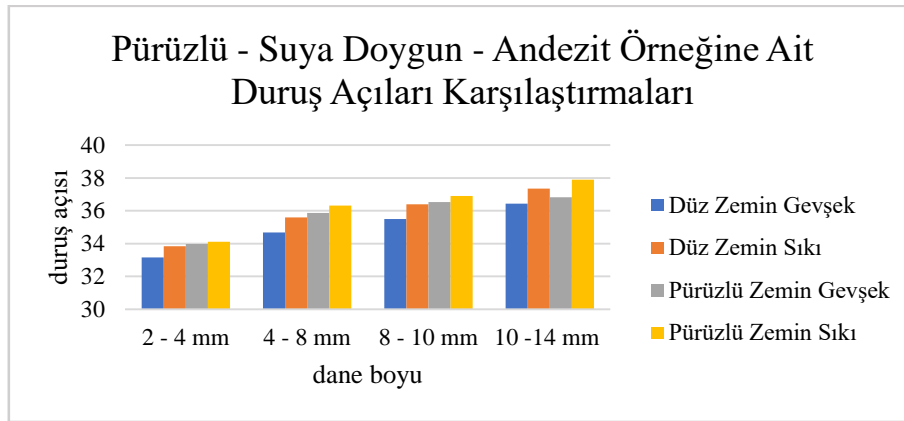
Şekil 3.9: Pürüzlü, kuru andezit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

0 – 2 mm dışındaki dane boyları arasında gevşek halde ölçülen duruş açıları sıkı halde ölçülen duruş açılarında büyük çıkmıştır (Gevşek 33,15° - Sıkı 33,83°). Zemin pürüzlülüğü de duruş açısını arttırmaktadır. Dane boyu arttıkça duruş açısı da artmaktadır (Tablo 3.2). Ayrıca danelerin suya doygunluk dereceleri de duruş açısını arttırmaktadır (Kuru 2 – 4 mm 32.43° - Suya Doymun 2 – 4 mm 33.15°) (Şekil 3.10).

Tablo 3.2: Pürüzlü, suya doymun andezit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Pürüzlü	Düz Zemin				Pürüzlü Zemin			
	Gevşek		Sıkı		Gevşek		Sıkı	
Andezit	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°
Suya Doymun								
2 - 4 mm	33,15	33,32	33,83	33,76	33,97	33,5	34,12	34,2
4 - 8 mm	34,68	34,71	35,59	35,71	35,87	35,46	36,31	36,41
8 - 10 mm	35,49	35,74	36,4	36,45	36,54	36,48	36,9	36,73
10 -14 mm	36,44	36,46	36,83	37,28	37,89	37,52	37,35	36,57

Düz zemin ve Pürüzlü zemin: yığın oluşturulan zemin. Makine: elektronik açıölçer değeri.



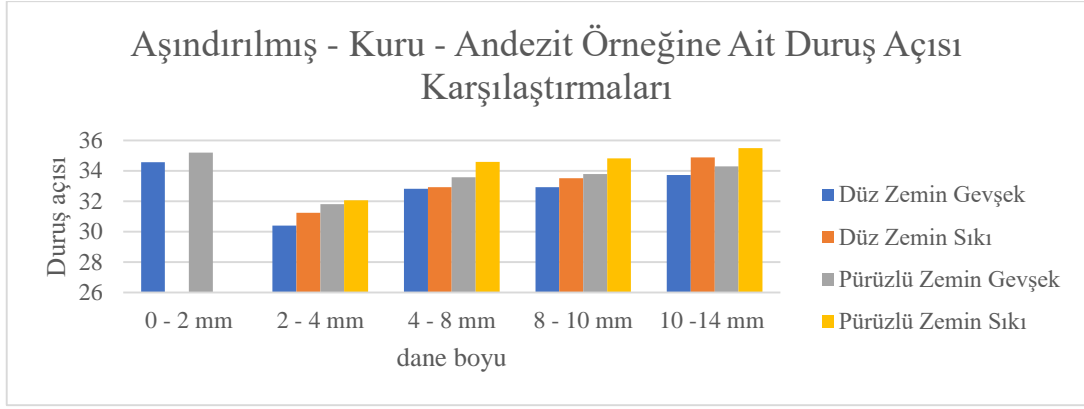
Şekil 3.10: Pürüzlü, suya doymun andezit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Los Angeles Parçalama Deneyi yapılan granüler malzemeler pürüzlü malzemelere göre pürüzlülüğün azalmasına bağlı olarak duruş açısı değerleri de azalmaktadır (Pürüzlü 4 – 8 mm 34,68° - Aşındırılmış 4 – 8 mm 32,81°) (Tablo 3.3). 0 – 2 mm gevşek durumda koni şekilli yığın oluştururken, şişlenmiş halde bulunan 0 – 2 mm boyutundaki granüler malzemeler daneler arası kilitlemeden dolayı geometrik şekilli yığın oluşmamaktadır. Pürüzlü malzemelerde olduğu gibi zemin pürüzlülüğü ve dane boyu arttıkça duruş açısı da artmaktadır (Şekil 3.11).

Tablo 3.3: Aşındırılmış, kuru andezit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Aşındırılmış	Düz Zemin				Pürüzlü Zemin			
	Gevşek		Sıkı		Gevşek		Sıkı	
Andezit	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°
Kuru								
0 - 2 mm	34,57	33,98			35,20	35,19		
2 - 4 mm	30,4	30,51	31,24	31,36	31,81	31,73	32,06	32,13
4 - 8 mm	32,81	32,45	32,92	33,29	33,57	33,21	34,58	34,34
8 - 10 mm	32,93	32,25	33,51	33,53	33,79	33,59	34,81	34,6
10 -14 mm	33,73	33,48	34,82	34,62	34,99	34,31	35,49	35,33

Düz zemin ve Pürüzlü zemin: yığın oluşturulan zemin. Makine: elektronik açıölçer değeri.



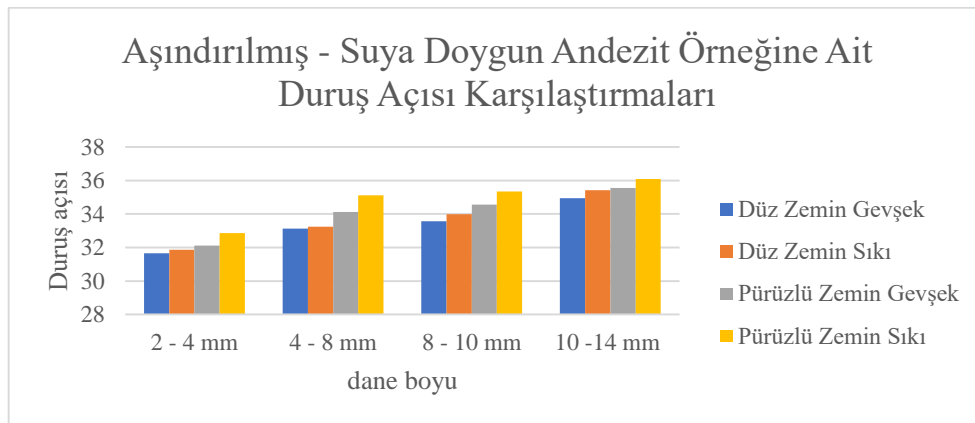
Şekil 3.11: Aşındırılmış, kuru andezit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Aşındırılmış halde bulunan granüler malzemelerin suya doygun haldeki duruş açıları kuru haldeki duruş açılarından yüksek çıkmaktadır (Kuru 2 – 4 mm 30.4° - Suya Doygun 31.65°). Suya doygun halde bulunan granüler malzemelerden 0 -2 mm boyutlarındaki örneklerden yığın oluşturulamamıştır. Suya doygunluk daneler arası çekim kuvvetini arttırdığından bir yığın meydana gelmemektedir. Dane boyu ve zemin pürüzlülüğü arttığından duruş açısı da artmaktadır (Tablo 3.4) (Şekil 3.12).

Tablo 3.4: Aşındırılmış, suya doygun andezit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Aşındırılmış Andezit	Düz Zemin				Pürüzlü Zemin			
	Gevşek		Sıkı		Gevşek		Sıkı	
Suya Doygun	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°
2 - 4 mm	31,65	31,76	31,87	31,9	32,12	32,65	32,87	32,83
4 - 8 mm	33,12	33,1	33,25	33,87	34,12	34,07	35,12	35,07
8 - 10 mm	33,56	33,87	33,99	34,01	34,56	34,5	35,34	35,3
10 -14 mm	34,95	34,82	35,42	35,32	35,55	35,31	36,09	36,13

(Düz zemin ve Pürüzlü zemin: yığın oluşturulan zemin. Makine: elektronik açıölçer değeri)



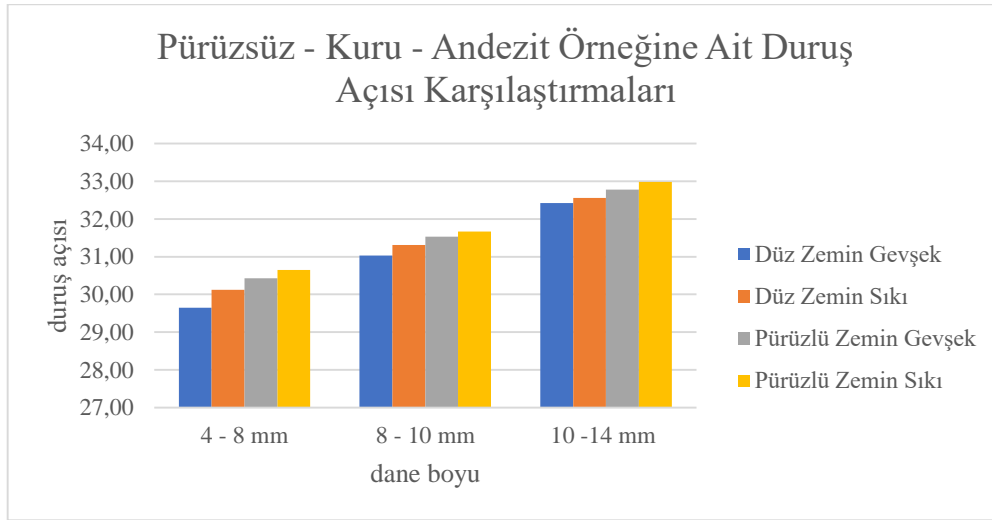
Şekil 3.12: Aşındırılmış, suya doygun andezit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Pürüzsüz danelerden oluşturulan duruş açıları pürüzlü danelere göre düşüktür (Tablo 3.5).

Tablo 3.5: Pürüzsüz, kuru andezit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Pürüzsüz	Düz Zemin				Pürüzlü Zemin			
	Gevşek		Sıkı		Gevşek		Sıkı	
Andezit	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°
Kuru								
4 - 8 mm	29,65	29,60	30,12	30,10	30,43	30,40	30,65	30,60
8 - 10 mm	31,03	31,01	31,31	31,21	31,53	31,54	31,67	31,64
10 -14 mm	32,42	32,44	32,56	32,55	32,78	32,70	32,98	32,93

Pürüzsüz danelerden oluşturulan yığınların duruş açıları da dane boyu arttıkça artmaktadır (Şekil 3.13).

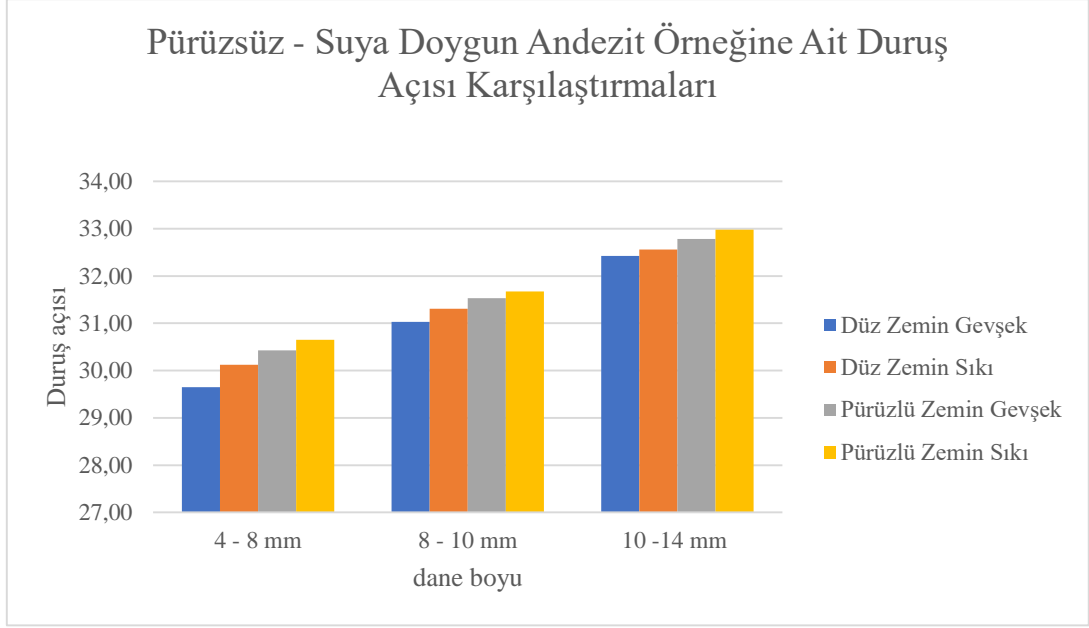


Şekil 3.13: Pürüzsüz, kuru andezit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Pürüzsüz halde bulunan granüler malzemeler suya doygun hale getirildiğinde ölçülen duruş açısı değeri kuru halde ölçülen duruş açısı değerinden yüksek çıkmaktadır (Tablo 3.6) (Şekil 3.14).

Tablo 3.6: Pürüzsüz, suya doygun andezit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Pürüzsüz	Düz Zemin				Pürüzlü Zemin			
	Gevşek		Sıkı		Gevşek		Sıkı	
Andezit	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°
Suya								
Doygun								
4 - 8 mm	29,92	29,94	30,01	30,00	30,37	30,41	30,53	30,50
8 - 10 mm	31,45	31,45	31,64	31,60	31,98	31,89	32,18	32,10
10 -14 mm	33,02	33,00	33,34	33,22	33,89	33,76	34,01	33,98



Şekil 3.14: Pürüzsüz, suya doygun andezit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

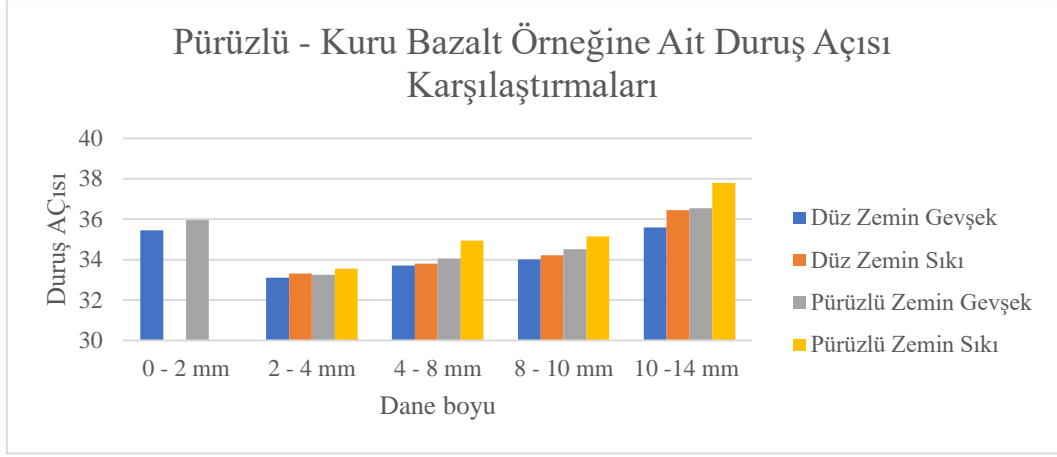
3.4.2 Bazalt Örneklerine Ait Slump Deney Sonuçları

Bazaltlardan oluşturulan granüle malzemeler kullanılarak oluşturulan yığınların duruş açıları değerleri aşağıdaki tablolarda verilmiştir (Tablo 3.7 - 3.12) (Şekil 3.15 - 3.21).

Bazalt kayacı laboratuvarında küçültülmüş ve elek analizi yapılmıştır. Pürüzlü haldeki granüler malzemeler üzerinde slump deney aleti kullanılarak duruş açıları ölçülmüştür (Tablo 3.7). Pürüzlü, kuru halde bulunan Andezit örneklerine ait duruş açıları aşağıda verilmiştir. 0 – 2 mm boyutundaki granüler malzemeler sadece şişlenmemiş durumda yığın oluşturmuşlardır. Şişlenmiş, sıkı haldeki daneler arası kilitleme olduğundan geometrik olarak koni şekilli yığınlar oluşmamıştır. Gevşek halde bulunan 0 – 2 mm boyutundaki malzemelerin duruş açıları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 3.7: Pürüzlü, kuru bazalt örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Pürüzlü Bazalt Kuru mm	Düz Zemin				Pürüzlü Zemin			
	Gevşek		Sıkı		Gevşek		Sıkı	
	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°
0 - 2	35,45	35,18			35,95			
2 - 4	33,1	33,12	33,18	33,31	33,31	33,24	33,55	33,53
4 - 8	33,71	33,69	33,8	33,81	34,05	33,99	34,95	34,9
8 - 10	34,01	33,96	34,22	34,21	34,51	34,52	35,15	35,13
10 - 14	35,6	35,59	36,45	36,42	36,55	36,55	37,8	37,78

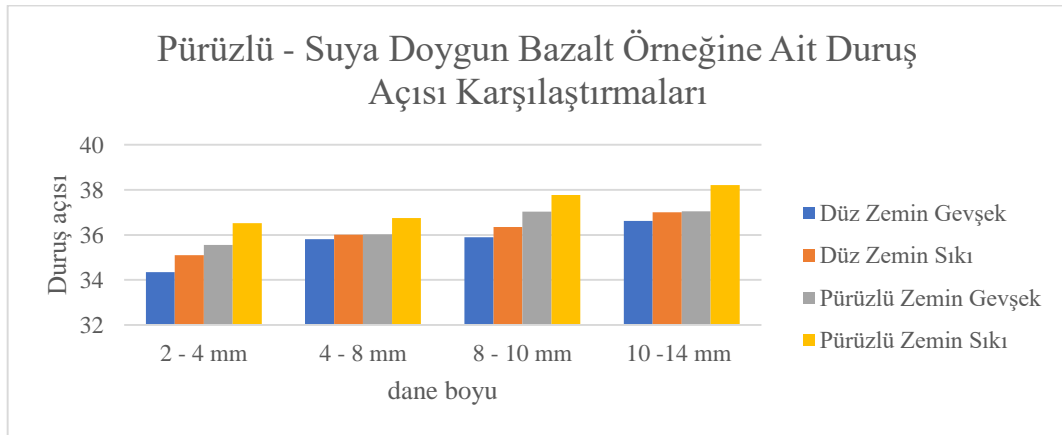


Şekil 3.15: Pürüzlü, kuru bazalt örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

0 – 2 mm dışındaki dane boyları arasında gevşek halde ölçülen duruş açıları sıkı halde ölçülen duruş açılarında büyük çıkmıştır. Zemin pürüzlülüğü de duruş açısını arttırmaktadır. Dane boyu arttıkça duruş açısı da artmaktadır (Tablo 3.8). Ayrıca danelerin suya doygunluk dereceleri de duruş açısını arttırmaktadır (Şekil 3.16).

Tablo 3.8: Pürüzlü, suya doygun bazalt örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Pürüzlü Bazalt Suya Doygun	Düz Zemin				Pürüzlü Zemin			
	Gevşek		Sıkı		Gevşek		Sıkı	
	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°
2 - 4 mm	34,34	34,23	35,1	35,4	35,56	35,28	36,75	36,59
4 - 8 mm	35,9	35,76	36,35	36,56	37,04	37,07	37,78	37,75
8 - 10 mm	35,81	35,75	36,01	36,3	36,03	36,08	36,52	36,69
10 - 14 mm	36,62	36,69	37	37,21	37,05	36,92	38,22	38,16

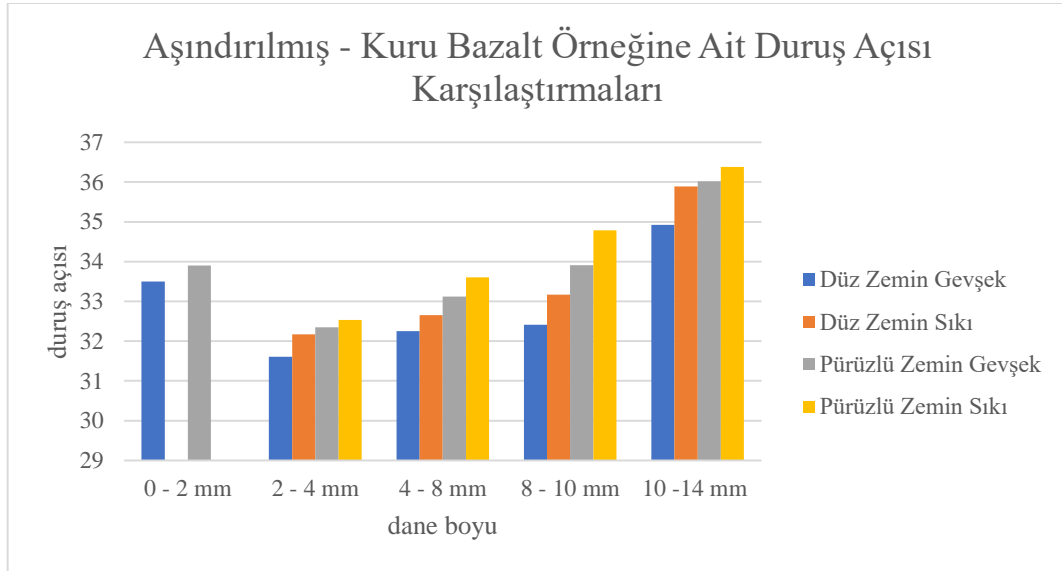


Şekil 3.16: Pürüzlü, suya doygun bazalt agregasına ait duruş açıları karşılaştırmaları.

Los Angeles Parçalama Deneyi yapılan granüler malzemeler aşındırılmış olarak ifade edilmiştir. Aşındırılmış danelerden oluşturulan yığınlar; pürüzlü malzemelere göre pürüzlülüğün azalmasına bağlı olarak duruş açısı değerleri de azalmaktadır (Tablo 3.9).

Tablo 3.9: Aşındırılmış, kuru bazalt örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Aşındırılmış	Düz Zemin				Pürüzlü Zemin			
	Gevşek		Sıkı		Gevşek		Sıkı	
Bazalt Kuru	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°
0 - 2 mm	33,5	33,42			33,90	33,90		
2 - 4 mm	31,61	31,22	32,17	32,25	32,35	32,5	32,53	32,8
4 - 8 mm	32,25	32,23	32,65	32,64	33,12	33,37	33,6	33,86
8 - 10 mm	32,41	32,39	33,17	33,64	33,91	33,52	34,79	34,39
10 -14 mm	34,92	34,59	35,89	35,58	36,02	36,14	36,38	36,5

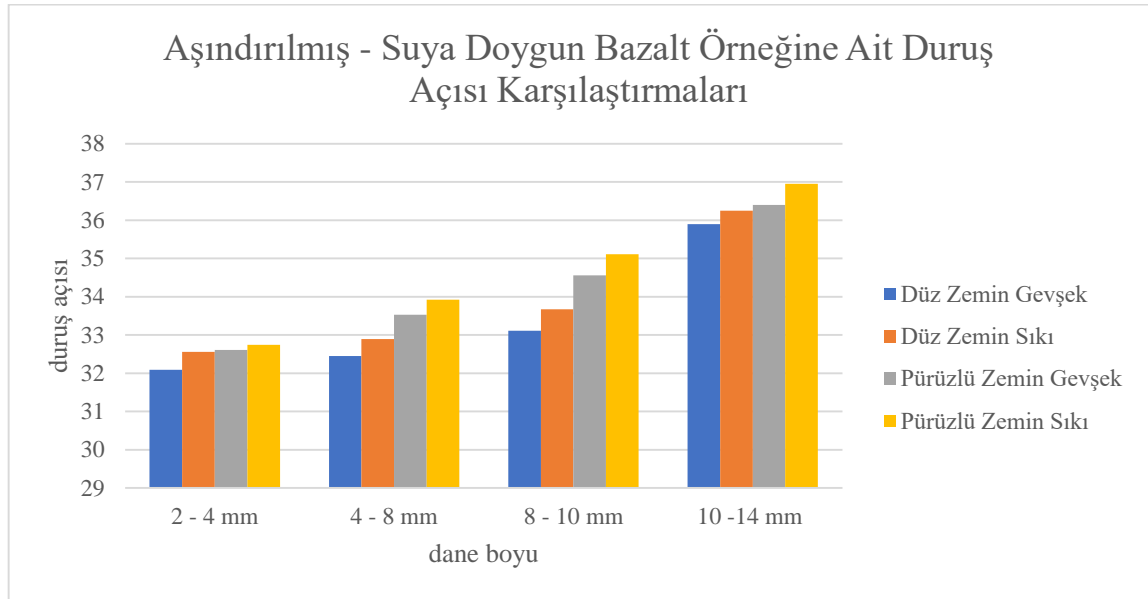


Şekil 3.17: Aşındırılmış, kuru bazalt örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Aşındırılmış halde bulunan granüler malzemelerin suya doymun haldeki duruş açıları kuru haldeki duruş açılarından yüksek çıkmaktadır. Suya doymun halde bulunan granüler malzemelerden 0 - 2 mm boyutlarındaki örneklerden yığın oluşturulamamıştır. Suya doymunluk daneler arası çekim kuvvetini arttırdığından bir yığın meydana gelmemektedir. Dane boyu ve zemin pürüzlülüğü arttığından duruş açısı da artmaktadır (Tablo 3.10).

