



Burak Görgün
Nazile Ural

Bilecik Şeyh Edebali University, Bilecik-Turkey
burak.gorgun@bilecik.edu.tr; nazile.ural@bilecik.edu.tr

DOI	http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2018.13.4.1A0424	
ORCID ID	0000-0002-7681-863X	0000-0002-2268-842X
CORRESPONDING AUTHOR	Burak Görgün	

VEYN KESME DENEYİ İLE SİTLİ ZEMİNLERİN KAYMA DAYANIMINA KİL YÜZDESİNİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

ÖZ

Bu çalışmada, kilin siltli zeminlerin kohezyon (c) değerleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Siltli zeminler çoğunlukla düşük mukavemetli ve problemlili zeminler olarak karşımıza çıkmaktadır. Deney numuneleri silte farklı yüzdelerde kil (%10, %20, %30, %40, %50) ilave edilerek bulamaç çamuru yöntemi ile hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler üzerinde laboratuvar tipi veyn deneyi yapılmış ve siltli zeminlerin kesme direnci parametrelerinden kohezyon (c) değerlerinin kil yüzdesinin artmasıyla arttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Laboratuvar Veyn Kesme Deneyi,
Kayma Dayanımı, Silt, Kil, Geoteknik

INVESTIGATION EFFECT OF CLAY PERCENTAGE ON SHEAR STRENGTH OF SILTY SOILS BY LABORATORY TYPE VANE SHEAR TEST

ABSTRACT

In this study, the effect of the clay on cohesion (c) of silty soils was examined. Silt soils are mostly confronted as low strength and problematic soils. Samples were prepared by adding clay in different percentages (10%, 20%, 30%, 40%, 50%) to silt slurry sludge method. Experiments were carried out on the prepared specimens and it has been seen that the cohesion (c) values of the silty soils cutting resistance parameters increase with the increase of the clay percentage.

Keywords: Laboratory Vane Shear Test, Shear Strength, Silt,
Clay, Geotechnical

How to Cite:

Görgün, B. ve Ural, N., (2018). Veyn Kesme Deneyi İle Siltli Zeminlerin Kayma Dayanımına Kil Yüzdesinin Etkisinin İncelenmesi, **Engineering Sciences (NWSAENS)**, 13(4):334-343, DOI: 10.12739/NWSA.2018.13.4.1A0424.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Zeminlerin kayma direncinin bilinmesi geoteknik mühendisliği uygulamalarında çok önemlidir. Temellerin taşıma kapasitesi, şev stabilitesi, dayanma duvarı, kaldırım gibi projelerde kayma direnci etkili olmaktadır [1]. Bir zemine ait kayma direncinin belirlenebilmesi için, o zemin kütlesine uygulanan en yüksek kayma gerilmesinin bilinmesi gerekmektedir. Kayma düzlemi boyunca kayma yenilmesine sebep olan kayma gerilmeleri o zeminin taşıyabileceği en yüksek kayma gerilmesidir. Buna göre kayma mukavemeti sınır değerdir yani bu sınır değerde zemin plastik denge durumuna gelmektedir. Plastik denge durumuna gelen zeminde kalıcı deformasyonlar oluşmakta ve artan deformasyonlar sonucunda yenilme durumu gerçekleşmektedir. Depremler, dalgalar, rüzgârlar, makine titreşimleri, bombaların patlaması gibi olaylar zeminlerde gelişigüzel titreşimler oluşmasına yol açmaktadır. Zeminde oluşan bu dinamik yükler farklı kayma gerilmeleri oluşmasına sebep olmaktadır. Tekrarlı gerilmeler altında zeminlerin davranışlarını incelenirken iki konu önem kazanmaktadır. Bunlardan biri tekrarlı kayma gerilmeleri altında zeminlere ait kayma dirençleri diğeri ise zeminlerin gerilme şekil değiştirme özellikleridir [2]. Bu nedenle kayma gerilmelerine maruz kalma olasılığı olan yapılarda, bu yapılara etki eden kayma gerilmelerine karşı kayma dirençlerinin bilinmesi ve projelerin buna göre modellenmesini gerekmektedir. Farklı tipteki zeminlerin kayma direncinin belirlenmesi bu açıdan oldukça önemlidir.

