

KOCAELİ'DE YER ALAN KİLLİ ZEMİNLERİN ZEMİN-SU ve KAYMA DAYANIMI ÖZELLİKLERİ

Soil-Water and Shear Strength Properties of Kocaeli Clays

Cengiz KURTULUŞ¹, Maral ÜÇKARDEŞ¹ ve Ahmet YOĞURTÇUOĞLU²

ÖZET

Bu çalışmanın amacı Kocaeli bölgesinde yer alan killerin doymamış durumdaki hallerini incelemek ve onların laboratuvar ortamında ıslak-kuru devrimsel testlerini ortaya çıkarmaktır. Test sonuçları ön yüklemeye tabi tutulmuş örneklerin zemin-su karakteristik eğrisinin zemin özellik fonksiyonunu çok iyi gösterdiğini belirtmiştir. Çalışmada suya doymamış killerin su emme dayanımının hiperbolik modeli oluşturulmuş ve bu modelin parametreleri üç eksenli testlerle elde edilmiştir. Bu model suya doymamış bir kilin su emme dayanımını elde etmek için rahatlıkla uygulanabilir.

ABSTRACT

The objective of this study is to examine the Kocaeli expansive soil in its unsaturated state and to perform the wetting-drying cycle tests of soil-water features of it in the laboratory conditions. The test results indicated that the soil-water characteristic curve of the pre-load samples may represent the soil property function very well. The strength features of the various suction conditions of the unsaturated expansive soil were also examined. The hyperbolic model of the suction strength was provided and the parameters of this model were determined by tri-axial tests of unsaturated soil. This model could be easily applied to predict suction strength of an unsaturated soil.

GİRİŞ

Killerin karakteristik özellikleri büyük ölçüde su emme özellikleri ile değişmektedir. Suya doymamış killerin aktivitesi büyük ölçüde boşluk oranı ve geometri dağılımına bağlıdır. Zemin-su karakteristik eğrisi saturasyonun derecesini tanımlar. Bununla beraber, zemin-su karakteristik eğrisini veren denklem parametrelerinin hesaplanması oldukça zordur (Miao et al., 2002). Deneysel best fit zemin-su karakteristik eğrisi ile ilgili birçok bağlantı değişik yazarlar tarafından verilmiştir Fredlund ve Xing (1994) aşağıda verilen deneysel en iyi uyan zemin-su karakteristik eğrisini vermiştir.

$$\theta(U_a - U_w, a_s, n_s, m_s) = C(U_a - U_w) \frac{Q_s}{\left\{ \ln \left[e \left((U_a - U_w) / a_s \right)^{n_s} \right] \right\}^{m_s}} \quad (1)$$

Burada

θ = hacimsel su içeriği

Q_s = saturasyon durumunda hacimsel su içeriği

¹ Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Müh. Bl. Umutepe Yerleşkesi İZMİT-KOCAELİ.
e-mail: cengizk@kocaeli.edu.tr, maral.uckardes1@kocaeli.edu.tr

² Kocaeli Üniversitesi, Ö. İsmet Uzunoğlu M.Y.O.- HEREKE-KOCAELİ
e-mail: acemy@kocaeli.edu.tr

$e = 2.718$

U_a = boşluk hava basıncı

U_w = boşluk su basıncı

$U_a - U_w$ = metrik emme

a_s = zemine hava girişi olması durumunda zemin parametresi olup, eğri üzerinde bükülme noktası değerine eşittir.

n_s = saturasyon olmadığı durumdaki zemin parametresi

m_s = rezidüel su içeriğine bağlı zemin parametresi

$C (U_a - U_w)$ = fonksiyonun sıfır su içeriği durumunda 1.000.000 kPa'la gitmesini teyit eden düzeltme faktörüdür.

