

## DRENAJSIZ KAYMA MUKAVEMETİNİN SPT İLE BELİRLENMESİ

### ESTIMATION OF UNDRAINED SHEAR STRENGTH USING SPT

Safa ÇEVİK<sup>1</sup>

#### ÖZET

Drenajsız kayma mukavemeti kohezyonlu zeminler üzerine inşa edilecek temellerin taşıma gücü analizlerinde en önemli parametrelerinden birisi olup arazi ve laboratuvar deneyleri ile belirlenmektedir. SPT, CPTu, PMT ve FVST deneyi gibi geoteknik mühendisliği saha karakterizasyonunda yaygınlıkla kullanılan arazi deneyleri sonuçlarından drenajsız kayma mukavemetini tahmin etmek için literatürde geliştirilmiş çeşitli korelasyonlar bulunmaktadır. Bu korelasyonlardan Stroud (1974) tarafından SPT ve plastisite indisine (PI) bağlı olarak geliştirilen korelasyon drenajsız kayma mukavemeti tahmininde tasarım mühendislerince yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada İstanbul’ da yer alan farklı bölgelerden elde edilen kapsamlı arazi ve laboratuvar deney veri setleri kullanılarak Stroud (1974) korelasyonunun uyumu denetlenmiştir. Korelasyon ile elde edilen drenajsız kayma mukavemeti değerlerinin laboratuvar deney sonuçlarından daha yüksek değerler verdiği görülmüştür. Korelasyon ile hesaplanan drenajsız kayma mukavemeti değerlerinin laboratuvar deney sonuçlarından yüksek çıkmasının tasarımlarda stabilite kaybına sebebiyet verebileceği düşünülerek, yaklaşık 70 adet iyi dokümanite edilmiş SPT, Atterberg limitleri ve laboratuvar drenajsız kayma mukavemeti deney sonuçlarına ait veri bankası kullanılarak yapılan değerlendirmeler ile Stroud (1974) korelasyonu kalibre edilmiştir. Stroud (1974) ile hesaplanan katsayı  $f_1=4,2-7,0$  arasında değişmekte olup önerilen modifiye korelasyon ile bu katsayının  $f_1^*=2,4-5,0$  arasında değiştiği görülmüştür. Seçilen bölgelerle sınırlı kalan bu öncü çalışmadan sonra yapılacak arazi ve laboratuvar çalışmaları ile veri seti genişletilerek korelasyon katsayısı hassasiyetinin artırılması hedeflenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Drenajsız Kayma Mukavemeti, SPT, Plastisite İndisi

#### ABSTRACT

Undrained shear strength which is determined from in-situ and laboratory tests is one of the most important parameters to design foundations on cohesive soils. SPT, CPTu, PMT and FVST are commonly carried out to define soil characterization in geotechnical engineering. Various correlations were developed in the literature to estimate undrained shear strength from in-situ test results. One of the developed correlations to calculate undrained shear strength from Stroud (1974) which based on SPT blowcounts and plasticity index (PI) is commonly used by design engineers. In this paper, a detailed in-situ and laboratory test result data set is used to examine the predictive performance of Stroud (1974) correlation. Undrained shear strength values based correlation (Stroud, 1974) were estimated higher than that of obtained from laboratory test results. Therefore, since overestimated undrained shear strength values may cause stability problems, Stroud (1974) correlation has been modified according to 70 well-documented results from SPT, Atterberg limits and laboratory undrained shear strength test pairs. The correlation coefficient,  $f_1$ , by Stroud (1974) is changes between  $f_1=4,2-7,0$  on the other hand modified coefficient from this study,  $f_1^*$ , is determined between  $f_1^*=2,4-5,0$ . It was aimed to increase the sensitivity of the correlation coefficient by increasing the number of data

