





İnce taneli zeminlerin kayma dayanım parametrelerinin drenajlı deneylerle belirlenmesi

Determination of shear strength parameters of fine grained soils by drained tests

Hatice Seray Zedeli^{1,*} , Hasan Savaş² 

^{1,2} Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 26040, Eskişehir, Türkiye

Öz

Zeminlerin kayma dayanımı geoteknik mühendisliğinin önemli konulardan biridir. Zeminlerde gerilme-deformasyon karakteristiklerinin belirlenmesinde, temellerin taşıma gücü hesaplarında, istinat yapılarının tasarımında, heyelan analizlerinde ve şev stabilite tahkiklerinde kayma dayanımı parametrelerine ihtiyaç duyulur. Analizlerde kullanılacak dayanım parametreleri efektif ve toplam gerilmeler esasında değerlendirilir. Uzun dönemli analizlerde drenajlı (efektif), kısa dönemli analizlerde ise drenajsız (toplam) parametreler kullanılır. Uzun dönemli analizlerde gerek duyulan efektif parametrelerin belirlenmesinde farklı laboratuvar deney yöntemleriyle deneylerin yapılması ve elde edilen sonuçların karşılaştırılması güvenilir tasarım için gereklidir. Bu çalışmada ince taneli zeminlerin drenajlı kayma dayanım parametrelerinin bulunması amaçlanmıştır. Bu amaçla kompaksiyon karakteristiklerinde hazırlanan ince taneli zemin örnekleri üzerinde konsolidasyonlu-drenajlı (CD) üç eksenli basınç deneyi, kesme kutusu deneyi ve halka kesme deneyi yapılmış ve bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Kayma dayanımı, Üç eksenli basınç deneyi, Halka kesme deneyi, Kesme kutusu deneyi, Kil

1 Giriş

Malzemenin taşıyabileceği en büyük veya nihai gerilmeye dayanım denir. Geoteknik mühendisliğinde esas olan zeminlerin kayma dayanımıdır. Çünkü zemin çekme gerilmelerini çok fazla alamaz. Zemin problemlerinin çoğu zeminin dayanımını aşan kayma gerilmelerinden kaynaklanmaktadır [1]. Zeminlerin kayma dayanımı kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısı (ϕ) parametreyle ifade edilmektedir. Bu parametreler zemin tabakalarından alınan numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri ile belirlenebilmektedir. Bu parametreler bir zemin için sabit değerler olmayıp deneyde kullanılan yükleme ve drenaj koşullarına göre değişkenlik göstermektedirler. Ayrıca zeminlerin kayma mukavemeti için gerilme şekil değiştirme davranışları incelendiğinde kayma gerilmelerinin deformasyon seviyelerinden etkilendiği görülmektedir. Kayma gerilmesinin artan deformasyon ile birlikte pik kayma gerilmesine ulaşıktan sonra düşmeye başlayıp

Abstract

Shear strength of soils is one of the important issues in geotechnical engineering. Shear strength parameters are needed in determining the stress-strain characteristics of soils, calculating the bearing capacity of foundations, designing retaining structures, landslide analyzes and slope stability verifications. The strength parameters to be used in the analysis are evaluated on the basis of effective and total stresses. Drained (effective) parameters are used in long-term analyzes and undrained (total) parameters are used in short-term analyzes. To determine the effective parameters required in long-term analysis, it is necessary to conduct experiments with different laboratory test methods and to compare the results obtained for reliable design. In this study, it is aimed to find the drained shear strength parameters of fine-grained soils. For this purpose, consolidated-drained (CD) triaxial compression test, shear box test and ring shear test were performed on fine-grained soil samples prepared with compaction characteristics and the results were compared.

Keywords: Shear strength, triaxial compression test, Ring shear test, Shear box test, Clay

sabitlendiği değere ise kalıcı (rezidüel) kayma dayanımı olarak tanımlanmıştır [2].

Kayma dayanımı parametreleri zemin türüne ve yükleme hızına göre toplam gerilme parametreleri (drenajsız) ve efektif gerilme parametreleri (drenajlı) olarak ikiye ayrılır. Stabilite problemlerinde bu parametrelerden hangisinin kullanılacağını belirlemek önemlidir. İnce taneli zeminlerin geçirgenliği (permabilitesi) düşük olduğu için drenajsız kayma dayanımı parametreleri kullanılırken, iri taneli zeminlerde drenajlı kayma dayanımı parametreleri kullanılır [3]. Bahsedilen durumlara ek olarak; ince taneli zeminlerin uzun süreli stabilite analizleri söz konusuysa, suyun sistemden bu süre içerisinde drene olabileceği varsayılarak drenajlı kayma dayanımı parametreleri kullanılır. Drenajsız dayanım laboratuvar ve arazi deneyleriyle belirlenebilirken; drenajlı dayanım sadece laboratuvar deneyleriyle belirlenir. Kesme kutusu, halka kesme ve konsolidasyonlu-drenajlı üç eksenli kesme deneyi drenajlı dayanımı bulmak için kullanılan deneylerdendir [1].