Fredlund ve diğ. (1978) sature olmamış bir zemin için kayma direncini aşağıdaki gibi vermiştir

$$\tau_f = c' + (\sigma - U_a) \tan \phi' + (U_a - U_w) \tan \phi^b \quad (2)$$

Burada

τ_f = sature olmamış bir zeminin makaslama dayanımı

c' = efektif kohezyon

ϕ' = efektif kayma dayanımı açısı

$(\sigma - U_a)$ = net normal stres

$(U_a - U_w)$ = su emme değeri

ϕ^b = emişteki artışa karşın oluşan kayma dayanım açısı

Fredlund ve diğ. (1994) ve Vanapalli ve diğ. (1996) zemin-su karakteristik eğrilerini ve sature olmuş kayma dayanım parametrelerini kullanarak sature olmamış zeminin kayma dayanımını bulmak için birçok model önermişlerdir. Aşağıdaki bağıntı sature olmamış zeminin kayma dayanımını tespit etmek için kullanılabilir.

$$\tau_f = c' + (\sigma - U_a) \tan \phi' + (U_a - U_w) \tan \phi' \times \left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right) \quad (3)$$

Burada

θ_s = sature olmuş hacimsel su içeriği

θ_r = rezidüel durumda hacimsel su içeriği

(3) bağıntısının ikinci terimi emmeye bağlı olarak elde edilen kayma dayanımını göstermektedir.

$$\tau_{us} = (U_a - U_w) \tan \phi' \left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right) \quad (4)$$

Burada

τ_{us} = emme dayanımı olup, (4) nolu bağıntı sature olmamış zeminlerin zemin özellik fonksiyonlarını hesaplamak için kullanılabilen zemin-su karakteristik eğrisini göstermektedir. Bununla beraber zemin-su karakteristik eğrisi laboratuarda rahatlıkla elde edilebilmektedir. Bu nedenle (3) bağıntısının kullanılmasında bazı tasarlanmamış hatalar oluşmaktadır.

Kocaeli Killerinin Mekanik Mühendislik Parametreleri

Kocaeli Türkiye'nin kuzeybatısında yer almakta olup, birçok kil türüne sahiptir. Kil örnekleri Körfez ilçesinin kuzeyinden toplanmış ve laboratuarda ölçümlere tabii tutulmuştur. Killerin mühendislik özellikleri Tablo 1 de ve mineral bileşenleri Tablo 2 de verilmektedir.

Tablo 1. Kocaeli killerinin mühendislik özellikleri
Table 1. The engineering parameters of Kocaeli expansive soil

Spesifik gravite	Kuru yoğunluk (g/cm^3)	W_O (%)	W_P (%)	W_L (%)	I_p	Serbest Şişme (%)	c' (kPa)	ϕ ($^\circ$)	Dane (%)			
									> 0.05 mm	0.05-0.005 mm	< 0.005 mm	< 0.002 mm
2.45	1.6	25	27.5	62.4	43.4	76	23.4	18.4	6.1	45.6	41.9	18.4

Tablo 2. Kocaeli killerinin mineral özellikleri
Table 2. The mineral components of Kocaeli expansive soils

Montmorillonit	İllit	Kaolin	Feldspar	Hidromik	Klorit	Diğerleri
26.2	29.8	4.6	13.2	5.9	8.5	11.8

