

## Ankara Kilinin Derinliğe Bağlı Zemin Davranışının ve Örselenme Etkisinin Geoteknik Arazi ve Laboratuvar Deneilerine Bağlı Olarak İncelenmesi

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

Gökhan ŞAHİN<sup>1\*</sup>, Mustafa Kerem KOÇKAR<sup>2</sup>

#### ÖZET

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 araştırma kapsamında, Ankara'nın batısında yer alan killi birimlerin farklı derinliklerinden alınmış yaklaşık 5500 numunenin, yerinde arazi ve laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçlar kullanılarak derinliğe bağlı zemin karakterizasyonu çalışmaları yapılmış, geoteknik 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 likitlik indisi (LI) değerleri arasındaki hassasiyet (sensitivite) değişimleri saptanmıştır. Bu çalışmalar göz önüne alınarak, örselenmiş numunelerin tespit edilebilmesine ilişkin ampirik bir yöntem önerisinde bulunulmuştur. 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 çıkartılması sonucunda, literatürde ve çalışma kapsamında drenajsız kayma dayanımının tahmin edilebilmesine yönelik geliştirilmiş olan ampirik denklemlerin tahmin başarılarında (determinasyon katsayısında) yüksek oranlarda artışlar gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** 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 over-consolidated, active, highly plastic, and stiff consistency, obtaining undisturbed samples is challenging, and it adversely affects the reliability of laboratory test results. 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

<sup>1\*</sup> Research Assistant, Hacettepe University Civil Engineering Department, [gokhan.sahin@hacettepe.edu.tr](mailto:gokhan.sahin@hacettepe.edu.tr), {Corresponding author}

<sup>2</sup> Assoc. Prof. Dr., Hacettepe University Civil Engineering Department, [mustafakockar@hacettepe.edu.tr](mailto:mustafakockar@hacettepe.edu.tr)

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 empirical method for identifying disturbed samples has been proposed. The method was tested with validation studies using laboratory test results obtained 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 (determination coefficient) developed both in the literature and within the scope of the study.

**Keywords:** Ankara Clay, effects of sample disturbance, sensitivity, depth-related variation of the soil index and shear strength parameters.

## 1. GİRİŞ

Ankara Kili, günümüze kadar pek çok geoteknik ve jeolojik çalışmanın konusu olmuştur (örn., Birand, 1977; Kasapoğlu, 1980; Kiper, 1983; Ergüler ve Ulusay, 2002; Koçkar, 2006; Çokça ve Tilgen, 2010; Met ve Akgün, 2015; Dağar, 2017). Çökelim ortamları ve formasyonlar açısından Ankara Kili, Üst Pliyosen-Pleistosen fluvyal sedimanlar, taşkın ovalarındaki Kuvaterner teraslar ve yakın dönem alüvyon birimlerden oluşmuştur. Bu sedimanter birimler, bölgenin jeolojik tarihindeki flüviyal ve iklim rejimlerine bağlı olarak farklı düzeylerde yüzey kurumasına ve erozyona maruz kalmıştır. Bu etkiler, belirli birimlerde 150 ila 180 metre derinlikteki rezidüel materyalin karşılığı olan bir önkonsolidasyon basıncının oluşmasına neden olmuştur. Kiper (1983), konsolidasyon testi sonuçlarından elde edilen önyükleme basınç değerlerinin, yüzey kuruması nedeniyle kapiler kuvvetlerden etkilendiğini bildirmiştir.