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: seraysezgin@hotmail.com (H. S. Zedeli)
Geliş / Received: 29.11.2022 Kabul / Accepted: 18.01.2023 Yayınlanma / Published: 15.04.2023
doi: 10.28948/ngumuh.1211891

Zeminlerin kayma dayanımıyla ilgili çalışmalar 18.yüzyılın ortalarında Coulomb ile başlamıştır. Coulomb bu dönemde kayma dayanımı parametrelerini bulmak için kesme kutusuna benzer bir düzenek kullanmıştır. 19.yüzyılda Collin; kil şevlerdeki yenilmeler ve kil zeminlerin kayma dayanımının ölçülmesiyle ilgili çalışmalar yapmıştır [1]. 1954'te Skempton ve Bishop zeminin karşı koyduğu en büyük kayma gerilmesinin kayma direnci olduğunu ispatlamıştır. Horslev ise 1960'ta zeminin yenilme anındaki kayma gerilmesini kayma dayanımı olarak açıklamıştır [4]. Fredlund ve Rahardjo (1993), kayma dayanımını konsolidasyonlu drenajlı deneyle ölçmek için modifiye edilmiş direkt kesme makinesi kullanmışlardır [5]. Kenney (1959), Bjerrum ve Simons (1960), U.S. Navy (1971) ve Ladd vd.(1977) yaptıkları çalışmalarda drenajlı kayma dayanımı parametreleriyle ilgili önemli bulgular ortaya koymuşlardır. Bu çalışmalara dayanarak killer üzerindeki üç eksenli basınç deneyinde efektif içsel sürtünme açısının plastisite indisine bağlı olduğu korelasyonlar elde edilmiştir [6-9]. Skempton 1985'te halka kesme deneyiyle bulunan kayma dayanımının gerçek dayanımından daha küçük olduğunu belirtmiştir [1].

Güncel literatür çalışmalarından; kalıcı kayma dayanımını belirlemek için killer üzerinde konsolidasyonlu-drenajlı üç eksenli basınç deneyi ve kesme kutusu deneyi yapıp sonuçlar karşılaştırıldığında içsel sürtünme açılarının konsolidasyonlu-drenajlı üç eksenli deneyinden bulunan değerlerden daha büyük olduğu belirlenmiştir [10-12]. Kesme kutusu ve halka kesme deneyleriyle bulunan killerin kalıcı mukavemet açıları karşılaştırıldığında ise; tekrarlı kesme kutusu deneylerinin halka kesme deneylerinden daha yüksek kalıcı kayma mukavemeti açısı verdiği görülmüştür. [13-14].

Bu çalışmada ince taneli zeminlerin drenajlı kayma dayanım parametrelerini bulmak için optimum su muhtevasında sıkıştırılarak hazırlanmış örnekler üzerinde konsolidasyonlu-drenajlı üç eksenli basınç deneyi, kesme kutusu deneyi ve halka kesme deneyi yapılmıştır. Deneyler literatürde ve standartlarda verilen kesme hızları göz önüne alınarak en az üç farklı gerilme altında yapılmıştır. Deney sonuçlarında bulunan kayma dayanımı parametrelerinin kullanılan deney yöntemine göre değişimi incelenmiştir.

2 Materyal ve metot

Afyon ve İznik bölgesinden alınan ince taneli zemin örnekleri üzerinde konsolidasyonlu drenajlı üç eksenli basınç deneyi, halka kesme deneyi ve kesme kutusu deneyi yapılmıştır. Deneylerde kullanılan zemin örneklerinin geoteknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

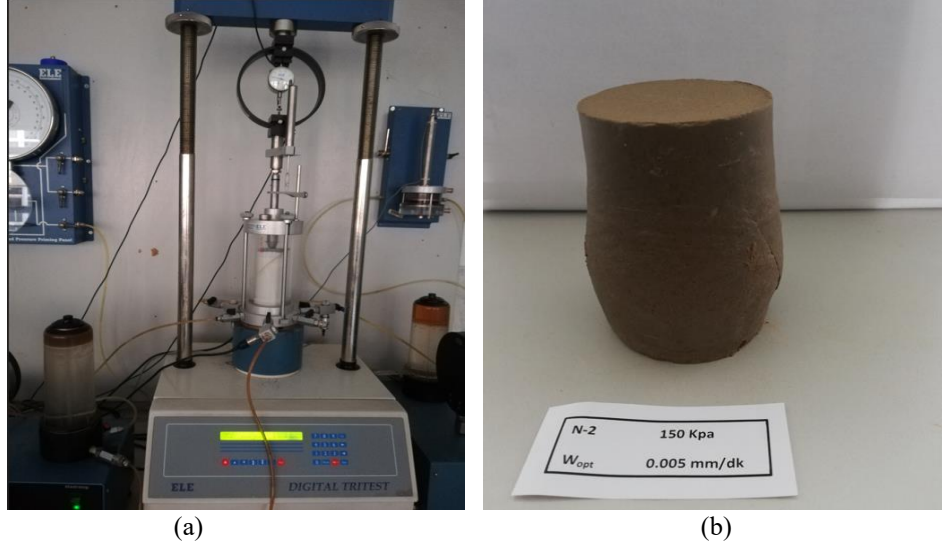
Üç eksenli deneyi arazideki gerilme ve drenaj şartlarının laboratuvarında modellenbildiği en uygun deneydir. Deney sırasıyla; doyumluk, konsolidasyon ve kesme aşamalarından oluşmaktadır. Bu çalışmada ELE marka üç eksenli deney sistemi kullanılmıştır. Deney 100-150-200 kPa olmak üzere üç farklı çevre basıncı (σ_3) altında yapılmıştır. Zemin numunelerinin doyumluğunu sağlamak için karbondioksit (CO_2) uygulaması yapılmıştır. İlk olarak 10 kPa çevre basıncı verilerek CO_2 'nin membran ve numune arasından geçip numune içerisindeki boşluklara girmeden çıkması önlenmiştir. Karbondioksit uygulanmasını takiben, 30 kPa hücre basıncı ve buna karşılık 25 kPa ters basınç uygulanarak numunenin doyumluğa ulaştırılmasına devam edilmiştir. Çevre basıncı 60 kPa ve 90 kPa olarak kademeli artırılmıştır. Her kademede uygulanan hücre basıncından 5 kPa daha az ters basınç uygulanmıştır.

