

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**C – Ø ZEMİNLERDE STANDART PENETRASYON TESTİ
KORELASYONLARI**

BANU VAR CEYHAN

KOCAELİ 2016

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

C- Ø ZEMİNLERDE STANDART PENETRASYON TESTİ
KORELASYONLARI

BANU VAR CEYHAN

Doç.Dr. Utkan MUTMAN
Danışman, Kocaeli Üni.
Prof.Dr. Safa Bozkurt ÇOŞKUN
Jüri Üyesi, Kocaeli Üni.
Yrd.Doç.Dr. Erdiñ KESKİN
Jüri Üyesi, Kırklareli Üni.





Tezin Savunulduğı Tarih: 29.06.2016

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında geoteknik incelemelerde oldukça yaygın bir şekilde kullanılan Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)' nden elde edilen veriler ile zeminlerin dinamik özellikleri arasındaki ilişkiler araştırılmış ve yeni korelasyonlar önerilmiştir.

Tez çalışmalarım süresince yardımlarını esirgemeyen, birlikte çalışmaktan onur duyduğum Sayın Doç. Dr. Utkan Mutman hocama ve hayatım boyunca destek ve sevgileriyle yanımda olan kıymetli eşime ve değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Haziran – 2016

Banu VAR CEYHAN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	vi
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR.....	vii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
GİRİŞ	1
1. STANDART PENETRASYON DENEYİ (SPT)	3
1.1. SPT Deneyinin Amacı	4
1.2. SPT Deneyinin Avantajları.....	5
1.3. SPT Deneyinin Dezavantajları	5
1.4. Standart Penetrasyon Deneyinde Kullanılan Ekipmanlar	6
1.4.1. Sondaj makinesi.....	6
1.4.2. Standart penetrasyon borusu ve çarıklar.....	7
1.4.3. Şahmerdanlar	8
1.4.4. Tijler.....	10
1.4.5. Boyuna yarık tüp.....	10
1.4.6. Sürme pabucu	11
1.5. Standart Penetrasyon Deneyinin Yapılışı	11
1.6. SPT-N Değerini Etkileyen Faktörler	15
1.7. SPT-N Değerine İlişkin Düzeltmeler	17
1.7.1. Deney ekipmanına bağlı düzeltmeler	18
1.7.1.1. Derinlik düzeltme faktörü (C_N).....	18
1.7.1.2. Şahmerdan verimi (E_m)	19
1.7.1.3. Tij uzunluğu düzeltme faktörü (C_R).....	20
1.7.1.4. Sondaj çapı düzeltme faktörü (C_B).....	21
1.7.1.5. Kılıf düzeltme faktörü (C_S)	21
1.7.2. Örtü yükü düzeltmesi.....	22
1.7.3. Siltli kum / ince kum düzeltmesi	22
1.8. SPT Zemin Parametreleri Korelasyonları.....	23
2. SPT KORELASYONLARI İLE İLGİLİ YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR	25
2.1. SPT-N ile Bağlı Yoğunluk (D_r) İlişkisi	25
2.2. SPT-N ile Efektif Kayma Mukavemeti Açısı (ϕ') İlişkisi	29
2.3. SPT-N ile Deformasyon Modülü (E_s) İlişkisi.....	35
2.4. SPT-N ile Serbest Basınç Mukavemeti (q_u) İlişkisi	39
2.5. SPT-N ile Drenajsız Kayma Mukavemeti (C_u) İlişkisi	40
2.6. SPT-N ile Odometrik Deformasyon Modülü (M) İlişkisi	46
2.7. SPT-N ile Drenajsız Deformasyon Modülü (E_u) İlişkisi	47
2.8. Yüzeysel Temelerde SPT-N ile Taşıma Gücü İlişkisi.....	49
2.9. Derin Temelerde SPT-N ile Taşıma Gücü İlişkisi.....	49

2.10. SPT-N ile Kayma Dalgası Hızı İlişkisi	50
3. LABORATUVAR DENEYLERİ	53
3.1. Atterberg (Kıvam) Limitleri	53
3.1.1. Doğal su muhtevası	53
3.1.2. Likit limit	54
3.1.3. Plastik limit	55
3.2. Üç Eksenli Basınç Deneyi	56
3.3. Serbest Basınç Deneyi (UC)	59
4. REGRESYON VE KORELASYON ANALİZLERİ	62
5. KARABÜK İLİNDE YAPILAN SPT-N İLE ZEMİN PARAMETRELERİ KORELASYONLARI	65
5.1. SPT-N ile Kohezyon (c) Arasındaki İlişkiler	66
5.1.1. Düşük plastisiteli killer (LL<50)	69
5.1.2. Yüksek plastisiteli killer (LL>50)	71
5.1.3. SPT-N ile konsolidasyonsuz drenajsız üç eksenli basınç deneyinden elde edilen kohezyon (c) ilişkisi	72
5.2. SPT-N ile İçsel Sürtünme Açısı (ϕ) Arasındaki İlişkiler	79
5.2.1. Düşük plastisiteli killer (LL<50)	80
5.2.2. Yüksek plastisiteli killer (LL>50)	82
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	85
KAYNAKLAR	87
EKLER	90
ÖZGEÇMİŞ	102

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Sondaj makinesi	7
Şekil 1.2.	SPT boruları	8
Şekil 1.3.	Otomatik tip şahmerdan	9
Şekil 1.4.	a) Güvenli tip şahmerdan b) Halka tipi şahmerdan.....	10
Şekil 1.5.	Boyuna yarık tüpün boyutları.....	11
Şekil 1.6.	SPT deney şeması ve SPT kaşığı	12
Şekil 1.7.	Tijin işaretlenmesi ve şahmerdanın yerleştirilmesi.....	13
Şekil 1.8.	Şahmerdanın düşürülmesi	13
Şekil 1.9.	Numunelerin alınması	14
Şekil 1.10.	Numunelerin poşetlenip, parafinlenerek etiketlenmesi.....	15
Şekil 1.11.	C_N 'nin σ_v değerine göre değişimi	22
Şekil 2.1.	SPT-N - D_r - σ_{v0}' ilişkisi.....	26
Şekil 2.2.	D_r - e ilişkisi.....	27
Şekil 2.3.	Bazaraa (1967) ve Holtz&Gibbs (1979) korelasyonlarının karşılaştırılması	28
Şekil 2.4.	σ_{v0}' - SPT- N_{60} - \emptyset' ilişkisi	30
Şekil 2.5.	σ_{v0}' - SPT- N_{60} - \emptyset' ilişkisi	31
Şekil 2.6.	D_r - \emptyset' ilişkisi.....	32
Şekil 2.7.	SPT- $(N_1)_{60}$ - \emptyset' - OCR ilişkisi	33
Şekil 2.8.	SPT- $(N_1)_{60}$ - \emptyset' ilişkisi.....	34
Şekil 2.9.	SPT-N - E_s - σ_{v0}' ilişkisi	35
Şekil 2.10.	E_s - SPT-N - (q_{net}/q_{ult}) ilişkisi.....	36
Şekil 2.11.	SPT-N değerleri ile elastisite modülü arasındaki bağımlılar.....	38
Şekil 2.12.	SPT-N - c_u ilişkisi.....	42
Şekil 2.13.	SPT-N - c_u ilişkisi.....	43
Şekil 2.14.	SPT- N_{60} - c_u - PI ilişkisi	44
Şekil 2.15.	f_1 ile PI arasındaki ilişki.....	45
Şekil 2.16.	SPT- N_{60} - m_v - PI ilişkisi.....	47
Şekil 2.17.	PI ile E_u/N arasındaki ilişki	48
Şekil 3.1.	Doğal su muhtevası ekipmanları (etüv ve terazi).....	53
Şekil 3.2.	Likit limit deney seti	55
Şekil 3.3.	Plastik limit deney seti	56
Şekil 3.4.	Üç eksenli basınç deney seti.....	58
Şekil 3.5.	Üç eksenli basınç deneyi kayma gerilmesi-düşey basınç	59
Şekil 3.6.	Tek eksenli basınç deney aleti	60
Şekil 3.7.	Tek eksenli basınç deneyi kayma gerilmesi-düşey basınç.....	61
Şekil 4.1.	Korelasyon katsayısının (r) grafiksel gösterimi	63
Şekil 4.2.	Excel'de regresyon analizi örneği	64
Şekil 5.1.	Analizde kullanılan numunelere ait plastisite kartı.....	68
Şekil 5.2.	SPT- N_{60} & c ilişkisi	69
Şekil 5.3.	Hesaplanan ve ölçülen kohezyon arasındaki ilişki	70

Şekil 5.4. SPT-N ₆₀ ile c arasındaki ilişki.....	71
Şekil 5.5. Hesaplanan ve ölçülen kohezyon (c) ilişkisi.....	72
Şekil 5.6. Tschebotarioff (1973)'e göre SPT-N ₆₀ & c ilişkisi.....	74
Şekil 5.7. Parcher ve Means (1968)'e göre SPT-N ₆₀ & c ilişkisi.....	75
Şekil 5.8. Terzaghi ve Peck (1967)'e göre SPT-N ₆₀ & c ilişkisi.....	75
Şekil 5.9. İyisan ve Ansal (1990)'a göre SPT-N ₆₀ & c ilişkisi.....	76
Şekil 5.10. Sivrikaya ve Toğrol (2007)'a göre SPT-N ₆₀ & c ilişkisi.....	76
Şekil 5.11. Nassaji ve Kalantari (2011)'a göre SPT-N ₆₀ & c ilişkisi	77
Şekil 5.12. SPT-N değerleri ile içsel sürtünme açısı arasındaki bağıntıların grafiği.....	80
Şekil 5.13. SPT-N ₆₀ ile Ø arasındaki ilişki.....	81
Şekil 5.14. Eşitlik B&VC3 ve B&VC4 ile hesaplanan Ø değerleri	82
Şekil 5.15. SPT-N ₆₀ ile Ø arasındaki ilişki	83
Şekil 5.16. Eşitlik B&VC5 ve B&VC6 ile hesaplanan Ø değerleri	84



TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1.	Enerji oranları.....	20
Tablo 1.2.	Tij uzunluğu düzeltme faktörü.....	20
Tablo 1.3.	Sondaj çapı düzeltme faktörü.....	21
Tablo 1.4.	Kılıf düzeltme faktörü.....	21
Tablo 2.1.	SPT-N– D_r ilişkisi.....	26
Tablo 2.2.	SPT- $(N_1)_{70}$ - D_r - ϕ' - γ_s ilişkisi.....	33
Tablo 2.3.	SPT- N_{55} – E_s bağıntıları.....	37
Tablo 2.4.	SPT-N – E_s bağıntıları.....	37
Tablo 2.5.	SPT-N – E_s arasındaki eşitlikler.....	38
Tablo 2.6.	q_u ile N_{60}^* arasındaki ilişkiler.....	39
Tablo 2.7.	SPT-N' e göre killi zeminlerin kıvamı ve q_u arasındaki ilişkiler.....	39
Tablo 2.8.	q_u ile SPT-N ve N_{60} arasındaki ilişkiler.....	40
Tablo 2.9.	SPT-N – c_u ilişkisi.....	41
Tablo 2.10.	SPT-N – c_u ilişkisi.....	41
Tablo 2.11.	SPT-N ve N_{60} ile C_u arasındaki ilişkiler.....	46
Tablo 2.12.	Değişik zemin türleri için önerilen β' faktörleri.....	48
Tablo 5.1.	Çalışmada kullanılan verilerin bir kısmı.....	67
Tablo 5.2.	Analiz için kullanılan numunelerin sayısı.....	68
Tablo 5.3.	Çalışmada kullanılan verilerin bir kısmı.....	73
Tablo 5.4.	SPT-N ile c arasındaki ilişkiler (üç eksenli basınç deneyi).....	74
Tablo 5.5.	Analiz sonucunda elde edilen kohezyon değerlerinin bir kısmı.....	78
Tablo 5.6.	SPT-N değerleri ile içsel sürtünme açısı arasındaki bağıntılar.....	79

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

B	: Temel genişliği, (m)
c	: Kohezyon, (kPa)
C_B	: Sondaj kuyusunun çapına göre düzeltme katsayısı
C_N	: Derinlik düzeltmesi
C_S	: Numune alıcısının durumuna göre düzeltme katsayısı
C_R	: Tij uzunluğuna göre düzeltme katsayısı
C_u	: Drenajsız kayma mukavemeti
D	: Temel derinliği, (m)
D_r	: Bağıl yoğunluk
E_m	: Şahmerdan verimi
E_R	: Enerji oranı
E_s	: Deformasyon modülü, (kPa)
E_u	: Drenajsız deformasyon modülü
M	: Odometrik deformasyon modülü
m_v	: Hacimsel sıkışma katsayısı
N	: Darbe sayısı
N_{60}	: Tokmak enerjisinin % 60'ına göre düzeltilmiş vuruş sayısı
N_{60}^*	: Doğal su muhtevası ve plastisite indisi ile düzeltilmiş N_{60} değeri
p_a	: Atmosferik basınç, (kN/m ²)
q_{net}	: Zeminin nihai taşıma gücü, (kPa)
q_u	: Serbest basınç mukavemeti, (kPa)
q_a	: Taşıma gücü, (kPa)
q_b	: Düşey kazıklarda net uç direnci, (kPa)
q_s	: Düşey kazıklarda sürtünme direnci, (kPa)
R	: Korelasyon katsayısı
V_s	: Kayma dalgası hızı, (m/sn)
w_n	: Doğal su muhtevası
σ'_v	: Düşey efektif gerilme, (kPa)
σ'_{v0}	: Efektif örtü yükü, (kPa)
ϕ'	: Efektif kayma mukavemeti açısı, (derece)
ϕ	: İçsel sürtünme açısı, (derece)
ν	: Poisson oranı
τ	: Kayma mukavemeti, (kPa)
σ	: Toplam basınç, (kPa)

Kısaltmalar

CH	: High Plasticity Clay, (Yüksek Plastisiteli Kil)
CL	: Low Plasticity Clay, (Düşük Plastisiteli Kil)
FHWA	: Federal Highway Administration, (Federal Karayolu İdaresi)
GC	: Clayey Gravel, (Killi Çakıl)

GM	: Silty Gravel, (Siltli akıl)
GP	: Poorly Graded Gravel, (Kötü Derecelenmiş akıl)
GW	: Well Graded Gravel, (İyi Derecelenmiş akıl)
LL	: Likit Limit
MH	: High Plasticity Silty
ML	: Low Plasticity Silty
OCR	: Over Consolidation Ratio, (Aşırı Konsolidasyon Oranı)
PI	: Plastisite İndisi
PL	: Plastik Limit
SC	: Clayey Sand, (Killi Kum)
SM	: Silty Sand, (Siltli Kum)
SP	: Poorly Graded Sand, (Kötü Derecelenmiş Kum)
SPT	: Standart Penetration Test, (Standart Penetrasyon Deneyi)
SW	: Well Graded Sand, (İyi Derecelenmiş Kum)
UC	: Unconfined Compression Test, (Serbest Basınç Deneyi)
UU	: Unconsolidated Undrained Triaxial Test, (Konsolidasyonsuz Drenajsız Üç Eksenli Basınç Deneyi)
CU	: Consolidated Undrained Triaxial Test, (Konsolidasyonlu Drenajsız Üç Eksenli Basınç Deneyi)
CD	: Consolidated drained Triaxial Test, (Konsolidasyonlu Drenajsız Üç Eksenli Basınç Deneyi)

C – Ø ZEMİNLERDE STANDART PENETRASYON TESTİ KORELASYONLARI

ÖZET

Geoteknik biliminde, laboratuvar ve arazi deneyleri, geoteknik biliminde zemin özelliklerinin tahmin edilmesine sağlayan en önemli araçlardır. Ülkemizde de Standart Penetrasyon Deneyi, hemen hemen her zemin inceleme programının ana parçalarından birini oluşturmaktadır. Ayrıca zemin incelemelerinde belirlenmesi gereken parametreler bazen çeşitli sebeplerden dolayı elde edilememektedir. Bu durumda da Standart Penetrasyon Deneyinden korelasyonlarla bu zemin parametreleri elde edilmektedir. Günümüze kadar birçok araştırmacı Standart Penetrasyon Deneyi korelasyonlarını yapmışlardır. Fakat çalıştıkları bölgeler farklı olduğu için her korelasyon farklı sonuç vermektedir.

Bu çalışmada Türkiye'nin Batı Karadeniz Bölümü'nde yer alan Karabük İlinde yapılan zemin incelemelerinde yapılan Standart Penetrasyon Deneyi ile laboratuvar deneyleri sonucu elde edilen değerler arasında korelasyon yapılmıştır.

Bu çalışmanın ilk aşamasında Karabük / Türkiye yapılan zemin incelemelerindeki arazi çalışmaları incelenmiştir. Sondajlardan alınan örselenmiş ve örselenmemiş numuneler üzerinde zemin mekaniği deneyleri sonucunda elde edilen parametreler bir araya toplanmıştır. Bu parametreler; likit limit, plastik limit, sıkışma indeksi, kohezyon ve içsel sürtünme açısıdır. Her sondaj kuyusunda yapılan Standart Penetrasyon Deneyi sonucunda elde edilen SPT-N değeri ile bu zemin parametreleri eşleştirilmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında belirlenen parametreler arasında regresyon analizi yapılarak Standart Penetrasyon Deneyi ile zemin parametreleri arasında korelasyonlar elde edilmiştir. SPT-N ile değeri ile kohezyon (c) arasında ve SPT-N değeri ile içsel sürtünme açısı (Ø) arasında yaklaşık korelasyonlar elde edilip ,daha önceki çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Bu şekilde Karabük / Türkiye için özel Standart Penetrasyon Deneyi korelasyonları elde edilmiştir. Bu şekilde elde edilemeyen zemin parametreleri Standart Penetrasyon Deneyi sonucunda daha doğru bir şekilde belirlenmektedir.

Anahtar kelimeler: İçsel Sürtünme Açısı, Kohezyon, Korelasyon, Standart Penetrasyon Testi (SPT).

CORRELATIONS OF STANDART PENETRATION TEST IN C – Ø SOILS

ABSTRACT

In the geotechnical science, the main tools for calculating soil properties are laboratory and field tests. Standard Penetration Test constitutes one of the main parts of almost every ground investigation program in our country, too. In addition, the parameters to be determined in the ground examination sometimes can not be obtained due to various reasons. In this case, from the correlations of Standard Penetration Tests, soil parameters are obtained. Up to the present day, many researchers have done Standard Penetration Test correlations. However; because they work in different areas, each correlation gives different results.

In this study, the correlation was made between the values obtained from the Standard Penetration Test made in soil examinations which were done in Karabük (Turkey's western Black Sea part) and laboratory tests.

In the first stage of this study, the fieldwork done in the ground examinations in Karabük / Turkey has been analysed. The parameters obtained as a result of soil mechanics tests on disturbed and undisturbed samples taken from drills huddled together. These parameters are liquid limit, plastic limit, compression index, cohesion and internal friction angle. The SPT-N value obtained as a result of Standard Penetration Test done on each borehole and these soil parameters were matched.

In the second stage of this study, by performing regression analysis between determined parameters, correlations were obtained between Standard Penetration Test and soil parameters. The obtained approximated correlations between the SPT-N value and cohesion (c), between the SPT-N value and internal friction angle (ϕ) have been compared with the previous studies. In this way, special Standard Penetration Test correlations for Karabük / Turkey were obtained. Soil parameters which couldn't be obtained in this way are determined more accurately by Standard Penetration Test results.

Keywords: Internal Friction Angle, Cohesion, Correlation, Standart Penetration Test (SPT).

GİRİŞ

Geoteknik mühendisliği, zemin malzemelerinin inşaatlarda uygulanmasına ait sistematik yaklaşımlar ve prensiplerdir. Hemen hemen bütün inşaat mühendisliği uygulamaları zemin ile doğrudan temas halindedir ve geoteknik özelliklerinden ayrı düşünülemezler.

Depreme dayanıklı bina tasarımının en önemli unsurlarından biri yapı - zemin ilişkisidir. Zemin parametreleri laboratuvar deneyleri ve arazi deneyleri ile belirlenmektedir. Gerek laboratuvar deneylerinin, gerekse arazi deneylerinin birbirlerine göre üstün yanları olsa da birbirlerini tamamlayan çalışmalardır. Arazi deneyleri laboratuvar deneyinden daha geniş bölgede uygulandığından, sonuçlar zemin tabakasını daha iyi temsil edebilmektedir.

Bu arazi deneylerinden olan Standart Penetrasyon Deneyi dünyada ve ülkemizde çoğu zemin tipinde en yaygın kullanılan deneylerin başında gelmektedir. Deney esas olarak ayırık, iri daneli zeminlerden örselenmemiş numune alma zorluğu nedeni ile bu tür zeminlerin yerleşim sıklılığının yerinde belirlenmesi amacı ile ortaya atılmış olup, 1920'lerden beri kullanılmaktadır, 1930'larda ise standart hale gelmiştir. Türkiye'de de hem yapımının kolaylığı hem de ekonomik olmasından kaynaklanan ve sonuçlarının yorumlanması diğer deneylere göre daha kolay olan bu deney oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Standart penetrasyon deneyi temel olarak, yerinde yapılan bir dinamik kesme (makaslama) deneyidir. Makaslama (kesme) dayanımı daneli zeminlerde, zeminin bağıl sıklılığına, kohezyonlu zeminlerde ise zeminin dayanım parametrelerine (kohezyona, içsel sürtünme açısına) bağlıdır. Bu nedenle penetrasyon deneyi sonuçları ile zemin parametreleri arasında bir bağıntı kurmak olasıdır. Bu bağlamda çeşitli araştırmacılar tarafından arazi deneylerinden zeminin özelliklerini elde edebilmek için farklı korelasyonlar elde edilmiştir.

Bu çalışmada, standart penetrasyon testi korelasyonuna yeni bir yaklaşım getirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma bölgesi olarak Karabük ili seçilmiştir. Bölgenin coğrafi özellikleri, jeolojik ve geoteknik özellikleriyle birlikte bölgede yapılan arazi çalışmaları ve bu çalışmalar sonucunda oluşturulan zemin etüd raporları detaylı bir şekilde incelenmiştir. Sondajlardan alınan örselenmiş ve örselenmemiş numuneler üzerinde zemin mekaniği deneyleri sonucunda elde edilen likit limit, plastik limit, plastisite indeksi, sıkışma indeksi, doğal birim hacim ağırlık, kuru birim hacim ağırlık, kohezyon ve içsel sürtünme açısı gibi parametreler Excel programında bir araya toplanmıştır. Her sondaj kuyusunda yapılan Standart Penetrasyon Deneyi sonucunda elde edilen SPT-N değeri ile bu zemin parametreleri eşleştirilmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında belirlenen parametreler arasında regresyon analizleri yapılarak Standart Penetrasyon Deneyi ile zemin parametreleri arasında korelasyonlar elde edilmiştir. Bu şekilde Karabük ili için özel Standart Penetrasyon Deneyi korelasyonları elde edilmiştir.

