

Türkiye’de SPT-N Değeri ile İnce Daneli Zeminlerin Drenajsız Kayma Mukavemeti arasındaki İlişkiler

Osman SİVRİKAYA*

Ergün TOĞROL**

ÖZ

Mühendislik uygulamalarında numunelerin elde edilmesi, deneylerin yapılması ve maliyet giderleri yüzünden bir çok yönüyle elde edilen bilgiler sınırlı kalmaktadır. Bu nedenle mümkün olduğu kadar az ve kolay elde edilebilen zemin parametreleri kullanarak, zeminlerin mühendislik özelliklerini belirleyebilmek avantajlı olacaktır. Bu çalışmada SPT-N değeri ile drenajsız kayma mukavemeti (c_u) arasındaki ilişkiler, Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) düzeltmeleri ve deney tipinin etkisi dikkate alınarak, ince daneli zemin grupları için araştırılmış ve daha önce yapılan çalışmalarla karşılaştırmalar yapılmıştır. Özellikle pratikte yaygın olarak kullanılan Terzaghi ve Peck (1967) ve Stroud (1974)’in önerdiği bağıntıların, bu çalışmada bulunan bağıntılarla uyumlu olduğu gözlenirken diğer araştırmacılar tarafından önerilen bağıntıların ise oldukça yüksek sonuçlar verdikleri gözlenmiştir.

ABSTRACT

Relationships between SPT-N value and Undrained Shear Strength of Fine-grained Soils in Turkey

In engineering applications, information obtained during soil explorations may be limited due to the difficulties encountered in sampling, testing and the costs involved. So, it is useful to determine properties of soils by using a small number of soil parameters that can be obtained easily. In this study the correlations between the SPT-N value and undrained shear strength (c_u) are examined and developed for types of fine-grained soils based on Standard Penetration Test (SPT) corrections and test type considered statistically, and comparisons are made with previous studies. It is observed that while the correlations proposed by Terzaghi and Peck (1967), commonly used in practice, and Stroud (1974) are compatible with those proposed by the current study, those proposed by the others have given quite high results.

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu’na 14.07.2005 günü ulaşmıştır.
- 31 Aralık 2007 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* Niğde Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Niğde - osivrikaya@nigde.edu.tr

** İstanbul Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul - togrol@istanbul.edu.tr

1. GİRİŞ

Geoteknik Mühendisliğinde zemin kesitinde yer alan tabakaların mühendislik özelliklerinin belirli bir derinliğe kadar bilinmesi gerekmektedir. Zeminlerin mühendislik özellikleri, laboratuvar ve arazide yapılan deneyler ile belirlenebilmektedir. Laboratuvar yöntemleri kullanılırken örselenme etkisi ihmal edilebilir kabul edilse bile, numuneler alındığı tabakanın çok küçük bir bölgesini temsil ettiğinden, laboratuvar deney sonuçları tüm tabakanın özelliklerini yansıtmayabilir. Arazi deney yöntemlerinde laboratuvardaki gibi gerilme şartlarının tekrar yaratılma sorunuyla karşılaşılmazken, gerçek gerilme durumu ve anizotropi çoğu kere kendiliğinden sağlanır. Arazi deneyleri, daha geniş bir bölgede uygulandığından, sonuçlar zemin tabakasını daha iyi temsil edebilmektedir.

Ayrık daneli zeminlerde numune alma zorluğunu ve ince daneli zeminlerde numunelerin örselenmesi sorunlarını ortadan kaldırmak için arazi deneyleri sıkça kullanılmaktadır. Geoteknik incelemelerde, Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) oldukça yaygın bir şekilde kullanılan arazi deneylerinin başında gelmektedir. Ülkemizde SPT, hemen hemen her zemin inceleme programının ana parçalarından birini oluşturmaktadır.

1.1. Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)

Fletcher ve Hanry A. Mohr, numune alıcı kaşığı kullanarak 63.6 kg ağırlığındaki tokmağın 76.2 cm’den düşürülerek çakılmasıyla penetrasyon deneyini ilk olarak standart hale getirmiştir [1]. İlk olarak yaklaşık 1927’lerde ortaya çıkıp “Raymond Beton Kazık Şirketi” tarafından geliştirilen ve Terzaghi ve Peck [2] tarafından halka tanıtılan “Standart Penetrasyon Deneyi” (SPT), yaklaşık 84 yıldır kullanılmaktadır. SPT oldukça yaygın şekilde Kuzey ve Güney Amerika’da, Avustralya’da, Güney Afrika’da, Hindistan’da, Portekiz’de, İsrail’de, Türkiye’de, Büyük Britanya ve Japonya’da kullanılmaktadır [2, 3, 4, 5]. Horn [6] belirttiğine göre, Kuzey Amerika’da SPT, zemin incelemesinde vazgeçilmez bir deney olmuş ve olmaya da devam etmektedir. Mori’ye [7] göre, Japonya’da ön inceleme aşamasında sondajların % 90’dan fazlası SPT ile birlikte yapılmaktadır. Günümüze kadar da bu deney üzerinde çeşitli gelişmeler sağlanmıştır.

SPT’nin sonuçlarını doğru bir şekilde yorumlamak için, deneyde kullanılan aletlerin ve deneyin nasıl yapıldığının bilinmesi gerekmektedir. SPT için kullanılan aletler, ülkeden ülkeye, statik penetrometre aletinden daha fazla değişiklik arz etmektedir. Birçok değişken, SPT sonuçlarının geçerliliğini ve kullanılabilirliğini etkilemektedir [8, 9, 10]. Ölçülen penetrasyon direnci ($SPT-N_{arazi}$, N_a), bu değişkenlerin sonucu olarak çok aşırı yüksek veya çok aşırı düşük olabilmektedir. Aşırı yüksek olarak ölçülen N_a değeri, zeminin özellikleri ve taşıma gücü hakkında güvenli olmayan tahminler yapılmasına sebep olmaktadır. Aşırı düşük olarak ölçülen N_a değeri ise, aşırı güvenli sonuçlara sebep olmaktadır.

