



## KOMPAKSİYON YÖNTEMİNİN KOHEZYONLU ZEMİNLERİN SERBEST BASINÇ MUKAVEMETİNE ETKİSİ

Recep AKAN\*, Sıddıka Nilay KESKİN

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta

### Anahtar Kelimeler

*Kompaksiyon yöntemi,  
Serbest basınç mukavemeti,  
Statik kompaksiyon,  
Dinamik kompaksiyon,  
Kohezyonlu zemin*

### Öz

Geoteknik yapılarının tasarımı esnasında en önemli parametrelerden biri zeminlerin kayma mukavemeti değeridir. Bu değeri belirlemek için laboratuvarında en yaygın kullanılan deney serbest basınç deneyidir. Laboratuvarında numuneler hazırlanırken ve arazide iyileştirme çalışması olarak zeminlere kompaksiyon uygulanmaktadır ve uygulanan kompaksiyon yöntemini zeminlerin kayma mukavemetini etkilemektedir. Bu çalışmada statik ve dinamik enerji uygulanarak hazırlanan kil numunelerinin serbest basınç dayanımları incelenmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki, plastik limit su muhtevasında hem statik hem de dinamik olarak sıkıştırılan numuneler birbirine yakın serbest basınç dayanımlarına sahiptirler ancak su muhtevası plastik limit değerinden ıslak ya da kuru tarafa ilerledikçe statik ve dinamik olarak sıkıştırılan numunelerin serbest basınç değerleri birbirlerinden uzaklaşmaktadır.

## THE EFFECT OF COMPACTION METHOD ON UNCONFINED COMPRESSION STRENGTH OF CLAY SOILS

### Keywords

*Compaction method,  
Unconfined compression strength,  
Static compaction,  
Dynamic compaction,  
Cohesive soil.*

### Abstract

In the design of geotechnical structures one of the most important parameters is the value of the shear strength of soils. Unconfined compression test is the most common used method for determining the value of shear strength of soils. While preparing specimens for tests in the laboratory and improving backfills in field, compaction is employed generally and the used compaction method effects the shear strength of soils. In this study the effect of the used compaction method on unconfined compression strength of different clay soils compacted by static and dynamic energies. Results showed that unconfined compression strengths of dynamically and statically compacted specimens are so close at the moisture content near plastic limit of soils, but as soon as moisture content move to drier or wetter side from plastic limit, the unconfined compression strengths become distant.

### Alıntı / Cite

Akan R., Keskin S. N., Kompaksiyon Yönteminin Kohezyonlu Zeminlerin Serbest Basınç Mukavemetine Etkisi, Journal of Engineering Sciences and Design, 6(2), 250-257.

### Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

Recap AKAN, 0000-0002-9277-1659  
S. Nilay KESKİN, 0000-0002-0367-943X

<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	25.01.2018
<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	05.04.2018
<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	24.04.2018
<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	23.06.2018

\* İlgili yazar / Corresponding author: [recepakan@sdu.edu.tr](mailto:recepakan@sdu.edu.tr)

## 1. Giriş

Mevcut inşaat alanlarının eksikliğinden dolayı kil numuneler üzerinde yapılaşma kaçınılmazdır (Norhaliza, vd., 2015). Killer ise kompleks yapısıyla bilinen yüksek sıkışabilirliğe ve düşük kayma dayanımına sahip ince daneli zeminler olarak bilinmektedir (Brand & Brenner, 1981).

Kil numunesi örselendiğinde ve yoğrulduğunda, doğal yapısı bozulmakta ve dolayısıyla davranışı değişmektedir (Liu, 2011). Arazide örselenmemiş numune elde etmek çok zor olduğundan, elde edilebilse dahi yukarı çekme ve çıkarma gibi işlemler esnasında örselenmelere maruz kalacaklarından dolayı arazideki durumun gerçekten temsil edilebilmesi için tekrar yoğrulan numuneler çok önemli ve çalışılması gereken durumlardır (Alshamib, 2010).

Laboratuvar deney metotları doğru arazi koşullarını laboratuvarın kontrollü şartlarında simule etmek için geliştirilmiş ve asıl amacı numunelerin arazideki yüklere maruz kaldıklarındaki mekanik davranışlarını laboratuvarında doğru olarak temsil edilebilmesidir (Yaghoubi, vd., 2017).

Kompaksiyon, zemin numunesinin su ve dane miktarının azalmadan hacminin azaldığı bir uygulamadır ve zeminin yapısını değiştirir (Crispim, vd., 2011).

Farklı kompaksiyon metotları farklı doğaları gereği zeminde farklı davranış ve karakter oluşturabilmektedir ve bu durum granüler yol malzemeleri için ihmal edilmektedir (Yaghoubi, vd., 2017).

Geliştirilen sıkıştırma yöntemleri içinde laboratuvarında en yaygın kullanılan kompaksiyon yöntemleri statik ve dinamik (Kouassi, vd., 2000). Statik yöntem, dinamik yöntemle kıyasla daha hızlı, daha basit ve kolay olduğundan son yıllarda daha yaygın bir numune hazırlama yöntemi olmaya başlamıştır (Azam & Cameron, 2013).