Tablo 3.10: Aşındırılmış, suya doymun bazalt örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Aşındırılmış	Düz Zemin				Pürüzlü Zemin			
	Gevşek		Sıkı		Gevşek		Sıkı	
Bazalt	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°
Suya Doymun								
2 - 4 mm	32,09	32,01	32,56	32,5	32,61	32,7	32,74	32,79
4 - 8 mm	32,45	32,67	32,89	32,87	33,53	33,5	33,92	33,89
8 - 10 mm	33,11	33,08	33,67	33,65	34,56	34,55	35,11	35,06
10 -14 mm	35,9	35,68	36,25	36,26	36,4	36,14	36,95	36,8

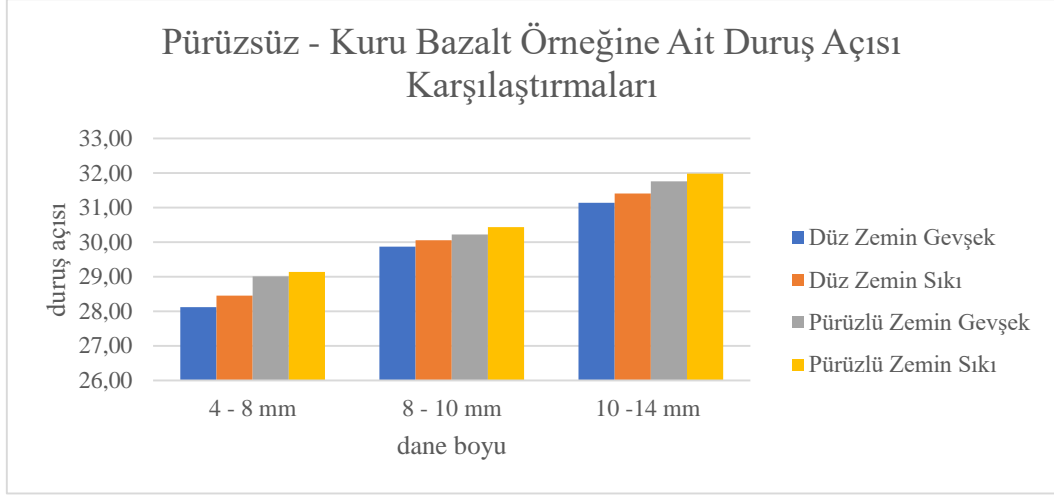


Şekil 3.18: Aşındırılmış, suya doymun bazalt örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Pürüzsüz danelerden oluşturulan yığınların duruş açıları da dane boyu arttıkça artmaktadır (Şekil 3.19). Pürüzsüz danelerden oluşturulan duruş açıları pürüzlü danelere göre düşüktür (Tablo 3.11).

Tablo 3.11: Pürüzsüz, kuru bazalt örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Pürüzsüz	Düz Zemin				Pürüzlü Zemin			
	Gevşek		Sıkı		Gevşek		Sıkı	
Bazalt	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°
Kuru								
4 - 8 mm	28,12	28,14	28,45	28,42	29,01	29,00	29,14	29,10
8 - 10 mm	29,87	29,85	30,05	30,00	30,22	30,20	30,43	30,45
10 -14 mm	31,14	31,02	31,41	31,32	31,76	31,74	31,98	32,00

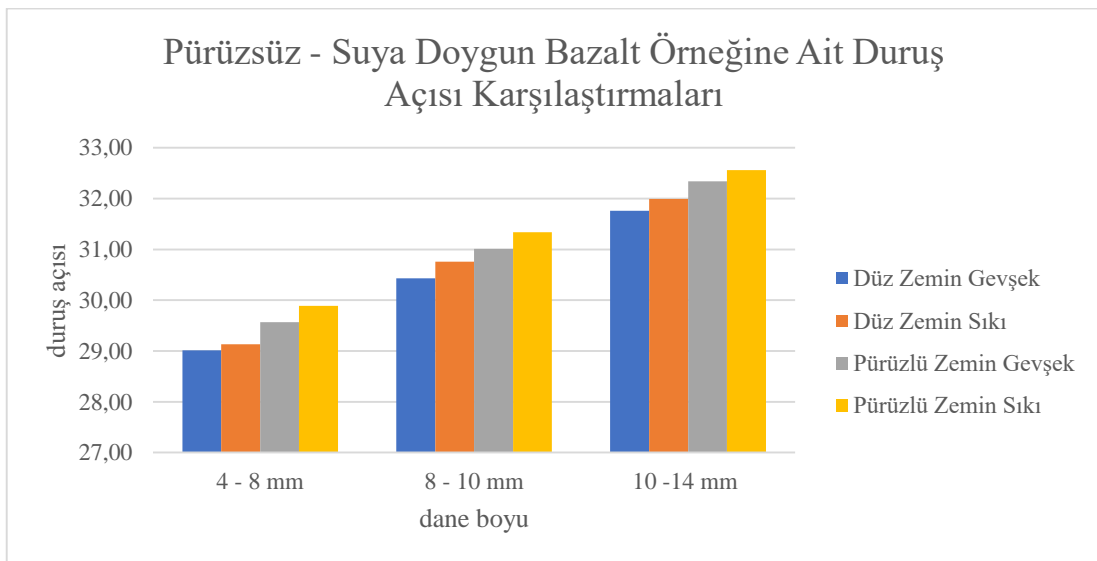


Şekil 3.19: Pürüzsüz, kuru bazalt örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Pürüzsüz halde bulunan granüler malzemeler suya doymun hale getirildiğinde ölçülen duruş açısı değeri kuru halde ölçülen duruş açısı değerinden yüksek çıkmaktadır (Tablo 3.12) (Şekil 3.20).

Tablo 3.12: Pürüzsüz, suya doymun bazalt örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Pürüzsüz	Düz Zemin				Pürüzlü Zemin			
	Gevşek		Sıkı		Gevşek		Sıkı	
Bazalt	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°
Suya Doymun								
4 - 8 mm	29,01	29,00	29,13	29,10	29,57	29,55	29,89	29,90
8 - 10 mm	30,43	30,49	30,76	30,70	31,01	31,00	31,34	31,29
10 - 14 mm	31,76	31,80	31,99	31,95	32,34	32,13	32,56	32,43



Şekil 3.20: Pürüzsüz, suya doymun bazalt örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

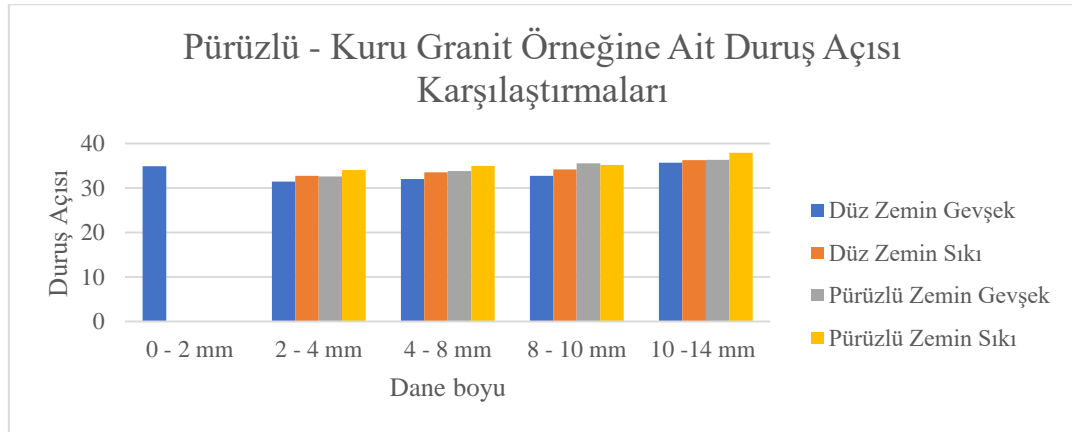
3.4.3 Granit Örneklerine Ait Slump Deney Sonuçları

Granit agregasına ait; farklı zemin pürüzlülüğü, farklı yüzey pürüzlülüğü, sıkı ve gevşek malzeme ve farklı nem içeriğinin duruş açılarına etkileri sunulmuştur (Tablo 3.13 - 3.18) (Şekil 3.21 - 3.27).

Granit kayacı laboratuvarında küçültülmüş ve elek analizi yapılmıştır. Pürüzlü haldeki granüler malzemeler üzerinde slump deney aleti kullanılarak duruş açıları ölçülmüştür. Pürüzlü, kuru halde bulunan granit örneklerine ait duruş açıları aşağıda verilmiştir (Tablo 3.13). 0 – 2 mm boyutundaki granüler malzemeler sadece şişlenmemiş durumda yığın oluşturmuşlardır. Şişlenmiş, sıkı haldeki daneler arası kilitleme olduğundan geometrik olarak koni şekilli yığınlar oluşmamıştır. Gevşek halde bulunan 0 – 2 mm boyutundaki malzemelerin duruş açıları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 3.13: Pürüzlü, kuru granit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Pürüzlü	Düz Zemin				Pürüzlü Zemin			
	Gevşek		Sıkı		Gevşek		Sıkı	
Granit	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°
Kuru								
0 - 2 mm	34,9	34,66						
2 - 4 mm	31,45	31,42	32,55	32,68	32,72	32,55	34,02	34,05
4 - 8 mm	31,99	31,96	33,5	33,46	33,79	33,78	34,95	34,9
8 - 10 mm	32,75	32,77	34,2	34,13	35,52	34,55	35,2	35,21
10 -14 mm	35,7	35,71	36,22	36,18	36,32	36,24	37,88	37,84



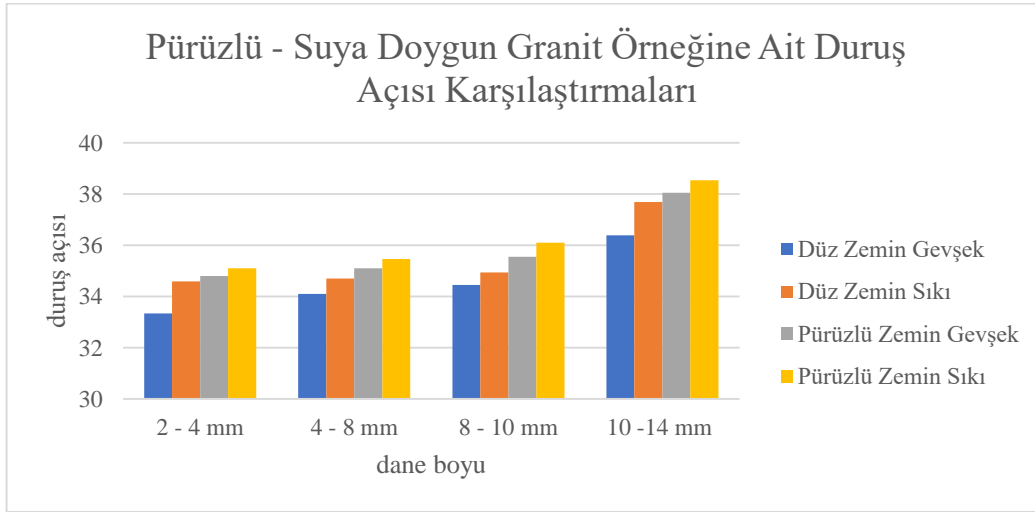
Şekil 3.21: Pürüzlü, kuru granit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

0 – 2 mm dışındaki dane boyları arasında gevşek halde ölçülen duruş açıları sıkı halde ölçülen duruş açılarından büyük çıkmıştır. Zemin pürüzlülüğü de duruş açısını arttırmaktadır.

Dane boyu arttıkça duruş açısı da artmaktadır (Tablo 3.14). Ayrıca danelerin suya doygunluk dereceleri de duruş açısını arttırmaktadır (Şekil 3.22).

Tablo 3.14: Pürüzlü, suya doygun granit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Pürüzlü	Düz Zemin				Pürüzlü Zemin			
	Gevşek		Sıkı		Gevşek		Sıkı	
Granit	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°
Suya								
Doygun								
2 - 4 mm	33,34	33,24	34,59	34,28	34,81	34,67	35,11	35,58
4 - 8 mm	34,11	34,25	34,7	34,67	35,1	35,21	35,47	35,38
8 - 10 mm	34,45	34,3	34,94	34,79	35,56	35,63	36,11	36,05
10 -14 mm	36,39	36,49	37,69	37,3	38,05	37,9	38,54	38,41

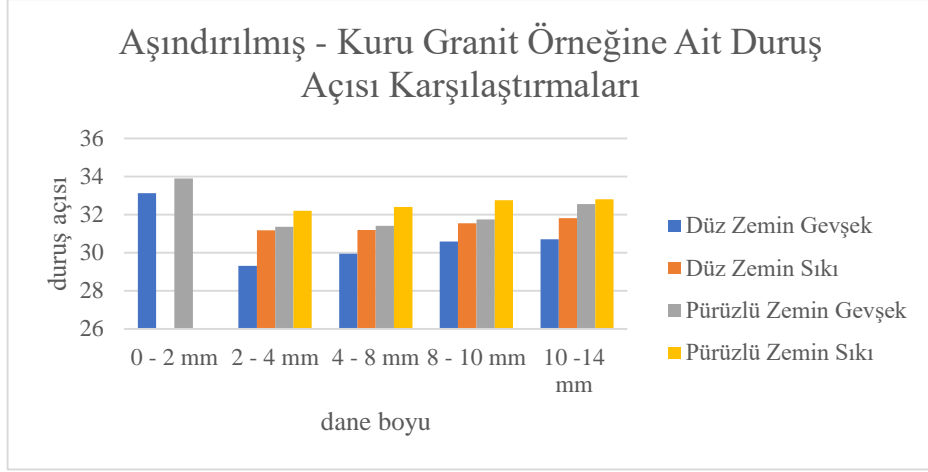


Şekil 3.22: Pürüzlü, suya doygun granit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Aşındırılmış danelerden oluşturulan yığınlar; pürüzlü malzemelere göre pürüzlülüğün azalmasına bağlı olarak duruş açısı değerleri de azalmaktadır (Tablo 3.15) (Şekil 3.23).

Tablo 3.15: Aşındırılmış, kuru granit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Aşındırılmış	Düz Zemin				Pürüzlü Zemin			
	Gevşek		Sıkı		Gevşek		Sıkı	
Granit	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°
Kuru								
0 - 2 mm	33,13	33,51			33,89	33,85		
2 - 4 mm	29,31	29,24	31,18	31,12	31,35	31,32	32,2	32,16
4 - 8 mm	29,94	29,92	31,19	31,21	31,41	31,28	32,4	32,38
8 - 10 mm	30,58	30,06	31,5	31,37	31,75	32,67	32,75	32,78
10 -14 mm	30,7	30,29	31,81	31,6	32,55	32,72	32,8	32,85

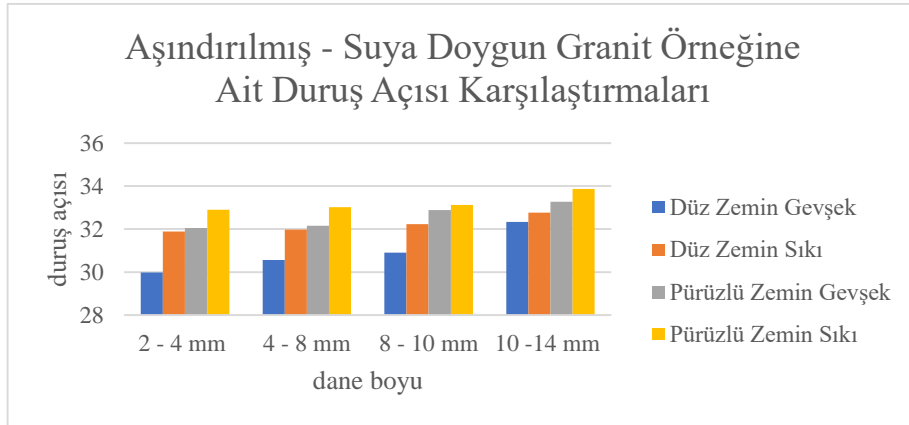


Şekil 3.23: Aşındırılmış, kuru granit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Aşındırılmış halde bulunan granüler malzemelerin suya doymun haldeki duruş açıları kuru haldeki duruş açılarından yüksek çıkmaktadır. Suya doymun halde bulunan granüler malzemelerden 0 - 2 mm boyutlarındaki örneklerden yığın oluşturulamamıştır. Suya doymunluk daneler arası çekim kuvvetini arttırdığından bir yığın meydana gelmemektedir. Dane boyu ve zemin pürüzlüğü arttığından duruş açısı da artmaktadır (Tablo 3.16).

Tablo 3.16: Aşındırılmış, suya doymun granit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Aşındırılmış	Düz Zemin				Pürüzlü Zemin			
	Gevşek		Sıkı		Gevşek		Sıkı	
Granit	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°
Suya Doymun								
2 - 4 mm	29,98	29,9	31,89	31,8	32,05	32,01	32,9	32,77
4 - 8 mm	30,56	30,55	31,98	31,9	32,15	32,15	33,02	33,01
8 - 10 mm	30,9	30,83	32,23	32,2	32,89	32,8	33,13	33,1
10 - 14 mm	32,34	32,31	32,77	32,58	33,27	33,42	33,87	33,26

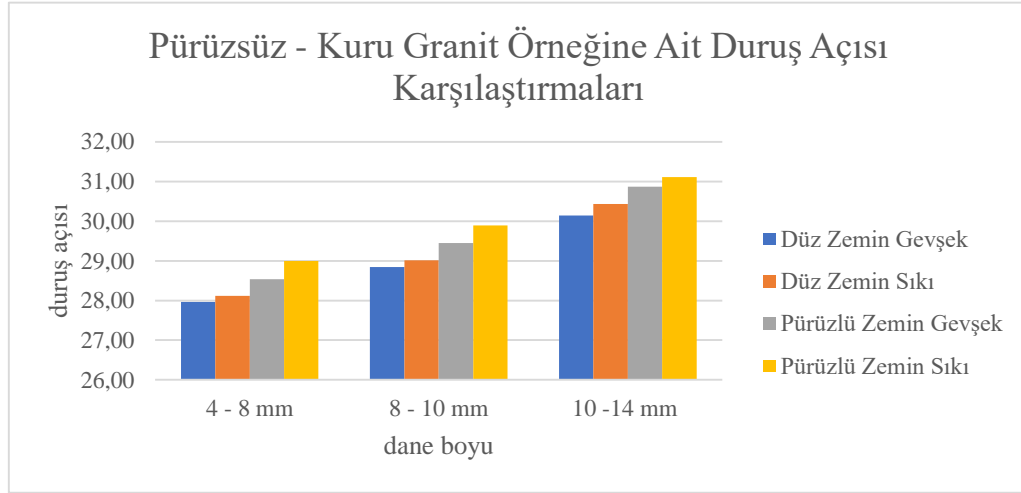


Şekil 3.24: Aşındırılmış, suya doymun granit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Pürüzsüz danelerden oluşturulan yığınların duruş açıları da dane boyu arttıkça artmaktadır (Şekil 3.20). Pürüzsüz danelerden oluşturulan duruş açıları pürüzlü danelere göre düşüktür (Tablo 3.17).

Tablo 3.17: Pürüzsüz, kuru granit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Pürüzsüz	Düz Zemin				Pürüzlü Zemin			
	Gevşek		Sıkı		Gevşek		Sıkı	
Granit Kuru	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°
4 - 8 mm	27,96	27,95	28,12	28,10	28,54	28,50	29,00	29,01
8 - 10 mm	28,84	28,80	29,01	29,04	29,45	29,45	29,89	29,85
10 -14 mm	30,14	30,15	30,43	30,41	30,87	30,85	31,11	31,02

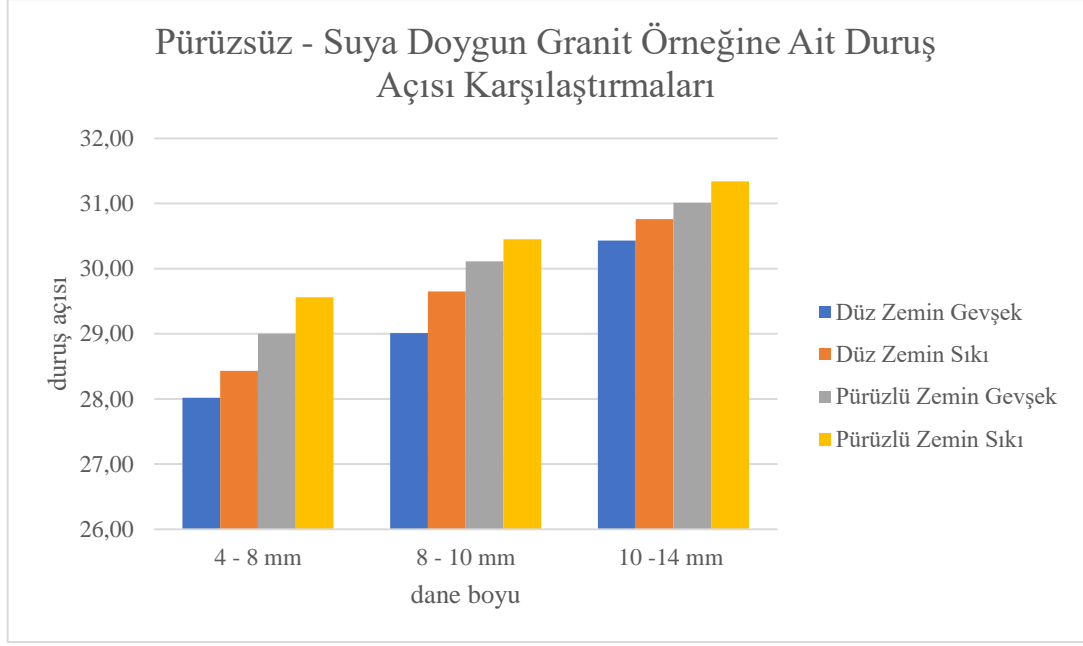


Şekil 3.25: Pürüzsüz, kuru granit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Pürüzsüz halde bulunan Granit örneğine ait granüler malzemeler suya doygun hale getirildiğinde ölçülen duruş açısı değeri kuru halde ölçülen duruş açısı değerinden yüksek çıkmaktadır (Tablo 3.18) (Şekil 3.26). Şişlenmiş durumdaki açı değeri şişlenmemiş haldeki duruş açısından yüksek çıkmaktadır.

