

## Artan İnce Kum Oranının Silt Zeminin Sıkışabilirliğine ve Dayanımına Etkisi

<sup>1</sup>Kurban Öntürk <sup>2</sup>Ertan Bol \*<sup>2</sup>Aşkın Özocak <sup>2</sup>Sedat Sert  
<sup>1</sup>İnşaat Teknolojisi Bölümü, Sakarya Üniversitesi Sakarya Meslek Yüksekokulu, Türkiye  
<sup>2</sup>Mühendislik Fakültesi, Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Türkiye

### Özet

Adapazarı, yüzeye yakın derinliklerde sıvılaşma özelliği gösteren siltli kum ve kumlu silt zeminlerin sıklıkla karşılaşıldığı bir yer olarak bilinmektedir. Bu çalışmada, Adapazarı'ndan alınan silt zemine farklı oranlarda ince kum katılarak elde edilen yeni karışımların kayma direnci ve sıkışabilirlik özellikleri incelenmiştir. Doğal zemin numunesi içerisine %0'dan %25'e değişen 6 farklı oranda ince kum katılmış ve sonrasında homojen olarak karıştırılan zemin numunelerine standart ve modifiye proktor deneyleri uygulanmıştır. Her karışım numunesine ait optimum su içeriği ( $w_{opt}$ ) ve maksimum kuru birim hacim ağırlık ( $\gamma_{k_{maks}}$ ) değerleri belirlenmiştir. Farklı enerjiler uygulanarak sıkıştırılan zemin numunelerinin kayma dirençlerinin belirlenebilmesi için de sıkıştırılmış zemin numunelerinden konsolidasyonsuz drenajsız üç eksenli hücre kesme deneyi yapılmak üzere deney tüpleri aracılığı ile örnekler alınmıştır. Toplamda 12 adet kompaksiyon deneyi ve bu sıkıştırılmış zemin numunelerinden alınan 42 adet UU deneyi gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları analiz edildiğinde, uygulanan enerji oranının artması ile siltli zeminlerin sıklık derecesinin arttığı ve  $\gamma_{k_{maks}}$  değerinin artarken su içeriğinin azaldığı sonuçlarına ulaşılmıştır. UU deney sonuçları incelendiği zaman ise, zemin içerisine katılan ince kum oranının artması ile kayma direnci değerinin arttığı sonuçları elde edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Kompaksiyon, Konsolidasyonsuz-Drenajsız Üç Eksenli Hücre Kesme Deneyi, Siltli Zemin, İnce Kum, Sıklık

## The Effect of Increasing Fine Sand Ratio on the Compressibility and Shear Strength of Silty Soils

### Abstract

Adapazarı is known as a place where silty sand and sandy silt soils, which show liquefaction characteristics near the surface, are frequently encountered. In this study, the shear strength and compressibility characteristics of the silt samples taken from Adapazarı and the new mixtures, which were obtained by adding fine sand to the silt samples at different ratios, were investigated. Standard and modified proctor tests were applied to both natural and mixed samples. The ratio of sands in mixture ranges from %0 to %25. The optimum water content ( $w_{opt}$ ) and the maximum dry unit volume weight ( $\gamma_{k_{maks}}$ ) values of each sample were determined. Then, samples were taken from the compacted soil samples to perform unconsolidated undrained (UU) triaxial tests to determine the shear strength of the samples. A total of 12 compaction tests and 42 UU tests from compacted soil samples were performed. When the test results are analyzed, it has been found that as the applied energy ratio increases, the relative density of the silty soils increases and the water content decreases as  $\gamma_{k_{maks}}$  value increases. When the UU test results are examined, it is found that the shear strength value is increased by increasing the amount of fine sand in the samples.