Bayoğlu (1995) çalışmasında kum ve kil karışımlarının kayma dayanımı ve sıkışabilme özelliklerini incelemiştir. İçerisinde hiç ince dane içermeyen saf kumu kullanarak bu kuma farklı oranlarda silt-kil karışımı eklenmiştir. Bu sayede farklı yüzdelerde karıştırılan kum ve ince daneli zemin oranlarının değişiminin kayma dayanımına ve sıkışma ile oturma özelliklerini etkisi araştırılmıştır. Araştırmacı drenajlı direkt kesme deneyleri yapılan çalışmada zemin numunesi elastik bölgedeyken 30-38 derece değerleri arasında görülen kayma direnci açısı ve deformasyonların artmasıyla plastik bölgeye ulaşan zeminde kayma değeri açısındaki düşme çok belirginleşerek 10 dereceler düzeyine kadar inebildiğini söylemiştir. %35, %50, %75, %100 oranında ince daneli zemin içeren karışımlarda yapılan drenajsız üç eksenli basınç deneylerinde ince malzeme oranından bağımsız olarak kayma dayanımı açılarının yakın değerler verdiğini ifade etmiştir [3].

Hoeg ve ark. (2000) aynı boşluk oranı ve çevre basıncında silt ve siltli kumların örselenmemiş ve laboratuvarda hazırlanmış numunelerle drenajsız gerilme-deformasyon-direnç davranışlarının farklılıklarını belirlemek üzere deneyler yapmışlardır. Örselenmemiş numunelerde genişleme ve yumuşama görülürken, aynı yoğunlukta hazırlanan numunelerin birkaç tanesinde büzülme, daha düşük direnç ve kolay kırılabilir davranış görülmektedir. Bu çalışmada hidrolik dolgu olarak kullanılan siltli kumun yanında flüvial silt birikintilerinden ıslak sıkıştırma yöntemiyle numune hazırlanmıştır. Ayrıca karşılaştırma yapabilmek için diğer numune hazırlama yöntemleri olan bulamaç ve suda yağmurlama yöntemiyle de numune hazırlanmıştır. Çalışma sonucunda, örselenmemiş numunelerde genişleme ve yumuşama görülürken, aynı yoğunlukta hazırlanan numunelerin birkaç tanesinde büzülme, daha düşük direnç ve kolay kırılabilir davranış görülmüştür [4]. Vallejo ve Mawby (2000) çalışmasında kum-kil karışımlarındaki kayma direncini değişiminin, iri ve ince daneli zeminlere göre hangi aralıklarda kontrol edildiğini incelemişlerdir. Yapmış oldukları çalışmaya göre içerisinde iri dane oranı %75'ten fazla olan karışımlarda kayma direncinin iri daneler tarafından, iri dane oranı %40'dan az ise kayma direncinin ince daneler tarafından, karışımdaki iri dane oranının %40-75 arasında olması durumunda ise hem iri daneli

olan kum hem de ince daneli kil tarafından sağlandığını söylemişlerdir [5].

Carraro (2004) çalışmasında plastik ve plastik olmayan incelerin farklı yüzdelerde kuma ilave edilerek laboratuarda statik ve dinamik davranışları incelemiştir. Yapılan deneylerde kullanılan numuneler ince içerikli kumun homojen bir numune olması için bulamaç çamuru yöntemiyle hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin homojen olması, başlangıç doygunluk derecesinin yüksek olması, doğal zemin depozitlerine benzer hazırlanması nedeniyle tercih edilmiştir [6]. Yamamuro ve Wood (2004) çalışmasında kum ile siltlerin drenajsız davranışında ve mikro yapısında birikme yöntemlerinin etkisini incelemiştir. Bu çalışmada, kuru huniden geçirme, suda biriktirme, bulamaç çamuru, kuru karışımı biriktirme ve havada yağmurlama yöntemleri olmak üzere çalışılmıştır. Yapılan drenajsız üç eksenli deney sonuçlarından, hazırlama yöntemlerinin deney sonuçlarını çok etkilediği görülmüştür. Islak biriktirme yöntemleri daha çok hacimsel genişleme veya stabil davranışı gösterirken, kuru yöntemler daha çok büzülme veya stabil olmayan davranış sergilemektedirler [7].