Verilen bir zemin tabakası için SPT sonuçlarını, geniş bir değişim aralığına yayan birçok değişken mevcuttur. Bu değişim veya deneyin tekrarlanabilirliğinin düşük olması, SPT sonuçlarının yorumlanmasında ve geçmiş verilerin güvenle kullanılmasında zorluklara sebep olmaktadır. Son zamanlarda özellikle SPT tokmakların arazideki enerjilerinin ölçülmesi ve SPT’nin dinamiği üzerine mevcut araştırmalar, SPT ve sonuçlarına ait bilgileri önemli derecede geliştirmiştir [11, 12, 13, 14]. Bunun sonucu olarak deneydeki değişimler azaltılabilir. SPT esnasında mevcut enerji ölçülürse, SPT üzerindeki birçok değişkenin

etkisi en aza indirgenebilir. Özellikle zeminin sismik stabilite analizlerinde, projede kullanılacak SPT sonuçları için, tijlere aktarılan enerji ölçümleri yapılmalı ya da deneyin yapılış biçimi ve ayrıntıları sondaj çizelgelerine yazılmalıdır. Geoteknik tasarımda ve zeminlerin mühendislik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılabilmesi için SPT düzeltmeleri yapılmalıdır. Bu düzeltmeler çerçevesinde, zemin tipi ve yeraltı su seviyesine bağlı olarak, jeolojik yük düzeltmesi (C_N), yeraltı su seviyesi düzeltmesi ve çakma hızı düzeltmesi (C_{BF}) değişkenleri, aletsel detaylar ve deney uygulama yöntemine bağlı olarak enerji düzeltmesi (C_E), tij uzunluğu düzeltmesi (C_R), sondaj çapı düzeltmesi (C_B), numune alıcı kılıf düzeltmesi (C_S), çakma başlığı düzeltmesi (C_A), tokmak yastığı düzeltmesi (C_C) faktörlerin kullanılması gerekmektedir [9].

N_a , N_{60} veya $N_{I,60}$ şeklinde gösterilen düzeltmeler aşağıdaki ifadelerle verilmektedir [9]:

$$N_{60} = C_E * C_R * C_B * C_S * C_A * C_{BF} * C_C * N_a \quad (1)$$

$$N_{I,60} = C_N * N_{60} \quad (2)$$

Burada N_{60} = teorik serbest düşme tokmak enerjisinin % 60'ına göre düzeltilmiş vuruş sayısı, $N_{I,60}$ = teorik serbest düşme tokmak enerjisinin % 60'ına ve efektif jeolojik basınç 100 kPa olarak düzeltilmiş vuruş sayısı, N_a = arazide ölçülen darbe sayısıdır.

Kaba daneli zeminlerde tüm düzeltmeler yapılırken, ince daneli zeminlerde jeolojik yük (C_N) ve tokmak düşürülme hızı (C_{BF}) düzeltmeleri yapılmamaktadır [9, 15]. Farrar [16], ince daneli zeminlerde, sık durumlarda C_N düzeltmesi yapılmamasının normal olabileceği fakat özellikle derinde yapılan deneyler için hâlâ tartışmalı olduğunu belirtmiştir. Killi zeminler için C_N düzeltmesi hâlâ tartışmalı olmakla beraber, pratikte uygulanmamaktadır [5, 16]. Dolayısıyla bu çalışmada C_N dikkate alınmamıştır. Böylece ince daneli zeminler için düzeltmeleri içeren genel denklem aşağıdaki şekli alır:

$$N_{60} = (C_A * C_B * C_C * C_E * C_R * C_S) * N_a \quad (3)$$

1.2. Drenajsız Kayma Mukavemeti (c_u)

İnce daneli zeminler üzerine yapılan yapıların stabilite hesaplarında, toplam gerilme veya efektif gerilme analiz yöntemlerinden hangisinin kullanılmasının daha uygun ve doğru olacağı, uzun senelerdir tartışma konusu olmuştur. Halbuki zemin davranışının ve mukavemetinin efektif gerilmeler tarafından kontrol edildiği bilinmektedir. Buna rağmen toplam gerilmeler cinsinden mühendislik parametrelerinin ölçülüp belirlenmesi ve kullanımını kabul edenlerin en önemli gerekçeleri, ince daneli zeminleri içeren saha problemlerinde, boşluk suyu basınçlarının her yük kademesinde ve önceden yerleri kesinlikle bilinemeyen potansiyel göçme bölgelerinde ölçülme imkânının kısıtlı olmasıdır. Bunun sonucu olarak, efektif gerilmeleri düşünmeden drenajsız bir kayma mukavemeti

parametresi kullanarak stabilite hesapları yapmanın pratik olduğu savunulmaktadır. Günümüzde toplam gerilme analizleri ince daneli zeminlerin göçme ve şev stabilitesi konularını içeren geoteknik mühendisliği uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Drenajsız kayma mukavemeti (c_u), suya doymuş killerin mühendislik uygulamalarında yüklemeye esnasında boşluk suyu basıncının sönümlenmesi veya konsolidasyonun meydana gelmesi için zamanın olmadığı kabul edilen, yüklemelerin oldukça hızlı olduğu kritik tasarım durumlarında kullanılmaktadır. Örnek olarak, normal konsolide killere üzerine yapılan dolguların ve yapı temellerinin stabilitesi verilebilir. Dolayısıyla bu tip tasarımlarda c_u 'nun bilinmesi gerekmektedir [17]. Uzun süre, sadece, su muhtevasına bağlı olarak değişebileceği düşünülen ince daneli zeminlerin drenajsız mukavemetinin, başka değişkenler tarafından da etkilendiği anlaşılmıştır. Bu değişkenler; deney türü, gerilme tarihçesi, numune boyutu, örselenme, anizotropi ve kırılma hipotezi kabulleri olarak sayılabilir [18, 19, 20].

Zemin mekaniği uygulamalarında, ince daneli zeminlerin drenajsız kayma mukavemeti, genel olarak laboratuvarda Serbest Basıncı (SB), üç eksenli Konsolidasyonsuz Drenajsız basıncı (KD) deneyleri ve laboratuvar veyn deneyleri ile, arazide ise arazi veyn (AV) deneyi ile doğrudan belirlenmektedir. Arazi penetrasyon deneyleri olan SPT ve koni penetrasyon deneyleri ile dolaylı olarak belirlenebilmektedir. Ayrıca laboratuvar ve arazide cep penetrometreleri de kullanılmakta; arazide ayrıca, kullanımı gelişme gösteren, pressiometre deneyleri de kullanılmaktadır.

2. SPT-N İLE YAPILAN AMPİRİK ÇALIŞMALAR

Geoteknik Mühendisliğinde SPT, kaba daneli zeminler için geliştirilmesine rağmen, ince daneli zeminlerin mühendislik özelliklerinin belirlenmesinde de kullanılmaktadır (Tablo 1 ve 2).

Çeşitli zemin parametrelerinin arazide ve laboratuvar şartlarındaki değerleri arasındaki ilişkiler, mühendislere gerek tasarım sırasında yardımcı olmakta, gerekse çeşitli yöntemlerle bulunan sonuçların tutarlılığını kontrol etme imkânı sağlamaktadır. Birçok durumda, tasarım aşamasında, arazi deney sonuçlarından mühendislik parametrelerinin değerlerini elde etmek için çeşitli araştırmacılar tarafından zemin tipine bağlı olarak geliştirilmiş ampirik bağıntılar kullanılmaktadır. Fakat literatürde mevcut olan SPT ile ilgili korelasyon denklemlerinde bazı belirsizlikler ve yoruma açık hususlar olduğu gözlenmiştir. Bunlar:

- Korelasyonların SPT düzeltmelerini içerip içermediği
- Korelasyonların hangi deney tipi sonuçları kullanılarak elde edildiği
- Korelasyonların istatistiksel açıdan anlamlı olup olmadığı
- Korelasyonların hangi zemin sınıfı için geçerli olduğu

şeklinde özetlenebilir. Dolayısıyla, mühendis korelasyon denklemi kullanmadan önce yukarıda bahsedilen belirsizlikleri göz önüne almalıdır. Bu belirsizlikler bilinmiyorsa, bu denklemlerin yanlış sonuçlara ve tasarımlara sebep olacağı kaçınılmazdır.