**Key words:** Compaction, Unconsolidated-Undrained Triaxial Test, Silty Soil, Fine Sand, Density

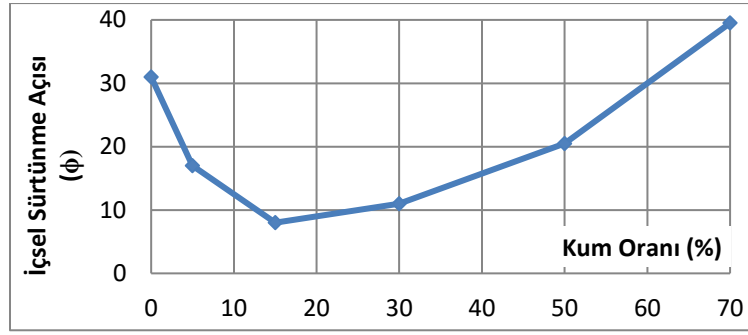
## 1. Giriş

Yapılan geoteknik araştırmalar ve jeolojik çalışmalar zemin kesitlerinin büyük çoğunlukla tek bir zemin sınıfından meydana gelmediğini göstermektedir. Sondaj veya sondalama çalışmaları sonucunda zemin tabakalarının çeşitli kalınlıklara sahip olmak üzere farklı oranlarda kil, silt, kum, çakıl içeren karışımlardan veya dolgulardan oluştuğu ortaya çıkmaktadır.

Zemin iyileştirme yöntemlerinden birisi, zayıf zeminlere başka bir malzeme ekleyerek zeminin mevcut özelliklerinin olduğundan daha iyi bir duruma getirilmesidir. Bu tip iyileştirme çalışmalarında esas zemin genellikle taşıma gücü, oturma ve sıvılaşma açısından problemlili kil veya silt zeminler olmaktadır. Genelde bu tür sorunlar ile karşılaşıldığında zeminin zayıf kısımları kaldırılarak yerine mukavemeti daha iyi veya granül özellikteki ürünlerin ilave edilmesi ya da zayıf kısımlar ile yeni ürünün homojen karışımı sağlanarak yeni bir zemin tabakasının elde edilmesi yolu seçilir.

Her geçen gün artan yapılaşma ile elverişsiz koşullara sahip zeminlerin kullanılabilir hale getirilmesi zorunlu hale gelmektedir. Kayma direnci düşük yumuşak/gevşek zeminler, yüzeysel temellerin oturtulması için elverişsiz bir ortam teşkil etmektedir. İnce kumlar ve atık yapay dolgular, gelişi güzel depolanmış atıklar, bu tür ortamların tipik örnekleridir. Temellerin söz konusu zemin ortamları iyileştirilmeden inşa edilmesi durumunda taşıma gücü aşılmasa bile meydana gelebilecek oturmaların st yapının tahammül edebileceği limitleri aşabileceği bilinmektedir. Bu durumlarla karşı karşıya kalınmaması için zemin iyileştirmesi yapılmaktadır. Bu zemin iyileştirme uygulamaları sonrası zeminler kayma direnci ve oturma değerleri açısından istenen değerlere getirilebilmektedir [1].

anak ve Gll (2007), düşük plastisiteli kil (CL) numunesine ağırlıkça %5, %15, %30, %50 ve %70 oranlarında SP kum ilavesiyle elde edilen homojen karıştırılmış numuneye standart proctor ve kesme kutusu deneyleri uygulamışlardır. Kompaksiyon deneyi sonucu sıkıştırılan numunelerden 3'er adet örselenmemiş örnek alınarak kesme kutusu deneyleri yapılmıştır. Kumun doğal zemin numunesi içerisinde homojen dağılımını sağlamak için elle karıştırılan zemin örnekleri plastik limit değerini civarında su muhtevasında sıkıştırılmıştır. Tüm kesme kutusu deneylerinde kesme hızı 1 mm/dk olacak şekilde yükleme yapılmıştır. Doğal halde hazırlanan zemin numunesi üzerinde yapılan kesme kutusu deneyleri sonucunda içsel sürtünme açısı 30<sup>0</sup> iken bu değer %15 kum ilavesi ile hazırlanan zemin numunesinde 8<sup>0</sup> dolaylarına düşmektedir. %15'ten daha fazla kum ilavesi durumunda elde edilen içsel sürtünme açısının arttığı ve kum miktarının %70 değerine çıkarılmasıyla 40<sup>0</sup>'ye yükseldiği belirtilmektedir (şekil 1) [2].