Çalışmanın sonuç bölümünde ise elde edilen tüm korelasyonların geçmiş yıllarda yapılmış diğer bağıntılarla karşılaştırılması ve geoteknik mühendisliği açısından yorumlanması yapılmıştır.

1. STANDART PENETRASYON DENEYİ (SPT)

Standart Penetrasyon Deneyi (SPT), zemin mukavemet ve yoğunluğunu değerlendirmek, aynı zamanda örselenmiş örnek almak amacıyla sondaj kuyusu içinde (in-situ) yapılan bir dinamik kesme deneyidir (Toğrol ve Sivrikaya, 2003). Standart Penetrasyon Deneyi (SPT), zemin incelemelerinde en sık kullanılan ve en eski arazi deneylerinden biridir. SPT oldukça kapsamlı şekilde Kuzey ve Güney Amerika, Büyük Britanya ve Japonya'da kullanılmaktadır. Kuzey Amerika'da SPT zemin incelemelerinin anahtar taşı olmuş ve olmaya da devam etmektedir (Horn, 1979). Mori (1979)'a göre Japonya'da ön inceleme aşamasında sondajların % 90' dan fazlası SPT ile birlikte yapılmaktadır. Bu deney Türkiye'de ve birçok ülkede en fazla tercih edilen deneydir. Türkiye'de SPT hemen hemen her zemin inceleme programının ana kısımlarından biri olarak karşımıza çıkmaktadır.

Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) standart bir numune alıcının, dinamik olarak 76 cm yükseklikten 63,5 kg ağırlığındaki bir tokmağın düşürülerek standart bir numune alıcının zemine 45 cm sokulması şeklinde uygulanır. Numune alıcının iç çapı 3,5 cm ve dış çapı 5 cm olup uzunluğu 81 cm'dir. Numune kaşığının zemine son 30 cm'lik girmesine karşı gelen toplam darbe sayısı, zeminin penetrasyon direnci (SPT-N) olarak tarif edilir. Bu deney, yumuşak killer ve gevşek kumlardan çok sert killer ve sıkı kumlara kadar çeşitli zemin türlerinde uygulanabilmektedir (Sağlamer, 1979).

İlk defa 1927 yılında ABD'de Raymond Concrete Piling firması tarafından kullanılan ve çapı 60-100 mm arasında değişen sondaj kuyularında uygulanabilen SPT, dikkatli yapıldığı takdirde zeminin fiziksel ve mekanik özellikleri hakkında faydalı ampirik bilgiler sağlamaktadır. Standart penetrasyon deneyi ABD'de yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Nispeten basit ve ucuz olan bu deney, özellikle kohezyonsuz zeminlerde zeminin bazı niteliklerini (izafi yoğunluk) tanımlamak için geliştirilmiş olup, yumuşak killerden zayıf kayalara kadar değişik malzemelerde farklı amaçlar için uygulanabilmektedir. Ancak kili zeminlerin, deneyde belirlenen dinamik özelliklerine ilişkin sonuçlar pek güvenilir olmadığından, yalnızca nitel bir yol gösterici olarak işlev görmektedir. Bu nedenle testin kohezyonlu zeminlerde kullanılması tavsiye edilmemektedir (Lee vd.,1983).

Kohezyonsuz zeminlerden, standart ve klasik numune alıcılarla örselenmemiş örnek almak hemen hemen olanaksız ve pahalı bir işlemdir. Bu nedenlerden dolayı zemin özelliklerinin, çeşitli miktarlarda örselenmiş numuneler üstünde yapılacak laboratuvar deneyleri yerine arazi deneyleri ile belirlenmesi tercih edilmektedir (Alkaya, 2007; Toğrol ve Sivrikaya, 2003).

SPT için bilinen en iyi standartların Büyük Britanya BS 1377 ve Kuzey Amerika ASTM D1586 standartları olduğu bilinir. Örneğin Avustralya, Brezilya, Danimarka, Japonya, Hindistan ve İsveç'te deney standartlaştırılmış olup, bu uluslararası standartlara uygun bir şekilde yapılmaktadır. Ayrıca ülkemizde de bu deney için TS-5744'e uyulması gerekmektedir.

1.1. SPT Deneyinin Amacı

- Kohezyonsuz zeminlerin izafi yoğunluklarının/direnç özelliklerinin belirlenmesi,
- Sığ temeller ve derin temeller için zeminlerin taşıma kapasitelerinin hesaplanması,
- Kayma mukavemetinin belirlenmesi,
- Kumların sıkıştırılma (kompaksiyon) derecelerinin belirlenmesi ve sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesi,
- SPT'den elde edilen verilerin, zeminlerin diğer özellikleri ile karşılaştırılması sonucunda;
 - o Kumların içsel sürtünme açısı (ϕ),
 - o Kumların elastisite modülü (E_s),
 - o Killerin drenajsız kesme mukavemeti (c_u),
 - o Killerin hacimsel sıkışma indisi (m_v) parametrelerinin de dolaylı olarak tahmin edilebilmesi,

- Zeminlerin indeks özelliklerini belirlemeye yönelik laboratuvar deneyleri için örselenmiş örnek almak, olarak sayabiliriz (Alkaya, 2007; Uzundurukan, 2001).

1.2. SPT Deneyinin Avantajları

- Deney süresi kısadır.
- Deney ekipmanı basit, dayanıklı ve yaygın olarak bilinir.
- En geniş uygulama tarihine ve verisine sahiptir. Uluslararası düzeyde en yaygın olarak kullanılan arazi deneyidir.
- Hem penetrasyon direnci ölçülüp hem de örnek alınarak, bunun sağlanabileceği diğer deneylerden daha az maliyetlidir.
- Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerin yanı sıra sıkı, ince çakıl ve dolgu tabakalarına da uygulanabilmektedir.
- Literatürde, SPT verilerinden mühendislik yorumu ve parametreleri elde etmek için önerilen çok sayıda yöntem vardır.
- Deney diğer arazi deneylerine göre kolay, ekonomik, hızlı uygulanabilir.
- YASS altında ve üstünde uygulanabilir (Alkaya, 2007).
- Yumuşak zayıf kayalardan, ince daneli zeminlerden oluşan yumuşak tabakalara kadar çoğu zemin tipinde uygulanabilir.
- Araştırmanın bir parçası olarak, genellikle örselenmiş bir zemin numunesi alınarak dane boyutu karakteristiklerinin belirlenmesine imkân verir.
- Uzun yıllardır kullanılmakta olmasından dolayı, zemin parametreleri ile ilgili çok sayıda kullanışlı bağıntı geliştirilmiştir.
- Ülkemizde çoğu sondaj firmaları tarafından yapılabilir olması, başlıca avantajları arasında sayılabilir.

1.3. SPT Deneyinin Dezavantajları

- İri granüler, blok veya kaya gibi zeminlerde örnek alıcı hasar görebileceğinden elde edilen sonuçlar sağlıklı olmaması,
- Alınan numunelerin örselenmiş olması ve sadece tanımlama deneylerinde kullanılabilmesi,
- Killerde, efektif gerilme düzeltilmesinin oldukça güvenilmez olması (Uzundurukan, 2001),

- Zemin direncinin derinlik boyunca değişiminin sürekli olarak gözlenememesinden dolayı nispeten sıkı tabakalar arasında bulunan ince, zayıf tabakaların atlanabilmesi,
- Zemin sınıflaması laboratuvar destekli yapılmadığı takdirde yanlış değerlendirilebilmesi,
- Standart ve nitelikli ekipman kullanılmadığı zaman hatalı sonuçlar verebilmesi,
- Yeterli deneyimi olmayan personel tarafından uygulandığında yanıltıcı sonuçlar alınabilmesi,
- Sondaj firmalarına göre değişiklik göstermesi,
- Prosedürün detaylarına bağlı kalınmaması,
- Yaygın kullanımı ve basit prosedürüne rağmen SPT deney sonuçlarının, numune alımı, sondaj, ekipman ve operatör karakteristiklerinden büyük ölçüde etkilenmesi olarak sayabiliriz.

1.4. Standart Penetrasyon Deneyinde Kullanılan Ekipmanlar

1.4.1. Sondaj makinesi

SPT takımının kuyu tabanına indirilerek deney sonunda çıkarılmasının sağlanması, kuyunun delinmesi ve temizlenmesi işlemlerinde sondaj makinesi ve kulenin rolü büyüktür. Sondaj makinesi kısaca, bir kızağa veya kamyonu monteli basit yapılı sondaj donanımı olarak tanımlanabilir. En az 120 mm çapında, 200 m derinlik kapasiteli, her eğim ve doğrultuda, her türlü jeolojik formasyonda sondaj çukuru açabilecek, hidrolik baskı sistemine sahip jeoteknik amaçlı makinelerdir. Sondaj makinesi, kuyu dikliğini sağlamak amacıyla sondajın yapılacağı yerde hazırlanan düzgün bir yüzey üzerine, sondaj sırasında çökmeyecek biçimde yerleştirilir. Düzlüğü sağlamak için su terazisi kullanılmalıdır. Büyük sondaj donanımlarında ayrı ayrı makinelerle yürütölen işlevler sondaj makinelerinde birleştirilmiş ve bir makine tarafından yapılma olanağı getirilmiştir. Genellikle sığ sondajların açımında kullanılırlar.

- Rotari sondaj: SPT'nin ilk yapıldığı yıllardaki veriler, temiz su ile yapılan rotari sondajdan elde edilen SPT-N değerinin, sondaj çamuru kullanılandan çok düşük olduğunu göstermektedir. Gevşek doğgun kumlarda sondaj yapmak için en iyi yol bentonit veya polimerle artırılan sondaj suyu ve fışkırtma ile oluşacak örselenmeyi önleyecek sondaj uçları kullanmaktır. Sulu rotari metodu, doğgun

kumlarda SPT-N deęerini belirleme için dūşūnūlen en iyi yōntemdir (Farrar, 1999).

- Burgu sondajı: Bu yōntem, suya doğgun gevşek kumlarda başarılı bir şekilde kullanılabilir. İçi bos burgular kullanılırken ana problem, burguların kumu gevşetip kabartmasıdır.



Şekil 1.1. Sondaj makinesi

1.4.2. Standart penetrasyon borusu ve çarıklar

Deneyde kullanılacak Standart Penetrasyon borusunun; dış çapı 51 mm, iç çapı 35 mm, uzunluğu ise 45,7 cm olmalıdır. SPT borusu boyuna ortadan iki eşit parçaya ayrılabilir ve parçalar birleştirildiğinde tūp şeklini almaktadır. Semplerin üst kısmında 42 mm lik tije bağlantı sağlayan redüksiyonlu başlık, alt ucunda ise 7 cm boyunda ağzı yarım konik, kenarları kesici çarık bulunmaktadır. SPT borusuna çarık ve başlık eklendiğinde deney aparatının boyu 60,5 cm olmaktadır.



Şekil 1.2. SPT boruları

1.4.3. Şahmerdanlar (Çakma ekipmanı)

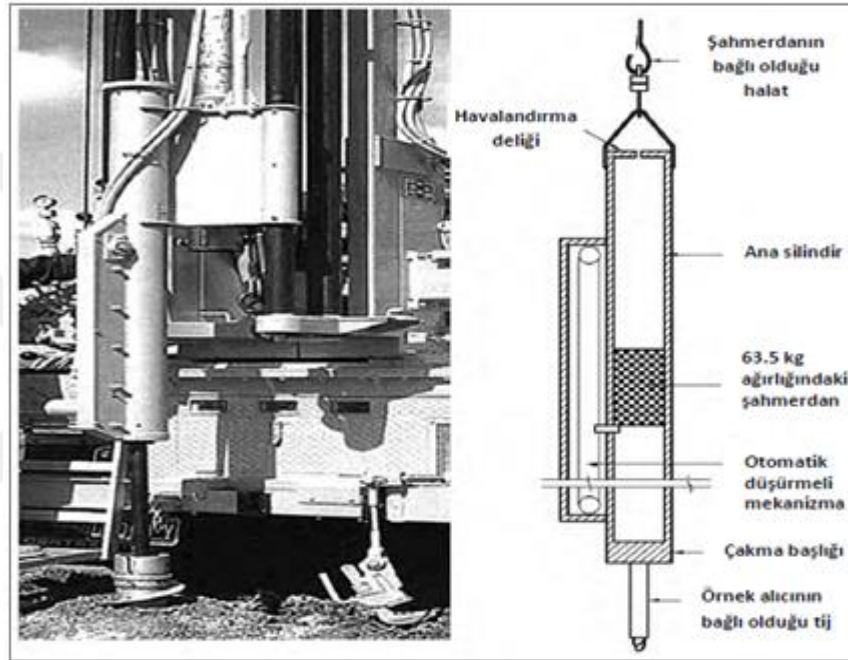
SPT deneyinde 3 çeşit şahmerdan kullanılmaktadır.

- Güvenlik (Safety Hammer) tipi şahmerdan: SPT için en yaygın kullanılan şahmerdandır. Bu tür tokmaklar, SPT'nin yapılmasında ekonomik ve güvenlidir (Şekil 1.3a). Kapalı çakma başlığı, küçük metal parçalarının fırlamasından ve operatörün çakma yüzeyine ellerinin gelmesinden doğacak tehlikeyi ortadan kaldırır. Güvenli tokmaklar yaklaşık 81,3 cm toplam vuruşa göre dizayn edilmelidir. Operatörün 76,2 cm düşüşü görebilmesi için kılavuz çubuğu üzerine işaret konmalıdır (Farrar, 1999). Güvenli Tokmakların en kullanışlı durumu kedi başına 2 sarımla uygulanan tokmak düşürülmesi sonucu oluşan enerjinin % 60'ını aktardığı kabul edilir. Enerji aktarımı etkileyen bir faktör de kılavuz çubuğudur. Bazı güvenli tokmaklar ile içi dolu tijler kullanılırken, bazen de içi boş AW tipi tijler kullanılmaktadır.

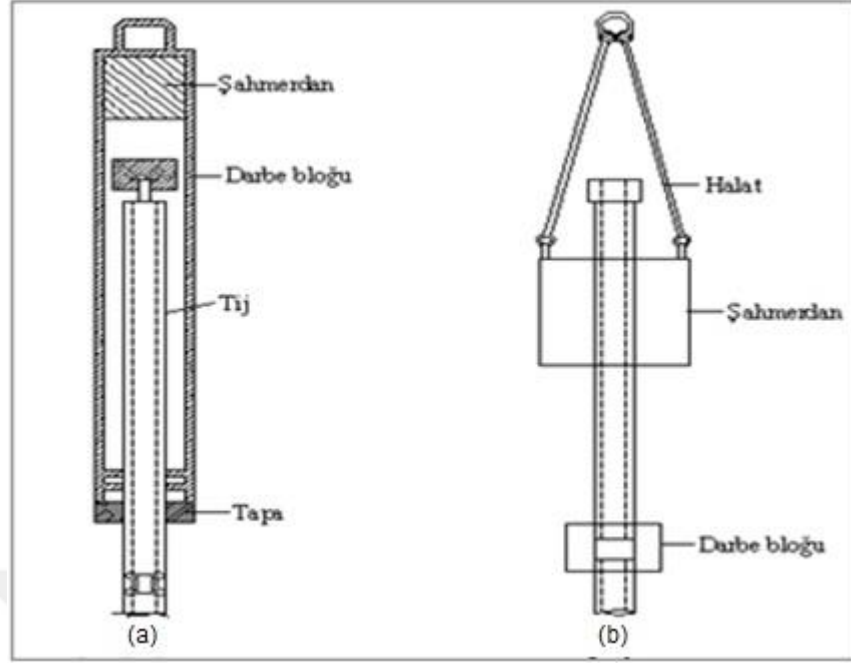
İçi dolu kılavuz çubuğuna sahip güvenli tokmak, içi boş kılavuz çubuğuna sahip güvenli tokmaktan daha az enerji aktarımı sağlamaktadır. Bununla beraber, bu farklar önemli boyutta değildirler (Farrar, 1999).

- Halka (Donut) tipi şahmerdan: Halka tokmaklar genelde tercih edilmemektedir, ancak özel durumlarda kullanılmak zorunda kalınabilir. Sondaj gövdesine yaklaşık % 45 serbest düşme enerjisi sağlar (Şekil 1.3b). Bu yöntemde kişisel hata payı yüksektir ve uygulamada yaygın olarak kullanılan bir yöntem değildir.

- Otomatik düşürmeli şahmerdan: Şekil 1,3’de gösterilen otomatik düşürmeli şahmerdanlar, operatör hatasına izin vermeyen, her düşüşte tijlere iletilen enerjide sapmanın en az olduğu, dolayısıyla da en sağlıklı şahmerdan türüdür. Clayton (1990)’a göre otomatik düşürmeli şahmerdanlarla, başlangıçtaki enerjinin ortalama %73’ü zemine aktarılabilmekte ve standart sapma %2,8 civarında olmaktadır. Otomatik düşürmeli şahmerdanlar, İngiltere’de standart olarak kullanılan bir mekanizma olup, Japonya, Amerika ve İsrail’de de yaygın olarak kullanılmaktadır (Clayton vd., 1990).



Şekil 1.3. Otomatik tip şahmerdan



Şekil 1.4. a) Güvenli tip şahmerdan b) Halka tipi şahmerdan (Ulusay, 2001)

1.4.4. Tijler

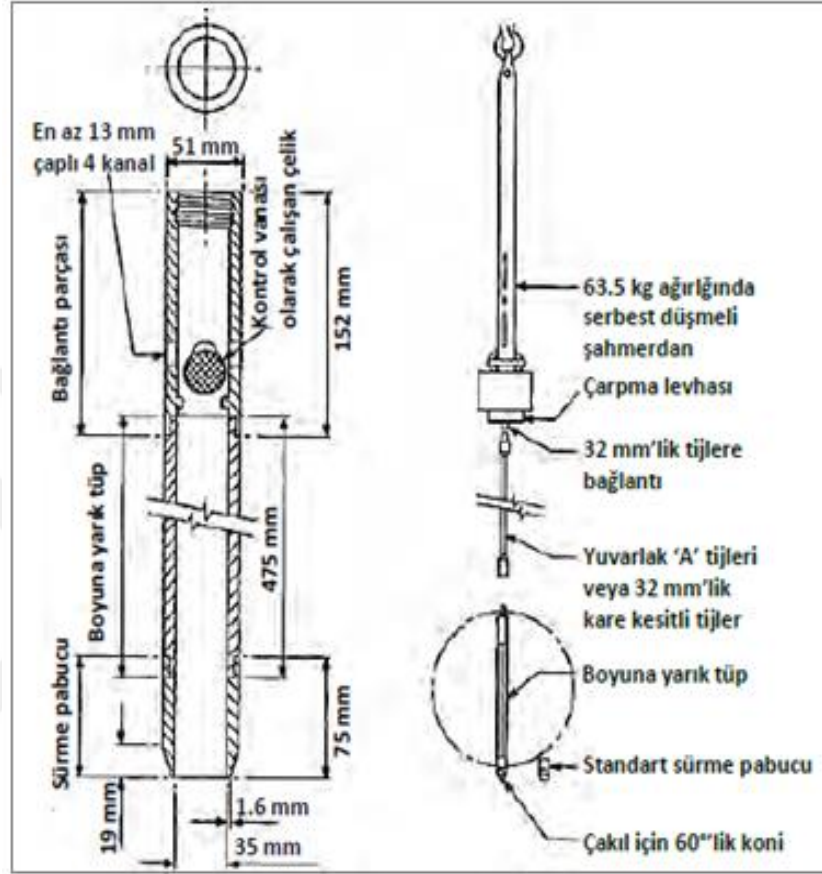
Tijler sondaj aşamasında torkları aktaran, şahmerdan düşürme aşamasında ise düşey kuvvetleri ileten elemanlardır. Şahmerdan tipi ve şahmerdanın düşürülme mekanizması kadar, tijler de enerji kayıplarında önemli bir unsurdur.

Çok kısa tijler kullanıldığında numune alıcıya enerji girişi, yansıyan dalgalar yüzünden erken sona erer. Gerçekte enerjinin erken sönümlenmesi 9 m derinliklere kadar bir problemdir. Fakat düzeltme küçük olup sıkça dikkate alınmaz. Enerjinin sönümlenmesi aynı zamanda delgi tijlerinin boyutunun bir fonksiyonudur. Sığ derinliklerde SPT-N değerleri daha yüksektir. 30 m' den daha büyük delgi tijlerde bazı kayıplar olacağı için düzeltme yapılmalıdır. Yapılan çalışmalarda 30 m' den 60 m' ye kadar enerjideki azalma %10 civarındadır (Farrar, 1999).

1.4.5. Boyuna yarık tüp

Standart penetrasyon deneyi (SPT) sırasında, çakma borusu ucuna takılır ve yarık tüpün zemine girmesi esnasında içine örselenmiş numune almak için kullanılır. SPT yapılan seviyelerde, boyuna yarık numune alıcının içinden çıkan örselenmiş numuneler sınıflama deneylerinde kullanılmak üzere naylon torbalar içerisinde

muhafaza edilerek laboratuvara gönderilir. Deney esnasında alınan bu örselenmiş örneklerden, zemin tipi ve sınıfı belirlenir. Örnek alma tüpü yaklaşık 650 mm uzunluğunda, 50 mm dış çap ve 35 mm iç çapındadır.



Şekil 1.5. Boyuna yarık tüpün boyutları (Clayton vd., 1995)

1.4.6. Sürme pabucu

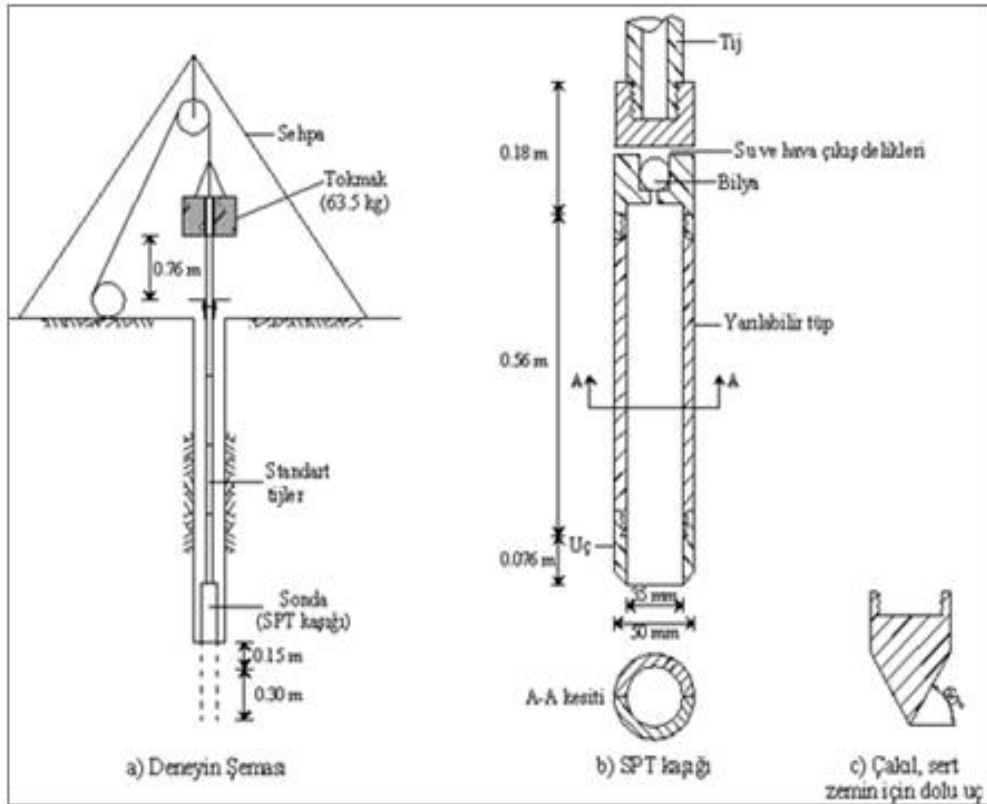
Genel olarak uygulamada örnek alıcının ucunda standart açık kesitli pabuç kullanılmaktadır. Bu pabuç yerine, çakıllı-bloklü granüler zeminlerdeki uygulamalarda 60° açılı deliksiz konik pabuç kullanılmaktadır. Clayton (1995), konik pabucun penetrasyon direncini yaklaşık iki katına çıkardığını iddia ederek, kullanılmamasını önermiştir.