Kumar ve ark. (2006) çalışmalarında, %0-12 arasında değişen kum oranlarına sahip kum ve kil karışımlarını kullanarak serbest basınç deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmalar sonucunda kayma direncinin %10 kum içeren karışıma kadar arttığını ve ancak karışımlarda kum oranı yükseldikçe kayma direncinin azaldığını söylemişlerdir. Tüm karışımlardan elde edilen sonuca göre pik kayma direnci ve maksimum drenajsız kayma mukavemeti %10 içeren karışımda tespit edilmiştir [8].

Güven (2007) çalışmasında, dane boyutunun etkisini gözlemlemek amacıyla yüksek plastisiteye sahip bir kil zeminde ince, orta ve kaba kum katılmasıyla kayma parametreleri ile kilin geoteknik özelliklerindeki değişimi incelemiştir. Üç eksenli basınç ve kesme kutusu deneyleri yapılan çalışmada ince, orta ve kaba kum katılmasının belirli bir eşik değere kadar kil zeminde kohezyonu arttırdığı gözlenmiştir. Bu eşik değer %25 kum katılmasıyla oluştuğu, numunelerdeki kum miktarı arttıkça zeminin kohezyon değerinde ise düşüş olduğu gözlenmiştir. Ayrıca karışımlardaki kum miktarının artması numunede optimum su muhtevasını düşürürken, kuru birim hacim ağırlığının ise artmasını sağlamıştır [9].

Alagöz (2008) kil zemin içerisindeki kum miktarının zeminin kayma parametrelerine etkisini incelemek amacıyla deneyler gerçekleştirmiştir. Yapılan deneyler sonucunda serbest basınç deneyinde en yüksek serbest basınç dayanımı içerisinde kum bulundurmayan %100 kil zeminde olduğu en düşük dayanımın ise içerisinde kil bulundurmayan %100 kum zeminde olduğu görülmüştür. Serbest basınç dayanımı deneyinde karışımların içerisindeki kum oranı %50 oluncaya kadar numunelerdeki drenajsız kayma mukavemetindeki azalışın oldukça az olduğu ancak bu oranının üzerindeki kum içeren numunelerde ise serbest basınç dayanımında önemli azalmalar meydana geldiği görülmüştür. Aynı şekilde direk basit kesme deneyinde de karışımlardaki kum yüzdesinin artmasıyla numunelerin mukavemetinde azalma olduğu gözlenmiştir. Numunelerin içerisindeki kum oranı %60'a ulaşıncaya kadar bu azalma çok etkili değilken kum içeriğinin %60'tan fazla olması durumunda mukavemet önemli derecede ve ani azalma eğilimi göstermiştir [10].

Ölmez (2008) çalışmasında kum zeminde bulunan ince daneli zemin miktarının, numunelerdeki kayma dayanımına etkisini incelemiştir. Farklı yüzdelerde ince dane içeren kum zeminlerde drenajlı direk kesme ve drenajsız üç eksenli basınç deneyleri yapılmıştır. Araştırma sonucunda %20 kaolin kili ve %80 kum karışımının eşik nokta olduğu gözlenmiştir. Numuneler içerisindeki ince daneli zemin miktarı bu eşik noktanın üzerinde olduğunda yani numunelerdeki kil oranı arttıkça

