

## Killi Kırmataş ve Killi Doğal Çakılların Kayma Mukavemeti Davranışlarının Büyük Ölçekli Direk Kesme Deneyleriyle İncelemesi

Hasan Fırat PULAT\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi,  
İnşaat Mühendisliği, Bölümü, 35620, İzmir

(Alınış / Received: 26.04.2016, Kabul / Accepted: 28.11.2016,  
Online Yayınlanma / Published Online: 09.01.2017

**Anahtar Kelimeler**  
Büyük ölçekli  
direk kesme,  
Çakıl,  
Kayma dayanımı,  
Kırmataş,  
Kaolin

**Özet:** Belirli dane boyutlarına göre sınıflandırılan zeminler doğada genellikle çeşitli oranlarda karışım halinde bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında 3 farklı kompozisyonda hazırlanmış kil - çakıl numunelerinin kayma mukavemeti özellikleri büyük ölçekli direk kesme deneyleriyle incelenmiştir. Çakıl türünün, dane boyutunun, şeklinin ve pürüzlülüğünün kayma mukavemeti üzerindeki etkisinin incelenmesi amacıyla çeşitli dane dağılımına sahip kırmataş ve dere çakılları kaolin kiliyle belirli kompozisyonlarda karıştırılarak numuneler hazırlanmış, doymun durumda deneyleri yapılmıştır. Deneyler neticesinde kırmataş içeren aynı kompozisyondaki iki numuneden, iri dane dağılımlı numunenin %10 oranında daha büyük içsel sürtünme açısına sahip olduğu belirlenmiştir. Aynı kompozisyon ve dane dağılımına sahip iki numuneden kırmataş içeren numunenin, dere çakılı içeren numuneden %16 daha büyük içsel sürtünme açısına sahip olduğu belirlenmiştir.

## Investigation of Shear Strength Behavior of Clayey Crushed Stone and Clayey Natural Gravel with Large Scale Direct Shear Tests

**Keywords**  
Large scale direct  
shear,  
Gravel,  
Shear strength,  
Crushed stone,  
Kaoline

**Abstract:** Soils, classified according to their grain sizes, are generally in a mixture in various proportions in the nature. In this study, shear strength properties of clayey gravel samples which prepared in three different compositions were investigated with large scale direct shear tests. In order to investigate soil type, particle size, shape and roughness effects on shear strength properties, samples containing various grain sized gravel and kaoline clay were prepared and experiments were conducted in saturated condition. The results have shown that, crushed stone sample containing bigger grain size had 10% bigger internal friction angle than sample in same composition. It was observed that, crushed stone had 16% bigger internal friction angle than gravel sample prepared in same composition and grain sized.

\*Sorumlu yazar: hfirat.pulat@ikc.edu.tr

## 1. Giriş

Doğal yapıları içerisinde birçok farklı mühendislik özelliğini barındıran zeminlerin hizmet vereceği mühendislik fonksiyonuna uygun şekilde sınıflandırılması büyük önem teşkil etmektedir. Temel olarak geoteknik mühendisliğinde zeminler; çakıl, kum, silt ve kil olmak üzere dört ana başlıkta incelenirler ve bu zeminlerin geoteknik parametrelerinin belirlenmesi amacıyla geliştirilmiş birçok laboratuvar metodu ve kabul görmüş standartlar bulunmaktadır. Ancak etüd çalışmalarından elde edilen zemin numuneleri genellikle bir sınıfa ait olmayıp killi-kum, çakıllı-kum ve hatta çakıllı kum silt gibi çeşitli zemin türlerini bir arada bulundurmaktadır. Bahsi geçen karışık zeminlerin geoteknik özellikleri kompozisyon oranına, su içeriğine, boşluk oranına, ince daneli zeminin kimyasal özelliklerine (plastisite, aktivite, sensitivite), iri daneli zeminin mekanik özelliklerine (köşelilik, şekil, yüzey dokusu) bağlı olarak büyük farklılıklar gösterebilmektedir.

Karışık zeminlerin kayma mukavemeti davranışlarının incelenmesi amacıyla birçok araştırmacı çeşitli çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Miller ve Sowers ince ve iri daneli zemin karışımlarının kayma mukavemeti özelliklerini konsolidasyonlu drenajsız (CU) üç eksenli deneylerle incelemişlerdir [1]. Maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su içeriğinde hazırlanan farklı oranlardaki kum-kil karışımlarıyla yapılan deneyler sonucunda kohezyonsuz zeminin %67 oranına kadar içsel sürtünme açısında bir artışa neden olmadığını, sadece kohezyon değerinde ufak bir düşüğe neden olduğu rapor edilmiştir. Kohezyonsuz zemin oranının %67 - %74 arasında olduğu numunelerde içsel sürtünme açısı artarken, kohezyon değerinde büyük bir düşüş gözlenmiştir. Holtz ve Ellis maksimum dane boyu 76 mm'yi bulan kısmi doygun zeminler üzerinde çakıl