Hücre basıncı verildikçe numunedeki boşluk suyu basıncı (u) artar. Bu artış boyutsuz bir parametre olan B değeri ile tanımlanmıştır [15]. Boşluk suyu basıncındaki değişimin hücre basıncındaki değişime oranı olan B değeri 1 olduğunda doyumluk zemin örneğinin doyum olduğu kabul edilmektedir. [16].

Doyumluk sağlandıktan sonra konsolidasyon aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada çevre basıncı artırılarak istenilen efektif gerilmeye ulaşılmış ve bu gerilme değeri altında numunenin konsolide olması sağlanmıştır. Konsolidasyon sona erdiğinde eksenel yüklem aşamasına diğer bir ifadeyle kesme aşamasına geçilmiştir. Drenaj koşulları sağlanarak 0.005 mm/dk hızla yaklaşık %20 deformasyon olana kadar eksenel yüklemeye devam edilmiştir. Kesme hızının oldukça düşük olması ilave boşluk suyu basıncı oluşmasını engellemiştir. Bu yüzden konsolidasyonlu-drenajlı üç eksenli deney sonunda bulunan kayma dayanımı parametreleri efektif esastadır. Aynı işlemler 150 kPa ve 200 kPa çevre basınçları için iki numuneye de uygulanıp Mohr-Coloumb hipotezine göre numunenin kayma dayanım parametreleri bulunmuştur. Deney aşaması ve deney sonucuna ait görsel Şekil 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Numunelerin geoteknik özellikleri

Numune Adı	Zemin Grup Sembolü	Maksimum kuru yoğunluk $\rho_{maks}(Mg/m^3)$	Optimum Su Muhtevası $W_{opt}(\%)$	Likit Limit $W_L \%$	Plastik Limit $W_P \%$	Plastisite İndisi $I_P \%$	Özgül Gravite
Afyon-3	CL	1.537	21	46	24	22	2.65
Kunduzlar	ML	1.540	21.5	49	28	21	2.69
Kırka-Boraks	MH	1.505	25.0	60	33	27	2.71
İznik	CL	1.532	22.6	32	20	12	2.76



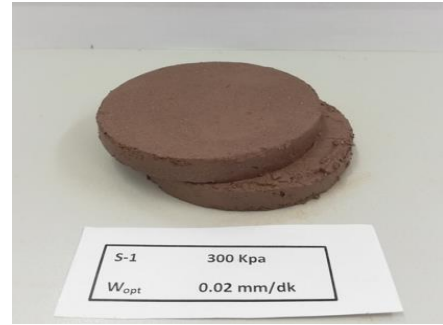
Şekil 1. (a) Üç eksenli deney aşaması ve (b) deney sonu numune görünümü

Kesme kutusu deneyi kayma dayanımı parametrelerini bulmak için yaygın olarak kullanılan en eski deneylerden biri olup, numuneyi kesme etkisine maruz bırakarak kayma direncini belirleme esasına dayanır. Çalışma kapsamında yapılan deneylerde; kesme kutusu içerisine numune yerleştirilip numuneyi doymun halde getirmek ve tutmak için kutu içerisinin su ile doldurulmasıyla başlanmıştır. Yükleme başlığının yerleştirilip, deformasyon saatinin sıfırlanmasının ardından numune; arazide aldığı gerilmeleri temsil eden sabit düşey yükler altında konsolidasyona bırakılmıştır. Çalışma 100-200-300 kPa olmak üzere üç farklı düşey gerilmeyle yapılmıştır. İlk numuneye 100 kPa gerilme uygulanıp; bu yüke eşdeğer olacak şekilde yükleme koluna 3 kg ağırlık yerleştirilmiştir. Konsolidasyon tamamlandıktan sonra kesme aşamasına geçilmiştir. Dairesel kesitli iki parçadan oluşan rijit kesme kutusunun üst parçası sabit kalırken alt parçasının yatayda sabit bir hızla hareket ettirilmesiyle kayma düzlemi oluşturulur. Bu aşamada yatay ve düşey hareketler ile kesme kuvveti ölçümü yapılır. Kesme kutusu deneyinde zeminin arazideki drenaj şartları kesme hızına bağlı olarak simüle edilir. Bu çalışmada killerin ve siltlerin drenajlı kayma dayanımı parametrelerinin bulunması amaçlandığından; kesme hızı yavaş seçilmiştir. 0.02 mm/dk hızla kesme kuvveti uygulanmış ve 13 mm yer değiştirme olana kadar deneye devam edilmiştir.