1.5. Standart Penetrasyon Deneyinin Yapılışı

SPT, ASTM (D 1686) da tanımlandığı şekilde, sondaj tijlerine takılmış, ortasından ikiye ayrılabilen ve içinde pirinçten yapılmış bir iç tüpün bulunduğu bir örnekleycinin, 63,5 kg ağırlığında bir şahmerdanın 760 mm yükseklikten tijlerin

üzerine düşürülerek zemine sokulması ilkesine dayanır. Kullanılan şahmerdan türleri çeşitli ülkelere göre farklılık göstermekle birlikte, ülkemizde yaygın olarak Donut tipi şahmerdan kullanılmaktadır (Ulusay R., 2001).

Uygulamada ilk önce rotary (dönel) sondaj yardımıyla kuyu açılır. Daha sonra kuyu tabanındaki kırıntılar iyice temizlenip standart penetrometre çakma tijleri yardımıyla kuyu tabanına inilir. Birbirine vidalanmış standart tijlerin ucuna, standart boyutlardaki dış çapı 5 cm, iç çapı 3,5 cm ve yaklaşık uzunluğu 65 cm olan bir numune alıcı (kaşık) yerleştirilir. Çakma tijleri üzerine çakma başlığı (örs) ve kılavuz tij takılır ve kılavuz tij üzerine 76 cm düşme yüksekliği işaretlenir. Kuyu zemin kotu seviyesinden itibaren 3 adet 15 cm mesafe, çakma tiji üzerine tebeşirle işaretlenip, kendir halat kullanılarak çakma başlığı üzerine kılavuz tij aracılığıyla 63,5 kg ağırlığındaki şahmerdan yerleştirilir. Sondaj makinesi çalıştırıldıktan sonra, kendir halat kedi başına (tambur) 1 tam 3 bölü 4 tur sarılır ve serbest bırakılması için gerekli enerji sağlanıp, şahmerdan 76 cm yükseklikten düşürülür.



Şekil 1.6. SPT deney şeması ve SPT kaşığı (Çolak, 2007)



Şekil 1.7. Tijin işaretlenmesi ve şahmerdanın yerleştirilmesi



Şekil 1.8. Şahmerdanın düşürülmesi

Bu hareket 76 cm yükseklikten ritmik olarak tekrarlanır ve her 15 cm mesafenin çakılması için gerekli darbe sayısı kaydedilir. Bu şekilde kuyu tabanında bulunan,

değişik özellikteki zeminin derinliği daha sağlıklı belirlenip, çakma işlemini zorlaştıran çakıl, blok veya çimentolaşmış yerler saptanmış olur. Örnekleyici son iki aşamada 30 cm 'lik bir penetrasyon ulaşmadan önce elde edilen darbe sayısı 50 ise daha fazla darbe uygulanmaz ve SPT değeri 'refü' olarak adlandırılır. Kaydedilen değerlerden son iki değer toplamı SPT-N30 (Son 30 cm' lik penetrasyon için gerekli vuruş sayılarının toplamı, ASTM D1586 standardına göre SPT-N sayısı olarak tanımlanır) değerini verir. Deney genellikle 1,5 m aralıklarla tekrarlanır. Tüm bunlardan sonra, kuyudan takımla beraber tüp çıkarılıp, açılarak içindeki zemin örneği bir kavanoz veya poşete konular ve ağzı sıkıca kapatılarak parafinlenir. Bu örnekler üzerinde laboratuvarında çeşitli deneyler yapılarak, zemin sınıfı belirlenir.



Şekil 1.9. Numunelerin alınması



Şekil 1.10. Numunelerin poşetlenip etiketlenmesi

1.6. SPT-N Değerini Etkileyen Faktörler

SPT sonuçlarına etkiyen başlıca faktörler, sondaj metotları, sondaj çapı, numune alıcının doğal zemine oturmaması, numune alıcının durumu, numune alıcının kaplama borusu içindeki konumu, tij uzunluğu, tokmak düşürme yöntemi, tokmak düşürme sıklığı, eksantrik çarpma, operatör deneyimi olarak gösterilebilir. Sondaj çapı 10 cm'nin üzerine çıktığında ve eksantrik çarpma durumunda SPT darbe sayısında düşme meydana gelmektedir. Basit olmasına ve çok yaygın kullanılmasına karşılık standart penetrasyon deneyi delgi ve numune alma yöntemlerinden fazlasıyla etkilenmektedir. Gerek delgi, gerekse numune alma sırasında yapılan hatalı işlemler deneyi standart olmaktan çıkarmakta ve elde edilen veriler yanlış değerlendirilmelere yol açmaktadır. Görüldüğü gibi SPT sonuçlarının geniş bir aralıkta değişmesine neden olan birçok faktör vardır. Bu durum SPT sonuçlarının yorumlanmasında ve önceki verilerin kullanılmasında zorluklara neden olmaktadır. Bu nedenle SPT verileri etkiyen bu faktörler dikkate alınarak düzeltilmektedir. NAVFAC (1988) uygulamada N değerlerini etkileyebilecek etkenleri ve sonuçlarını aşağıdaki gibi sıralamaktadır.

- Sondaj deliğinin yeterince temizlenemeyişi: SPT deneyi yalnızca belirli bir derinlikte orijinal zeminde yapılmalıdır. Örnek alıcıda biriken çamur, örnek alıcı çakıldıkça sıkışmakta ve N sayısını artırmaktadır.
- Örnek alıcının sondaj kılıfı alt ucundan yukarıda çakılması: Kumlarda artan, kohezyonlu zeminlerde azalan N sayılarına neden olmaktadır.
- Sondajda yeteri kadar hidrolik yük sağlanamaması: Özellikle kumlu zeminlerin tümüyle gevşeme olasılığı doğmaktadır.
- Deney yapanın gösterdiği özen: Aynı zeminde aynı aygıtla yapılan deneyler, deney yapan kişiye, o andaki gösterilen özen ve deney yapılan zamana bağlı olarak değişebilmektedir.
- Örnek alıcının fazla çakılması: Genelde daha yüksek N değerleri elde edilmektedir.
- Örnek alıcının çakıyla tıkanması: Gevşek kumların sıklığının gerçekten çok fazla sanılmasına yol açabilmektedir.
- Tıkanmış kılıf borusu: Yer altı suyu altında gevşek kumlarda hidrostatik basınç, kumun yükselmesine ve kılıf borusunu tıkamasına yol açıp yüksek N değerlerine neden olabilmektedir.
- Kılıf borusu alt ucu ötesinin fazla yıkanması: Sıkı kumlar, gereğinden fazla yıkanma nedeniyle gevşeyip düşük N değerleri verebilmektedir.
- Delme yöntemi: Sondajın kılıflı ya da sondaj çamuru ile yapılması farklı N değerleri elde etmeye yol açabilmektedir.
- Standart olmayan tokmak düşüşü: İletilen enerjinin üniform olmayışına yol açabilmektedir.
- Tokmağın serbest düşmesinin sağlanamaması: Kedi başında 1,5 sarımdan fazla ip sarmak ve/veya çelik halat kullanmak tokmak düşüşünü sınırlamaktadır.
- Doğru ağırlık kullanılmaması: Pratikte 5 kg kadar farklı ağırlıkların kullanıldığı gözlenmektedir.
- Ağırlığın aksenel düşmemesi: Çarpma enerjisi azaldığından yüksek N değerleri ölçülmektedir.
- Kılavuz kullanılmaması: Doğru olmayan N değerleri ölçülmektedir.
- Örnek alıcı ucunun iyi olmaması: Hasarlı uçlar açıklığı azalttığı veya uç dolu alanını arttırdığı için artan N değerlerine yol açmaktadır.

- Standarttan daha ağır sondaj çubuğu kullanılması: Daha çok enerji emildiği için N sayıları daha fazla ölçülmektedir.
- Doğru olmayan delme tekniği: SPT orijinal olarak yıkamalı sondajlar sırasında geliştirilmiştir. Zeminin daha çok örselenmesine yol açacak delme teknikleri (örneğin darbeli sondaj) N sayılarını etkilemektedir.
- Çok büyük sondaj deliği: 100 mm' den büyük sondaj deliği çapı önerilmemektedir. Daha fazla çaplarda azalan N değerleri ölçülebilmektedir.
- Yeterli denetim olmaması: Örnek alıcının bir çakılla tıkanmasını, sonuçları özenle izleyen bir usta belirleyip önlem alabilmektedir.
- Çok büyük pompa kullanmak: Yüksek pompa gücü sondaj tabanını gevşetip düşük N değerlerine yol açabilmektedir.

1.7. SPT-N Değerine İlişkin Düzeltmeler

Verilen bir zeminin SPT sonuçlarını etkileyen birçok faktör vardır. Bu değişim veya deneyin tekrarlanabilirliğinin düşük olması, SPT deneyi sonuçlarının yorumlanmasında ve geçmiş verilerin güvenle kullanılmasında zorluklara sebep olmaktadır. Son zamanlarda, özellikle SPT tokmakların arazideki enerjilerinin ölçülmesi ve SPT' nin dinamiği (Kovacs ve diğ., 1981, Clayton 1990, Farrar, 1999) üzerine mevcut araştırmalar, önemli derecede SPT deneyine ve sonuçlarına ait bilgileri geliştirmiştir. Bunun sonucu olarak deneydeki belirsizlikler giderilebilir.

Geoteknik mühendisliği uygulamalarında, arazide ölçülen darbe sayılarında (SPT- N_{arazi}) tokmak enerjisi, jeolojik basınç ve sonuçları etkileyen çeşitli diğer dış değişkenler için düzeltme yapılmalıdır. Ölçülen darbe sayıları (SPT- N_{arazi}) çok aşırı yüksek veya çok aşırı düşük olabilmektedir.

Aşırı yüksek olarak ölçülen SPT- N_{arazi} değeri, zeminin özelliklerinin ve taşıma gücünün güvenli olmayan tahminlerine sebep olmaktadır. Aşırı düşük olarak ölçülen SPT- N_{arazi} değeri ise, ekonomik olmayan aşırı güvenli sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Daha kullanılabilir, faydalı ve karşılaştırılabilir sonuçlar elde etmek için, SPT-N değerleri üzerinde düzeltmeler yapılmalıdır (Sivrikaya ve Toğrol, 2003). Bu düzeltmeler başlıca üç şekilde yapılabilmektedir.

- Deney ekipmanına bağlı düzeltmeler,
- Derinlik düzeltmesi,
- Yeraltı suyu düzeltmesi

1.7.1. Deney ekipmanına bağlı düzeltmeler

Arazide elde edilen SPT-N değerleri, deneyde kullanılan ekipmanlardan kaynaklanan değişimlerin yansıtılması amacıyla bazı düzeltme faktörleri kullanılarak yeniden hesaplanır. Deney yöntemlerindeki hatalar, llen N değerini N_{60} 'a dnstrerek azda olsa giderilebilir (Skempton, 1986).

$$N_{60} = C_N \cdot E_m \cdot C_B \cdot C_S \cdot C_R \cdot N / 60 \quad (1.1)$$

Bu formülde;

N_{60} : Deneyin uygulanışına göre düzeltilmiş SPT-N değeri

C_N : Derinlik düzeltmesi

E_m : şahmerdan verimi

C_B : Sondaj kuyusunun çapına göre düzeltme katsayısı

C_S : Numune alıcısının durumuna göre düzeltme katsayısı

C_R : Tij uzunluğuna göre düzeltme katsayısı

N: Deneyde llen SPT-N değeri

1.7.1.1. Derinlik düzeltme faktörü (C_N)

Farklı derinliklerde llen SPT-N sayılarını karşılaştırmak için, llen SPT-N sayıları 100 kPa'lık standart basınca (σ'_v) göre ayarlanmaktadır. Kohezyonsuz malzemelerin penetrasyon direnci, ağır bir şekilde evre basıncına bağlıdır. Aynı kum için sığ derinlikte yapılan bir SPT deneyi, daha derinde yapılan SPT deneyinden daha düşük SPT-N değerine sahip olacaktır. N_{arazi} , C_N ile çarpılarak evre basıncı etkileri karşılanır. Kohezyonlu zeminlerde sığ derinlikler için düzeltmenin gereksiz fakat derin durumlar için düzeltmenin hala tartışma

konusudur (Farrar, 2001). Bununla beraber pratikte killi zeminler için C_N uygulanmamaktadır.

$$C_N = \sqrt{\frac{95,76}{\sigma'_v}} \quad (1.2)$$

σ'_v : Düşey efektif gerilme (kPa)

1.7.1.2. Şahmerdan verimi (E_m)

SPT tüpüne uygulanan dinamik enerji her darbe için 63,5 kg ağırlığındaki bir kütlenin 76,2 cm' den düşürülmesi olarak standartlaştırılmış olmakla birlikte, deney esnasında yapılan ölçümler tüpün ucuna transfer edilen enerjinin, tatbik edilen 473,4 joule enerjinin %40'larına kadar inebildiğini göstermiştir. Enerji kayıplarının başlıca nedenleri aşağıda sıralanmıştır (Skempton, 1986; Clayton vd., 1995):

- Tij ve şahmerdanların ağırlığı tarafından sönmölenen enerji
- Şahmerdanın örse çarpması sonucu açığa çıkan ısı ve ses enerjisi
- Tijlerin eğilmesi veya atalet momenti küçük tijlerin kullanımı
- Değişik şahmerdan parçaları arasında, halatların sürtündüğü yüzeylerdeki enerji kayıpları

Yapılan enerji ölçümleri, kullanılan şahmerdan ve düşürme mekanizmasına bağlı olarak deney düzeneğinden delgi tabanına aktarılan enerji seviyelerinin değişken olduğunu göstermiştir. Sonuçta SPT değerlerine bir enerji düzeltmesi yapılması öngörülmüştür.

Enerji düzeltmelerinde, emniyetli şahmerdan sisteminde elde edilebilen %60 enerji transferi standart olarak alınmış ve diğer sistemlerdeki enerji transfer değerlerine oranlanmıştır. Farklı ülkelerde kullanılan farklı sistemlerdeki enerji oranları Tablo 1.1'de verilmektedir.

Ülkemizde son zamanlarda emniyetli tip şahmerdanlar kullanılmaya başlanmış olsa da, halen yaygın olarak halka tipi şahmerdan, kedibaşı ve iki tur dolama sistemi kullanılmaktadır. Tablo 1.1'de görüldüğü gibi bu sistemde enerji oranı %45'tir. Tablo 1.1 incelendiğinde enerji oranlarının %43 ile %85 aralığında değiştiği, dolayısıyla

enerji düzeltmesi yapılmadığı durumda SPT değerlerinde iki kat mertebesinde farklılıklar ortaya çıkabildiği anlaşılmaktadır.

Tablo 1.1. Enerji oranları (Clayton vd., 1995)

Ülke	Şahmerdan Tipi Mekanizması	Şahmerdan Düşürme Mekanizması	Enerji Oranı, E_R (%)
Arjantin	Halka	Kedibaşı	45
Brezilya	İğneli Ağırlık	Elle bırakmalı	72
Çin	Otomatik Halka	Elle dolamalı	60
	Halka	Serbest bırakma	55
	Halka	Kedibaşı	50
Kolombiya	Halka	Kedibaşı	50
Japonya	Halka	Tombi	78 - 85
	Halka	Kedibaşı, 2 tur+özelsalıverme	65 - 67
İngiltere	Otomatik	Gitgel	73
ABD	Emniyetli	Kedibaşı, 2 tur	55 - 60
	Halka	Kedibaşı, 2 tur	45
Venezuela	Halka	Kedibaşı	43

1.7.1.3. Tij uzunluğu düzeltme faktörü (C_R)

Tablo 1.2. Tij uzunluğu düzeltme faktörü

TİJ UZUNLUĞU	C_R		
	Seed ve diğ. (1985)	Skempton (1986)	Youd ve Idriss(1997)
< 3 m	0,75	-	-
3 - 4 m	1,0	0,75	0,75
4 - 6 m	1,0	0,85	0,85
6 - 9 m	1,0	0,95	0,95
> 9 m	1,0	1,0	-
9 -30 m	-	-	1,0
> 30 m	-	-	< 1,0

Numune alıcıya aktarılan enerji, tijin uzunluğuna bağlı olarak bir dereceye kadar etkilenir ve ölçülen SPT- N_{arazi} değerleri bazen bu faktör için düzeltilir. Tablo

1.2’de, Seed ve diğerleri (1985), Skempton (1986) ve Youd ve Idriss (1997) tarafından önerilen C_R değerleri özetlenmiştir.

1.7.1.4. Sondaj çapı düzeltme faktörü (C_B)

Ölçülen SPT-N değerleri, sondaj çapının 115 mm’ den büyük olduğu durumlarda deneylerin yapılması halinde, düzeltme yapılır. Sondaj kuyuları 115 mm’ den büyük olduğunda gerilme boşalması meydana gelir ve ölçülen SPT-N değerleri daha küçük çaptaki delik için ölçülen SPT-N değerinden daha düşüktür. Bu etki kumlarda önemli olabilir fakat kohezyonlu zeminlerde muhtemelen ihmal edilebilir (Sanglerat, 1982). Tablo 1.3 sondaj çapı düzeltme faktörü için önerilen (C_B) değerleri göstermektedir.

Tablo 1.3. Sondaj çapı düzeltme faktörü

Sondaj kuyu çapı	C_B
65 - 115 mm	1,00
150 mm	1,05
200 mm	1,15

1.7.1.5. Kılıf düzeltme faktörü (C_S)

Standart penetrasyon deneyi, numune alıcı içerisinde kılıf kullanarak veya kılıfsız şekilde yapılabilir. Uygulamalarda kılıflar sıkça ihmal edilir ve dolayısıyla numune alma tüpün iç çapı artar.

İç çaptaki artma, numune alıcının içerisindeki sürtünmeyi azaltır ve zeminin ölçülen penetrasyon direncini azaltır. Skempton (1986) ve Youd ve Idriss (1997) iç kaplamanın olmaması durumunda düzeltme faktörlerinin aralığını Tablo 1.4’te gösterildiği gibi önermişlerdir.

Tablo 1.4. Kılıf düzeltme faktörü (Youd ve Idriss, 1997; Skempton, 1986)

Numune alıcı şekli	C_S	
	Youd ve Idriss (1997)	Skempton(1986)
Kılıflı (Standart)	1,00	1,00
Kılıflı (Amerika)	1,10-1,30	1,20

1.7.2. Örtü yükü düzeltmesi

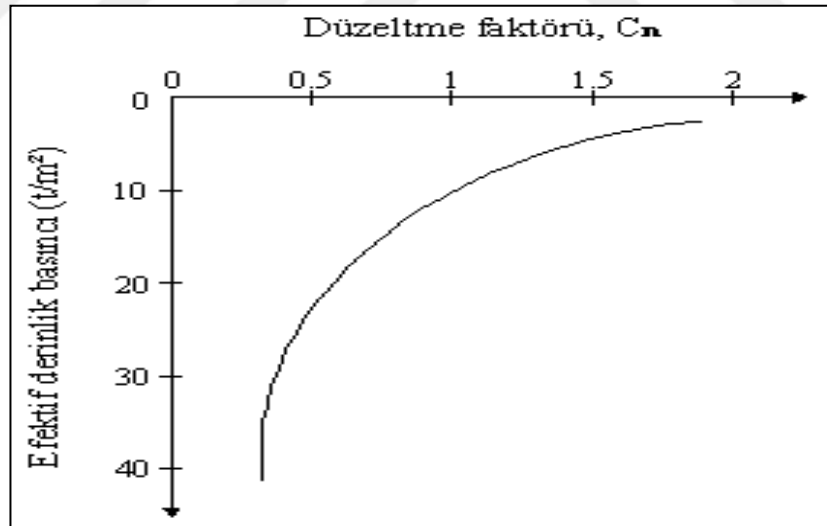
SPT-N değerleri, deney seviyesinin üstündeki zeminden kaynaklanan efektif gerilmenin etkilerini gidermek için de düzeltilmelidir. Homojen bir zemin içerisinde derinde yapılan deneyler, aynı zamanda daha sığ seviyelerde yapılan deneylerden daha yüksek N değerlerine sahiptir. Yapılan deneylerde 1,5 m ve 3 m’de kullanılan tijler aynı olmadığı için derinlik düzeltmesine ihtiyaç duyulmuştur. Derinlik düzeltme faktörü olarak aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$N'_{60} = C_N \cdot N_{60} \quad (1.3)$$

$$C_N = \frac{1,7}{0,7 + \sigma'_v} \quad (1.4)$$

$$\sigma'_v = 1,7 \text{ Derinlik} \quad (1.5)$$

Şekil 1.11’de düzeltme faktörünün jeolojik yüke göre değişimini gösteren grafik verilmiştir.



Şekil 1.11. C_N ' nin σ'_v değerine göre değişimi (Uzuner, 2000)

1.7.3. Siltli kum / ince kum düzeltmesi

Bu düzeltme, suya doymuş çok ince kum veya siltli kumlar için geçerlidir. SPT deneyi sırasında gevşek çok ince veya siltli suya doymuş kumlar için, zeminde yükün dinamik şekilde uygulanması ve zeminin düşük geçirimsizliği yüzünden pozitif boşluk suyu basıncı oluşur. Bu pozitif boşluk suyu basınçları numune

kaşığının penetrasyonuna karşı koyan zeminin kayma dayanımını azaltır. Böylece böyle gevşek zeminlerin SPT-N değeri azalır. Bunun yanında sıkı, çok ince veya siltli doymuş kum için penetrasyon deneyi, penetrasyon direncini artıran negatif boşluk suyu basınçları meydana getirebilir ve böylece SPT-N değerini arttırabilir. Bu etkiyi dikkate almak için Terzaghi ve Peck (1967) tarafından, ince veya siltli suya doymuş kum için $SPT-N_{arazi} > 15$ olması durumunda, izafi sıkılık hemen hemen SPT-N değerinde kuru kumun izafi sıkılığına eşit olmaktadır.

