

Araştırma Makalesi / Research Article

Ankara Kilinde Örselenme Etkisinin ve Derinliğe Bağlı Zemin Özelliklerinin Jeoteknik Arazi ve Laboratuvar Deneylerine Bağlı Olarak İncelenmesi

An Investigation of the Disturbance Effect and Depth-Dependent Soil Behavior of Ankara Clay Based on Geotechnical Field and Laboratory Tests

Gökhan ŞAHİN^{*} , Mustafa Kerem KOÇKAR 
Hacettepe Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara

Geliş (Received): 13 Kasım (November) 2023 / Düzeltme (Revised): 14 Aralık (December) 2023 / Kabul (Accepted): 19 Aralık (December) 2023

ÖZ

Ankara Kilinin aşırı konsolide, aktif, yüksek derecede plastisite ve katı kıvamlılığı gibi karakteristik özelliklerinin bir sonucu olarak, örselenmemiş numune alınabilmesinin zor oluşu, laboratuvar uygulamalarında yapılan çalışmaların güvenilirliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu soruna bağlı olarak, literatürdeki çalışmalar ağırlıklı olarak sığ derinliklerle sınırlı kalmış ve derinliğe bağlı bir değerlendirme yapılmamıştır. Mevcut araştırma kapsamında Ankara'nın batısında yer alan kil birimlerinin farklı derinliklerinden alınmış yaklaşık 5500 numunenin, yerinde arazi ve laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçlar kullanılarak derinliğe bağlı zemin karakterizasyonu çalışmaları yapılmış, jeoteknik parametrelerin frekans dağılımları istatistiksel açıdan incelenmiş, parametreler arasında ampirik denklemler geliştirilmiş ve numuneler üzerindeki örselenme etkisi değerlendirilmiştir. Örselenme etkisini sayısal anlamda belirleyebilmek ve zemin parametreleri arasında oluşturulan ilişkilerin doğruluğunu kontrol edebilmek amacıyla laboratuvar deney sonuçları mevcut literatürdeki bulgular ile kıyaslanmıştır. Literatürde benzer yapıya sahip yüksek plastisiteli killer üzerinde yapılan çalışmalar incelenerek örselenmiş-yoğrulmuş ve örselenmemiş numunelerin, drenajsız kayma dayanımı (C_u) ve likidite indeksi (LI) değerleri arasındaki hassasiyet (sensitivite) değişimleri saptanmıştır. Bu çalışmalar göz önüne alınarak, örselenmiş numunelerin tespit edilebilmesine ilişkin bir yaklaşım önerilmiştir. Yöntem, benzer zemin özelliklerine sahip killi zeminlerden elde edilmiş laboratuvar deney sonuçları kullanılarak yapılan doğrulama çalışmaları ile test edilmiştir. Önerilen yöntem dahilinde örselenmiş olarak tespit edilen numunelerin veri setinden elenmesi sonucunda, literatürde ve çalışma kapsamında drenajsız kayma dayanımının tahmin edilebilmesine yönelik geliştirilmiş olan ampirik denklemlerin tahmin başarılarında yüksek oranlarda artışlar gözlemlenmiştir. Sonuç olarak mevcut çalışma, Ankara kilinin yapısını derinliğe bağlı olarak detaylı bir şekilde ortaya koymakla kalmayıp, hassas kil örneklerindeki örselenme etkisini değerlendirebilmek adına yeni bir perspektif de sunmuştur. Bu bulgular, özellikle farklı derinliklerdeki zemin davranışının yeraltı yapılarının stabilitesi ve güvenliği için gerekli olduğu inşaat ve jeoteknik mühendisliğinde pratik sonuçlar sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ankara, Ankara Kili, Örselenme etkisi, Sensitivite, Zemin indeks ve mukavemet parametrelerinin derinliğe bağlı değişimi

ABSTRACT

As a result of the characteristics of Ankara Clay, such as its overconsolidated, active, highly plastic, and stiff consistency, obtaining undisturbed samples is challenging and adversely affects the reliability of laboratory test

results. Due to this problem, studies in the literature have been mainly limited to shallow depths and no depth-related evaluation has been performed. Within the scope of this research, soil characterization studies related to depth have been carried out using approximately 5500 samples obtained from in-situ field and laboratory tests from clay units located in the west of Ankara at different depths. The frequency distributions of geotechnical parameters have been statistically examined, empirical equations have been developed between parameters, and the effect of sample disturbance has been evaluated. To quantify the effect of disturbance and to verify the accuracy of the identified relationships between soil parameters, laboratory test results have been compared with the existing literature, and sensitivity changes between undisturbed-disturbed and remolded samples, in terms of undrained shear strength (C_u) and liquidity index (LI) values, have been identified. Considering these studies, an approach for identifying disturbed samples has been proposed. The method was tested with validation studies using laboratory results from clayey soils with similar soil properties. As a result of excluding the samples detected as disturbed within the proposed method from the dataset, high percentages of increases have been observed in the success of predicting undrained shear strength in the empirical equations developed both in the literature and within the scope of the study. In conclusion, the present study has not only provided a detailed depth-dependent characterization of the Ankara Clay, but also a new perspective for evaluating the effects of disturbance on sensitive clay samples. These findings have practical implications, especially in civil and geotechnical engineering where soil behavior at different depths is essential for the stability and design safety of underground structures.

Keywords: *Ankara, Ankara Clay, Effects of sample disturbance, Sensitivity, Depth-related variation of the soil index and shear strength parameters*

GİRİŞ

Ankara Kili önkonsolide halde, aktif ve yüksek şişme kapasitesine sahip olmasıyla bilinen özel bir kildir. Bu özellikleri sebebiyle günümüze kadar pek çok jeoteknik ve jeolojik çalışmanın konusu olmuştur (örn. Ördemir vd., 1965; Erol, 1973; Sürgele, 1976; Birand, 1978; Kasapoğlu, 1980; Kiper, 1983; Ergüler ve Ulusay, 2003; Koçkar, 2006; Avşar vd., 2009; Çokça ve Tilgen, 2010; Met ve Akgün, 2015; Dağar, 2017; Akgün vd., 2017; Kayabaşı, 2020). Ankara Kili, çökelim ortamları ve jeolojik formasyonlar açısından Üst Pliyosen-Pleistosen flüvyal sedimanlar, taşkın ovalarındaki Kuvaterner teraslar ve yakın dönem alüvyon birimlerden oluşmuştur (Pliyo-Kuvaterner birimler). Genellikle ilk 10-15 metreye kadar uzanan birimler, özellikle ML, CL ve CH tipi zeminler ile yer yer kum ve çakıl bantları içermektedir (Koçkar vd., 2010). Üst Pliyosen birimlerde ise yüksek oranda CH, CL ve MH birimleri bulunmaktadır (Şahin, 2022). Bu sedimanter birimler, bölgenin jeolojik geçmişindeki flüvyal

ve iklim rejimlerine bağlı olarak farklı düzeylerde yüzey kurumasına ve erozyona maruz kalmıştır (Erol, 1973). Bu etkiler, belirli birimlerde 150 ila 180 metre derinlikteki rezidüel zeminlerin karşılığı olan bir önkonsolidasyon basıncının oluşmasına neden olmuştur. Kiper (1983) bunun sebebinin konsolidasyon testi sonuçlarından elde edilen önyüklemeye basınç değerlerinin, yüzey kuruması nedeniyle kapiler kuvvetlerden etkilendiğini bildirmiştir. Ayrıca, Kuvaterner'in başlangıcından bu yana yüzeydeki kuruma etkisiyle ortaya çıkan önyüklemeye süreçleri, yüzeye yakın birimlerde karbonatlı mercerlerin (konkresyonların) oluşmasına sebep olmuştur (Kasapoğlu, 1980). Başka bir görüşe göre ise önyüklemeye etkisi, bir birikim ve aşınım dizisi sonucunda, ve dolayısıyla mevcut yüzeyler çökelmiş sedimanlardan oluşmuştur (Lohnes, 1974; Sürgele, 1976).

