

Killi Zeminlerin Su Muhtevası ile Serbest Basınç Mukavemeti Arasındaki İlişki

1. Recep AKAN

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Isparta, Türkiye
recepakan@hotmail.com

2. Sıddıka Nilay KESKİN

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Isparta, Türkiye
nilaykeskin@sdu.edu.tr

3. Mehmet Fatih YAZICI

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Isparta, Türkiye
mehmetyazici@sdu.edu.tr

Özet

Killi bir zemin üzerine emniyetle bir yapıyı inşa edebilmek için bu zeminin kayma dayanımı parametrelerinin bilinmesi ve mevsim değişimlerinden kaynaklanabilecek koşul farklılıklarının zeminin kayma mukavemetini nasıl etkileyeceği belirlenerek bu ihtimallerin de göz önüne alınması önemlidir. Çünkü killer mineralojik kökeninden dolayı ve yüzey alanlarının yüksek olması nedeniyle su içeriğinden daha fazla etkilenirler. Bu çalışmada İstanbul'dan alınan Aliğa kili ve Muğla'dan alınan Eşen kili örselenmiş numuneleri dinamik koşullar altında farklı su muhtevalarında hazırlanarak serbest basınç deneyine tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar kullanılarak serbest basınç dayanımı - likitlik indisi ilişkisi incelenmiş ve bu ilişkinin lineer olmadığı görülmüştür.

Giriş

Bir mühendis, inşa edeceği yapıyı kayma göçmesine karşı güvenli olarak tasarlamak zorundadır. Baraj dolguları, temeller ve istinat yapıları gibi inşaat mühendisliği uygulamalarındaki sayısız problemi çözebilmek için zeminin kayma dayanımının bilinmesi gereklidir. Kayma mukavemeti zeminde hasar oluşturmaya çalışan bir kuvvete karşı koyan nihai direnç kuvvetidir ve zeminin fiziksel özelliklerinin en önemli göstergelerinden biridir [1]. Bir yapının güvenli tasarlanabilmesi için zeminin gerilme-deformasyon davranışı ve kayma dayanımı parametreleri belirlenmelidir. Bu parametreleri belirleyebilmek için laboratuvarında serbest basınç deneyi, kesme kutusu deneyi ve üç eksenli basınç deneyleri kullanılabilir.

Yüksek deformasyon özelliğine ve düşük kayma mukavemetine sahip bir kil ele alındığı zaman dikkat edilecek hususlar daha karmaşık ve zordur. Çünkü killer mineralojik kökeninden dolayı ve yüzey alanlarının yüksek olması nedeniyle su muhtevásından diğer zemin sınıflarına göre daha fazla etkilenmektedir [2]. Aynı inceliğe sahip olsa dahi kil olmayan zemin daneleri, daha küçük yüzeylerinden dolayı ve suya karşı çekim kuvvetleri olmadığından dolayı belirgin bir plastik davranış göstermezler [3].

Kilin mineralojisi, kil içeriği, plastisite indisi (IP), su muhtevası (w), kuru birim hacim ağırlık ve deformasyon hızı killi zeminlerin kayma mukavemeti üzerinde etkili faktörlerdendir [4].

Su, zemin daneleri arasında hem kaydırıcı hem de bağlayıcı etki yapabilmekte ve bu yüzden zeminin dayanımını etkileyebilmektedir [5]. Bu yüzden killi bir zeminin kayma mukavemeti üzerinde en etkili faktörlerden

birisi su muhtevasıdır. Arazide özellikle mevsim değişimlerinden olmak üzere çeşitli nedenlerden dolayı zeminlerin su muhtevası değişebilmekte ve bu değişimler zeminlerin göçmesine neden olabilmektedir. Nitekim birçok yer kaymasına ve zemin göçmesine ani yağışlar sonucu su içeriğinin artışı ile malzemenin mekanik özelliklerinde meydana gelen ani düşüş neden olmuştur [6]. Bu yüzden zeminin kayma mukavemetine su muhtevası değişiminin etkisi belirlenerek bu potansiyel değişimler göz önüne alınmalıdır.