Tablo 3.18: Pürüzsüz, suya doygun granit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Pürüzsüz	Düz Zemin				Pürüzlü Zemin			
	Gevşek		Sıkı		Gevşek		Sıkı	
Granit Suya Doygun	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°
4 - 8 mm	28,02	28,00	28,43	28,45	29,00	29,11	29,56	29,55
8 - 10 mm	29,01	29,13	29,65	29,60	30,11	30,02	30,45	30,40
10 -14 mm	30,43	30,45	30,76	30,70	31,01	30,98	31,34	31,30



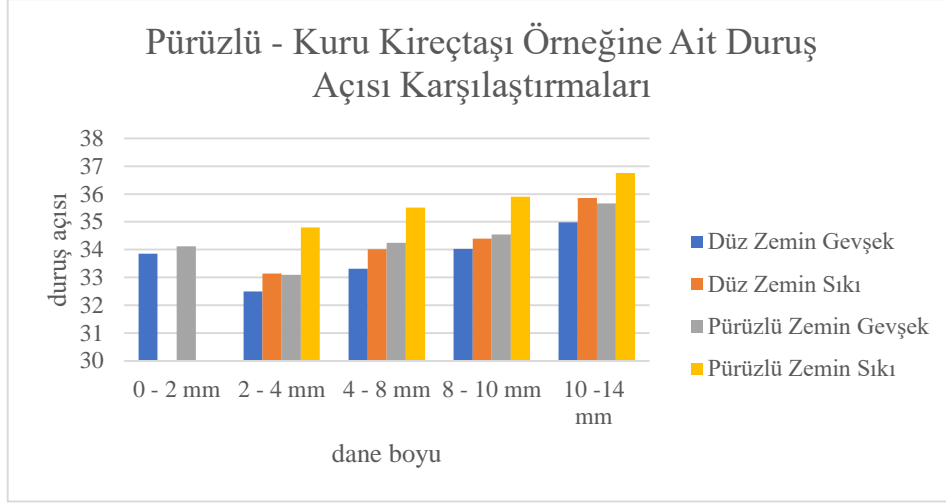
Şekil 3.26: Pürüzsüz, suya doymun granit örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

3.4.4 Kireçtaşı Örneklerine Ait Slump Deney Sonuçları

Kireçtaşı agregasına malzemelerden oluşturulan yığınların duruş açısı değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo 3.19 – 3.24) (Şekil 3.27 – 3.33). Düz zeminde oluşturulan yığınların duruş açısı değerleri, pürüzlü zeminde oluşturulan duruş açısı değerlerine göre düşük çıkmıştır. Gevşek (şişlenmemiş) malzemelerden oluşturulan yığınların duruş açısı değerleri sıkı (şişlenmiş) malzemenin duruş açısı değerlerinden düşük çıkmıştır. Dane boyu artarken duruş açısı değeri de artmaktadır. Hem cetvel ile hem de elektronik açölçer ile bulunan duruş açısı değerleri tablolarda gösterilmiştir.

Tablo 3.19: Pürüzlü, kuru kireçtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Pürüzlü Kireçtaşı Kuru	Düz Zemin				Pürüzlü Zemin			
	Gevşek		Sıkı		Gevşek		Sıkı	
	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°
0 - 2 mm	33,85	33,57			34,12	34,1		
2 - 4 mm	32,5	32,45	33,14	33,11	33,39	33,1	34,8	34,81
4 - 8 mm	33,31	33,16	34,01	33,97	34,24	34,21	35,51	35,47
8 - 10 mm	34,03	34,01	34,4	34,32	34,55	34,53	35,9	35,92
10 - 14 mm	34,98	34,9	35,86	35,86	35,66	35,6	36,76	36,7

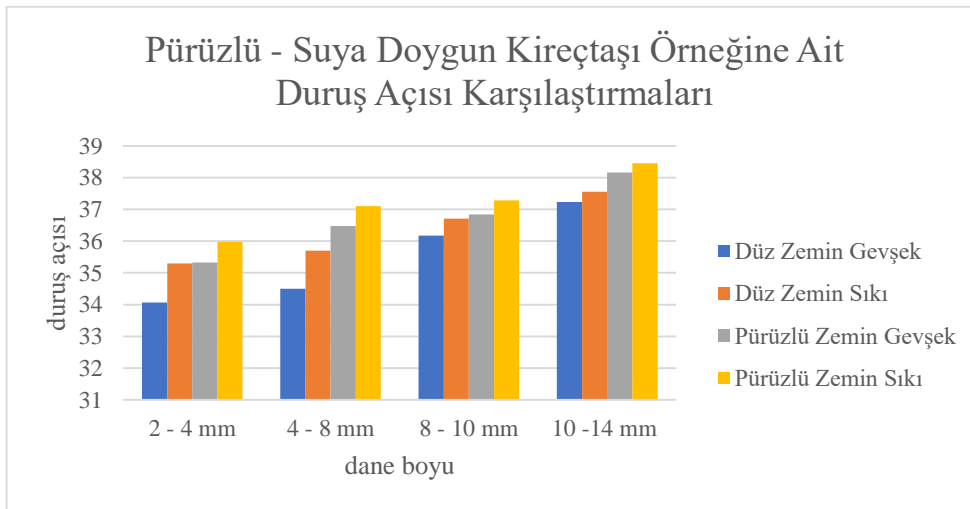


Şekil 3.27: Pürüzlü, kuru kireçtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Kireçtaşlarına ait granüler malzemelerden oluşturulan duruş açıları danelerin suya doygunluğuna göre değişmektedir. Suya doygun numunelerin duruş açıları aynı malzemenin kuru haldeki duruş açılarından daha büyük açılar vermektedir (Tablo 3.20) (Şekil 3.28).

Tablo 3.20: Pürüzlü, suya doygun kireçtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Pürüzlü Kireçtaşı Suya Doygun	Düz Zemin				Pürüzlü Zemin			
	Gevşek		Sıkı		Gevşek		Sıkı	
	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°
2 - 4 mm	34,07	34,32	35,3	35,16	35,33	35,18	35,97	35,8
4 - 8 mm	34,5	34,31	35,7	35,33	36,48	36,44	37,1	37,11
8 - 10 mm	36,17	36,11	36,71	36,99	36,84	36,8	37,28	37,2
10 - 14 mm	37,23	37,2	37,56	37,5	38,16	38,02	38,45	38,37

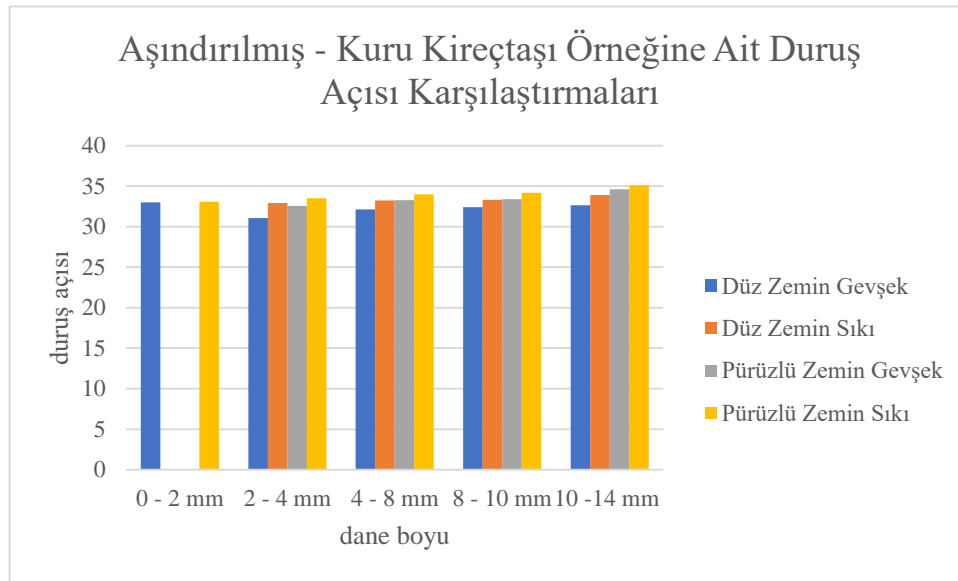


Şekil 3.28: Pürüzlü, suya doygun kireçtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Aşındırılmış danelerden oluşturulan yığınlar; pürüzlü malzemelere göre pürüzlülüğün azalmasına bağlı olarak duruş açısı değerleri de azalmaktadır (Tablo 3.21) (Şekil 3.29). Gevşek haldeki duruş açısı sıkı haldeki duruş açısına göre yüksek, pürüzlü zeminde oluşturulan yığınların duruş açısı da düz zemine göre daha yüksek sonuçlar vermektedir.

Tablo 3.21: Aşındırılmış, kuru kireçtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Aşındırılmış Kireçtaşı Kuru	Düz Zemin				Pürüzlü Zemin			
	Gevşek		Sıkı		Gevşek		Sıkı	
	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°
0 - 2 mm	32,99	32,8			33,10	33,06		
2 - 4 mm	31,06	31,35	32,61	32,53	32,87	32,6	33,49	33,21
4 - 8 mm	32,14	32,88	33,23	33,28	33,29	33,32	34	34,13
8 - 10 mm	32,42	32,75	33,33	33,65	33,39	33,27	34,18	34,09
10 -14 mm	32,62	32,73	33,89	33,72	34,62	34,77	35,13	35,47

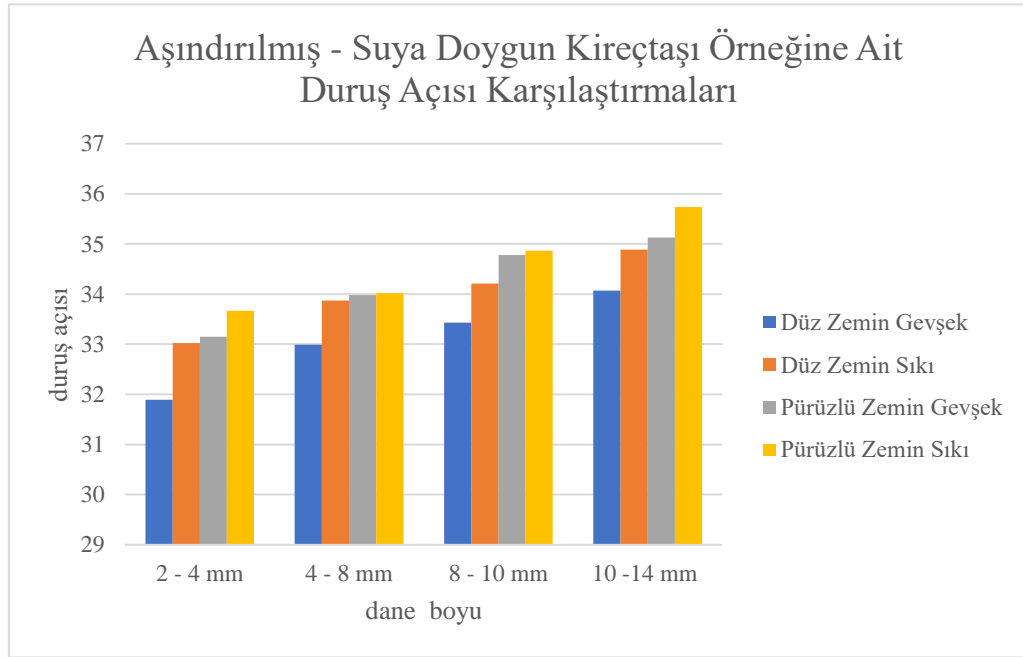


Şekil 3.29: Aşındırılmış, kuru kireçtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Aşındırılmış halde bulunan granüler malzemelerin suya doymun haldeki duruş açıları kuru haldeki duruş açılarından yüksek çıkmaktadır. Suya doymun halde bulunan granüler malzemelerden 0 - 2 mm boyutlarındaki örneklerden yığın oluşturulamamıştır. Suya doymunluk daneler arası çekim kuvvetini arttırdığından bir yığın meydana gelmemektedir. Dane boyu ve zemin pürüzlülüğü arttığından duruş açısı da artmaktadır (Tablo 3.22) (Şekil 3.30).

Tablo 3.22: Aşındırılmış, suya doymun kireçtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Aşındırılmış	Düz Zemin				Pürüzlü Zemin			
	Gevşek		Sıkı		Gevşek		Sıkı	
Kireçtaşı	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°
Suya Doymun								
2 - 4 mm	31,89	31,86	33,02	33,05	33,15	33,12	33,67	33,65
4 - 8 mm	32,99	33,01	33,87	33,84	33,98	33,92	34,02	34,08
8 - 10 mm	33,43	33,4	34,21	34,17	34,78	34,7	34,87	34,9
10 -14 mm	34,07	34,16	34,89	34,33	35,13	35,24	35,74	35,69

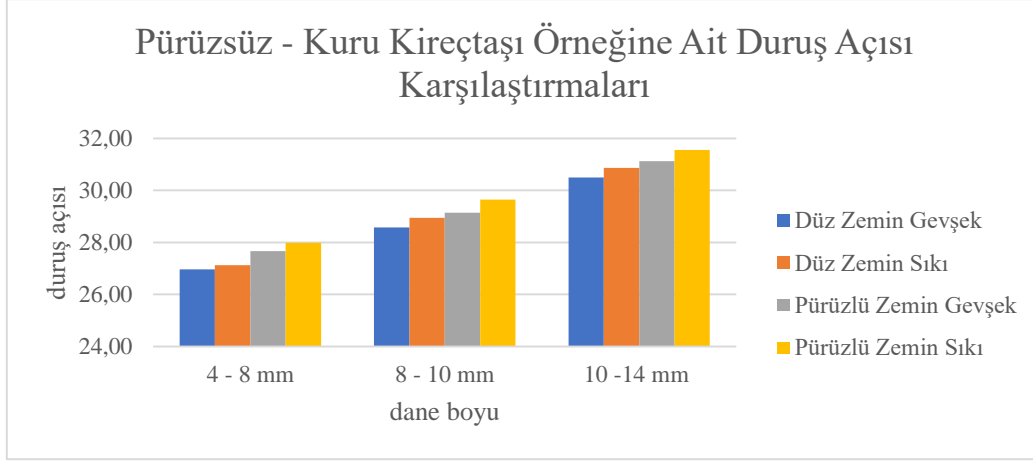


Şekil 3.30: Aşındırılmış, suya doymun kireçtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Pürüzsüz danelerden oluşturulan yığınların duruş açıları da dane boyu arttıkça artmaktadır (Şekil 3.31). Pürüzsüz danelerden oluşturulan duruş açıları pürüzlü danelere göre düşüktür (Tablo 3.23).

Tablo 3.23: Pürüzsüz, kuru kireçtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Pürüzsüz	Düz Zemin				Pürüzlü Zemin			
	Gevşek		Sıkı		Gevşek		Sıkı	
Kireçtaşı	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°
Kuru								
4 - 8 mm	26,96	26,95	27,12	27,10	27,66	27,68	27,99	27,95
8 - 10 mm	28,57	28,60	28,95	28,95	29,14	29,15	29,65	29,70
10 -14 mm	30,50	30,43	30,87	30,77	31,12	31,01	31,56	31,51

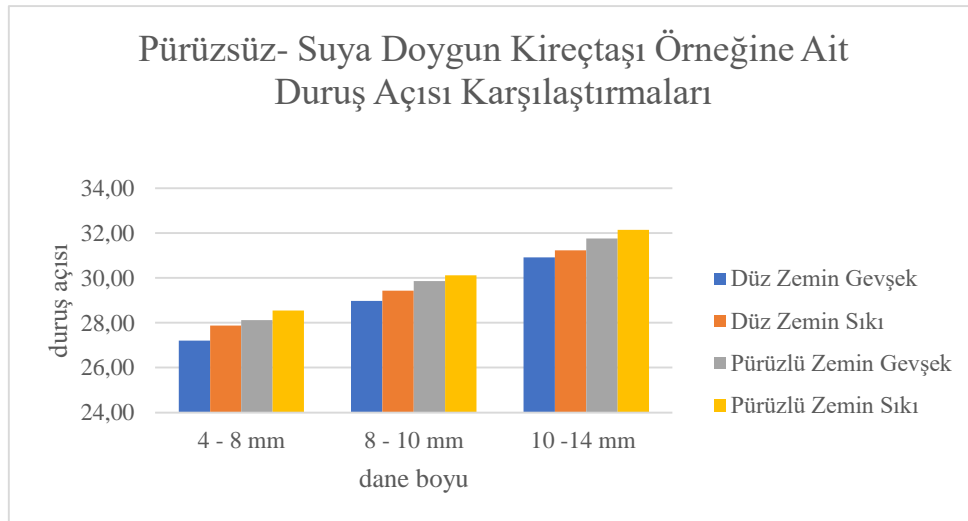


Şekil 3.31: Pürüzsüz, kuru kireçtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Pürüzsüz halde bulunan Kireçtaşı örneğine ait granüler malzemeler suya doymun hale getirildiğinde ölçülen duruş açısı değeri kuru halde ölçülen duruş açısı değerinden yüksek çıkmaktadır (Tablo 3.24) (Şekil 3.32). Şişlenmiş durumdaki açı değeri şişlenmemiş haldeki duruş açısından yüksek çıkmaktadır.

Tablo 3.24: Pürüzsüz, suya doymun kireçtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Pürüzsüz Kireçtaşı Suya Doymun	Düz Zemin				Pürüzlü Zemin			
	Gevşek		Sıkı		Gevşek		Sıkı	
	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°
4 - 8 mm	27,21	27,34	27,87	27,85	28,12	28,15	28,54	28,51
8 - 10 mm	28,98	29,01	29,43	29,41	29,86	29,80	30,12	30,14
10 - 14 mm	30,92	30,99	31,23	31,10	31,76	31,80	32,14	32,08



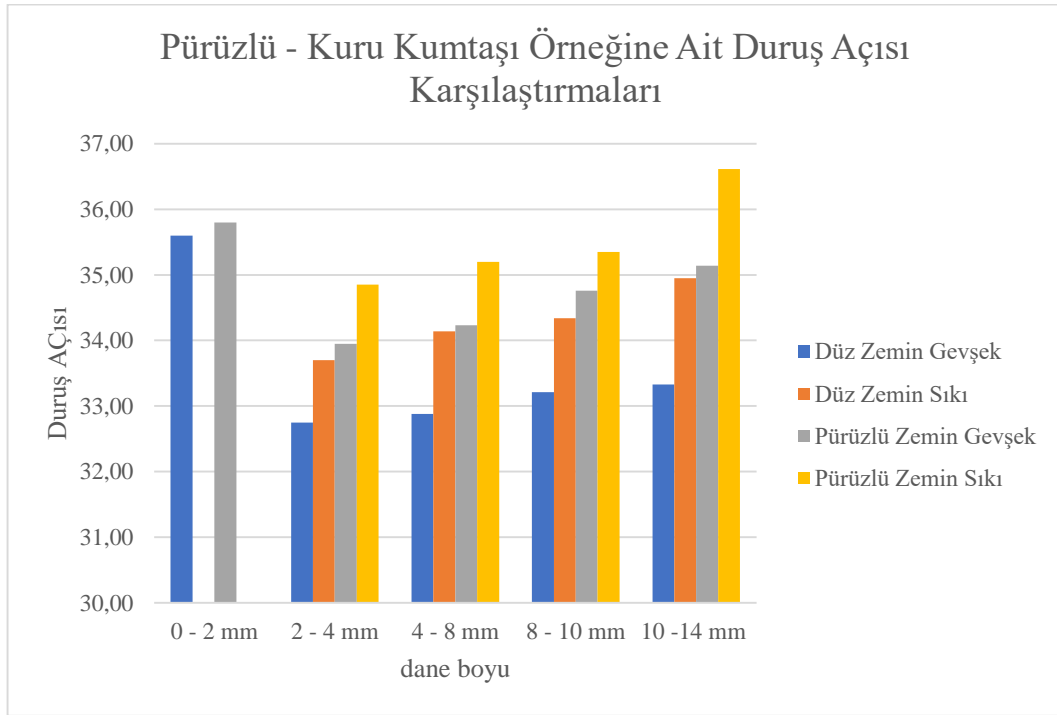
Şekil 3.32: Pürüzsüz, suya doymun kireçtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

3.4.5 Kumtaşı Örneklerine Ait Slump Deney Sonuçları

Kumtaşı agregasına malzemelerden oluşturulan yığınların duruş açısı değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo 3.25 - 3.30) (Şekil 3.33 – 3.38). Düz zeminde oluşturulan yığınların duruş açısı değerleri, pürüzlü zeminde oluşturulan duruş açısı değerlerine göre düşük çıkmıştır. Gevşek (şişlenmemiş) malzemelerden oluşturulan yığınların duruş açısı değerleri sıkı (şişlenmiş) malzemenin duruş açısı değerlerinden düşük çıkmıştır. Dane boyu artarken duruş açısı değeri de artmaktadır. Hem cetvel ile hem de elektronik açıölçer ile bulunan duruş açısı değerleri tablolarda gösterilmiştir.

Tablo 3.25 Pürüzlü, kuru kumtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Pürüzlü Kumtaşı Kuru	Düz Zemin				Pürüzlü Zemin			
	Gevşek		Sıkı		Gevşek		Sıkı	
	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°
0 - 2 mm	35,60	35,43			35,80	35,82		
2 - 4 mm	32,75	32,66	33,70	33,65	33,95	33,93	34,85	34,85
4 - 8 mm	32,88	32,81	34,14	34,09	34,23	34,19	35,20	35,15
8 - 10 mm	33,21	33,13	34,34	34,24	34,76	34,72	35,35	35,33
10 -14 mm	33,33	33,31	34,95	34,91	35,14	35,10	36,61	36,56

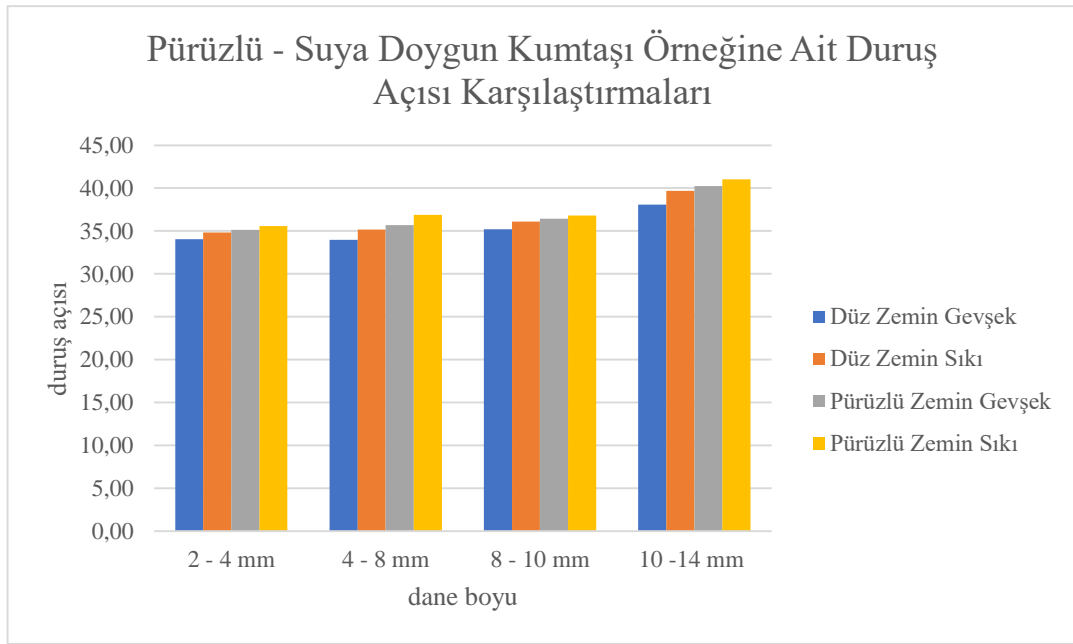


Şekil 3.33 Pürüzlü, kuru kumtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Kumtaşlarına ait granüler malzemelerden oluşturulan duruş açıları danelerin suya doygunluğuna göre değişmektedir. Suya doygun numunelerin duruş açıları aynı malzemenin kuru haldeki duruş açılarından daha büyük açıları vermektedir (Tablo 3.26) (Şekil 3.34).