Bahsedilen erozyon ve çökelim süreçleri sonucunda, Ankara Kilinin önkonsolide (Birand, 1976; Kiper, 1983), yüksek plastisite (Birand, 1977), katı-çok katı kıvam (Yaman, 2007)

veya yüksek aktivite (Akgün vd., 2017) gibi çeşitli zemin özellikleri bulunmaktadır. Birçok araştırmacı tarafından gerçekleştirilen Atterberg deneyi sonuçlarına göre (Mirata, 1976; Ergüler ve Ulusay, 2003; Avşar vd., 2009; Met ve Akgün, 2015; Binal vd., 2016; Akgün vd., 2017; Deliktaş ve Çokça, 2020; Şahin, 2022), plastisite indeksi (PI) değerleri %40-80 aralığında değişmektedir. Yüksek plastisite indeksi, kilin farklı su muhtevası değerlerinde hacim ve kıvamında önemli değişiklikler oluşabileceğini göstermektedir (Birand, 1978; Ördemir vd., 1977). Ankara Kili, su tablası seviyesine bağlı olarak problemlere neden olabilecek bir şişme ve büzülme davranışı için aktiftir (Birand, 1977). Bu özellik, hafif yapıların tasarımıyla ilgili olarak şişme karakteristiği üzerine önemli sayıda araştırma yapılmasına yol açmıştır (örn. Yüncü, 1972; Ağaoğlu, 1974; Ergüler ve Ulusay, 2003; Yılmaz, 2006; Avşar vd., 2009).

Önkonsolide ve yüksek şişme özelliklerine sahip olan Ankara Kili, örselenmemiş numune alıcılar içerisinde bile önemli hacimsel değişikliklere maruz kalabilir. Bu durum, örselenmemiş numunelerin elde edilmesinde zorluklar oluşturmakta, test sonuçlarından elde edilen verilerin hata payı içermesine (Kiper, 1983) ve bu numuneler ile yapılan çalışmaların geçerliliği hakkında soru işaretleri ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Örselenme etkisi ile zeminin doğal durumu değişmekte ve laboratuvar testlerinden elde edilen sonuçların doğruluğu etkilenmektedir (Nhuan, 1981). Ankara Kiline örselenme etkisi, literatürde yeterince araştırma konusu olarak incelenmemiş olsa da, Ankara Kiline benzer mineralojik yapı ve önkonsolidasyon özelliklerine sahip kil birimlerinin (örn. London Kili, Norwegian Marine Kili) örselenmiş-yoğrulmuş ve örselenmemiş davranışlarını araştırıldığı çalışmalar bulunmaktadır (Kulhawy

ve Mayne, 1990; Shimobe ve Spagnoli, 2019). Bu çalışmalarda, örselenmiş-yoğrulmuş ve örselenmemiş numunelerin drenajsız kayma dayanımı (C_u) parametreleri arasındaki oranın, kısaca hassasiyet (sensitivite) değişim aralıkları incelenmiştir. Bu çalışmalarda yapılmış olan analiz sonuçlarına dayanarak, mevcut çalışmada Ankara Kili için likidite indeksi değerlerine göre drenajsız kayma dayanımı aralıkları ampirik ilişkilerle belirlenmiştir. Böylece araştırma sonuçları ve laboratuvar deneyleri ile elde edilen ve örselenmemiş olarak belirtilen drenajsız kayma dayanımı değerleri arasında karşılaştırmalı bir çalışma yapılabilmesi sağlanmıştır. Bu çalışmaların rehberliğinde, örselenmiş numunelerin drenajsız kayma dayanımı ve likidite indeksi değerlerine bağlı olarak tespit edilebilmesine ilişkin bir yöntem önerisinde bulunulmuştur.

Ankara Kili için literatürde numune kalitesi ve örselenme etkisi hakkında detaylı bir çalışma ihtiyacı bulunmaktadır. Bu durum, çalışma konusunun oluşmasına ve geniş bir veri tabanı toplama sürecinin başlatılmasına yol açmıştır. Bu çalışma, literatürde bahsi geçen önceki değerlendirmelere paralel olarak, jeoteknik zemin karakterizasyonu, zemin parametrelerinin derinliğe bağlı değişimleri ve numune kalitesi üzerinde örselenme etkisi konularına odaklanmıştır. Veri tabanı, bölgede yapılmış önemli projelerden elde edilen jeo-mühendislik çalışmalarından, jeoteknik arazi ve laboratuvar deney sonuçlarını içerecek şekilde derlenmiştir.

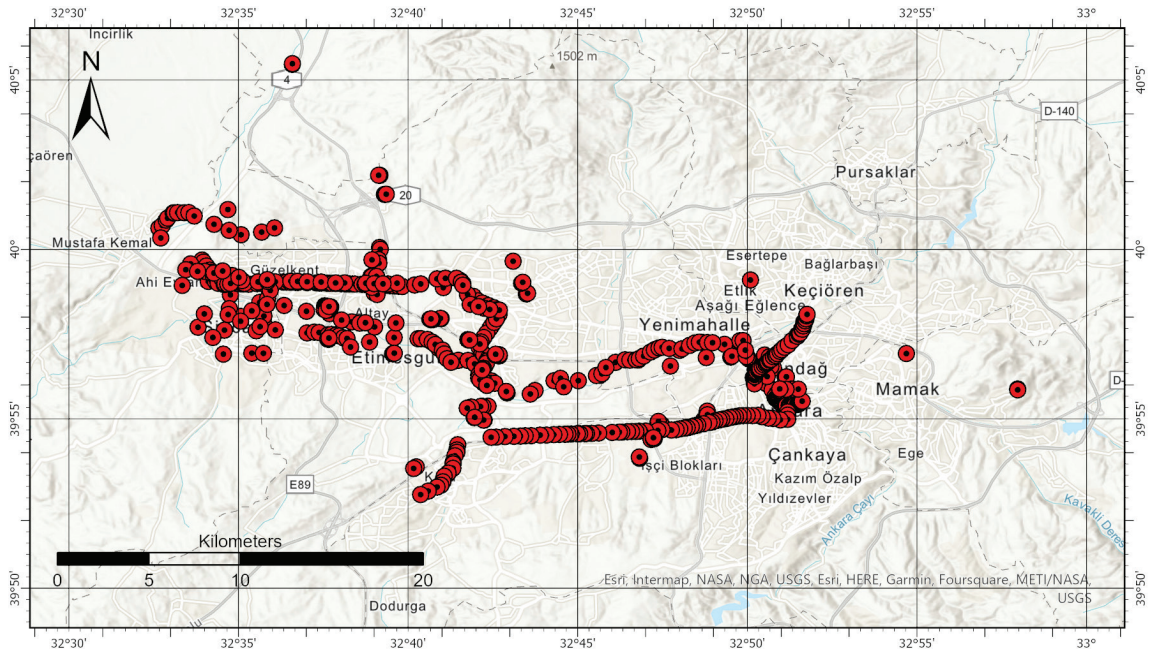
JEOTEKNİK VERİ TABANI OLUŞTURULMASI VE ZEMİNLERİN KARAKTERİZASYONU

Veritabanı

Araştırma kapsamında, 26 farklı jeoteknik projeden elde edilen veriler (Ankara Belediyesi,

1993, 1994, 2001, 2002, 2003, 2004; DLH, 1994; DSİ, 1975; Etimesgut Belediyesi, 2005; M.T.A., 1954, 2002; Sincan Belediyesi, 2005) kullanılmış ve Ankara şehir merkezinin batısında yer alan 250 km²'lik bir bölgede yürütülmüştür (Şekil 1). Verilerin çoğu, öne çıkan ve büyük ölçekli çeşitli kamu, belediye ve akademik araştırma projeleri kapsamında yapılmış olan yerinde arazi deneyleri ve jeoteknik laboratuvar raporlarından derlenmiştir. Derlenen raporlar, deneylerin ve prosedürlerin nasıl gerçekleştirildiği hakkında her zaman kesin bilgiler vermemektedir. Farklı veri tabanları ile literatürdeki entegrasyonu kolaylaştırmak amacıyla zeminlerin parametre sınıfları uluslararası standartlara göre (örn. ASTM) tanımlanmıştır. Ayrıca jeoteknik raporlardan toplanan sonuçlar aynı birim

sisteminde ya da aynı standartlarda olmadığı durumlarda, raporlar detaylı olarak incelenmiş, birim ve standart dönüşümleri uygulanmış ve kesinlik içermeyen veriler filtrelenmiştir (Şahin, 2022). Ayrıca SPT-N_(arazi) değerleri yapılması planlanan regresyon analizlerinde kullanılmak üzere, raporlardan elde edilen enerji seviyeleri tanımlamaları kullanılarak SPT-N₍₆₀₎ değerlerine dönüştürülmüştür. Tablo 1'de standardizasyon ve filtreleme işlemleri sonrası veri tabanında Ankara Kili olarak tanımlanmış zeminlerin istatistiksel detayları verilmiştir. İstatistiksel çalışmalar sonucunda elde edilen parametrelere ilişkin aralıklar (minimum-maksimum değerler) ve ortalama değerler (std. sap.) incelendiğinde, literatürde yapılan çalışmalar ile büyük ölçüde uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 1. Sondaj kuyusu lokasyonlarının Ankara şehir merkezi içerisindeki mekânsal gösterimi.