Aynı işlemler 200 kPa düşey gerilmeye karşılık yük koluna 6 kg yük; 300 kPa düşey gerilmeye karşılık 9 kg yük koyularak tekrar edilmiştir. 3 farklı gerilme altında zeminin normal gerilme-kayma gerilmesi grafiği elde edilmiş ve zeminin kayma dayanımı parametreleri bulunmuştur. Yapılan deneyler sonunda kesme haznesinden çıkarılmış bir numunenin kesme yüzeyi Şekil 2’de gösterilmiştir.

Halka kesme deneyi ise rotasyonel kaymayı modelleyerek kayma direnci parametrelerinin bulunmasını sağlayan bir deneydir. Deney aletinin üst kısmının sabit tutulup alt kısmının sabit normal gerilme altında belirli bir hızda döndürülmesiyle kayma hareketi oluşturulur. Çalışma kapsamında yapılan halka kesme deneyine; numunenin halka hücresine yerleştirilip hücre içerisine su doldurularak ilk

numune için 100 kPa düşey gerilme altında konsolidasyona bırakılmasıyla başlanmıştır. 100 kPa gerilme için yükleme koluna 4 kg ağırlık koyulmuştur. Konsolidasyon bittikten sonra 0.027 der/dk hızla dairesel deplasmana zorlanarak kesilme aşamasına geçilmiştir. Yaklaşık 50 mm. kayma yer değiştirmesi olana kadar devam edilmiştir. Aynı işlemler 200 kPa gerilme için yükleme koluna 8 kg, 300 kPa için 12 kg ağırlık koyularak tekrarlanmıştır. Üç farklı normal gerilme altında gerilme-kayma gerilmesi grafiği elde edilerek kayma dayanımı parametreleri bulunmuştur. Deney sonunda kaymaya zorlanan numune Şekil 3’te gösterilmiştir.



Şekil 2. Halka kesme deneyinde kaymaya zorlanan numune



Şekil 3. Halka kesme deneyinde kaymaya zorlanan numune

3 Bulgular ve tartışma

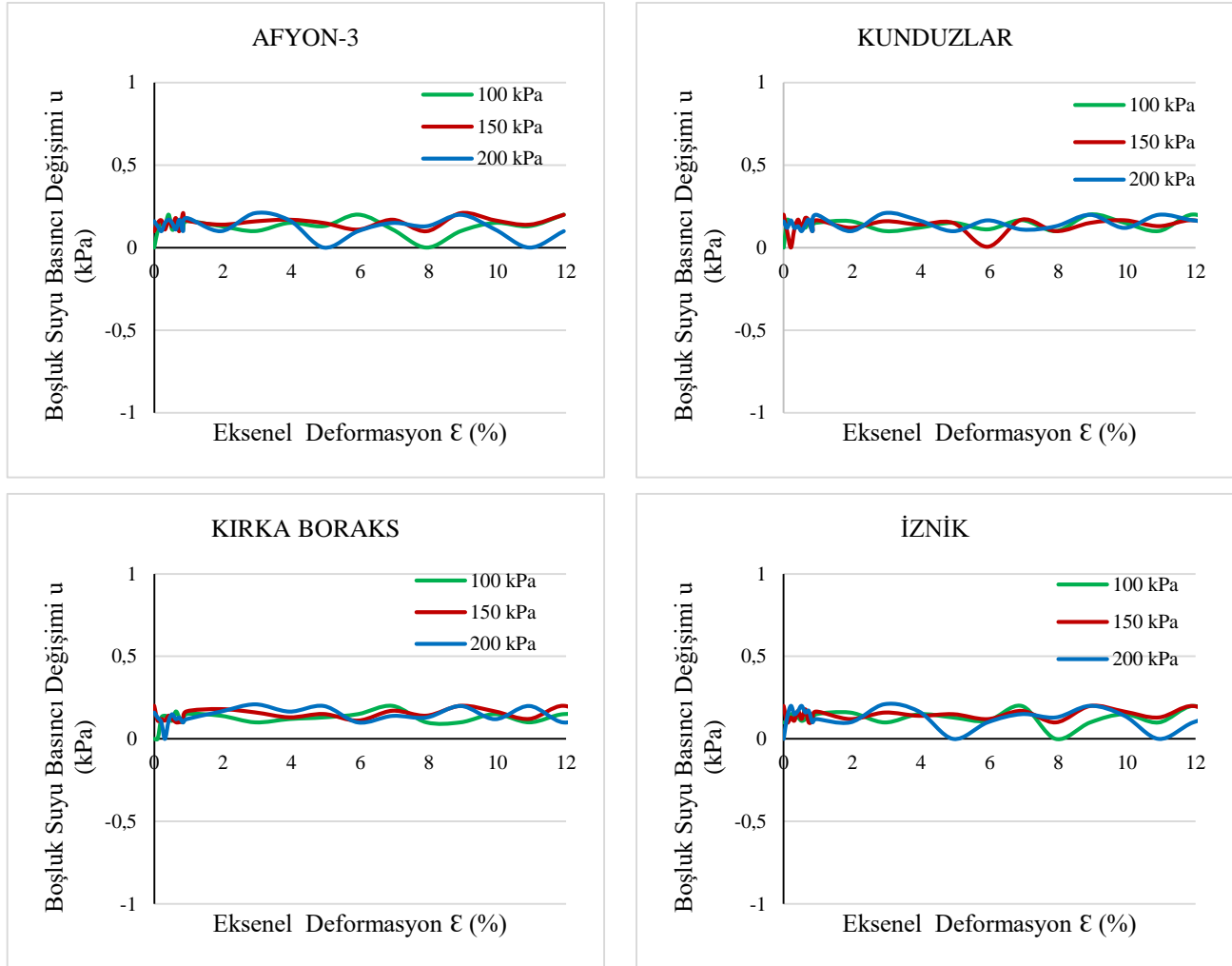
Yapılan drenajlı kayma dayanımı deneyleri sonucunda; elde edilen dayanımların deney yöntemine göre değişimi incelenmiştir.