Standart Proktor yöntemi 1993 yılında R.R. Proctor tarafından bulunmuştur ancak arazide sıkıştırmasını statik olarak yaptığımız bazı durumlarda dinamik bir sıkıştırma yöntemi kullanarak optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlık elde etmek, gerçeğe kısmen aykırı olduğundan bu durum için statik sıkıştırma basıncı yöntemi geliştirilmiştir (Hafez, vd., 2010).

Statik yük altında oluşacak konsolidasyon oranı; uygulanan yüke, konsolidasyon katsayısına ve drenaj mesafesine bağlıdır. Dinamik kompaksiyonda ise meydana gelen ani yükler boşluk suyu basınçlarına geçer ve su zeminden hızla drene olur (Şengezer, 2010). Bu drenaj oluşan kayma gerilmeleri ve hidrolik

çatlaklar yardımıyla daha da hızlanır. Bundan dolayıdır ki konsolidasyon dinamik kompaksiyonda statik kompaksiyona göre daha hızlı gerçekleşir. Dinamik kompaksiyon suyu tam anlamıyla sıkıştırarak zemin dışına atmaktadır (Scombe, 2004). Arazi kompaksiyonu ile laboratuvarındaki kompaksiyon metotları arasında uygulanan enerji miktarının farklı olması ve arazideki statik ve yoğurma yönteminin doğa olarak farklı olması bir problemdir (Venkatarama & Jagadish, 1993).

Geleneksel olarak kompaksiyonun su muhtevasından, zemin sınıfından ve kompaksiyon enerjisinden etkilendiği bilinmektedir. Kompaksiyon metodunun etkisi ise şaşırtıcı şekilde göz ardı edilmiştir (Das, 2010). Bu konunun araştırılmasına öncülük eden araştırma (Venkatarama & Jagadish, 1993) tarafından gerçekleştirilmiş bunlardan elde ettiği  $w_{opt}$  ve  $\gamma_{k_{max}}$  ları arazideki sonuçlarla kıyaslayarak statik yöntemin dinamik yöntemle göre araziye daha makul şekilde temsil ettiğini söylemiştir. Statik sıkıştırma daha üniform yapı oluşturmaktadır.

Statik sıkıştırma yöntemi ile sıkıştırılan kohezyonlu zemin numunesinin dinamik sıkıştırılan numuneye kıyasla optimum su muhtevası düşmüş ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı artmıştır. Statik sıkıştırılan zemin numunesi dinamiğe kıyasla daha rijit, daha güçlü ve daha az plastik olarak belirlenmiş, daha düşük birim boy kısalmalarında kırılarak daha yüksek serbest basınç mukavemeti sağladığı ifade edilmiştir (Asmani, vd., 2013).

(Seed, 1954), aynı sıklık ve su muhtevasındaki zemin numunelerinin statik basınçla sıkıştırıldığında daha yüksek dayanım gösterdiğini gözlemlemiştir. (Crispim, vd., 2011) yaptıkları çalışmada; sıkıştırma metodunun kompaksiyon parametreleri ve dayanım açısından etkili olduğunu, bu etkinin zemin cinsine göre değiştiğini, kil numunesinin statik sıkıştırma ile daha yüksek serbest basınç dayanımı sağlarken kumun daha düşük serbest basınç dayanımı sağladığını koymuşlardır.

Çalışma kapsamında farklı su muhtevalarında standart proktor şartlarında sıkıştırılarak silindir numuneler hazırlanmış, elde edilen dinamik numunelerin her biriyle aynı su muhtevası ve boşluk oranına sahip numuneler statik olarak sıkıştırılarak da hazırlanmış ve sıkıştırma yönteminin serbest basınç dayanımına etkisi incelenmiştir.

## 2. Malzeme ve Metot

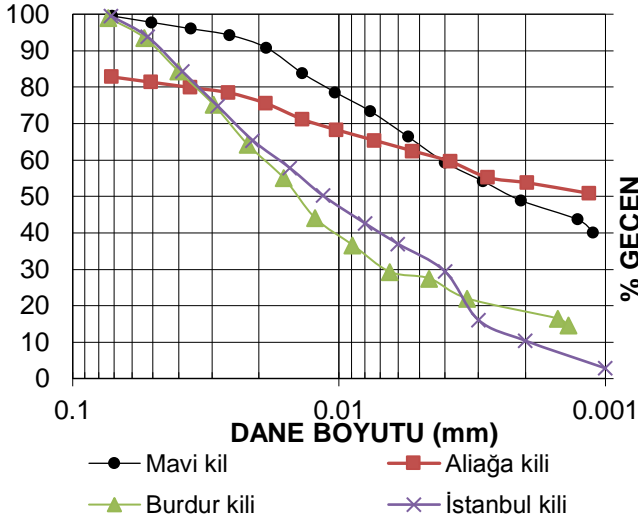
### 2.1. Çalışmada Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

Tüm bu deneyler sonucunda çalışmada kullanılan zeminlerin sahip oldukları bazı özellikler ve zemin sınıfları aşağıdaki özetlenmiştir (Çizelge 1.).