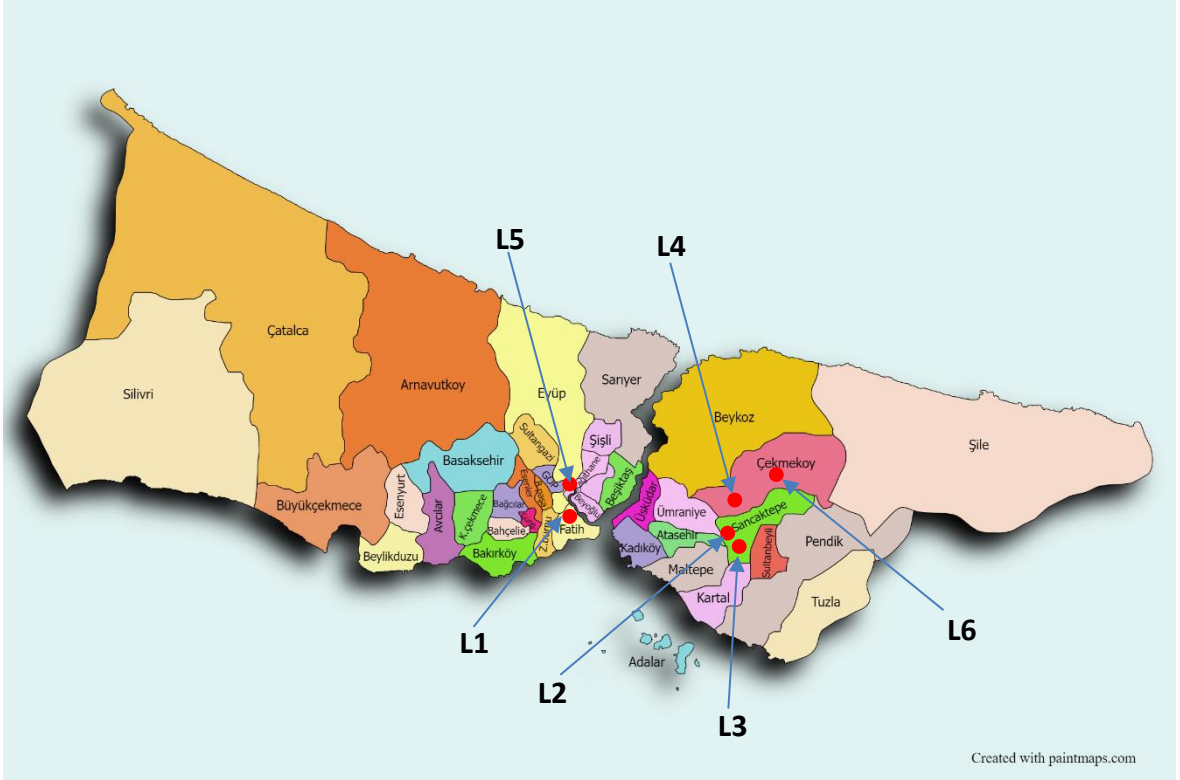
<sup>1</sup> İnşaat Yüksek Mühendisi, Teknik Mühendislik ve Müşavirlik A.Ş., safacevik@gmail.com

set with in-situ and laboratory studies to be carried out after this pioneering study, which was limited to selected regions.

**Keywords:** *Undrained Shear Strength, SPT, Plasticity Index*

## 1. GİRİŞ

Zemin mekaniğinin en önemli konularından biri drenajsız kayma mukavemetinin doğru şekilde belirlenmesidir. Kohezyonlu zemine inşa edilecek temellerin taşıma gücü hesaplarında drenajsız kayma mukavemetinin tahmini kritik önem arz etmektedir. Drenajsız kayma mukavemeti arazi ve laboratuvar deneylerinin yanı sıra literatürde geliştirilmiş çeşitli korelasyonlara göre belirlenerek temel tasarımlarında kullanılmaktadır. Arazi deneyleri olarak standart penetrasyon deneyi (SPT), koni penetrasyon deneyi (CPTu), presiyometre deneyi (PMT) ve Vane kesme deneyi (FVST) yaygınlıkla kullanılmaktadırlar. Laboratuvarında ise konsolidasyonsuz-drenajsız (UU) üç eksenli basınç deneyi ve serbest basınç deneyi ile drenajsız kayma mukavemeti belirlenebilmektedir. Bu çalışma kapsamında İstanbul’ da farklı bölgelerden elde edilen kapsamlı arazi ve laboratuvar deney veri setleri kullanılarak Stroud (1974) tarafından drenajsız kayma mukavemeti hesabı için önerilen  $f_1$  katsayıları modifiye edilmiştir. Toplamda 6 farklı sahadan elde edilen 70 adet iyi dokümanede edilmiş SPT, Atterberg limitleri ve laboratuvar drenajsız kayma mukavemeti deney sonuçları kullanılmıştır. Değerlendirmelerde kullanılan verilere ait lokasyonlar Şekil 1’ de gösterilmiştir.