Toprak-su karakteristik eğrileri

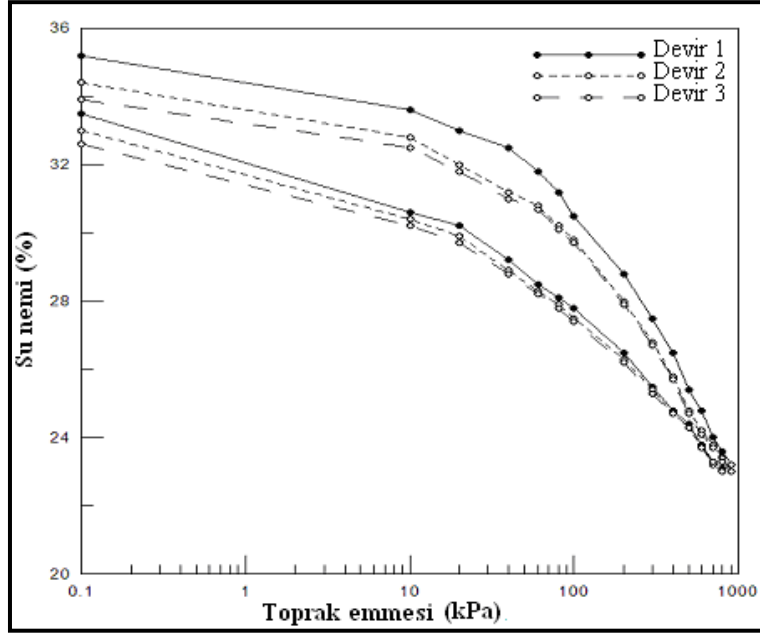
Toprak su karakteristik eğrileri su emmesi ile hacimsel ve gravimetrik su içeriği arasındaki ilişkiyi tanımlar. Genleşme ve büzülme deformasyonu büyük ölçüde su içerik değişimine bağlıdır. Genleşme su içeriği ile doğrudan ve büzülme ise su içeriği ile ters orantılıdır. Verilen bir toprak örneğinin karakteristik toprak-su eğrisi bir basınç plaka ile ölçülür. Bu deneyde toprak örneğinin hacimsel değişimi sıfır kabul edilir.

Toplanan kil örnekleri üzerine 15 barlık bir basınç plakası uygulanarak toprak-su karakteristik eğrilerinin üzerinde iki grup test gerçekleştirilmiştir. Bir grup örnek satire edilerek hacimsel değişmeye bırakılmış (üzerlerine ön-yük uygulanmamış) ve diğer grup örnekler sabit hacim korunarak satire edilmiştir (örnekler üzerine ön-yük uygulanmıştır). Bu örnekler plastik olup, kuru yoğunlukları 1.6 gr/cm^3 tür. Her bir grup örnek için üç sulama-kuruma (wetting-drying) periyotları ölçülmüştür. Ön-yük yüklenmemiş bir örneğin toprak-su karakteristik eğrisi Şekil 1'de gösterilmektedir. Ölçüm sonuçları ön yükleme yapılmamış toprak örneklerinin sulama-kuruma periyotlarının toprak-su karakteristik eğrisi üzerindeki etkisini iyi bir şekilde göstermektedir. Sulama-kuruma periyotları arttıkça sulama kuruma eğrileri arasındaki histeriz potansiyeli azalmaktadır. Şekil 2'de ön-yük yüklenmiş kil örneklerinin sulama-kuruma karakteristik eğrisini göstermektedir. Şekilden sulama-kuruma periyotları arasındaki histeriz, sulama-kuruma periyotları arttıkça daha kararlı olmaktadır. Ön-yük yüklenmiş sulama-kuruma devirlerinin etkisi ön-yük yüklenmemiş olanlarından daha küçüktür. Buna değişik başlangıç durum koşulları neden olmaktadır. Şekil 3. te ön yükleme yapılmamış toplam su emme durumundaki kil örneklerinin toprak-su karakteristik eğrileri gösterilmektedir. Şekle göre killerin hava giriş ve rezidüel değerleri yaklaşık olarak 40 ve 1900 olup, $\theta_s = 31.5\%$, $\theta_r = 8.41\%$ tir.