Zeminlerde su muhtevasının kayma mukavemeti üzerine etkisi ile ilgili literatürde birçok çalışma mevcuttur. Ghosh [2] su muhtevası arttıkça kil daneleri birbirinden daha çok uzaklaştığı için kohezyonun azaldığını ve çoğu geoteknik göçmenin kayma göçmesinden oluştuğunu ileri sürmüştür. Genellikle su muhtevası optimum su muhtevasına ulaşıncaya kadar kohezyon artar, optimum su muhtevasından sonraki su içeriklerinde ise kohezyon azalır, içsel sürtünme açısı ise artan su muhtevası ile azalarak optimum su muhtevası civarında sabit bir değere yaklaşmaktadır [4].

Su içeriğine bağlı olarak killi bir zeminin kıvam limitinde meydana gelen değişim kayma dayanımı üzerinde etkilidir. Wroth ve Wood [7] likit limit durumundaki killi bir zeminin drenajsız kayma dayanımının ortalama 1.7 kPa olduğunu, plastik limit durumunda ise yaklaşık 100 kat artarak 170 kPa değerine ulaştığını ileri sürmüştür. Likitlik indisi (IL) ve drenajsız kayma mukavemeti arasındaki bazı bağıntılar aşağıdaki gibidir:

$$c_u = 170 * e - 4.6 IL = 1.7 * 102 * (1 - IL) \text{ (kPa)} \quad [7] \quad (1)$$

$$c_u = (1.167 / IL) * 2.44 \quad 1.5 < IL < 6.0 \quad [8] \quad (2)$$

c_u : Drenajsız kayma mukavemeti
 e : Boşluk oranı
 IL : Likitlik indisi

$$IL = (w_n - w_p) / (w_L - w_p) \quad (3)$$

w_n : Doğal su muhtevası
 w_p : Plastik limit
 w_L : Likit limit

Likitlik indisi yukarıdaki formülde belirtildiği gibi belirlenmektedir. (3) nolu denklem göz önüne alındığında; $IL=1$ durumunda zemin likit limitte, $IL=0$ durumunda ise plastik limittedir. Bir çok araştırmacı bu indisin, zeminlerin özelliklerini, daha çok kullanılan plastik limit w_p ve likit limit w_L değerlerinden daha iyi yansıttığına inanmaktadır [9].

Bu çalışma likitlik indisi (IL) ile drenajsız kayma mukavemeti (c_u) arasında ilişki kurulabileceğini öngörmüş ve Atterberg limit deneyleri ile drenajsız kayma mukavemetini tahmin etmeye çalışmıştır [9].

Çalışma sonucunda aşağıdaki bağıntı elde edilmiştir.

$$c_u = e * (0.026 - 1.21 * IL) \quad (R^2=0.87 ; R=0.93) \quad (4)$$

c_u : Drenajsız kayma mukavemeti
 e : Boşluk oranı

Kayabalı ve diğerleri [10] çalışmalarında su muhtevasının drenajsız kayma mukavemetine etkisini incelemişler ve likit limit kıvamındaki drenajsız kayma mukavemeti ile plastik limit kıvamındaki drenajsız kayma mukavemeti arasında belli bir bağıntı olduğunu ancak bunun sabit olmadığını, plastikliğin artması ile aralarındaki oranında büyüdüğünü belirtmişlerdir.

Bununla ilgili ilk çalışmayı Cassagrande [11] yapmış ve likit limit kıvamındaki ortalama drenajsız kayma mukavemetini 2,65 kPa bulmuştur. İlerleyen çalışmalarda başka araştırmacılar farklı değerlerde likit ve plastik kıvama karşılık drenajsız kayma mukavemeti değerleri bulmuşlardır ([12]; [7]; [13]; [14]) Bunların büyük

çoğunluğu LL kıvamında $c_u = 1-2$ kPa aralığında bulmuşlardır. PL kıvamında ise 110-170 kPa aralığında drenajsız kayma mukavemeti elde etmişlerdir.

Koumoto ve Houlsby [15] su muhtevası (w) ve drenajsız kayma mukavemeti (c_u) arasında aşağıdaki bağıntıyı sunmuştur.

$$w = a * (c_u) - b \quad (5)$$

w : su muhtevası
 a ve b : zemine bağlı parametreler
 c_u : Drenajsız kayma mukavemeti

Zeminlerin su muhtevası ile drenajsız kayma mukavemeti arasında ilişkiyi incelemek amacıyla zeminlerin likit limitleri düşen koni deneyiyle, drenajsız kayma mukavemetleri ise arazi vane deneyi ile belirlenmiş ve aşağıdaki ilişki elde edilmiştir [16].