içeriğinin kayma mukavemeti üzerindeki etkilerini incelemiştir [2]. Yazarlar düşük normal gerilme etkisi altında (<100 kPa) ağırlıkça çakıl oranının %35 değerine kadar önemli bir değişiklik gözlenmediğini, %35 - %50 aralığında kayma mukavemetinde önemli bir artış olduğunu rapor etmişlerdir. Leps, yürüttüğü çalışmada çakıllı baraj dolgusunun içsel sürtünme açısının dane boyu, şekli ve yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak nasıl değişiklik gösterdiğini, düşük ve yüksek çevresel basınçlar altında test etmiştir [3]. Gerçekleştirilen üç eksenli deneyleri neticesinde efektif içsel sürtünme açısıyla, efektif normal gerilmeler arasında lineer bir ilişki görüldüğü belirtilmiştir. Ayrıca düşük normal gerilmeler altında dilatasyona bağlı yüksek kayma dayanımları elde edilirken, yüksek normal gerilmeler altında danelerin temas noktalarının kırılıp ezilmesi nedeniyle kayma dayanımları daha düşük değer almıştır. Vallejo ve Zhou kil kum karışımlarının 150 kPa normal gerilme etkisinde konsolidasyon ve kayma dayanımı davranışlarını incelemişlerdir [4]. Boncuk, kum ve kaolin kili karışımlarıyla yapılan deneylerde kumun hacimsel konsantrasyonunun %80 - %100 aralığında olması durumunda kayma dayanımını belirlediğini, %50 - %80 aralığında olduğunda kaolin kilinin ve kumun kayma mukavemeti üzerinde birlikte etkili olduğunu, ve %50'den az olduğunda ise kayma dayanımının tamamen kaolin kilinin etkisi altında olduğu rapor edilmiştir. Yağız, çakıl oranı ve şeklinin, kum çakıl karışımlarının sürtünme açısı ve kayma dayanımı üzerindeki etkilerini incelemiştir [5]. Kayma dayanımının tamamına yakın bir kısmını oluşturan sürtünme kuvvetlerinin; maksimum dane boyu, şekli, üniformluk katsayısı, yoğunluk ve normal gerilmeye bağlı olarak değiştiğini belirtmiştir. Aynı kompozisyonlarda köşeli ve yuvarlak çakıllarla yapılan deneyler sonucunda, köşeli çakıllar ile

yapılacak yol alt yapılarının daha kuvvetli ve duraylılığının daha yüksek olacağını vurgulamıştır. Li vd., dağlık bölgelerde sıklıkla karşılaşılan kil - çakıl karışımlarının kayma dayanımlarını 3 farklı kompozisyonda, 150 kPa normal gerilme etkisi altında, çakıl şekil ve pürüzlülüğüne bağlı olarak incelemiştir [6]. Çalışma sonucunda dane dağılım simetrisinin ve dane yüzey pürüzlülüğünün kayma dayanımı üzerinde önemli etkilere sahip olduğu belirtilmiştir. Artan pürüzlülüğün nihai içsel sürtünme açısını düşürürken, maksimum içsel sürtünme açısını arttırdığını ve danelerin boyuna uzanımının (elongation) nihai içsel sürtünme açısını arttırdığını, maksimum içsel sürtünme açısını düşürdüğünü vurgulamışlardır. Monkul ve Özden, kaolin ve kum karışımları ile yaptıkları ödometre deneyleriyle başlangıç koşulları, ince dane yüzdesi ve gerilme durumlarının sıkışma özelliği üzerindeki etkilerini incelemiştir. Yapılan deneyler dönüşüm ince yüzdesi (FC<sub>t</sub>: transition fines) değerine ulaşmaya kadar sıkışma davranışının kum danelerinin etkisinde olduğunu bu değer aşıldıktan sonra sıkışma davranışına kaolinin söz sahibi olduğu belirtilmiştir. Dönüşüm yüzde değerinin başlangıç koşulları, ince dane yüzdesi ve gerilme durumlarına bağlı olarak %19 ile %34 arasında değişiklik gösterdiğini rapor etmişlerdir. Gerçekleştirilen direk kesme deneyleri dönüşüm ince yüzdesi ile kayma mukavemeti arasında da benzer bir ilişkinin olduğunu göstermiştir [7].