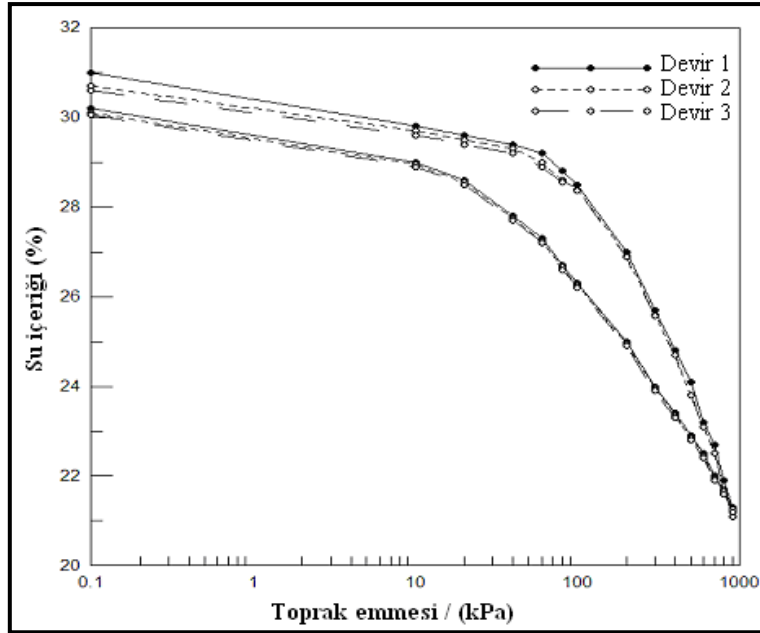
Makaslama Dayanımı

Suya Doygun Killerin Makaslama Dayanım Testi

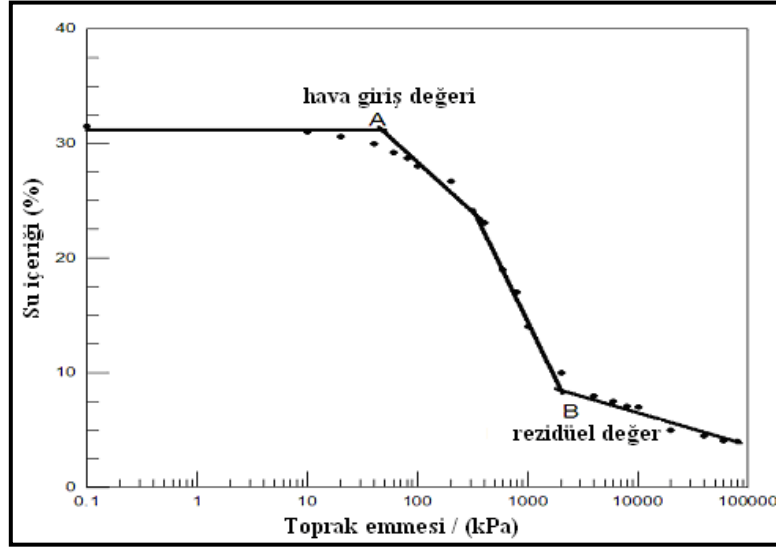
Suya doymuş killerin makaslama dayanımı bilinen 3-eksenli deney ile ölçülmüştür. Kil örneklerinin yoğunluğu 1.6 gr/cm^3 olup, sonuçlar Şekil 4'te verilmiştir. Kil örneğinin ölçülmüş parametrelerinden $C' = 23.4\%$ ve $\Phi' = 18.6^\circ$ dir.



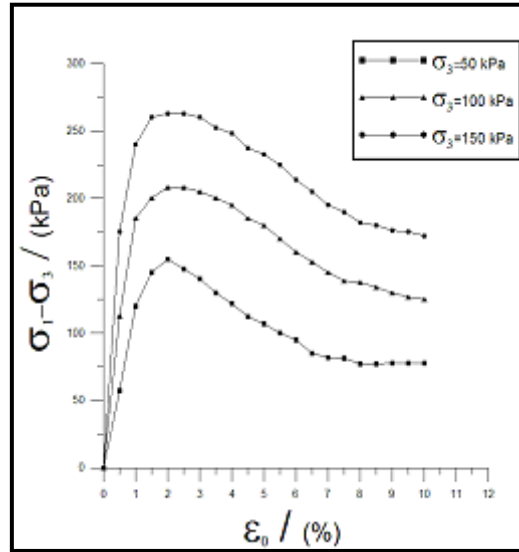
Şekil 1. Üzerine ön-yük yüklenmemiş bir zemin örneğinin toprak-su karakteristik eğrisi
Table 1. Soil-water characteristic curve of no pre-load exerted specimen