$$w/w_L = 1.162 - 0.438 * \log(c_u) \quad (R^2 = 0.97) \quad (6)$$

w : su muhtevası
 w_L : Likit limit
 c_u : Drenajsız kayma mukavemeti

Bir başka çalışmada 2 farklı derinlikteki (3m ve 6m) tarımsal zemin üzerinde arazi vane deneyleri yapılmış ve kayma mukavemetleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar regresyon analizleri ile su muhtevasına bağlı formüle edilmiştir [17].

$$\tau = a * w^3 - b * w^2 + c * w - d \quad (R^2 = 0.87) \quad (7)$$

τ : Kayma mukavemeti
 a, b, c, d : zemine bağlı sabitler
 w : Su muhtevası

Yapılan çalışmalar göstermiştir ki su muhtevasının artması ile azalan kayma mukavemeti kuru birim hacim ağırlığının artması ile artmaktadır. Ancak maksimum kayma mukavemetinin maksimum kuru birim hacim ağırlıktan önceki aşamada edilmesi su muhtevasının azaltıcı etkisinin kuru birim hacim ağırlığının artırıcı etkisinden daha büyük olduğunu göstermiştir. Bu yüzden su muhtevasının değişmesi durumunda meydana gelebilecek kayma mukavemeti değişimlerinin tasarım aşamasında dikkate alınabilmesi gereklidir.

Bu çalışmada bu etkinin belirlenebilmesi için çalışmalar yapılmış ve farklı su muhtevalarında hazırlanan zemin numunelerinin serbest basınç mukavemetleri serbest basınç deneyiyle belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar ve değişim davranışlarını temsil eden denklemler Bölüm 3.' te grafikler üzerinde gösterilmiştir.

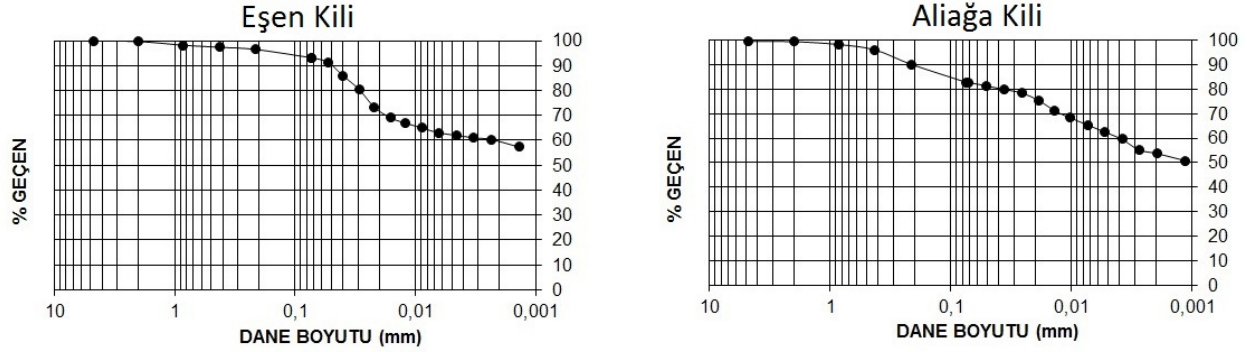
2. Materyal ve Metod

2.1. Kullanılan zemin numunelerinin özellikleri

Çalışmada kullanılan kil numuneleri Aliğa kili ve Eşen kili olmak üzere 2 farklı zemin numunesidir. Aliğa kili İstanbul iline ait kil olup Eşen kili Muğla iline ait bir kildir. Bu killere ait karakteristik özellikler tablolar haline gösterilmiş ve granülometri eğrileri grafik olarak sunulmuştur.

Tablo 1: Zemin numunelerine ait karakteristik özellikler

Zemin Adı	Dane B.H.A.	Maks. Kuru B.H.A	Optimum su muhtevası	Likit limit	Plastisite indisi	Sınıfı (USCS)
Aliağa kili	2,62	1,18	0,36	96,00	62,00	CH
Eşen kili	2,72	1,23	0,37	105,00	75,00	CH



Şekil 1: Zemin numunelerine ait granulometri eğrileri

2.2. Numunenin hazırlanması

Numuneler ilk olarak kompaksiyon kalıbında ve standart proktor şartlarında sıkıştırıldıktan sonra ince cidarlı bir silindirik kalıbın sıkışan numune içerisine batırıldıktan sonra dışarı alınması ve hidrolik bir ekstruder yardımıyla kalıp dışarısına çıkarılması ile elde edilmiştir. Elde edilen numuneler streç filme sarılarak 24 saat bekletilmiş ve zemin içerisinde bulunan suyun daha homojen olarak yayılması sağlanmıştır. 24 saat sonrasında ağırlığı tekrar tartılan numunelerin 24 saat önceki durumuna göre su kaybetmemiş olduğundan emin olunmuştur. 24 saat bekletilen bu silindir numuneler serbest basınç deneyine tabi tutularak serbest basınç mukavemetleri belirlenmiştir.