**Çizelge 1.** Çalışmada kullanılan zeminlerin özellikleri ve zemin sınıfları

Zemin Adı	Dane b.h.a (kN/m <sup>3</sup> )	Optimum Su Muhtevası (%)	Plastik Limit (%)	Plastisite İndisi (%)	Zemin Sınıfı
Aliğa Kili	26,2	33	34	62,2	CH
Eşen Kili	27,2	34	30	74,30	CH
Mavi Kil	27,6	21	21	35,6	CH
Burdur Kili	27,3	24	19,5	27,2	CL
İstanbul Kili	28,4	32	24	60	CH

Zemin numunelerine ait granülometri eğrileri aşağıdaki gibidir (Şekil 1).



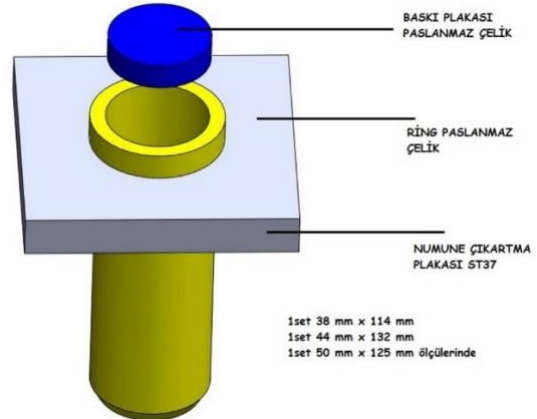
**Şekil 1.** Zemin numunelerine ait granülometri eğrileri

## 2.2. Dinamik Kompaksiyon ile Numune Hazırlanması

Proktor metodu 1933 yılında numuneleri belli bir enerji ile sıkıştırarak, her aşamada su muhtevasını arttırmak suretiyle tekrarlayarak zemin numunesinin optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlığını belirlemeye yarayan deney yöntemidir. Ancak bu yöntemde numune 3 tabaka halinde sıkıştırıldığından her tabakanın farklı miktarda enerjiye maruz kalması homojenliği bozmaktadır. Dinamik deney olan proktor deneyinin daha az homojen sıkışma sağlamakta, daha uzun zaman almakta ve daha pahalı bir sıkıştırma deney yöntemi olarak bilinmektedir. Dinamik kompaksiyonun etkinliğini belirleyen önemli parametreler; zemin sınıfı, doyumluk derecesi, permeabilite ve drenaj mesafesidir.

Laboratuvar deneyleriyle karakteristik özellikleri belirlenen zemin numuneleri bazı numunelerin içerisindeki kumun etkisini de görebilmek için 8 no'lu

elekten elenerek etüvde 105 ° C sıcaklıkta 24 saat bekletilmiş ve daha sonra her numune kendisine ait optimum su muhtevasında, optimum su muhtevasının ıslak tarafında ve kuru tarafında en az ikişer nokta olmak üzere çeşitli su muhtevalarında karıştırılarak standart proktor kabında, 3 tabaka halinde ve her tabakaya 25 vuruş uygulanmak suretiyle sıkıştırılmıştır. Sıkıştırılan zemin bulunan standart proktor kalıbından numune almak için özel imal ettirilmiş 38 mm, 44 mm ve 50 mm çaplarında 3 set imal ettirilmiştir (Şekil 2). Bu sete dahil olan çelik silindirik kalıplar hidrolik kriko yardımıyla içinde dinamik olarak sıkışmış zemin olan standart proktor kalıbına batırılmış ve batırılan bu kalıbın etrafındaki zemin boşaltılarak içi zemin dolmuş olan çelik kalıp proktor kalıbından dışarı alınmıştır. Bu çelik kalıbın içerisindeki zemin numunesi de üzerine konan daire başlığın hidrolik kriko yardımıyla ittirilmesiyle dışarıya alınmıştır. Sonrasında istenilen boyda kesilmiş, ağırlığı ve ölçüleri not edilerek naylon streçe sarılarak 24 saat bekletildikten sonra serbest basınç deneyi uygulanmıştır. Numuneyi deneye tabi tutmadan 24 saat bekletilmesinin amacı kompaksiyondan dolayı meydana gelen boşluk suyu basıncı artışlarının sönümlenmesini ve mevcut suyun homojen olarak emilmesini sağlayabilmektir. Bu uygulamaya örnek olarak (Salem, 2006)' da çalışmasında numuneyi en az bir gün plastik bir ambalaja sarılı olarak ağzı kapalı bir kaptaki muhafaza etmiştir.



**Şekil 2.** Sıkıştırılmış zeminden numune elde edilmek üzere imal edilmiş sete ait şema

Numuneler farklı su muhtevalarında, farklı çapta olmak üzere 4 farklı zemin numunesi için ayrı ayrı hazırlanmış ve basınç deneyine tabi tutulmuştur.