2.1. SPT-N ile İnce Daneli Zeminlerin Mühendislik Özellikleri Arasındaki İlişkiler

Birçok araştırmacı *SPT-N* değeri ile sebest basınç mukavemeti (q_u) arasındaki ilişkileri, zemin cinsi ve SPT düzeltmeleri açısından incelemiştir (Tablo 1). Sivrikaya ve Toğrol [21] hariç, diğer araştırmacıların çalışmalarından elde edilen korelasyon denklemlerine ait istatistiksel veri ile SPT düzeltmeleri içerip içermediği bilgisine ulaşılammıştır. Ayrıca Sivrikaya ve Toğrol [22] ince daneli zeminlerde SPT sonuçlarının düzeltilmesi üzerine çalışma yapmışlardır.

Tablo 1. *SPT-N ile SB deneyi sonuçlarından elde edilen c_u arasındaki ilişkiler.*

Araştırmacılar	Zemin Cinsi	c_u (kPa)
Sanglerat (1972) [1]	Killer	$12,5N$
	Siltli killer	$10N$
Terzaghi & Peck (1967) [2]	İnce daneli zeminler	$6,25N$
Sowers (1979) [24]	Yüksek plastisiteli killer	$12,5N$
	Orta plastisiteli killer	$7,5N$
	Düşük plastisiteli killer	$3,75N$
Nixon (1982) [4]	Killer	$12N$
Kulhawy & Mayne (1990) [20]	İnce daneli zeminler	$29N^{0,72}$
İyisan ve Ansal (1990) [26]	İnce daneli zeminler n=106	$4,43N_a + 8,07$
Sivrikaya & Toğrol (2002) [22]	Yüksek plastisiteli killer (CH) n=113	$4,85N_a$ $r=0,83$
		$6,82N_{60}$ $r=0,80$
	Düşük plastisiteli killer (CL) n=72	$3,35N_a$ $r=0,76$
		$4,93N_{60}$ $r=0,73$
	İnce daneli zeminler n=226	$4,32N_a$ $r=0,80$
		$6,18N_{60}$ $r=0,78$
İnce daneli zeminler n=30	$(0,11p+3,10)N_{60}$ $N_{60}<25$	

Literatürde kil için c_u ile N sayısı arasında birçok korelasyon mevcuttur. Bunlar, SB deneyinden bulunan q_u 'nun yarısının alınması (Tablo 1'deki değerlerin yarısı alınarak) ile KD deneyinden elde edilen c_u olmak üzere iki grupta incelenebilir (Tablo 2).

Stroud [23], hassas olmayan killer üzerinde yapılan KD deney sonuçlarını kullanarak c_u/N oranını plastisite indisi’ne (I_p) bağlı olarak aşağıdaki gibi ifade edilmiştir:

$$c_u = f_1 * N \text{ (kPa)} \quad (4)$$

Burada $f_1 (=c_u/N)$, zemin plastisite indisine (I_p) bağlı sabit bir parametre olup 4,5 ~ 7 kPa arasında değişmektedir. f_1 değeri, orta plastisiteli killer için yaklaşık 4 ~ 5 kN/m²’dir. Plastisite indisi 20’den küçükse, bu oran 6 ~ 7 kN/m² veya daha büyük olabilmektedir. $I_p > 30$ olması durumunda yaklaşık olarak $f_1 \cong 4,2$ alınabilir. I_p ’nin 15’in altında olması halinde ise, numune alma ve numunelerdeki süreksizlikler nedeniyle, laboratuvar da deney yapmanın zorluğundan dolayı elde edilen c_u ’lardan bulunan f_1 tartışmaya açıktır. Şu unutulmamalıdır ki, Stroud’un önerdiği eğride zaman etkileri, anizotropi ve zeminin iç yapısı gibi etkiler göz önüne alınmamıştır [25]. Bu korelasyon normal ve aşırı konsolide killer için kullanılabilir. İyisan ve Ansal [26], Türkiye’nin muhtelif bölgelerinden elde edilen 106 numune üzerinde serbest basınç deneyi sonuçlarını kullanarak c_u ile N arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Ancak bu ilişkide bulunan regresyon katsayıları için uygunluk testleri yapılmamıştır. Ayrıca yazarlar, çalışmalarında Stroud [23]’in önerdiği f_1 katsayısının I_p ’nin artması ile azaldığına karar vermenin oldukça güç olduğunu gözlemişlerdir. Robertson [27] makalesinde belirttiğine göre Ladd v.d. [18], nispeten katı ve hassas olmayan killer hariç, N ’den elde edilen c_u değerlerinin düşük olduğuna dikkat çekmektedirler. Killerin hassaslığı, numune alıcının penetrasyonu sırasında mukavemet kaybına sebep olması yüzünden, düşük N değerleri vereceğine dikkat çekilmiştir [28, 29, 30].

Tablo 2. SPT-N ile UU deneyi sonuçlarından elde edilen c_u arasındaki ilişkiler.

Araştırmacılar	Zemin Cinsi	c_u (kPa)
Stroud (1974) [23]	Killer $S_u = f_1 N, f_1 = f(I_p)$	$I_p > 30$ $\cong 4,2N$
		$20 < I_p < 30$ 4~5N
		$I_p < 20$ 6~7N
Decourt (1990) [5]	Killer	12,5N
		15N ₆₀

Tablo 3. SPT-N'e göre zeminlerin kıvamı ile c_u arasındaki değişim aralığı.

N	Zeminin Kıvamı	Drenajsız Kayma Mukavemeti		
		c_u (kPa)		
		Tschebotarioff (1973) [31]	Parcher ve Means (1968) [32]	Terzaghi ve Peck (1967) [2]
< 2	Çok Yumuşak	15	< 12	< 12,5
2 - 4	Yumuşak	15 - 30	12 - 25	12,5 - 25
4 - 8	Orta Katı	30 - 60	25 - 50	25 - 50
8 - 15	Katı	60 - 120	50 - 100	50 - 100
15 - 30	Çok Katı	120	100 - 200	100 - 200
> 30	Sert	> 225	> 200	> 200

N ile c_u arasındaki yaklaşık ilişkiler zeminlerin kıvamı dikkate alınarak, Tablo 3'de verilmiştir [2, 31, 32]. Bu ilişkiler nispeten hassas olmayan killerde, drenajsız kayma mukavemetinin tahmininde kullanılmaktadır.