Şekil 1. Artan kum oranına bağlı içsel sürtünme açısı değişimi [2]

Çanakçı ve Çelik (2011), çalışmalarında Sakarya’da bulunan torf ocaklarından temin ettikleri organik zemine %10, %20, %30, %40 ve %50 oranlarında kum katarak kumun kompaksiyon parametreleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır [3]. Organik zeminde yapılan kompaksiyon deneyinde optimum su muhtevası %58, kuru birim hacim ağırlık değeri ise  $6.44 \text{ kN/m}^3$  olarak belirlenmiştir. Her %10’luk kum ilavesi artışı ile hazırlanan karışımlarda ise sırasıyla optimum su içerikleri %44, %38, %32, %30 ve %26, kuru birim hacim ağırlıkları  $8.4 \text{ kN/m}^3$ ,  $8.9 \text{ kN/m}^3$ ,  $9.4 \text{ kN/m}^3$ ,  $10.2 \text{ kN/m}^3$  ve  $11.5 \text{ kN/m}^3$  olarak bulunmuştur. Sonuçlardaki değişim, kumun özgül ağırlığının organik zemininkine oranla çok daha yüksek olması ve kumun su emme kapasitesinin organik zeminin su emme kapasitesine göre daha düşük olması şeklinde yorumlanmıştır.

Pakbaz ve Moqaddam (2012), çalışmalarında farklı sınıflardaki kumlara %15, %20, %30 ve %40 oranlarında kil katarak karışımlar hazırlamışlar ve numuneleri sıkıştırarak aşırı konsolide hale getirmişlerdir. Hazırlanan numunelere direkt kesme deneyi uygulanmış, kesme aşamasından önce konsolidasyon basıncı aşamalı olarak 1600 kPa değerine kadar yükseltilmiştir. Sonrasında numuneler 0.1 mm/dk hızında ve 50, 100, 150, 200, 300 ve 400 kPa değerlerinde efektif normal gerilme uygulanarak kesilmiştir. Çalışma sonunda ince dane oranının %30 olmasıyla birlikte kayma direnci ve gerilme-şekil değiştirme davranışının fark edilir şekilde değiştiği ortaya çıkmıştır. Efektif kayma direnci açısı ve kayma direncinin artan ince dane oranıyla azaldığı da vurgulanmıştır [4].

Erzurum-Oltu bölgesinde 1 m derinlikten alınan kırmızı ve yeşil renkli normal yüklenmiş 2 farklı kil numunesi üzerinde yürütülen çalışmalarda kil numunelerine ağırlıkça %10, %20, %30 ve %50 oranlarında öğütülmüş kuvars kumu eklenmiş ve hazırlanan karışımlar üzerinde kompaksiyon, şişme ve serbest basma deneyleri yürütülmüştür. Sonuçlar incelendiğinde öğütülmüş kuvars kum oranı arttıkça optimum su muhtevasında, kıvam limitlerinde ve şişme basınçlarında azalma meydana gelirken maksimum kuru birim hacim ağırlıkta, içsel sürtünme açısında artış gözlenmiş, genel olarak kayma mukavemetlerinin arttığı bulunmuştur. Öğütülmüş kum katkısı etkisi ile kil zeminin sınıfı yüksek plastikten düşük plastiğe geçmiştir. Sonuç olarak, öğütülmüş kuvars kumu katkısının genel olarak killi zeminlerin bazı geoteknik özelliklerini iyileştirdiği belirlenmiştir [5].