## 2.3. Statik Kompaksiyon ile Numune Hazırlanması

Statik sıkıştırma işleminde, zemin kademeli olarak uygulanan statik kuvvet ile sıkıştırılır. Statik sıkıştırma deneyinin iki farklı uygulaması vardır. Birinci metotta arzulanan sabit pik gerilme değişken sıkıştırma basıncı ile kontrol edilir. İkinci metotta statik sıkıştırma basıncı, zemin kütlesi istenilen kalınlığa ulaşana kadar kademeli olarak uygulanır ve

uygulanan enerji miktarı kontrol edilmez (Venkatarama & Jagadish, 1993).

Diğer açıdan, statik kompaksiyonun en önemli zorluğu uygulanan yük altında agregaların birbirlerinin üzerinde kaymalarının, yükün sürekli yük olmasından dolayı daneler arasındaki kilitlenmeden dolayı birbirleri üzerinde yer değiştirmelerinin sınırlı olmasıdır (Yaghoubi, vd., 2017).

Bu kilitlenme ve sınırlı hareket dolayısıyla statik kompaksiyonda bölgesel gerilme yoğunlaşması ve diğer bölgede boşluklar meydana gelebilir. (Holtz, Kovacs, ve Sheahal, 1981)

Her bir numune için istenilen boy, çap, su muhtevası ve kuru birim hacim ağırlık için gerekli zemin miktarları ve su miktarı hesaplanmıştır. Etüvden çıkarılan numunelerden hesaplanan miktarda zemin numunesi alınarak porselen kaplara konulmuş ve istenilen su muhtevası için gerekli miktarda su ilave edilerek karıştırılmıştır (Şekil 3).



**Şekil 3.** İstenilen miktarda zemin ve suyun porselen kapta karıştırılması

Tamamen karıştığına inanılan numuneler elde edilmesi düşünülen numune çapına göre özel olarak imal ettirilmiş olan 38 mm, 44 mm ve 50 mm çapında 3 farklı çaptaki pirinç silindir kalıplara (Şekil 4) kaşık yardımıyla doldurulmuştur.



**Şekil 4.** Pirinçten imal ettirilen 38 mm, 44 mm ve 50 mm çapında kalıplar

Bu pirinç kalıpların içerisindeki hesaplanan miktarlarda hazırlanan zemin numuneleri hidrolik krikoya bağlantılı olarak imal ettirilen ittirme aparatları vasıtasıyla kalıplar içerisinde istenilen boy kadar sıkıştırılmıştır (Şekil 5).



**Şekil 5.** Kalıplar içerisine doldurulan numunelerin istenilen boyda statik olarak sıkıştırılması

Sıkıştırma işlemi ilk aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada ittirme aparatı gerekli sıkışma boyunun yarısı tamamlanacak kadar ittirilmiş ikinci aşamada kalıp baş aşağı çevrilerek geri kalan sıkışma, aparatın diğer taraftan ittirilmesi ile tamamlanmıştır. Sıkıştırmanın iki aşamalı yapılmasının amacı sıkışmayı daha homojen hale getirebilmektir.

Kalıp içerisinde sıkıştırılarak oluşturulan silindirik zemin numuneler yine hidrolik krikoya bağlantılı ittirme aparatları ile kalıp dışarısına ittirilerek çıkarılmış (Şekil 6), ölçüleri ve ağırlıkları belirlendikten sonra naylon streçe sarılarak (Şekil 7) desikatör içerisinde 24 saat bekletilmiştir ve daha sonra serbest basınç deneyine tabi tutulmuşlardır.



**Şekil 6.** Sıkıştırılan numunelerin kalıptan dışarı ittilerik çıkarılması



Şekil 7. Desikatöre konup 24 saat bekletilmek üzere streçe sarılan bir numune

Numunelerin 24 saat bekletilmesindeki amaç suyun zemin içerisine daha homojen dağılmasını varsa oluşan boşluk suyu basınçlarının sönmülmesini sağlayabilmektir. Sıkıştırma işlemi istenilen boya ulaşılan kadar ne kadar enerji gerekliyse uygulamak suretiyle gerçekleştirilmiş, uygulanan enerji ölçümü yapılmamıştır.

Statik olarak sıkıştırılarak hazırlanan numuneler 4 farklı zemin numunesi; 3 farklı çapta, farklı su muhtevalarında hazırlanmış ve serbest basınç deneyine tabi tutulmuştur.

Çalışma kapsamında öncelikle farklı su muhtevalarında standart proktor enerjisi ile sıkıştırılarak dinamik numuneler hazırlanmış ve bunların kuru birim hacim ağırlık ve su muhtevaları belirlenmiş, statik olarak hazırlanan numuneler dinamik numunelerin boyunda, su muhtevasında ve aynı kuru birim hacim ağırlığında olacak şekilde kuru numune ve su ağırlıkları ölçülerek elde edilmiştir. Böylelikle statik ve numuneler arasında tek değişkenin sıkıştırma yöntemi olması sağlanmaya çalışılmıştır.