Korelasyonlar, zamanın kısıtlı olması veya sınırlı ekipman yüzünden veya yeterli veri mevcut olmaması durumlarında, zeminin mühendislik özelliklerinin tahmin edilmesine yardımcı olmaktadır. Aynı zamanda farklı deneylerden elde edilen sonuçların tutarlılığını kontrol etmeye imkân sağlamaktadır. Ampirik korelasyonların çok yararlı olmasına karşın, bunlar çok dikkatle kullanılmak zorundadır. Geoteknik mühendisi, kullanılacak korelasyonların güvenilirliğinin ve uygulanabilirliğinin bilincinde olması gerekir. Bu yüzden, bu çalışmada N değeri ile ince daneli zeminlerin mühendislik özellikleri arasındaki ilişkiler belirlenirken, kullanılan veri sayısı (n), korelasyon katsayıları (r) ve güvenirlilik testleri (t test) yapılarak belirtilmiştir.

3. MALZEME VE METOT

SPT sonuçlarının doğru yorumlanabilmesi için SPT yapılış biçimi ve deneyde kullanılan aletsel ayrıntılar bilinmelidir. Bundan dolayı, bu çalışmada geniş bir anket çalışması yapılarak, sondaj kayıtlarından elde edilen veriler için, SPT yapılış biçimi ve deneyde kullanılan aletsel ayrıntılar hakkında bilgiler toplanmıştır [33]. Anket sonuçları ve düzeltme faktörleri hakkında detaylı bilgi Sivrikaya ve Toğrol [22] ve [33]'den elde edilebilir. Anketler ışığında (3) no'lu denklem aşağıdaki şekli alır:

$$N_{60} = 0.75 \cdot C_R \cdot N_a \quad (6)$$

Bu çalışma için, ülkemizin çeşitli bölgelerinde gerçekleştirilen sondajlardan elde edilen sondaj kayıtları ve laboratuvar deney sonuçları birçok özel şirket, üniversite ve bir devlet

kuruluşundan elde edilmiştir. Bu çalışmada N değeri ile c_u arasındaki korelasyonlar, ince daneli zeminlerdeki zemin tipleri, deney tipi etkileri ve SPT düzeltmeleri dikkate alınarak geliştirilmiştir. N_a değerleri ile SPT’nin yapıldığı derinliğe yakın yerden alınan Shelby numune alıcından elde edilen numune üzerinde yapılan KD ve SB deneylerinden bulunanlar ile SPT’nin yapıldığı yere yakın yerde yapılan AV deneyinden elde edilen c_u değerleri kullanılmıştır. AV deneyinden elde edilen drenajsız kayma mukavemetinin düzeltilmiş biçimi c_u^* şu denklemden hesaplanmıştır:

$$c_u^* = \mu * c_u \quad (7)$$

Bu çalışmada, Aas v.d. [38] tarafından önerilen, arazi düzeltme faktörü (μ) kullanılmıştır.

İncelenen zeminler, likit limiti (w_L) % 22 ile 110, plastik limiti (w_p) % 14 ile 44 arasında değişen hassas olmayan killerden oluşmuştur. SPT ve AV deneyleri 30 m derinliğe kadar gerçekleştirilmiştir. c_u veri sayısı SB için 226, KD için 190 ve AV için 62’dir (Tablo 4).

İncelenen zeminler, Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırmasına (USCS) göre sınıflandırılmıştır. Regresyon analizi yaparken zemin cinsi etkileri incelenmek üzere, zeminler dört ana gruba ayrılmıştır (Tablo 5). Bunlar, yüksek plastisiteli killer (CH), düşük plastisiteli killer (CL), killer (CH, CL) ve ince daneli zeminler (CH, CL, CL-ML, ML, MH) dir.

Lineer regresyonla bulunan ampirik bağıntılarda N değeri ve plastisite indisi (I_p) bağımsız değişkenler, c_u bağımlı değişken olarak ele alınmıştır. Her bir istatistik parametrenin ve doğrunun uygululuk testleri (t test) % 5 anlamlılık düzeyleri göz önüne alınarak yapılmış her bağıntı için kullanılan veri sayısı (n), korelasyon katsayısı (r) ve geliştirilen doğrunun standart hatası (s) gibi istatistik veriler belirtilmiştir.

4. DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, araziden sondaj yapılarak alınan ince daneli zeminlere ait örselenmemiş numuneler üzerinde yapılan SB, KD ve AV deneylerinden elde edilen c_u ile arazide yapılan SPT’lerden elde edilen N değerleri arasındaki ilişkiler incelenmiş daha önceki çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılması yapılmıştır. İlişkiler geliştirilirken, SPT düzeltmesi, deney tipi etkisi, istatistiksel açıdan her bir zemin grubu için dikkate alınmıştır. Tüm zemin grupları ve deney türleri için, c_u ile N_a ve N_{60} arasında belirlenen lineer ilişkilerdeki, regresyon katsayıları arasında aşağıdaki ilişki elde edilmiş olup, sonuçlar Tablo 6’da özetlenmiştir.

$$N_a/N_{60} = 0,70 \pm 0,05 \quad (8)$$

Tablo 4. Deney tipi ve zemin sınıflarına göre veri sayısı.

Zemin Cinsi	Veri Sayısı (n)		
	SB	KD	AV
CH	113	80	13
CL	72	66	11
ML	4	24	13
OH	--	--	13
MH	13	14	7
SM	--	--	5
CL-ML	24	3	--
Toplam	226	187	62

Tablo 5. Regresyon analiz uygulanan deney tipi ve zemin gruplarına göre veri sayısı.

Zemin Cinsi	Veri Sayısı (n)		
	SB	KD	AV
Yüksek plastisiteli killler (CH)	113	80	13
Düşük plastisiteli killler (CL)	72	66	11
İncelenen tüm killler	185	146	24
İncelenen tüm ince daneli zeminler	226	187	62

Tablo 6 istatistiksel veriler açısından incelendiğinde aşağıdaki değerlendirmeler elde edilmiştir:

1. Korelasyon katsayısı (r) için, genel olarak oldukça yüksek değerler bulunmuş ve her bir zemin grubunda farklı deney tipleri (SB, KD and AV testler) için birbirine yakın değerler elde edilmiştir.
2. Standart hata (s), geliştirilen regresyon denklemindeki N veya N_{60} için c_u 'nun tahminindeki hatanın miktarını gösteren bir ölçüdür. Geliştirilen korelasyonların standart hataları SB deneyi için en yüksek, KD deneyi için oldukça düşük ve AV deneyinden elde edilen korelasyonlar için ise tüm zemin grupları için en düşük değerler olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, regresyon denklemlerinden tahmin edilen c_u değerleri, genel olarak en yüksek KD deneyinden elde edilirken en düşük değerler SB deneyinden bulunmuştur. Bunların SB deneyinin dezavantajları ve kabullerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

3. En yüksek korelasyon katsayısı ($r = 0,87$) ve en düşük standart hata ($s = \pm 5$ kPa), AV’den elde edilen korelasyonda gözlenmiş olup, bu sonucun AV verilerinin tek bir bölgeden elde edilmiş olması ve bölgedeki zeminin değişik derinliklerde homojen olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Böylece deneyin tipi ve zeminin homojenliği elde edilen korelasyonlar, r ve s üzerinde etkili olduğu dikkate alınmalıdır.