Bu çalışmada, silt zemine ince kum katılarak, kumun silt zeminlerin sıkışabilirliğine ve kayma direncine etkisi araştırılmıştır. Doğal silt ve belirli oranlarda doğal zemine ilave edilen ince kum homojen karıştırılmış ve laboratuvar ortamında deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

## 2. Malzeme ve Metod

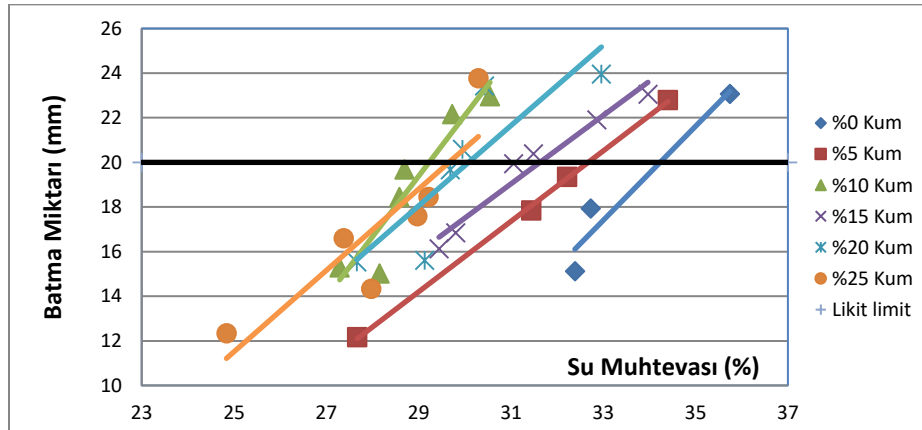
Deneyisel çalışmada Adapazarı bölgesinden alınan silt zemin numunesine 6 farklı oranda ince kum katılmış ve üniform bir dağılım oluşacak şekilde numuneler karıştırılmıştır. Öncelikle doğal silt numunesi üzerinde hidrometre, elek analizi, likit limit, plastik limit ve özgül ağırlık deneyleri uygulanmıştır. Silt numunesi ile birlikte karışım yapılacak olan ince kum örneğinin ise özgül ağırlığı 2.65 olarak belirlenmiştir. Daha sonra Tablo 1’de gösterilen oranlardaki kum katkısı ile karışımlar hazırlanmış ve bu karışımlar üzerinde sınıflama, kompaksiyon ve üç eksenli hücre kesme deneyleri uygulanmıştır. 6 farklı karışıma sahip numuneler üzerinde yürütülen koni penetrasyon deneyi sonuçları Tablo 2 ve Şekil 2’de gösterilmektedir.

**Tablo 1.** Zemin numuneleri karışım oranları

Silt (%)	100	95	90	85	80	75
Kum (%)	0	5	10	15	20	25

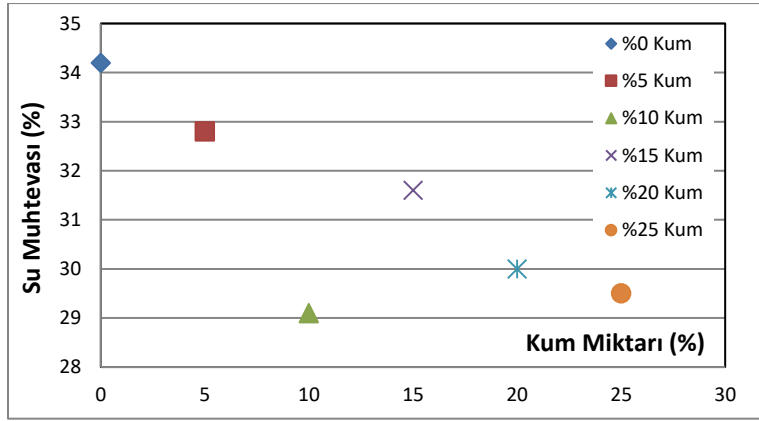
**Tablo 2.** İnce kum oranının kıvam limitlerine etkisi