Konsolidasyonlu drenajlı üç eksenli deney süresi boyunca oluşan boşluk suyu basınç değişimleri Şekil 4'te verilmiştir. Boşluk suyu basınçlarının sıfıra yakın olması; örneklerde drenajlı koşulların sorunsuz modellenebildiğini kanıtlar niteliktedir.

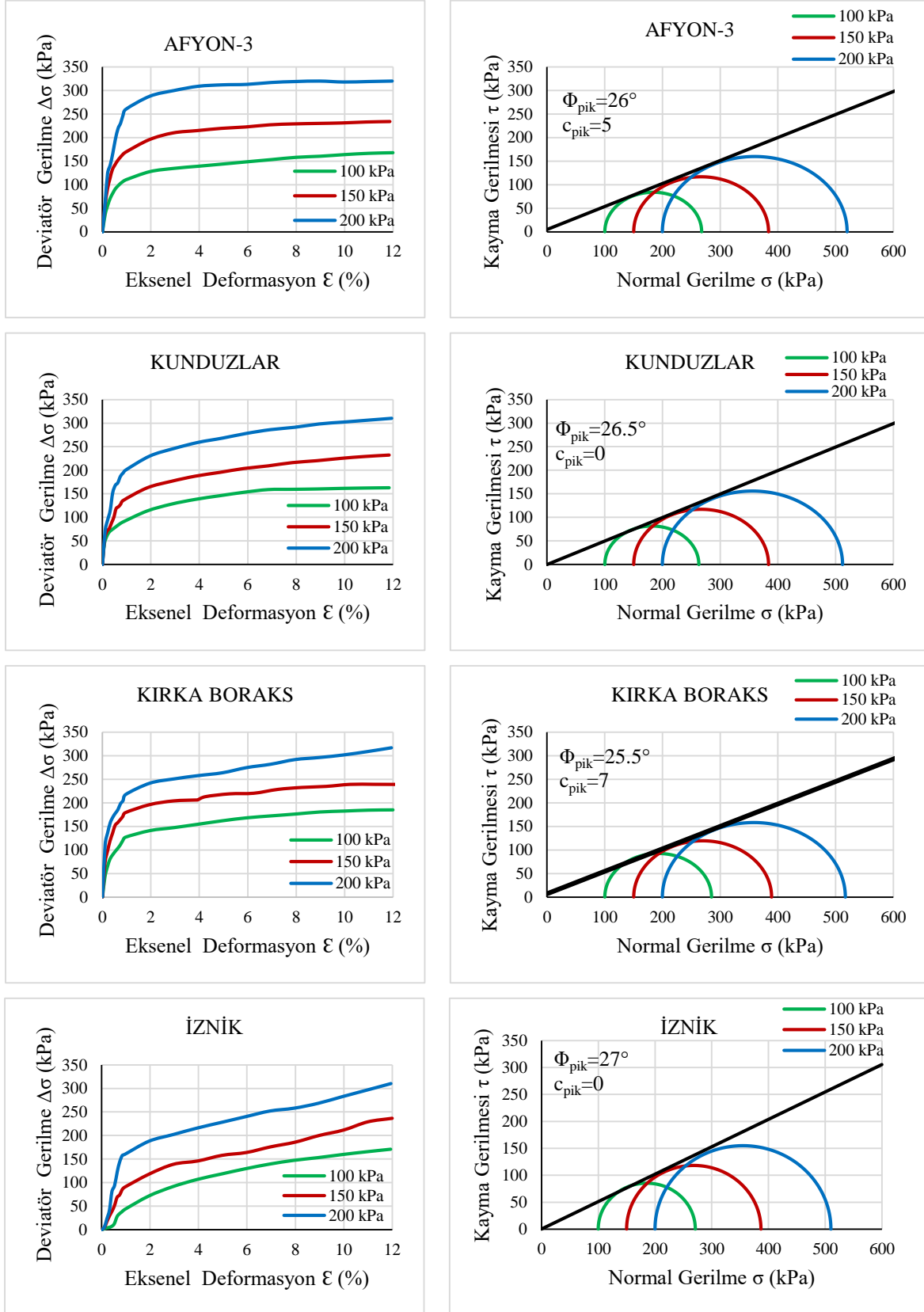
Numunelerde artan eksenel deformasyon ile deviyör gerilmenin artış gösterip belirli bir pik değere ulaştıktan sonra genelde sabitlendiği görülmektedir. Her bir numune için göçme anındaki gerilmeleri temsil eden Mohr daireleri çizilip pik içsel sürtünme açısı ve pik kohezyon değerleri belirlenmiştir. Deney sonuçları Şekil 5'te gösterilmiştir.