Tablo 6. Bu çalışmada elde edilen N ile c_u arasındaki ilişkiler.

Zemin Cinsi	c_u kPa	c_u kPa	c_u^* kPa
	SB	KD	AV
CH	$6,8N_{60}$ $r=0,80$ $s=\pm 86$	$8,8N_{60}$ $r=0,80$ $s=\pm 39$	$8,3N_{60}$ $r=0,87$ $s=\pm 10$
CL	$4,9N_{60}$ $r=0,73$ $s=\pm 68$	$5,8N_{60}$ $r=0,75$ $s=\pm 21$	$4,9N_{60}$, $r=0,83$ $s=\pm 5$
Killer	$6,2N_{60}$, $r=0,77$ $s=\pm 85$	$7,6N_{60}$ $r=0,76$ $s=\pm 36$	$6,7N_{60}$ $r=0,75$ $s=\pm 11$
İnce daneli Zeminler	$6,2N_{60}$ $r=0,78$ $s=\pm 81$	$7,0N_{60}$ $r=0,71$ $s=\pm 35$	$5,8N_{60}$ $r=0,79$ $s=\pm 10$

Daha önceki çalışmalar (Tablo 1 ve 2) ile bu çalışma sonuçları (Tablo 6) birlikte incelendiğinde aşağıdaki değerlendirmelere ulaşılmıştır:

1. SB, KD ve AV deneylerinden elde edilen c_u ile N_a arasındaki ilişkiden, her bir zemin grubu için elde edilen korelasyon sonuçlarının, Terzaghi ve Peck [2] tarafından önerilen korelasyondan elde edilen sonuçları aşmadığı görülmüştür (Tablo 1 ve 6).
2. Pratikte yaygın olarak kullanılan Terzaghi ve Peck [2] tarafından önerilen hariç, diğer araştırmacılar tarafından önerilen korelasyonlar, bu çalışmada SB deneylerinden belirlenen c_u ile N_a arasında elde edilen korelasyonlardan, oldukça yüksek sonuçlar vermiştir. Bununla beraber, CL tipi zeminler için, bu çalışmadan elde edilen korelasyonun sonuçları Sowers [24] tarafından önerilen korelasyon sonuçları ile oldukça uyumluluk içindedir. SPT düzeltmesi açısından bakıldığında, ince daneli zeminler için Terzaghi ve Peck [2] tarafından önerilen korelasyonla, bu çalışmada bulunan birbirine oldukça yakın olduğundan (Tablo 1 ve 6), Terzaghi ve Peck [2] tarafından önerilen korelasyondaki N yerine N_{60} kullanılması gerektiği görülmektedir. Bu çalışmada, kil ve ince daneli zeminler için bulunan sonuçlar hemen hemen aynı değerleri vermekte iken, CH zemin grubu için en büyük değerleri, CL zemin grubu için de en düşük değerleri veren korelasyonlar elde edilmiştir. Kil ve ince daneli zeminler için elde edilen değişim aralığının hemen hemen aynı çıkması, kili oluşturan CH ve CL alt zemin grubuna ait veri sayısına oranla ML, MH ve CL-ML alt zemin gruplarına ait verilerin az olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Tablo 4).

3. Decourt [5] tarafından önerilen ince daneli zeminler için korelasyon, KD deneyinden elde edilen c_u ile N_a arasındaki ilişkiler açısından elde edilen korelasyonlardan oldukça yüksek sonuçlar vermiştir (Tablo 2 ve 6). Bu çalışmadan ince daneli zeminler için elde edilen a katsayısının değişim aralığı, plastisite indisini dikkate almaksızın Stroud [25] tarafından önerilen ($4 < a < 7$) değerlerle yaklaşık olarak aynıdır (Table 2 ve 6). Ayrıca, Stroud [35] tarafından önerilen bu değişim aralığı, bu çalışmadan N_a ve N_{60} için elde edilen değişim aralığında kaldığı da bulunmuştur.
4. Tüm farklı deney tipleri için, hem N_a hem de N_{60} 'dan geliştirilen korelasyonlar, zemin cinsi açısından en yüksekten en düşük sonuçlara değişimi CH, killer, ince daneli zeminler ve CL şeklinde sıralanmıştır.
5. Bu çalışmada ince daneli zeminler için elde edilen korelasyonlar, Terzaghi ve Peck [2] ve Stroud [24]'in önerdiği ilişkilerle uyumlu sonuçlar vermiştir. Ayrıca CL için Sowers [24]'in önerdiği korelasyon, bu çalışmada aynı zemin grubu için ham veriler (N_a) kullanılarak elde edilen korelasyonlarla uyumlu olduğu gözlenmiştir (Tablo 1 ve 6). Bununla beraber, Sanglerat [1], yüksek ve orta plastisiteli killer için Sowers [24], Nixon [4] ve Decourt [5] tarafından önerilen lineer korelasyonların ve Kulhawy ve Mayne [20]'nin önerdiği lineer olmayan korelasyonun sonuçları bu çalışmadan elde edilen korelasyonların sonuçlarından oldukça yüksek değerler verdiği görülmüştür. Dolayısıyla, yazarlar tarafından Türkiye şartlarında bu korelasyonların kullanılmaması tavsiye edilmektedir.

4.1. Deney Tipi ve SPT Düzeltme Etkisi

Bu çalışmada özellikle vurgulandığı gibi, literatürde tavsiye edilen ve kullanılan N ile zeminin mühendislik özellikleri arasındaki korelasyonlarda karşılan en büyük problem, mühendisin bu korelasyon denklemlerini kullanılırken tartışmaya açık hususlarla karşı karşıya gelmesidir. Bunlardan biri, zeminin mühendislik özelliklerinin hangi deney tipi ile bulunduğu bilinmemesi diğeri ise korelasyon denkleminin SPT düzeltmesi içerip içermediğinin bilinmemesidir. Deney türü, korelasyonları doğrudan etkilediğinden, bu çalışmada, üç ayrı deney türü olan SB, KD and AV deney sonuçları kullanılarak, lineer regresyon analizleri sonucunda elde edilen $c_u = aN$ ilişkisindeki a katysı üzerinde deney tipinin etkileri incelenmiştir. Zemin türü ve SPT düzeltmeleri dikkate alınarak yapılan analizler sonucunda elde edilen a katsayısının değişimi Tablo 7'da özetlenmiştir. Bu araştırma sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- CH zemin grubu için, N_a verileri kullanılarak yapılan analizde, en üst sınır olarak AV deneyinden bulunan doğru olmakla birlikte bu doğru, KD deneyinden bulunan doğruya yakındır. En alt sınırı, SB deneyinden elde edilen doğru oluşturmaktadır. N_{60} için üst sınır FV deneyinden elde edilen yerine KD deneyinden bulunan doğru olmuştur. Deney tipi ve SPT düzeltmesi etkisi sonucu a katsayısı değişimi $4.5 < a < 9$ şeklindedir.
- CL zemin grubu için, N_a ve N_{60} kullanılarak yapılan analizlerde, alt sınır olarak SB deneyinden, üst sınır KD deneyinden elde edilen doğrular bulunmuştur. AV deneyinden bulunan doğru ise, diğer iki deneyin arasına düşmekle beraber, N_{60} için yapılan analizde SB'den elde edilen doğruya oldukça yakın çıkmıştır. CH zemin grubunda olduğu gibi, N_a verileri kullanılarak yapılan analiz sonucunda, aynı eğilim gözlenmiştir. Deney tipi ve SPT düzeltmesi etkisi sonucu a katsayısı değişimi $3 < a < 6$ şeklindedir.