Şekil 1. Deney sahaları

## 2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Drenajsız kayma mukavemetinin standart penetrasyon deneyi (SPT) sonuçlarına bağlı olarak belirlenebildiği birçok literatür çalışması yer almaktadır. Yapılan çalışmalarda değişken olarak SPT-N,  $N_{60}$  ve plastisite indisi (PI) değerleri kullanılmaktadır.

Stroud (1974) farklı sahalardan elde edilen Londra killeri üzerinde yaptığı çalışmada SPT ve üç eksenli deney sonuçlarını baz alarak farklı plastisite indisi değerlerinde drenajsız kayma mukavemetinin değişimini incelemiştir. İlgili çalışmada plastisite indisi değerleri %25-%60 arasında değişmekte olup drenajsız kayma

mukavemetinin hesabı için katsayısı  $f_1=4,2-7,0$  arasında önermiştir. Bu korelasyon katsayıları geoteknik mühendisliği uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır.

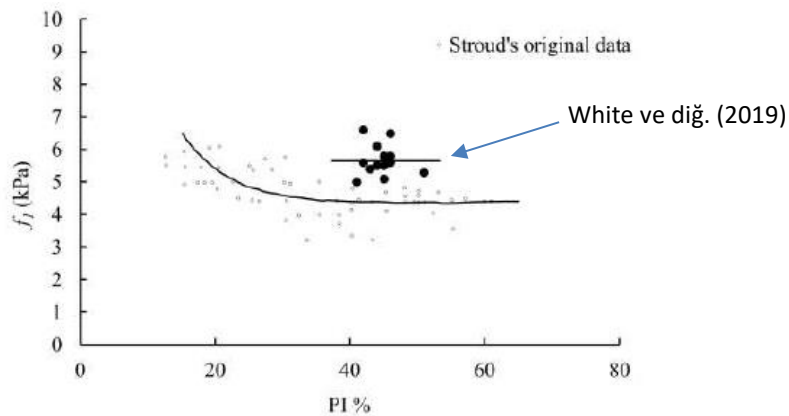
Ladd ve diğ. (1977), nispeten katı ve hassas olmayan killeri hariç, SPT-N'den elde edilen  $c_u$  değerlerinin düşük olduğuna dikkat çekmektedirler. Killerin hassaslığı, numune alıcının penetrasyonu sırasında mukavemet kaybına sebep olması yüzünden, düşük N değerleri vereceğine dikkat çekilmiştir.

SPT deneyi ile zeminlerin dayanım ve dayanıklılığına olan ilişkisi Stroud (1989) tarafından yapılan çalışma ile değerlendirilmiştir. Çalışmada İngiltere' de bulunan zemin numuneleri üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Korelasyonlar aşırı konsolide kum-çakıl, normal konsolide kumlar ve aşırı konsolide killeri üzerinde uygulanmıştır. Çalışmanın sonucunda zeminlerde meydana gelen birim şekil değiştirmelerin (strain) dayanım ile bağlantılı olduğu kanıtlanmıştır.

İyisan ve Ansal (1990), Türkiye'nin değişik bölgelerinden elde ettikleri 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 (1974) un önerdiği  $f_1$  katsayısının plastisite indisinin artması ile azaldığına karar vermenin oldukça güç olduğunu gözlemişlerdir.

Sivrikaya ve Toğrol (2007) tarafından yayınlanan çalışmada Türkiye' de çeşitli bölgelerde gerçekleştirilen SPT-N deneyleri ile  $c_u$  arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Çalışmada, araziden sondaj yapılarak alınan ince daneli zeminlere ait örselenmemiş numuneler üzerinde yapılan serbest basınç, üç eksenli konsolidasyonsuz-drenajsız (UU) kesme deneyi ve arazi Vane deneylerinden elde edilen drenajsız kayma mukavemeti değerleri 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 ve  $N_{60}$  arasında belirlenen lineer ilişkilerdeki, regresyon katsayıları arasında korelasyonlar elde edilmiştir. Yapılan çalışma ile elde edilen sonuçların uygulamada çok yaygın kullanılan Terzaghi-Peck (1967) ve Stroud (1974)' in önerdiği bağıntılar ile oldukça uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