2.3. Serbest basınç deneyi

Serbest basınç deneyi yanal desteğe gerek kalmadan kendi kendini ayakta dik olarak tutabilecek özelliklere sahip olan zeminlerin üzerinde uygulanabilmektedir. Bundan dolayı bu deneyin kum zeminlerde uygulanması mümkün olmayıp, kohezyonlu zeminlerde uygulanabilir. Deney sırasında numunenin drenaj şartları kontrol edilememektedir. Bu yüzden yüklemenin hızlı yapılması ile zeminin drenajsız kayma mukavemeti elde edilir. Serbest basınç deneyi, killerin drenajsız kayma mukavemetini belirlemede yaygın olarak kullanılmaktadır [18].

Serbest basınç deneyinde silindirik zemin numunesi üzerine sadece eksenel yönde yükleme yapılmaktadır. Eksenel yükün artmasıyla numunenin boyundaki kısalma ölçülerek gerilme-deformasyon eğrileri elde edilmektedir. Deneyler TS 1900-2 şartnamesine göre yapılmış olup en büyük eksenel gerilmenin değeri zeminin serbest basınç mukavemeti değerini temsil etmektedir [19]. Farklı su muhtevaları ile elde edilen numunelere ait serbest basınç mukavemeti değerleri belirlenmiş, su muhtevasının değişimi ile serbest basınç mukavemetinin değişimi arasındaki ilişki regresyon analizi ile incelenmiştir.

2.4. Regresyon Analizi

İki değişken arasındaki ilişkiyi inceleyen, bağımsız değişkendeki bir değişimin bağımlı değişkende meydana getireceği değişimi sayısal olarak ifade eden bir analiz yöntemidir. Regresyon analizi şu şekilde sınıflandırılabilir:

1) Basit doğrusal regresyon analizi: Bağımlı değişken ile bağımsız değişken arasında doğrusal bir ilişki olduğu kabul edilir.

2) Çok değişkenli doğrusal regresyon analizi: İki ya da daha fazla bağımsız değişken ile bağımlı bir değişken arasında doğrusal bir ilişki olduğu kabul edilir.

3) Nonlineer regresyon analizi: Bir ya da daha fazla bağımsız değişken ile bağımlı değişken arasındaki ilişkinin lineer olmadığı kabul edilir.

Regresyon denklemlerinin tahmininde en küçük kareler yöntemi kullanılabilir. En küçük kareler yöntemi; regresyon eğrisinden olan sapmaların minimum olmasını göz önüne alarak regresyon denklemini tahmin etmek için kullanılan bir yöntemdir. Basit doğrusal regresyon analizi için regresyon denklemi en küçük kareler yöntemiyle (EKK) aşağıdaki gibi elde edilir [20]:

$$y = A + Bx + e$$

y : Bağımlı değişken

x : Bağımsız değişken

A : x=0 iken regresyon eğrisinin y eksenini kestiği nokta

B : x' teki bir değişime karşılık y'de meydana gelecek değişimi dikkate alan katsayı

e : y değerlerinin regresyon doğrusundan sapma miktarı

EKK yöntemi sapmaların negatif ve pozitif değerleri birbirini götürmesin diye sapmanın karesini minimum yapan doğru denklemini arar.

$$\sum_{i=1}^N e = \sum_{i=1}^N y_i - A - Bx_i \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^N e^2 = \sum_{i=1}^N (y_i - A - Bx_i)^2 \quad (9)$$

Bu ifadenin türevinin sıfır olduğu yerde ifade minimum değerini alacağı için hesaplamak istediğimiz A ve B katsayılarına göre türevleri dikkate alırız.