- Killer için, N_a ve N_{60} verileri kullanılarak yapılan analizlerde en üst sınır olarak KD deneyinden bulunan doğrunun olduğu belirlenmiştir. En alt sınırı, SB deneyinden elde edilen doğru oluşturmaktadır. AV deneyinden elde edilen sonuçlar ise SB ve KD deneyinden bulunan sonuçların arasına düştüğü gözlenmiştir. Deney tipi ve SPT düzeltmesi etkisi sonucu a katsayısı değişimi $4 < a < 8$ şeklindedir.
- İnce daneli Zeminler için N_a ve N_{60} verileri kullanılarak yapılan analizde, CL ve Killer zemin gruplarında olduğu gibi, KD deneyinden bulunan doğru en üst sınır olarak elde edilmiştir. En alt sınırı ise, diğer zemin gruplarında görülmeyen, AV deneyinden elde edilen doğrunun oluşturduğu görülmüştür. Gerek ham veriler, gerekse düzeltmeler yapılarak kullanılan N değerleri ile yapılan analizlerin, aynı eğilimi gösterdikleri görülmüştür. Bu ise KD deneyinden bulunan c_u değerinin SB deneyinden bulunan c_u değerinden daha büyük olmasından kaynaklanmaktadır. Deney tipi ve SPT düzeltmesi etkisi sonucu a katsayısı değişimi $4 < a < 7$ şeklindedir.

Tablo 7. Deney tipinin, $c_u = aN$ (kPa) ilişkisindeki “a” katsayısı üzerinde etkisi.

	a			
	CH	CL	Killer (CH-CL)	İnce daneli Zeminler
N_{arazi}	4,9 – 6,2	3,4 – 4,0	4,3 – 5,1	4,2 – 4,7
N_{60}	6,8 – 8,8	4,9 – 5,8	6,19 – 7,6	5,8 – 7,0

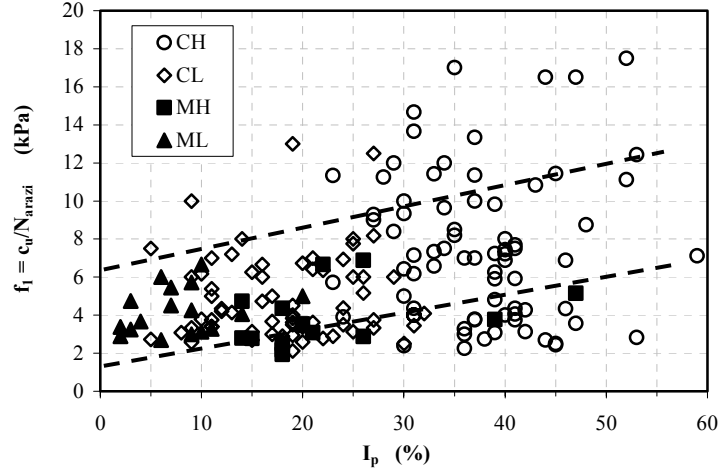
Deney tipi etkisi açısından yapılan lineer analizler sonucunda, genel olarak KD deney sonuçları kullanılarak elde edilen korelasyonlar en yüksek değerleri veririrken, SB deney sonuçları kullanılarak bulunan korelasyonlar en düşük sonuçları vermiştir. AV deney sonuçları kullanılarak elde edilen korelasyonlar ise, KD ve SB deneyinden elde edilen korelasyonların aralarında sonuçlar vermiştir. Deney tipi ve SPT düzeltmesi etkisinden dolayı oluşan değişim aralığının, her bir zemin sınıfı için, korelasyonlar üzerinde önemli derecede etkili olduğu görülmüştür.

4.2. c_u/N ile I_p arasında İlişki

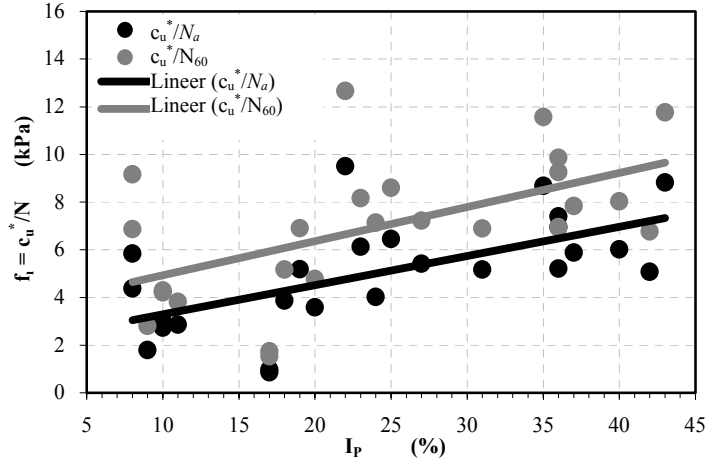
Stroud [23], aşırı konsolide hassas olmayan kil numuneleri kullanılarak KD deneyinden bulunan c_u ile N arasında I_p 'ye bağlı olarak I_p 'nin artması ile f_1 'nin azaldığı bir eğilimin olduğunu, $f_1 = c_u/N = f(I_p)$ göstermiştir. Bununla beraber, Sivrikaya ve Toğrol [21] SB deneyi sonuçlarını kullanarak I_p 'nin artması ile f_1 'in arttığını göstermişlerdir (Tablo 1). Bu çalışmada, KD deneye ait $n = 176$ ve AV deneye ait $n = 25$ veri sonuçları kullanılarak bulunan f_1 ile I_p arasında ilişki incelenmiştir. Şekil 1 ve 2'den görüleceği gibi, $f_1 = c_u/N$ ile I_p arasındaki ilişki hakkında karar verme güç olmakla beraber, I_p 'in artmasıyla f_1 'in artmakta olduğu izlenimi vermektedir.