Literatür araştırmaları sonucunda killi-çakıl zeminlerle yapılan çalışmaların diğer karışık zeminlerle yapılan çalışmalara kıyasla çok daha sınırlı sayıda olduğu belirlenmiştir. Bu durumun ortaya çıkmasında mevcut laboratuvar olanakları içerisinde kil - çakıl karışımlarıyla yapılacak deneylerin daha zorlu ve gerekli ekipmanların pahalı olması, ayrıca çakıllı zeminlerin kayma

mukavemeti parametrelerinin belirlenmesinin daha karmaşık ve uygulamada genel geçer kabul edilebilecek bir standarda sahip olmaması rol oynamıştır [8]. Yapılan birçok çalışmada numune içerisinde var olan çakıllar kullanılan ekipmanların boyut sınırlamalarına uymadığı için ya çıkarılmış ya da testlerde ve hesaplamalarda göz ardı edilmiştir [9, 10].

Bu çalışma kapsamında üç farklı kompozisyonda (%80 + %20, %60 + %40 ve %40 + %60) hazırlanmış kil - çakıl karışımlarının kayma mukavemeti davranışları incelenmiştir. İki farklı çakıl türü (dere çakılı ve kırmataş) ve iki farklı kırmataş boyutu (5-15 mm ve 15-25 mm) kullanılarak hazırlanan numunelerin, doymun durumda, üç farklı normal gerilme (49, 98 ve 196 kPa) etkisi altındaki deneyleri büyük ölçekli direk kesme sistemi ile yapılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Deneylerde kullanılan kaolin kili Omya Madencilik San. ve Tic. A.Ş. (İzmir-Kemalpaşa)'den temin edilmiştir. İki farklı dane boyutundaki kırmataş Manisa Gürle mevkiinde dolomitik kalker ocağı işleten Mıdırtaş A.Ş.'den, 5-15 mm dane aralığındaki doğal dere çakılı Dalaman bölgesinden temin edilmiştir. Çalışma süresince 5-15 mm dane aralığındaki dere çakılı Ç-I, 5-15 mm dane aralığındaki kırmataş Ç-II ve 15-25 mm dane aralığındaki kırmataş Ç-III şeklinde ifade edilmiştir. Laboratuvara getirilen malzemeler 105° C sabit sıcaklıkta kurutulduktan sonra laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Kompozisyon etkisinin kayma dayanımına etkisinin araştırılması amacıyla kil (K) ve çakıl (Ç) malzemeler %80Ç+%20K, %60Ç+%40K ve %40Ç+%60K kompozisyonlarında hazırlanmıştır.

Büyük ölçekli direk kesme deneylerinde kullanılan numunelerin çakıl dane dağılım aralığı, türü ve kil - çakıl karışım oranları Tablo 1’de özetlenmiştir.

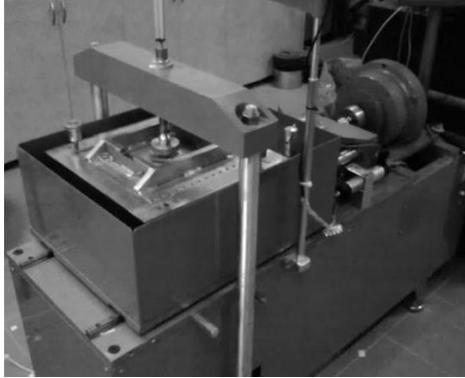
**Tablo 1.** Büyük ölçekli direk kesme deneylerinde kullanılan numunelerin özellikleri

Numune No	Çakıl	Çakıl Özellik	Çakıl (%)	Kaolin (%)
1	Ç-I	5-15 mm, doğal	80	20
2	Ç-II	5-15 mm, kırmataş	80	20
3	Ç-III	15-25 mm, kırmataş	80	20
4	Ç-I	5-15 mm, doğal	60	40
5	Ç-II	5-15 mm, kırmataş	60	40
6	Ç-III	15-25 mm, kırmataş	60	40
7	Ç-I	5-15 mm, doğal	40	60
8	Ç-II	5-15 mm, kırmataş	40	60
9	Ç-III	15-25 mm, kırmataş	40	60

## 2.2. Metot

Çalışmada kullanılan kaolin kilinin özgül ağırlık, kıvam limitleri, Standart Proctor ve modifiye şişme indeksi (MFSI) deneyleri yapılmıştır [11-15]. Elek analizi neticesinde ince dane (<0.075 mm) ve kil (<0.002 mm) yüzdeleri belirlenmiştir [16]. Kaolin kilinin minerolojik yapısının belirlenmesi amacıyla XRD analizi Celal Bayar Üniversitesi Deneysel Fen Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezinde yapılmıştır. Doğal çakıl ve kırmataş numunelerinin özgül ağırlık değerleri belirlenmiştir. Her kompozisyon için ayrı ayrı hazırlanan numunelerin maksimum ve minimum boşluk oranı değerleri laboratuvar deneyleriyle belirlenmiştir [17]. İki farklı tür çakıl (doğal ve kırmataş), iki çeşit dane boyu (Ç-II: 5-15 mm ve Ç-III: 15-25 mm) kullanılarak üç farklı kompozisyonda hazırlanan numunelerin direk kesme deneyleri doygun durumda, 0.06 mm/dak kesme hızıyla gerçekleştirilmiştir. Çeşitli normal gerilmeler etkisi altında gerçekleştirilen test deneyleri neticesinde 196 kPa’dan daha yüksek gerilmelerin (392 kPa) özellikle iri çakılların yapısında önemli deformasyonlara sebep olduğu ve dane dağılımını değiştirdiği belirlenmiştir. Bu nedenle büyük ölçekli direk kesme deneyleri 49, 98 ve 196 kPa’lık normal gerilmeler etkisinde yapılmıştır. Deneylerde benzer numuneler