Tablo 3.26: Pürüzlü, suya doygun kumtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Pürüzlü Kumtaşı Suya Doygun	Düz Zemin				Pürüzlü Zemin			
	Gevşek		Sıkı		Gevşek		Sıkı	
	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°
2 - 4 mm	34,06	34,11	34,81	34,43	35,12	35,16	35,56	35,67
4 - 8 mm	33,97	33,62	35,15	35,23	35,69	35,79	36,89	36,39
8 - 10 mm	35,20	35,64	36,10	36,21	36,45	36,28	36,80	36,59
10 -14 mm	38,08	38,02	39,69	39,56	40,23	40,02	41,01	40,93

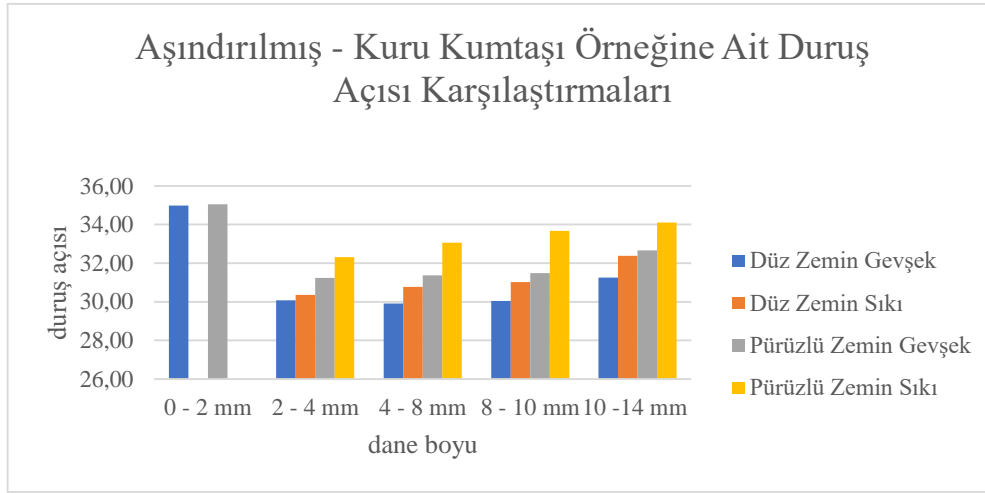


Şekil 3.34: Pürüzlü, suya doygun kumtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Aşındırılmış danelerden oluşturulan yığınlar; pürüzlü malzemelere göre pürüzlülüğün azalmasına bağlı olarak duruş açısı değerleri de azalmaktadır (Tablo 3.27) (Şekil 3.35). Gevşek haldeki duruş açısı sıkı haldeki duruş açısına göre yüksek, pürüzlü zeminde oluşturulan yığınların duruş açısı da düz zemine göre daha yüksek sonuçlar vermektedir.

Tablo 3.27: Aşındırılmış, kuru kumtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Aşındırılmış Kumtaşı Kuru	Düz Zemin				Pürüzlü Zemin			
	Gevşek		Sıkı		Gevşek		Sıkı	
	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°
0 - 2 mm	34,99	34,95			35,05	35,02		
2 - 4 mm	30,08	30,01	30,36	31,16	31,24	30,27	32,32	32,12
4 - 8 mm	29,91	29,81	30,77	30,56	31,38	31,20	33,07	33,01
8 - 10 mm	30,05	30,02	31,02	30,98	31,48	31,29	33,67	33,60
10 -14 mm	31,26	31,20	32,38	32,30	32,67	32,60	34,11	34,01

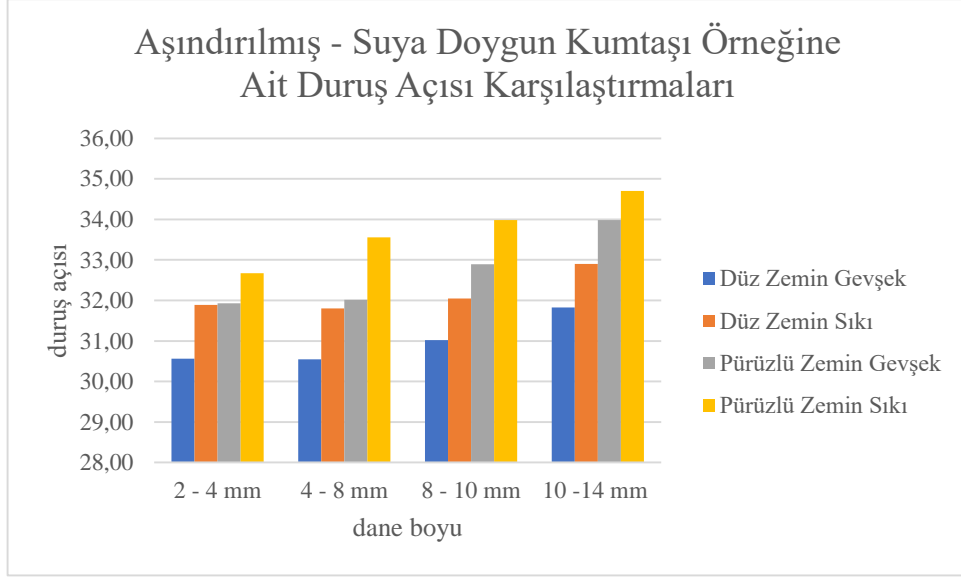


Şekil 3.35: Aşındırılmış, kuru kumtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Aşındırılmış halde bulunan granüler malzemelerin suya doygun haldeki duruş açıları kuru haldeki duruş açılarından yüksek çıkmaktadır. Suya doygun haldeki granüler malzemelerden 0 - 2 mm boyutlarındaki örneklerden yığın oluşturulamamıştır. Suya doygunluk daneler arası çekim kuvvetini arttırdığından bir yığın meydana gelmemektedir. Dane boyu ve zemin pürüzlüğü arttığından duruş açısı da artmaktadır (Tablo 3.28) (Şekil 3.36).

Tablo 3.28: Aşındırılmış, suya doygun kumtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Aşındırılmış Kumtaşı Suya Doygun	Düz Zemin				Pürüzlü Zemin			
	Gevşek		Sıkı		Gevşek		Sıkı	
	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°
2 - 4 mm	30,56	30,55	31,89	31,89	31,93	31,90	32,67	32,65
4 - 8 mm	30,55	30,59	31,80	31,84	32,02	32,01	33,56	33,50
8 - 10 mm	31,02	30,99	32,05	32,01	32,89	32,85	33,98	33,95
10 -14 mm	31,83	31,34	32,90	32,65	33,98	33,96	34,70	34,60

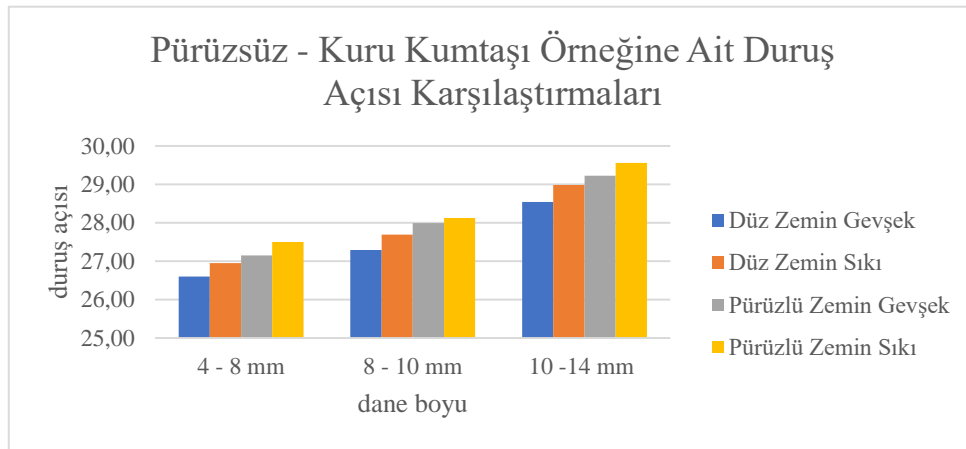


Şekil 3.36: Aşındırılmış, suya doymuş kumtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Pürüzsüz danelerden oluşturulan yığınların duruş açıları da dane boyu arttıkça artmaktadır (Şekil 3.37). Pürüzsüz danelerden oluşturulan duruş açıları pürüzlü danelere göre düşüktür (Tablo 3.29).

Tablo 3.29: Pürüzsüz, kuru kumtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Pürüzsüz Kumtaşı Kuru	Düz Zemin				Pürüzlü Zemin			
	Gevşek		Sıkı		Gevşek		Sıkı	
	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°
4 - 8 mm	26,60	26,50	26,95	26,90	27,15	27,10	27,50	27,45
8 - 10 mm	27,29	27,30	27,69	27,71	27,99	28,01	28,12	28,10
10 - 14 mm	28,54	28,60	28,98	28,90	29,22	29,20	29,56	29,50

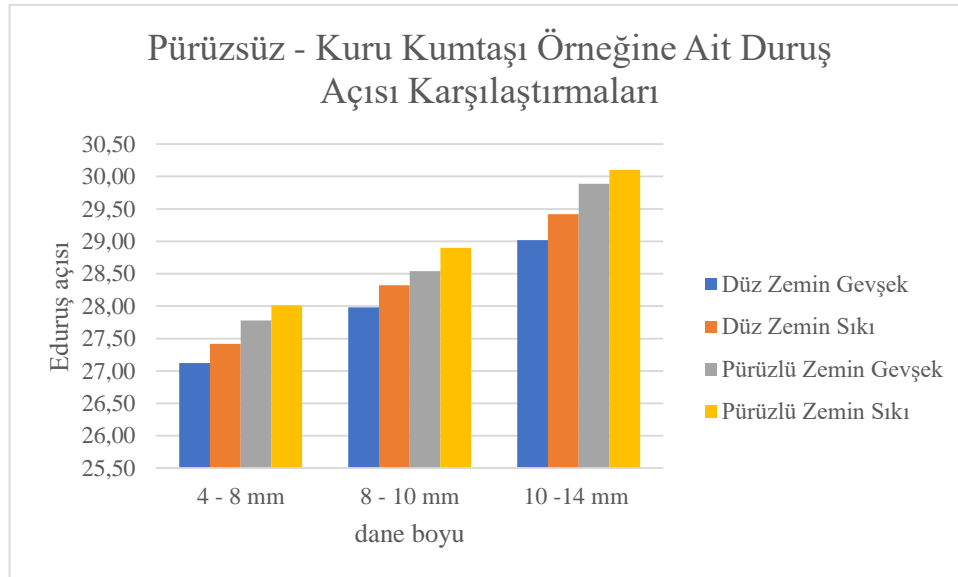


Şekil 3.37: Pürüzsüz, kuru kumtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Pürüzsüz halde bulunan Kumtaşı örneğine ait granüler malzemeler suya doymun hale getirildiğinde ölçülen duruş açısı değeri kuru halde ölçülen duruş açısı değerinden yüksek çıkmaktadır (Tablo 3.30) (Şekil 3.38). Şişlenmiş durumdaki açı değeri şişlenmemiş haldeki duruş açısından yüksek çıkmaktadır.

Tablo 3.30: Pürüzsüz, suya doymun kumtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Pürüzsüz	Düz Zemin				Pürüzlü Zemin			
	Gevşek		Sıkı		Gevşek		Sıkı	
Kumtaşı	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°
Suya								
Doygun								
4 - 8 mm	27,12	27,15	27,42	27,38	27,78	27,71	28,01	28,00
8 - 10 mm	27,98	28,00	28,32	28,30	28,54	28,50	28,90	28,88
10 -14 mm	29,02	29,00	29,42	29,45	29,89	29,90	30,10	30,10



Şekil 3.38: Pürüzsüz, suya doymun kumtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

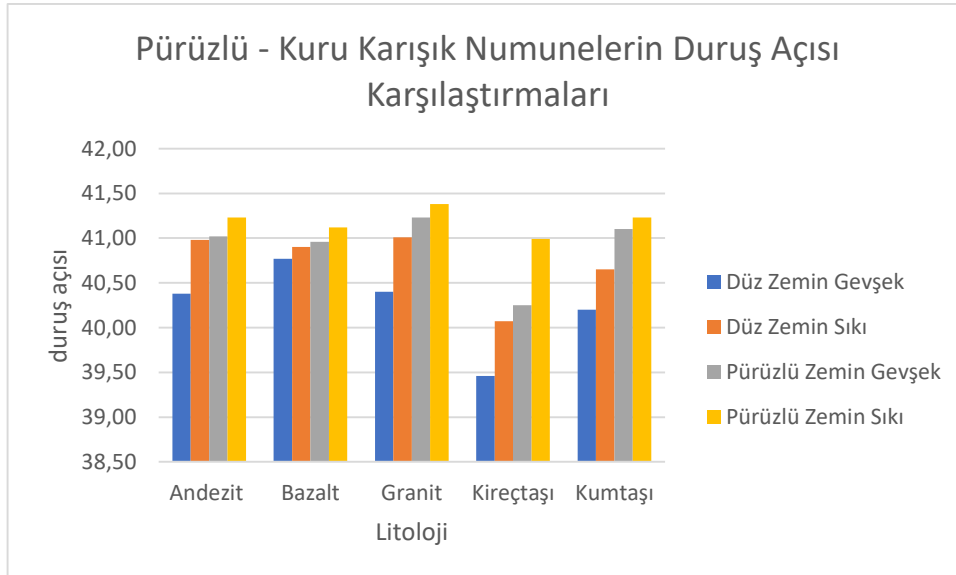
Tüm boylara sahip granüler malzemelerden (0 – 14 mm arası) eşit ağırlıklarda alınıp karıştırılarak duruş açısı değerleri ölçülmüştür (Şekil 3.39). Karışım halde bulunan yığınların duruş açısı değerleri diğer tüm boylardan daha yüksek açı değeri vermişlerdir (Tablo 3.31) (Şekil 3.40). Karışım yapılan yığınların da nem oranı arttıkça duruş açıları da artmaktadır (Tablo 3.32) (Şekil 3.41). Aşındırılmış granüler malzemelerden oluşturulan yığınların da pürüzlülükleri azaldıkları için duruş açıları azalmıştır (Tablo 3.33, 3.34) (Şekil 3.42, 3.43).



Şekil 3.39: Karışık (0-14 mm) malzemelerin duruş açısı.

Tablo 3.31: Karışık-kuru granüler malzemelerin duruş açılarının gösterimi.

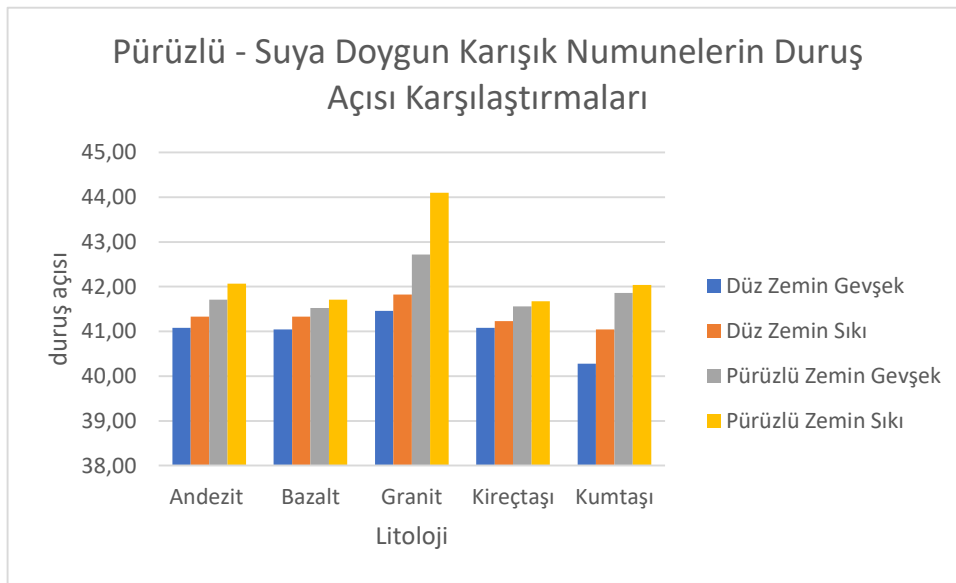
Pürüzlü	Düz Zemin				Pürüzlü Zemin			
	Gevşek		Sıkı		Gevşek		Sıkı	
0 - 14 mm	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°
Andezit	40,38	40,21	40,98	40,85	41,02	41,01	41,23	41,10
Bazalt	40,77	40,65	40,99	40,74	40,96	40,87	41,12	41,01
Granit	40,40	40,32	41,01	40,87	41,23	41,10	41,38	41,30
Kireçtaşı	39,46	39,49	40,07	40,15	40,00	40,06	40,99	40,87
Kumtaşı	40,20	40,10	40,65	40,58	41,10	41,04	41,23	41,17



Şekil 3.40: Karışık-kuru granüler malzemelerin duruş açılarının gösterimi.

Tablo 3.32: Karışık-suya doymun granüler malzemelerin duruş açılarının gösterimi.

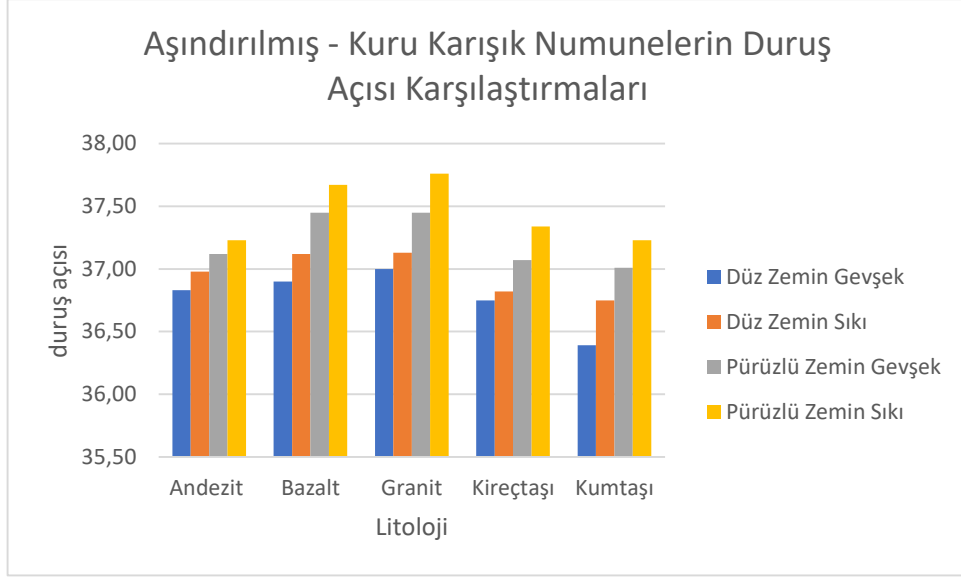
Pürüzlü	Düz Zemin				Pürüzlü Zemin			
	Gevşek		Sıkı		Gevşek		Sıkı	
0 - 14 mm	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°
Suya Doymun								
Andezit	41,33	40,38	41,08	41,18	41,71	41,58	42,07	42,10
Bazalt	41,04	41,05	41,33	41,39	41,52	41,37	41,71	41,68
Granit	41,46	41,46	41,82	41,76	42,72	42,71	44,10	44,14
Kireçtaşı	41,08	41,17	41,23	41,33	41,56	41,40	41,67	41,60
Kumtaşı	40,28	40,12	44,04	40,28	41,86	41,32	42,04	42,05



Şekil 3.41: Karışık-suya doymun granüler malzemelerin duruş açılarının gösterimi.

Tablo 3.33: Aşındırılmış, karışık, kuru granüler malzemelerin duruş açılarının gösterimi.

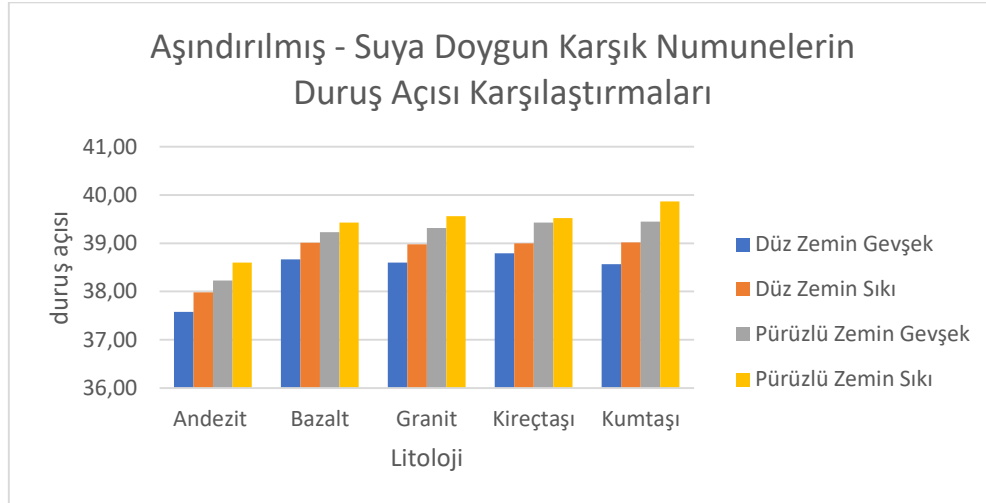
Aşındırılmış	Düz Zemin				Pürüzlü Zemin			
	Gevşek		Sıkı		Gevşek		Sıkı	
0 - 14 mm	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°
Kuru								
Andezit	36,83	36,87	36,98	36,90	37,12	37,01	37,23	37,17
Bazalt	36,90	36,90	37,12	37,15	37,45	37,40	37,67	37,60
Granit	37,00	36,98	37,13	37,10	37,45	37,33	37,76	37,56
Kireçtaşı	36,75	36,75	36,82	36,85	37,07	37,10	37,34	37,27
Kumtaşı	36,39	36,35	36,75	36,75	37,01	37,00	37,23	37,20



Şekil 3.42: Aşındırılmış, karışık, kuru granüler malzemelerin duruş açılarının gösterimi.

Tablo 3.34: Karışık-suya doymun granüler malzemelerin duruş açılarının gösterimi.

Aşındırılmış	Düz Zemin				Pürüzlü Zemin			
	Gevşek		Sıkı		Gevşek		Sıkı	
0 - 14 mm	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°
Andezit	37,58	37,45	37,98	37,90	38,23	38,10	38,60	38,52
Bazalt	38,67	38,60	39,01	38,89	39,23	39,12	39,43	39,41
Granit	38,60	38,56	38,98	38,89	39,32	39,30	39,56	39,59
Kireçtaşı	38,79	38,76	39,00	39,03	39,43	39,40	39,52	39,50
Kumtaşı	38,57	38,61	39,02	39,00	39,45	39,50	39,87	39,85



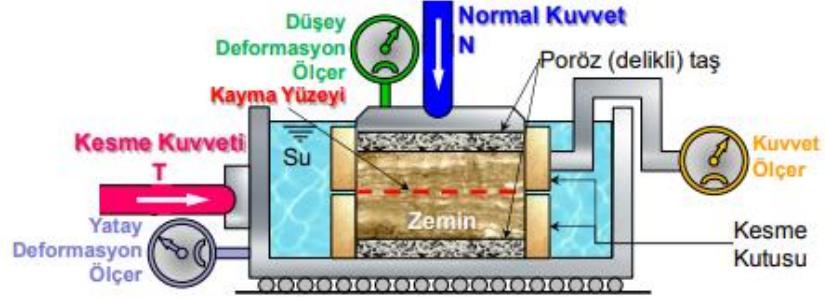
Şekil 3.43: Karışık-suya doymun granüler malzemelerin duruş açılarının gösterimi.

4. İNCE DANELİ GRANÜLER MALZEMENİN İÇSEL SÜRTÜNME AÇISININ KESME KUTUSU DENEYİYLE BULUNMASI

4.1 Deneyin Yapılışı

Laboratuvarda kullanılan kesme kutusu deney aleti en yaygın kayma direnci parametrelerinin bulunmasında kullanılan yöntemdir. 6 cm kalıp eni ve 6 cm kalıp boyuna sahip dikdörtgen şekilli rijit bir kutu içine dökülen ince daneli malzeme, kesme kuvveti altında kutunun bir parçası sabit tutularak, diğer parçası yatay düzlem üzerinde hareket ettirilerek kaymaya zorlanır. Kayma işlemi sonucunda, farklı ağırlıklara (12 kg, 24 kg ve 36 kg) sahip yükler kullanılarak malzemenin göçme zarfı bulunur. (Mitchell, 1993, Bol ve İspiroğlu, 2016). Zeminlerde görülen göçme değeri, kayma gerilmesi ile kayma deformasyonu arasındaki birim deformasyona denk gelir. (Ürkmez, 2009).

Deney farklı gerilmeler altında üç kez tekrarlanır. Deney sonuçlarına göre zeminlerin kayma parametreleri belirlenir. Deformasyon, birim deformasyon, kayma gerilmesi ve normal gerilme elde edilir. Kayma ve normal gerilmeler grafiğe aktarılarak içsel sürtünme açısı ve kohezyon hesaplanır.



Şekil 4.1: Direkt kesme kutusu deney düzeneği (Bol ve İspiroğlu, 2016).



Şekil 4.2: Kesme kutusu deney aleti.

4.2 Kesme Kutusu Deneyi Sonuçları

Andezit, Bazalt, Granit, Kumtaşı ve Kireçtaşları kayaçlarından alınan 0 – 2 mm boyutlarındaki numunelerden hem pürüzlü hem de aşındırılmış haldeki numuneler üzerinde içsel sürtünme açısı ve kohezyonun belirlenmesi için Kesme Kutusu Deneyi yapılmış ve sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Tablo 4.1: Kesme kutusu deney sonuçları.