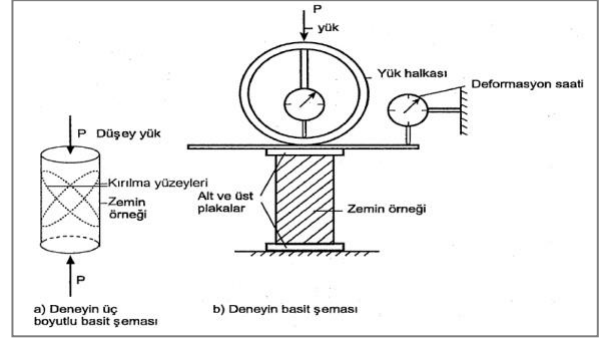
#### 2.4. Serbest Basınç Deneyi

Serbest basınç deneyi oldukça çabuk sonuç vermesinden dolayı yaygın olarak kullanılan bir deneydir. Bu deney, gerilme kontrollü ve deformasyon kontrollü olmak üzere iki şekilde yapılmakla birlikte, yaygın olarak birim boy kısalması kontrollü olanı tercih edilmektedir. Deney, numunenin deney süresince su içeriğinde değişiklikler olabileceğinden dolayı 15 dk içerisinde tamamlanmalı ve birim boy kısalması %15' i geçmemelidir. Birim boy kısalmasının % 15 ' e ulaşmasına rağmen göçme gerçekleşmeyen numuneler için deney sonlandırılmalı ve bu andaki değerler hesapta kullanılarak zemin numunesinin serbest basınç mukavemeti belirlenmelidir (ASTM D2166-00).

Bu deneyde eksenel gerilmenin en büyük değeri serbest basınç dayanımını ( $q_u$ ) verir. Drenajsız kayma mukavemeti ise bu değer yarısı ile belirlenebilir (Eşitlik 1).

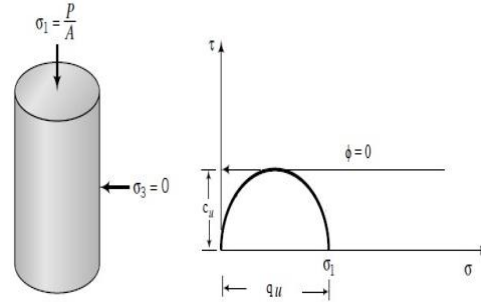
$$\tau = c_u = q_u/2 \quad (1)$$

Şekil 8' de serbest basınç deney aletinin şematigi gösterilmektedir.



Şekil 8. Serbest basınç deneyi (Uzuner, 2007).

Deney sırasında numunenin drenaj koşulları kontrol edilmediği için, hızlı yükleme yapılarak zeminin drenajsız kayma mukavemetinin elde edildiği kabul edilmektedir (Özaydın, 2008). Serbest basınç deneyi uygulanan hücre basıncının sıfıra eşit olduğu durumda konsolidasyonsuz-drenajsız üç eksenli basınç deneyinin (UU) özel bir çeşidi olarak nitelendirilebilir. Serbest basınç mukavemeti kayma gerilmesi-normal gerilme ilişkisi aşağıdaki gibi gösterilebilir (Şekil 9).

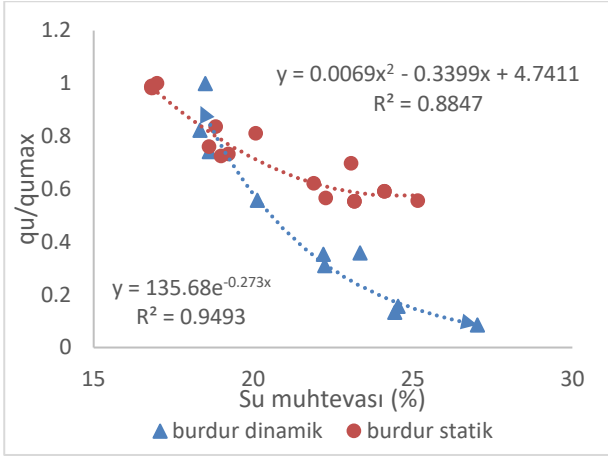


Şekil 9. Serbest basınç mukavemeti kayma gerilmesi-normal gerilme ilişkisi (Satı, 2016).