hazırlanması amacıyla tüm numunelerin  $0.7e_{max} - 0.8e_{max}$  aralığında hazırlanmaları hedeflenmiştir. Hazırlanan test numuneleri sayesinde kesme kutusu içerisine yerleştirilecek tüm zemin karışımlarının aynı safhalardan geçirilerek istenilen boşluk oranı aralığında kalmaları sağlanmıştır. Kesme kutusu içerisine 3 katman halinde yerleştirilen numunelerde her katman tij yardımıyla 100 kez şişlenmiş sonrasında Standart Proctor tokmağının sağladığı sabit enerjiyle 50 kez tokmaklanarak hedeflenen numune yoğunluğuna ulaşılmıştır. Bu sayede numuneler aynı koşullar altında büyük ölçekli direk kesme deneylerine hazırlanmıştır. Otomatik bilgisayar kontrollü direk kesme sistemi 100 kN yatay ve 100 kN düşey yükleme kapasitesine sahiptir. Testler sırasındaki yatay ve düşey yöndeki deformasyonlar elektronik deformasyon ölçerler ile bilgisayar kontrollü kayıt altına alınmaktadır. Kare kesitli kesme kutusu 300 mm kenar uzunluğu, 150 mm’lik net numune yüksekliğine sahiptir (Şekil 1). Kullanılan sistemin maksimum kapasitesi, test deneyleri, literatür araştırmaları ve standartlardan edinilen bilgilere dayanarak direk kesme deneylerinin %20 eksenel deformasyonda ( $\epsilon_a=60$  mm/300 mm) sonlandırılması uygun görülmüştür [18].



**Şekil 1.** Büyük ölçekli direk kesme deney sistemi

### 3. Bulgular

Laboratuar çalışmaları sonucunda kullanılan malzemelerin fiziko - kimyasal özellikleri ve büyük ölçekli direk kesme deney sonuçları aşağıdaki bölümde verilmiştir.

#### 3.1. Malzemelerin fiziko-kimyasal özellikleri

Gerçekleştirilen laboratuar çalışmaları sonucunda kaolin kilinin ve Ç-I, Ç-II ve Ç-III numunelerinin fiziko kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Kaolin kiline ait mühendislik parametreleri Tablo 2'de özetlenmiştir.

**Tablo 3.** Çakıl numunelerinin temel mühendislik özellikleri

Özellikler	Ç-I	Ç-II	Ç-III
Maksimum dane boyu (mm)	15	15	25
Minimum dane boyu (mm)	5	5	15
Özgül ağırlık	2.78	2.72	2.73
Maksimum kuru yoğunluk (kN/m <sup>3</sup> )	18.3	17.6	16.9
Minimum kuru yoğunluk (kN/m <sup>3</sup> )	14.9	13.5	12.8
Mineroloji	-	Kalsit	Kalsit

Çakıllar ile yapılan laboratuar deneylerinden elde edilen sonuçlara göre dere çakılıının özgül ağırlık değeri kırma taşlardan daha büyük değer almıştır. Çakılların maksimum kuru yoğunluk değerleri 18.3 ile 16.9 kN/m<sup>3</sup> arasında, minimum kuru yoğunluk değeri 14.9 ile 12.8 kN/m<sup>3</sup> arasında değişiklik göstermiştir.

**Tablo 2.** Kaolin kilinin fiziko-kimyasal özellikleri

Özellikler	Kaolin
Özgül ağırlık	2.62
Likit limit (%)	41
Plastisite indeksi (%)	17
İnce malzeme oranı (%) (0.075 mm)	95
Kil oranı (%) (0.002 mm)	18
Optimum su içeriği (%)	18
Maksimum kuru bha (kN/m <sup>3</sup> )	15.8
Modifiye serbest şişme indeksi	2.73
Mineroloji	Kaolin, kuvars, alunit