drenajsız kayma gerilmesinde düşüş gözlenmiştir [11]. Batman (2015) çalışmasında iki farklı kil numunesine ağırlıkça %10, %20, %30 ve %50 oranlarında kuvars kumu ekleyerek numunelerde kum yüzdesi artışının etkisini incelemiştir. Yapmış olduğu çalışma sonucunda, kum yüzdesi artan numuneler mukavemetinin arttırdığı görülmüştür. Kil zemine kuvars kumu katılmasıyla zemin sınıfının yüksek plastisiteden düşük plastisiteye geçtiğini ve bunun kayma mukavemetini arttırdığını belirtmiştir [12]. Stefaniak (2015) yaptığı çalışmada Polonya'nın Poznań bölgesinden alınan silt zeminleri kullanarak laboratuvarında Veyn deneyi ile üç eksenli deneyleri gerçekleştirmiştir. Yaptığı çalışma sonucunda silt zeminlerin kayma direncinin belirlenmesinde hem üç eksenli hem de Veyn deneyinin benzer sonuçlar verdiğini söylemiştir. Ayrıca araştırmacı laboratuvarında elde ettiği sonuçları kullanarak arazide kayma direnci bulunurken kullanılan koni penetrasyon testi (CPT) için katsayılar önermiştir. Araştırmacı siltli zeminlerin kayma direncini etkileyen önemli parametrelerden birinin siltin çimentolama derecesi olduğunu ifade etmiştir [13]. Chacko ve Jacop (2018) Hindistan'da yer alan Kuttand bölgesinden elde ettikleri siltli kil zeminlere ait numunelerle laboratuvar Veyn deneyi gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında zeminlerin likidite indisinin kayma direnci üzerine etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla farklı su muhtevalarında hazırladıkları 60 adet örselenmiş numune kullanarak laboratuvarında Veyn deneyi gerçekleştirerek zeminleri kayma direncini bulmuşlardır. Çalışmalarında elde ettikleri sonuçları kullanarak zeminlerin likidite indisi ve kayma direnci arasında doğrudan bir ilişki olduğunu bulmuşlardır [14]. Bu çalışmada, geoteknik mühendisliğinde problemlili zeminlerden birisi olan siltli zeminlerin kesme direnci parametrelerine kilin etkisi, laboratuvar tipi Veyn deneyiyle incelenmiştir.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Ülkemizde ve dünyada eski çağlardan beri deprem, heyalan, çığ gibi çok ciddi oranda can ve mal kayıplarına sebep olan afetler zeminlerde kayma gerilmeleri oluşturmakta ve zeminlerin kayma direncinin aşılmasıyla yenilmesine sebep olmaktadır. Kayma direnci düşük olan siltli zeminler geoteknik mühendisliğinde en problemlili zeminlerden birisidir. Silt zemin çoğunlukla dayanımı düşük; taşıma gücü ve oturma problemlerine sahip bir zemin türüdür. Silt daneleri yeterince küçük olduklarından çok uzaklara, su veya hava yoluyla çok kolay taşınabilmektedirler. Bu taşınarak depolanan malzemeler çökeller oluşturmaktadır. Yerleşim yerlerinin silt zeminler üzerinde olduğu durumlarda silt zeminin düşük kayma mukavemeti ve değişken özelliklere sahip olmasından dolayı kayma gerilmelerine maruz kaldığında problem oluşturma olasılıkları bulunmaktadır. Ülkemizde yaşanan 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde 17480 kişi canını yitirmiş, 43953 kişi yaralanmış 675000 kişi evsiz kalmış ve 13 milyon dolarlık maddi kayıp oluşmuştur. Özellikle en çok ölümün yaşandığı yer olan Kocaeli ve Adapazarı'nın zemin sınıfı incelendiğinde bu zeminlerin silt olduğu görülmektedir [15]. Bu çalışmada kullanılacak olan silt malzemesi 1999 Kocaeli depreminde zemin problemlerinin çok görüldüğü Adapazarı'ndan temin edilmiştir. Günümüzde yapılan çalışmalar depremlerin belirli periyotlarda gerçekleştiğini ortaya koymaktadır [16]. Bu sebeple Adapazarı zeminin kayma direncinin belirlenmesi ve bu direncin arttırılması için gerekli olan parametrelerin bilinmesi, oluşabilecek felaketlerin önlenmesi açısından oldukça önemlidir.

3. DENEYSSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

Bu çalışmada kullanılan silt, Adapazarı kent merkezinden temin edilmiştir (Şekil 1). Silt kurutulup, elendikten sonra kullanılmıştır.