AV deney verileri kullanılarak bulunan f_1 ile I_p arasında ilişki kurmak ve yorumda bulunmak, KD deneyinden elde edilenlere göre, verilerin tek bir araziden ve arazideki zeminin oldukça homojen olmasından dolayı, oldukça kolaydır. Stroud [23]'in bulgusunun

tersine, I_p 'nin artmasıyla f_1 'in arttığı eğilimi gerek düzeltme yapılmamış, gerekse yapılmış ilişkilerde gözükmemektedir (Şekil 2). Bu aynı sonucu doğrulayan ve destekleyen çalışma homojen ince daneli zeminler üzerinde Sowers [35] tarafından yapılmıştır (Tablo 8). Fakat Sowers [35]'in çalışması özet olduğundan, c_u 'ları nasıl belirlediği ve veriler hakkında bilgiye sahip değiliz.



Şekil 1. KD deneyinden belirlenen c_u kullanılarak c_u^*/N ile I_p arasındaki ilişki



Şekil 2. AV deneyinden belirlenen c_u kullanılarak c_u^*/N ile I_p arasındaki ilişki

Tablo 8'de f_1 'in değişimi üzerine yapılan çalışmaların karşılaştırılması gösterilmiştir. Tablo 8'den de görüldüğü gibi, bu çalışmada bulunan f_1 'in I_p 'nin artmasıyla arttığı söylenebilir. Özkan v.d. [36] bulmuş olduğu f_1 ortalama değeri, bu çalışmada bulunan değerle tutarlı

gözükmektedir. Ayrıca İyisan ve Ansal [26]’ın bulmuş olduğu f_1 aralığı ile bu çalışmada elde edilen aralık oldukça uyumlu olduğu gözükmektedir. İyisan ve Ansal [26] tarafından kullanılan c_u verileri SB deneyi sonuçlarından bulunmuştur.

Tablo 8. f_1 ’in değişimi üzerine yapılan çalışmaların karşılaştırılması

Yapılan Çalışmalar	Zemin Grubu	f_1 aralığı	f_1 ortalama
Sowers (1954) [35]	Yüksek plastisiteli killer (CH)	7,1 – 16,5	
	Orta plastisiteli killer	4,7 – 9,5	
	Çok düş. plas. killer (CL) ve plastik siltler	2,4 – 4,7	
Stroud (1974) [23]	$35 < I_p < 65$	4-5	
	$I_p < 20$	≥ 6	
Özkan v.d. (1990) [36]	Aşırı kons. ODTÜ kampüs kili $I_p > 35$, n=15	2,5 - 14	7,8
İyisan ve Ansal (1990) [26]	İnce daneli zemin, n=106	2 - 16	
Bu çalışma	İnce daneli zeminler, n=190	2 – 17,5	6,09
	CH, n=80	2,25 – 17,5	7,52
	Killer (CH-CL), n=147	2,12 – 17,5	6,38
	CL, n=67	2,12 - 13	4,98
	ML, n=26	2,68 – 6,67	4,22
	MH, n=14	2 – 6,88	3,80

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

SPT, kendisinden kaynaklanan çeşitli belirsizlikleri olmasına rağmen, hâlâ önemli bir zemin inceleme tekniği olarak mevcudiyetini korumaktadır. Deney prosedürü titizlikle uygulanırsa, N değerine bağlı daha sağlıklı korelasyonlar elde edilir. Başka bir ifadeyle, yapılan SPT’lerinden kullanılabilir sonuçların elde edilebilmesi, uygulamada standartların tam yerine getirilmesi ile mümkün olacaktır. Bu çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlara varılmıştır;

- Literatürde mevcut birçok korelasyon bağıntılarında düzeltmelerin olup olmadığı, varsa hangilerinde olduğu konusunda net bir bilgiye sahip olunmadığından bu formüllerin kullanımı karmaşaya sebep olmaktadır. Bu çalışma ile, hangi zemin grubu için hangi korelasyon denkleminin kullanılması ve hangi düzeltmelerin yapılması gerektiği ortaya konmuştur.

- İnce daneli zeminler için geliştirilen $c_u = aN$ ilişkisindeki “a” katsayılarının, gerek deney tipi ve gerekse SPT düzeltmeleri bakımından, Terzaghi ve Peck [2] ($a=6.25$) ve Stroud [23] ($a=4-7$)’in önerdikleri ile uyumlu olduğu gözlenmiştir. Diğer araştırmacıların önerdikleri ise oldukça yüksek değerlerdir.
- N ile c_u arasında bulunan korelasyonlar, daha önceden tavsiye edilen korelasyonlardan oldukça farklı çıkmasının nedeni (Stroud [23] ve Terzaghi ve Peck [2] hariç), SPT sonuçlarını ve dolayısıyla da elde edilen korelasyonların farklı çıkmasına sebep olan, ülkeden ülkeye farklılık arz eden SPT aletleri ve prosedürden kaynaklandığı düşünülmektedir.
- Her deney türünden elde edilen c_u ile ham verilerden (N_a) elde edilen korelasyon sonuçların tüm zemin grubu için hiç bir zaman Terzaghi ve Peck [2]’in önerdiği sonuçları aşmadığı gözlenmiştir. Ayrıca Terzaghi ve Peck [2]’in önerdiği korelasyon kullanılırken, düzeltilmiş N değerleri kullanılmalıdır.
- N değeri içeren korelasyon denklemleri kullanılmadan önce, korelasyon için hangi deney tipi sonuçları kullanıldığı, SPT düzeltmeleri içerip içermediği, hangi zeminler için geçerli olduğu ve istatistiksel anlamlılığının bilinmesi gerekir.
- N değeri kullanılarak c_u büyük bir doğrulukla belirlenebilmektedir. Ancak bu önerilen bağıntılar, projelerin ön tasarım aşamasında geoteknik mühendisine bir fikir vereceği düşünülmektedir.

Teşekkür

Yazarlar, analize tabi tutulan araziye ait sondaj logları, laboratuvar ve arazi deney verilerini sağlayan Yüksel, Toker ve STFA firmaları ile İstanbul Teknik Üniversitesi ve Karayolları Genel Müdürlüğü yetkililerine teşekkür ederler.

Semboller

SPT	Standart penetrasyon deneyi
SB	Serbest basınç deneyi
KD	Üç eksenli konsolidasyonsuz-drenajsız kesme deneyi
AV	Arazi veyn deneyi
$SPT-N, N$	Zeminin penetrasyon direnci
$SPT-N_{arazi}, N_a$	Arazide ölçülen zemin penetrasyon direnci
$SPT-N_{60}, N_{60}$	Düzeltilmiş zemin penetrasyon direnci
$N_{I,60}$	Düzeltilmiş zemin penetrasyon direnci
C_N	Jeolojik yük düzeltme faktörü
C_E	Enerji düzeltme faktörü

Türkiye’de SPT-N Değeri ile İnce Daneli Zeminlerin Drenajsız Kayma...