%0 Kum		%5 Kum		%10 Kum		%15 Kum		%20 Kum		%25 Kum	
w (%)	Batma (mm)	w (%)	Batma (mm)	w (%)	Batma (mm)	w (%)	Batma (mm)	w (%)	Batma (mm)	w (%)	Batma (mm)
32.39	15.12	27.67	12.17	28.16	15.02	29.80	16.84	27.66	15.53	27.97	14.33
32.73	17.93	31.44	17.84	28.58	18.45	31.06	19.94	29.95	20.58	29.21	18.45
35.74	23.07	32.22	19.35	30.55	22.97	31.49	20.38	30.42	23.42	24.84	12.34
		34.40	22.80	27.29	15.29	29.44	16.13	29.13	15.61	27.38	16.60
				28.69	19.68	32.86	21.91	29.69	19.67	28.97	17.59
				29.72	22.16	33.97	23.05	32.96	23.95	30.29	23.77



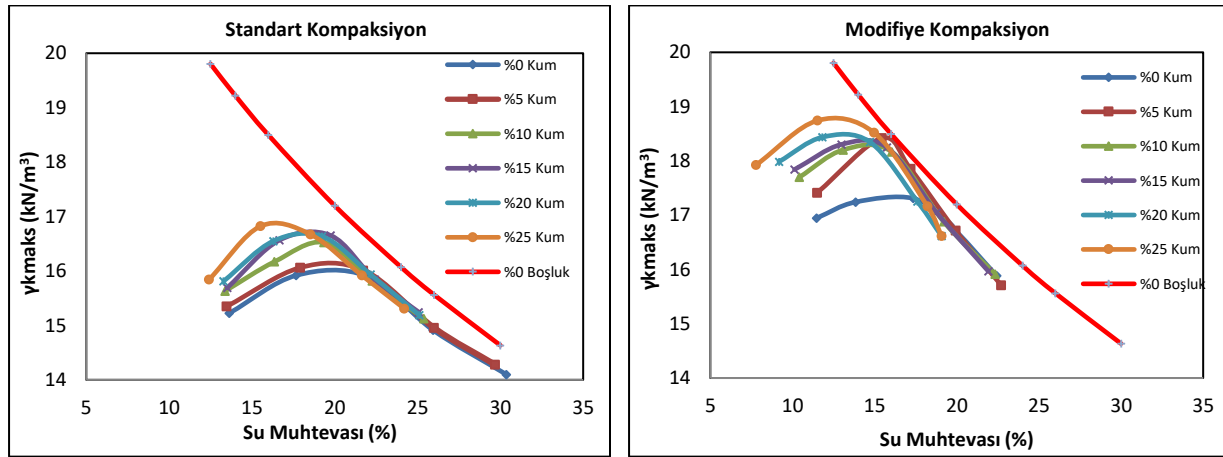
**Şekil 2.** Koni düşürme yöntemi ile likit limit deney sonuçları

Yapılan likit limit deneylerine göre zemin numunesine eklenen ince kum oranının artması ile birlikte likit limit değerinin azaldığı görülmüştür. Şekil 3 bu durumu net bir şekilde ortaya koymaktadır.



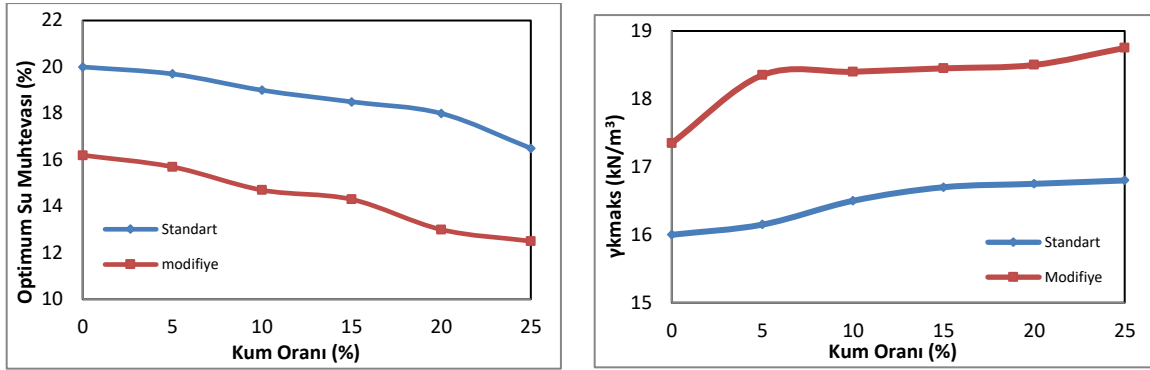
Şekil 3. Artan kum içeriğinin likit limit değerine etkisi