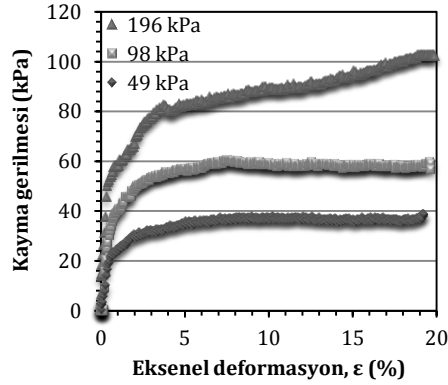
Deney sonuçlarından görüldüğü üzere kaolin kili düşük orta plastisiteli inorganik killer sınıfına dahildir. Yapılan modifiye şişme deneyleri sonucunda da kaolin kilinin şişme özelliği göstermediği belirlenmiştir. Elek analizi sonuçları kaolin kilinin neredeyse tamamının ince daneli zemin sınıfına ait olduğunu göstermiştir. XRD analizleri sonucunda kaolin kili hakim minerolojisinin kaolin, quartz ve alunite minerallerinden oluştuğu belirlenmiştir.

Ç-I, Ç-II ve Ç-III çakıllarına ait temel mühendislik özellikleri Tablo 3'te özetlenmiştir.

#### 3.2. Büyük ölçekli direk kesme deneyleri

Farklı mühendislik özelliklerinde hazırlanmış kil - çakıl karışımı numunelerin büyük ölçekli direk kesme deneyleri doygun durumda üç farklı normal gerilme etkisinde gerçekleştirilmiştir. Kompozisyon etkisinin kayma dayanımı üzerindeki

etkilerinin incelenmesi amacıyla üç farklı kompozisyonda hazırlanmış numuneler ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Şekil 2 büyük ölçekli direk kesme deneyi sonucunda elde edilen kayma gerilmesi ( $\tau$ ) - aksel deformasyon ( $\epsilon$ ) ilişkisini göstermektedir.

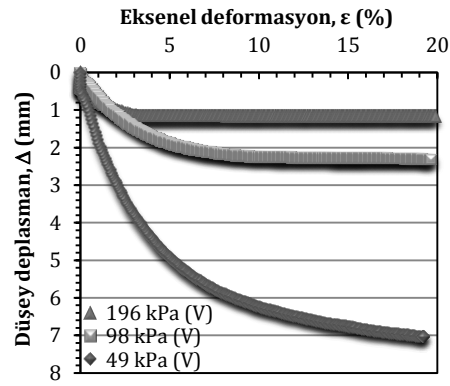


Şekil 2. Numune 9 (Ç-III %40 + Kaolin %60)  $\tau$  -  $\epsilon$  ilişkisi

Farklı normal gerilmeler etkisindeki numunelerin kayma gerilmeleri %5 aksel deformasyon değerine kadar büyük bir eğimle artmıştır. Bu değerden sonra küçük ve orta normal gerilmeler (49 ve 98 kPa) nihai bir değere ulaşırken, büyük normal gerilmelerde (196 kPa) küçük bir eğimle olsa da artış devam etmiştir.

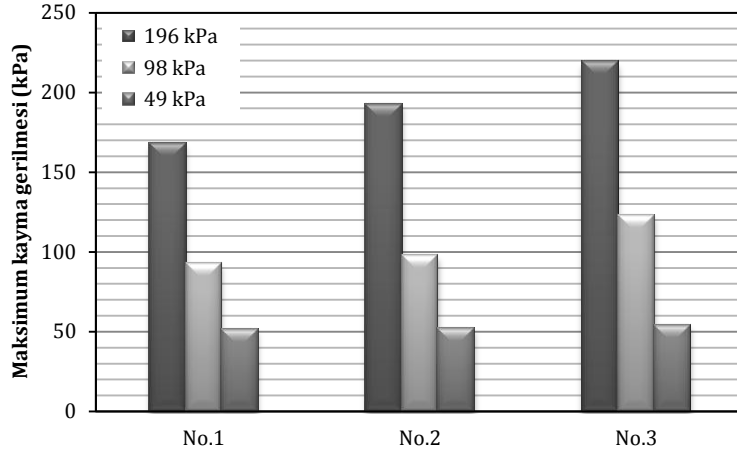
Deney süresince numunelerin yatay aksel deformasyon ( $\epsilon$ ) - düşey

deplasman ( $\Delta$ ) değerleri kayıt altına alınmıştır. Üç farklı normal gerilme değerine ait yanal deformasyon - düşey deplasman ilişkisi Şekil 3'te görülmektedir. En büyük düşey deplasman değerleri, en küçük normal gerilme değerinde (49 kPa) gözlenmiştir ( $\Delta_{49}=7.04$  mm). Sonraki kademelerde numunenin boşluk oranlarının azalmasına paralel olarak düşey deformasyon miktarı azalmıştır ( $\Delta_{98}=2.32$  ve  $\Delta_{196}=1.19$  mm).