#### 3. Araştırma ve Bulgular

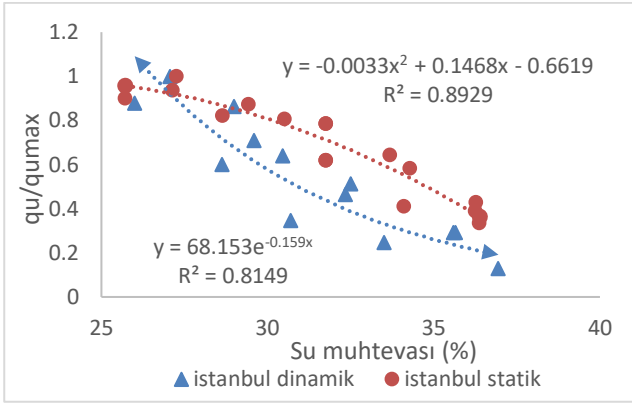
Zemin numuneleri hazırlanırken kullanılan sıkıştırma yönteminin numunelerin serbest basınç dayanımlarına etkisini belirlemek amacıyla statik enerji ile ve dinamik enerji ile sıkıştırılarak aynı başlangıç şartlarında numuneler elde edilmiş ve bu numuneler serbest basınç deneyi ile kırılarak serbest basınç dayanımları belirlenmiştir. Her bir zemin numunesi için farklı çaplara ait numunelerin serbest basınç mukavemetlerinin su muhtevası ile birlikte değişimlerini gösteren grafikler aşağıda sunulmuştur (Şekil 10- 13).

Burdur kilinin statik olarak sıkıştırılan numuneleri için  $q_{u,max}=276,6$  kPa ve dinamik olarak sıkıştırılan numuneleri için  $q_{u,max}=256,31$  kPa' dır (Şekil 10).



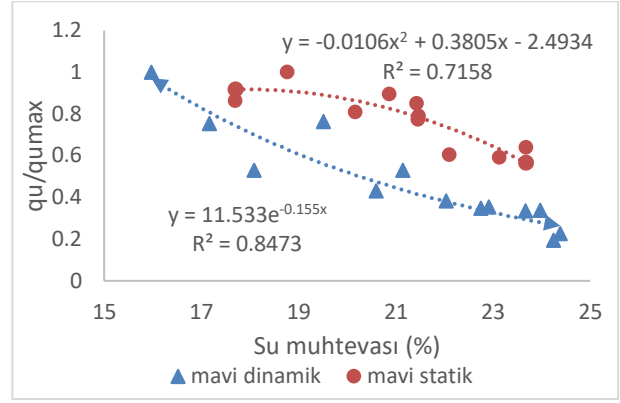
**Şekil 10.** Statik ve dinamik olarak sıkıştırılarak L/D=2 boy/çap oranında hazırlanan tüm Burdur kili zemin numunelerinin su muhtevası - serbest basınç dayanımı ilişkisi

İstanbul kilinin statik olarak sıkıştırılan numuneleri için  $q_{u_{max}}=306,51$  kPa ve dinamik olarak sıkıştırılan numuneleri için  $q_{u_{max}}=289,27$  kPa'dır (Şekil 11).



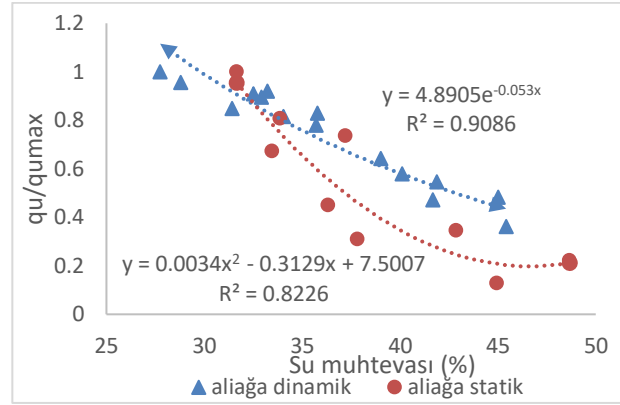
**Şekil 11.** Statik ve dinamik olarak sıkıştırılarak L/D=2 boy/çap oranında hazırlanan tüm İstanbul kili zemin numunelerinin su muhtevası - serbest basınç dayanımı ilişkisi

Mavi kilin statik olarak sıkıştırılan numuneleri için  $q_{u_{max}}=276,44$  kPa ve dinamik olarak sıkıştırılan numuneleri için  $q_{u_{max}}=492,37$  kPa'dır (Şekil 12).



**Şekil 12.** Statik ve dinamik olarak sıkıştırılarak L/D=2 boy/çap oranında hazırlanan tüm Mavi kil zemin numunelerinin su muhtevası - serbest basınç dayanımı ilişkisi

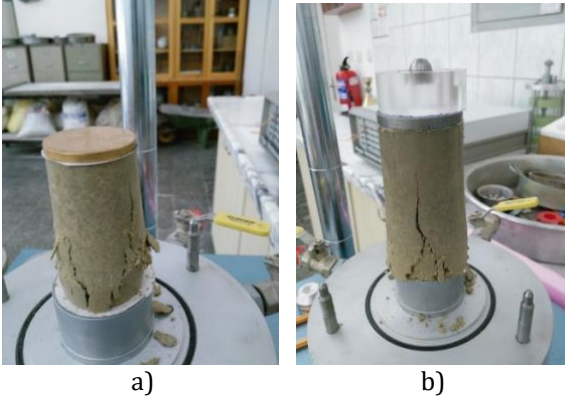
Aliağa kilinin statik olarak sıkıştırılan numuneleri için  $q_{u_{max}}=253,81$  kPa ve dinamik olarak sıkıştırılan numuneleri için  $q_{u_{max}}=288,29$  kPa'dır (Şekil 13).