Karışım numuneleri üzerinde yürütülen standart ve modifiye kompaksiyon deneylerinden elde edilen sonuçlar Şekil 4'te gösterilmiştir. Şekil 4 incelendiğinde siltli zemin içerisine eklenen kum miktarının artmasıyla her iki enerji düzeyi için de optimum su muhtevasının düştüğü ve kuru birim hacim ağırlığının arttığı görülmektedir. Doğal silt numunesi üzerinde yapılan standart kompaksiyon deneyi sonucu kuru birim hacim ağırlık değeri  $15.91 \text{ kN/m}^3$  iken %25 kum ilavesi ile hazırlanan zemin numunesinde kuru birim hacim ağırlık değeri  $16.8 \text{ kN/m}^3$  olarak bulunmuştur. Standart kompaksiyon deneylerinde %25 kum ilavesi kuru birim hacim ağırlık değerinde %5.5'lik bir artış meydana getirmiştir. Modifiye kompaksiyon deneyinde ise kuru birim hacim ağırlıklar  $17.30 \text{ kN/m}^3$  değerinden  $18.70 \text{ kN/m}^3$  değerine yükselmiştir. Şekil 4'te enerji artışı ile kuru birim hacim ağırlıklarının arttığı, optimum su muhtevasının düştüğü görülürken optimum noktada hava boşluğu oranının da belirgin şekilde düştüğü izlenebilmektedir.