Şekil 2. Üzerine ön-yük yüklenmiş olan bir örneğinin toprak-su karakteristik eğrisi
Figure 2. Soil-water characteristic curve of pre-load exerted on the sample



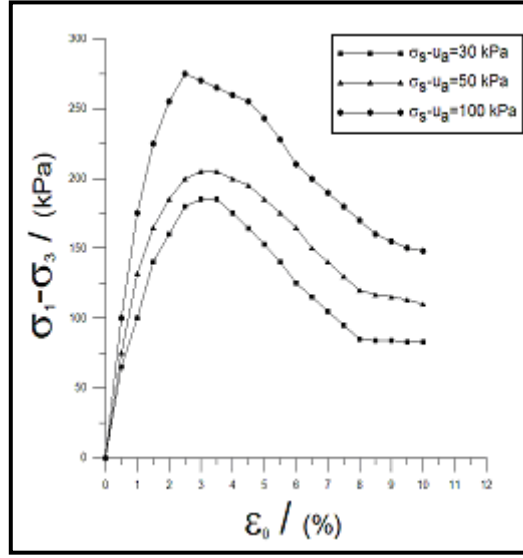
Şekil 3. Üzerine ön-yük yüklenmiş olan bir kil örneğinin toprak-su karakteristik eğrileri
Figure 3. Soil-water characteristic curve of pre-load exerted sample



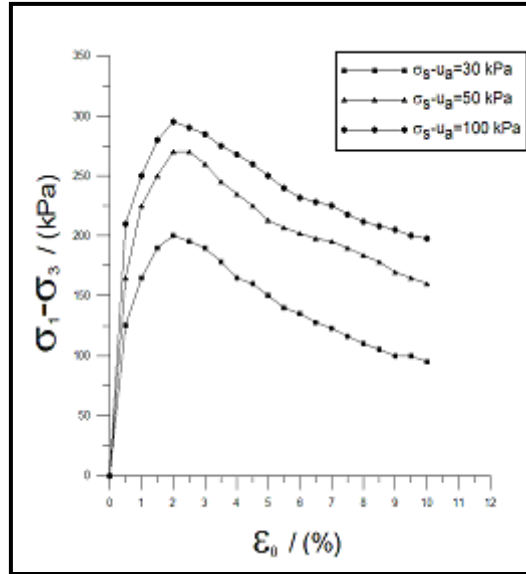
Şekil 4. Doymun kil örneğinin üç-eksenli test sonuçları
Figure 4. Tri-axial test results of the saturated expansive soil

Doymun Olmayan Killerin Makaslama Dayanım Deneyi

Kil örneklerinin su içerikleri ve yoğunluğu statik kompaksiyon ile belirlenmiştir. Kuru yoğunluk 1.6 gr/cm^3 ve başlangıç su içeriği %16'dır. Doymun olmayan killer üç eksenli basınç deneyine tabi tutulmuştur. Deneyde $U_s = U_a - U_w = 50, 100, 150 \text{ kPa}$ olarak alınmıştır. Deney su deşarjı ve makaslama oranı 0.009 mm/dak şartlarında yapılmıştır. Şekil 5-8. de $U_s = 50, 100$ ve 150 kPa değerleri için doymamış bir kil örneğinin stres-strain eğrileri gösterilmektedir. Üç eksenli deney verileri Tablo 3'te gösterilmektedir.



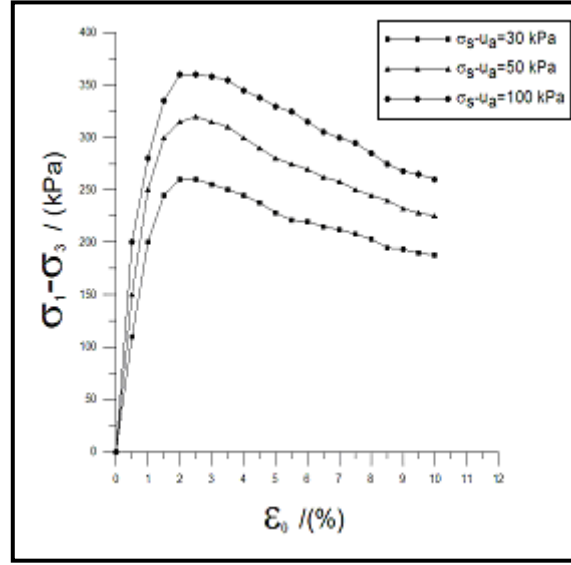
Şekil 5. Doymamış kil örneğinin üç-eksenli test sonuçları ($U_s = 50$ kPa)
Figure 5. Tri-axial test results of unsaturated expansive soil ($U_s = 50$ kPa)