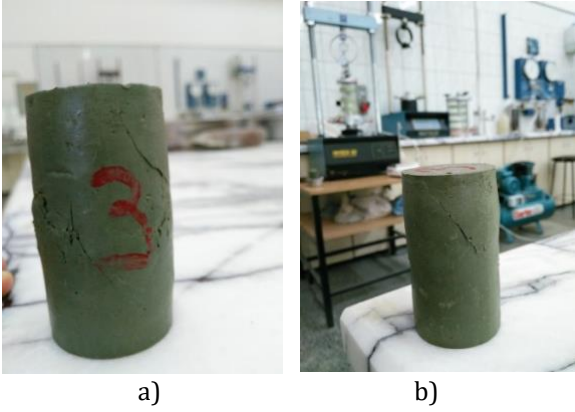
**Şekil 13.** Statik ve dinamik olarak sıkıştırılarak L/D=2 boy/çap oranında hazırlanan tüm Aliağa kili zemin numunelerinin su muhtevası - serbest basınç dayanımı ilişkisi

Zeminlerin hazırlanması esnasında kullanılan yöntemin etkisi plastik limit değeri etrafında çok azalmakta ve bu su muhtevasında her iki yöntemle hazırlanan numuneler de yakın serbest basınç mukavemetlerine sahip olmaktadır. Ancak plastik limitin altına ve üstüne geçildiğinde bu su muhtevalarında statik ve dinamik yöntemle hazırlanmış numunelerin serbest basınç mukavemetleri arasında farklar olduğu görülmüştür. Aliağa kilinde plastik limitin altındaki su muhtevalarında statik sıkıştırma daha fazla dayanım sağlamakla birlikte (Şekil 13); Mavi kil, Burdur kili ve İstanbul kilinde statik olarak sıkıştırılarak hazırlanan numunelerin plastik limit su muhtevasının üstündeki değerlerde daha düşük serbest basınç dayanımlarına sahip oldukları görülmüştür (Şekil 10, 11, 12). Bunun sebebinin Aliağa kilinde %15 oranında kum olması olabileceği düşünülmektedir (Crispim, vd., 2011).

Burdur kiline ve İstanbul kiline ait deney sonrası göçme durumlarını gösteren fotoğraflar aşağıdaki gibidir(Şekil 14-16)



**Şekil 14.** Burdur kiline ait a) 38 mm çap 76 mm boy %22 su muhtevasında dinamik olarak b) 50 mm çap 100 mm boy %22 su muhtevasında statik olarak sıkıştırılarak hazırlanan numuneye ait serbest basınç deneyi sonrası fotoğraf



**Şekil 15.** Mavi kile ait a) 38 mm çap 76 mm boy %24 su muhtevasında b) 44 mm çap 88 mm boy %23,7 su muhtevasında dinamik olarak sıkıştırılarak hazırlanan numuneye ait serbest basınç deneyi sonrası fotoğraf



**Şekil 16.** Mavi kile ait 50 mm çap 100 mm boy %28 su muhtevasında statik olarak sıkıştırılarak hazırlanan numuneye ait serbest basınç deneyi sonrası fotoğraf

Dinamik ve statik olarak sıkıştırılarak hazırlanan zeminlerin serbest basınç dayanımının su muhtevasının artması ile azaldığı görülmektedir(Şekil 10-13) ancak İstanbul kili ve Mavi kil numuneleri için çok kuru durumda özellikle plastik limitin altında serbest basınç dayanımının su muhtevasının artması ile bir miktar artabildiği görülmüştür(Şekil 11,12). Her bir zemine ait numunelerin su muhtevası – serbest basınç dayanımı ilişkisi lineer, polinom, logaritmik, üs ve üstel olarak incelenmiş –negatif değerlerin olduğu durumlarda logaritmik ve üs ilişkileri incelenmemiştir- diğerlerine göre en yüksek R<sup>2</sup> değerini verdiği için bu ilişkinin dinamik numuneler için üstel(Eşitlik 2) olarak statik numuneler için ise ikinci derece polinom olarak(Eşitlik 3) ifade edilmesinin uygun olacağı düşünülmüştür.

$$y = a * e^{-bx} \quad (2)$$

$$y = c * x^2 + d * x + f \quad (3)$$

y : Dinamik ve statik numunelere ait serbest basınç dayanımı

x : Su muhtevası

a , b : Dinamik numuneler için her zemin için değişen sabit sayılar

c, d, f : Statik numuneler için her zemin için değişen sabit sayılar

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Tez çalışması kapsamında değerlendirilen numune çapı, numune boy/çap oranı, su muhtevası ve hazırlanırken kullanılan kompaksiyon yönteminin etkileri belirlenmek üzere serbest basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Zeminlerin hazırlanması esnasında kullanılan yöntemin etkisi plastik limit değeri etrafında çok azalmakta ve bu su muhtevasında her iki yöntemle hazırlanan numuneler de yakın serbest basınç mukavemetlerine sahip olmaktadır.