Figure 1. Spatial representation of borehole locations within Ankara city center.

Çizelge 1. Ankara Kili'ne dair jeoteknik parametreler ve istatistiksel detayları.

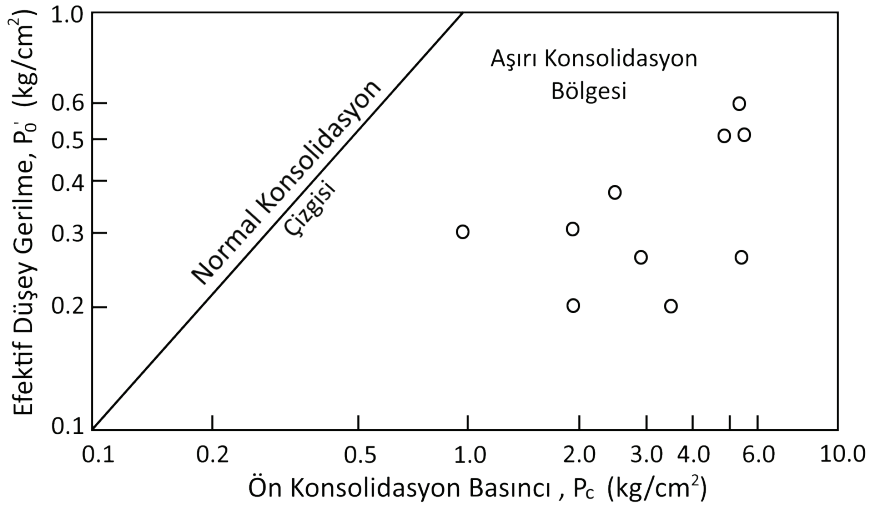
Table 1. Geotechnical parameters and statistical details of Ankara Clay.

Değişken	Adet	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart sapma
SPT-N _(arazi)	2442	2	50+	29.9	15.9
SPT-N ₍₆₀₎	2442	2	50+	32.4	16.1
LL	2568	24	126	57.1	16
PL	2570	5	67	22.8	5.4
PI	2568	4.4	88	34.2	13.1
İri dane içeriği (%)	1372	0.1	76	5.2	5.5
IDI (%)	2590	2	100	81.7	13.5
Kil fraksiyonu (%)	198	8	72	34.9	13
w _n (%)	2655	1.2	72	28.8	7.2
e ₀	266	0.304	1.952	0.893	0.234
G _s	111	2.59	2.86	2.71	0
m _v (cm ² /kg)	201	0.0032	0.0686	0.0181	0.0100
c _v (cm ² /sn)	82	0.0008	0.0150	0.0051	0.0023
E _p (MPa)	19	205.0	522	359.3	89.2
p _L (MPa)	19	20.3	40.2	32.4	5.5
p _{L*} (MPa)	19	17.9	36.1	29.1	4.7
P _c (kPa)	220	48.8	588.4	204.8	78.9
LI	2571	-1.1	3.5	0.2	0.3
C _u (kPa)	438	4.9	467.3	107	74.7

(SPT-N_(arazi): Ham SPT vuruş sayısı SPT-N₍₆₀₎: %60 enerji seviyesinde göre düzeltilmiş SPT vuruş sayısı, LL: Likit limit, PL: Plastik limit, IDI: İnce dane içeriği (<0.075 mm), w_n: Doğal su muhtevası, e₀: Konsolidasyon deneyi başlangıç boşluk oranı, G_s: Dane özgül ağırlığı, m_v: Hacimsel sıkışma katsayısı, c_v: Konsolidasyon katsayısı, E_p: Presiyometre deformasyon modülü, p_L: Presiyometre limit basıncı, p_{L*}: Presiyometre net limit basıncı, P_c: Ön konsolidasyon basıncı)

Jeo-istatistiksel çalışmalar sonucunda elde edilen parametrelere dair aralıklar (minimum-maksimum değerler) ve ortalama değerler literatürde yapılan çalışmalar ile büyük ölçüde uyumludur. Kayma dayanımı (C_u) değerleri Çolpan (1969), Çokça ve diğ. (2010) ve İspir'in (2011) gözlemleri ile benzerlik göstermektedir. SPT-N_(arazi) değerleri, Yaman (2007)'nin çalışması ile; Atterberg limit test sonuçları ise (likit limit; LL, plastik limit; PL ve plastisite indeksi; PI), Ördemir vd. (1965), Dağar (2017) ve Koçkar (2006)'in çalışmaları ile örtüşmektedir. Ayrıca Kiper (1983), daha önce konsolidasyon parametreleri üzerine bir karakterizasyon

çalışması yapmak için Ankara Kili örneği kullanmıştır. Mevcut çalışma kapsamında belirlenen sınırlar, Kiper (1983) tarafından belirlenen sınırlar ile benzerlik göstermektedir. Kiper (1983) çalışmasında, c_v (cm²/s) için 0.0023 ile 0.0295, m_v (cm²/kg) için 0.0037 ile 0.0224, P_c (kPa) için 98.066 ile 490.332, c_c (cm²/s) için 0.1 ile 0.45 ve aşırı konsolidasyon oranı (OCR) için 1 ile 6 arasında değişen değerler belirlemiştir (Şekil 2). Yapılan bu çalışmada ise c_v (cm²/s) için 0.0008 ile 0.015, m_v için (cm²/kg) 0.0032 ile 0.0686 ve P_c (kPa) için 48.8 ile 588.4 arasında değişen değerler ortaya konulmuştur.



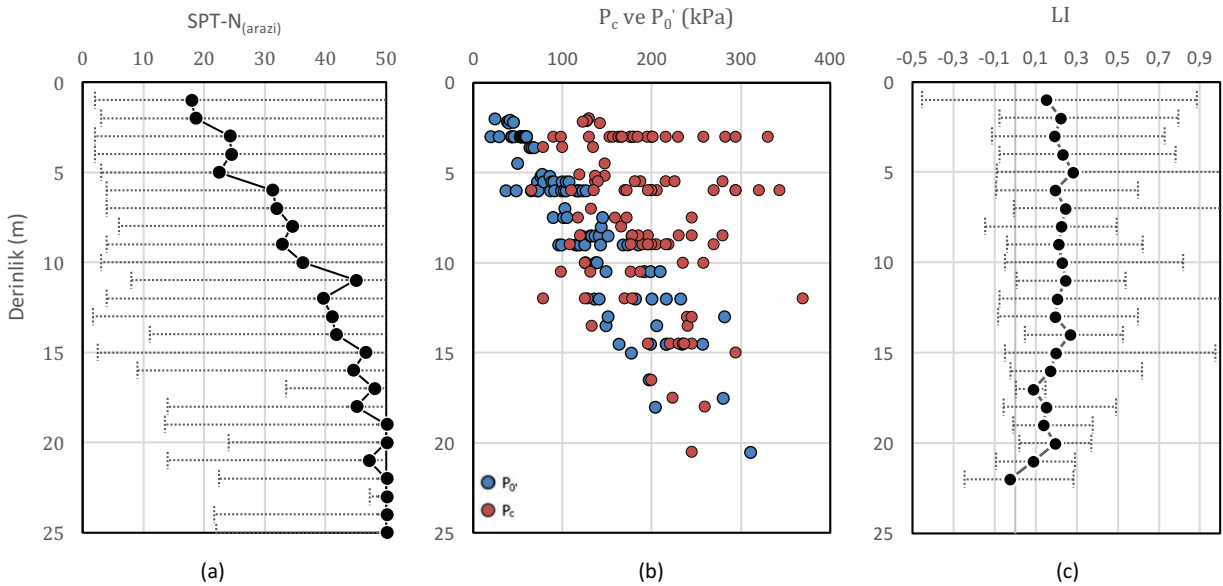
Şekil 2. Üst Pliyosen çökellerinden alınan örselenmemiş 10 adet numunenin P_c - P_0 diyagramındaki dağılımı (Kasapoğlu, 2000).