Kil çuvalalarda, toprak halinde temin edilmiştir. Bu sebeple kil öncelikle ezilip, elendikten sonra deneye hazır hale getirilmiştir (Şekil 2). Öncelikli olarak, deneylere başlamadan önce Adapazarı'ndan temin edilen silt zemin ve farklı yüzdelerdeki kil zemin tartılarak karışımlar hazırlanmıştır. Kil zeminler plastik tokmak ve merdaneler yardımıyla istenilen boyuta getirilerek karışımlar hazırlanmıştır. Zeminlerde yapılan laboratuvar deneyleri hem araştırma hem de tasarım amaçları için geoteknik mühendisliğin önemli bir parçasıdır. Numune hazırlama yöntemi yapılacak olan deneylerin doğru modellenmesi için kritik bir öneme sahiptir. Siltli zemin numuneleriyle ilgili çalışmalarda genellikle ıslak tokmaklama yöntemiyle hazırlanan numuneler üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Nacci ve D'andrea's Technique (1976), laboratuvar şartlarında gevşek tabakalı silt numunelerini çalışmıştır ve deneylerde kullanılmak üzere hazırlanan numunelerle ilgili bir prosedür hazırlamıştır [17]. Buna göre zemin numunesi 0.1N NaCl solüsyonuyla hazırlanmakta ve 0.5kg/cm² basınç altında konsolide edilmektedir. Kuerbis ve Vaid (1988) kumların ve siltli kumların iyi derecelenmiş homojen numunelerin hazırlanabildiği bulamaç çamuru yöntemini geliştirmiştir [18]. Bu tekniğin bir sunumunu da Salgado (2000) %20 plastik olmayan siltin kuma karıştırılmış halinde vermiştir [19]. Bulamaç çökeliyle hazırlama yöntemi ile numune doymun olmakta, kısa sürede hazırlanmakta, su miktarına göre dane ayrımı kontrol edilmekte, gevşek numune hazırlanabilmekte, ince içeriğine ve derecelenmeye bakmaksızın homojen boşluk oranı sağlanabilmektedir [20]. Bu çalışmada homojen karışımlar elde edebilmek ve zemini doğru modelleyebilmek amacıyla bulamaç çökeli yöntemi ile numunelerin hazırlanmasına karar verilmiştir. Bulamaç çamuru yöntemi, silt zemine farklı oranlarda kil zemin eklenerek hazırlanan kuru numunelere likit limitlerinin 1.5 katı kadar damıtık su eklenip karıştırılmasıyla hazırlanmıştır. Numuneler, 50kPa basınç altında konsolide olan zeminleri temsil etmesi açısından bu basınç altında hazırlanmışlardır. Bulamaç çamuru yöntemiyle (Şekil 3) hazırlanan zemin numuneleri üzerinde laboratuvar tipi Veyn deneyleri yapılmıştır.



Şekil 1. Adapazarı silti
(Figure 1. Silt of Adapazarı)

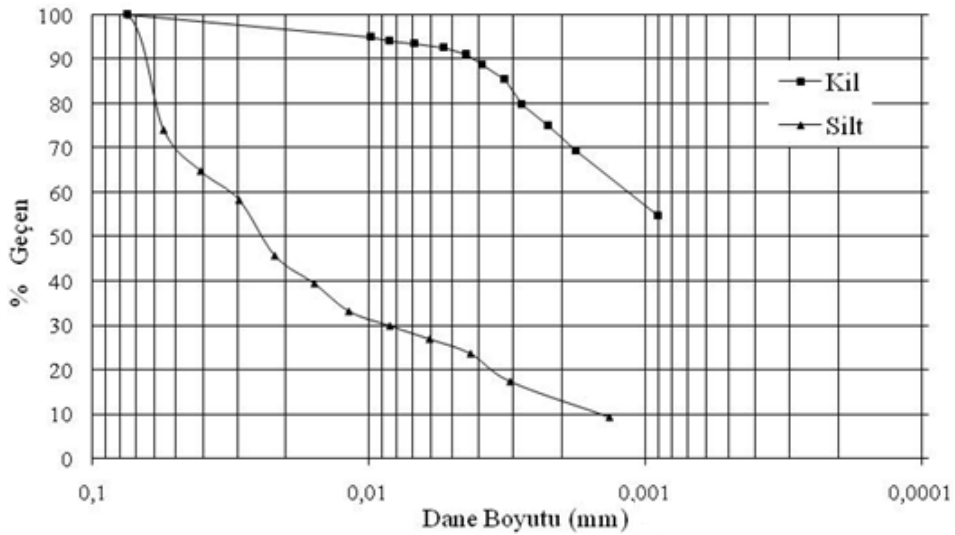


Şekil 2. Kil ve siltin kullanıma hazır hale getirilmesi
(Figure 2. Preparation of clay and silt for use)