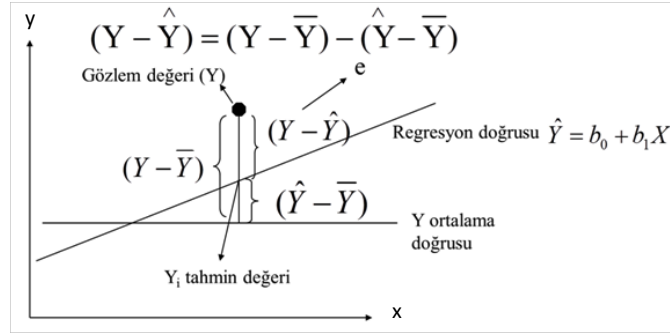
$$\frac{\partial \sum_{i=1}^N e^2}{\partial A} = \frac{\partial \sum_{i=1}^N (y_i - A - Bx_i)^2}{\partial A} = 0 \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^N y_i - N * A - B * \sum_{i=1}^N x_i = 0 \quad (11)$$

$$\frac{\partial \sum_{i=1}^N e^2}{\partial B} = \frac{\partial \sum_{i=1}^N (y_i - A - Bx_i)^2}{\partial B} = 0 \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^N (x_i * y_i) - A * \sum_{i=1}^N x_i - B * \sum_{i=1}^N x_i^2 = 0 \quad (13)$$

İlk olarak rastgele değişkenlerin $\sum_{i=1}^N y_i$, $\sum_{i=1}^N x_i$, $\sum_{i=1}^N (x_i * y_i)$, $\sum_{i=1}^N x_i^2$ değerleri hesaplanır ve daha sonra (Denklem 11) ve (Denklem 12) 'de yerlerine konularak bu iki denklem birlikte çözülür. Böylelikle A ve B katsayıları bulunmuş ve $y=A + Bx$ şeklinde regresyon denklemi oluşturulmuş olur. Nonlineer ilişkiler doğrusal ilişkiye dönüştürülerek EKK yöntemi uygulanabilir [20]. EKK yöntemi ile regresyon doğrusu tahmini yapıldıktan sonra regresyon doğrusunun ne derece iyi oluşturulmuş olduğunu regresyon kareler toplamının ortalama etrafındaki kareler toplamına oranına bakarak söyleyebiliriz. Bu orana “belirleme katsayısı” adı verilir ve R^2 ile gösterilir.



Şekil 2: Basit doğrusal regresyon modeli

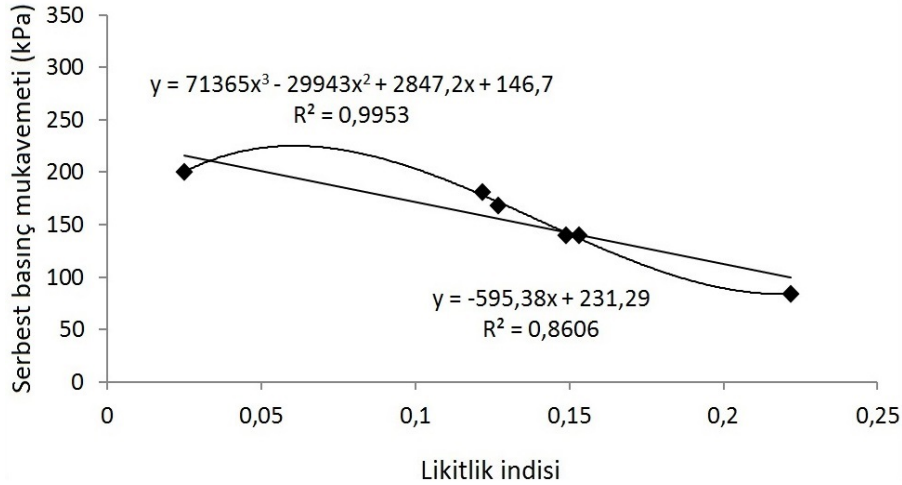
$$R^2 = \frac{\text{regresyon kareler toplamı}}{\text{genel kareler}} = \frac{\sum(\hat{Y} - \bar{Y})^2}{\sum(Y - \bar{Y})^2} \quad (0 < R^2 < 1) \quad (14)$$

R^2 'nin 1'e yaklaşan değerleri bize uyumun iyi olduğunu belirtir. Şekil 2'den de görüldüğü gibi regresyon kareler toplamının büyümesi gözlem değerinin tahmin edilmiş regresyon doğrusuna yaklaşması anlamına gelmektedir ve bu da belirleme katsayısını artırır [21].