SPT deneyi çok ince veya siltli kumlarda yapıldığında, ölçülen $SPT-N_{arazi}$ değerleri dinamik boşluk suyu basıncı etkileri için düzeltmeye ihtiyaç duyulmaktadır (Meyerhof, 1956). Düzeltme yalnızca ölçülen $SPT-N_{arazi}$ değerlerinin 15'den büyük olan durumlar için gerekmektedir.

$$N=15+(N_{arazi}-15)/2 \quad N_{arazi} > 15 \quad (1.6)$$

Bu düzeltme yapılmazsa, suya doymuş orta sıkı çok ince kum veya siltli kumun rölatif sıkılığı, SPT deney sonuçlarından aşırı yüksek tahmin edilebilir (Terzaghi ve Peck, 1967).

1.8. SPT- Zemin Parametreleri Korelasyonları

Standart penetrasyon deneyinin uygulanmaya başlamasından itibaren numunenin alınmasında, deneylerin yapılmasındaki güçlükler nedeniyle zemin parametrelerinin daha kolay belirlenmesi için SPT-N ile zemin parametreleri arasında korelasyonlar oluşturulmaya çalışılmış ve bu doğrultuda günümüze kadar ki çalışmalarda çok sayıda ampirik bağıntı önerilmiştir. Ancak literatürde verilen korelasyonlarda çoğunlukla standart sapma veya regresyon katsayısı değerleri yer almamaktadır ve kullanılan bağıntının gerçek zemin özelliklerini hangi hata payı ile temsil ettiği değerlendirilememektedir bu yüzden bu korelasyonların kullanılmasında çok dikkatli olmak gerekmektedir. Bunları kullanırken aşağıdaki belirtilen hususlar çok önemlidir (Sivrikaya, 2003).

- Korelasyon denklemindeki zeminin mühendislik özelliğinin, hangi deney tipi sonuçları kullanılarak elde edildiği önemlidir. Her deney tipinden elde edilen sonuçlar farklı olacağından, geliştirilecek korelasyonlar da farklı olacaktır.

- Korelasyon denkleminde kullanılan SPT-N düzeltmeleri içerip içermediği bilinmelidir.
- Korelasyon denklemi elde edilirken, yapılan regresyon analizlerinde kaç veri çifti kullanıldığı, korelasyon katsayısının ne olduğu ve bu ilişkilerin istatistiksel anlamlılığı istatistiksel parametrelerin bilinmesi gerekir.
- Korelasyon denkleminin hangi zemin sınıfı için geçerli olduğu belirtilmelidir.

Ayrıca önerilen korelasyonlar genellikle belli bir coğrafyada yer alan zeminler için türetilmiştir. Farklı bölgelerde bu korelasyonların kullanılması durumunda bölgesel farklılıkların etkisi olabileceği dikkate alınmalıdır. Korelasyon denklemi elde edilirken herhangi bir parametrenin belirlenmesi aşamasında, mevcut tüm korelasyonlar kullanılarak, parametrenin hangi aralıkta değişebileceğinin ortaya konması ve tüm değerler dikkate alınarak bir mühendislik yorumuyla parametre seçiminin yapılmasıdır.

Standart penetrasyon deneyi esas olarak kohezyonsuz zeminlerdeki bir uygulamadır. Ancak deney yaygın olarak kohezyonlu zeminlerde de yapılmaktadır. Örselenmemiş örnek almanın mümkün olduğu durumlarda kohezyonlu zeminlerde kayma dayanımı ve sıkışabilirlik parametreleri mutlak surette zemin mekaniği laboratuvar deneyleri ile belirlenmelidir.

2. SPT KORELASYONLARI İLE İLGİLİ YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

2.1. SPT-N ile Bağlı Yoğunluk (D_r) İlişkisi

Araştırmacılar tarafından yapılan standart penetrasyon deneyleri sırasında kaydedilen darbe sayıları (N) ile kumlu zeminlerin bağlı yoğunlukları (D_r) arasında bir ilişki bulunmaktadır. Penetrasyon direnci, bağlı yoğunluğun etkin olduğu efektif örtü yüküne bağlıdır. Buna bağlı olarak σ'_v ve N darbe sayısı kullanılarak bağlı yoğunluk (D_r) hesaplanabilir. Araştırmacılar tarafından önerilen σ'_v , N ve D_r arasındaki korelasyonlar aşağıda sunulmuştur.

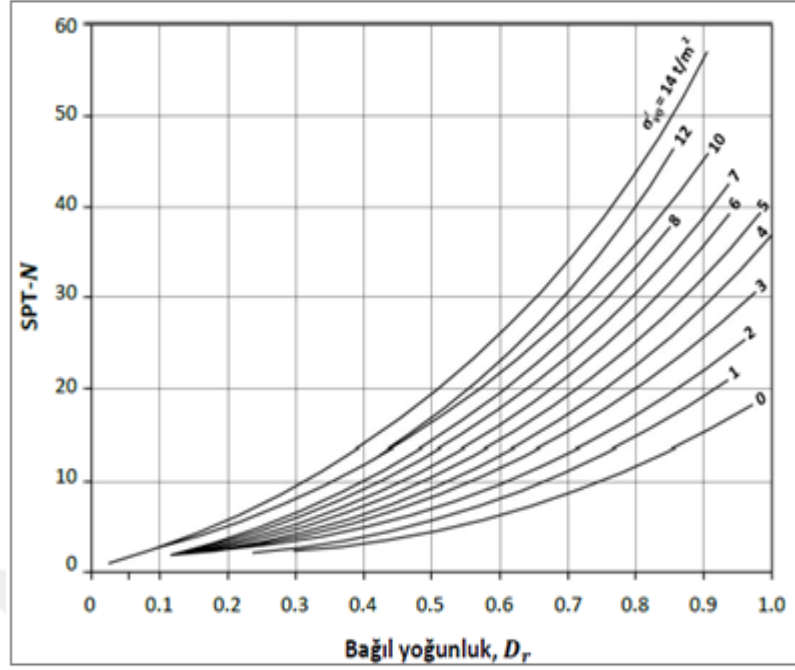
Bağlı yoğunluk D_r , kum zeminin doğal halde, en sıkı/en gevşek yerleşmesi durumuna oranla, konumunu yansıtmaktadır. Denklem (2.1) ile gösterilmektedir.

$$D_r = \frac{e_{\max} - e_n}{e_{\max} - e_{\min}} \quad (2.1)$$

Burada, e_{\max} : kumun en gevşek konumdaki boşluk oranı, e_{\min} : en sıkı konumdaki boşluk oranı ve e_n : doğal boşluk oranıdır.

Gibbs ve Holtz (1957) normal konsolide olmuş kum için, darbe sayısı (N), D_r ve zemin örtü yükü (σ'_{v0}) ilişkisini Şekil 2.1' de gösterildiği gibi açıklamışlar ve Denklem (2.2)' yi önermişlerdir.

$$D_r \approx \left(\frac{N}{12\sigma'_{v0} + 17} \right)^{0,5} \quad (2.2)$$



Şekil 2.1. SPT-N - D_r - σ'_{v0} ilişkisi (Gibbs ve Holtz, 1957)

Meyerhof (1957), normal konsolide olmuş silis kumu için darbe sayısının bağıl yoğunluğun karesi ve efektif örtü yükü ile doğru orantılı olduğu Denklem (2.3)' ü önermiştir.

$$N = (17 + 24 \frac{\sigma'_{v0}}{98}) D_r^2 \quad (2.3)$$

Burada, σ'_{v0} : Deney derinliğindeki efektif düşey (örtü yükü) gerilimi (kN/m^2) ve D_r : bağıl yoğunluktur.

Terzaghi ve Peck (1967), kum için penetrasyon direnci (SPT-N) ile D_r ilişkisini, Tablo 2.1' deki gibi tanımlamışlardır.

Tablo 2.1. SPT-N- D_r ilişkisi (Terzaghi&Peck, 1967)

SPT-N Aralığı	Bağıl Yoğunluk	D_r (%)
0-4	Çok gevşek	0-15
4-10	Gevşek	15-30
10-30	Orta sıkı	35-65
30-50	Sıkı	65-85
>50	Çok sıkı	85-100

Skempton (1986) normal konsolide olmuş kum için SPT- $(N_1)_{60}$ değeri ile D_r arasındaki ilişkiyi Denklem (2.4) ile açıklamıştır.

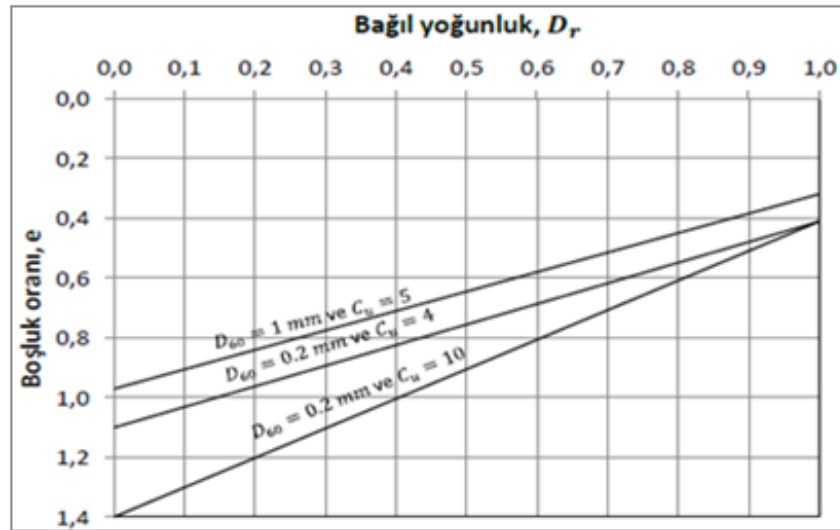
$$D_r(\%)=100 \left(\frac{(N_1)_{60}}{0,28\sigma'_{v0}+27} \right)^{0,5} \quad (2.4)$$

Burada, σ'_{v0} : efektif örtü yükü (kN/m^2)

Jamilowski vd. (1988) SPT-N değeri ile D_r arasındaki ilişkiyi Denklem (2.5) ile açıklamıştır. Bu denklem $D_r > \%35$ için geçerli olup, N_{60} değerinin iri kumlarda 0,92, ince kumlarda 1,08 faktörleri ile çarpılması gerekir.

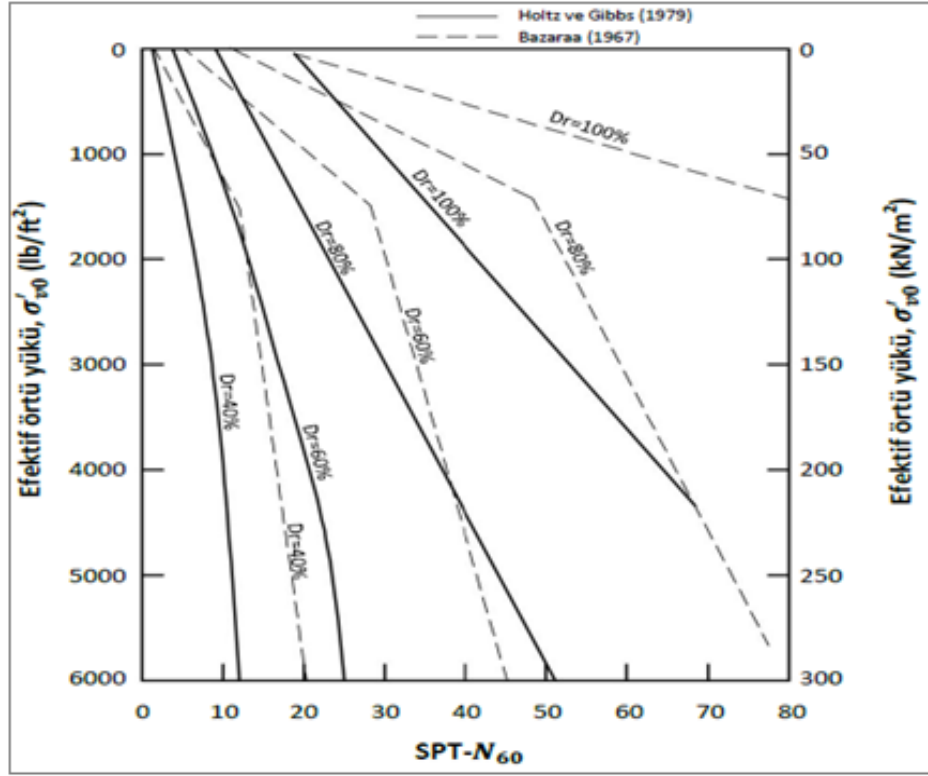
$$D_r(\%) \approx 100 \left(\frac{N_{60}}{60} \right)^{0,5} \quad (2.5)$$

Aboshi vd. (1991) tarafından önerilen bağıl yoğunluk (D_r) – boşluk oranı (e) ilişkisi Şekil 2.2' de verilmektedir. Şekil 2.2' de, C_u : üniformluk katsayısıdır ve D_{60} : danelerin %60'ının küçük olduğu dane boyutudur.



Şekil 2. 2. $D_r - e$ ilişkisi (Aboshi vd., 1991)

Coduto (2000), araştırmacılar tarafından önerilen korelasyonlar arasında önemli farklılıklar olduğunu savunmuştur. Holtz ve Gibbs (1979) ve Bazaraa (1967) tarafından önerilen korelasyonlardaki farklılıkları Şekil 2.3' de göstermiştir.



Şekil 2.3. Bazaraa (1967) ve Holtz ve Gibbs (1979) korelasyonlarının karşılaştırması (Coduto, 2000)

Cubrinovski ve Ishihara (1999), $SPT-N_1 - D_r - D_{50}$ arasındaki ilişkiyi Denklem (2.6) ile tanımlamışlardır.

$$N_1/D_r^2 = 9 \times \left(0,23 + \frac{0,06}{D_{50}}\right)^{-1,7} \quad (2.6)$$

Burada; D_{50} : danelerin %50'sinin küçük olduğu dane boyutu ve D_r : bağıl yoğunluktur (ondalık birimde).

Yoshida ve Ikemi (1988), çakıllı zeminler ve kumlar için darbe sayısı (N), D_r ve zemin örtü yükü (σ'_{v0}) ilişkisini aşağıdaki gibi açıklamıştır.

Kum için;

$$D_r = 25(N)^{0,57} \times (\sigma'_v)^{-0,14} \quad (2.7)$$

%25 oranında çakıl içeren kum-çakıl karışımı için;

$$D_r = 18(N)^{0,57} \times (\sigma'_v)^{-0,14} \quad (2.8)$$

%50 oranında çakıl içeren kum-çakıl karışımı için;

$$D_r=25(N)^{0,44} \times (\sigma'_v)^{-0,13} \quad (2.9)$$

Tüm kumlar için ortalama değer;

$$D_r=18(N)^{0,46} \times (\sigma'_v)^{-0,12} \quad (2.10)$$

2.2. SPT-N ile Efektif Kayma Mukavemeti Açısı (ϕ') İlişkisi

SPT, kumlar ve siltler için arazideki efektif kayma mukavemeti açısını (ϕ') tahmin etmede kullanılabilir. İri daneli zeminler için farklı araştırmacılar tarafından önerilen SPT-N değeri ile (ϕ') arasındaki ilişkiyi gösteren ampirik ifadeler mevcuttur (Meyerhof, 1956; Bowles, 1968; Duncan ve Buchignani, 1976; Mithchell ve Katti 1981).

Birçok ifade ve grafiklerde, sadece N sayısı gösterilmektedir. Bu, enerji düzeltmesinin yapılmamış olduğuna işaret etmektedir. Bununla beraber, SPT için teorik enerjinin %60'ını aktaran tokmaklar en yaygın şekilde kullanılagelmiştir. Bağıntıya göre esas alınan verilerin böyle tokmalara sahip deneylerden elde edilmesi muhtemeldir. Bundan dolayı, bu ifadelerle birlikte N60 kullanmak mantıklı gözükmektedir (McGregor ve Duncan, 1998). Dolayısıyla orijinal makalelerde N sayısı, burada enerji düzeltmesi yapılmış olan N_{60}^* olarak gösterilmiştir.

Dunham (1954), darbe sayısı (N) ve efektif kayma mukavemeti açısı (ϕ') arasındaki ilişkiyi aşağıdaki gibi açıklamıştır.

Köşeli ve iyi derecelenmiş zemin daneleri için;

$$\phi'=(12N_{60}^*)^{0,5} +25 \quad (2.11)$$

Yuvarlak ve iyi derecelenmiş veya köseli ve üniform derecelenmiş zemin daneleri için;

$$\phi'=(12N_{60}^*)^{0,5} +20 \quad (2.12)$$

Yuvarlak ve üniform derecelenmiş zemin daneleri için;

$$\phi' = (12N_{60}^*)^{0,5} + 15 \quad (2.13)$$

Ohsaki ve diğ. (1959), kumlu zeminler için darbe sayısı (N) ve efektif kayma mukavemeti açısı (ϕ') arasındaki ilişkiyi Denklem (2.14) ile açıklamıştır.

$$\phi' = (12N_{60}^*)^{0,5} + 15 \quad (2.14)$$

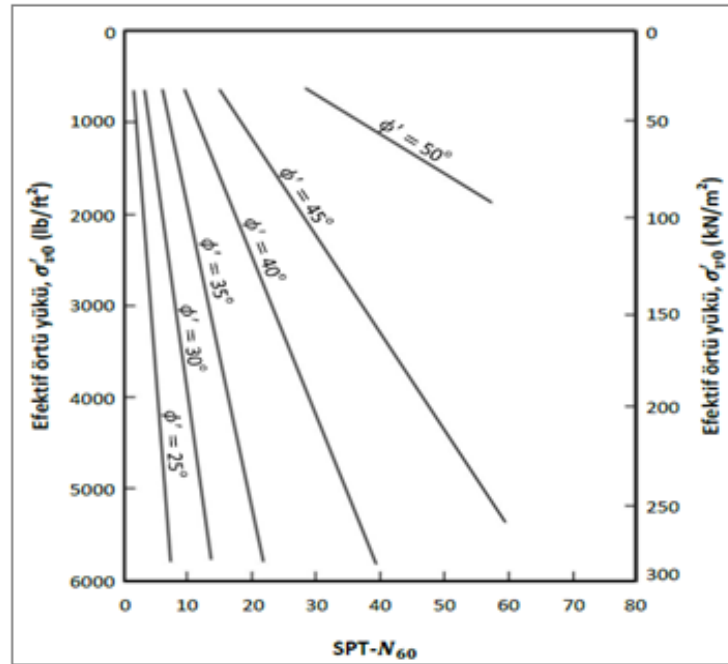
Muromachi ve diğ. (1974), kaba daneli zeminler için darbe sayısı (N) ve efektif kayma mukavemeti açısı (ϕ') arasındaki ilişkiyi Denklem (2.15) ile açıklamıştır.

$$\phi' = (3,5N_{60}^*)^{0,5} + 20 \quad (2.15)$$

Japan Road Association (1990), kumlu zeminler için darbe sayısı (N) ve efektif kayma mukavemeti açısı (ϕ') arasındaki ilişkiyi Denklem (2.16) ile açıklamıştır.

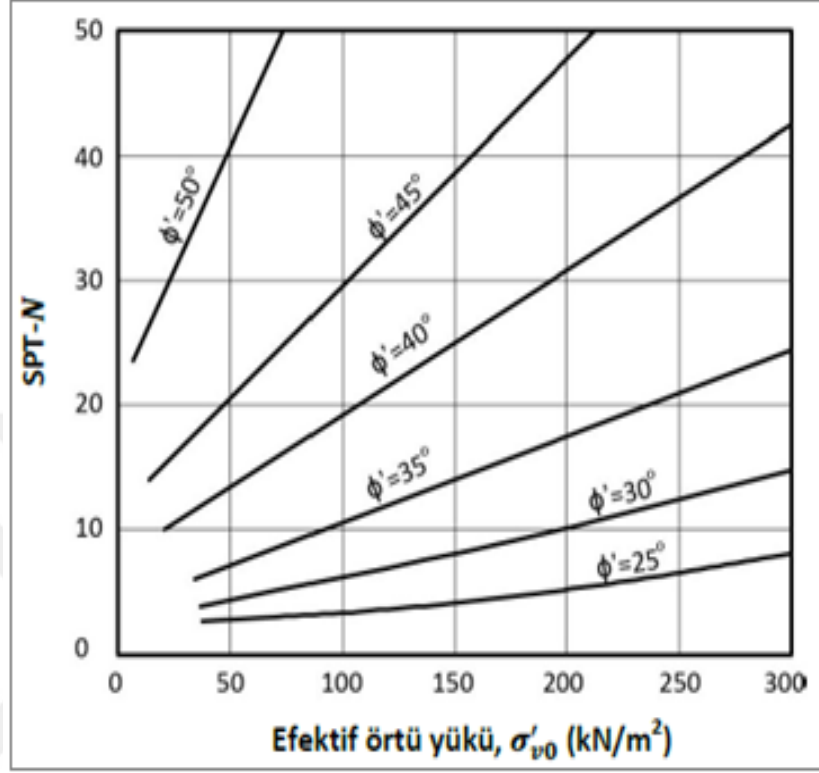
$$\phi' = (15N_{60}^*)^{0,5} + 15 > 45 \quad (N_{60}^* > 5) \quad (2.16)$$

DeMello (1971), darbe sayısı (N) ve efektif kayma mukavemeti açısının (ϕ') efektif örtü yüküne bağlı olduğunu dikkate alarak (σ'_{v0}), SPT- N_{60} ve (ϕ') arasındaki ilişkiyi Şekil 2.4' de gösterilen korelasyonla açıklamıştır.



Şekil 2.4. σ'_{v0} - SPT- N_{60} - ϕ' ilişkisi (De Mello, 1971)

Schmertmann (1975) tarafından önerilen (σ'_{v0}), SPT-N₆₀ ve (ϕ') arasındaki ilişki Şekil 2.5' de verilmiştir.