Şekil 3. Bulamaç çamuru hazırlama yöntemi
(Figure 3. Slurry method)

Silt ve kilin dane dağılımı, kıvam limitleri TSE 1900-1/2006'ya göre yapılmıştır [21]. Atterberg kıvam limitleri konik penetrometre yöntemine göre belirlenmiştir. Kilin ve siltin dane dağılımı eğrisi Şekil 1'de ve kıvam limitleri Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 4. Kil ve siltin dane çapı dağılımı eğrisi
(Figure 4. Grain distribution curve of clay and silt)

Tablo 1. Kil ve siltin fiziksel özellikleri
(Table 1. Physical properties of clay and silt)

Malzeme	Likit Limit	Plastik Limit	Özgül Ağırlık	Sınıflandırma
Kil	57	28	2.639	CH
Silt	30	NP	2.422	ML

Veyn deneyi killi zeminlerin, drenajsız koşullarda, kayma direncini ölçmek için laboratuvarında veya arazide yapılan bir deneydir. Bu çalışmada laboratuvar tipi veyn deneyi kullanılmıştır. Deney için kullanılacak laboratuvar sondasının çap ve yüksekliği 1-2cm ve laboratuvar sondası düzlenmiş zemin yüzüne gerek duyulmaktadır. Sonda zemine batırıldıktan sonra döndürme momenti uygulanarak zemin bir silindirin alt üst ve yan yüzleri boyunca kesilmektedir (Şekil 5). Kesme anında uygulanan döndürme momenti ölçülerek istenilen parametreler bulunmaktadır. Veyn deneyi ASTM D4648'e göre yapılmıştır [22]. Kayma direnci parametrelerinden (c) Eşitlik 1'e göre hesaplanmıştır.

$$c = \frac{M_{max}}{\left(\frac{H}{2} + \frac{D}{6}\right)\pi D^2} \quad (1)$$

Burada, H=Vane cihazı yüksekliğini, D=Cihazı çapını, M_{max} =Uygulanan burulma momentini ve c=Kayma direncini göstermektedir. Kohezyonsuz zeminlerde yani kumlarda kayma direnci daneler arasında sürtünme ve danelerin birbirine kilitlemesi yolu ile oluşmaktadır. Ancak kohezyonlu zeminlerde ise daneler arası yüzey kuvvetlerinden yani zeminlerin birbirini tutma özelliği olan kohezyon ile oluşmaktadır. İnce daneli zeminlerde kesme mukavemeti (t), kohezyona (c) eşittir. Burada ince daneli zeminlerden kasıt CL, CH, MI, MH gibi plastik özellik gösteren zeminlerdir. Bununla birlikte zemin sınıfı ML olan düşük plastisiteli siltlerde ise kayma direncinin çok düşük olmasının sebebi hem danelerin birbirine sürtünme olamayacak şekilde küçük ve düz yapıda olmasından hem de arasında kohezyonu oluşturacak bir plastik özellik olmamasından kaynaklanmaktadır [23].



Şekil 5. Veyn deneyi
(Figure 5. Vane test)

4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR (FINDINGS AND DISCUSSIONS)

Bu çalışmada farklı sivilaştırılabilir bir silt zemine ağırlıkça %10, %20, %30, %40 ve %50 oranlarında kil zemin katılarak karışımların kayma direnci parametreleri belirlenmiştir. Öncelikle numunelerin fiziksel özelliklerinin amacıyla Atterberg kıvam limitleri ve özgül ağırlık deneyleri yapılmıştır. Ayrıca TS1500/2000'e göre [24] karışımların zemin sınıfları belirlenmiştir (Tablo 2). Yapılan deneyler sonucunda plastik olmayan silt zemine kil eklenmesinin hem likit limitte hem de plastisite indisinde artışa sebep olduğu gözlenmiştir. Bu durum başlangıçta düşük plastisiteli silt olan ML zemin sınıfına sahip silt zeminin içerisindeki kil oranı arttıkça ve silt oranı azaldıkça zemin sınıfının değiştiğini göstermektedir. %10kil+%90Silt karışımının zemin sınıfı silt zemine benzer olarak ML iken %50kil+%50Silt karışımının zemin sınıfı CI yani orta plastisiteli kil olmuştur. Bu durum karışımların kohezyonunun artmasını sağlamıştır. Aynı şekilde dane özgül ağırlığının da kil oranının artmasıyla artış gösterdiği görülmüştür.