C_R	Tij uzunluğu düzeltme faktörü
C_B	Sondaj çapı düzeltme faktörü,
C_S	Numune alıcı kılıf düzeltme faktörü
C_A	Çakma başlığı düzeltme faktörü,
C_{BF}	Tokmak vuruş sıklığı düzeltme faktörü
C_C	Tokmak yastığı düzeltme faktörüdür
w_L	Likit limit
w_P	Plastik limit
q_u	Serbest basınç mukavemeti
c_u	Drenajsız kayma mukavemeti
c_u^*	Arazi düzeltmesi yapılmış drenajsız kayma mukavemeti
I_p	Plastisite indisi
a	Regresyon katsayısı
r	Korelasyon katsayısı
s	Standart hata
n	Veri sayısı
μ	Arazi düzeltme faktörü

Kaynaklar

- [1] Sanglerat, G, The Penetrometer and Soil Exploration, Elsevier Publishing Co., Amsterdam, 1972.
- [2] Terzaghi, K. and Peck, R.B., Soil Mechanics in Engineering Practice, John Wiley, New York, 1967.
- [3] Durgunoğlu, H.T., Toğrol, E., “Penetration testing in Turkey: State-of-the-art report”, Proceedings of the European Symposium on Penetration Testing, Stockholm, Sweden, p. 137, June 1974.
- [4] Nixon, I.K., “Standard penetration test: State-of-the-art report”, Proceedings of the 2nd European Symposium on Penetration Testing, Amsterdam, Netherlands, 3-21, May 1982.
- [5] Decourt, L, “The Standard Penetration Test: State-of-the-Art-Report”, Norwegian Geotechnical Institute Publication, 179, Oslo, Norway, 1990.
- [6] Horn, H.M., “North American experience in sampling and laboratory dynamic testing”, ASTM Geotechnical Testing Journal, 2(2), 84-97, 1979.

- [7] Mori, H., "Review of Japanese Subsurface investigation techniques", Journal of South East Asian Society Geotechnical Engineering, 10, 219-242, 1979.
- [8] Sağlamer, A., "Standart Penetrasyon Deneyi Nedir - Ne Değildir", Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Türk Milli Komitesi Bülteni, 1(4), 267-271, 1979.
- [9] McGregor, J.A. and Duncan, J.M., "Performance and use of the standard penetration test in geotechnical engineering practice", A Report of a study performed by Virginia Tech Center for Geotechnical Practice and Research, Virginia Polytechnic Institute and State University, October 1998.
- [10] Coduto, D.P., Foundation Design Principles and Practices, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1994.
- [11] Schmertmann, J.H. and Palacios, A., "Energy Dynamics of SPT", Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, 105(GT8), 909-926, 1979.
- [12] Kovacs, W.D., Salomone, L.A., and Yokel, F.Y., "Energy measurement in the Standard Penetration Test", U.S. Department of Commerce and National Bureau of Standards. Washington, DC, 1981.
- [13] Clayton, C.R.I., "SPT Energy Transmission: Theory, Measurement and Significance", Ground Engineering, 23(10), 35-43, 1990.
- [14] Farrar, J.A. and Chitwood, D., "CME Automatic Hammer Operations", U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation Earth Sciences and Research Laboratory, Dam Safety Office, DSO-99-03, November 1999.
- [15] Saran, S., Analysis and Design of Substructures, Balkema, 1996
- [16] Farrar, J.A., 2001, Kişisel görüşme, ASTM SPT altkomisyon başkanı.
- [17] Holtz, R.D. and Kovacs, W.D., An Introduction to Geotechnical Engineering, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1981.
- [18] Ladd, C.C., Foott, R., Ishihara, K., Schlosser, F. and Poulos, H.G., "Stress-deformation and strength characteristics", Proceedings of the 9th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Tokyo, Japan, July 1977, 2, 421-480, 1977.
- [19] Worth, CP., "Interpretation of In-situ Soil Test", Geotechnique, 34(4), 449-489, 1984.
- [20] Kulhawy, F.H. and Mayne, P.W., "Manual on estimating soil properties for foundation design", Electric Power Institute, Palo Alto, CA, 1990.
- [21] Sivrikaya, O., Toğrol, E., "Relations between SPT-N and q_u ", 5th International Congress on Advances in Civil Engineering, p. 943-952, Istanbul, Turkey, 2002.
- [22] Sivrikaya, O., Toğrol, E., "İnce daneli zeminlerde SPT sonuçlarının düzeltilmesi üzerine bir çalışma", İTÜ Mühendislik Dergisi, Cilt 2, Sayı 6, s. 59-67, 2003.
- [23] Stroud, M.A., "The standard penetration test in insensitive clays and soft rock", Proceedings of European Symposium on Penetration Resistance, National Swedish Institute for Building Research, Stockholm, Sweden, 2.2, 367-375, 1974.

Türkiye’de SPT-N Değeri ile İnce Daneli Zeminlerin Drenajsız Kayma...

- [24] Sowers, G.F., Introductory Soil Mechanics and Foundations: Geotechnical Engineering, 4th edition, Macmillan, New York, 1979.
- [25] Tomlinson, M.J., Foundation Design and Construction, Pitman Books Ltd., London, 1986.
- [26] İyisan, R. and Ansal, A., “SPT-N darbe sayıları ile kayma mukavemeti ilişkisi”, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Üçüncü Ulusal Kongresi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, Ekim 1990, s.303-314, 1990.
- [27] Robertson, P.K., “In situ testing and its application to foundation engineering”, Canadian Geotechnical Journal, 23, 573-594, 1986.
- [28] De Mello, V., “The Standard Penetration Test: A State-of-the-Art Report”, Proceedings of the 4th Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Juan, Puerto Rico, (published by ASCE), 1, 1-86, 1971.
- [29] Schmertmann, J.H., “Discussion to de Mello (1971)”, Proceedings of the 4th Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Juan, Puerto Rico, (published by ASCE), 3, 90-98, 1971.
- [30] Mitchell, J.K., Guzikowski, F., and Villet, W.C.B., “The measurement of soil properties in-situ”, Lawrence Berkeley Laboratory Report, LBL 6363, University of California, Berkeley, 1978.
- [31] Tschebotarioff, G.P., Foundations, Retaining, and Earth Structures, 2nd. Edition, McGraw-Hill, New York, 1973.
- [32] Parcher, J. V. and Means, R. E., Soil Mechanics and Foundations, Charles E. Merrill, Columbus, Ohio, 1968.
- [33] Sivrikaya, O., Toğrol, E., “Standart Penetrasyon Deneyinin Türkiye’deki Uygulaması”, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 9. Ulusal Kongresi, p. 158-166, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 2002.
- [34] Aas, G., Lacasse, S., Lunne, T., Hoeg, K., “Use of in situ tests for foundation design on clay”, Proceedings of the ASCE Specialty Conference on Use of In Situ Tests in Geotechnical Engineering, Blacksburg, VA, June 1986, ASCE Geotechnical Special Publication, 6, 1-30, 1986.
- [35] Sowers, G.F., “Modern Procedures for Underground Investigations”, ASCE, 80(435), 1- 11, 1954.
- [36] Özkan, M.Y., Wasti, Y. ve Balkır, T., “Arazi Deneyleri Korelasyonları ve Zemin Parametreleri Tahmini”, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Türk Milli Komitesi Bülteni, 1, 33-40, 1990.