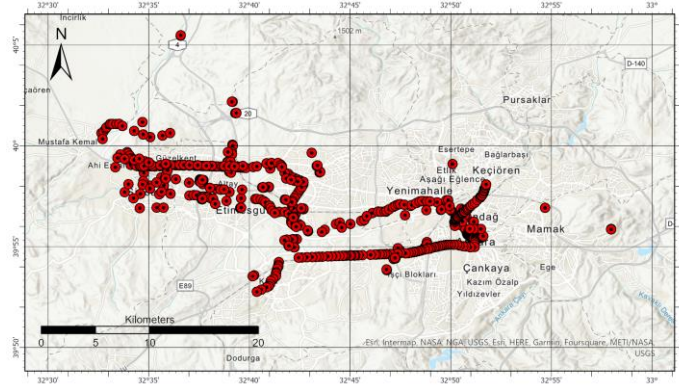
Bahsedilen süreçlerin bir sonucu olarak, Ankara Kilinin önkonsolide (Kiper, 1983), yüksek plastisite (Birand, 1977), katı-çok katı kıvam (Yaman, 2006) veya yüksek aktivite (Akgün ve diğ., 2017) gibi çeşitli zemin özellikleri bulunmaktadır. Birçok araştırmacı tarafından uygulanan Atterberg test sonuçlarına göre (örn., Mirata, 1976; Ergüler ve Ulusay, 2002; Met ve Akgün, 2015; Akgün ve diğ., 2017), plastisite indisi (PI) değerinin %20-80 gibi geniş bir aralıkta değişmekte olduğu belirtilmiştir. Yüksek plastisite indisi, kilin farklı su muhtevası değerlerinde hacim ve kıvamında önemli değişiklikler oluşabileceğini göstermektedir (Ördemir vd., 1977). Ankara Kili, su tablası seviyesine bağlı olarak problemlere neden olabilecek bir şişme ve büzülme davranışı için aktiftir (Birand, 1977). 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 Kilinde örselenme etkisi, literatürde araştırma konusu olarak yeterince incelenmemiş olsa da benzer karakteristik özelliklere sahip kil birimlerinin (örn., London Clay, Norwegian Marine Clay) örselenmiş-yoğrulmuş ve örselenmemiş davranışlarının araştırıldığı çalışmalar mevcuttur (örn., Kulhawy ve Mayne, 1990; Shimobe ve Spagnoli, 2019). Bu çalışmalarda, örselenmiş-yoğrulmuş ve örselenmemiş numunelerin drenajsız kayma dayanımı ( $c_u$ ) parametreleri arasındaki oranın (sensitivite-hassasiyet) değişim aralıkları analiz edilmiştir (Şahin, 2022). Benzer şekilde mevcut çalışmada, Ankara Kili için likitlik indisi değerlerine göre drenajsız kayma dayanımı hassasiyet parametresine bağlı olarak incelenmiştir. Literatürdeki araştırmaların da rehberliğinde, örselenmiş numunelerin drenajsız kayma dayanımı ve likitlik indisi değerlerine bağlı olarak tespit edilebilmesine ilişkin bir yöntem önerisinde bulunulmuştur.

## 2. GEOTEKNİK VERİTABANI KARAKTERİZASYONU VE METODOLOJİ

### 2.1. Veritabanı

Araştırma, 26 farklı geoteknik projeden elde edilen veriler kullanarak, Ankara şehir merkezinin batısında yer alan 250 km<sup>2</sup>lik bir bölgede yürütülmüştür (Şekil 1). Verilerin çoğu, öne çıkan ve büyük ölçekli çeşitli kamu, belediye ve akademik araştırma projeleri kapsamında yapılmış olan arazi ve laboratuvar raporlarından derlenmiştir. Derlenen geoteknik raporlar, testlerin ve prosedürlerin nasıl gerçekleştirildiği hakkında her

zaman kesin bilgiler vermemektedir. Farklı veri tabanları ile gelecekteki entegrasyonu kolaylaştırmak amacıyla zemin parametre sınıfları uluslararası standartlara göre (ASTM) tanımlanmıştır. Tablo 1’de standardizasyon ve filtreleme işlemleri sonrası veri tabanında Ankara Kili olarak tanımlanmış zeminlerin istatistiksel detayları paylaşılmıştır. İstatistiksel çalışmalar sonucunda elde edilen parametrelere dair aralıklar (minimum-maksimum değerler) ve ortalama değerler incelendiğinde, literatürde yapılan çalışmalar ile büyük ölçüde uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 1. Sondaj kuyusu konumlarının Ankara içerisindeki mekânsal gösterimi