Kesme kutusu ve halka kesme deneyleri sonucunda elde edilen kayma gerilmesi-kayma yer değiştirmesi grafikleri incelendiğinde kesme kutusunda artan kayma yer

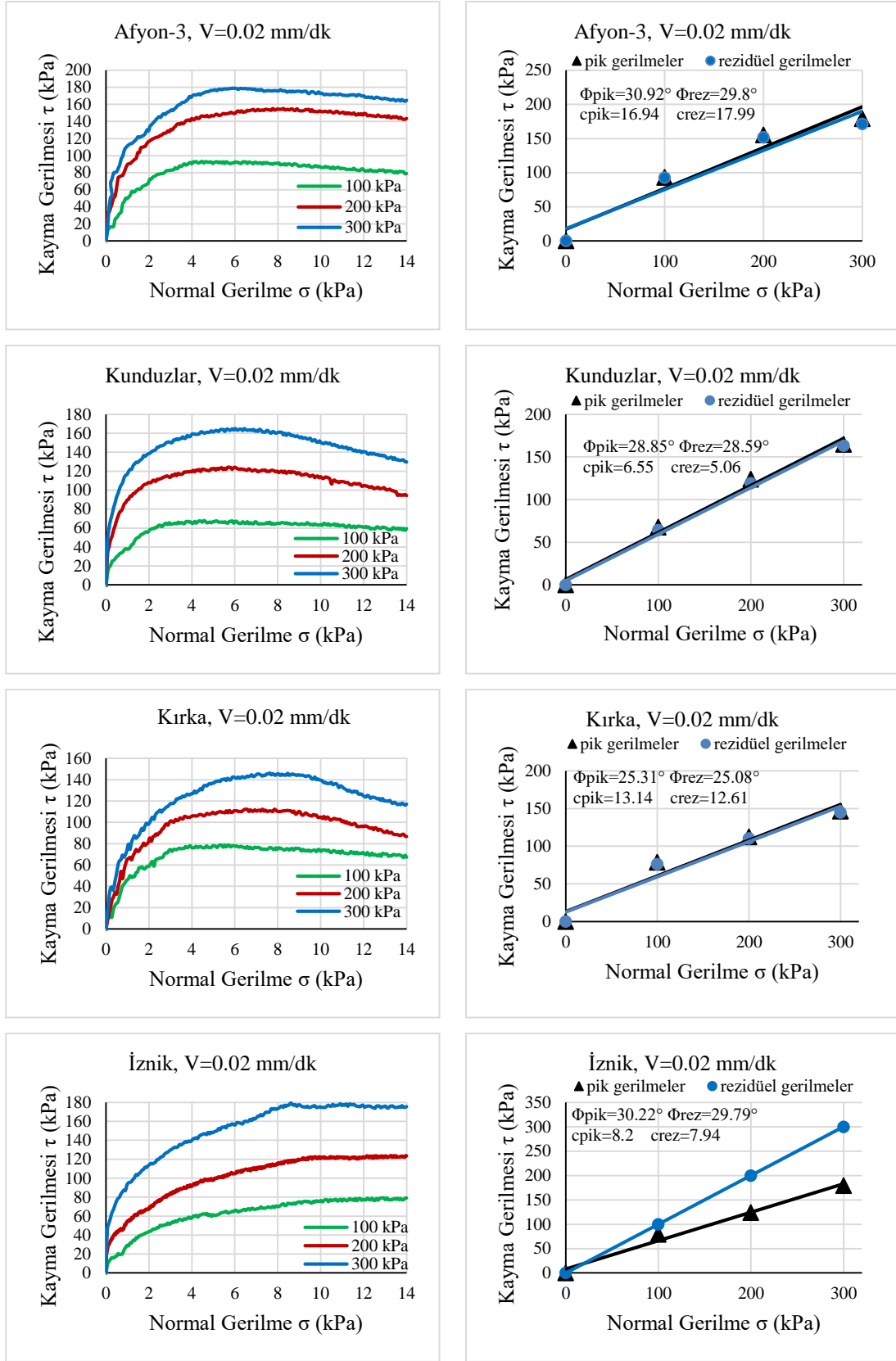
değiştirmesiyle kayma gerilmesinin arttığı, pik kayma gerilmesine ulaştıktan sonra azalmaya başladığı görülürken, halka kesme deneyinde artan kayma yer değiştirmesiyle kayma gerilmesinin arttığı, pik kayma gerilmesine ulaştıktan sonra azalarak sabitlendiği görülmüştür. Bu durumun halka kesme deneyinin deformasyon sınırının daha yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Her iki deneyde; uygulanan 100, 200, 300 kPa normal gerilmelere karşılık gelen pik ve rezidüel kayma gerilmeleri belirlenmiştir. Normal gerilme-kayma gerilmesi grafiği oluşturularak belirlenen gerilmeler arasından geçirilen yaklaşık bir doğru ile kırılma zarfı oluşturulmuştur. Normal gerilme arttıkça pik ve kalıcı kayma mukavemeti değerlerinin arttığı, rezidüel kayma dayanımı parametrelerinin pik kayma dayanımı parametrelerine göre daha düşük olduğu görülmüştür. Kesme kutusu deneyine ait deney sonuçları Şekil 6'da, halka kesme deneyine ait deney sonuçları ise Şekil 7'de gösterilmiştir.