LİTOLOJİ	PÜRÜZLÜ (ORİJİNAL)			AŞINDIRILMIŞ (LOS ANGELES)		
	C(kg/cm ²)	Ø(°)	AĞIRLIK(gr)	C(kg/cm ²)	Ø(°)	AĞIRLIK(gr)
ANDEZİT	0	40,23	153,2	0	45	142,4
BAZALT	0	33,69	157,52	0	36,53	165,77
GRANİT	0	43,03	161,42	0	40,27	159,12
KUMTAŞI	0	41,18	140,21	0	38,37	131,79
KİREÇTAŞI	0	32,97	146,58	0	43,99	173,9

Bu çalışmada içsel sürtünme açısı ve duruş açısı arasındaki ilişki incelenmiştir. Literatürde bazı kaynaklara göre duruş açısı içsel sürtünme açısına eşit olarak gösterilse de bu çalışma sonuçlarına göre içsel sürtünme açısı duruş açısından büyük çıkmaktadır (Metcalf, 1965).

5. FRAKTAL ANALİZİ

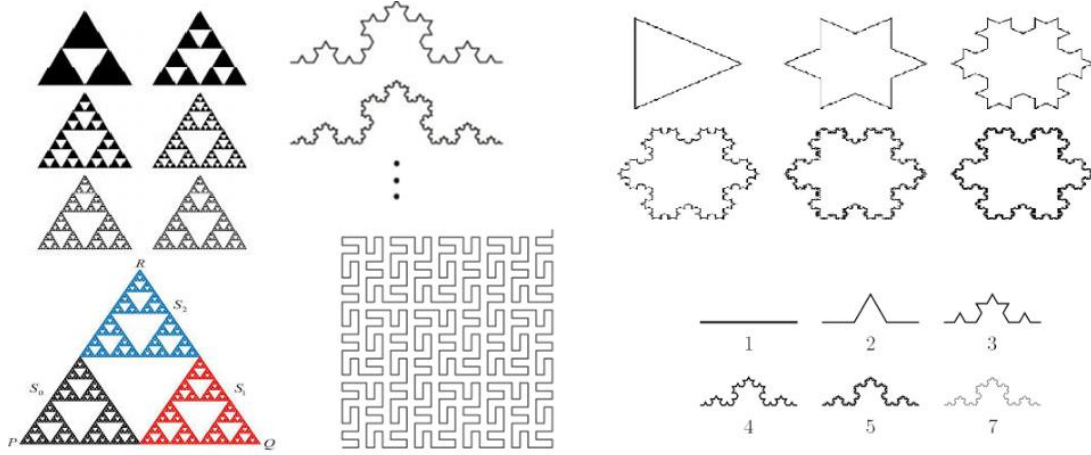
5.1 Fraktal Boyut Kavramı

Matematiksel olarak fraktal terimi ilk kez 1861’de Karl Weierstrass tarafından ortaya atıldı. Fraktal geometrinin amacı karmaşık yapıların sayısallaştırılmasını sağlamaktadır. Fraktal geometri doğanın içinde düzensizmiş gibi görünmesine rağmen incelendiğinde düzenli bir şeklin tüm görüntüde tekrarlandığı yapılardır. Hausdorff, Cantor, Von Koch gibi matematikçiler fraktal kavramı için farklı eğriler çizmişlerdir (Şekil 5.1). Bu eğriler dönemin matematikçileri tarafından canavar olarak ifade edildiler (Ürey, 2006). Yakın geçmişe kadar fraktal yöntemi eğrilerle tanımlandığı için gelişmesi çok yavaş oldu. Bilgisayar uygulamalarının gelişmesiyle beraber, Mandelbrot(1970); fraktal geometri kavramını geliştiren ilk bilim insanı oldu. Mandelbrot, fraktal kavramı için bir bütünden alınan her parçanın o bütünü temsil ettiğini söylemiş ve bunu sayısallaştırmayı hedeflemiştir (Mandelbrot, 2010). Buna örnek olarak bir sahilden alınan kum örneğinin pürüzlülük değeri, o sahili temsil etmektedir.

Klasik Öklid Geometrisi, geometricilerin buldukları nesnelere üzerinde işlem yapmak için kullanılır. Klasik Öklid Geometrisi doğada karşılaşılan karmaşık ve düzensiz yapıları çözmekte eksik kalır. Klasik Öklid Geometrisinde bir boyutlu, iki boyutlu ve üç boyutlu nesnelere sayısallaştırılarak modellenilebilir. Nokta, çizgi, düzlem, kare, dikdörtgen vb. geometrik yapılar Öklid Geometrisiyle tanımlanır. Evrenin karmaşıklığı Öklid Geometrisi ile açıklanamaz. Dünyadaki karmaşıklığı inceleyip anlamak ve modelleyebilmek için Öklid Geometrisi yeterli olmaz (Arasan, 2011). Diferansiyel geometri de eğri ve yüzeyler arasındaki ilişkiyi inceleyen geometri dalıdır. Fraktal geometri ise Diferansiyel geometrinin tam tersi olarak düzgün olmayan eğrilerle alakalıdır (Uyar, 2017). Ünlü matematikçi Benoit Mandelbrot 1977 yılında yaptığı çalışmalar sonunda dünyadaki karmaşık olan yapıları sayısallaştırmaya çalışmış ve latince olarak kırık taş anlamına gelen fraktus kelimesinden türetilen fraktal kavramını geliştirerek fraktal geometriye yeni bir boyut kazandırmıştır.

Mandelbrot çalışmalarında, karmaşık yapıların pürüzlülük değeri olduğunu gözlemlemiş ve Fraktal Boyut kavramını pürüzlülükle ilişkilendirmiştir. Pürüzlülük özelliği gösteren cisimler de fraktallar adını aldı (Ürey, 2006).

Fraktal boyutlandırma zemin boyutlandırılması için uygundur. Zemin çeşitli yönlerine bakıldığında fraktal bir ortamdır ve boşluk yapısına sahip zemin daneleri için fraktal modeller geliştirilmiştir. Zeminlerin davranışını etkileyen bir faktör de daneli zeminlerin pürüzlülüğüdür (Akbulut, 2002).

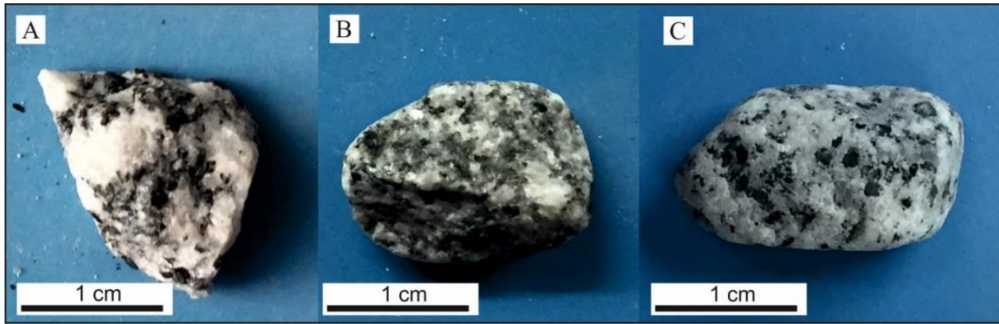


Şekil 5.1: Fraktal kavramı için çizilen eğriler (Uyar, 2017'dan değiştirilerek).

Yer bilimciler, zemin yapısının ve boşluk dağılımının zemine etkisini, kaya ve zemin danelerinin pürüzlülüğünü araştırmak için, fraktal boyut kavramını kullanmaktadırlar. Düzensiz ve pürüzlü parçacıkları tanımlamak için fraktal boyut analizinin kullanımına; sedimentoloji, zemin ve kaya mekaniği gibi alanında çalışan araştırmacılar dikkat çekilmektedir. Çakıl boyu granit ve kireçtaşı tanelerinin fraktal boyutu alan-çevre metodu ile belirlenmiştir ve farklı yüzey şekillerdeki danelerin (pürüzlü, aşındırılmış ve pürüzsüz) fraktal boyutu belirlenmiş ve pürüzlülüğünün fraktal boyuta etkisi araştırılmıştır. Granüler malzemelerin statik ve dinamik yükler altındaki davranışı, yoğunluğu, dane boyutu, dane boyut dağılımı, dane şekli, danenin mineralojik ve litolojik yapısı, miktarlara ve özelliklere bağlıdır. Elek analizi, dane boyunu ve dane boyut dağılımını tanımlamak için bir temel olarak kullanılır. Bununla birlikte, bir eleğin arasından geçen ve belirli bir gruptaki danelerin yakından incelenmesi, iki dane şeklinin ve yüzey dokusunun tam olarak aynı olmadığını ortaya koyacaktır. Granüler malzemelerin mühendislik davranışında önemli rol oynadığı için dane şekli hesaba katılmalıdır. Granüler bir danenin şekli, formun, yuvarlaklığın ve yüzey dokusunun da dahil olduğu parçanın dış morfolojisinin tüm yönlerini kapsar (Barret, 1980).

Pürüzlülük granüler malzemeler, zeminlerin davranışını etkileyen önemli bir parametredir. Fraktal geometri, niceliksel ve benzersiz sayısal değerler sağlamak için pürüzlülük ve tane boyutu dağılımı gibi düzensiz veya parçalı modellere uygulanabilir (Hyslip ve Vallejo, 1997).

Danelerin pürüzlülükleri, Fraktal yöntemiyle değerlendirilmiştir. Bu bağlamda danelerin hacimleriyle yüzey alanları arasındaki ilişki danelerin kabul edilen şekli dikkate alınarak (küre, küp vb.) belirlenerek danelerin iki boyutta; pürüzlü, aşındırılmış ve pürüzsüz danelerin fotoğrafları çekilerek bu fotoğraflar üzerinden Matlab Paket programıyla alan ve çevre hesabı yapılarak danelerin pürüzlülük değerleri sayısallaştırılmıştır.

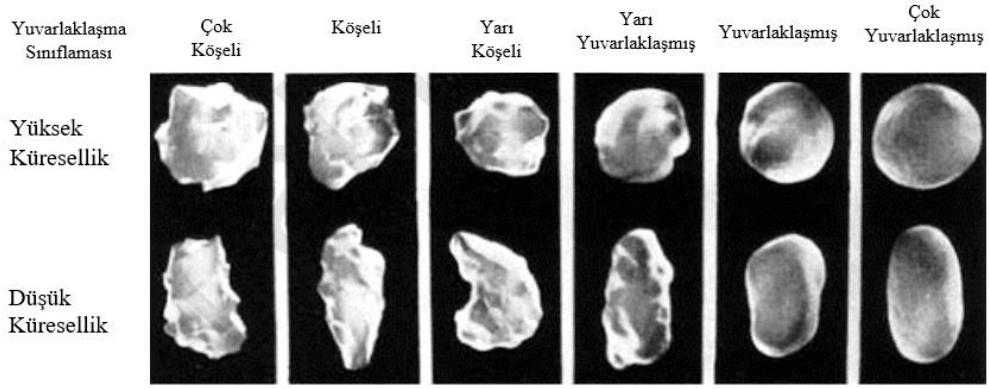


Şekil 5.2: Agrega pürüzlülük derecesi a) Pürüzlü agrega b) Aşındırılmış agrega c) Pürüzsüz agrega.

5.2 Yüzey Pürüzlülüğü

Granüler zeminlerde, dane şeklinin zemin davranışına etkisi son yıllarda yaygın olarak araştırılmıştır. Danelerin yüzeyleri, mineralojik özellikleri ve dane şekli gibi parametreler iri daneli zeminlerin; dayanımını, permeabilitesini ve sıkışma davranışlarını etkiler (Sezer, 2008).

Danelerin yüzey pürüzlülüğünün zemin davranışına etkisi araştırıldığında mikro özelliklerinden olan aşınma, genellikle yüzey yuvarlaklığını artırır. Danede aşınma arttıkça yuvarlaklıkta artmaktadır (Şekil 5.3). Yüzey pürüzlülüğü, görüntü işleme teknikleriyle bulunabilir. Dane pürüzlülüğünü fraktal boyuttan (D_R) değerlendirmek için alan ve çevre yöntemi önerilmiştir (Hyslip ve Vallejo, 1997). Ayrıca araştırmacılar yaptıkları çalışmada pürüzlülükle ilgili yeni formüller önermişlerdir (Tablo 5.1) (Maroof ve Mahboubi, 2019). Bu çalışma kapsamında da danelerin yuvarlaklık ve köşelilik durumları aşağıdaki tablolardaki veriler kullanılarak bulunmaya çalışılmıştır.



Şekil 5.3: Yuvarlaklaşma sınıflaması – (Powers, 1953).

Tablo 5.1: Maroof ve Mahboubi, 2019' un önerdikleri dane pürüzlülüğü ilişkileri.

Boyut	Dane Şekli Açıklaması	Formül İlişkisi	Tanımlama
3D	Yüzey Doku İndeksi	$YDI_{3D} = \frac{V_1 - V_2}{V_1} * 100$	V_1 : 3 boyutlu görüntülerin hacmi V_2 : Bir açılış işleminden sonra 3 boyutlu görüntülerin hacmi
	Pürüzlülük Fraktal boyut (D_r)	$D_r = \frac{2}{m}$	m : Dane alanı (A_{Dane}) ve çevre (\mathcal{C}_{Dane}) arasındaki logaritma ilişkisinin eğim katsayısı
	Pürüzlülük	$R_0 = \frac{\mathcal{C}}{\pi * \mathcal{C}_{aport}}$	\mathcal{C} : Dane çevresi, \mathcal{C}_{aport} : İki ortogonal düzlemin ortalama çapı
2D	Pürüzlülük	$\frac{\mathcal{C}_{evre_{Dane}}}{\mathcal{C}_{evre_{Konveks}}}$	$\mathcal{C}_{evre_{Dane}}$: Dane Çevresi, $\mathcal{C}_{Konveks.}$: Dışbükey Çevresi
	Yüzey Çevresi	$Y_{\mathcal{C}_{evre}} = \frac{A_1 - A_2}{A_1} * 100$	A_1 ve A_2 : Sırasıyla aşınma-dilatasyon işlemlerinden önce ve sonra bir görüntü üzerindeki nesnelerin alanları

5.3 Yuvarlaklık ve Köşeliliğin Bulunması

Danelerin şekli, yüzey pürüzlülüğü, granüler malzemelerin dayanım ve deformasyon özellikleri üzerinde önemli parametrelerdir. Köşeli danelere sahip granüler malzemeler

yuvarlak danelere göre daha fazla sürtünmeye sahiptirler. Granüler malzemelerin şekli; küresellik, biçim ve yuvarlaklık olarak üç ayrı grupta incelenir (Galloway, 1994). Küresellik, danenin üç farklı boyutunun eşit olması durumudur. Biçim, danenin kısa, orta ve uzun yönleri arasındaki ilişkidir. Yuvarlaklık, dane çevresine bağlı olduğu için danenin yüzey pürüzlülüğünden etkilenmektedir (Dilek, 2000).

Şekil ve yuvarlaklık terimleri iki farklı geometrik durum belirtmektedir (Wadell, 1932). Yuvarlaklık danenin şekline bağlı değildir. Yüzeydeki kenar keskinliklerine bağlıdır (Powers, 1953). Granüler malzemelerin yuvarlaklığı literatürde Form Faktörü (FF) olarak tanımlanan aşağıdaki formülle bulunabilir (5.1).

$$FF = 4 * Alan * \pi / Çevre^2 \quad (5.1)$$

Alan: Danenin alanı Çevre: Danenin Çevresi (Kuo vd.,1998)

Küresellik parametresi de (KP) danelerin köşeliliğini tanımlamak için kullanılmaktadır (5.2).

$$KP = \sqrt[3]{\frac{D_S D_I}{D_L}} \quad (Galloway, 1994) \quad (5.2)$$

D_S = Danenin en kısa kenarı, D_I = Danenin ortalama kenarı D_L = Danenin en uzun kenarı

Agregalarda ilk defa kırılmış yüzey ve köşelilik kavramı ASTM D821-13 standardında ortaya çıkmıştır. ASTM D3398 standardına göre şekil faktörü en büyük olan agregalar “Köşeli”, Küreselliği 1’e en yakın agregalar “Yuvarlak” olarak sınıflandırılabilir. Köşeli agregaların küresellik değeri 0,8-1 aralığında değişmekte, uzunluk ve yassılık faktörleri 1’e yakın olmaktadır. Daha kesin genellemelerin yapılabilmesi için çok sayıda agreganın analiz edilmesi gerekmektedir. Form, aynı zamanda “şekil faktörü” olarak da tanımlanır ve aynı küreselliğe sahip taneleri birbirinden ayırt etmekte kullanılır (Hudson, 1999; Mora ve Kwan, 2000). Aschenbrenner (1956)’e göre şekil faktörü; tanenin başlıca boyutları (uzun, orta, kısa) arasındaki ilişki ile tanımlanabilir. Bu denkleme göre, küreselliğin 1’den büyük değerleri arttıkça uzunlaşan tane şeklini, 1’den küçük değerleri ise azaldıkça yassılaştıran tane şeklini ifade eder.

$$\text{Şekil faktörü} = K * U / O^2 \quad (5.3)$$

K: Danenin kısa kenarı U: Danenin uzun kenarı O: Danenin ortalama kenarı

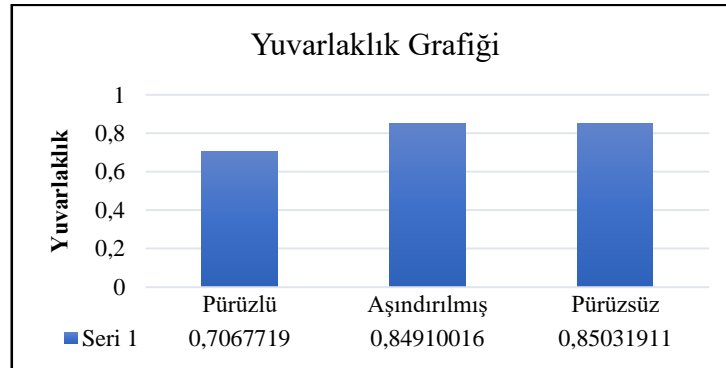
Form Faktörüne göre yuvarlaklık sınıflaması aşağıda verilmiştir (Tablo 5.2, Şekil 5.4).

$$FF = 4 * \text{Alan} * \pi / \text{Çevre}^2 \quad (5.4)$$

Form faktör formülü kullanılarak fotoğrafı çekilen danenin şekil parametrelerine göre sınıflaması yapılmış; pürüzlü, aşındırılmış ve pürüzsüz agreaya ait yuvarlaklık değerleri verilmiştir. Pürüzsüz daneler yuvarlak, pürüzlü daneler ise köşeli daneler sınıfına dahil edilebilir(Tablo 5.2)(Şekil 5.4).

Tablo 5.2: Form faktör formülüne göre yuvarlaklık sınıflaması.

	Pürüzlü	Aşındırılmış	Pürüzsüz
	0,740	0,925	0,831
	0,736	0,889	0,911
	0,643	0,785	0,831
	0,746	0,861	0,831
	0,720	0,742	0,854
	0,652	0,890	0,841
Ortalama	0,707	0,849	0,850



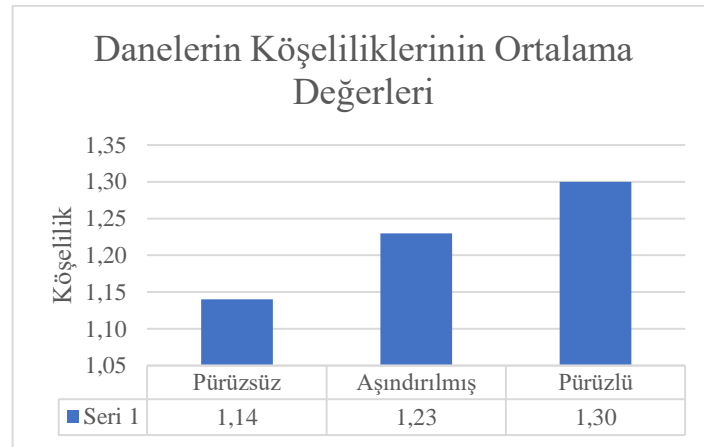
Şekil 5.4: Form faktör formülüne göre yuvarlaklık grafiği.

$$\text{Köşelilik} = (\text{Çevre}_{\text{dışbükey}} / \text{Çevre}_{\text{elips}})^2 \quad (5.4)$$

(Kuo ve Freeman, 2000) formülüne göre daneler arasındaki bağlantı aşağıda verilmiştir (Tablo 5.3, Şekil 5.5). 1' e yakın değerler yuvarlak olarak değerlendirilir. Pürüzlü, aşındırılmış ve pürüzsüz agreaya ait köşelilik değerleri verilmiştir.

Tablo 5.3: Köşelilik formülüne göre yuvarlaklık sınıflaması.

	Pürüzlü	Aşındırılmış	Pürüzsüz
	1,27	1,07	1,15
	1,37	1,38	1,11
	1,38	1,19	1,09
	1,24	1,40	1,17
	1,23	1,10	1,19
Ortalama	1,30	1,23	1,14



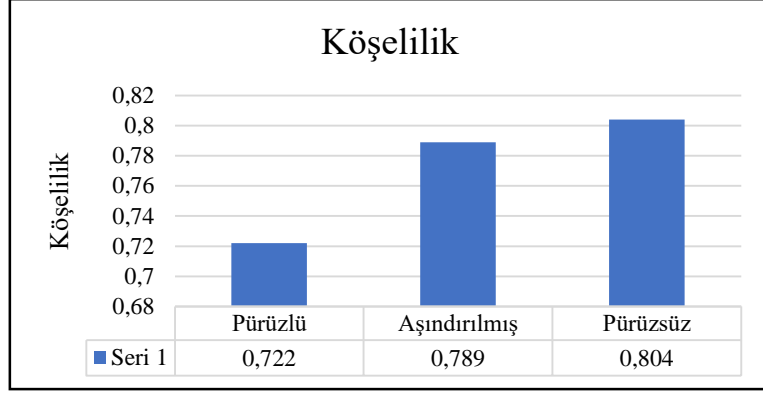
Şekil 5.5: Köşelilik formülüne göre yuvarlaklık grafiği.

Yukarıda verilen tablo ve grafiğe göre pürüzlü daneler köşeli pürüzsüz daneler ise yuvarlak dane olarak isimlendirilebilir.

Küresellik parametresine göre daneler sınıflandırıldığında pürüzlü daneler köşeli, pürüzsüz daneler ise yuvarlak dane olarak tanımlanabilir (Tablo 5.4, Şekil 5.6).

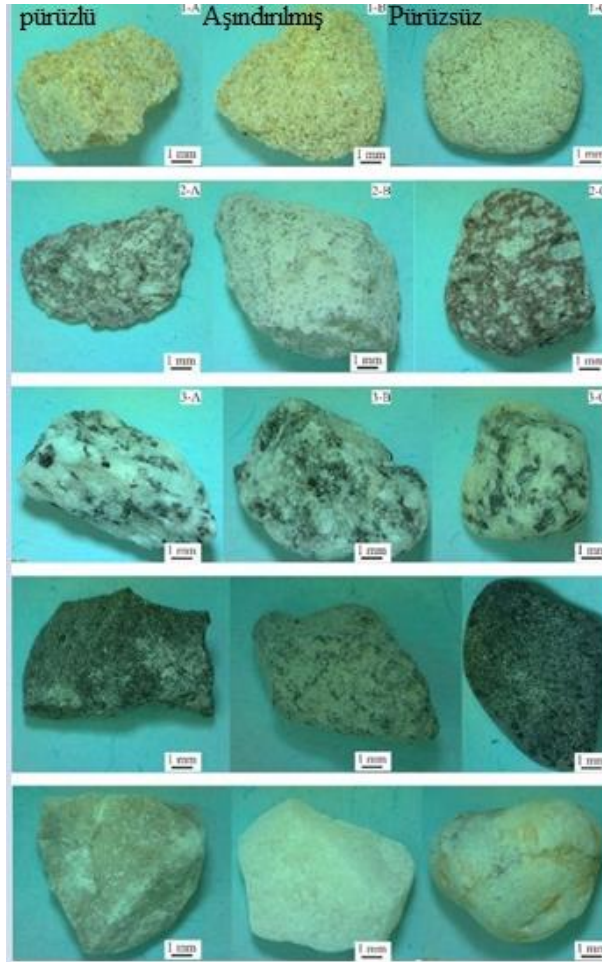
Tablo 5.4: Danenin yuvarlaklık ve köşelilik durumunun gösterimi.