Figure 2. Distribution of 10 undisturbed samples from the Upper Pliocene deposits on the P_c - P_0 diagram (Kasapoğlu, 2000).

Zemin Parametrelerinin Derinliğe Bağlı Değişimleri

Zemin parametrelerdeki derinliğe bağlı değişimlerin incelenmesi, özellikle konsolidasyon özelliklerinin değerlendirilebilmesi ve zemin parametreleri arasındaki ilişkilerin belirlenebilmesi için büyük önem taşımaktadır. Çalışma kapsamında yapılan incelemelerde, drenajsız kayma dayanımı (C_u) verilerinin genel olarak derinliğe bağlı olarak artış gösterdiği fakat 0-10 m arası derinliklerde yüksek değerlerin mevcut olduğu saptanmıştır. SPT- $N_{(arazi)}$ değerlerinin ise derinlikle birlikte doğrusal olarak artmakta olduğu gözlemlenmektedir (Şekil 3a). Ancak, yüzeye yakın derinliklerde (0-10 metre arasında) çok sayıda yüksek SPT- $N_{(arazi)}$ değerleri görülmüş ve bu sonuçların, yüzeyde çatlama ve kuruma nedeniyle aşırı konsolide olmuş killerin varlığı sebebiyle elde edildiği sonucuna varılmıştır. Önkonsolidasyon basıncının (P_c) derinliğe bağlı

değişimi incelendiğinde, yüzeyden 6-10 metre derinliklere kadar efektif gerilme değerlerinin çok üzerinde yer alan sonuçlara rastlanılmıştır (Şekil 3b). OCR değerlerinin bu derinliklerde 6-7 seviyelerine kadar çıktığı yapılan hesaplar ile ortaya konularak, yüzeydeki aşırı konsolide killerin varlığı doğrulanmıştır. Ayrıca, 6 ila 15 metre arasında gözlemlenen normal konsolide kil birimler, bu derinliklerde yüzeydeki gibi erozyonel etkinin aktif olmadığını ve daha çok bir çökelim süreci sonucunda oluşmuş ve çökelmiş sedimanların varlığını işaret etmektedir. Likidite indeksi değerleri incelendiğinde, yüzeyden 5 metre derinliğe kadar artış göstermekte olduğu ve sonrasında 20 metre derinliklere kadar doğrusal olarak azalış gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 3c). Buna rağmen yüzeyde çok sayıda negatif LI değerine sahip numuneye rastlanılmıştır. Ayrıca, şişme indeksi (c_s) değerlerinin derinlikteki artışa bağlı olarak doğrusal olarak azaldığı yapılan değerlendirmeler sonucunda belirlenmiştir.



Şekil 3. Pliyo-Kuvaterner flüvyal sedimanların (Ankara Kili) derinliğe bağlı olarak değişen, $SPT-N_{(arazi)}$ (a), düşey efektif gerilim (P_0') ve ön-konsolidasyon basıncı (P_c) (b) ve likidite indeksi (LI) (c) grafikleri.

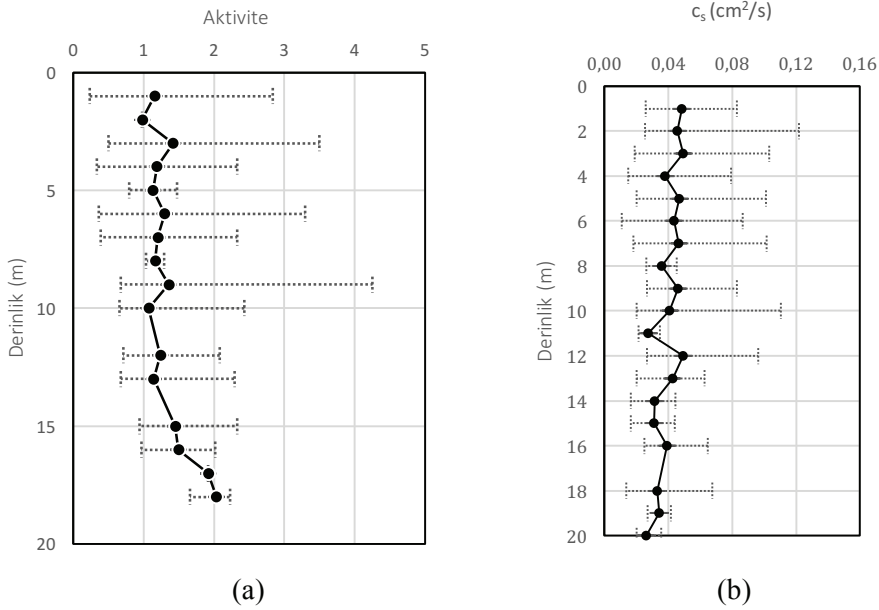
Figure 3. The plots of depth-dependent $SPT-N_{(field)}$ (a), vertical effective stress and preconsolidation pressure (b) and liquidity index (c) of Plio-Quaternary fluvial sediments (Ankara Clay).

Bu çalışmalar haricinde, aktivite değerinin derinliğin bir fonksiyonu olarak değişimi incelenmiş ve Şekil 4a'da bu ilişki gösterilmiştir. Buna göre kil birimlerde, yüzeyden derine doğru inildikçe aktivite değeri ortalama olarak 1 seviyesinden 1.5 seviyesine yükselmektedir. Ayrıca, yüzeyden 10 metre derinliğe kadar çok yüksek aktivite değerlerine sahip numunelere de rastlanılmıştır ($A > 4$). Bu durum yüzeydeki yüksek şişme potansiyeline sahip birimlerin varlığını yeterince açıklasa da, numuneler derinliğe bağlı olarak incelemeye alındığında, aktivite değerinde gözlemlenen genel artışın, şişme indeksindeki değişimler ile pozitif bir korelasyon göstermediği tespit edilmiştir. Literatürde, belirli bir kil fraksiyonunda, aktivite değerlerinin artmasıyla şişme indeksinin genellikle yükseldiği belirtilir (örn. Seed vd., 1962; Van der Merwe, 1964). Ancak parametrelerdeki değişimler derinlik

kriteri göz önüne alınarak incelendiğinde benzer bir ilişki gözlemlenememiş ve derinliğe bağlı olarak artan düşey efektif gerilmelerin bu ilişkiyi önemli ölçüde etkilediği sonucuna varılmıştır. Bu etki, özellikle şişme indeksi parametresi üzerinde belirgin olup, düşey efektif gerilmelerdeki artış ile şişme indeksinin doğrusal bir azalış gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 4b).

YÖNTEM

Zemin parametrelerindeki derinliğe bağlı olarak yapılan gözlemler sonucunda, yüzeyden 5 metre derinliğe kadar artan likidite indeksi ve doğrusal olarak azalan şişme indeksi değerlerine karşılık, aşırı konsolide killerin varlığına bağlı olarak yüksek drenajsız kayma dayanımı değerleri mevcuttur.



Şekil 4. Pliyo-Kuvaterner flüvyal sedimanların (Ankara Kili) derinliğe bağlı olarak değişen, aktivite (a) ve şişme indeksi (b) grafikleri.

Figure 4. The plots of depth-dependent activity (a) and swelling index (b) of Plio-Quaternary fluvial sediments (Ankara Clay).