Şekil 3. Numune 9 (Ç-III %40 + Kaolin %60)  $\Delta$  -  $\epsilon$  ilişkisi

Aynı kompozisyonda (Çakıl %80 + Kaolin %20) üç farklı özellikte çakıl kullanılarak gerçekleştirilen büyük ölçekli direk kesme deneylerinden elde edilen maksimum kayma gerilmesi değerleri Şekil 4'te verilmiştir.

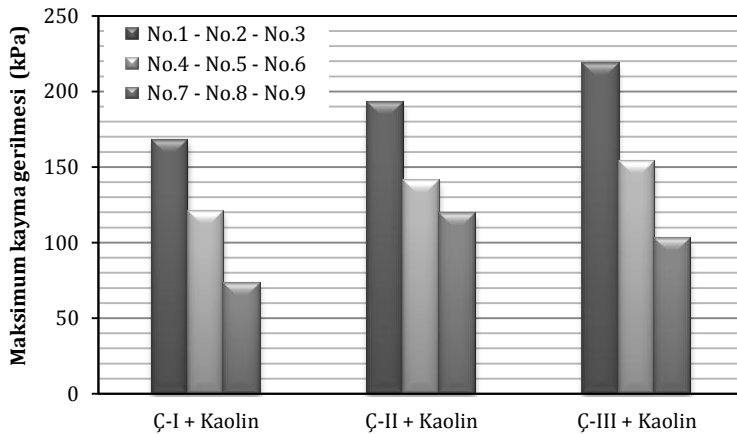


Şekil 4. Üç farklı çakıl ile aynı kompozisyonlarda hazırlanmış numunelerin kayma gerilmeleri

İri daneli çakıl (Ç-III [15-25 kırmataş]) kullanılarak hazırlanan Numune 3'ün maksimum kayma gerilmeleri üç normal gerilme değeri içinde diğer iki numuneden daha büyüktür. Bar grafikler incelendiğinde 49 kPa normal gerilme etkisi altında maksimum kayma gerilmelerinin ufak bir aralık içerisinde değişiklik gösterdiği ( $\tau_{maks.} = 54 - 52 - 51$  kPa) ancak normal gerilme değerinin artmasıyla aradaki farkın arttığı belirlenmiştir. Numunelerin aynı kompozisyonda hazırlandığı göz önüne alındığında; köşeli ve pürüzlü yapıya sahip kırmataşların, yuvarlak ve daha pürüzsüz yapıdaki dere çakılından daha yüksek kayma dayanımı değerlerine sahip oldukları aşikardır. Aynı

kompozisyon ve türde ancak farklı dane dağılımına sahip Numune 2 ve 3'ün orta ve yüksek normal gerilmeler etkisindeki maksimum kayma dayanımları incelendiğinde, daha büyük dane yapısına sahip Numune 3'ün %20 - 25 arasında daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmüştür.

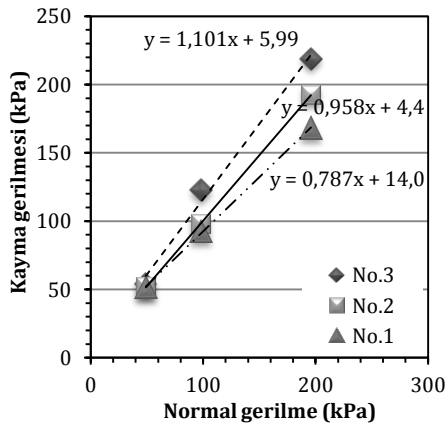
Kompozisyon oranının, kayma dayanımı üzerindeki etkilerinin incelenmesi amacıyla 196 kPa'lık normal gerilme etkisinde ve 3 farklı çakıl türü kullanılarak hazırlanmış numunelerin maksimum kayma gerilmesi değerleri Şekil 5'te özetlenmiştir.



Şekil 5. Kompozisyon oranı maksimum kayma gerilmeleri ilişkisi

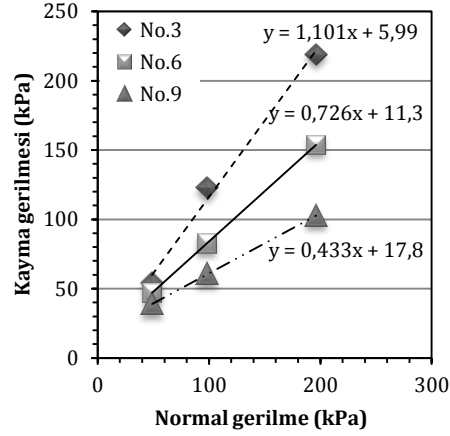
Numune içerisindeki çakıl oranının artması tüm numunelerin kayma gerilmesi değerlerine olumlu yansımıştır. Çakıl oranındaki artışlara en olumlu etki Çakıl I + Kaolin karışımlarında gözlenmiş %40'lık çakıl oranının %60'a yükseltilmesiyle maksimum kayma gerilmesinde yaklaşık %60 - 65'lik bir artış hesaplanmıştır. Diğer çakıl türlerinde bu artış %35 - %45 aralığında değer almıştır.