Pürüzlü	Aşındırılmış	Pürüzsüz	
0,631	0,75	0,801	
0,794	0,785	0,827	
0,791	0,801	0,837	
0,733	0,808	0,775	
0,662	0,804	0,78	
0,722	0,789	0,804	Ortalama



Şekil 5.6: Danenin yuvarlaklık ve köşelilik durumunun gösterimi.

Çalışmada kullanılan granüler malzemeler aşağıda gösterilmiştir. Soldan sağa doğru pürüzlülük ve köşelilik azalırken, yuvarlaklık artmaktadır (Şekil 5.7).



Şekil 5.7: Çalışmada kullanılan granüler malzemeler.

5.4 Danelerin Fraktal Boyutlarının Bulunması

Bu çalışmada Fraktal boyut kavramının incelenmesi için alan-çevre metodu kullanılmıştır. Olympus marka, SZ61 model, Binoküler mikroskobu kullanılarak granüler malzemelerin fotoğrafları çekilmiş ve Stream Basic uygulaması yardımıyla ölçeklendirilmiştir. Matlab paket programı kullanılarak danelerin alan ve çevre değerleri hesaplanmış ve sonrasında yorumlanmıştır. Fraktal geometri alanında en yaygın kullanılan alan-çevre metodu Mandelbrot'un "uzantıların doğrusal oranı" önerisi yardımıyla Fraktal boyut hesabı için

$$A = CP^{2/D_R} \quad (5.5)$$

bağlantısı kullanılmıştır(Hyslip, 1997, Ari, 2020).

C: Benzerlik içeren fraktal şekil için sabit bir değer,

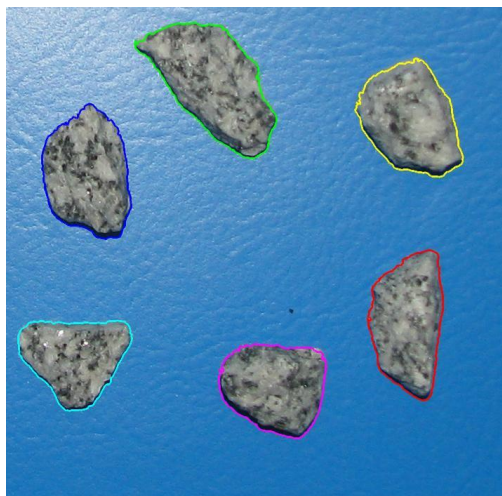
P: Danenin çevresi,

A: Danenin alanı ve

D_R danelerin ortalama fraktal boyutudur.

$$D_R = 2/m \quad (5.6)$$

Logaritmik eksenlere sahip Kartezyen koordinatta çizilen Alan-çevre ilişkisini veren doğrunun eğimi (m), $2/\text{fraktal boyuta}$ eşit olmaktadır (Tablo 5.5 - 5.7). Bu bağıntı yardımıyla, danelerin Fraktal katsayısı tahmin edilmiştir (Şekil 5.8 - 5.14). Granit kayacına ait pürüzlü danelerin fotoğrafları ölçekli olarak çekilmiş ve Matlab programı yardımıyla alan ve çevre değerleri hesaplanmış ve danenin pürüzlülük durumu sayısal olarak ifade edilmiştir.

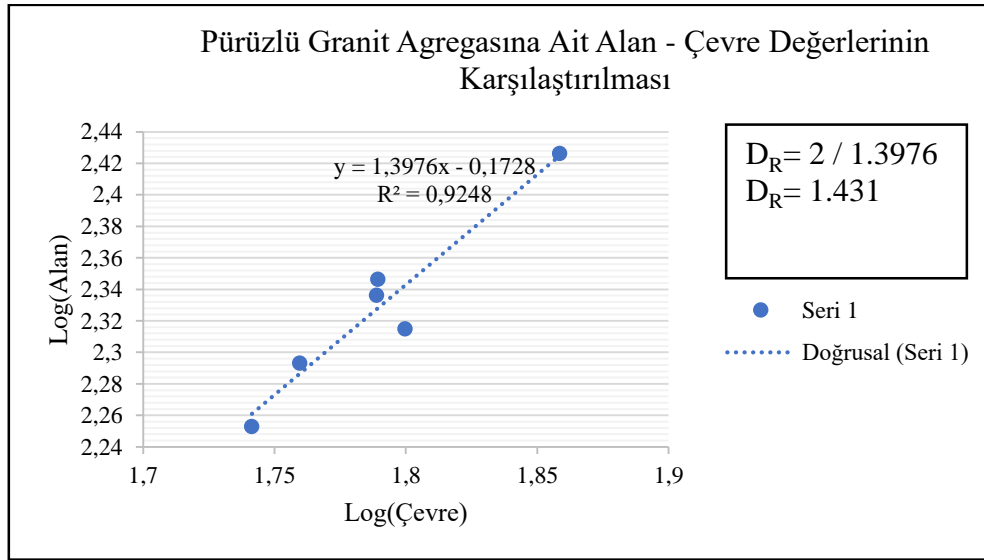


Şekil 5.8: Granit agregasına ait 10 – 14 mm boyutundaki pürüzlü tanenin alanı.

Tablo 5.5: Pürüzlü granit agregasının alan-çevre değerleri (10-14 mm).

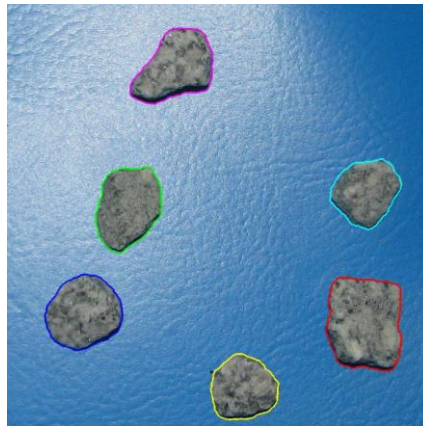
Alan(mm ²)	Çevre(mm)	Renk
179,06342	55,127059	açık mavi
221,99244	61,563133	mavi
266,86274	72,198328	yeşil
196,43653	57,487603	magenta
216,93041	61,493744	sarı
206,53603	63,045456	kırmızı

Fraktal katsayısı 1'den uzaklaştıkça pürüzlülük değeri de artmaktadır(Şekil 5.9).



Şekil 5.9: Pürüzlü granit agregasının fraktal katsayısının bulunması.

Granit kayacına ait aşındırılmış danelerin fotoğrafları ölçekli olarak çekilmiş ve Matlab programı yardımıyla alan ve çevre değerleri hesaplanmış ve danenin pürüzlülük durumu sayısal olarak ifade edilmiştir.

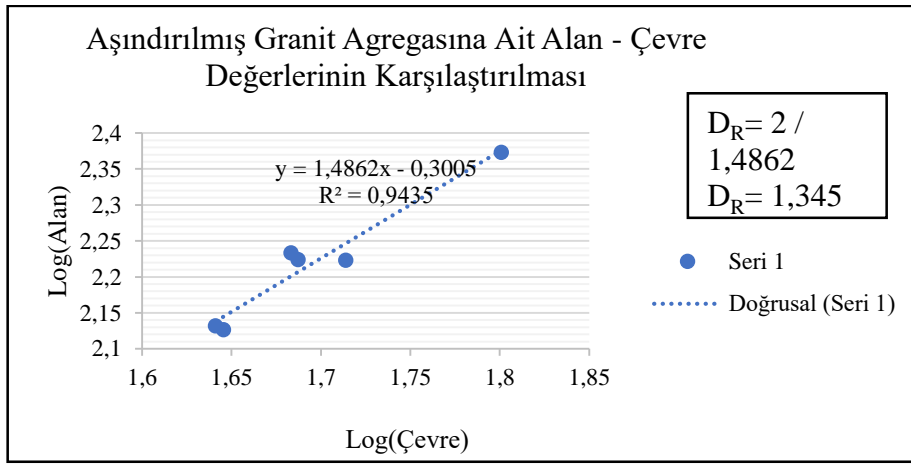


Şekil 5.10: Granit agregasına ait 10 – 14 mm boyutundaki aşındırılmış tanenin alanı.

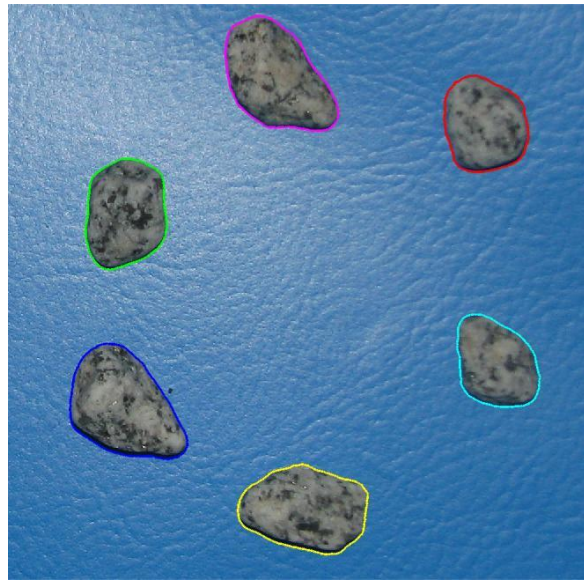
Tablo 5.6: Aşındırılmış granit agregasının alan-çevre değerleri (10-14 mm).

Alan(mm ²)	Çevre(mm)	Renk
171,28152	48,2195685	açık mavi
167,509632	48,6525599	mavi
167,257706	51,7381258	yeşil
133,919531	44,1944882	magenta
236,166397	63,2069612	sarı
135,571045	43,7526295	kırmızı

Fraktal katsayısı danenin alan ve çevre değerlerinin logaritmik sonuçları arasındaki eğim yardımıyla bulunur(M :eğim $D_r = 2/m$)(Şekil 5.11)



Şekil 5.11: Aşındırılmış granit agregasının fraktal katsayısının bulunması.

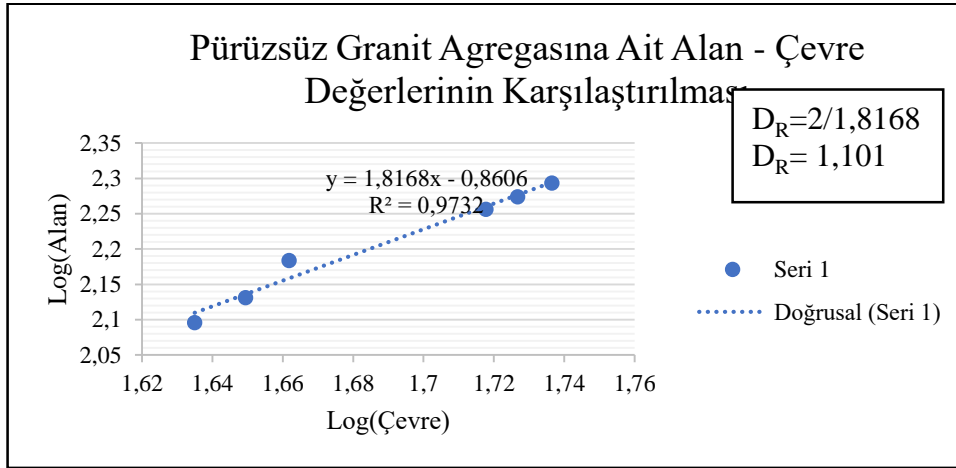


Şekil 5.12: Granit agregasına ait 10 – 14 mm boyutundaki pürüzsüz tanenin alanı.

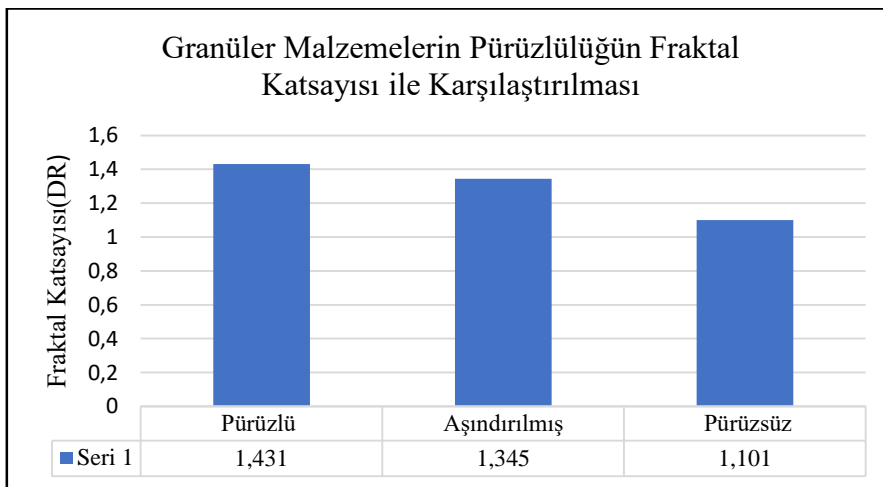
Tablo 5.7: Pürüzsüz granit agregasının alan-çevre değerleri (10-14 mm).

Alan(mm ²)	Çevre(mm)	Renk
196,554581	54,5023572	açık mavi
152,724573	45,8941091	mavi
187,877866	53,2994342	yeşil
180,367648	52,2024118	magenta
135,277536	44,6015779	sarı
124,707066	43,1446799	kırmızı

Pürüzsüz Granit kayacına ait pürüzlü danelerin fotoğrafları ölçekli olarak çekilmiş ve Matlab programı yardımıyla alan ve çevre değerleri hesaplanmış ve danenin pürüzlülük durumu sayısal olarak ifade edilmiştir.



Şekil 5.13: Pürüzsüz granit agregasının fraktal katsayısının bulunması.



Şekil 5.14: Pürüzlülük ile fraktal katsayısının karşılaştırmaları.

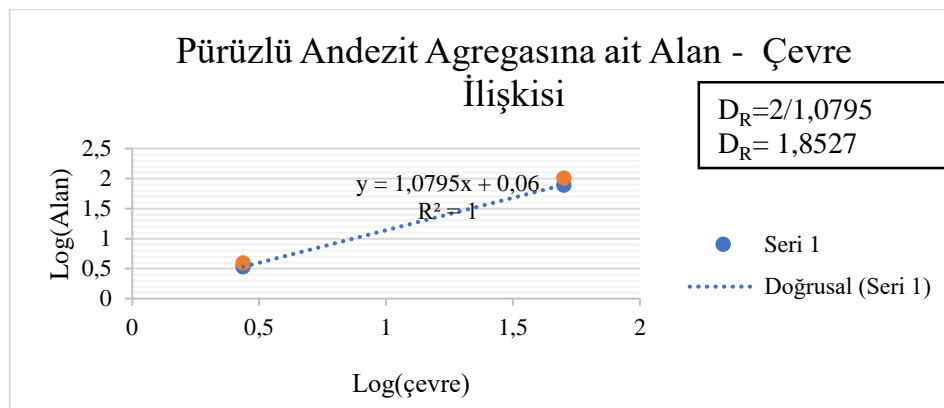
Bu çalışmada farklı pürüzlülük yüzeylerine sahip granüler malzemelerden alınan 4 – 8 mm boyutlarındaki Andezit, Bazalt, Granit, Kireçtaşı ve Kumtaşı örnekleri fotokopi makinesi üzerinde fotoğrafları çekilmiş ve Matlab paket programı kullanılarak danelerin alan ve çevre değerleri hesaplanmış ve sonrasında yorumlanmıştır.

Andezit örneğinden alınan pürüzlü, aşındırılmış ve pürüzsüz danelerin fotoğrafları üzerinden Matlab programı yardımıyla alan ve çevre değerleri hesaplanmıştır. Fraktal boyut değerleri hesaplanmış ve tablolar halinde sunulmuştur(Şekil 5.8).

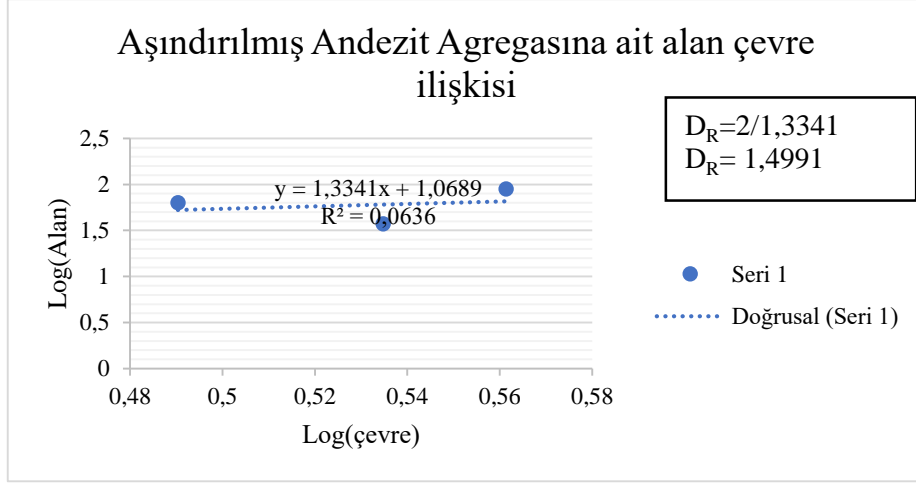
Tablo 5.8: Andezit agregasının alan-çevre değerleri (4 - 8 mm).

Pürüzlü Andezit			
Alan (mm ²)	Çevre(mm)	Log(Alan)	Log(Çevre)
2,7367	50,076	0,437227192	1,699629631
3,4041	78,49	0,53200231	1,894814329
3,947	103,194	0,596267126	2,013654447
Aşındırılmış Andezit			
Alan (mm ²)	Çevre(mm)	Log(Alan)	Log(Çevre)
3,0928	63,326	0,490351837	1,801582057
3,6423	88,95	0,561375714	1,949145952
3,4261	37,367	0,534800035	1,572488232
Pürüzsüz Andezit			
Alan (mm ²)	Çevre(mm)	Log(Alan)	Log(Çevre)
3,1533	59,07	0,498765291	1,771366971
3,4261	74,254	0,534800035	1,870719854
2,9658	60,972	0,472141861	1,785130441

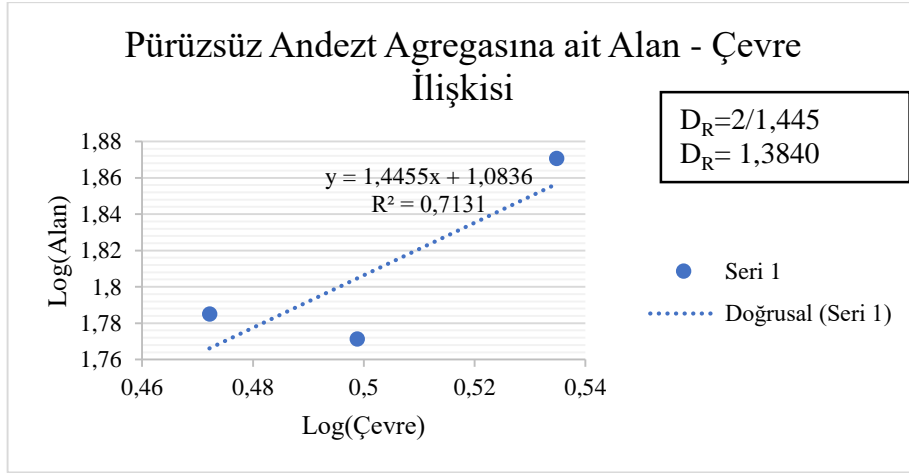
Analiz sonucuna göre pürüzlü danenin fraktal boyutu 1'den en uzak, pürüzsüz daneye ait fraktal boyut 1'e en yakın, aşındırılmış danenin ise bu iki değer arasında çıkmaktadır.



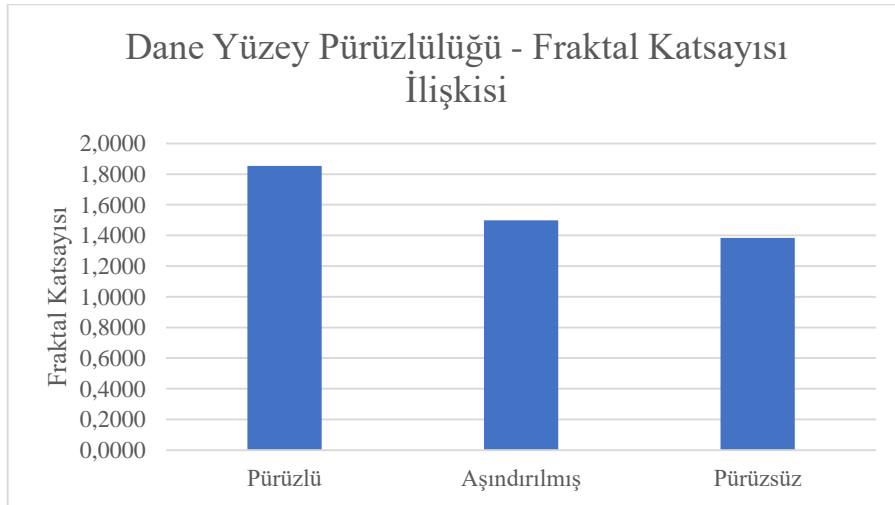
Şekil 5.15: Pürüzlü andezit agregasının fraktal katsayısının bulunması.



Şekil 5.16: Aşındırılmış andezit agregasının fraktal katsayısının bulunması.



Şekil 5.17: Pürüzsüz andezit agregasının fraktal katsayısının bulunması.



Şekil 5.18: Andezit - pürüzlülük ile fraktal katsayısının karşılaştırılmaları.

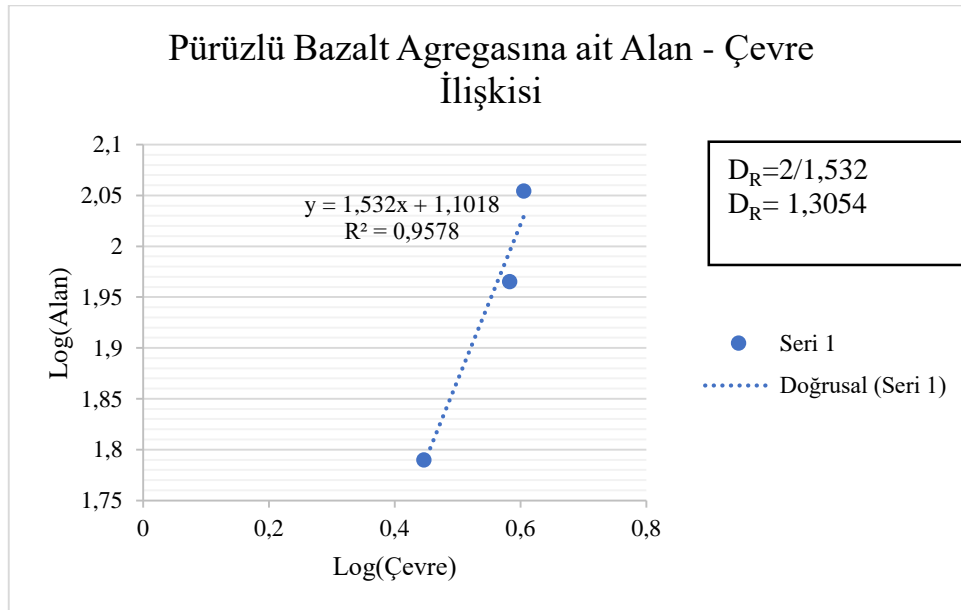
Bazalt numunesinin pürüzlü, aşındırılmış ve pürüzsüz danelerinin fotoğrafları çekilmiş ve Matlap programında alan ve çevre değerleri hesaplanmıştır. Analiz sonucuna göre pürüzlü danenin fraktal boyutu 1'den en uzak, pürüzsüz daneye ait fraktal boyut 1'e en yakın, aşındırılmış danenin ise bu iki değer arasında çıkmaktadır.

Tablo 5.9: Bazalt agregasının alan-çevre değerleri (4 - 8 mm).