Ancak yüzeyde, düşük likidite indeksi ve yüksek şişme indeksi değerlerine karşılık olarak düşük drenajsız kayma dayanımı değerlerine rastlanılmış olması ve yüzeyden itibaren derinliğe bağlı olarak SPT- $N_{(arazi)}$ değerlerindeki doğrusal artış, yüksek hassasiyet değerlerine sahip killerin varlığını ve buna bağlı olarak numune üzerindeki örselenme etkisinin mevcut olabileceği olasılığının değerlendirilmesini gerektirmiştir. Bu konuda Ankara Kiline benzer killer ile örselenmiş (remolded) ve örselenmemiş numunelerin kayma dayanımları ve likidite indeksi arasındaki ilişkilerin konu alındığı farklı çalışmalar incelenmiştir. İlk olarak Ameratunga ve diğ. (2016) tarafından, Kulhawy ve Mayne'in (1990) örselenmiş numunelerde kayma dayanımı ve likidite indeksi arasındaki ilişkiyi konu alan çalışmalarından yola çıkarak oluşturduğu grafikler kullanılarak, örselenmemiş kayma dayanımı ve LI arasında benzer bir tahmin aralığı

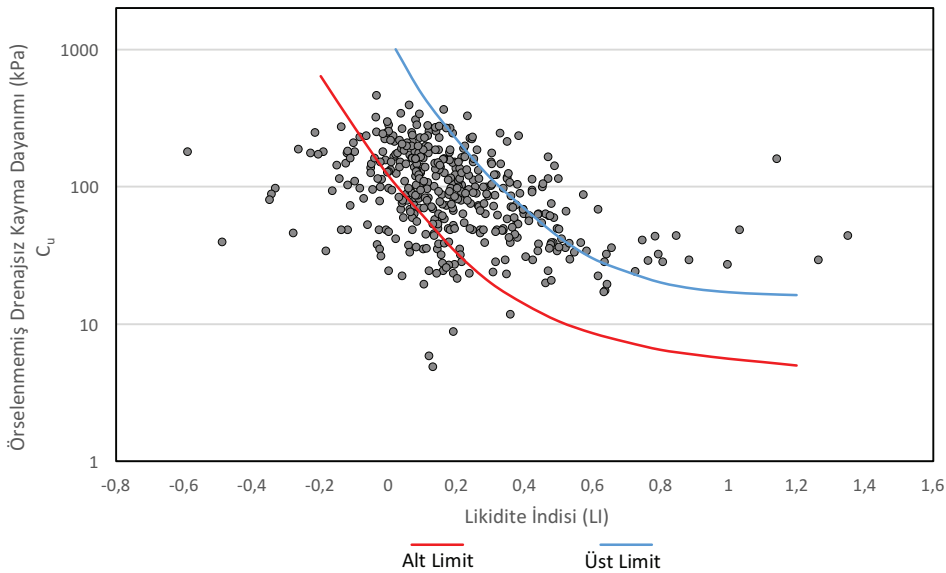
oluşturmuştur (Şekil 5). Bahsedilen yaklaşımın, tüm örselenmiş kil numuneleri için LI- C_u ilişkisinin aynı olduğunu kabul ederek verileri normalize ettiği de belirtilmelidir. Bu nedenle belirli bir likidite indeksine karşılık gelen örselenmemiş kayma dayanımı değeri yerine, araştırmacılar tarafından belirlenmiş tahmin aralığı sınırları tercih edilmiştir. Bu sınırlar kullanılarak, her bir Ankara Kili numunesi için belirli bir LI değerine karşılık gelen minimum ve maksimum muhtemel örselenmemiş kayma dayanımı değerleri tahmin edilmiştir. Minimum aralığın aşağısında kalan numuneler, potansiyel örselenmiş olarak nitelendirilmiştir. İkinci olarak, Shimobe ve Spagnoli (2019) tarafından 20'nin üzerinde farklı kil grubu üzerine yapılan çalışmaların derlendiği ve LI-hassasiyet-drenajsız kayma dayanımı ilişkilerinin konu alındığı araştırmadan faydalanılmıştır. Hem örselenmemiş hem de örselenmiş numunelerin

eş zamanlı olarak kullanıldığı çalışmada, örselenmiş ve örselenmemiş numunelerin büyük çoğunluğunun hassasiyet değerinin “1.5-2” sınırında ayrıştığı gözlemlenmektedir. Bu çalışmadaki gözlemler ve önerilen eşitlik (Eşitlik 1) kullanılarak, tüm numuneler için potansiyel hassasiyet (S_t) değerleri hesaplanmıştır. Buna göre düşük hassasiyet değerine sahip olmasına rağmen (<2) belirli bir likidite indeksi değerinde ve düşük drenajsız kayma dayanımı değerlerine sahip numuneler belirlenerek örselenmiş olarak nitelendirilmiştir.

$$c_u(kPa) = 98 * S_t * e^{\left\{ \frac{\ln\left(\frac{0.4755}{LI+0.5012(1-LI)}\right)}{0.19} \right\}} \quad (1)$$

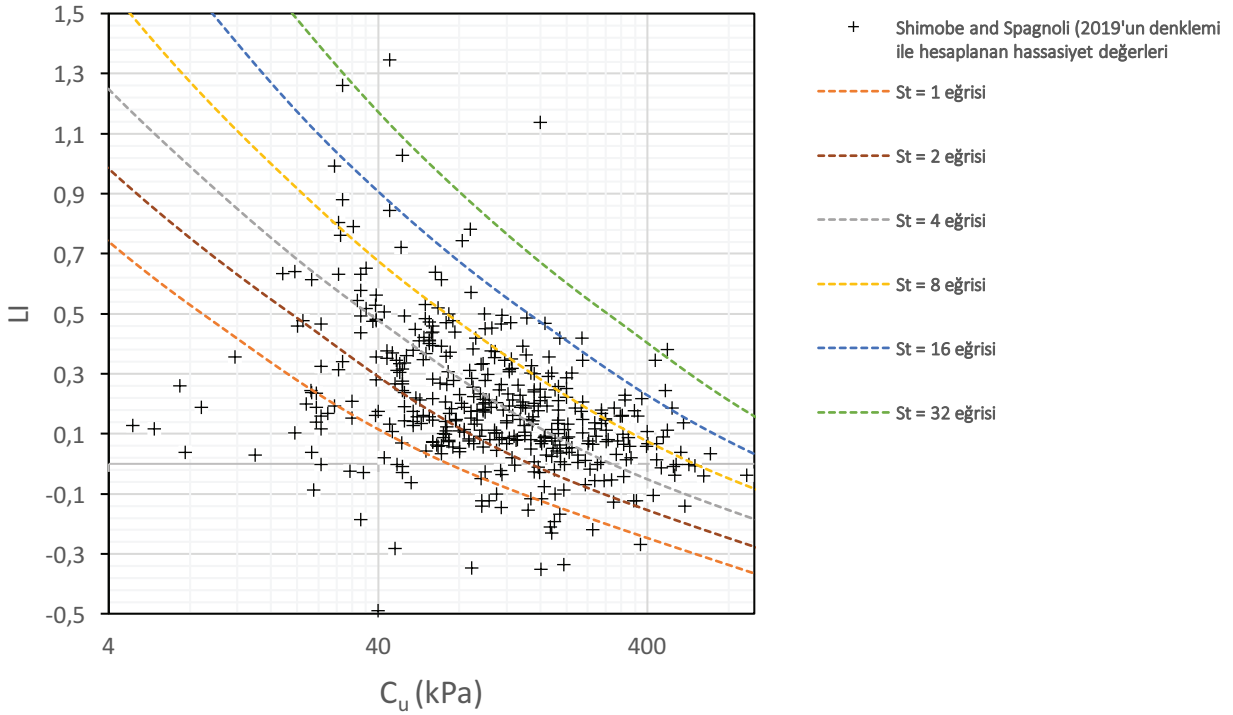
Mevcut 412 adet belirli bir L değerine karşılık gelen drenajsız kayma dayanımı verisi,

Kulhawy ve Mayne (1990) tarafından hazırlanan örselenmemiş numunelerin olası C_u zarf değeri grafiği kullanılarak analiz edilmiştir. Kullanılan LI vs. C_u grafiklerine göre, literatürün alt sınırının altındaki 93 veri potansiyel örselenmiş olarak sınıflandırılırken, üzerindeki 319 veri örselenmemiş olarak nitelendirilmiştir. Ayrıca Shimobe ve Spagnoli (2019) tarafından geliştirilen eşitlik (Eşitlik 1) kullanılarak yapılan sorgulamalar sonucunda 278 verinin örselenmemiş, 134 verinin ise potansiyel olarak örselenmiş olduğu tespit edilmiştir (Şekil 6). Bu yaklaşımdan hareketle, hassasiyet değerlerinin, örselenme ile ilişkilendirildiği sınır değerler değiştirilmesi gerektiği anlaşılmaktadır. Ancak, iki deney birlikte analiz edileceğinden ve her iki çalışma sonucunda ortak olarak örselenmiş olarak tespit edilen numuneler kullanılacağından, bu araştırma kapsamında böyle bir iyileştirme çalışmasına gerek duyulmamıştır.