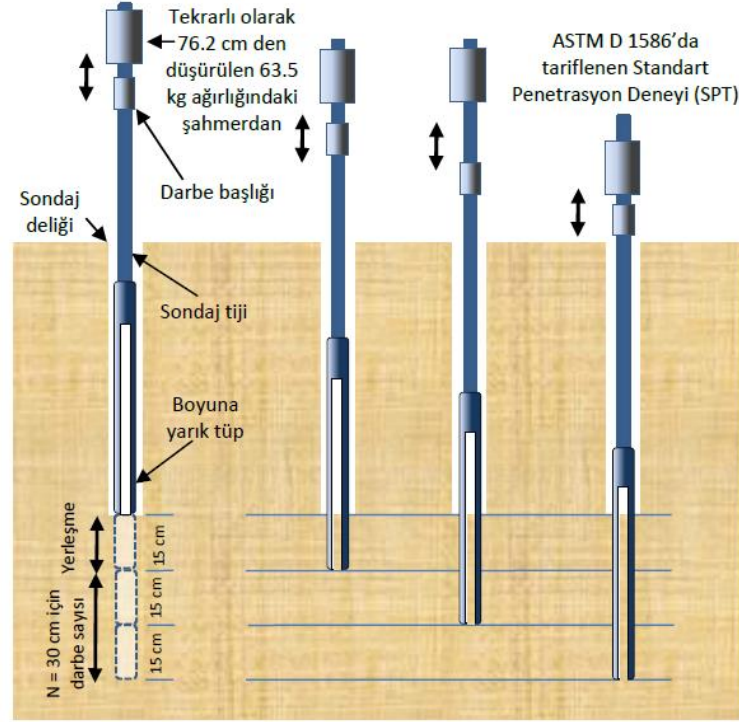
White ve diğ. (2019) Londra killeri için Stroud (1974) tarafından önerilen tipik  $f_1$  katsayılarının yukarı yönlü olacak şekilde revize edildiği bir çalışma hazırlamıştır. Standart penetrasyon deneyi (SPT) üzerinde zaman içinde meydana gelen değişikliklerin,  $f_1$  katsayısının daha yüksek alınabileceğini belirtmişlerdir. İlgili çalışmada toplam 9 bölgeden elde edilen drenajsız kayma mukavemeti, SPT ve plastisite indisi (PI) değerleri kullanılmıştır. Deney sahalarından elde edilen verilere göre ortalama plastisite indisi  $PI= \%45$  için  $f_1= 5,7$  olarak elde edilmiştir (Şekil 2). Klasik korelasyon Stroud (1974)' e göre bu değer  $f_1= 4,4$  olarak verildiğinden ilgili çalışma ile bu alanda güncelleme yapıldığı belirtilmiştir.



Şekil 2. Stroud ve Bultler (1975) ile White ve diğ. (2019) sonuçlarının karşılaştırılması

### 3. STANDART PENETRASYON DENEYİ (SPT)

Standart penetrasyon deneyi tüm dünyada en yaygın kullanılan arazi deneylerinden biridir. Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde uygulanan bir deneydir. SPT en genel anlamda sondaj kuyusunun içerisinde yapılan, en uçta 'boyuna yarık tüp' olarak bilinen standart örnek alıcısının bağlı olduğu tijlerin üzerine, 140 lb (63.5 kg) ağırlığındaki bir şahmerdanın 76.2 cm yükseklikten tekrarlı bir şekilde bırakılarak kuyu tabanından toplamda 45 cm'lik penetrasyon sağlanana kadar çakılması ve bunun için gerekli olan darbe sayısı (SPT- $N$ ) değerlerinin belirlenmesi olarak tanımlanabilir (Erol ve Çekinmez, 2014). Deney aşamaları Şekil 3' de gösterilmiştir.