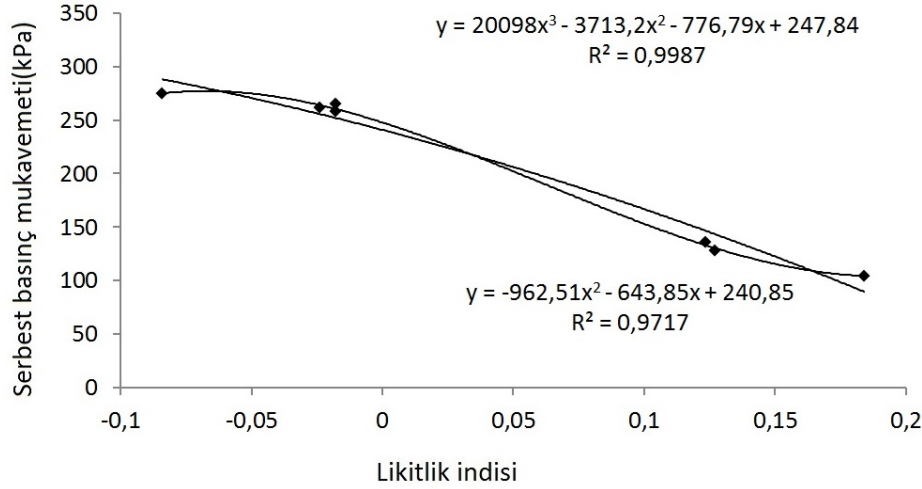
Bu çalışmada basit doğrusal regresyon analizi ve iki değişkenli nonlineer regresyon analizi yapılmıştır. Yapılan regresyon analizlerinde Eşen kiline ait 6 adet veri, Aliağa kiline ait 7 adet veri kullanılmıştır.

3. Sonuçlar ve Değerlendirme

Farklı su muhtevalarında elde edilen silindirik numunelere ait serbest basınç mukavemeti değişimi aşağıdaki grafiklerde sunulmuştur. 2 farklı zemin için elde edilen likitlik indisi- serbest basınç mukavemeti değişim grafikleri ve bunların davranışını en iyi temsil eden denklemler aşağıdaki gibidir.



Şekil 3: Eşen kiline ait likitlik indisi-serbest basınç mukavemeti grafiği



Şekil 4: Aliğa kiline ait likitlik indisi-serbest basınç mukavemeti grafiği

Çalışma sonucunda elde edilen veriler göstermiştir ki su muhtevası ve serbest basınç mukavemeti arasındaki ilişki lineer değildir. En iyi bağıntının hangisi olduğuna R^2 'ler karşılaştırılarak karar verilmiştir. Oluşturulan farklı eğilim çizgileri sonucunda davranışı temsil eden en iyi bağıntının 3. dereceden polinom olduğu belirlenmiştir ve zeminlerin su muhtevası ile serbest basınçları arasındaki bu ilişki Şekil 3 ve Şekil 4' te gösterilmiştir. Su muhtevasının artması ile serbest basınç mukavemetinin genel olarak düşüş gösterdiği, optimum su muhtevasına kadar maksimum kuru birim hacim ağırlığa yaklaşılması nedeniyle kısmen artış gösterdiği ve sonrasında düşmeye devam ederek belli noktadan sonra sabit kaldığı gözlenmiştir.

Davranışları temsil eden denklemlerden de görüldüğü gibi sabit katsayılar her zemin için kendine özgü olarak değişmekte yani her zemin numunesi için farklı davranışlar görülmektedir. Burada elde edilen denklemler bu çalışmada kullanılan zeminlere ait olup başka zemin numuneleri için incelendiğinde doğru bir davranış fikri vermeyebilir. Killerin serbest basınç dayanımı-su muhtevası ilişkisini tüm killer için genel olarak tanımlayabilecek bir denklem elde edilebilmesi killere ait karakteristik özellikler dikkate alınmadan neredeyse imkansızdır. Çünkü killerin minerolojisi başta olmak üzere kıvam limitleri, boşluk oranı gibi parametreler bu davranışı etkilediği için ve bunlar her kil için değişebileceği için su muhtevasına ek olarak bu parametreler de analizlerde değişken olarak değerlendirilmelidir. Ayrıca yapılan çalışma örselenmiş numune üzerinde yapıldığı için gerçek durumdaki değerleri gerçekçi olarak vermeyebilecektir. Çünkü bu çalışmada asıl amaç su muhtevasının serbest basınç mukavemetine olan etkisini belirleyebilmek olduğundan ve sonuçlar örselenmiş numuneler üzerinde laboratuvar deneyiyle belirlenmiş olduğundan arazideki gerçek değerleri yansıtmayabilir.