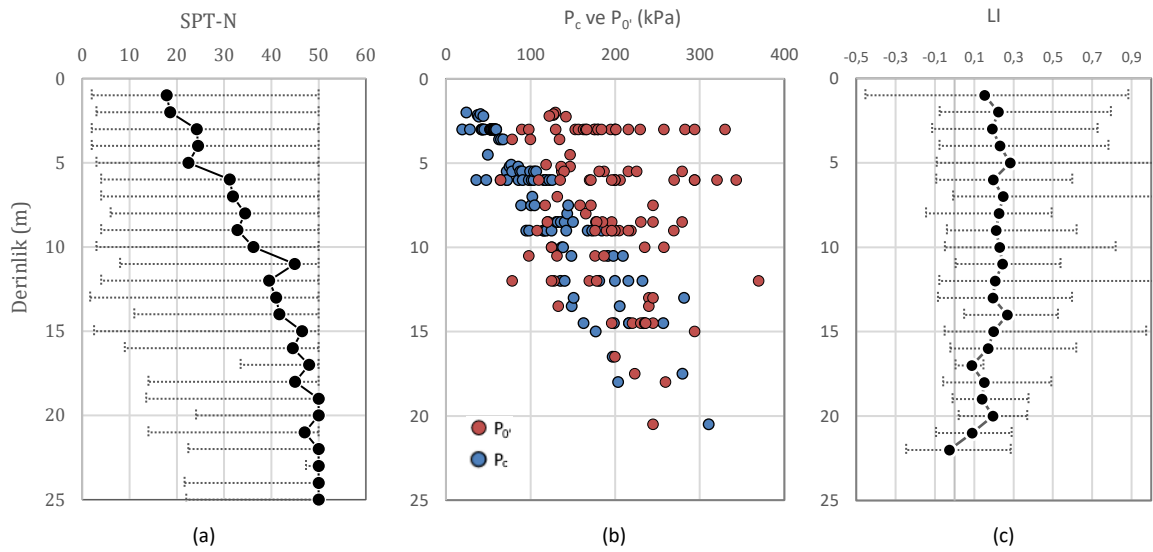
Kayma dayanımı ( $c_u$ ) değerleri, Çokça ve Tilgen'in (2010) gözlemleri ile benzerlik göstermektedir. SPT-N değerleri, Yaman (2007)'nin çalışması ile; Atterberg limit test sonuçları ise, Dağar (2017) ve Akgün ve diğ. (2017)'nin çalışmaları ile örtüşmektedir. Ayrıca konsolidasyon parametreleri Kiper (1983) tarafından belirlenen sınırlar ile benzerlik göstermektedir.

Tablo 1. Ankara Kili 'ne dair geoteknik parametreler ve istatistiksel detayları

Değişken	Adet	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart sapma
SPT-N	2442	2	50+	32.9	21
LL	2568	24	126	57.1	16
PL	2570	5	67	22.8	5.4
PI	2568	4.4	88	34.2	13.1
$f_1$	1372	0.1	76	5.2	5.5
$f_{15}$	2590	2	100	81.7	13.5
clay fraction (%)	198	8	72	34.9	13
$w_n$ (%)	2655	1.2	72	28.8	7.2
$G_s$	111	2.59	2.86	2.71	0
$m_v$ (cm <sup>2</sup> /kg)	201	0.0032	0.0686	0.0181	0.0100
$c_v$ (cm <sup>2</sup> /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