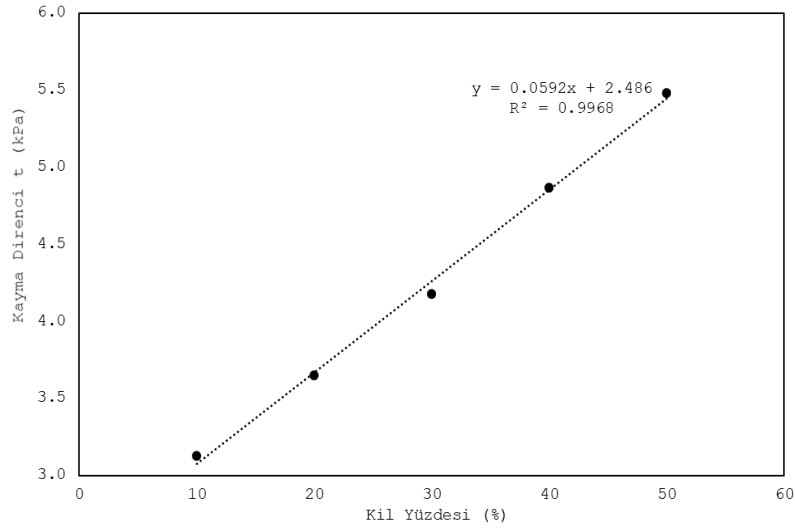
Tablo 2. Karışımlara ait indeks deneyi sonuçları
(Table 2. Index test results of mixtures)

Karışım	%10Kil+ %90Silt	%20Kil+ %80Silt	%30Kil+ %70Silt	%60Kil+ %40Silt	%50Kil+ %50Silt
Likit Limit	31	32	34	36	39
Plastisite İndisi	4	7	11	14	16
Özgül Ağırlık	2.444	2.460	2.483	2.494	2.511
Zemin Sınıfı	ML	ML	CL	CI	CI

Karışımlara ait fiziksel özellikler belirlendikten sonra numunelerde Veyn deneyi yaparak kayma direnci parametreleri belirlenmiştir. Kohezyonlu zeminlerde kayma direnci (t), kohezyona (c) eşittir. Yapılan deneyler sonucunda karışımlardaki kil oranının artmasıyla c kohezyon katsayısında artış olduğu gözlenmiştir (Tablo 3). Bu durumda zeminlerin kayma direncinin artmasını sağlamıştır. İnce daneli zeminlerin kayma direncinde zeminlerin içerisindeki kil yüzdesi ile kayma direnci arasındaki bir ilişki olduğu görülmektedir (Şekil 6).

Tablo 3. Karışımlara ait kayma direnci değerleri
(Table 3. Shear strength values of the mixture)

Karışım	%10kil+ %90Silt	%20kil+ %80Silt	%30kil+ %70Silt	%60kil+ %40Silt	%50kil+ %50Silt
Kayma Direnci (t)	3.13kPa	3.65kPa	4.18kPa	4.87kPa	5.48kPa



Şekil 6. Kayma direnci-Kil yüzdesi
(Figure 6. Shear strength-Clay percentage)

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Bu çalışmada, geoteknik uygulamalarda karşımıza dayanımı düşük ve problemlili olarak çıkan silt zemin üzerinde çalışılmıştır. Bu kapsamda, siltli zeminlerde kilin kohezyon (c) ve dolayısıyla kayma direnci üzerindeki etkisi incelenmiştir. Farklı yüzdelerde (%10, %20, %30, %40, %50) kil, silt zemine ilave edilerek bulamaç çamuru yöntemiyle numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler üzerinde laboratuvar tipi veyn deneyi yapılmıştır. Deney sonuçlarından, silte kil eklenmesiyle, likit limit, dane özgül ağırlığı ve kayma direnci değerinin arttığı görülmüştür. Kayma direnci değeri her %10 kil artışında ortalama %15 olarak artmış göstermiştir. Yapılan çalışma sonucunda silt zemin içerisindeki kil yüzdesinin artmasıyla kayma direnci artışı arasında doğrudan bir ilişki olduğu görülmüştür.