Şekil 5. Ankara Kili numuneleri için C_u - LI değerlerine ile örselenmemiş numunelere ait olası LI zarf sınırları (zarf sınırları Ameratunga vd., 2016'dan değiştirilerek alınmıştır).

Figure 5. The C_u - LI values of Ankara Clay specimens, with the expected undisturbed LI boundaries (the envelope boundaries modified from Ameratunga et al., 2016).



Şekil 6. Ankara Kili numuneleri için C_u - LI değerleri ve hassasiyet zarfları (zarf aralıkları Shimobe ve Spagnoli, 2019'dan değiştirilerek alınmıştır).

Figure 6. C_u - LI values and sensitivity envelopes for Ankara Clay specimens (envelope ranges modified from Shimobe ve Spagnoli, 2019).

İki yaklaşımla ortak olarak tespit edilen toplam potansiyel örselenmiş numune sayısı 91 iken, toplam örselenmemiş numune sayısı 275'tir. İki teknik kullanılarak 46 veri noktasında farklı sonuçlara ulaşıldığı için, bu 46 adet veri analizlere dahil edilmemiştir. Araştırma kapsamında sadece ortak olarak belirlenen 91 veri örselenmiş olarak sınıflandırılmıştır ve istatistiksel analizlere dahil edilmiştir. Bu numunelere ait istatistiksel detaylar Çizelge 2'de paylaşılmıştır. Bu tablo incelendiğinde, beklenildiği üzere örselenmiş olarak nitelendirilen numunelerin LI ve C_u değerlerinin Çizelge 1'de belirtilen ortalama değerlere göre düşük olduğu gözlemlenmektedir.

SONUÇLAR ve DOĞRULAMA ÇALIŞMALARI

Potansiyel olarak örselenmiş olarak nitelendirilen verilerin çıkarılması öncesi ve sonrasında drenajsız kayma dayanımı ile belirli zemin parametreleri arasında mevcut korelasyonlar belirlenmiş ve ampirik tahmin denklemleri geliştirilmiştir. Buna göre en yüksek korelasyon C_u ile SPT- $N_{(60)}$ parametreleri arasında belirlenmiş olup, potansiyel olarak örselenmiş numunelerin veri setinde bulunduğu senaryoda lineer regresyon analizleri sonucunda belirlenen determinasyon katsayısı $R^2 = 0.265$ 'den potansiyel olarak örselenmiş numunelerin veri setinden çıkarılması

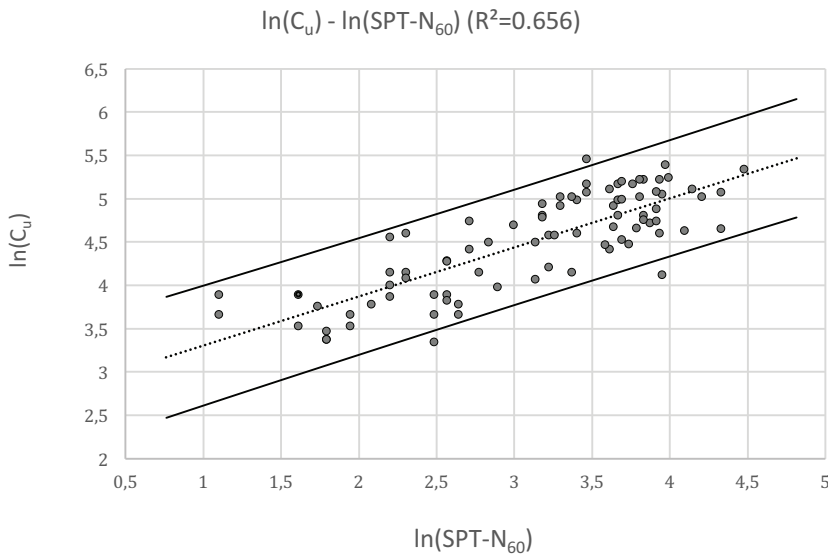
sonucunda (85 veri çifti kullanılarak) $R^2 = 0.656$ 'ya yükselmiştir. Geliştirilen denklemlerin tahminleme başarısındaki bu artış, önerilen yaklaşımın örselenme etkisini doğru bir şekilde tespit edebildiğini göstermektedir. Potansiyel olarak örselenmiş numunelerin çıkarılması sonucunda elde edilen ampirik denklem, Eşitlik 2'de verilmiştir. Şekil 7 ise normal bir dağılım gösteren C_u ve $SPT-N_{(60)}$ parametreleri arasında gerçekleştirilen doğrusal regresyon analizinin sonuçlarını, %95 güven aralığı eğrileri ile birlikte göstermektedir.

$$C_u(kPa) = 15.425 * N_{60}^{0.567} \quad (2)$$

Çizelge 2. Potansiyel örselenmiş olarak nitelendirilen numunelerin (her iki yöntemden ortak olarak elde edilen) LI ve C_u parametrelerinin tanımlayıcı istatistiksel bilgileri.

Table 2. Descriptive statistics of LI and C_u parameters (obtained jointly from both methods) of specimens considered as potentially disturbed.

İstatistik	LI	C_u
Gözlem Sayısı	91	91
Minimum	-0.592	4.903
Maksimum	0.357	275.000
Aralık	0.950	270.097
1. Çeyrek	-0.114	34.814
Medyan	0.000	60.000
3. Çeyrek	0.110	106.485
Ortalama	-0.013	79.674
Varyans (n)	0.026	3657.306
Standart sapma (n)	0.162	60.476
Varyasyon katsayısı (n)	-12.195	0.759



Şekil 7. C_u ve $SPT-N_{(60)}$ parametreleri arasında uygulanan doğrusal regresyon analizi sonuçları.

Figure 7. Results of linear regression analysis between C_u and $SPT-N_{(60)}$ parameters.

Bu çalışmaların yanında hem drenajsız kayma dayanımının tahmin edilmesine yönelik geliştirilen ampirik eşitliğin (2) tahmin başarısının test edilebilmesi, hem de örselenmiş numunelerin tespit edilmesine yönelik önerilen yöntemin kontrol edilebilmesi amacıyla doğrulama çalışmaları yapılmıştır. Bu amaçla, çalışma kapsamında geliştirilen Eşitlik 2 haricinde, SPT- $N_{(arazi)}$ değerlerine bağlı olarak literatürde Hara et al. (1974) tarafından kil birimlerinin drenajsız kayma dayanımının tahmin edilmesine yönelik geliştirilmiş olan Eşitlik 3 ve Ankara Kili'nin drenajsız kayma dayanımının tahminine yönelik olarak Yılmaz (2000) tarafından geliştirilmiş Eşitlik 4 kullanılmıştır. Doğrulama çalışmalarında veri seti olarak Ankara çevresinden ve Ankara Kiline benzer nitelik gösteren farklı bir çalışmadan derlenmiş deney sonuçları kullanılmıştır. 67 veriden oluşan bu veri setinin ortalama SPT- $N_{(arazi)}$ değeri 12, ortalama LI değeri 0.41 ve zemin sınıflandırması CH ile CL birimlerden oluşmaktadır. Bu değerler Ankara Kili için belirtilen minimum-maksimum aralıklar içerisinde olup doğrulama çalışmaları için uygun nitelik göstermektedir. Bu çalışmalarda, üç eksenli (UU) ve serbest basınç deneylerinden drenajsız kayma mukavemeti sonuçlarının elde edildiği belirtilmiştir.

$$\frac{c_u}{p_a} = 0.29 * N^{0.72} \quad (3)$$

$$c_u(kPa) = e^{(0.026 - 1.21 * LI)} \quad (4)$$

Çalışma kapsamında öncelikle, veri seti üzerinde herhangi bir işlem yapılmaksızın üç farklı eşitlik kullanılarak drenajsız kayma dayanımı parametresi, SPT-N ve LI değişkenlerine bağlı olarak tahmin edilmiştir. Ardından, potansiyel olarak örselenmiş

numunelerin tespit edilebilmesi için önerilen yaklaşım veri seti üzerinde uygulanmış ve 24 adet potansiyel örselenmiş numune verisi belirlenmiştir. Bu verilerin çıkarılması sonucunda, örselenmemiş olarak nitelendirilen 43 veri kullanılarak analizler tekrarlanmıştır. Korelasyon ve doğrusal regresyon analizleri sonucunda denklemlerden elde edilen korelasyon katsayıları (R), determinasyon katsayısı (R²) hesaplanan ortalama kare hataları (MSE) ve ortalama kare hatalarının karekökü (RMSE), verilerin çıkarılması öncesi ve sonrasında Çizelge 3'te paylaşılmıştır.