## 2.2.Zemin Özelliklerinin Derinliğe Bağlı Değişimleri

Zemin parametrelerdeki derinliğe bağlı değişimlerin incelenmesi, özellikle konsolidasyon özelliklerinin değerlendirilebilmesi ve zemin parametreleri arasındaki ilişkilerin belirlenebilmesi için büyük önem taşımaktadır. Mevcut çalışma kapsamında yapılan incelemelerde,  $c_u$  değerlerinin genel olarak derinliğe bağlı olarak artış gösterdiği fakat 0-10 m arası derinliklerde yüksek değerlerin mevcut olduğu saptanmıştır. SPT-N ( $N_{field}$ ) değerlerinin ise derinlikle birlikte doğrusal olarak artmakta olduğu gözlemlenmektedir (Şekil 2.a). Ancak, yüzeyle yakın derinliklerde (0-10 metre arasında) çok sayıda yüksek SPT-N değerleri görülmüş ve bu sonuçların, yüzeyle çatlama ve kuruma nedeniyle aşırı konsolide olmuş killerin varlığı sebebiyle elde edildiği sonucuna varılmıştır. Önkonsolidasyon basıncının ( $P_c$ ) derinliğe bağlı değişimi incelendiğinde, yüzeyle 6-10 metre derinliklere kadar efektif stres değerlerinin çok üzerinde yer alan değerlere rastlanılmıştır (Şekil 2.b). OCR değerlerinin bu derinliklerde 6-7 seviyelerine kadar çıktığı yapılan hesaplar ile ortaya koyularak, yüzeyleki aşırı konsolide killerin varlığı doğrulanmıştır. Likitlik indisi değerleri incelendiğinde yüzeyle 5 metre derinliğe kadar artış göstermekte olduğu, sonrasında 20 metre derinliklere kadar doğrusal olarak azalış gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 2.c). Buna rağmen yüzeylede çok sayıda negatif LI değerine sahip numuneye rastlanılmıştır. Ayrıca, şişme indisi ( $c_s$ ) değerlerinin derinlikteki artışa bağlı olarak doğrusal olarak azaldığı yapılan değerlendirmeler sonucunda gözlemlenmiştir.



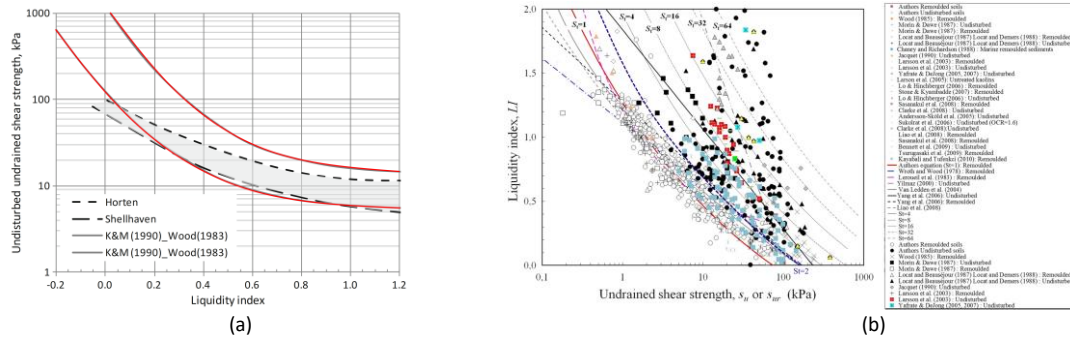
Şekil 2. Pliyo-Kuvaterner flüvyal sedimanların (Ankara Kili) derinliğe bağlı olarak değişen, SPT-N (a), düşey efektif stres ve ön-konsolidasyon basıncı (b) ve likidite indisi (c) grafikleri

### 2.3. Metodoloji

Zemin parametrelerindeki derinliğe bağlı olarak yapılan gözlemler sonucunda, yüzeyle 5 metre derinliğe kadar artan likitlik indisi ve doğrusal olarak azalan şişme indisi değerlerine karşılık, aşırı konsolide killerin varlığına bağlı olarak yüksek drenajsız kayma dayanımı değerleri mevcuttur. Ancak yüzeylede, düşük likitlik indisi ve yüksek şişme indisi değerlerine karşılık düşük drenajsız kayma dayanımı değerlerine rastlanılmış olması ve yüzeyleden itibaren derinliğe bağlı olarak SPT- $N_{field}$  değerlerindeki doğrusal artış, yüksek hassasiyet değerlerine sahip killerin varlığını ve buna bağlı olarak numune üzerindeki örselenme etkisinin mevcut olabileceği olasılığın değerlendirilmesini gerektirmiştir. Bu konuda Ankara Kiline benzer killer ile örselenmiş-yoğrulmuş ve örselenmemiş numunelerin kayma dayanımları ve likitlik indisi arasındaki ilişkilerin konu alındığı farklı çalışmalar incelenmiştir. İlk olarak Ameratunga ve diğ. (2016) tarafından, Kulhawy ve Mayne'in (1990) örselenmiş-yoğrulmuş kayma dayanımı ve likitlik indisi arasındaki ilişkiyi konu alan çalışmalarından yola çıkarak oluşturduğu grafikler kullanılarak, örselenmemiş kayma dayanımı ve LI arasında benzer bir bant oluşturmuştur (Şekil 3.a). Bahsedilen yaklaşımın, tüm örselenmiş-yoğrulmuş kil numuneleri için LI-kayma dayanımı ilişkisinin aynı olduğunu kabul ederek verileri normalize ettiği de belirtilmelidir. Bu nedenle belirli bir likitlik indisine karşılık gelen örselenmemiş kayma dayanımı değeri yerine, yazarlar tarafından belirlenmiş bant 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 zarfın aşığıısında kalan numuneler, potansiyel örselenmiş olarak nitelendirilmiştir. İkinci olarak, Shimobe ve Spagnoli (2019) tarafından 20'nin üzerinde farklı kil grubu üzerine yapılan çalışmalar derlendiği