Şekil 6. Doymamış kil örneğinin üç-eksenli test sonuçları ($U_s = 100$ kPa)
Figure 6. Tri-axial test results of unsaturated expansive soil ($U_s = 100$ kPa)

Tartışma ve Sonuç

Killerin emme dayanımında ortaya çıkan problemler ya killerin emmesi doğrudan arazide ölçülerek ya da toprak-su karakteristik eğrilerinden belirlenir. Bizim sonuçlar önceden yüklenmiş örneklerin toprak-su karakteristik eğrilerinin ön yüklemeye tabi tutulmamış killerden daha iyi olduğunu göstermektedir.



Şekil 7. Doymamış kil örneğinin üç-eksenli test sonuçları ($U_s = 150$ kPa)
 Figure 7. Tri-axial test results of unsaturated expansive soil ($U_s = 150$ kPa)

Tablo 3. Kocaeli killerinin makaslama dayanım verileri
 Table 3. Shear strength data of Kocaeli expansive soil

U_s (kPa)	50	100	150
C_{total} (kPa)	46.4	64.3	79.0
τ_{us} (kPa)	17.5	25.2	37.8
c' (kPa)	23.4	23.1	23.9
ϕ ($^{\circ}$)	18.6	18.8	18.5
ϕ^b ($^{\circ}$)	18.1	17.9	16.4

Tablo 3. te $C_{total} = C' + \tau_{us}$, C' efektif kohezyon, τ_{us} emme dayanımı, $\Phi^b = \tan(\tau_{us}/u_s)$ makaslama dayanım açısıdır. Φ^b emme arttıkça azalmaktadır.

Toprak-su karakteristik eğrisi ve histeriz potansiyelin büyüklüğü kil örneğinin başlangıç stresi tarafından etkilenmektedir. İslanma-kuruma devir sayılarının artmasına paralel olarak histeriz potansiyeli azalır ve durağan olma eğilimine girer. Ön yüklü örneğin ıslanma-kuruma devir sayısının küçük olması durumunda ön yüklü örneklerin ıslanma-kuruma eğrileri arasındaki histeriz ön yüksüz olanlarından daha durağandır. Ön yüklü örneğin toprak-su karakteristik eğrisi kilin özellik fonksiyonunu iyi bir şekilde yansıtır.

Ön yüklü kil örneğinin toprak-su karakteristik eğrisi kullanılarak elde edilen θ_s ve θ_r parametreleri durağan olup, doymamış killerinkine benzerdir.

KAYNAKLAR

FREDLUND, D.G., XING, A., 1994. Equations for the soil-water characteristic curve. Can. Geotech. J. 31, 521-532.

FREDLUND, D.G., MORGENSTERN, N.R., WIDGER, R.A., 1978. The shear strength of unsaturated soil. Can. Geotech. J. 15, 313-321.

FREDLUND, D.G., XING, A., HUANG, S., 1994. Predicting the permeability functions for unsaturated soils using the soil-water characteristic curve. Can. Geotech. J. 31, 533-546.

MIAO L., LIU S., LAI Y., 2002. Research of soil-water characteristics and shear strength feature of Nanyang expansive soil. Engineering Geology, 65, 261-267.

VANAPALLI, S.K., FREDLUND, D.G., PUF AHL, D.E., CLIFTON, A.W., 1996. Model for the prediction of shear strength with respect to soil suction. Can. Geotech. J. 33, 379-392.