Potansiyel olarak örselenmiş olduğu tahmin edilen numunelere ait verilerin çıkarılması sonucunda tüm denklemlerin tahmin kabiliyetinde önemli düzeyde artışlar tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar hem korelasyon katsayılarındaki artış, hem de ortalama kare hatalardaki düşüş ile desteklenmektedir. Bu değişimler sırasıyla Eşitlik 2 için korelasyon katsayısında yaklaşık olarak 0.29, Eşitlik 3 için 0.32 ve Eşitlik 4 için 0.24 seviyesinde gözlemlenmiştir. Ayrıca ortalama kare hatalarında yaklaşık olarak Eşitlik 2 için %302, Eşitlik 3 için %183 ve Eşitlik 4 için %273'lük bir azalış söz konusudur.

ÖNERİLER

Bu araştırmada, Ankara'nın batısında yer alan Pliyo-Kuvaterner kil birimlerinin (Ankara Kili) çökme ve/veya erozyon karakteristikleri ile ilgili süreçler, çökme özellikleri ve zemin davranışını belirlemek amacıyla gerçekleştirilen jeoteknik laboratuvar ve saha deneyleri verileri detaylı bir şekilde analiz edilmiş ve değerlendirilmiştir. Analiz sonuçları, özellikle yüzeyden ilk 6 metre derinliklerde erozyonel etkinin varlığını, yüksek OCR (>2), negatif LI (<0) ve yüksek aktivite değerleri (1.5-4) ile açıkça göstermektedir.

Çizelge 3. Farklı bir çalışma sahasından elde edilen numunelere ait veriler kullanılarak yapılan tahminlerin korelasyon (R) ve determinasyon (R^2) katsayıları, ortalama kare hataları (MSE) ile ortalama kare hatalarının karekökü (RMSE), potansiyel örselenmiş verilerin çıkarılması öncesi (sol kolon) ve sonrasında (sağ kolon).

Table 3. Correlation (R) and determination (R^2) coefficients, mean squared errors (MSE), and root mean squared errors squared (RMSE) of predictions performed using data from samples obtained from a different research site, before (left column) and after (right column) the removal of the potentially disturbed samples.

Değişken	Orijinal Veriseti ile Yapılan Analizler			Potansiyel Örselenmiş Olarak Tespit Edilen Numunelerin Çıkarılması Sonrası Yapılan Analizler		
	C_u (Eşitlik 2)	C_u (Eşitlik 3)	C_u (Eşitlik 4)	C_u (Eşitlik 2)	C_u (Eşitlik 3)	C_u (Eşitlik 4)
R	0.612	0.587	0.544	0.902	0.912	0.783
R^2	0.375	0.345	0.296	0.814	0.832	0.613
MSE	1486.32	30952.90	1647.63	491.28	16828.30	603.72
RMSE	38.55	175.93	40.59	22.16	129.72	24.57

Bu durum, yeraltı suyunun sığ olduğu koşullarda Ankara Kilinde olası hacimsel değişimlerden kaynaklanan oturma ve stabilite sorunlarını işaret etmektedir. Ankara Kilinde özellikle hafif ve az katlı yapılar, sığ yeraltı yapıları ile inşaat dolgularında şişme problemi meydana getireceğinden, bu yapılar için zemine bağlı olarak ortaya çıkacak problemlerin daha fazla olduğu aşıkardır. Daha derin katmanlarda ise (yüzeyden 6 metre derinlik sonrasında), ön konsolidasyon basıncının ve efektif gerilmeler ile benzer değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir, bu da kilin normal konsolide olduğunu ve doğal çökelim ortam ve süreçlerinin bu derinlerde etkin olduğuna işaret etmektedir.

Çalışma kapsamında, Ankara bölgesinde yıllar içerisinde gerçekleştirilen önemli proje çalışmaları kapsamında elde edilen 5500'den fazla zemin laboratuvar örneği ve yaklaşık 500 adet farklı derinliklerden elde edilen jeoteknik arazi deneyi verisi, çeşitli analizler, sınıflandırmalar ve karşılaştırmalar için kullanılmıştır. Elde edilen tüm sonuçlarının, zemin parametrelerinin karakterizasyonu ile derinliğe bağlı veriler ışığında, Ankara Kilinin jeomühendislik

parametrelerinin tanımlanmasına önemli katkılar sunacağı düşünülmektedir. Ayrıca, örselenmiş numunelerin belirlenmesine yönelik yeni bir perspektif sunulmuş ve doğrulama çalışmaları ile başarısı değerlendirilmiştir. İlerleyen dönemlerde, bu yaklaşımın farklı veri setleri ile daha ayrıntılı olarak değerlendirilmesi hedeflenmektedir.