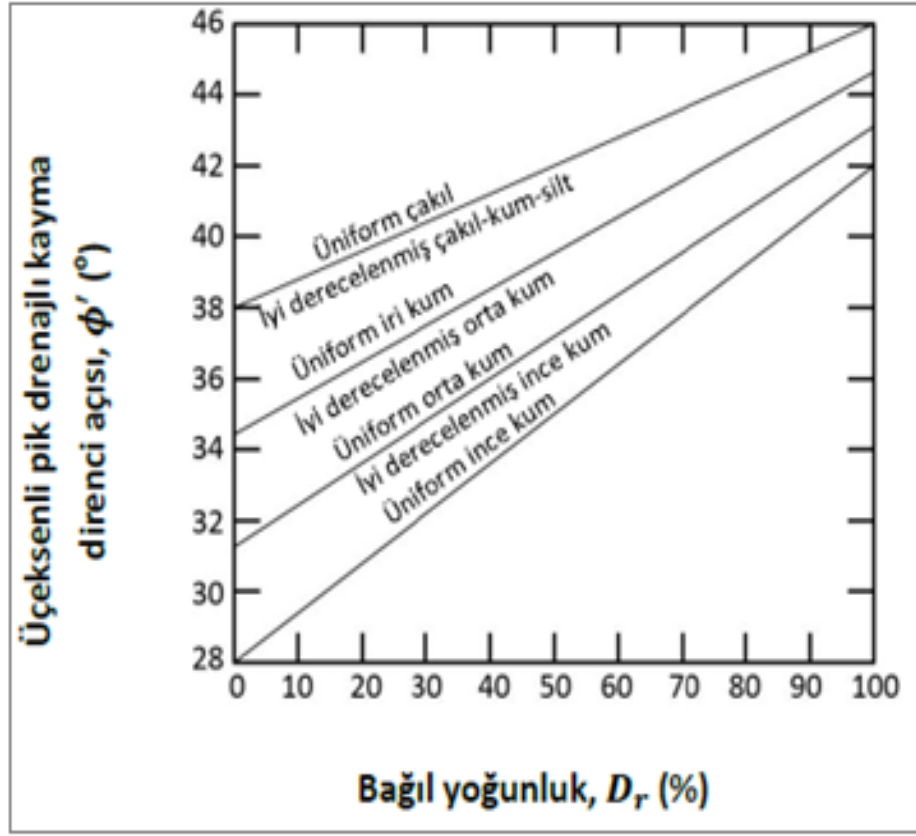
Şekil 2.5. σ'_{v0} - SPT-N₆₀ - ϕ' ilişkisi (Schmertmann, 1975)

Kulhawy ve Mayne (1990), (σ'_{v0}), SPT-N₆₀ ve (ϕ') arasındaki korelasyonu Denklem (2.17) ile ifade etmiştir.

$$\phi' = \tan^{-1} \left[\frac{N}{12,2 + 20,3 \frac{\sigma'_{v0}}{p_a}} \right]^{0,34} \quad (2.17)$$

Burada; p_a : atmosferik basınç olup $\cong 100 \text{ kN/m}^2$ ' dir.

Schmertmann (1975), bağıl yoğunluk (D_r) ile kayma direnci açısı (ϕ') arasındaki korelasyonu Şekil 2.6' da açıklamıştır.

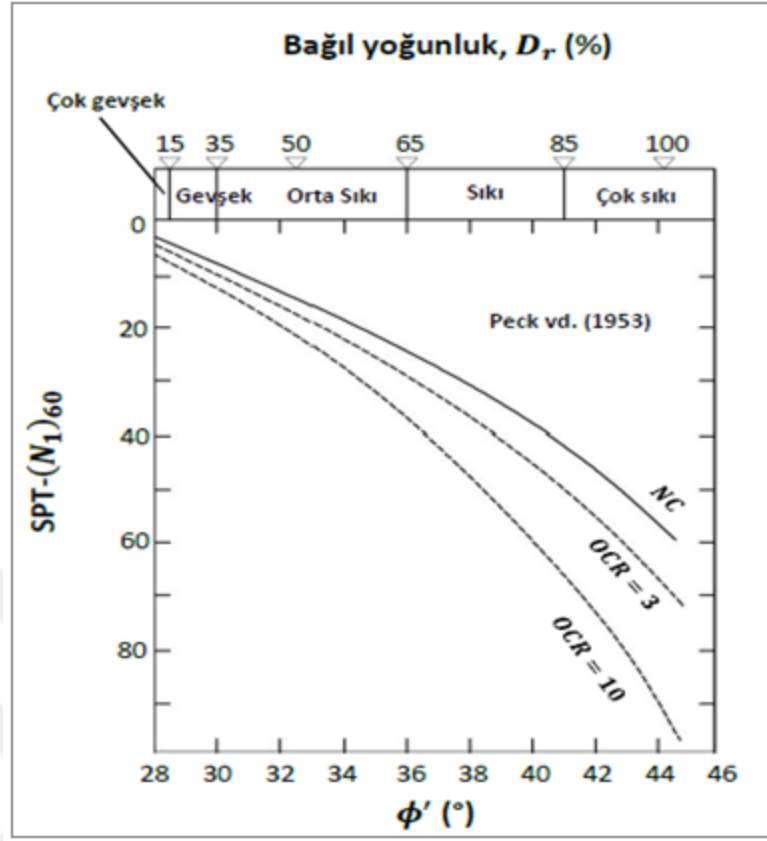


Şekil 2.6. $D_r - \phi'$ ilişkisi (Schmertmann, 1975)

Peck vd. (1974) tarafından önerilen $N - \phi'$ korelasyonu, Stroud (1988) tarafından $(N_1)_{60}$ düzeltilmesi yapılarak yeniden düzenlenmiştir. Şekil 2.7' de gösterilen bu düzenlemede ayrıca SPT- $(N_1)_{60} - \phi'$ ilişkisinin aşırı konsolidasyon oranı (OCR) ile bağıntısı da yansıtılmıştır. Burada; NC: normal konsolide zeminleri temsil etmektedir.

Bowles (1996), SPT- $(N_1)_{70} -$ bağlı yoğunluk (D_r) – kayma direnci açısı (ϕ') – doymun birim ağırlık (γ_s) arasındaki ilişkileri Tablo 2.2' de vermektedir. Bowles (1996) tarafından verilen bu tabloda önerilen ϕ' değerleri analitik olarak Denklem (2.18) ile de temsil edilebilmektedir. Bu denklemde D_r ondalık cinsindedir.

$$\phi' = 28^\circ + 15^\circ D_r (\mp 2^\circ) \quad (2.18)$$

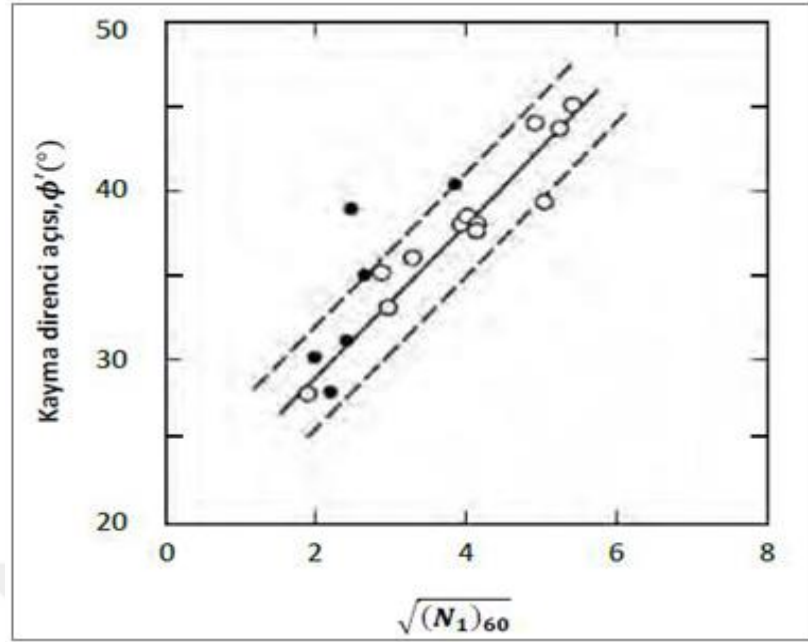


Şekil 2.7. SPT-(N₁)₆₀ - ϕ' - OCR ilişkisi (Stroud, 1988)

Tablo 2.2. SPT-(N₁)₇₀ - D_r - ϕ' - γ_s ilişkisi (Bowles, 1996)

Tanım		Çok gevşek	Gevşek	Orta sıkı	Sıkı	Çok sıkı
D _r		0	0,15	0,35	0,65	0,85
(N ₁) ₇₀	ince	1 - 2	3 - 6	7 - 15	16 - 30	-
	orta	2 - 3	4 - 7	8 - 20	21 - 40	> 40
	iri	3 - 6	5 - 9	10 - 25	26 - 45	> 45
ϕ'	ince	26 - 28	28 - 30	30 - 34	33 - 38	< 50
	orta	27 - 28	30 - 32	32 - 36	36 - 42	
	iri	28 - 30	30 - 34	33 - 40	40 - 50	
γ_s (kN / m ³)		11 - 16	14 - 18	17 - 20	17 - 22	20 - 23

Hatanaka ve Uchida (1996) aldıkları yüksek kalitede dondurulmuş kum örnekleri üzerinde üç eksenli basınç deneyleri yaparak ϕ' değerlerini belirlemişler ve aynı sahadan elde edilen SPT-(N₁)₆₀ değerleri ile bağıntısını araştırmışlardır. Bu çalışmalar sonucu Şekil 2.8' de verilen korelasyonu önermişlerdir.



Şekil 2.8. SPT-(N₁)₆₀ - ϕ' ilişkisi (Hatanaka&Uchida, 1996)

Hettiarachchi ve Brown (2009), SPT numune alıcı çarığının minyatür bir açık uçlu çakma kazık gibi davrandığını düşünerek, enerji dengesi yaklaşımını öne sürmüşlerdir. Standart Penetrasyon Deneyi sırasında verilen enerjinin bir kısmının zemine iletiildiği, bu enerjinin ise numune alıcı çarık yüzeyi etrafında sürtünme kuvvetini ve çarık ucunda uç direncini yenmek için harcadığını belirtmişlerdir. Enerji dengesi yöntemini kullanarak zeminin kayma mukavemeti özellikleri hakkında ilişkiler önermiş olup, ϕ' ile N₆₀ arasında aşağıdaki denklemi oluşturmuşlardır.

$$\phi' = \frac{1}{\beta} \tan^{-1} \left(0,25 N_{60} \frac{p_a}{\sigma'_{v0}} \right) \quad (2.19)$$

p_a : Atmosfer basıncı $\gg 100 \text{ kN/m}^2$

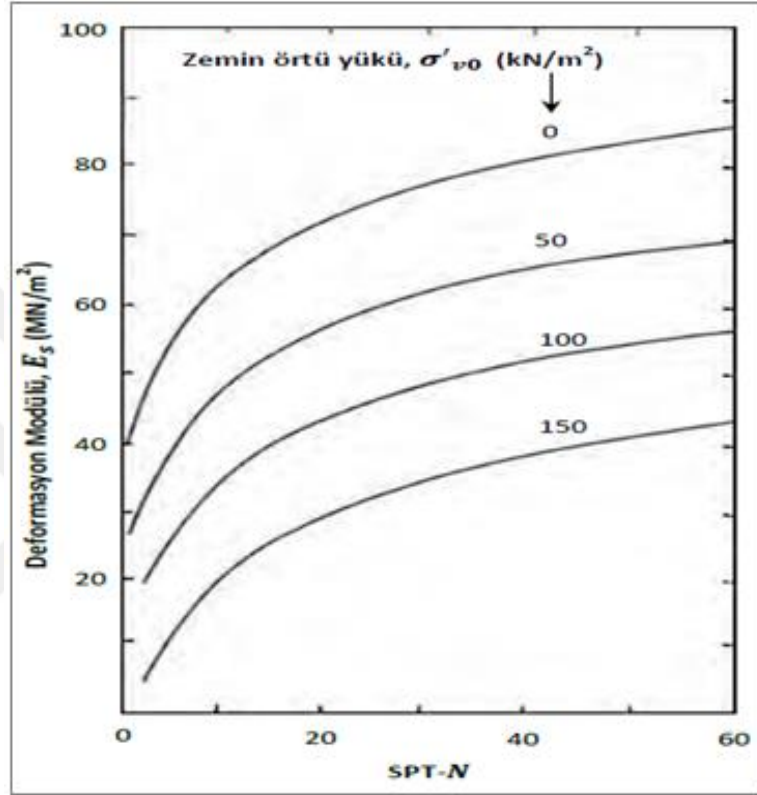
$1/\beta$: Deneysel katsayı = 0,3818

σ'_{v0} : Düşey jeolojik efektif gerilme

Hettiarachchi ve Brown (2009), enerji aktarımının sert veya sıkı zemin tabakalarında oldukça karmaşık olduğunu, bu tip zeminlerde numune alıcı çarığın minyatür bir kapalı uçlu çakma kazık gibi davrandığını, bu nedenle söz konusu eşitliğin sıkı – çok sıkı zemin koşullarında uygun olmayacağını belirtmişlerdir.

2.3. SPT-N ile Deformasyon Modülü (E_s) İlişkisi

Menzenbach (1967), SPT-N – E_s arasındaki korelasyonu açıklarken, efektif düşey gerilmelerde artış olduğunda deformasyon modülü değerlerinde azalmalar olduğunu savunmuştur. SPT-N – E_s – σ'_{v0} ilişkisini Şekil 2.9' da açıklamıştır.



Şekil 2.9. SPT-N – E_s – σ'_{v0} ilişkisi (Menzenbach, 1967)

D'Appolonia vd. (1970) önceden yüklenmiş kumlarda SPT-N – E_m ilişkisini Denklem (2.20a) ile, normal konsolide kumlarda ise Denklem (2.20b) ile açıklamıştır. Bu bağıntılarda $E_m = E_s / (1 - \nu^2)$ olarak tanımlanmıştır ve tsf cinsindedir.

$$E_m(\text{tsf}) = \begin{cases} \text{önceden yüklenmiş kumlar: } 420 + 10N_{\text{ave}} \\ \text{normal konsolide kumlar: } 194 + 8N_{\text{ave}} \end{cases} \quad (2.20a)$$

$$(2.20b)$$

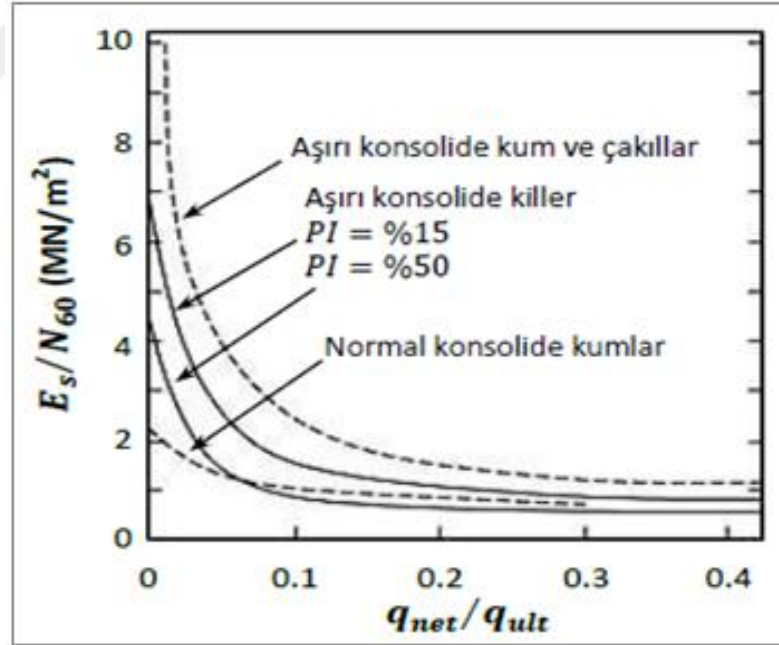
Burada; N_{ave} : temel altında, temel genişliği kadar kalınlıktaki tabakanın ağırlıklı ortalama SPT-N değeri ve ν : Poisson oranıdır.

Schultze ve Sherif (1973), kohezyonsuz zeminlere oturan temellerde ölçülen deplasmanların geri analizlerinden elde ettiği SPT-N – E_s (kN/m^2) korelasyonunu Denklem (2.21)' da açıklamıştır.

$$E_s = 9,4N^{0,87} \sqrt{B} \left(1 + 0,4 \frac{D}{B}\right) \quad (2.21)$$

Burada; B: temel genişliği (m) ve D: temel derinliğidir (m).

Stroud (1988), uzun araştırmalar sonucunda SPT-N – E_s ilişkisinin zeminin nihai taşıma gücünün hangi oranda yüklenmesine bağlı olduğunu savunarak, kohezyonsuz ve kohezyonlu zeminlerde (efektif gerilmeler cinsinden) E_s değerleri için Şekil 2.10'da verilen korelasyonları önermiştir. Burada; q_{net} : net temel gerilmesi ve zeminin nihai taşıma gücüdür. Taşıma gücü için kullanılan güvenlik sayısının genellikle 3 olduğu düşünülürse bu çalışmaya göre $E_s/N_{60}=1$ (MN/m^2) mertebesinde olduğu söylenebilir.



Şekil 2.10. E_s - SPT-N – ($q_{\text{net}}/q_{\text{ult}}$) ilişkisi (Stroud, 1988)

Kulhawy ve Mayne (1990), kumlar için SPT-N değerlerinden yaklaşık E_s değerinin tahmin edilebileceğini belirtmiştir.

$$E_s (\text{kN/m}^2) = \begin{cases} \text{Siltli, killi kumlar:} & 500N_{60} \\ \text{Temiz kumlar:} & 1000N_{60} \\ \text{Aşırı konsolide temiz kumlar:} & 1500N_{60} \end{cases} \quad (2.22)$$

Bowles (1996) literatürde araştırmacılar tarafından değişik zemin türleri için önerilen SPT- N_{55} – E_s korelasyonlarını Tablo 2.3'te özetlemiştir. Bu değerler normal konsolide kumlar için verilmiş olup önceden yüklenmiş kumlarda bu tablodaki değerlerin $(OCR)^{0.5}$ faktörü ile çarpılması önerilmiştir.

Tablo 2.3. SPT- N_{55} – E_s bağıntıları (Bowles, 1996)

Zemin Türü	E_s (kN/m ²)
Normal Konsolide Kumlar	$500(N_{55}+15)$
	$7000\sqrt{N_{55}}$
	$6000N_{55}$
	$(15000-22000)\ln N_{55}$
	$(2600-2900)N_{55}$
Suya Doygun Kumlar	$250(N_{55}+15)$
Çakıllı Kumlar	$1200(N_{55}+6)$
	$N_{55} \leq 15$ için $600(N_{55}+6)$
	$N_{55} > 15$ için $2000+600(N_{55}+6)$
Killi Kumlar	$320(N_{55}+15)$
Silt, Kumlu Silt, Killi Silt	$300(N_{55}+6)$

FHWA (2002a) yayınında Tablo 2.4'deki bağıntılar önerilmektedir.

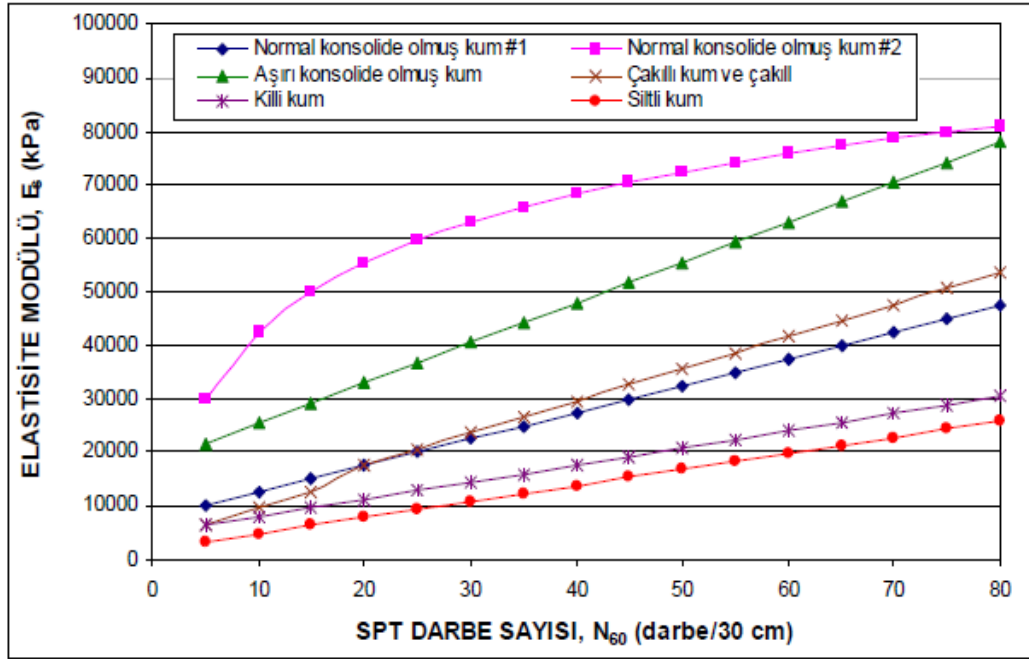
Tablo 2.4. SPT-N – E_s bağıntıları (FHWA, 2002a)

Zemin Türü	E_s (kN/m ²)
Silt, kumlu silt, düşük kohezyonlu karışık zeminler	$400(N_1)_{60}$
Temiz ince-orta kum ve az siltli kum	$700(N_1)_{60}$
İri kum ve çakıllı kum	$1000(N_1)_{60}$
Kumlu çakıl	$1200(N_1)_{60}$

Tan ve diğerleri (1991), SPT-N değerleri ile elastisite modülü arasındaki eşitlikleri Tablo 2.5'de açıklamıştır.

Tablo 2.5. SPT-N - E_s arasındaki eşitlikler (Tan ve diğerleri, 1991)

Zemin Tanımlaması	Elastisite Modülü, E_s - kPa
Normal konsolide olmuş kum (SW, SP)	$E_s=500(N_{60}+15)$ #1
	$E_s=15000 \text{ to } 20000)\ln N_{60}$ #2
Aşırı konsolide olmuş kum	$E_s=18000(750N_{60})$
Çakıllı kum ve çakıl (GW, GP, GM, GC)	$E_s=600(N_{60}+6)$ $N_{60} \leq 15$
	$E_s=600(N_{60}+6)+2000$ $N_{60} > 15$
Killi kum (SC)	$E_s=320(N_{60}+15)$
Siltli kum (SM)	$E_s=300(N_{60}+6)$
E_s ' nin birimi kPa (1 tsf \approx 100 kPa) cinsindedir.	
Not: SPT-N değerleri yerine düzeltilmiş N_{60} değerleri kullanılmalıdır.	



Şekil 2.11. SPT-N değerleri ile elastisite modülü arasındaki bağıntılar

2.4. SPT- N ile Serbest Basınç Mukavemeti (q_u) İlişkisi

Çeşitli araştırmacılar, zeminin cinsine bağlı olarak serbest basınç mukavemeti (q_u) ile N_{60}^* sayısı arasında ilişkiler geliştirmişlerdir. Bu bağıntılar Tablo 2.6'da topluca verilmiştir.