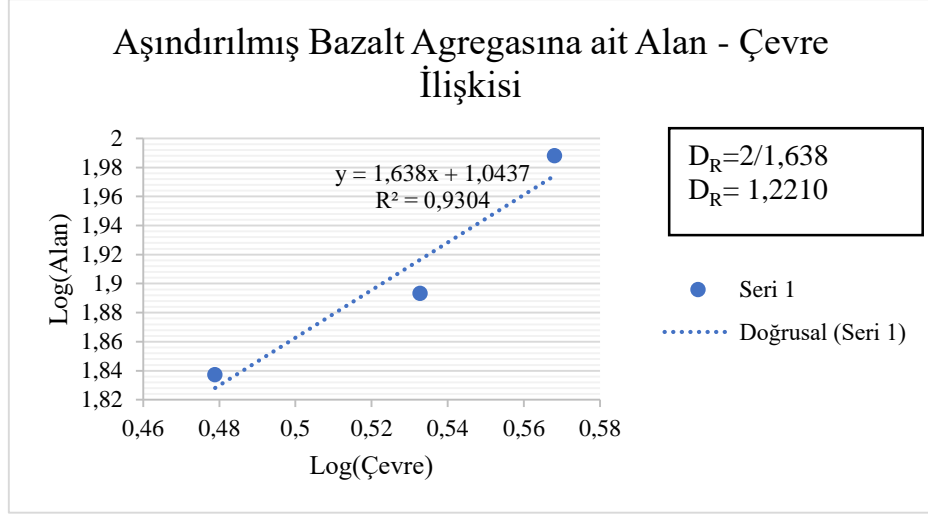
Pürüzlü Bazalt			
Alan (mm ²)	Çevre(mm)	Log(Alan)	Log(Çevre)
3,8279	92,337	0,582960584	1,96537576
2,7949	61,627	0,446366274	1,789771027
4,0296	113,349	0,605261938	2,054417693

Aşındırılmış Bazalt			
Alan (mm ²)	Çevre(mm)	Log(Alan)	Log(Çevre)
3,6989	97,307	0,56807259	1,988144083
3,0123	68,753	0,478898222	1,837291653
3,4099	78,214	0,532741643	1,893284497

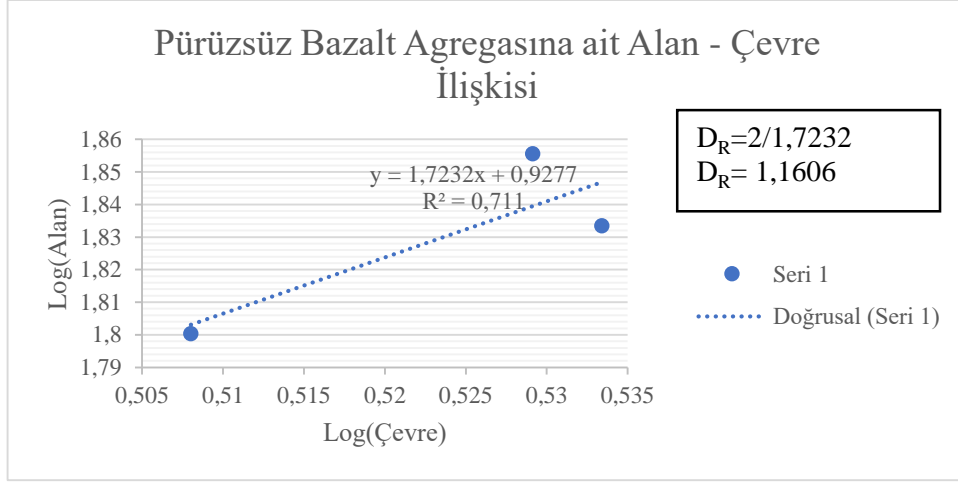
Pürüzsüz Bazalt			
Alan (mm ²)	Çevre(mm)	Log(Alan)	Log(Çevre)
3,3816	71,714	0,529122235	1,855603947
3,2211	63,154	0,508004208	1,800400863
3,415	68,149	0,533390708	1,833459487



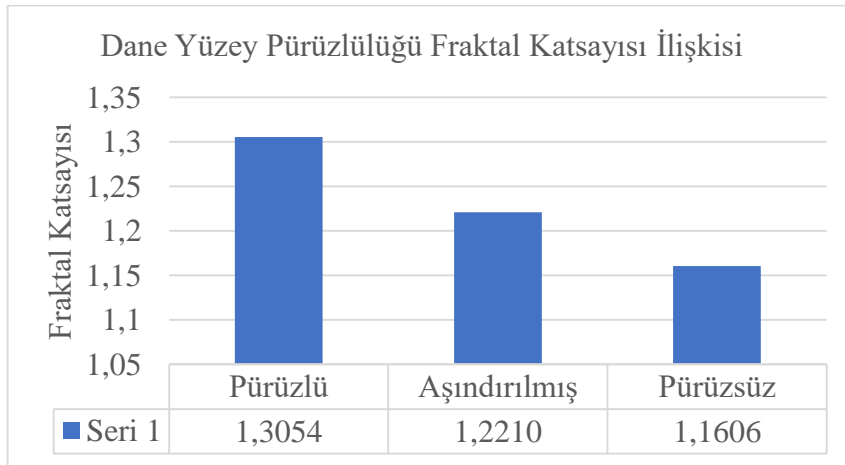
Şekil 5.19: Pürüzlü bazalt agregasının fraktal katsayısının bulunması.



Şekil 5.20: Aşındırılmış bazalt agregasının fraktal katsayısının bulunması.



Şekil 5.21: Pürüzsüz bazalt agregasının fraktal katsayısının bulunması.

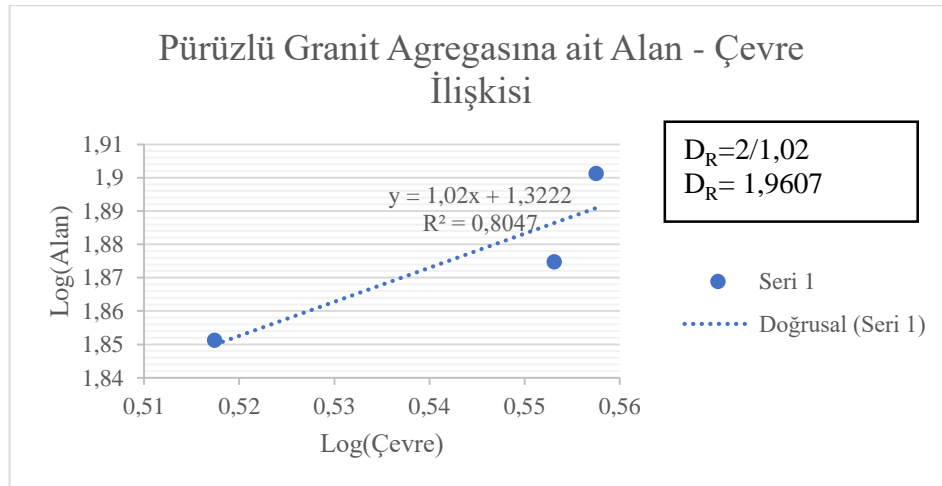


Şekil 5.22: Bazalt pürüzlülük ile fraktal katsayısının karşılaştırılmaları.

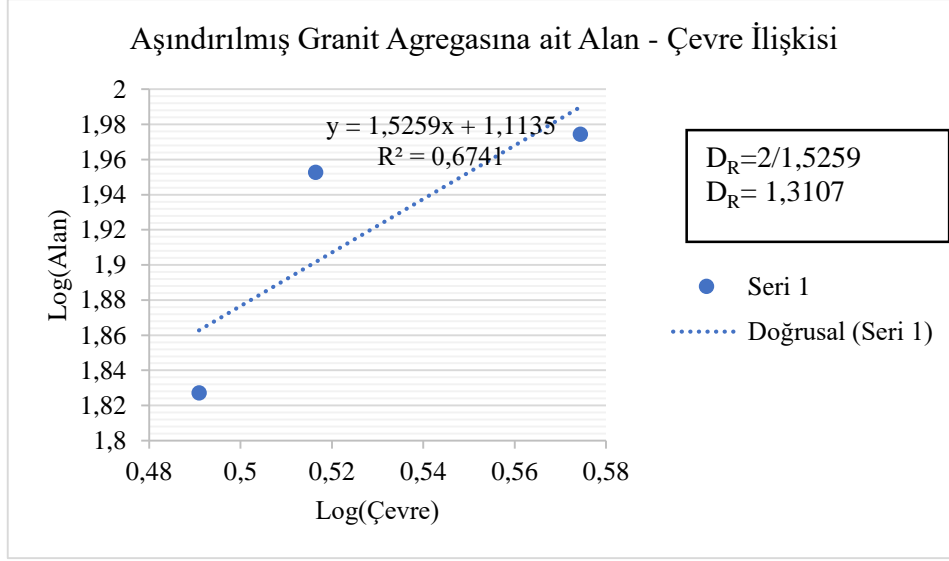
Granit numunesinin pürüzlü, aşındırılmış ve pürüzsüz danelerinin fotoğrafları çekilmiş ve Matlap programında alan ve çevre değerleri hesaplanmıştır. Analiz sonucuna göre pürüzlü danenin fraktal boyutu 1'den en uzak, pürüzsüz daneye ait fraktal boyut 1'e en yakın, aşındırılmış danenin ise bu iki değer arasında çıkmaktadır.

Tablo 5.10: Granit agregasının alan-çevre değerleri (4 - 8 mm).

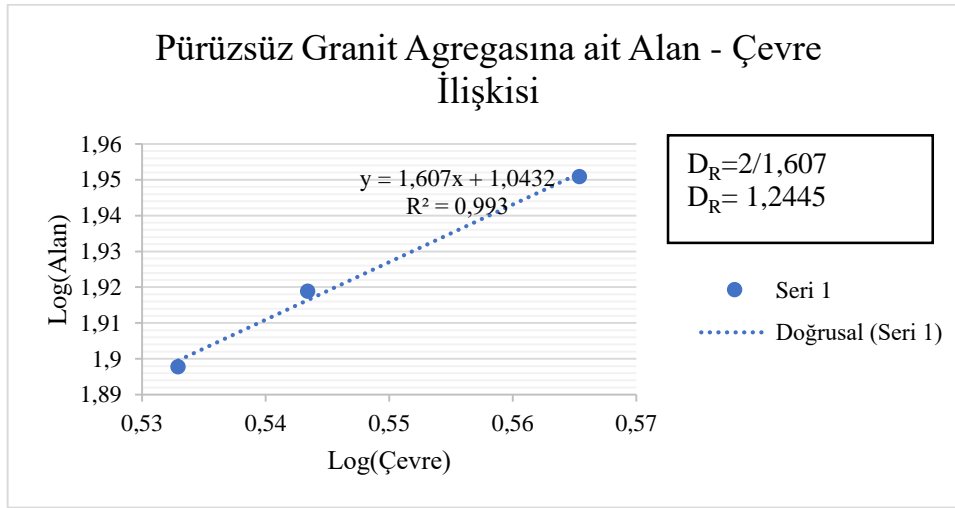
Pürüzlü Granit			
Alan (mm ²)	Çevre(mm)	Log(Alan)	Log(Çevre)
3,6102	79,663	0,557531262	1,901256657
3,5735	74,943	0,553093786	1,874731074
3,2915	70,998	0,517393859	1,851246115
Aşındırılmış Granit			
Alan (mm ²)	Çevre(mm)	Log(Alan)	Log(Çevre)
3,7532	94,274	0,574401708	1,974391934
3,097	67,174	0,490941205	1,82720121
3,2846	89,699	0,516482489	1,952787601
Pürüzsüz Granit			
Alan (mm ²)	Çevre(mm)	Log(Alan)	Log(Çevre)
3,4946	82,964	0,543397473	1,918889683
3,4112	79,031	0,532907183	1,897797477
3,6761	89,307	0,565387317	1,950885501



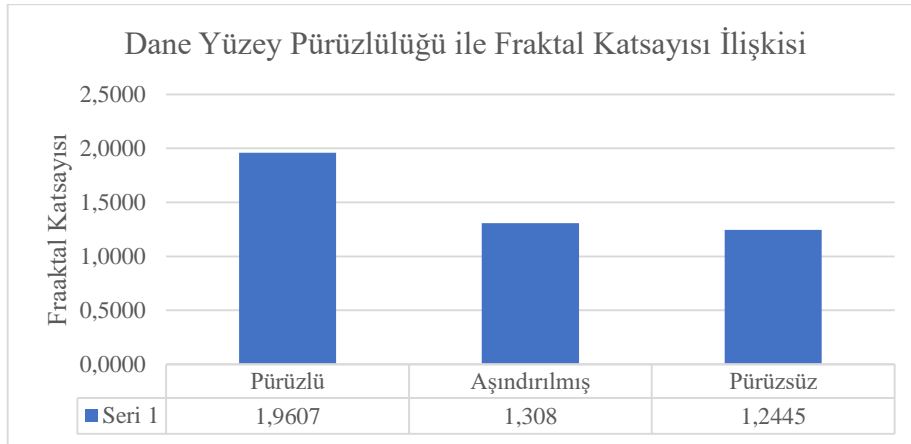
Şekil 5.23: Pürüzlü granit agregasının fraktal katsayısının bulunması.



Şekil 5.24: Aşındırılmış granit agregasının fraktal katsayısının bulunması.



Şekil 5.25: Pürüzsüz granit agregasının fraktal katsayısının bulunması.



Şekil 5.26: Granit pürüzlülük ile fraktal katsayısının karşılaştırmaları.

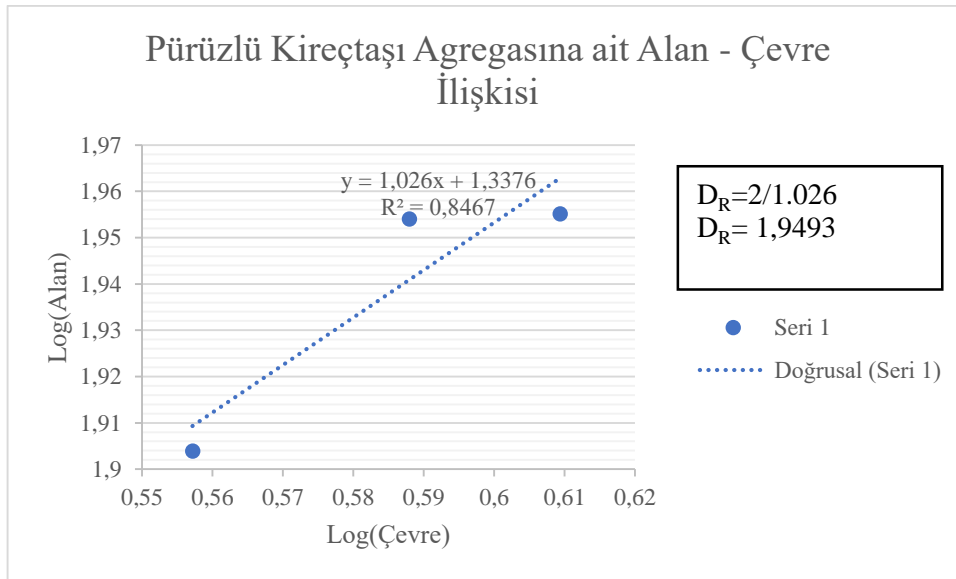
Kireçtaşı numunesinin pürüzlü, aşındırılmış ve pürüzsüz danelerinin fotoğrafları çekilmiş ve Matlap programında alan ve çevre değerleri hesaplanmıştır. Analiz sonucuna göre pürüzlü danenin fraktal boyutu 1'den en uzak, pürüzsüz daneye ait fraktal boyut 1'e en yakın, aşındırılmış danenin ise bu iki değer arasında çıkmaktadır.

Tablo 5.11: Kireçtaşı agregasının alan-çevre değerleri (4 - 8 mm).

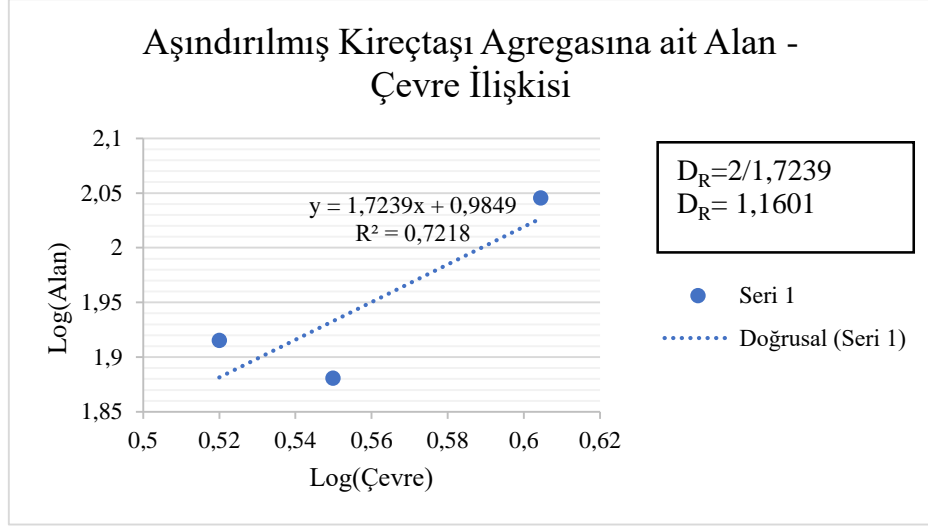
Pürüzlü Kireçtaşı			
Alan (mm ²)	Çevre(mm)	Log(Alan)	Log(Çevre)
4,07	90,18	0,609359592	1,955105415
3,87	89,96	0,587935349	1,954044619
3,61	80,15	0,557146142	1,90389269

Aşındırılmış Kireçtaşı			
Alan (mm ²)	Çevre(mm)	Log(Alan)	Log(Çevre)
3,55	75,97	0,549861188	1,88063641
3,31	82,25	0,520011644	1,915120066
4,02	111,03	0,604474459	2,045424694

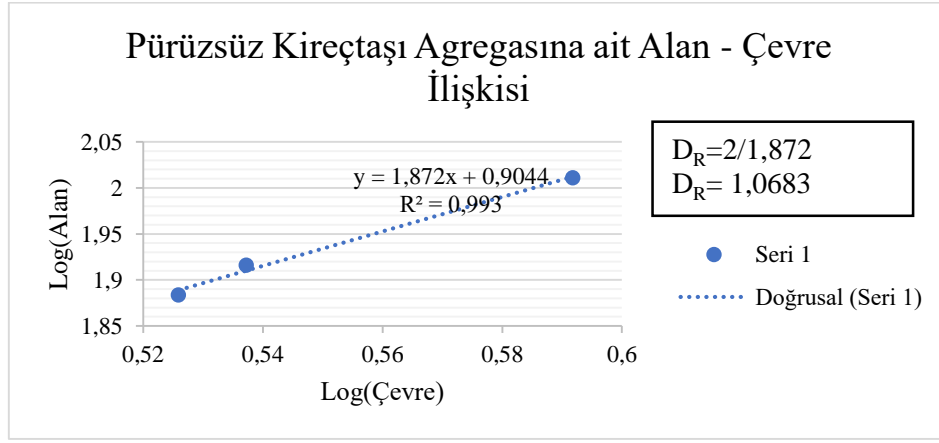
Pürüzsüz Kireçtaşı			
Alan (mm ²)	Çevre(mm)	Log(Alan)	Log(Çevre)
3,45	82,45	0,537264859	1,91616959
3,36	76,55	0,525886652	1,883945195
3,91	102,63	0,591810063	2,011270097



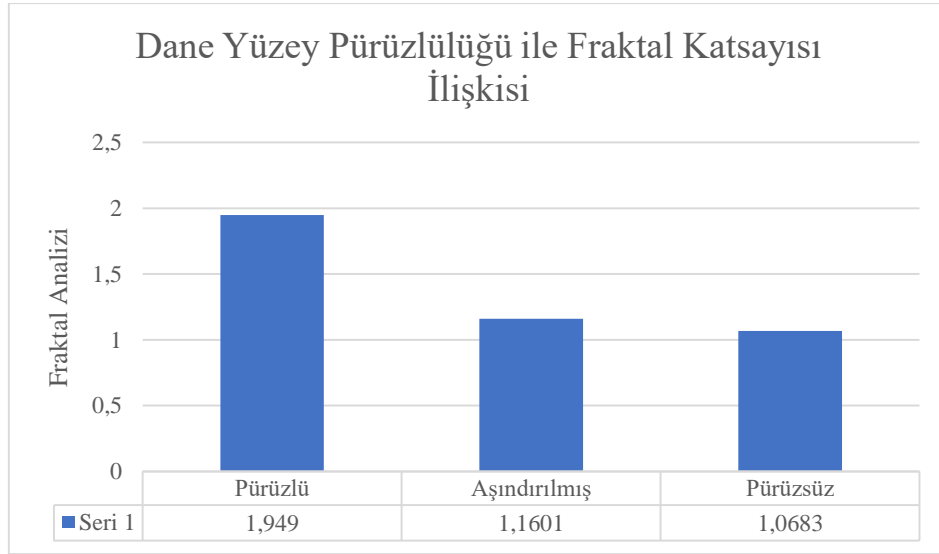
Şekil 5.27: Pürüzlü kireçtaşı agregasının fraktal katsayısının bulunması.



Şekil 5.28: Aşındırılmış kireçtaşı agregasının fraktal katsayısının bulunması.



Şekil 5.29: Pürüzsüz kireçtaşı agregasının fraktal katsayısının bulunması.



Şekil 5.30: Kireçtaşı - pürüzlülük ile fraktal katsayısının karşılaştırılmaları.

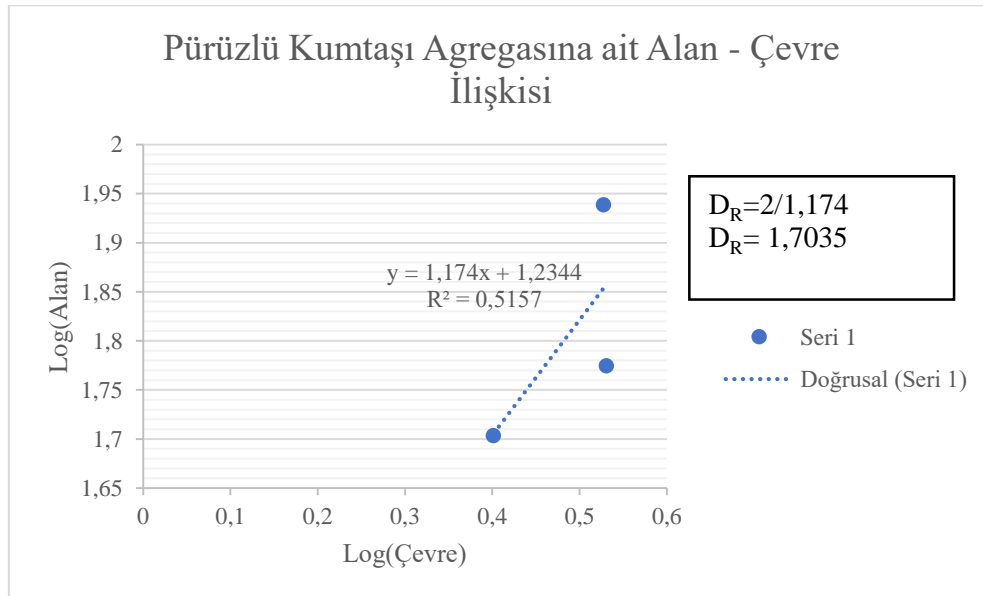
Kumtaşı numunesinin pürüzlü, aşındırılmış ve pürüzsüz danelerinin fotoğrafları çekilmiş ve Matlap programında alan ve çevre değerleri hesaplanmıştır. Analiz sonucuna göre pürüzlü danenin fraktal boyutu 1'den en uzak, pürüzsüz daneye ait fraktal boyut 1'e en yakın, aşındırılmış danenin ise bu iki değer arasında çıkmaktadır.

Tablo 5.12: Kumtaşı agregasının alan-çevre değerleri (4 - 8 mm).