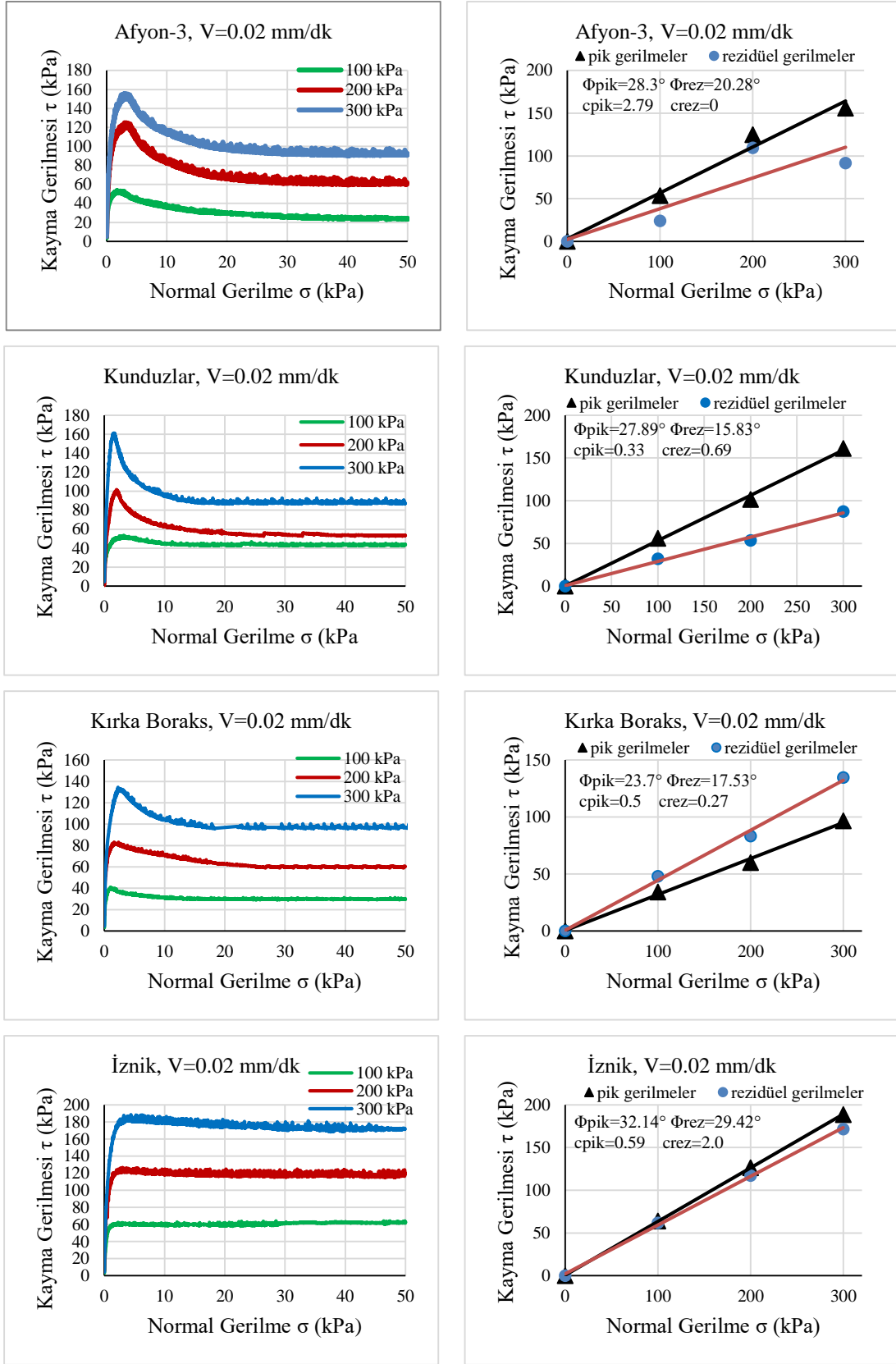
Şekil 4. Numunelerin üç eksenli deney boyunca oluşan boşluk suyu basınçları



Şekil 5. Üç eksenli deney sonuçları



Şekil 6. Kesme kutusu deney sonuçları



Şekil 7. Halka kesme deney sonuçları

Tablo 2. Numunelerin deney yöntemlerine göre bulunan pik kayma dayanımı parametreleri

Numune Adı	CD Deneyi		Kesme Kutusu Deneyi		Halka Kesme Deneyi	
	ϕ (°)	c (Kpa)	ϕ (°)	c (Kpa)	ϕ (°)	c (Kpa)
Afyon-3	26.00	5.00	30.92	16.94	28.30	2.79
Kunduzlar	26.50	0.00	28.85	6.55	27.89	0.33
Kırka Boraks	25.50	7.00	25.31	13.4	23.70	0.50
İznik	27.00	0.00	30.22	8.20	32.14	0.59