Plastik limitin altına ve üstüne geçildiğinde bu su muhtevalarında statik ve dinamik yöntemle hazırlanmış numunelerin serbest basınç mukavemetleri arasında farklar olduğu görülmüştür.

Sıkıştırma işlemi yapılacak zeminin optimum su muhtevasının zeminin plastik limitinden uzak olması durumunda hangi sıkıştırma yönteminin optimum su muhtevasında daha yüksek serbest basınç dayanımları sağlayacağı ile ilgili deneysel çalışma yapılmalı ve bu ön çalışma doğrultusunda doğru sıkıştırma yöntemi belirlenmelidir.

Birçok parametrenin aynı anda göz önüne alınarak serbest basınç dayanımının açıklanabilmesi için çoklu

regresyon analizi gerçekleştirilmiş ve kurulan modellerin düzeltilmiş R<sup>2</sup> değerleri başarılı seviyelere gelmiştir.

İlerleyen çalışmalarda daha geniş su muhtevası aralığında çalışmalar yapılarak kıvam ve plastisite indisinin etkileri de daha detaylı araştırılabilir.

Bu çalışmada elde edilen tüm sonuçlar incelenen zemin numuneleri için; optimum su muhtevalarının %5 kuru ve ıslak tarafındaki, 38 mm ve 50 mm çap aralığında ve L/D=2 boy/çap oranına sahip numuneleri kapsamaktadır. Bunun dışındaki durumlar için ve farklı zeminlerde doğru sonuç vermeyebilir, sonuçlar daha farklı çıkabilir.

### **Teşekkür**

Bu çalışma OYP05278- DR-14 nolu proje kapsamında Süleyman Demirel Üniversitesi ÖYP Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

### **Çıkar Çatışması**

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

### **Kaynaklar**

- Alshamib, A., 2010. Mechanical Properties of Remoulded Soft Clay. basım yeri bilinmiyor:UTHM.
- Asmani, D. M. Y., Hafez, M. & Shakri, M., 2013. Comparison between static and dynamic compaction for California Bearing Ratio (CBR). *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, pp. 18, Y,5857-5869.
- Azam, A. & Cameron, D., 2013. Geotechnical Properties of Blends of Recycled Clay Masonry and Recycled Concrete Aggregates in Unbound Pavement Construction. *Journal of Materials in Civil Engineering*, pp. 25,6,788-798.
- Brand, E. & Brenner, R., 1981. *Soft Clay Engineering*. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company.
- Crispim, F. A. ve diğerleri, 2011. The Influence of Laboratory Compaction Methods on Soil Structure: Mechanical and Micromorphological Analyses. *Soils and Rocks*, pp. 34,1,91-98.
- Das, B. M., 2010. *Principles of Geotechnical Engineering*. Stamford: Cengage Learning.
- Hafez, M. A., Asmani, M. D. & Nurbaya, S., 2010. Comparison between Static and Dynamic Laboratory Compaction Methods. *EJGE*, pp. 5, O, 1641-1650.
- Kouassi, P., Breyse, D., Girard, H. & Poulain, D., 2000. A New Technique of Kneading Compaction in the Laboratory. *Geotechnical Testing Journal*, pp. 23,1, 72-82.
- Liu, M., 2011. Sydney Soil Model I : Theoretical Formulation.. *International Journal of Geomechanics,ASCE*, pp. 211-224.

- Norhaliza, W., Ismail, B., Azhar, A. & Nurul, N., 2015. Shear Strength of Remoulding Clay Samples Using Different Methods of Moulding. *Langkawi, Malaysia, Soft Soil Engineering International Conference*.
- Özaydın, K., 2008. *Zemin Mekaniği*. İstanbul: Birsen Yayınevi Ltd. Şti..
- Salem, M., 2006. *Stiffness of Unsaturated Compacted Clay at Small Strains*. Austin: University of Texas.
- Satı, Y., 2016. Sıkıştırılmış İnce Daneli Zeminlerin Kayma Mukavemetinin Drenajlı Koşullarda İncelenmesi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Scombe, B., 2004. *Dynamic Compaction*. New York: Spon Press.
- Seed, H., 1954. Stability and swell pressure characteristics of Compacted Clays. *Clays and Clay Minerals*, Issue 3, pp. 483-501.
- Şengezer, L., 2010. Granüler Zeminlerde Dinamik Kompaksiyon Uygulaması. İstanbul, Yüksek Lisans Tezi: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Uzuner, B. A., 2007. *Temel Zemin Mekaniği*. Trabzon: Derya Kitabevi.
- Venkatarama, B. & Jagadish, K., 1993. The Static Compaction of Soils. *Geotechnique*, pp. 43,2,337-341.
- Yaghoubi, E., Disfani, M. M., Arulrajah, A. & Kodikara, J., 2017. Impact of Compaction Method on Mechanical Characteristics of Unbound Granular Recycled Materials. *Road Materials and Pavement Design*.