Şekil 3. Standart penetrasyon deney aşamaları (FHWA,2002, Alıntılan: Erol ve Çekinmez, 2014)

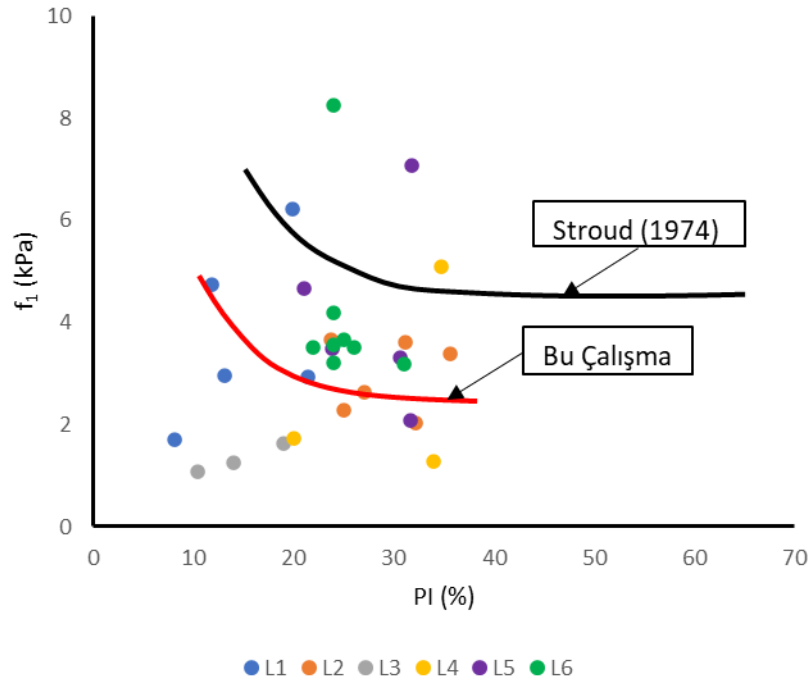
### 4. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Çalışma kapsamında İstanbul' da yer alan 6 farklı sahada gerçekleştirilen 30 adet sondajdan elde edilen 70 adet iyi dokümanite edilmiş SPT, Atterberg limitleri ve laboratuvarında gerçekleştirilmiş UU ve serbest basınç deneyi sonuçları kullanılarak Stroud (1974) korelasyonu ile olan uyumu araştırılmıştır. Sahada yer alan zeminlerin tamamı kohezyonlu olup kıvamı yumuşak-sert kil arasında değişmektedir. Çeşitli sahalarda yapılan her sondaj çalışması için ortalama değerler belirlenerek özet olarak Tablo 1' de verilmiştir. Drenajsız kayma mukavemeti ( $c_u$ ) değerleri 18-180 kPa arasında, plastisite indisi (PI) değerleri %8-42 arasında ve SPT-N değerleri 3-50 arasında değişmektedir. Değerler grafik üzerine taşındığında Şekil 4' te plastisite indisine bağlı olarak değişen  $f_1$  değerleri gösterilmektedir. Aynı grafik üzerinde Stroud (1974) tarafından önerilen korelasyon çizgisi de gösterilmiştir. Yapılan çalışmada elde edilen  $f_1^*$  katsayıları Stroud (1974) tarafından önerilen katsayılardan düşük olarak elde edilmiştir (Tablo 2).

Tablo 1. Arazi ve laboratuvar deney sonuçları

Deney Sahası	Sondaj No	ort. $c_u$ (kPa)	ort. PI (%)	ort. SPT-N	$f_1 = c_u * N$
L1	L1-1	46,7	20	7	6,22
	L1-2	57	21,4	19	2,92
	L1-3	18,6	8,1	11	1,69

	L1-4	45,8	11,8	9	4,73
	L1-5	32,5	13	11	2,96
L2	L2-1	91,5	31,2	25	3,6
	L2-2	78,3	32,2	38	2,04
	L2-3	78,8	25	34	2,29
	L2-4	69	27	26	2,62
	L2-5	130,8	23,7	36	3,65
	L2-6	119,5	35,7	35	3,38
L3	L3-1	62,7	14	50	1,26
	L3-2	81,9	19	50	1,64
	L3-3	42,8	10,5	40	1,08
L4	L4-1	64	20	37	1,73
	L4-2	95,5	34,8	19	5,1
	L4-3	34	34	26	1,3
L5	L5-1	21,3	31,8	3	7
	L5-2	34,7	30,6	10	3,3
	L5-3	24,9	21	5	4,7
	L5-4	25	31,7	12	2,1
	L5-5	23,2	23,9	7	3,5
L6	L6-1	67	31	21	3,2
	L6-2	66	24	8	8,25
	L6-3	70	22	20	3,5
	L6-4	46	24	11	4,2
	L6-5	64	24	18	3,6
	L6-6	70	26	20	3,5
	L6-7	55	25	15	3,7
	L6-8	61	24	19	3,2