Tablo 2.6. q_u ile N_{60}^* arasındaki ilişkiler (Toğrol ve Sivrikaya, 2009)

Yapılan Çalışmalar	Zemin Cinsi	q_u (kPa)
Sanglerat (1972) ve Tomlinson (1986)	Kil	$25N_{60}^*$
	Siltli kil	$20N_{60}^*$
Sowers (1979)	Yüksek Plastisisteli Kil	$25N_{60}^*$
	Orta Plastisisteli Kil	$15N_{60}^*$
	Düşük Plastisisteli Kil	$7,5N_{60}^*$
Nixon (1982)	Kil	$24N_{60}^*$
Kulhawy ve Mayne (1990)	Killi Zemin	$58(N_{60}^*)^{0,72}$

Terzaghi ve Peck (1967) ve Bowles (1968) tarafından önerilen, N_{60}^* ile serbest basınç mukavemeti arasındaki yaklaşık ilişkiler Tablo 2.7'de verilmiştir.

Tablo 2.7. SPT-N' e göre killi zeminlerin kıvamı ve q_u arasındaki ilişkiler

Zemin Kıvamı	Terzaghi ve Peck (1967)		Bowles (1968)	
	N_{60}^*	q_u (kPa)	N_{60}^*	q_u (kPa)
Çok Yumuşak	< 2	< 25	< 2	< 25
Yumuşak	2 - 4	25 - 50	2 - 4	25 - 50
Orta Katı	4 - 8	50 - 100	4 - 8	50 - 100
Katı	8 - 15	100 - 200	8 - 16	100 - 200
Çok Katı	15 - 30	200 - 400	16 - 32	200 - 400
Sert	> 30	> 400	> 32	> 400

Terzaghi ve Peck, N_{60}^* değeri ile serbest basınç mukavemeti (q_u) arasındaki ilişkiyi Denklem (2.23)'de gösterildiği gibi belirlemişlerdir.

$$q_u = 12,5N_{60}^* \text{ (kPa)} \quad (2.23)$$

Sivrikaya ve Toğrol (2002), Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırmasına göre zeminleri ayırarak yapmış oldukları çalışmada, serbest basınç mukavemeti (q_u) ile standart penetrasyon direnci arasında aşağıdaki ilişkileri vermiştir. Ayrıca Sivrikaya ve Toğrol (2002), denklem katsayısını plastisite indisi (I_p) cinsinden ifade eden $N_{60} < 25$ için ilişki elde etmiştir (Tablo 2.8).

Tablo 2.8. q_u ile SPT-N ve N_{60} arasındaki ilişkiler (Sivrikaya ve Toğrol, 2002)

Zemin Cinsi (n: Numune sayısı)	q_u (kPa)	Korelasyon Katsayısı (r)
Yüksek Plastisiteli Kil (CH) n=113	9,70 SPT-N	0,83
	13,63 N_{60}	0,80
Düşük Plastisiteli Kil (CL) n=72	6,70 SPT-N	0,76
	9,85 N_{60}	0,73
İnce Daneli Zemin n=226	8,64 SPT-N	0,80
	12,36 N_{60}	0,78
İnce Daneli Zemin (n=30)	(0,19 I_p +6,20) N_{60} , $N_{60} < 25$	

2.5. SPT–N ile Drenajsız Kayma Mukavemeti (C_u) İlişkisi

Kohezyonlu zeminlerin drenajsız makaslama dayanımı, C_u direkt veya indirekt yollarla laboratuvar deneyleri ile bulunabilir. Bunun dışında çeşitli araştırmacılara göre SPT-N değerleri killer için drenajsız makaslama dayanımının (C_u) tahmin edilmesinde kullanılabilir.

Kulhawy ve Mayne (1990), ince daneli zeminler üzerinde gerçekleştirdikleri deneyler sonucunda C_u ile SPT-N arasında aşağıdaki denklemi önermişlerdir.

$$C_u = 29N^{0,72} \quad (2.24)$$

Terzaghi ve Peck (1967), kohezyonlu zeminler için drenajsız kayma dayanımı ile SPT-N değeri arasındaki korelasyonu Tablo 2.9'daki gibi göstermişlerdir.

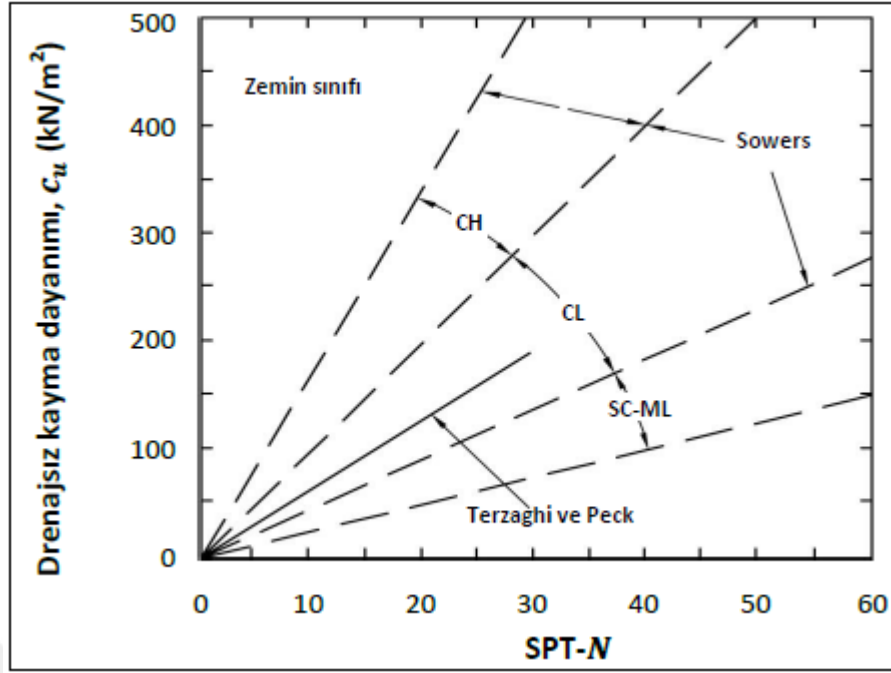
Tablo 2.9. SPT-N – c_u ilişkisi (Terzaghi&Peck, 1967)

SPT-N	Kıvam	Yaklaşık c_u/p_a oranı
0 - 2	Çok yumuşak	< 1/8
2 - 4	Yumuşak	1/8 – 1/4
4 - 8	Orta katı	1/4 – 1/2
8 - 15	Katı	1/2 – 1
15 - 30	Çok katı	1 – 2
> 30	Sert	> 2

Terzaghi ve Peck (1967), drenajsız kayma dayanımı ve standart penetrasyon direnci arasındaki korelasyonu Şekil 2.13 ile açıklamıştır. Kilin plastiklik özelliklerini dikkate alan yeni bir korelasyonda, Sowers (1979) tarafından önerilmiştir ve aynı şekil üzerinde gösterilmiştir. Terzaghi ve Peck ile Sowers tarafından önerilen korelasyonlar Tablo 2.10'da verilmiştir.

Tablo 2.10. SPT-N – c_u ilişkisi (Terzaghi ve Peck, 1967)

Araştırmacılar	Zemin Cinsi	C_u (kPa)
Terzaghi & Peck (1967)	İnce daneli zeminler	6,25N
Sowers (1979)	Yüksek plastisiteli killer	12,5N
	Orta plastisiteli killer	7,5N
	Düşük plastisiteli killer	3,75N



Şekil 2.12. SPT-N – c_u ilişkisi (Terzaghi&Peck, 1967 ve Sowers, 1979)

İyisan ve Ansal (1990), Türkiye'nin çeşitli yerlerinden elde edilen ince daneli zeminler üzerinde gerçekleştirilen serbest basınç deneyi sonuçlarını ($C_u=q_u/2$ olarak) kullanarak C_u ile SPT-N arasında aşağıdaki denklemi önermişlerdir.

$$C_u=4,43N+8,07 \quad (2.25)$$

Sanglerat (1972), killi ve siltli killi numuneler üzerinde gerçekleştirdiği serbest basınç deneyi sonuçlarından elde ettiği C_u ile SPT-N arasındaki korelasyonları Denklem (2.26) ile açıklamıştır.

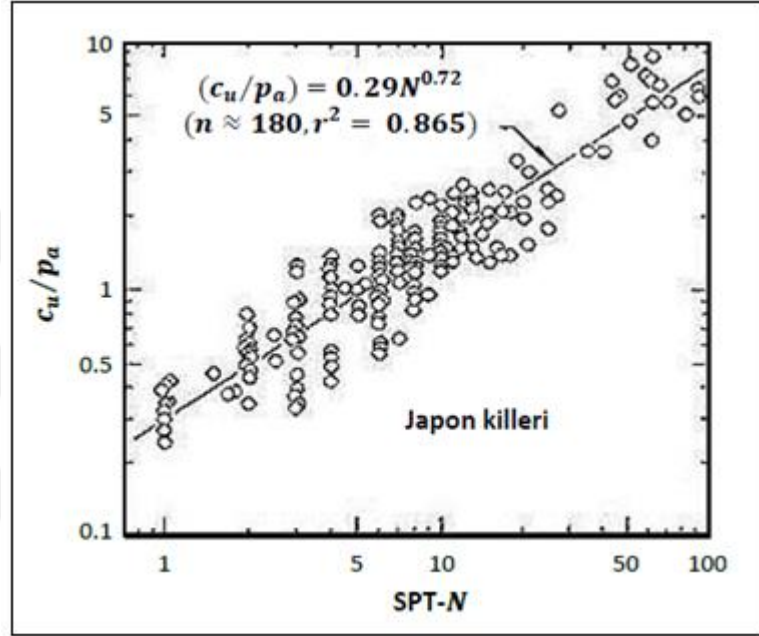
$$C_u(\text{kN/m}^2)=\begin{cases} \text{killi,} & 12,5N \\ \text{siltli killi,} & 10N \end{cases} \quad (2.26)$$

Nixon (1982), killi zeminler üzerinde gerçekleştirdiği serbest basınç deneyi sonuçlarından elde ettiği C_u ile SPT-N arasındaki denklemi Denklem (2.27) ile açıklamıştır.

$$c_u(\text{kN/m}^2)=12N \quad (2.27)$$

Hara vd. (1974), aynı SPT deney düzeneği üzerinde konsolidasyonsuz- drenajsız üç eksenli basınç deneyleri (UU) yaparak buldukları 180 tane veriden, SPT-N ile c_u arasında uygun sayılabilecek bir korelasyon olduğunu göstermişlerdir (Şekil 2.13) ve bu korelasyonu Denklem (2.28) ile açıklamışlardır.

$$\frac{c_u}{p_a} = 0,29N^{0,72} \quad (2.28)$$



Şekil 2.13. SPT-N – c_u ilişkisi (Hara vd., 1974)

p_a : atmosferik basınç $\cong 100 \text{ kN/m}^2$, n: gözlem sayısı, r: korelasyon katsayısı

Stroud (1974), İngiltere’de 42 farklı sahada 1200 adet SPT-N değerinden oluşan bir veri tabanı oluşturmuştur. 102 mm çaplı örselenmemiş numuneler alınarak konsolidasyonsuz- drenajsız üç eksenli basınç deneyleri (UU) yapılmıştır. Bu sayede killerin drenajsız kayma mukavemetleri belirlenmiştir. Araştırmalar sonucunda oluşturulan raporda, killerin ve yumuşak kayaların plastisite indislerinin $PI=25-60$, SPT-N değerlerinin $N_{60}=10-80$ darbe/30cm ve de laboratuvar deneylerinden elde edilen drenajsız kayma dayanımı değerlerinin $c_u=25-500 \text{ kN/m}^2$ aralıklarında değiştiği açıklanmıştır.

Stroud (1974), SPT- N_{60} değeri ile c_u arasındaki korelasyonu Şekil 2.14 ile göstermiştir. Korelasyonda genel eğilimlerden oluşan aşırı sapmaların killerin fisürlü yapısından kaynaklandığını vurgulamıştır.

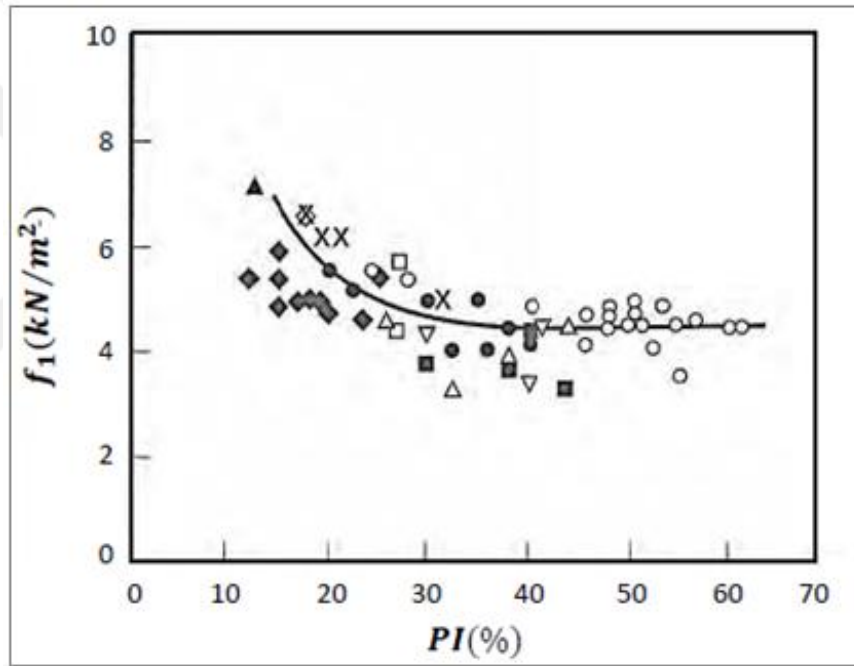
Korelasyon,

$$c_u(\text{kN/m}^2)=f_1 \times N_{60} \quad (2.29)$$

denklemleri ile verilmektedir. Burada; f_1 faktörü kilin plastisite indisine bağı olarak (artan PI değeri ile azalan) 4 – 6 kN/m² aralığında değişmektedir.

Aynı zamanda, bu ilişki yaklaşık olarak Denklem (2.30) ile de temsil edilebilmektedir.

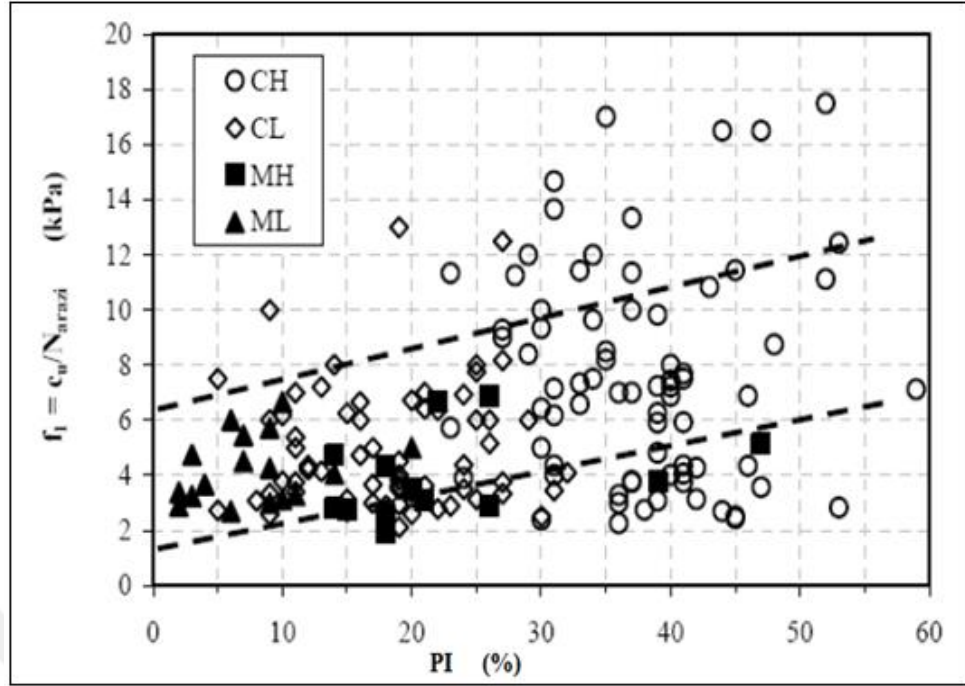
$$c_u(\text{kN/m}^2)= \begin{cases} \text{PI}<20 \text{ için:} & (6-7)N_{60} \\ 20<\text{PI}<30 \text{ için:} & (4-5)N_{60} \\ \text{PI}>30 \text{ için:} & 4,2N_{60} \end{cases} \quad (2.30)$$



Şekil 2.14. SPT-N₆₀ - c_u - PI ilişkisi (Stroud, 1974)

Sivrikaya ve Toğrol (2007), f_1 'in plastisite indisi ile değişimini araştırmışlardır. Bu çalışma sonucunda, Stroud (1974)' un önerdiği plastisite indisinin artması ile f_1 katsayısının azalması yaklaşımına katılmadıklarını belirtmişlerdir.

Sivrikaya ve Toğrol (2007), üç eksenli basınç deneylerinden elde edilen drenajsız kayma mukavemeti değerlerini kullanarak plastisite indisinin artması ile f_1 değerinin artma eğiliminde olduğunu belirtmişlerdir (Şekil 2.15).



Şekil 2.15. f_1 ile PI arasındaki ilişki (Sivrikaya ve Toğrol, 2007)

Sivrikaya ve Toğrol (2007), örselenmemiş numuneler üzerinde yapılan serbest basınç, üç eksenli basınç deneyi ve arazi veyn deneylerinden elde edilen C_u ile SPT- N değerleri arasındaki ilişkileri incelemiştir. Zemin sınıfları ve deney türleri için, C_u ile arazide ölçülen zemin penetrasyon direnci SPT-N ve düzeltilmiş zemin penetrasyon direnci N_{60} arasında belirlenen ilişkiler Tablo 2.11’de verilmiştir.

Sivrikaya ve Toğrol (2007), homojen zemin özelliğine sahip bir bölgeden elde edilen arazi veyn deneyi sonuçlarını kullanarak drenajsız kayma mukavemeti C_u ile plastisite indisi PI ve arazide ölçülen zemin penetrasyon direnci SPT-N arasında aşağıdaki denklemi önermişlerdir.

$$C_u = (0,12PI + 2,08)SPT-N \quad (\text{kPa}), \quad r=0,62 \quad (2.31)$$

Tablo 2.11. SPT-N ve N_{60} ile C_u arasındaki ilişkiler (Sivrikaya ve Toğrol, 2007)

Zemin Cinsi	C_u (kPa) Serbest Basınç Deneyi	C_u (kPa) Üç Eksenli Basınç Deneyi	C_u (kPa) Arazi Veyn Deneyi	C_u (kPa) Ortalama
Yüksek Plastisiteli Kil (CH)	4,85 SPT-N $r=0,83$ 6,82 N_{60} $r=0,80$	5,90 SPT-N $r=0,80$ 8,76 N_{60} $r=0,80$	6,17 SPT-N $r=0,86$ 8,27 N_{60} $r=0,87$	5,50 SPT-N 7,80 N_{60}
Düşük Plastisiteli Kil (CL)	3,35 SPT-N $r=0,76$ 4,93 N_{60} $r=0,73$	3,97 SPT-N $r=0,75$ 5,82 N_{60} $r=0,75$	3,58 SPT-N $r=0,82$ 4,88 N_{60} $r=0,83$	3,70 SPT-N 5,35 N_{60}
Kil	4,33 SPT-N $r=0,82$ 6,19 N_{60} $r=0,77$	5,13 SPT-N $r=0,76$ 7,57 N_{60} $r=0,76$	4,97 SPT-N $r=0,73$ 6,72 N_{60} $r=0,75$	4,75 SPT-N 6,90 N_{60}
İnce Daneli Zemin	4,32 SPT-N $r=0,80$ 6,18 N_{60} $r=0,78$	4,68 SPT-N $r=0,72$ 6,97 N_{60} $r=0,71$	4,18 SPT-N $r=0,76$ 5,77 N_{60} $r=0,79$	4,45 SPT-N 6,35 N_{60}

2.6. SPT–N ile Odometrik Deformasyon Modülü (M) İlişkisi

Odometrik deformasyon modülü, tek eksenle yüklenen zeminin, yüklendiği yöne dik olan yönde sıfır birim deformasyon kabulünü esas alan, gerilme-deformasyon koşulundaki yüklemekten kaynaklanan aksenal gerilmenin aksenal birim deformasyona oranı olarak tanımlanmaktadır. Odometrik modül, laboratuvarında odometre deneyinden elde edilmekte olup, geniş temeller altındaki kohezyonlu zeminlerin uzun dönemli deformasyon modülünü temsil etmektedir (A.Orhan Erol ve Zeynep Çekinmez, 2014).

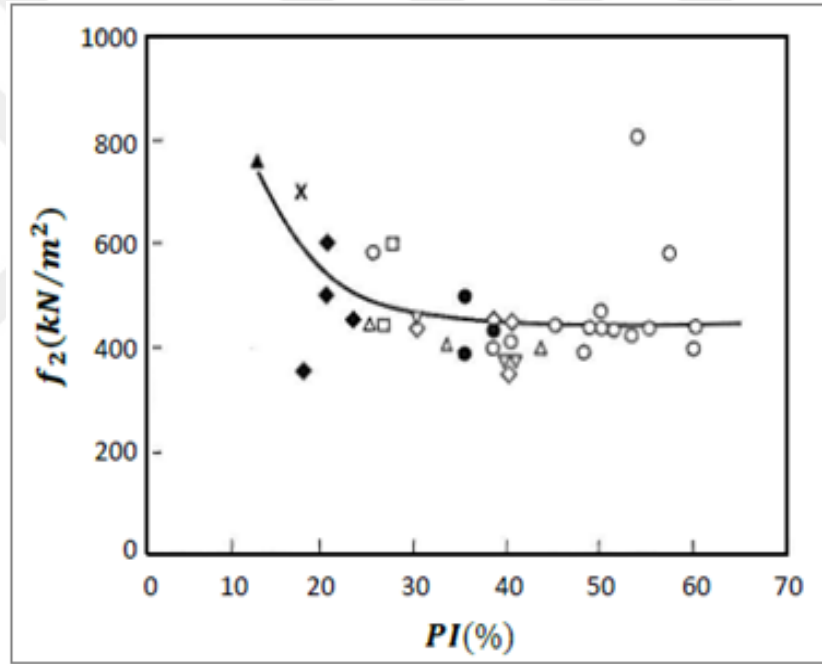
Stroud (1974), N_{60} ile hacimsel sıkışma katsayısı (m_v) arasındaki korelasyonu plastisite indisine bağlı olarak hassas olmayan killerde belirlemiştir. Şekil 2.16’de görüldüğü gibi m_v , f_2 katsayısına bağlı olarak aşağıdaki gibi önerilmiştir.

$$m_v = \frac{1}{f_2 N_{60}} \quad (2.32)$$

Formülde m_v ’ nin birimi m^2/kN ’ dur.