AÇIKLAMA (EXPLANATION)

Bu çalışma, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi 2016-01.BŞEÜ.03-02 numaralı BAP projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Yazarlar, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi'ne destekleri dolayısıyla teşekkür ederler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Holtz, R.D. and Kovacs W.D., (1981). An Introduction Geotechnical Engineering, Englewood Cliffs, London.
- [2] Ansal, A., (1999). 17 Ağustos Kocaeli Depremi, Türkiye Mühendislik Haberleri, 403:8-15.
- [3] Bayoğlu, E., (1995). Kum-Kil Karışımlarının Kayma Dayanımı ve Sıkışabilme Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [4] Høeg, K., Dyvik, R., and Sandbækken, G., (2000). Strength of Undisturbed Versus Reconstituted Silt and Silty Sand Specimens, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 126(7):606-617.
- [5] Vallejo, L.E. ve Mawby, R., (2000). Porosity Influence on The Shear Strength of Granular Material-Clay Mixtures, Engineering Geology, 58(2):125-136.
- [6] Carraro, J.A.H., (2004). Mechanical Behavior of Silty and Clayey Sands, Doktora Tezi, Purdue Üniversitesi.

- [7] Yamamuro, J.A. and Wood, F.M., (2004). Effect of Depositional Method on the Undrained Behavior and Microstructure of Sand With Silt, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24(9-10):751-60.
- [8] Kumar, A., Walia, B.S., and Mohan, J., (2006). Compressive Strength of Fiber Reinforced Highly Compressible Clay, *Construction and Building Materials*, 20(10):1063-1068.
- [9] Güven, C., (2007). Yüksek Plastisiteli Bir Kilde Kum Miktarının Kayma Mukavemetine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [10] Alagöz, T., (2008). Değişik Oranlarda Kum İçeren Örselenmiş Ankara Kilinin Serbest Basınç Dayanımı İle Direkt Çekme Dayanımının İlişkilendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [11] Ölmez, M.S., (2008). Shear Strength Behavior of Sand-Clay Mixtures, PhD Thesis, Middle East Technical University.
- [12] Batman, A., (2015). Öğütülmüş Kuvars Kumunun Kilin Mukavemet Özelliklerine Etkisinin Araştırılması, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [13] Karakas, A. and Coruk, O., (2010). Liquefaction Analysis of Soils in the Western Izmit Basin, Turkey, *Environmental and Engineering Geoscience*, 16(4):411-430.
- [14] Das, B.M. and Ramana, G.V., (2010). Principles of Soil Dynamics, Cengage Learning Inc., Boston.
- [15] Nacci, V.A. and D'Andrea, R.A., (1976). A Technique for the Preparation of Specimens of Loose Layered Silts, *Soil Specimen Preparation for Laboratory Testing*, 599:193-201.
- [16] Kuerbis, R. and Vaid, Y.P., (1998). Sand Sample Preparation The Slurry Deposition Method, *Soils and Foundations*, 28(4):107-118.
- [17] Salgado, R., Bandini, P., and Karim, A., (2000). Shear Strength and Stiffness of Silty Sands, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 126(5):451-462.
- [18] Ural, N., (2008). İnce Daneli Zeminlerde Kil Oranının Sıvılaşmaya Etkisi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [19] TS1900-1, (2006). İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri Tayini, Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini.
- [20] ASTM D4648/D4648M, (2016). Standard Test Method for Laboratory Miniature Vane Shear Test for Saturated Fine-Grained Clayey Soil.
- [21] Gündüz, Z., (2015). Zeminlerin Kayma Direnci, Zemin Mekaniği Ders Notları, Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi.
- [22] TS1500/2000, (2000). İnşaat Mühendisliğinde Zeminlerin Sınıflandırılması.
- [23] Stefaniak, K., (2015). Assessment of Shear Strength in Silty Soils, *Studia Geotechnica et Mechanica*, 37(2):51-55.
- [24] Chacko, J. and Jacob, D.S., (2018). Study on Strength Characteristics of Kuttanad Clay Based on its Water Content and Consistency Limits, *International Research Journal of Engineering and Technology*, 5(4):3221-3225.