Teşekkür

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

REFERANSLAR

- [1] Wang, L., Long, W., Gao, S. (2014) . Effect of Moisture Content, Void Ratio and Compacted Sand Content On the Shear Strength of Remolded Unsaturated Clay. *EJGE*, 19, Bund. Q , 4413-4425.
- [2] Ghosh, R. (2013).Effect of soil moisture in the analysis of undrained shear strength of compacted clayey soil. *Journal of Civil Engineering and Construction Technology*, 4,1, 23-31.
- [3] Mitchell, J. K. (1993). *Fundamentals of soil behaviour*. Wiley, New York.
- [4] Zumrawi, M.M.E., Mohammed, L.A.D. (2016). Correlation of placement conditions and soil intrinsic properties with shear strength of cohesive soils. *7th Annual Conference for Postgraduate Studies and Scientific Research - Basic Sciences and Engineering Studies*, Khartoum, Sudan.
- [5] Topp, G.C., Ferre, P.A. (2002). *Methods for measurement of soil water content: thermogravimetric using convective oven-drying*. 5th Soil Science Society of America, Madison, WI, 422–424.
- [6] Blahova,K., Sevelova,L.ve Pilarova, P.(2013). Influence of water content on the shear strength parameters of clayey soil in relation to stability analysis of a hillside in Brno region. *Acta Universitatis Agriculturae Et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 61, 6, 1583-1588.
- [7] Wroth, C. P. ve Wood, D. M. (1978). The correlation of index properties with some basic engineering properties of soils. *Canadian Geotechnical Journal*, 15, 2, 137–145.
- [8] Locat, J., Demers, D.(1988). Viscosity, yield stress, remolded strength and liquidity index relation-ships for sensitive clays. *Canadian Geotechnical Journal*, 25, 4, 799-806.
- [9] Yilmaz, I. (2009). A new testing method for indirect determination of the unconfined compressive strength of rocks. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 46, 1349–1357.
- [10] Kayabali, K., Aktürk, Ö., Fener, M., Üstün, A.B., Dikmen, O.,Harputlugil, F.H. (2015). Evaluation of Undrained Shear Strength of Fine-Grained Soils in Consideration of Soil Plasticity. *Yerbilimleri*, 36, 3, 121-136.
- [11] Casagrande, A. (1932). *Research on the Atterberg limits of soils*. Public Roads.
- [12] Skempton, A. W. ve Northey, R. D. (1953). The sensitivity of clays. *Geotechnique*, 3, 30–53.
- [13] Belvisco, R., Clampoli, S., Cotecchia, V., ve Federico, A. (1985). Use of cone penetrometer to determine consistency limits. *Ground Engineering*.18,5, 21–22.

[14] Sharma, B. ve Bora P.K. (2003). Plastic limit, liquid limit and undrained shear strength of soil: Reappraisal. *Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 129, 8, 774–777.

[15] Koumoto, T. ve Houlsby G.T. (2001). Theory and practice of the fall cone test. *Geotechnique*, 51,8, 701–712.

[16] Trauner, L., Dolinar, B. ve Misic, M. (2005). Relationship between the undrained shear strength, water content, and mineralogical properties of fine-grained soils. *International Journal of Geomechanics*, ASCE, 5,4, 350–355.

[17] Garcia, A.J.H., Jaime, Y.N.M., Contreras, A.M.Z., Bastardo L.D.S. ve Llovera, F.A.S. (2012). Savanna soil water content effect on its shear strength-compaction relationship. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12, 2, 324-337.

[18] Coduto, P. (2006), (Çev. Mollamahmutoğlu, M.). *Geoteknik Mühendisliği İlkeler ve Uygulamalar*. 39-80, 600-680.

[19] Harison, J.R. (1987). Correlation between California Bearing Ratio and Dynamic Cone Penetrometer Strength Measurement of Soils. *Proc. Institution of Civil Engineers*, London, Part-2, 83-87.

[20] Sheldon, M. R. (2009). *Introduction to Probability and Statistics for Engineers and Scientists*. Academic Press, Elsevier.

[21] Ergün, M. (1995). *Bilimsel Araştırmalarda Bilgisayarla İstatistik Uygulamaları (SPSS for Windows)*. Ocak Yayınları, Ankara.