Buna göre, killi zeminler için odometrik modül (M) Denklem (2.33)’deki gibidir.

$$M(kN/m^2) = \frac{1}{m_v} = f_2 \times N_{60} \quad (2.33)$$



Şekil 2.16. SPT-N60 - m_v - PI ilişkisi (Stroud, 1974)

2.7. SPT- N ile Drenajsız Deformasyon Modülü (E_u) İlişkisi

Butler (1975), drenajsız deformasyon modülü, E_u ile SPT-N arasındaki ilişkiyi Denklem (2.34)’deki gibi açıklamıştır.

$$E_u/N_{60} = (1-1,2) \text{ (MN/m}^2\text{)} \quad (2.34)$$

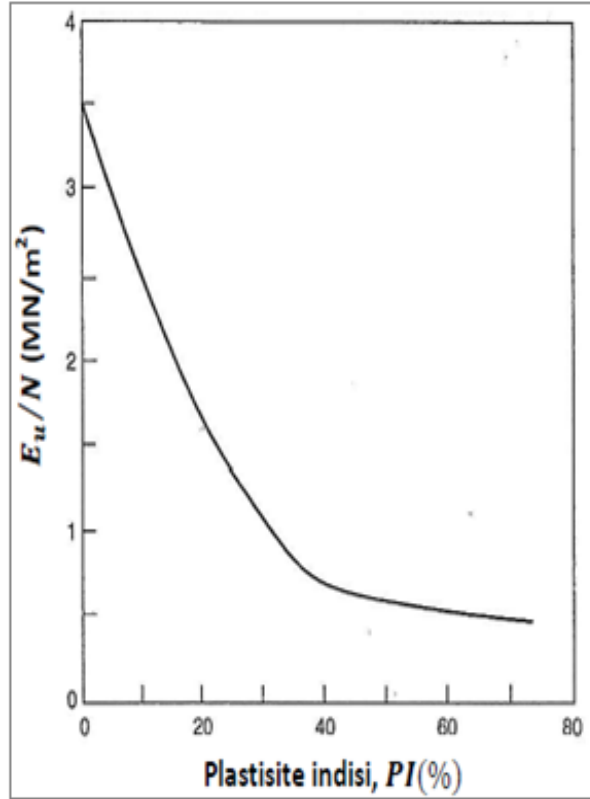
Kohezyonlu zeminlerde uzun dönem/drenajlı deformasyon modülü, E'_s ile kısa dönem/drenajsız modülü, E_u arasında Denklem (2.35) önerilmiştir.

$$E'_s = \beta' E_u \quad (2.35)$$

Bu formülde zeminin Poisson oranı değerine bağlı olan β' faktörü Tablo 2.12'den, E_u değerleri ise SPT-N ve plastisite indisi (PI) değerlerinin fonksiyonu olan Şekil 2.17'den alınmaktadır.

Tablo 2.12. Değişik zemin türleri için önerilen β' faktörleri (Poulos ve Small, 2000)

Zemin Türü	β' faktörü
Çakıl	0.9
Kum	0.8
Silt, siltli kil	0.7
Sert kil	0.6
Yumuşak kil	0.4



Şekil 2.17. PI ile E_u/N arasındaki ilişki (Poulos&Small, 2000)

2.8. Yüzeysel Temelerde SPT-N ile Taşıma Gücü İlişkisi

Literatürde iri daneli zeminler için, taşıma gücü ve SPT-N arasında çeşitli araştırmacıların önermiş olduğu korelasyonlar mevcuttur.

Meyerhof (1956) 25 mm oturma için, emniyetli taşıma gücünü kPa olarak Denklem (2.36) ile açıklamıştır.

$$q_a = \begin{cases} 12(\text{SPT-N})k_d, & B \leq 1,22 \text{ m} \\ 8(\text{SPT-N})\left(\frac{B+0,305}{B}\right)^2 k_d, & B > 1,22 \text{ m} \end{cases} \quad (2.36)$$

$$k_d = 1 + 0,33\left(\frac{D_f}{B}\right) \leq 1,33 \quad (2.37)$$

Bu ifadelerde SPT-N, temel seviyesinin B/4 kadar üstü ile bu seviyenin 1,5B altı arasındaki kesimde ölçülen SPT-N değerlerinin ortalamasıdır.

Bowles (1988), Meyerhof ifadelerine bir düzeltme getirerek taşıma gücü ve SPT-N arasındaki ilişkiyi Denklem (2.38) ile açıklamıştır.

$$q_a = \begin{cases} 20(\text{SPT-N})k_d, & B \leq 1,22 \text{ m} \\ 12,5(\text{SPT-N})\left(\frac{B+0,305}{B}\right)^2 k_d, & B > 1,22 \text{ m} \end{cases} \quad (2.38)$$

Parry (1977), taşıma gücü ve SPT-N arasındaki ilişkiyi Denklem (2.39) ile açıklamıştır.

$$q_u = 0,24(\text{SPT-N}) \left[\frac{D_f + 0,73B}{D_f + 0,75B} \right] \quad (2.39)$$

Burada q_u nihai taşıma gücü (MPa), SPT-N temel altından 0,75B derinlik boyunca ortalama SPT-N değeri, B temel genişliği (m), D_f temel derinliği (m)'dir.

2.9. Derin Temelerde SPT-N ile Taşıma Gücü İlişkisi

Meyerhof (1976), düşey kazıklarda net uç direnci (q_b) ve sürtünme direncini (q_s) veren taşıma gücü korelasyonlarını aşağıdaki bağıntılarla açıklamıştır.

Kumlar ve çakıllar için;

$$q_b = 40N_{1,60} \frac{L}{B} \leq 400N_{1,60} \quad (2.40)$$

Plastik olmayan siltler için;

$$q_b = 40N_{1,60} \frac{L}{B} \leq 400N_{1,60} \quad (2.41)$$

İri daneli zeminlerde büyük deplasman kazıklar için;

$$q_s = 2N_{60} \quad (2.42)$$

İri daneli zeminlerde küçük deplasman kazıklar için;

$$q_s = N_{60} \quad (2.43)$$

Burada q_b uç direnci (kPa), q_s sürtünme direnci (kPa), L zemine gömülü kazık boyu (m), B kazık çapı (m) göstermektedir. Denklem 3.42'nin üst sınırı $L/B \geq 10$ ve Denklem 2.43'ün üst sınırı $L/B \geq 7,5$ olması durumunda uygulanır.

Briaud ve diğ. (1985), düşey kazıklar için taşıma gücünü belirleyen korelasyonu Denklem (2.44) ile açıklamıştır.

$$q_b = 1970(N_{60})^{0,36} \quad (2.44)$$

$$q_s = 22,4(N_{60})^{0,29} \quad (2.45)$$

Burada q_b ve q_s birimleri kPa' dır.

2.10. SPT-N ile Kayma Dalgası Hızı İlişkisi

Shaibata (1970), kumlar için kayma dalgası hızını standart penetrasyon direnci ve efektif düşey gerilmenin bir fonksiyonu olarak N değeri cinsinden Denklem (2.46) ile açıklamıştır.

$$V_s = 31,7N^{0,5} \quad (\text{m/sn}) \quad (2.46)$$

Burada;

V_s : Kayma dalgası hızı

N: Standart penetrasyon deneyi darbe sayısıdır.

Kanai ve diğ. (1966), genelde kumlarda yapılan yaklaşık 70 mikrotremor ölçüm sonuçlarını kullanarak Denklem (2.47)' yi önermiştir.

$$V_s=19N^{0,6} \text{ (m/sn)} \quad (2.47)$$

Ohba ve Toriumi (1970), Japonya' da Osaka yakınlarında alüvyon zeminlerde yapılan Rayleigh hızı ölçümlerine dayanan korelasyonu Denklem (2.48) ile açıklamıştır.

$$V_s=85,3N^{0,31} \text{ (m/sn)} \quad (2.48)$$

Sakai (1968), plaka yükleme deneyi ile N sayısından elde edilen taşıma gücünü karşılaştırarak elastisite modülünü elde etmiştir. Bunun sonucunda ise kayma dalgası hızını N sayısına göre hesaplamıştır. Plaka yükleme deneyinde deformasyon derinlikle değiştiğinden, dairesel yükleme plağı çapının 3-4 katı derinlikteki ortalama deformasyonu kullanarak kayma dalgası hızı ve SPT-N darbe sayısı arasındaki korelasyon aşağıdaki gibidir.

$$V_s=(15-30,5)N^{0,5} \text{ (m/sn)} \quad (2.49)$$

Ohsaki ve Iwasaki (1973), genelde aşağı kuyu ölçümlerinden sağlanan veriler ile, jeolojik yaşın ve zemin tipinin etkisini de dikkate alarak V_s - N ilişkisini basit istatistik analizle incelemişlerdir. Analizde, Ohsaki ve Sakaguchi (1972) tarafından önerilen basitleştirilmiş zemin profili içinde her zemin tipi için ortalama olarak alınan N değerleri kullanılmıştır. Bu yöntemle göre kayma modülü (G) veya kayma dalgası hızının sabit olduğu tabaka içinde, aynı hız veya kayma modülüne ortalama bir N darbe sayısı karşı gelmektedir.

Araştırmacılar, Kanai ve diğ.(1966) verilerini kullanarak kum ve killer için kayma modülleri arasında, tipik arazi yoğunluklarını belirleyerek karşılaştırma yapmışlardır.

Bu çalışmalardan aynı N değerinde kilin daha büyük kayma modülüne sahip olduğu sonucuna varılmış ve Japonya'da kumlar için birim hacim ağırlığı $1,80 \text{ t/m}^3$ kabul edilerek aşağıdaki denklemi elde etmişlerdir.

$$V_s=81,4N^{0,39} \text{ (m/sn)} \quad (2.50)$$

Ohta ve ark. (1972), 18 sahadan toplanan 100 veri ile regresyon analizi yaparak Ohsaki ve Iwasaki (1973)'ye benzer bir bağıntı elde etmiş ve birim hacim ağırlığı 1,80 t/m³ kabul ederek aşağıdaki korelasyonu elde etmiştir.

$$V_s = 87,2N^{0,36} \text{ (m/sn)} \quad (2.51)$$

İmai ve Yoshimura (1975), aşağı kuyu sismik ölçümleri ile 70 sahada 100 sondaj kuyusunda toplanan arazi verilerini kullanarak V_s ' in zemin tipi ve jeoloji ilişkisini inceleyerek V_s ile zeminlerin diğer mühendislik özellikleri arasında iyi sayılabilecek bir korelasyon olduğunu savunmuşlardır. Kayma dalgası hızının Holosen yaşlı alüvyon kumlarda 78-329 m/sn ve Pleistosen dilüvyal kumlarda ise 220-649 m/sn arasında değiştiğini ve daha yaşlı zeminlerin açık olarak daha yüksek değerlerde ve daha geniş sınırlarda V_s ' e sahip olduğunu gösterdiler. Daha yaşlı zeminlerin genç zeminlere göre daha derinlerde olduğu düşünüldüğünde, sahip olduğu efektif yükten dolayı daha fazla V_s ' e sahip olması doğal bir sonuçtur. Bu araştırmacılar, $N - V_s$ ilişkisinde zemin tipinin etkisinin ayırt edilmesinin zor olduğu sonucuna vararak, zemin cinsinden bağımsız olarak tüm verilerle aşağıdaki denkleme ulaşmışlardır.

$$V_s = 92N^{0,329} \text{ (m/sn)} \quad (2.52)$$

3. LABORATUVAR DENEYLERİ

3.1. Atterberg (Kıvam) Limitleri

Killeri tarif ederken granülometri eğrisi ve minerolojinin yetersiz kaldığı durumlarda Atterberg (1913) likit limit ve plastik limit deneyleri kullanılmaktadır. İnce daneli zeminler su muhtevalarına bağlı olarak katı, yarı katı veya sıvı kıvamda olabilirler. İnce daneli zeminlerin çoğu, doğal halde plastik kıvamda bulunur ve bu kıvam aralığını belirleyen en yüksek ve en düşük su muhtevalarına likit limit (LL) ve plastik limit (PL) denir. Zeminin su muhtevsındaki değişim ile kıvamı arasında ilişkinin belirlenebilmesi için rötre, plastik ve likit limitlerinin belirlenmesi gerekmektedir.

3.1.1. Doğal su muhtevası

Bu deney, zemin numunelerinin su muhtevasının belirlenmesi amacıyla yapılmaktadır. Zemin laboratuvar deneylerinde en çok kullanılan ve belirlenmesi en kolay olan su muhtevası, bir zemin örneğinin içerdiği su ağırlığının aynı örneğin kuru ağırlığına oranı olarak tanımlanır ve yüzde olarak ifade edilir.

Doğal su muhtevası deneyi; etüv ($110 \pm 5^\circ \text{C}$ 'de sabit kalabilen termostat kontrollü ve hava dolaşım), terazi (0,01 g duyarlıklı), örnek kapları, fırından örnek çıkartmak için ısıya dayanıklı eldiven, desikatör veya nem kabı, karıştırma spatulası ve bölgeç gibi ekipmanlardan oluşur.



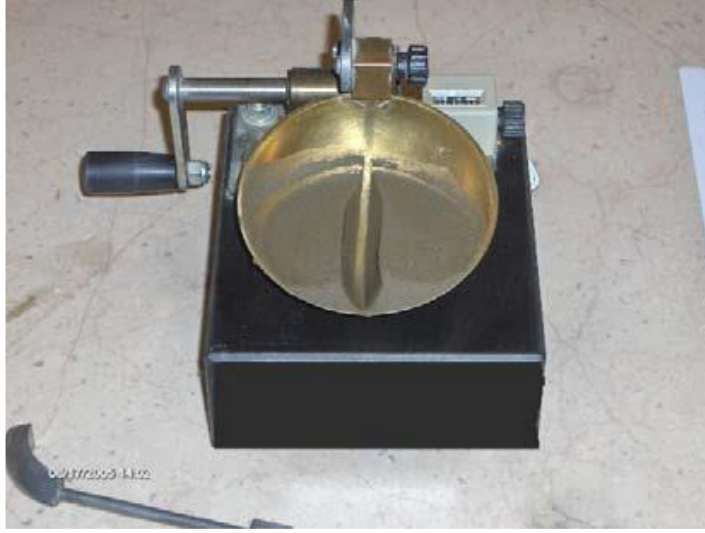
Şekil 3.1. Doğal su muhtevası ekipmanları (etüv ve terazi)

3.1.2. Likit limit

Atterberg'e göre likit limit şöyle tanımlanmıştır: Likit limit öyle bir su muhtevasıdır ki, yoğrulmuş durumdaki bir kil, bu su muhtevasından daha büyük su muhtevalarında bir akışkan gibi hareket etmesine karşın bunun altındaki su muhtevası değerlerinde plastik bir madde gibi davranır.

Likit limit değerinin belirlenmesi için, Casagrande (1932) tarafından bir deney şekli belirlenmiş ve bu deney günümüzde uluslararası bir standart haline gelmiştir. Likit limit deneyi Casagrande likit limit aleti ile tayin edilir. Bu deneyi yapmak için önceden kurumamış kil zemin numunesi damıtık su ile bir kapta spatula yardımı ile karıştırılır. Plastik kıvama gelen numune daha sonra Casagrande aletinin pirinçten üretilmiş çanak kısmına konur. Çanağa koyulmuş kil içerisinde açılan belli ölçüdeki bir yarığın kapanması için gereken vuruş sayısı, kabı belli bir yükseklikten düşürmek kaydıyla bulunur. Su muhtevaları değiştirilerek her yeni durum için vuruş sayıları yeniden tespit edilir ve bu şekilde en az 3 nokta bulunduktan sonra enterpolasyon yöntemi ile $N=25$ vuruş sayısına denk gelen su muhtevası değeri hesaplanır ve bu su muhtevası likit limit olarak tanımlanır. Casagrande aletinde pirinçten mamul çanağının şekli ve ağırlığı, özel kaşıkla açılan yarığın (çentiğin) şekli ve miktarı, düşüşün yüksekliği vb. bir takım standartlarla belirlenmiş olup alet, zemin mekaniği laboratuvarlarında bu standartlara uygun bir biçimde konulmuş olarak bulunmaktadır (Skempton ve Bishop, 1967).

Likit limit deneyi; oluk açma bıçağı, karıştırma spatulası (yaklaşık 10 cm boyunda ve 2 cm genişliğinde), karıştırma kapları, etüv (60°C ve $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 'de sabit kalabilen termostat kontrollü ve hava dolaşım), terazi (0,01 g duyarlılık), su içeriği tayini için metal örnek kapları, desikatör, fırından örnek çıkartmak için ısıya dayanıklı eldiven, no.40 (0,425 mm) elek, plastik su kabı (piset) gibi ekipmanlardan oluşur.



Şekil 3.2. Likit limit deney seti

3.1.3. Plastik limit

Atterberg'e göre plastik limit şöyle tanımlanmıştır: Plastik limit öyle bir su muhtevasıdır ki, bu su muhtevasından daha düşük değerlerde kil numunesi artık plastik bir malzeme olmaktan çıkar ve kolayca ufalanan bir hal alır.

Plastik limitin tayininde en önemli araç, deneyi yapacak olan kişinin yeteneğidir. Deneyden önce eller temiz ve kuru olmalıdır. Plastik limit deneyi, Atterberg tarafından cam plaka veya bir kağıt üzerinde kilin el ayası ile yuvarlanarak inceltiren zemin silindirlerinin 3 mm çapa geldiklerinde parçalanmaya başladıkları su muhtevası olarak tarif edilir (Skempton ve Bishop, 1967).

Plastik limit deneyi; cam plaka, metal veya cam çubuk, karıştırma kabı, karıştırma spatulası, etüv (110 ± 5 ° C'de sabit kalabilen termostat kontrollü ve hava dolaşımı), terazi (0,01 g duyarlılık), su içeriğini belirlemek için kullanılacak olan metal örnek kaplar gibi ekipmanlardan oluşur.



Şekil 3.3. Plastik limit deney seti

3.2. Üç Eksenli Basınç Deneyi

Zeminlerin kayma mukavemetinin tayini için yapılan diğer bir deney de üç eksenli basınç deneyidir. Kesme deneyinde aletin özelliği dolayısıyla tabiat şartlarına uymak zorlaşmaktadır. Üç eksenli basınç deneyinde bu dezavantaj mümkün olduğunca ortadan kaldırılmakta ve numunenin doğada bulunduğu şartlar yaratılmaya çalışılmaktadır. Böylece daha incelikli ve gerçeğe yakın değerler elde etmek mümkün olmaktadır. Bu deney, numuneye verilen çevresel bir basınç altında gittikçe artan bir düşey yük ile kırılma anını bulmak ve bu kırılma anına denk gelen asal gerilmelerden mohr dairelerini çizip, Coulomb'un kayma formülüne ait c ve ϕ değerlerini bulmak esasına dayanmaktadır.

1930lu yıllarda A. Casagrande'nin çalışmaları ile üç eksenli basınç deneyi (eski adı ile silindirik basınç deneyi) önem kazanmıştır. Zeminlerin mühendislik özelliklerinin deneysel olarak belirlenmesinde, deney koşullarının arazi koşullarına mümkün olduğunca uydurulması gerekir. Üç eksenli basınç deneyinde numuneye yanal ve eksenel gerilmeler uygulanarak, zeminin arazi koşullarına yakın yüklemeler altında deneye tabii tutulması sağlanabildiğinden bu deney, kayma mukavemetinin saptanmasında kullanılan en gelişmiş deney yöntemlerinden biridir (Özaydın, 1999). Serbest basınç deneyinden farklı olarak numuneye hücre basıncı uygulanarak zeminin

tabii koşullar altında olduğu gibi Üç boyutlu yüklenmesi sağlanır. Deney iki aşamalı olarak tarif edilebilir:

Aşama 1: Zemin tabakaları arazi şartlarında belirli jeolojik yüklerin etkisi altındadır. Böyle bir ortamdan alınan numuneye, deneye tabii tutulmadan önce her üç doğrultuda hidrostatik gerilme uygulayarak arazi koşullarına yaklaşılmaya çalışılır. Hücre basıncı olarak adlandırılan bu gerilme, drenajlı ya da drenajsız durumda uygulanabilir.

Aşama 2: Numuneye tek doğrultuda eksenel basınç uygulanarak, gerilme deformasyon değişimleri kaydedilir. Kırılmanın gerçekleştiği gerilme belirlenir. Yükleme hızı zeminin permeabilitesine bağlı olarak belirlenir. Bu aşama da, drenajlı ya da drenajsız gerçekleştirilebilir. Drenaja izin verilmediği takdirde, boşluk suyu basıncında oluşan değişim; drenajlı durumda ise numunenin hacim değişikliği saptanmaktadır. Deney, farklı konsolidasyon ve drenaj durumları için uygulanabilir niteliktedir. Numune konsolidasyonlu drenajlı, konsolidasyonlu drenajsız ve konsolidasyonsuz drenajsız deney yöntemleri ile yüklenerek kırılmanın gerçekleşmesi sağlanır.

1. Konsolidasyonlu-drenajlı (CD): Yavaş deney olarak da bilinir. Hidrostatik yükleme ve eksenel yükleme (kesme) aşamalarının her ikisinde de drenaja izin verilir. Kesme, boşluklarda ilave basınç oluşmayacak yavaşlıkta yapılır. Bundan dolayı, efektif ve toplam gerilmeler birbirine eşit olmaktadır. Hacim değişikliği ölçülebilir.

2.Konsolidasyonlu-drenajsız(CU): Konsolidasyonlu çabuk deney olarak adlandırılabilir. Hidrostatik yükleme aşamasında drenaja izin verilerek numunenin konsolide olması (yumuşaması) sağlanırken, eksenel yükleme aşamasında drenaj vanası kapatılır. Numune tamamen konsolide olduğunda eksenel yüklemeye başlanmalıdır.

3. Konsolidasyonsuz-drenajsız (UU): Çabuk deney olarak da ifade edilebilir. Gerek hücre basınç mm uygulanmasında, gerekse eksenel yüklemeye drenaja müsaade edilmez. Hücre basıncı uygulanır uygulanmaz eksenel yüklemeye başlanmalıdır.

Deneyde kullanılan ekipmanlar:

- Üç Eksenli Basınç Aleti
- Vakum Kaynağı

- Numune (TS 1900' e göre çapı 3.5cm – 11cm arası, yüksekliği ise çapının iki katı dolaylarında olan bir silindirik numune),
- Poroz Taş (numune çapına uygun)
- Filtre Kağıdı
- Etüv
- Lastik Membran (TS 1900'e göre çapı deney numunesi çapına eşit, boyu ise numune boyundan 5cm daha uzun olmamalıdır, 0,25 mm kalınlığında bir membran yeterlidir), kıl testere,
- Düşey Deformasyon Saati(TS 1900'e göre 0,01 mm duyarlıklı mikrometrelili saat)
- Silindir Hücre (TS 1900'e göre hücre içinde basınç 5kPa hassasiyetle uygulanabilmelidir.) (BS 1377'ye göre 1000 kN/m² iç basınca kadar dayanabilmeli.)



Şekil 3.4. Üç eksenli basınç deney seti

Killi zeminler kayma mukavemetinin bir kısmını sürtünmeden aldıkları halde, su içerikleri değişmeden yüklendiklerinde sadece kohezyona bağlı mukavemet gösterirler. Killi zeminlerin üç eksenli basınç deneyi sonucunda bulunan kayma mukavemeti incelendiğinde Denklem (3.1) elde edilmiştir.