Aynı kompozisyonlarda farklı türdeki çakıllar kullanılarak hazırlanan numunelerin Mohr-Coulomb kayma zarfları oluşturulmuştur (Şekil 6). En büyük içsel sürtünme açısı büyük kırmataş kullanılarak hazırlanan Numune 3'e aittir, bunu sırasıyla Numune 2 ve Numune 1 takip etmiştir ( $\phi_{N,3} = 48^\circ > \phi_{N,2} = 44^\circ > \phi_{N,1} = 38^\circ$ ). Aynı dane boyutu aralığına sahip Numune 2 ve Numune 3'ün (5 - 15 mm) içsel sürtünme açıları karşılaştırıldığında, köşeli ve pürüzlü yapıya sahip olan kırmataşın daneler arası kilitlenme özelliğinin önemli bir etki yaptığı düşünülmektedir. Karışımların içerisinde %20 orana sahip olan kaolin kilinin kohezyon etkisi yuvarlak ve az pürüzlü yapıya sahip dere çakılında daha belirgin gözlenmiştir ( $c_{N,2} = 4 < c_{N,3} = 6 < c_{N,1} = 14$ ).



Şekil 6. Numune 1 - 2 - 3 kayma zarfları ve kayma dayanımı parametreleri

Kompozisyon etkisinin kayma dayanımı parametreleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi amacıyla aynı çakıl türüne ait farklı oranlarda çakıl içeren numunelerin kayma zarfları Şekil 7'de görülmektedir.

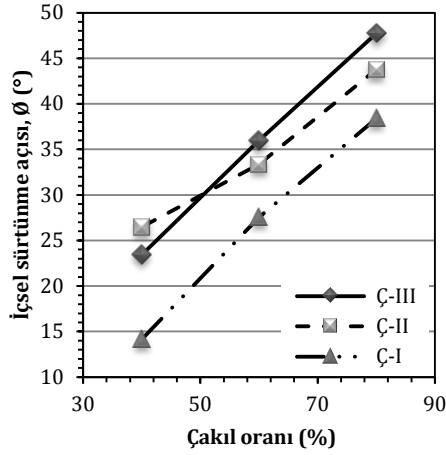


Şekil 7. Numune 3 - 6 - 9 kayma zarfları ve kayma dayanımı parametreleri

Çakıl oranında meydana gelen artış içsel sürtünme açısını önemli oranda arttırmıştır. Şekil 7'den görüldüğü üzere %40 çakıl oranına sahip Numune 9'un kayma zarfı oldukça düşük bir eğime ve diğer numunelere kıyasla yüksek bir kohezyon değerine sahiptir. Bu numune için, kayma dayanımı parametreleri kontrolünün karışım içerisindeki büyük yüzdeye sahip olan kaolin kiline ait olduğu görülmektedir. Çakıl oranının %40'tan %60 değerine çıkartıldığı Numune 6'da içsel sürtünme açısında önemli bir artış, kohezyon değerinde de bir düşüş gözlenmiştir. Son olarak %80 oranında çakıl içeren Numune 3'te kayma mukavemeti parametrelerinin kontrolü tamamen çakılın eline geçmiş, kohezyon oldukça düşük değer alırken içsel sürtünme açısı maksimum değerine ulaşmıştır.

Son olarak içsel sürtünme açıları ile çakıl oranları arasındaki ilişki Şekil 8'de özetlenmeye çalışılmıştır.





Şekil 8. Çakıl oranına bağlı içsel sürtünme açısı değişiklikleri

Şekil 8'den görüldüğü üzere hazırlanan numunelerdeki çakıl oranındaki artış içsel sürtünme açıları üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir. Tüm numuneler için çakıl oranındaki %100'lük artış (%40'tan %80'e) içsel sürtünme açılarında %70 ve üzeri bir artışa neden olmuştur.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışma kapsamında kil çakıl karışımlarının kayma mukavemeti özellikleri büyük ölçekli direk kesme deneyleriyle belirlenmiştir. İki çakıl türü ve iki farklı dane boyutu kullanılarak üç farklı kompozisyonda hazırlanan numunelerin deneyleri 49, 98 ve 196 kPa normal gerilmeler etkisinde doymun durumda gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler neticesinde köşeli ve pürüzlü yapıya sahip kırmataşların (Ç-II ve Ç-III) dere çakılına kıyasla daha yüksek maksimum kayma gerilmesi ve daha büyük içsel sürtünme açısı değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Aynı türde ancak farklı dane dağılımına sahip kırmataş ile hazırlanan numunelerde büyük dane boyutuna sahip numunenin (15 - 25 mm) içsel sürtünme açısı diğer numuneden %10 daha büyük değer almıştır ( $\phi_{N,3} = 48^\circ > \phi_{N,2} = 44^\circ$ ). Farklı türde ancak aynı dane dağılımına sahip çakıllar ile hazırlanmış numunelerin