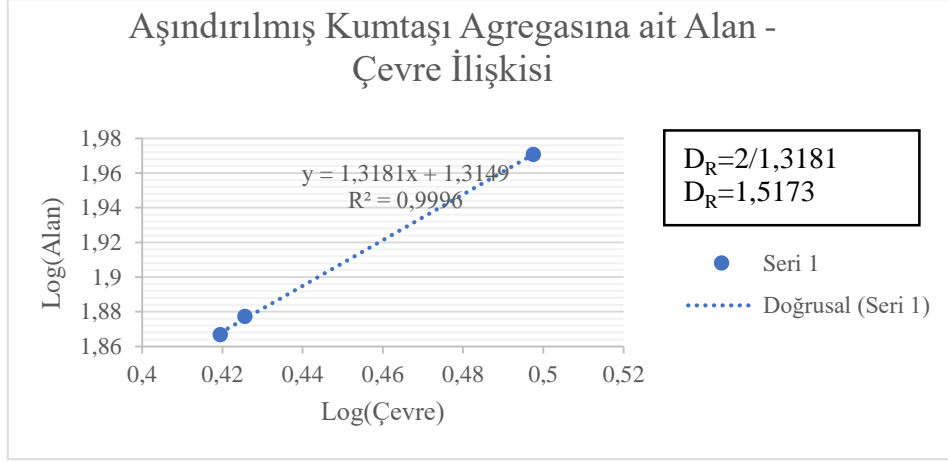
Pürüzlü Kumtaşı			
Alan (mm ²)	Çevre(mm)	Log(Alan)	Log(Çevre)
3,3929	59,49	0,53057	1,774443969
2,5196	50,533	0,40133	1,703575082
3,369	86,819	0,5275	1,938614779

Aşındırılmış Kumtaşı			
Alan (mm ²)	Çevre(mm)	Log(Alan)	Log(Çevre)
2,6647	75,379	0,42565	1,877250372
2,627	73,573	0,41946	1,866718465
3,1444	93,471	0,49754	1,970676889

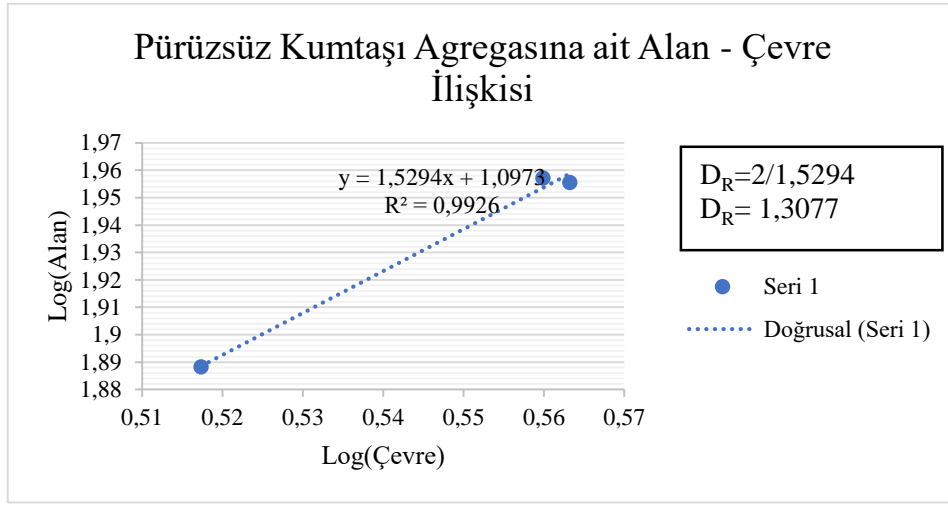
Pürüzsüz Kumtaşı			
Alan (mm ²)	Çevre(mm)	Log(Alan)	Log(Çevre)
3,6578	90,246	0,56322	1,955427962
3,6299	90,59	0,55989	1,95708026
3,2909	77,305	0,51731	1,888207585



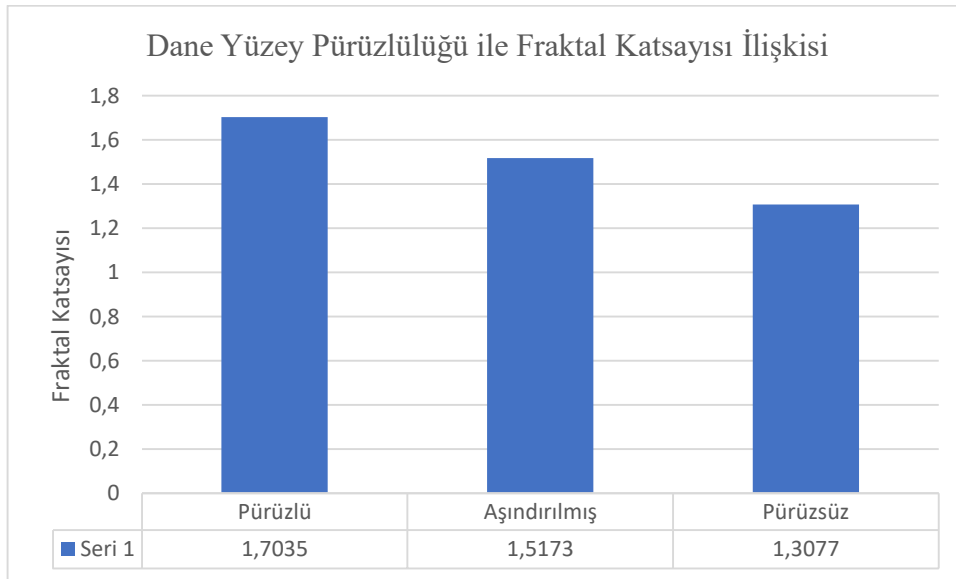
Şekil 5.31: Pürüzlü kumtaşı agregasının fraktal katsayısının bulunması.



Şekil 5.32: Aşındırılmış kumtaşı agregasının fraktal katsayısının bulunması.



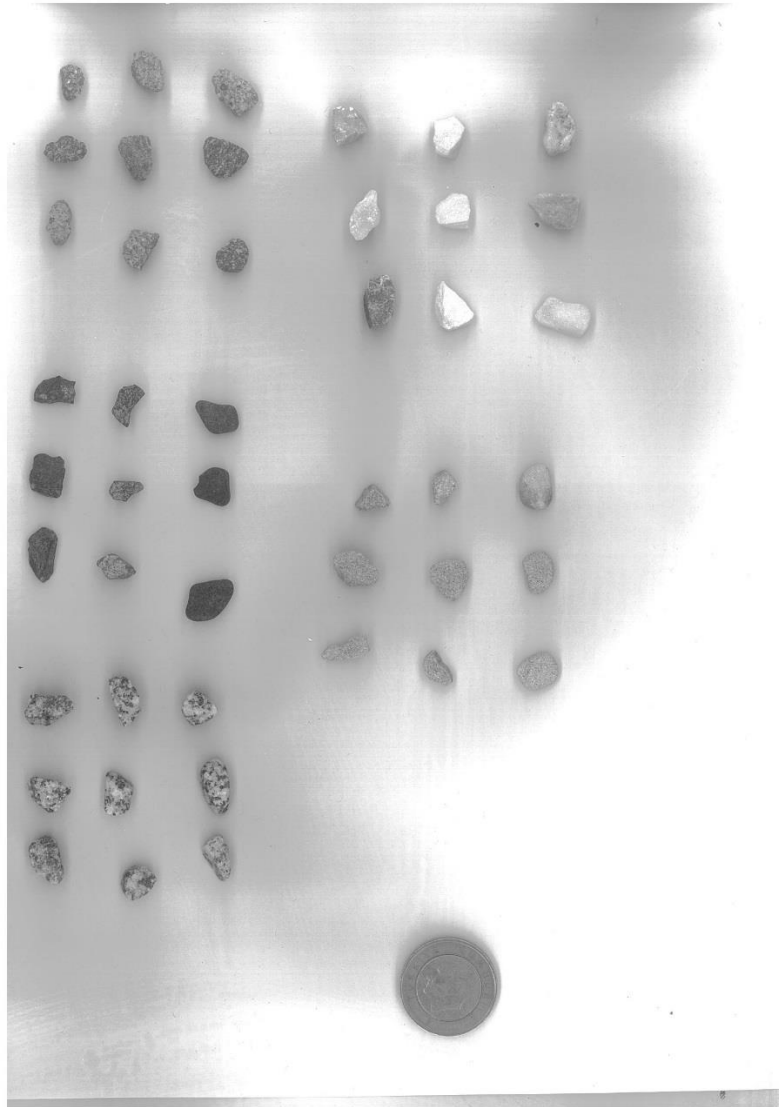
Şekil 5.33: Pürüzsüz kumtaşı agregasının fraktal katsayısının bulunması.



Şekil 5.34: Kumtaşı - pürüzlülük ile fraktal katsayısının karşılaştırılmaları.

Bu çalışmada Fraktal boyut kavramı yardımıyla pürüzlülük değerleri sayısallaştırılmıştır. Danelerin alan ve çevre değerleri hesaplanmış ve sonuçlar grafiklerle yorumlanmıştır. Fraktal katsayısı(D_R) 1'e ne kadar yakınsa dane o kadar pürüzsüz, D_R ne kadar 1'den uzaksa dane o kadar pürüzlüdür. Yapılan çalışmada kullanılan granüler malzemelerin D_R değerinin sonuçları danelerden oluşturulan yığınların duruş açılarıyla karşılaştırmıştır.

Andezit, Bazalt, Granit, Kireçtaşı ve Kumtaşlarına ait pürüzlü, aşındırılmış ve pürüzsüz daneler, fotokopi makinesi üzerinde taratılıp, fotoğraf üzerinden danelerin fraktal boyutları hesaplanmıştır(Şekil 3.5)



Şekil 5.35: Fraktal analizleri yapılan kayaç örnekleri.

6. SONUÇLAR

Bu çalışma granüler malzemelerin davranışının belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Farklı boy ve çaplara sahip granüler malzemelerden yığınlar oluşturulmuş ve bu yığınların duruş açıları belirlenmiştir. Andezit, Bazalt, Granit, Kireçtaşı, Kumtaşı kayaçlarından 0 – 2 mm, 2 – 4 mm, 4 – 8 mm, 8 – 10 mm ve 10 – 14 mm boyutlarında ince ve iri granüler malzemeler elde edilmiştir. Farklı çap ve litolojiye ait granüler malzemeler üzerinde Slump deney aleti kullanılarak, duruş açıları hesaplanmış ve aralarındaki ilişki incelenmiştir.

Pürüzlü dane, aşındırılmış dane ve pürüzsüz dane kullanılarak pürüzlülüğün duruş açısına etkisi hesaplanmıştır. Danelerin pürüzlülüğü arttıkça sürtünme arttığından dolayı duruş açısı da artmaktadır (Pürüzlü dane 33.46°, aşındırılmış dane 31.13°, pürüzsüz dane 29.16°).

Daneler suya doymun hale getirilerek nemin duruş açısına etkisi ölçülmüştür. Nem içeriği kohezyonu arttıracığından danelerin birbirlerine yapışması artacağından duruş açısı da artmaktadır (Nemli numune 32.48°, Kuru numune 31.12°).

Duruş açısının oluşturulduğu zeminin duruş açısına etkisi ölçülmüştür. Düz zemin ve pürüzlü zemin arasında duruş açıları karşılaştırılmıştır. Pürüzlü zeminde oluşturulan duruş açısı sürtünmeden kaynaklı olarak daha yüksek açı değeri göstermektedir (Düz Zemin 31.77°, Zımpara zemin 32.76°).

Agregalar iyi sıkıştırıldığı takdirde sağlamlığı, dayanıklılığı ve yüksek kayma direncinden dolayı yüksek duruş açıları vermektedir (Şişlenmiş agrega 33.14°, şişlenmemiş agrega 31.75°).

Deney sırasında; hem literatürdeki diğer yöntemlere göre daha basit ve kullanışlı olması hem de bir standart oluşturulması amacıyla Slump testi aleti kullanılmıştır.

Fraktal analizi; agregaların alan – çevre ilişkilerinden çıkarılmıştır. Pürüzlü yüzeylerin D_R değerleri 1 den uzak, pürüzsüz yüzeylerin değerleri ise 1' e yakın çıkmaktadır. Danenin pürüzlülüğü arttıkça sürtünme arttığından duruş açısı da artmaktadır (Pürüzlü $D_R:1,7035$, Aşındırılmış $D_R :1,5173$ Pürüzsüz $D_R :1,3077$).

Pürüzlülüğün duruş açısına etkisinin belirlenmesi için pürüzlü daneler üzerinde Los Angeles Parçalanma Deneyi yapılarak aşındırılmış numune, Micro Deval Aşınma Deneyi yapılarak pürüzsüz numune elde edilmiştir. Pürüzlü agregaların duruş açıları en yüksek değeri verirken, aşındırılmış agrega ve pürüzsüz agregaların duruş açı değerleri sırayla azalmaktadır. Danelerin pürüzlülüğü arttıkça sürtünme arttığından dolayı duruş açısı da artmaktadır. Ayrıca oluşturulan yığınların zeminlerinin pürüzlülüğünün duruş açısına etkisinin araştırılması için hem düz zeminde hem de pürüzlü zeminde yığınlar oluşturulmuş ve duruş açıları hesaplanmıştır. Düz zeminde oluşturulan yığınların duruş açı değerleri, pürüzlü zeminde oluşturulan yığınların duruş açılarından düşüktür.

Duruş açısı ve içsel sürtünme açısı arasında ilişki olup olmadığı incelenmiştir. 0 – 2 mm boyutundaki malzeme üzerinde Kesme Kutusu deneyi yapılmış ve sonuçları incelenmiştir. Bu çalışmaya göre içsel sürtünme açısı duruş açısından büyük çıkmaktadır.

Fraktal analizi; agregaların yüksek çözünürlükte fotoğrafları çekilmiş ve Matlab paket programı yardımıyla agregaların alan – çevre değerleri bulunmuştur. Alan-çevre metodu kullanılarak danelerin Fraktal katsayıları bulunmuş ve duruş açısıyla ilişkilendirilmiştir.

Pürüzlü yüzeylerin Fraktal katsayı (D_R) değerleri 1'den uzak, pürüzsüz yüzeyleri değerleri ise 1'e yakın çıkmaktadır. Bu çalışmada kullanılan granüler malzemelerin fraktal katsayıları danelerin alan ve çevre metoduna göre belirlenmiş ve danelerin pürüzlülük değerleri sayısallaştırılmıştır. Sonuçlara göre pürüzlü danelerin Fraktal katsayısı 1'den uzak, pürüzlü danelerin fraktal katsayısı 1'e yakın çıkmaktadır. Bunlara ek olarak danelerin köşelilik ve küresellik değerleri de bulunmuş ve danelerin yüzeyleri hakkında yorum yapılmıştır. Köşelilik ve küresellik değerleri bulunmuş ve yorumlanmıştır. Köşelilik ve küresellik değerleri 1'e yakın olan daneler yuvarlaklaşmış, 1'den uzak daneler ise köşeli veya az köşeli olarak değerlendirilmiştir.

7. KAYNAKLAR

- Ari, A. (2020). *Kum-Geosentetik arayüzeyi kayma direncine fraktal boyutunun etkisinin araştırılması* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 645013).
- Alias, R., Kasa, A. and Taha, M. R. (2014). Particle effect on shear strength of granular materials in Direct Shear Test. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation*, 8, 11.
- Al-Hashemi, H. M. and Bukhary, A. H. (2014). Correlation between California Bearing Ration (CBR) and angle of repose of granular soil. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 21(17), 5655 – 5660.
- Al-Hashemi, M.B.H. and Al-Amoudia, S.B.O. (2018). A review on the angle of repose of granular materials. *Powder Technology*, 330, 397–417.
- Arasan, S. (2011). *Görüntü analizi ile granüler zeminlerin bazı geoteknik özelliklerinin belirlenmesi* (Doktora Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 284223).
- Arasan, S. ve Yener, E. (2011). The Relationship between the angle of repose and shape properties of granular materials using image analysis. *2nd International Symposium on Computing in Science and Engineering*, At Kuşadası, Turkey.
- ASTM. (2000). *Standard test method for measuring the angle of repose of free-flowing mold ow*, USA.
- ASTM D3398-00. (2006). *Standard test method for index of aggregate particle shape and texture*, USA.
- ASTM D5821-13. (2017). *Standard test method for determining the percentage of fractured particles in coarse aggregate*, USA.
- Bhople, S., Kumar, A. and Haldkar, P. (2017). Effect of moisture content on angle of repose for different cereals and pulses. *International Journal of Chemical Studies*, 5(5), 2283-2286.
- Bodhmag, A. (2006). *Correlation between physical properties and flowability indicators for fine powders* (MS Thesis). University of Saskatchewan.
- Bowles, J.E. (1997). *Foundation analysis and design. 5th ed., McGraw-Hill, Inc., Singapore*

- Carrigy, M.A. (1970). Experiments on the angles of repose of granular materials, *Sedimentology*, 14, 147-158.
- Cavarretta, I. (2009). *The influence of particle characteristics on the engineering behaviour of granular materials* (Ph.D. Thesis). University of London.
- Chik, Z. and Vallejo, L. E. (2005). Characterization of the angle of repose of binary granular materials. *Canadian Geotechnical Journal*, 42, 683–692.
- Chukwu, O. and Akande, F.B. (2007). Development of an apparatus for measuring angle of repose of granular materials. *AU Journal of Technology*, 11(1), 62-66.
- Coulomb, C. (1776). Mémoires de mathématique et de physique, présentés à l'Académie royale des sciences. *Académie Royale Des Sciences par diver savans and lus dans ses Assemblies*, 7, 343 – 382.
- Dilek, U. (2000). *Effects of manufactured sand characteristics on properties of concrete* (Ph.D. Thesis). North Caroline State University.
- Dury, C.M., Ristow, G.H., Moss J.L. and Nakagawa, M. (1998). Boundary effects on the angle of repose in rotating cylinders. *Physical Review E*, 577, 4.
- Elton, J. D. (2015). Soil relaxing – angle of repose.
- Fitzpatrick, J.J. and Ahmé L. (2005). Food powder handling and processing: industry problems, knowledge barriers and research opportunities. *Chemical Engineering and Processing Intensification*, 44, 209-214.
- Fraczek, J., Złobecki, A. and Zemanek, J. (2007). Assessment of angle of repose of granular plant material using computer image analysis. *Journal of Food Engineering*, 83, 17-22.
- Hyslip, J. And Vallejo, E.V. (1997). Fractal analysis of the roughness and size distribution of granular materials. *Engineering Geology*, 48 (3), 231–244.
- Galloway, J. E. Jr. (1994). Grading, shape and surface properties, in significance of tests and properties of concrete and concrete-making materials. *ASTM Special Technical Publication No:169 C*, Philadelphia, 401-410.
- Ghazavi, M., Hosseini, M. and Mollanouri, M. (2008). A comparison between angle of repose and friction angle of sand. *The 12th International Conference of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG)*, 1-6 October, Goa, India.
- Khanal, M., Marc, E. M. and Adhikary, D. (2017). Effects of particle shapes to achieve angle of repose and force displacement behaviour on granular assembly. *Advanced Powder Technology*, 28(8), 1972-1976.

- Kolay, E. ve Kayabalı, K. (2005). Agregaların köşeliliğinin ve pürüzlülüğünün belirlenmesinde fraktal boyut yönteminin kullanılması. *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Dergisi*, 26 (2), 49-61.
- Kuo, C.Y., Rollings, R.S. and Lynch, L.N. (1998). Morphological study of coarse aggregates using image analysis. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 10 (3), 135-142.
- Kuo, C.Y. and Freeman, R. B. (2000). Imaging indices for quantification of shape, angularity, and surface texture of aggregates. *Transportation Research Board 79th Annual Meeting* (paper no: 000686), Washington, D.C.
- Lane, E.W. (1950). Angle of repose of noncohesive material, *Technical Report*.
- Lanzerstorfer, C. (2016). Dusts from dry off-gas cleaning: comparison of flowability determined by angle of repose and with shear cells. *Granular Matter*, 19, 58.
- Lee, J. and Herrmann, H.J. (1992). Angle of repose and angle of marginal stability: molecular dynamics of granular particles. *Journal of Physics A Mathematical General*, 26, 373-383.
- Liu, Z. (2011). *Measuring the angle of repose of granular systems using hollow cylinders*, Master's Thesis, University of Pittsburgh.
- Liu, Yi., Guo, Xiaolei., Lu, Haifeng. and Gong, Xin. (2015). An investigation of the effect of particle size on the flow behavior of pulverized coal. *Procedia Engineering*, 102, 698 – 713.
- Lobo-Guerrero, S. and Vallejo, L.E. (2010). Crushing of particles under simulated static and centrifuge forces. *GeoFlorida 2010: Advances in Analysis, Modeling & Design*, 550-559.
- Maroof, M.A., Mahboubi, A., Noorzad, A. and Safi, Y. (2019). A new approach to particle shape classification of granular materials. *Materials Science Transportation Geotechnics*, 100296.
- Masoudian, M.S., Zevgolis, L.E., Deliveris, A.V., Marshall, A.M., Heron, C.M. and Koukoulas, N.C. (2019). Stability and characterisation of spoil heaps in European surface lignite mines: a state-of-the-art review in light of new data. *Environmental Earth Sciences*, 78, 505.
- Metcalf, J.R. (1965). Angle of repose and internal friction. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 3, 155-161.
- Miller, R.L. and Byrne, R.J. (1965), The angle of repose for a single grain on a fixed rough bed, *Sedimentology*, 6, 303-314.

- Moraes da Gama, E., Henrique de Castro, M., Gomes, C. and Abbas da Gama, F. (2014). Experimental study of stockpiles of iron ore fines. *Geomaterials*, 4, 18-26.
- Nakashima, H., Shioji, Y., Kobayashi, T., Aoki, S., Hiroshi, S.H., Miyasaka, J. and Ohdoi, K. (2011). Determining the angle of repose of sand under low-gravity conditions using discrete element method. *Journal of Terremechanics*, 48, 17 – 26.
- Rackl, M., Grötsch, F.E. and Günthner, W.A. (2017). Angle of repose revisited: When is a heap a cone? *EPJ Web Conferences* 140.
- Rackl, M., Grötsch, F.E., Rusch, M. and Fottner, J. (2017). Qualitative and quantitative assessment of 3D-scanned bulk solid heap data. *Powder Technology*, 321, 105–118.
- Richard, P., Nicodemi, M., Delannay, R., Ribière, P. and Bideau, D. (2005). Slow relaxation and compaction of granular systems. *Nature Materials*, 4, 121–128.
- Rouse, P. (2014). Comparison of methods for the measurement of the angle of repose of granular materials. *Geotechnical Testing Journal*, 37 (1), 164-168.
- Rothenburg, L. and Bathurst, R.J. (1989). Observations on stress-force-fabric relationships in idealized granular materials. *Mechanics of Materials*, 9 (1), 65-80.
- Powers, M.C. (1953). A new roundness scale for sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Petrology*, 23 (2), 117-119.
- Samadani, A. and Kudrolli, A. (2001). Angle of repose and segregation in cohesive granular matter, *Physical Review E*, 64.
- Statham, I. (1974). The relationship of porosity and angle of repose to mixture proportions in assemblages of different sized materials. *Sedimentology*, 21, 149-162.
- Teferra, F. T. (2019). Engineering properties of food materials. *Handbook of farm, dairy and food machinery engineering*, 3, 45-89.
- Terzaghi, K. (1943), *Theoretical Soil Mechanics*.
- TSE (Türk Standartları Enstitüsü). (2000), *İnşaat mühendisliğinde zeminlerin sınıflandırılması*, TS 1500, ICS 93.020, Ankara.
- TSE (Türk Standartları Enstitüsü). (2010). *Beton – taze beton deneyleri – bölüm 2: çökme (slamp) deneyi*, TS EN 12350-2, Ankara.
- Uyar, A. ve Öztürk, D. (2017) Fraktal analizin yeryüzü araştırmalarında kullanılması, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(4): 147-155.
- Vallejo, L.E., Espitia, J.M. and Caicedo, B. (2017). The influence of the fractal particle size distribution on the mobility of dry granular materials. *EPJ Web of Conferences* 140, 03032.

- Yang, R.Y., Zou, R.P. and Yu, A.B. (2003). Microdynamic analysis of particle flow in a horizontal rotating drum. *Powder Technology*, 130, 138–146.
- Zaalouk, A. K. and Zabady, F. I. (2009). Effect of moisture content on angle of repose and friction coefficient of wheat grain. *Journal of Agricultural Engineering*, 26(1), 418-427.
- Zhoua, Y.C., Xu, B.H., Yua, A.B. and Zulli P. (2002). An experimental and numerical study of the angle of repose of coarse spheres. *Powder Technology*, 125, 45-54.
- Wang, J.J., Zhao, D., Liang, Y. and Wen, H.B. (2013). Angle of repose of landslide debris deposits induced by 2008 Sichuan Earthquake. *Engineering Geology*, 156, 103–110.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Mert Ali TAŞDEMİR

Doğum tarihi ve yeri : 22.03.1993 - Kars

e-posta : mertali.tasdemir@gmail.com

Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Y. Lisans	Balıkesir Üniversitesi / Jeoloji Mühendisliği	2021
Lisans	Dokuz Eylül Üniversitesi / Jeoloji Mühendisliği - İzmir	2017
Lise	Selim Latif Aras Anadolu Lisesi - Kars	2011