KATKI BELİRTME

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ), Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), Demiryolları, Limanlar ve Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü (DLH), AKTÜRK İnşaat Sanayi ve Ticaret A.Ş., TOKER Sondaj ve İnşaat Müh. Müş. A.Ş., TEKAR Teknik Araştırma Ticaret Ltd. Şti., Yüksel Proje A.Ş., Temelsu Uluslararası Mühendislik Hizmetleri A.Ş., GÜRİŞ İnşaat ve Mühendislik A.Ş. ve ESER Teknik Sondaj ve Ticaret A.Ş. olmak üzere birçok kamu kuruluşu ve özel şirkete bu çalışma için sağladıkları mühendislik jeolojisi raporları, geoteknik raporlar, veri setleri ve desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Akgün H., Türkmenoğlu AG., Met İ., Yal GP., Koçkar MK., Karakas ZS. (2017). The use of Ankara clay as a compacted clay liner for landfill sites. *Clay Miner* 52(3):391-412
- Ağaoğlu. S. (1974). Anisotropy in compressibility of M.E.T.U. Campus clay, MSc Thesis, M.E.T.U., Ankara, 79p.
- Ameratunga, J., Sivakugan, N., & Das, B. M. (2016). Correlations of soil and rock properties in geotechnical engineering. Springer India.
- Ankara Belediyesi, EGO Genel Müdürlüğü (1993). Ankara Metrosu 2. Etap Raylı Sistem Çalışmaları, Kızılay-Çayyolu Geoteknik Raporu, TEKAR Teknik Araştırma Limited Şirketi, Ankara.
- Ankara Belediyesi, EGO Genel Müdürlüğü (1994). Ankara Hafif Raylı Sistem Geçiş Sistemi İşleri, Dikimevi-ASTI Sondaj Çalışmaları, Yüksel Proje İnş, Ankara.
- Ankara Belediyesi, EGO Genel Müdürlüğü (2001). Ankara Raylı Ulaşım Sistemi 3. Aşama Çalışmaları, Batıkent-Sincan O.I.D. Zemin Etüt Raporu, GÜRİŞ İnşaat ve Mühendislik A.Ş., Ankara.
- Ankara Belediyesi, EGO Genel Müdürlüğü (2002). Ankara Hafif Demiryolu Transit Sistem Çalışmaları, Ankaray 3. Etap 1. Tur (Ana İstasyonlar) Sondajı Çalışmaları, Yüksel Proje Int., Ankara.
- Ankara Belediyesi, EGO Genel Müdürlüğü, (2003). Ankara Metrosu 2. Etap İşleri, Söğütözü İstasyonu, Jeoteknik Rapor, TOKER Sondaj ve İnşaat A.Ş., Ankara.
- Ankara Belediyesi, EGO Genel Müdürlüğü, (2004). Ankara Raylı Ulaşım Sistemi M2 Hattı Ümitköy-Çayyolu Kesimi, Zemin Etüdü Çalışması, TOKER Sondajı ve İnşaat A.Ş., Ankara.
- Ankara Belediyesi, EGO Genel Müdürlüğü, (2004). Ankara Raylı Ulaşım Sistemi M2 Hattı Ümitköy-Çayyolu Kesimi, Jeoteknik Değerlendirme Raporu, AKTÜRK İnşaat Sanayi ve Ticaret A.Ş., Ankara.
- Avşar, E., Ulusay, R., & Sonmez, H. (2009). Assessments of swelling anisotropy of Ankara Clay, *Engineering Geology*, 105(1-2), 24-31.
- Binal, A., Bas, B., & Karamut, O. R. (2016). Improvement of the strength of Ankara Clay with self-cementing high alkaline fly ash, *Procedia Engineering*, 161, 374-379.
- Birand, A.A. (1976). Presentation of a Case of Damage to an Airfield Pavement, M.E.T.U. *Journal of Pure and Applied Sciences*, Vol.9, No.1, pp.99-111.
- Birand, A.A. (1977). Ankara yöresi zeminlerde ön yüklem isotropisi. 4. Tubitak Teknik Kongresi, Altinyunus, Izmir, pp.277-287.
- Birand, A.A. (1978). Ankara Yöresi Zeminleri ve Jeoteknik Sorunlar, Yerbilimleri Açısından Ankara'nın Sorunları Sempozyumu, Türkiye Jeoloji Kurumu, pp. 55-60.
- Çokça, E., & Tilgen, H. P. (2010). Shear strength-suction relationship of compacted Ankara clay. *Applied Clay Science*, 49(4), 400-404.
- Çolpan, M. (1969). Correlation between laboratory and field vane shear strength, MSc Thesis, M.E.T.U., Ankara.
- Dağar, V. (2017). A study on the tensile strength of compacted Ankara clay and kaolin clay (MSc Thesis). Middle East Technical University.
- Deliktaş, C., & Çokça, E. (2020). Influence of swell on undrained shear strength of expansive Ankara Clay, *Arabian Journal of Geosciences*, 13(18), 1-9.
- Demiryolları, Limanlar ve Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü (DLH) (1994), Sincan-Yenikent-Eryaman-Batıkent-Etimesgut Banliyö Tren Güzergahı, Geoteknik Laboratuvar Raporu Ek I-II, Doğan Mühendislik ve Haritacılık Ltd. A.Ş., Ankara.
- D.S.İ. (1975). Ankara güneyi hidrojeoloji etüd raporu, D.S.İ. Genel Müdürlüğü Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları Dairesi Başkanlığı Yayını, 40-46p.
- Erol O. (1973). Geomorphological outlines of the Ankara area (Summary), Map 1:100.000.

- Ankara University, D.T.C.F. Publication, No:16, Geomorphology Maps, Ankara, No.1, 29 pages.
- Ergüler, Z. A., & Ulusay, R. (2003). A simple test and predictive models for assessing swell potential of Ankara (Turkey) Clay. *Engineering Geology*, 67(3-4), 331-352.
- Etimesgut Belediyesi (2005). Çeşitli Mühendislik Jeoloji ve Bayındırlık İşleri için Geoteknik Sondaj Çalışmaları, Ankara.
- Hara, A., Ohta, T., Niwa, M., Tanaka, S., and Banno, T. (1974). Shear Modulus and Shear Strength of Cohesive Soils, *Soils and Foundations*, Vol.14, No.3, pp.1-12.
- İspir, M. E. (2011). A laboratory study of anisotropy in engineering properties of Ankara Clay, MSc Thesis, M.E.T.U., Ankara.
- Kasapoğlu, K.E. (1980). Geo-engineering properties of the city of Ankara foundation soils. (Associate Professorship Thesis). Hacettepe University, Geological Engineering Department, Beytepe, Ankara.
- Kayabaşı, A. (2020). Geotechnical properties of fine-grained soils in Ankara/Turkey: an assessment of the existing empirical equations, *Environmental Earth Sciences*, 79, 1-27.
- Kiper, O.B. (1983). Etimesgut-Batıkent yöresindeki üst Pliosen çökellerinin jeomühendislik özellikleri ve konsolidasyonu (Ph. D. Dissertation). Hacettepe University, Ankara.
- Koçkar, M.K. (2006). Engineering geological and geotechnical site characterization and determination of the seismic hazards of Upper Pliocene and Quaternary deposits situated towards the west of Ankara (Ph. D. Dissertation). METU, Geological Eng. Dept., Ankara.
- Koçkar, M. K., Akgün, H., & Rathje, E. M. (2010). Evaluation of site conditions for the Ankara Basin of Turkey based on seismic site characterization of near-surface geologic materials. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 30(1-2), 8-20.
- Kulhawy, F. H., & Mayne, P. W. (1990). Manual on estimating soil properties for foundation design (No. EPRI-EL-6800). Electric Power Research Inst., Palo Alto, CA (USA); Cornell Univ., Ithaca, NY (USA).
- Lohnes, R. (1974). Geological report on Ankara Clay, M.E.T.U. Department of Civil Engineering, Ankara (Unpublished).
- Met, I., & Akgün, H. (2015). Geotechnical evaluation of Ankara clay as a compacted clay liner. *Environmental Earth Sciences*, 74(4), 2991-3006.
- Mirata, T. (1976). Short term stability of slopes in Ankara clay. Ph.D. thesis. University of London.
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (M.T.A.) (1954), ODTÜ Kampüs Alanında Yürütülen Jeolojik Sondaj Çalışmaları.
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (M.T.A.) (2002), ODTÜ Kampüs Alanında Yürütülen Jeolojik ve Hidrojeolojik Sondaj Çalışmaları.
- Nhuan, B. D. (1981). Effect of sample disturbance on the geotechnical properties of soft clay.
- Ördemir, T and Alyanak, I. (1965). Reports of soil studies of Stad Hotel, Kocatepe Mosque, Ziraat Bankasi, and Emlak Kredi Bankasi, Ankara (Unpublished work).
- Ördemir, I., Soydemir, C., Birand, A. (1977). Swelling problems of Ankara clays. 9th International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Tokyo, 1, 243-247.
- Seed, H., Woodward, R.J. and Lundgren, R. (1962). Prediction of swelling potential of compacted clay. *Journal of Soil Mechanic and Foundation Division, A.S.C.E.*, 88 (3), 53-87.
- Shimobe, S., & Spagnoli, G. (2019). Some relations among fall cone penetration, liquidity index, and undrained shear strength of clays considering the sensitivity ratio. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78(7), 5029-5038.
- Sincan Belediyesi (2005). Çeşitli Mühendislik Jeoloji ve Geoteknik Bayındırlık İşleri için Sondaj Çalışmaları, Ankara.
- Stroud, M. A. (1974). The standard penetration test in insensitive clays and soft rocks, In *Proceedings*

- of the 1st European Symposium on Penetration Testing, Stockholm, Sweden, Vol. 2, No. 2, pp. 367-375.
- Sürgele, A. (1976). A Survey of the Geotechnical Properties of Ankara Soils, MSc Thesis, M.E.T.U. Civil Engineering Department, 96 Pages.
- Şahin, G. (2022). Investigation of Soil Behavior of Ankara Clay Based on Geotechnical Field and Laboratory Experiments. (MSc Thesis). Hacettepe University, Ankara.
- Van der Merwe, D.H. (1964). Prediction of Heave from the Plasticity Index and Percentage of Clay Fraction of Soils. Transactions of the South African Institution of Civil Engineers, 6, 103-107.
- Yaman, G. (2007). Prediction of geotechnical properties of cohesive soils from in-situ test: an evaluation of a local database (MSc Thesis). Middle East Technical University.
- Yılmaz, I. (2000). Evaluation of shear strength of clayey soils by using their liquidity index, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 59(3), 227-229.
- Yılmaz, U. (2006). Ankara kilinin (Çankaya-Ankara) sıkışma-kabarma özelliklerinin incelenmesi, S.D.U., MSc Thesis.
- Yüncü, H. (1972). An Investigation of Volume Change of Ankara Clay, MSc Thesis, M.E.T.U., Civil Eng. Dept., 52 pages.