ve LI-hassasiyet-drenajsız kayma dayanımı ilişkilerinin konu alındığı çalışmadan faydalanılmıştır. Hem örselenmemiş hem de örselenmiş-yoğrulmuş numunelerin eş zamanlı olarak kullanıldığı çalışmada, örselenmiş ve örselenmemiş-yoğrulmuş numunelerin büyük çoğunluğunun hassasiyet değerinin “1.5-2” sınırında ayrıştığı gözlemlenmektedir (Şekil 3.b). Bu çalışmadaki gözlemler ve denklem (1) kullanılarak, tüm numuneler için potansiyel hassasiyet ( $S_t$ ) değerleri hesaplanmıştır.

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



Şekil 3. Örselenmemiş drenajsız kayma dayanımına karşı likidite indeksi (Ameratunga vd., 2016) (a), LI ve drenajsız kayma dayanımlarına karşılık gelen hassasiyet zarfları (Shimobe ve Spagnoli, 2019'dan değiştirilmiştir) (b)

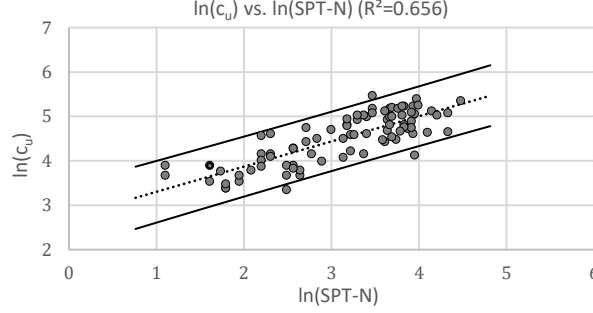
### 3. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında güvenilir tarafta kalmak adına, her iki yaklaşım kullanılarak ortak olarak örselenmiş olarak nitelendirilen numuneler veri setinden çıkarılmıştır. Buna göre, değerlendirmeye alınan 412 veriden (hem LI, hem  $c_u$  değerleri veri setinde mevcut olan) 93 adeti örselenmiş olarak nitelendirilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde beklenildiği üzere, örselenmiş olarak nitelendirilen numunelerin LI ve  $c_u$  değerlerinin nispeten düşük olduğu gözlemlenmektedir. Ayrıca örselenmiş olarak nitelendirilen verilerin çıkarılması sonrasında,  $c_u$  ve çeşitli zemin parametreleri arasındaki ilişkiler tekrar incelenmiştir. Buna göre  $c_u$ -SPTN parametreleri arasında yüksek determinasyon katsayısına ( $R^2= 0,656$ ) sahip empirik bir denklem önerilmiştir (2). Şekil 4,  $c_u$ -SPT-N parametreleri arasında gerçekleştirilen doğrusal regresyon analizinin sonuçlarını göstermektedir. Ayrıca, hem geliştirilen ampirik denklemin tahmin başarısının test edilebilmesi, hem de örselenmiş numunelerin tespit edilmesine yönelik önerilen yöntemin kontrol edilebilmesi amacıyla doğrulama çalışmaları yapılmıştır. Bu amaçla, çalışma kapsamında geliştirilen denklem haricinde (2), SPT-N değerlerine bağlı olarak literatürde Hara et al. (1974) tarafından killi zeminlerin drenajsız kayma dayanımının tahmin edilmesine yönelik geliştirilen denklem (3) ve Ankara Kilinin drenajsız kayma dayanımının tahminine yönelik olarak Yılmaz (2000) tarafından geliştirilmiş denklem (4) kullanılmıştır. Doğrulama çalışmalarında veri seti olarak Ankara çevresinden ve Ankara Kiline benzer nitelik gösteren bir projeden derlenmiş deney sonuçları kullanılmıştır. 67 veriden oluşan bu veri setinin ortalama SPT-N değeri 12, ortalama LI değeri 0,41 ve zemin sınıflandırması CH ile CL arasındadır. Bu değerler Ankara kili için belirtilen minimum-maksimum aralıklar içerisinde olup doğrulama çalışmaları için uygun nitelik göstermektedir. Proje raporlarında, üç eksenli ve serbest basınç deneylerinden drenajsız kayma mukavemeti sonuçları elde edildiği belirtilmiştir.