Şekil 4. Plastisite indisi- $f_1$  katsayısının değişimi

Tablo 2. Korelasyon katsayısı,  $f_1$  değerleri

Plastisite İndisi Aralığı	Drenajsız Kayma Mukavemeti, $c_u$ (kPa)	
	$f_1$ , Stroud (1974)	$f_1^*$ , Bu Çalışma
PI < 20 için	(6-7) N	(3-5) N
20 < PI < 30 için	(4-5) N	(2,5-3) N
PI > 30 için	4,2 N	2,4 N

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada zemin mekaniğinin en önemli konularından biri olan drenajsız kayma mukavemetinin hesaplanmasıyla ilgili bilgiler verilmiştir. İstanbul’ da seçilen 6 sahada kapsamlı şekilde yapılan ve iyi dokümanite edilmiş SPT, Atterberg limitleri ve laboratuvar drenajsız kayma mukavemeti değerleri kullanılarak Stroud (1974) tarafından önerilen korelasyon katsayısının ( $f_1$ ) uygunluğu denetlenmiştir. Elde edilen sonuçlar çeşitli plastisite indisi (PI) aralıklarına göre özetlenmiştir. Çalışma alanı ile sınırlı bu bölgelerde, Stroud (1974) tarafından önerilen katsayılar ( $f_1$ ), bu çalışma kapsamında hesaplanan katsayılarından ( $f_1^*$ ) yüksek kalmaktadır. Bu durum SPT değerleri kullanılarak yapılan drenajsız kayma mukavemeti hesaplarında emniyetsiz tarafta kalan sonuçlar verebilecektir. Seçilen bölgelerle sınırlı kalan bu öncü çalışmadan sonra yapılacak arazi ve laboratuvar çalışmaları ile veri seti sayısı artırılarak korelasyon katsayısı hassasiyetinin artırılması hedeflenmiştir.

## KAYNAKLAR

- Erol ve Çekinmez (2014), “Geoteknik Mühendisliğinde Saha Deneyleri”, Yüksel Proje Yayınları.
- FHWA-NHI-01-031 (2002), “Subsurface Investigations (Geotechnical Site Characterization)”, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation.
- Ladd, C.C., Foott, R., Ishihara, K., Schlosser, F. ve Poulos, H.G. (1977), “Stress Deformation and Strength Characteristics”, Proceedings of the 9th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Tokyo, Japan, July 1977, 2, 421-480.
- İyisan, R. ve Ansal, A. (1990), “SPT-N darbe sayıları ile kayma mukavemeti ilişkisi”, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Üçüncü Ulusal Kongresi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, Ekim 1990, s.303-314.
- Sivrikaya, O. Ve Toğrol, E. (2007), “Türkiye’ de SPT-N Değeri ile İnce Daneli Zeminlerin Drenajsız Kayma Mukavemeti Arasındaki İlişkiler”, İMO Teknik Dergi, 4229-4246, Yazı 279.
- Stroud, M. A. (1974), “The Standard Penetration Test in Insensitive Clays and Softrock” Proceedings of the 1st European Symposium on Penetration Testing, Stockholm, Sweden, 2(2): 367 - 375.
- Stroud, M. A., Butler, F. G. (1975), “The Standard Penetration Test and the Engineering Properties of Glacial Materials”.
- Stroud, M. A. (1989), “The Standard Penetration Test – Its Application and Interpretation”.
- Terzaghi, K. ve Peck, R.B. (1967), “Soil Mechanics in Engineering Practice”, John Wiley, New York.
- Uzuner, B.A. (2007), “Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği”, Derya Kitabevi.
- White, F. ve diğ. (2019), “An Update of the SPT- $c_u$  Relationship Proposed by M. Stroud in 1974”, Proceedings of the XVII ECSMGE-2019, XVII European Conference. doi: 10.32075/17ECSMGE-2019-0500.