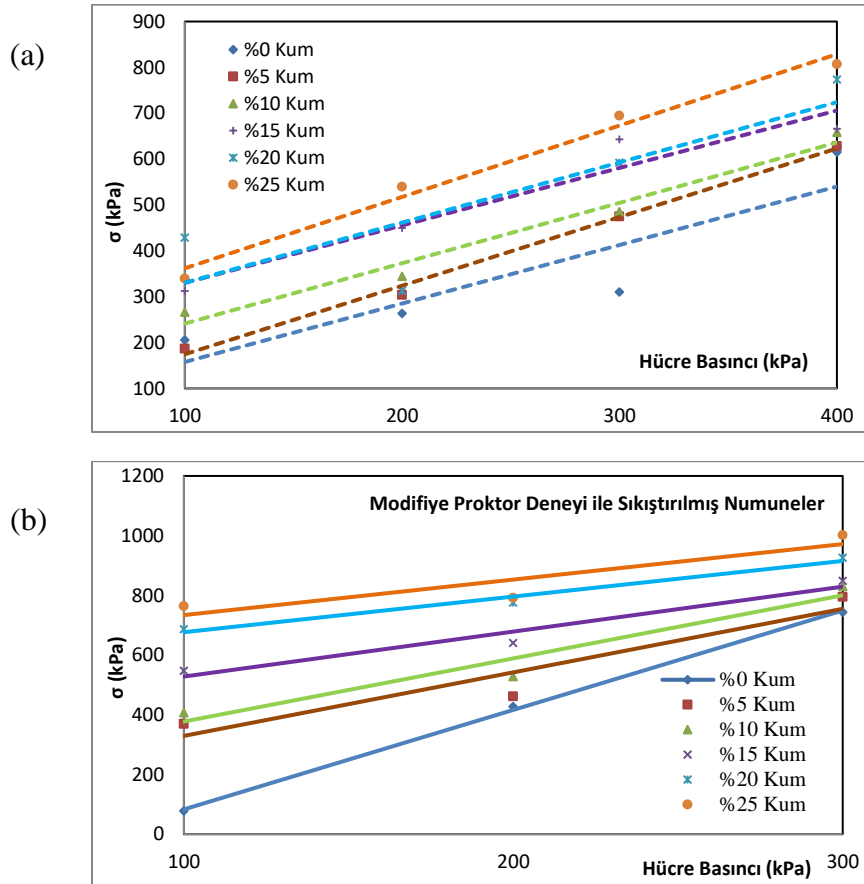
Şekil 4. Kompaksiyon deney sonuçları

Şekil 5 incelendiğinde her iki enerji düzeyi için de ağırlıkça %5, %10, %15, %20 ve %25 ince kum katkısının numunenin kuru birim hacim ağırlığını artırdığı, optimum su muhtevasını düşürdüğü görülmektedir.



Şekil 5. Kum ilavesi ile optimum su muhtevasının ve max. kuru birim hacim ağırlığının değişimi

Doğal silt ve kum katkıli karışımların standart kompaksiyon enerjisi ile sıkıştırılması sonrasında elde edilen numuneler üzerinde yürütülen üç eksenli hücre kesme deneyi sonuçları Şekil 6a'da, modifiye proktor enerjisi ile sıkıştırılanlara ait deney sonuçları ise Şekil 6b'de sunulmaktadır. Şekil 6'ya bakıldığında doğal silt numunelerinde en düşük kayma direnci değerleri elde edilirken artan kum katkısı ile dirençlerde artışlar görülmektedir. Aynı zamanda, sıkıştırma enerjisindeki artışın da kayma dirençlerini artırdığı şekillerden izlenebilir.



Şekil 6. Kum oranına göre numunelerdeki basınç dayanımı a) Standart kompaksiyon b) Modifiye kompaksiyon

### 3. Sonuçlar

Çalışmada silt içerikli zemin numunesine ince kum eklenerek zeminin mekanik özelliklerinin daha iyi bir seviyeye getirilmesi hedeflenmiştir. Bu doğrultuda, silt içerisine %5, %10, %15, %20 ve %25 oranlarında ince kum eklenmiş ve karışımlar hazırlanmıştır. Yapay deney numuneleri olarak elde edilen zemin örneklerine laboratuvar ortamında likit limit, kompaksiyon deneyleri ve üç eksenli hücre kesme deneyleri uygulanmıştır. Yapılan likit limit deneyleri sonucunda beklendiği gibi artan kum oranına bağlı olarak numunelerde likit limit değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Gerçekleştirilen standart ve modifiye kompaksiyon deneylerinde, numune içerisindeki kum miktarının artması optimum su muhtevasının azalmasına neden olurken, maksimum kuru birim hacim ağırlık değerinin artmasına katkıda bulunmuştur. Kompaksiyon deneylerinin optimum su muhtevalarında hazırlanan numuneler içerisinden alınan UU numunelerinde ise, numuneye uygulanan evre basıncının ve karışımdaki kum oranının artması ile numunelerin mukavemet değerlerinde artışlar meydana gelmiştir.

### Kaynaklar

- [1] şengezer L. Granüler zeminlerde dinamik kompaksiyon uygulaması. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2010.
- [2] anakı H, Gll H. Kil-kum karışımı zeminlerde karışım oranının içsel sürtünme açısı üzerine etkisinin incelenmesi. 2. Geoteknik Sempozyumu, Çukurova Üniversitesi, Adana, 2009.
- [3] anakı H, elik F. Organik zemin içerisindeki kum oranının kompaksiyon parametreleri üzerindeki etkisinin incelenmesi. 4. Geoteknik Sempozyumu, Çukurova Üniversitesi, Adana, 2011.
- [4] Pakbaz MS, Moqaddam AS. Effect of sand gradation on the behavior of sand-clay mixtures. Int. J. of Geomate, pp. 325-331, 2012.
- [5] Batman A. Öğütülmüş kuvars kumunun kilin mukavemet özelliklerine etkisinin araştırılması. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015.