$$c_u = 15.425 * N^{0.567} \quad (2)$$

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

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



Şekil 4.  $c_u$  ve SPT-N arasında uygulanan doğrusal regresyon analizi sonuçları

Öncelikle veri setinden herhangi bir veri çıkarılmaksızın bahsedilen üç denklem kullanılarak drenajsız kayma dayanımı parametresi, SPT-N değişkenine bağlı olarak tahmin edilmiştir. Lineer regresyon analizleri sonucunda denklemlerden elde edilen determinasyon katsayısı ( $R^2$ ) sonuçları sırasıyla denklem (2) için 0.375, denklem (3) için 0.344 ve denklem (4) için 0.296 olarak hesaplanmıştır. Ardından, örselenmiş numunelerin tespit edilebilmesi için önerilen yöntem kullanılarak, 23 adet potansiyel örselenmiş numune belirlenmiştir. Bu verilerin çıkarılması sonucunda, 44 veri kullanılarak analizler tekrarlanmış, denklemlerden elde edilen determinasyon katsayısı ( $R^2$ ) sonuçları sırasıyla denklem (2) için 0.824, denklem (3) için 0.842 ve denklem (4) için 0.652 olarak hesaplanmıştır. 23 adet potansiyel örselenmiş verinin çıkarılması sonucunda, denklemlerin tahmin başarılarında büyük artışlar gözlemlenmiştir. Bu araştırma, Ankara Kilinin numune kalitesi ve örselenme etkisine dair literatürde mevcut olan boşluğu doldurmuş ve Ankara Kilinin zemin karakterizasyonunun ilk kez geniş bir veri seti ile ve derinliğe bağlı olarak analiz edilmesiyle önemli katkılarda bulunmuştur. Çalışma sırasında, örselenmiş numunelerin belirlenmesine yönelik yeni bir yöntem önerilmiş ve doğrulama çalışmaları ile başarıları değerlendirilmiştir. İlerleyen dönemlerde, bu yöntemin farklı veri setleri ile daha ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmesi hedeflenmektedir.

## 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
- Ameratunga, J., Sivakugan, N., & Das, B. M. (2016). *Correlations of soil and rock properties in geotechnical engineering*. Springer India.
- Birand, A.A. (1977). Ankara yöresi zeminlerde ön yükleme isotropisi. 4. Tubitak Teknik Kongresi, Altinyunus, İzmir, pp.277-287.
- Çokça, E., & Tilgen, H. P. (2010). Shear strength-suction relationship of compacted Ankara clay. *Applied Clay Science*, 49(4), 400-404.
- Dağar, V. (2017). A study on the tensile strength of compacted Ankara clay and kaolin clay (Master's thesis). Middle East Technical University.
- 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.
- 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.
- Kasapoğlu, K.E. (1980). *Geo engineering properties of the city of Ankara foundation soils*. (Associate Professorship Thesis). Hacettepe University, Geological Engineering Department, Beytepe, Ankara.
- 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.
- 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).
- 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.
- Nhuan, B. D. (1981). Effect of sample disturbance on the geotechnical properties of soft clay.
- 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.
- 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.
- Şahin, G. (2022). Investigation of Soil Behavior of Ankara Clay Based on Geotechnical Field and Laboratory Experiments. (Master's Thesis). Hacettepe University, Ankara.
- Yaman, G. (2007). Prediction of geotechnical properties of cohesive soils from in-situ test: an evaluation of a local database (Master's 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.