Tablo 3. Numunelerin deney yöntemlerine göre kalıcı kayma dayanımı parametreleri

Numune Adı	Kesme Kutusu Deneyi		Halka Kesme Deneyi	
	ϕ_r (°)	c_r (kPa)	ϕ_r (°)	c_r (kPa)
Afyon-3	29.80	17.99	20.28	0.00
Kunduzlar	28.59	5.06	15.83	0.69
Kırka Boraks	25.08	12.61	17.53	0.27
İznik	29.79	7.94	29.42	2.00

Yapılan deneyler sonunda bulunan pik içsel sürtünme açıları incelendiğinde İznik numunesi hariç; kesme kutusu deneyinden bulunan değerler halka kesme deneyinden bulunan değerlerden 1-2° daha fazladır. Genel olarak konsolidasyonlu drenajlı üç eksenli deneyden en düşük içsel sürtünme açıları bulunmuştur. Literatür araştırmalarına göre farklılık gösteren bu durumun; deneyde kullanılan kesme hızının diğer deney yöntemlerinde kullanılan kesme hızlarından farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kesme kutusu ve halka kesme deneyinden elde edilen kalıcı kayma dayanımı parametreleri incelendiğinde bütün numunelerde rezidüel dayanım parametrelerinin pik dayanım parametrelerinden daha düşük olduğu görülmüştür. Deneylerde bulunan kohezyon değerleri incelendiğinde; en yüksek değerlerin kesme kutusu deneyinden geldiği görülmüştür. Laboratuvar deneylerinde kohezyon değerini sıfır elde etmek pratikte pek mümkün olmamaktadır. Grafiklerden bulunan pik ve kalıcı kayma dayanımı parametreleri düzenlenip **Tablo 2** ve **Tablo 3**'te sunulmuştur.

4 Sonuçlar

İnce taneli zeminler üzerinde yapılan drenajlı laboratuvar deneylerinden; konsolidasyonlu drenajlı üç eksenli deneyi, kesme kutusu deneyi ve halka kesme deney sonuçlarından elde edilen bulgular aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- Kesme kutusu deneyinden bulunan içsel sürtünme açısı değerlerinin, halka kesme deneyinden bulunan içsel sürtünme açısı değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür.
- Halka kesme ve kesme kutusu deneylerinden elde edilen kalıcı kayma dayanımı parametreleri, pik

kayma dayanımı parametrelerinden daha düşük bulunmuştur.

- En düşük içsel sürtünme açıları konsolidasyonlu drenajlı üç eksenli deneyden elde edilmiştir. Deneyde kullanılan kesme hızının diğer iki deney yönteminde kullanılan kesme hızlarından dört kat daha yavaş olması sebebiyle kesme işleminin düşük seviyelerde sonlandırılmasının bu duruma sebep olduğu düşünülmektedir.
- En yüksek kohezyon değerleri kesme kutusu deneyinden bulunmuştur. Üç eksenli ve halka kesme deneyinden sıfıra yakın kohezyon değerleri elde edilmiştir.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik Oranı (iThenticate): %15

Kaynakça

- [1] R. D. Holtz, W. D. Kovacs, An Introduction Geotechnical Engineering, Ankara, 2010.
- [2] M. Hatipoğlu, Kalıcı kayma mukavemetinin laboratuvar deneyleri ile belirlenmesi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2012.
- [3] M. İspiroğlu, İnce taneli zeminlerde drenajlı kayma direnci parametrelerinin tayini. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2016.
- [4] C. EURFUR, Laboratory and field evaluations of undrained shear strength of bonneville clay. Doktora Tezi, Utah State University, Amerika, 2004.
- [5] İ. Özkaynak, Sıkıştırılmış ara zeminlerin drenajlı ve drenajsız kayma dayanımı parametrelerinin

- ilişkilendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Türkiye, 2017.
- [6] T. C. Kenny, Geotechnical properties of glacial lake clays, *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 85(3), 67-79, 1959.
- [7] L. Bjerrum, N.E. Simons, Comparison of shear strength characteristics of normally consolidated clays, *Proceedings of the ASCE Research Conference on the Shear Strength of Cohesive Soils*, 711-726, 1960.
- [8] U. S. Navy, Soil mechanics, foundations and earth structures, *NAVFAC Design Manual DM-7*, Washington, 1971.
- [9] R. S. Ladd, Specimen preparation and cyclic stability of sands, *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 103(1), 535-547, 1977.
- [10] A. Bayın, Konsolidasyonlu drenajlı üç eksenli deney yöntemiyle kalıcı kayma direncinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye, 2011.
- [11] Y. Satı, Sıkıştırılmış ince taneli zeminlerin kayma mukavemetinin drenajlı deneylerle incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2016.
- [12] H. Bilici, Aşırı konsolide killerin dayanım özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2017.
- [13] S. Koltuk, Zeminlerin kalıcı kayma mukavemetinin halka kesme deneyi ile belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2005.
- [14] E. Yılmaz, Zeminlerin endeks özelliklerinin kalıcı kayma mukavemetine etkisi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2006.
- [15] A.W. Skempton, The pore pressure coefficient A and B, *Geotechnique*, 4(4), 143-147, 2020 <https://doi.org/10.1680/geot.1954.4.4.143>.
- [16] M. B. Das, *Principles of Geotechnical Engineering*, İngiltere, 2010.