içsel sürtünme açıları karşılaştırıldığında kırmataş ile hazırlanmış numunenin dere çakılıyla hazırlanmış numuneden %16 daha yüksek içsel sürtünme açısına sahip olduğu belirlenmiştir ( $\phi_{N,2} = 44^\circ > \phi_{N,1} = 38^\circ$ ). Karışımların içerisindeki kaolin kili varlığının bir sonucu olan kohezyon pürüzsüz ve yuvarlak yapıli dere çakılı üzerinde daha etkili olmuştur ( $c_{N,2} = 4 < c_{N,3} = 6 < c_{N,1} = 14$ ). Üç farklı kompozisyonda hazırlanan numunelerin kayma mukavemeti parametreleri incelendiğinde %40 çakıl oranına sahip numunelerin kayma mukavemeti parametrelerinin kaolin kilinin etkisinde olduğu, çakıl oranı %50'yi geçtikten sonra genel davranışın çakılın kontrolüne geçtiği ve %80 oranından sonra kaolinin varlığının neredeyse belirsiz olduğu ve davranışta tamamen çakıl varlığının rol oynadığı belirlenmiştir.

#### Kaynakça

- [1] Miller, E.A., Sowers, G.F. 1957. The Strength Characteristics of Soil-Aggregate Mixtures, *Highway Research Board Bull.*, Cilt. 183, s. 16-23.
- [2] Holtz, W.G., Ellis, W. 1961. Triaxial Shear Characteristics of Clayey Gravel Soils, Proc. of the 5<sup>th</sup> Intern. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., Paris, Cilt. 1, s. 143.
- [3] Leps, T.M. 1970. Review of Shearing Strength of Rockfill, Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, *Am. Soc. Of Civil Eng.*, Cilt. 96, No. SM4, Proc. Paper 7394, July, s. 1159-1170.
- [4] Vallejo, L.E., Zhou, Y. 1994. The Mechanical Properties of Simulated Soil-Rock Mixtures, Proc. of the 13<sup>th</sup> Intern. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., New Delhi, India, Cilt. 1, January 10, s. 365-368.

- [5] Yagiz S. 2001. Brief note on the influence of shape and percentage of gravel on the shear strength of sand and gravel mixtures, *Bull. Eng. Geol. Environ.*, Cilt. 60, s. 321-323.
- [6] Li, Y.R., Huang, R.Q., Chan, L.S., Chen, J. 2013. Effects of particle shape on shear strength of clay-gravel mixture. *J. Civil. Eng. KSCE*, Cilt. 17(4), s. 712-717.
- [7] Monkul, M.M., Ozden, G. 2007. Compressional behavior of clayey sand and transition fines content, *Engineering Geology*, Elsevier, 89(3-4), 195-205. (Ranked as 22nd in the Science Direct's Top 25 Hottest Articles list in Engineering Geology for Jan-March 2007).
- [8] Iannacchione, A.T., Vallejo, L.E. 1995. Factors Affecting the Slope Stability of Kentucky's Abandoned Mine Lands, Proc. Of the 35<sup>th</sup> U.S. Symp. On Rock Mech., Tahoe, NV, June 5-7, s. 837-842.
- [9] Iannacchione AT, Bhatt SK, Sefton J. 1994. Geotechnical Properties of Kentucky's AML Landslides and Slope Failure Evaluation, Proc. Of the Assoc. Of Aband. Land Progr, 16th Ann. Conf. Reclaiming for the Future, Park City, UT, Sept. 18-22, s.129-145.
- [10] Rathee, R.K. 1981. Shear Strength of Granular Soils and Its Prediction by Modelling Techniques, *Indian Geot. J.*, Cilt. 5, No 2, s. 98-113.
- [11] ASTM D854. 2014. Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [12] ASTM D4318. 2005. Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [13] ASTM-D 698. 2007. Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort, ASTM International, West Conshohocken, PA. DOI: 10.1520/D0698-07E01.
- [14] ASTM D5890-11. 2011. Standard Test Method for Swell Index of Clay Mineral Component of Geosynthetic Clay Liners, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [15] Sivapullaiah, P.V., Sitharam, T.G., Rao, K.S.S. 1987. Modified free swell index for clays, *Geotechnical Testing Journal* Cilt. 10(2), s. 80-85.
- [16] ASTM D6913. 2009. Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [17] ASTM D4253. 2014. Standard Test Methods for Maximum Index Density and Unit Weight of Soils Using a Vibratory Table, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [18] ASTM D3080. 2011. Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions, ASTM International, West Conshohocken, PA.