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (3.1)$$

Burada,

τ : Kayma mukavemeti

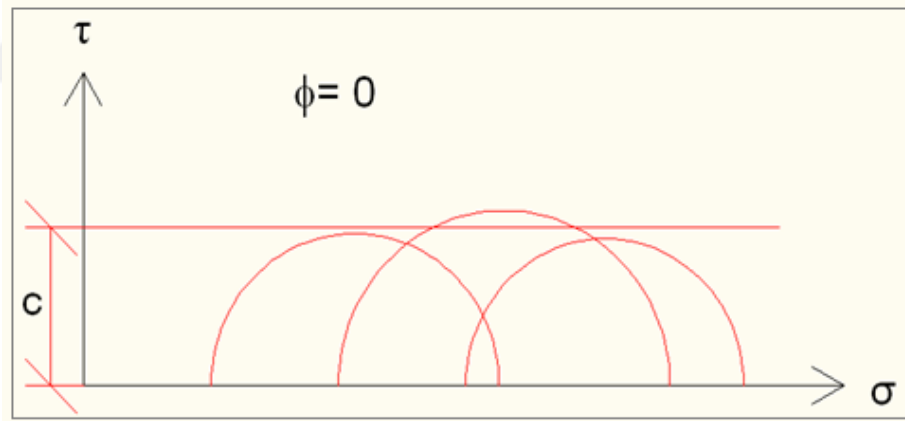
c : Kohezyon

σ : Toplam basınç

ϕ : Kayma mukavemeti açısı

C_u : Drenajsız kayma mukavemetidir.

Kohezyonlu doymun zeminler için, $\phi = 0$ ve $\tau = C_u = c$ olur.



Şekil 3.5. Üç eksenli basınç deneyi kayma gerilmesi- düşey basınç grafiği

3.3. Serbest Basınç Deneyi (UC)

Serbest basınç deneyi üç eksenli basınç deneyinin özel bir halidir. Üç eksenli kesmede numune üç yönden basınç altındadır. Serbest basınçta ise yanal basınç yoktur ve herhangi bir yanal destek olmaksızın kendi kendini dik olarak ayakta tutabilecek özelliklere sahip zeminler üzerinde uygulanabilmektedir. Bu yüzden kumlar üzerinde uygulanması mümkün değildir, yalnızca killi zeminlerde uygulanan bir deney yöntemidir. Serbest basınç deneyi, örselenmemiş kohezyonlu numuneler üzerinde

yapılır ve deney sonucunda serbest basınç mukavemeti elde edilir. Numunenin kırıldığı gerilme değeri, numunenin serbest basınç mukavemeti olarak adlandırılır (Karayolları Genel Müdürlüğü, 1965).

Deneyde kullanılan ekipmanlar :

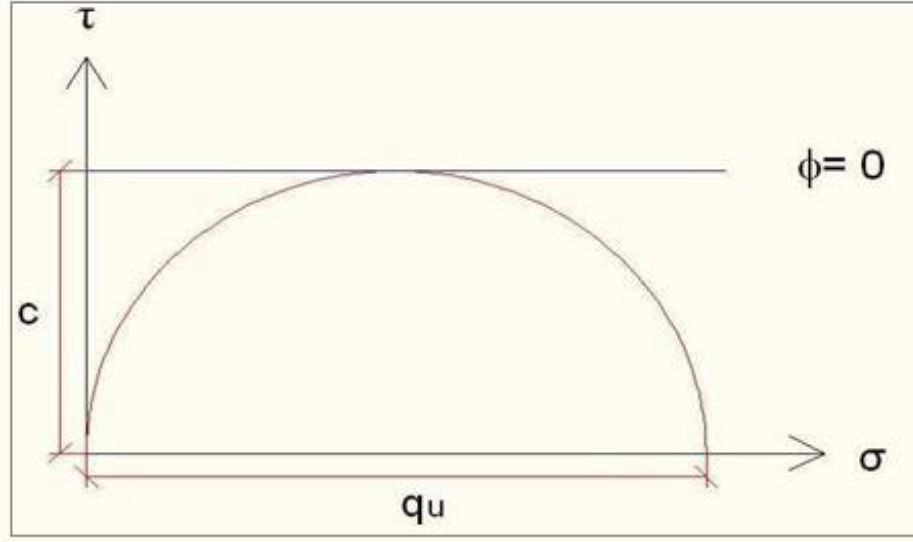
- Tek Eksenli Basınç Aleti (Şekil 3.6)
- Etüv Aleti
- Kıl Testere
- Numune (TS 1900'e göre ve BS 1377'ye göre 38 mm çap ve 76 mm yükseklikte)
- Numune Hazırlama Aparatı
- Düşey Deformasyon Saati(TS 1900'e göre 0,01 mm duyarlıklı mikrometreli saat)
- Tartı (TS 1900'e ve BS 1377'ye göre 0,5g duyarlıklı tartı)



Şekil 3.6. Tek eksenli basınç deney cihazı

Tek eksenli basınç deneyinde yanal basınç yoktur ve aynı numuneye yapılacak bütün deneyler aynı mohr dairesini verecektir (Şekil 3.7). Bu nedenle de içsel sürtünme açısını ϕ bulmak söz konusu değildir. Gerçekten de normal konsolide suya doymun zeminlerde açısının değeri sıfır sayılabilir. Kayma direncinin değeri ise basınç direncinin yarısı olarak hesaplanır. Eşitlik (3.2) elde edilen q_u değeri ile numunenin konsistansı belirlenebilir.

$$\tau = c_u = q_u / 2 \quad (3.2)$$



Şekil 3.7. Tek eksenli basınç deneyi kayma gerilmesi - düşey basınç grafiği

4. REGRESYON VE KORELASYON ANALİZLERİ

Mühendislik alanında yapılan çalışmalarda genellikle bir değişken başka değişkenler yardımıyla tanımlanır. Değişkenler arasında bir ilişki olup olmadığını, eğer varsa bu ilişkinin şeklini ve derecesini araştırmak için istatistiğin regresyon ve korelasyon analizi metotları kullanılır. Eğer, değişkenler arasında bir ilişki olduğu bulunabiliyorsa, bu ilişki en iyi şekilde ancak matematik fonksiyon olarak tanımlanabilir. Bu fonksiyon, ilişkinin sekline göre lineer bir doğru veya bir eğri denklemi şeklinde ifade edilebilir (Bayazıt, 1996).

Üzerinde durulan değişkenlerden birinin bağımlı (y), diğerinin bağımsız (x) olması durumunda y'nin x'in bir fonksiyonu olarak ifade eden ilişkiye regresyon denir.

Regresyon analizi, bağımlı değişken ile bir veya daha çok bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla kullanılan bir analiz yöntemidir. İki değişken arasında belirgin bir ilişki olduğunda, bu ilişki dağılım grafiğindeki noktalar arasından geçen uygun bir doğru olarak tanımlanabilir. Bu doğruya regresyon doğrusu denir ve matematiksel olarak bir denklem ile gösterilebilir. Bu denkleme, regresyon denklemi denir. Regresyon analizi iki değişken arasındaki ilişkinin yalnızca şeklini, belirlerken; kuvveti, yönü ve doğrunun veya eğrinin verilere uyumluluğu hakkında bilgi vermez. İlişkinin yönünün, derecesinin ve istatistiksel olarak anlamlılığının tayini korelasyon katsayısı (r) ile ifade edilmektedir.

Regresyon doğrusunun denklemi;

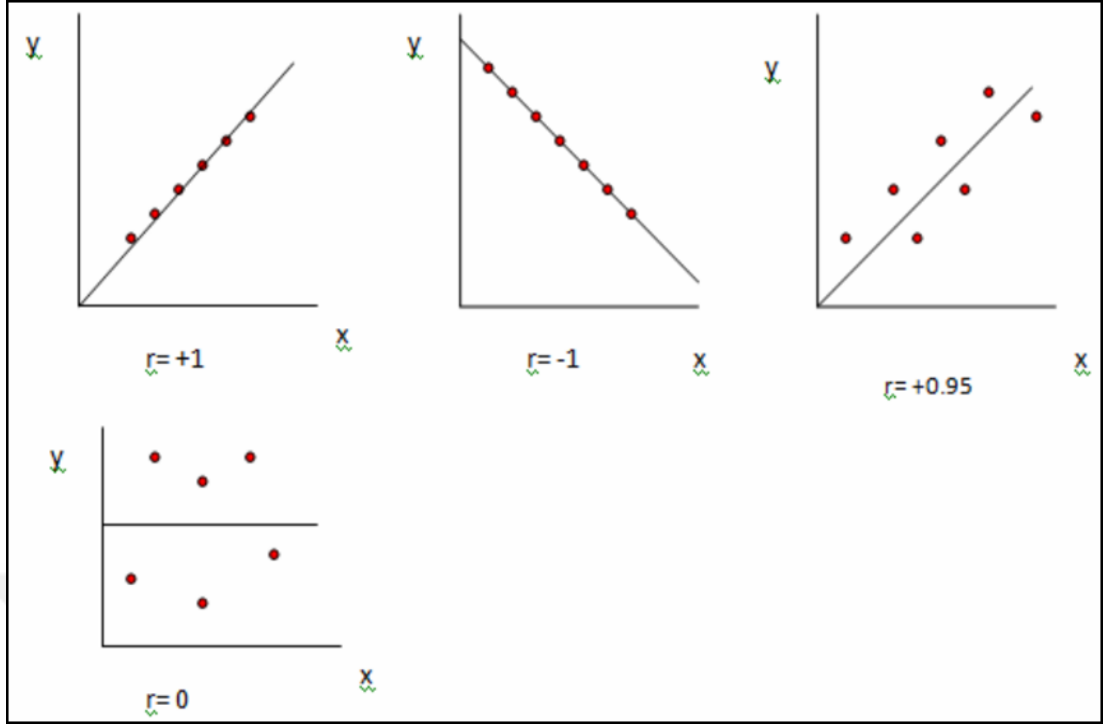
$$y=a+bx$$

y=Bağımlı değişken

a=Regresyon sabiti

b=Regresyon katsayısı

x=Bağımsız değişken



Şekil 4.1. Korelasyon katsayısının (r) grafiksel gösterimi

$y=a+bx$ şeklindeki lineer regresyonun anlamlılığı %5 anlamlılık düzeylerinde incelendiğinde (t test), $b=0$ ve $a \neq 0$ olduğu bulunur. Böylece $y=a+bx$ şeklindeki doğrusal regresyon denklemi $y=bx$ şeklini alır.

r 'nin değeri -1 ile +1 arasında değişebilmektedir. Mutlak değer 1 olması iki değişken arasında fonksiyonel bir ilişki olduğunu, 0 olması ise değişkenlerin birbirinden bağımsız olduğunu gösterir. r 'nin mutlak değeri 0'dan 1'e doğru büyüdükçe ilişki kuvvetlenir. Korelasyon katsayısının (r) karesine eşit olan "determinasyon katsayısı" (R^2), bağımlı değişkenin (y) varyansının bağımsız değişkenin değişiminden kaynaklanan yüzdesini verir. Bu nedenle R^2 regresyon bağıntısının anlamlılığının bir ölçüsüdür. R^2 'nin değeri 1'e yaklaştıkça regresyonun anlamlılığı giderek artar (Toğrol ve Toğrol, 1967).

Regresyon denkleminin standart hatası (s), bize elde edilecek sonuçların doğru veya eğri üzerinde hangi aralıkta değiştiğini göstermektedir. R^2 ve s tek başına anlam ifade etmez. Geliştirilen istatistiksel modelin anlamlılık açısından en uygun olduğuna karar vermek için, geliştirilen modelin aynı anda en yüksek r' ye ve en düşük s' ye sahip olması gerekir.

Regresyon

Giriş

Y Giriş Aralığı: SDS2:SDS148

X Giriş Aralığı: SAS2:SCS148

Etiketler Sabit Sıfır

Güvenirlilik Düzeyi % 95

Çıkış seçenekleri

Çıkış Aralığı: SMS4

Yeni Sayfa:

Yeni Çalışma Kitabı

Farklar

Farklar Fark Çizimi

Standart Farklar Hat Uyumu Çizimi

Normal Olasılık

Normal Olasılık Çizimi

Tamam
İptal
Yardım

ÖZET ÇIKIŞI

Regresyon İstatistikleri

Çoklu R	0.96127
R Kare	0.924041
Ayarlı R Kare	0.916041
Standart Hata	16.12107
Gözlem	147

ANOVA

	df	SS	MS	F	Anlamlılık F
Regresyon	3	455261.8	151753.9	583.9184	5.33E-80
Fark	144	37424.01	259.889		
Toplam	147	492685.8			

	Katsayılar	Standart Hata	t Stat	P-değeri	Düşük %95	Üçsek %95	Üçsek %95.0	Yüksek %95.0
Kesilim	0	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK
X Değişkeni 1	0.804064	0.130435	6.164498	6.73E-09	0.54625	1.061878	0.54625	1.061878333
X Değişkeni 2	0.914418	0.202781	4.50938	1.34E-05	0.513606	1.315231	0.513606	1.315231033
X Değişkeni 3	0.081761	0.062026	1.318164	0.189542	-0.04084	0.204361	-0.04084	0.204361092

Şekil 4.2. Excel'de regresyon analizi örneği

5. KARABÜK İLİNDE YAPILAN SPT-N İLE ZEMİN PARAMETRELERİ KORELASYONLARI

Bu tez çalışması kapsamında, Karabük ili sınırları içerisinde, yerel zemin koşullarının belirlenmesi amacıyla farklı şirketler tarafından hazırlanan toplam 363 adet zemin etüd raporu ve zemin sondaj logları toplanmıştır. Zemin etüd raporlarının 157 adedi yalnızca araştırma çukuru loglarına göre hazırlandığından, yapılmış olan sondajlardan 206 tanesine ait veriler kullanılmıştır.

Zemin inceleme programlarında sıkça tercih edilen arazi deneylerinden SPT deney sonuçları ile zemin incelemesi sırasında alınan örselenmemiş zemin numuneleri üzerinde laboratuvarda yapılmış olan deneylerden elde edilen SPT-N darbe sayısı, kohezyon (c), doğal su muhtevası (W_n), içsel sürtünme açısı (ϕ), likit limit (LL), plastik limit (PL), plastisite indisi (PI) gibi zeminlerin çeşitli özellikleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır.

Mühendislik alanındaki çalışmalarda en önemli sorunlar iki veya daha fazla değişkenin arasındaki ilişkinin incelenmesi sırasında ortaya çıkmaktadır. Geoteknik Mühendisliği uygulamalarında, zemin numunelerinin alınmasında, numuneler üzerinde laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmesindeki güçlükler, bu işlemlerin maliyetinin yüksek olması ve fazla zaman gerektirmesi nedenleri ile sınırlı sayıda bilgi ile çözüme gidilme yolu tercih edilmektedir (Toğrol ve Sivrikaya, 2009).

Bu durumda, arazi deneylerinden elde edilen sonuçların önemi ortaya çıkmaktadır. Arazide doğal koşullarda uygulanan deney teknikleri ile elde edilen bilgilerden zemin özelliklerini belirlemek son yıllarda çeşitli bilim adamları tarafından da uygun görülmüştür.

Bu çalışmanın ilk aşamasında Kocaeli İlinde yapılan zemin incelemelerindeki SPT arazi çalışmaları verileri incelenmiştir. SPT deneyinden elde edilen numunelere ait zemin sınıflandırması ve mukavemet parametreleri testleri yapılmış bu deneylere karşılık gelen SPT-N darbe sayıları sondaj loglarından tespit edilmiştir.

İkinci aşamasında ise deneyin uygulamasına göre SPT-N_a değerlerinde düzeltmeler yapılarak SPT-N₆₀ değerleri hesaplanmıştır. SPT-N₆₀ değerleri ile mühendislik parametreleri arasında Excel’de regresyon analizi yapılarak anlamlı korelasyonlar elde edilmeye çalışılmıştır. Bulunan bağıntıların istatistiksel olarak anlamlılığı korelasyon katsayısı (r) ve standart sapma (s) değerleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Korelasyon katsayısı (r) iki değişkenin değişimlerinde, ne dereceye kadar uygunluk olduğunu belirler. ‘r’ değeri; herhangi iki parametre arasındaki ilişki (r < 0,30) ilişki olmadığı, (0,3 < r < 0,499) zayıf bir ilişki, (0,5 < r < 0,699) orta ilişki, r > 0,7 güçlü bir ilişki olduğu anlamına gelmektedir.

5.1. SPT-N ile Kohezyon (c) Arasındaki İlişkiler

Zemin etüd raporlarından alınarak Excel programına kaydedilen toplam 206 adet veri arasında korelasyon yapabilmek için SPT-N_a verilerinde aletsel detaylar ve deney uygulama yöntemine bağlı olarak enerji düzeltmesi (E_m), tij uzunluğu düzeltmesi (C_R), sondaj çapı düzeltmesi (C_B), numune alıcı kılıf düzeltmesi (C_S), düzeltmeleri yapılmıştır.

SPT-N verilerinde düzeltmede sondaj çapları 100 mm çapında olduğu için C_B=1 (Skempton,1986), numune alıcısı kılıfsız kullanıldığı için C_S=1 (Skempton, 1986), enerji düzeltmesi Türkiye koşullarına uygun olan C_E=%45 ve tijin uzunluğuna bağlı olarak C_R için Tablo 1.1’deki düzeltme faktörleri kullanılmıştır. Bu çalışma yapılırken killi zeminler için tartışmalı olan C_N düzeltmesi dikkate alınmamıştır. Düzeltmeler eşitlik (5.1)’de yerine konduğunda eşitlik (5.2) elde edilmiştir.

N₆₀ şeklinde gösterilen düzeltme aşağıdaki ifadelerle verilmektedir (McGregor and Duncan, 1988).

$$N_{60} = \frac{C_E C_B C_S C_R N_a}{60} \quad (5.1)$$

$$N_{60} = 1.1.45.C_R.N_a/60 = 0,75.C_R.N_a \quad (5.2)$$

Eşitlik (5.2) kullanılarak SPT-N değerlerinde gerekli olan düzeltmeler yapılmıştır.

Burada;

N_{60} = Teorik serbest düşme tokmak enerjisinin % 60'ına göre düzeltilmiş vuruş sayısı,

N_a = Arazide ölçülen darbe sayısıdır.

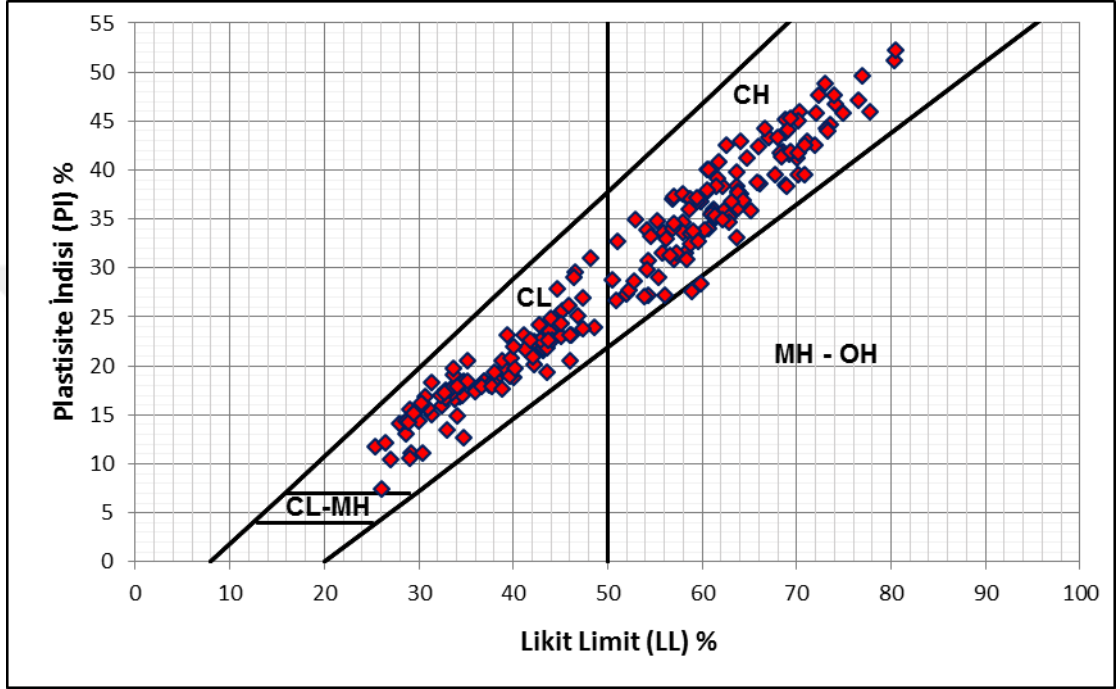
Killi zeminlerde arazide ölçülen 206 adet SPT vuruş sayılarında (N_a), Denklem (5.2) kullanılarak düzeltme yapılmıştır. Elde edilen verilerden seçilen bir kısmı Tablo 5.1'de verilmiştir.

Bu bölümde aynı tür zeminler üzerinde ölçülen SPT– N darbe sayısı ve kohezyon (c) değerlerinin birbirleriyle ilişkileri araştırılarak, aralarında bir korelasyon geliştirilmiştir.

Tablo 5.1. Çalışmada kullanılan verilerin bir kısmı

N_a	N_{60}	c (kPa)
9	9,00	51,49
9	9,00	49,62
16	21,38	25,40
10	10,13	34,23
19	24,94	28,05
17	17,44	46,39
20	23,06	31,87
11	10,69	61,78
10	14,96	39,62
16	16,31	28,83
18	19,13	62,76
18	18,00	44,82
36	35,70	50,21
24	24,19	56,88
17	17,44	46,97
17	18,00	47,76
18	19,13	42,37
23	22,50	35,60
25	26,44	59,82
13	12,38	31,38
13	12,38	65,71
11	10,69	29,42
11	10,69	59,82
11	11,81	33,34
14	14,63	58,84
14	15,19	63,74

Özellikle killi zeminlerde yapılan SPT deney sonucunu etkileyen faktörlerden biri de zeminin plastisitesidir. Bu nedenle kohezyon ile SPT vuruş sayıları arasında korelasyon yapabilmek için bu durumu göz önüne almak gerekir. Korelasyon yapmadan önce düşük plastisiteli ($LL < 50$) ve yüksek plastisiteli ($LL > 50$) zeminler gruplandırılmıştır.



Şekil 5.1. Analizde kullanılan numunelere ait plastisite kartı

Sondajlardan alınan örselenmemiş numuneler üzerinde gerçekleştirilen toplam 206 adet konsolidasyonsuz drenajsız üç eksenli basınç deneyi (UU) sonuçları kullanılarak SPT-N ile c arasında söz konusu zeminler için ilişkiler incelenmiştir. İncelenen numunelerin likit limit değerleri kullanılarak yapılan gruplamaya göre sayıları Tablo 5.2’de verilmiştir

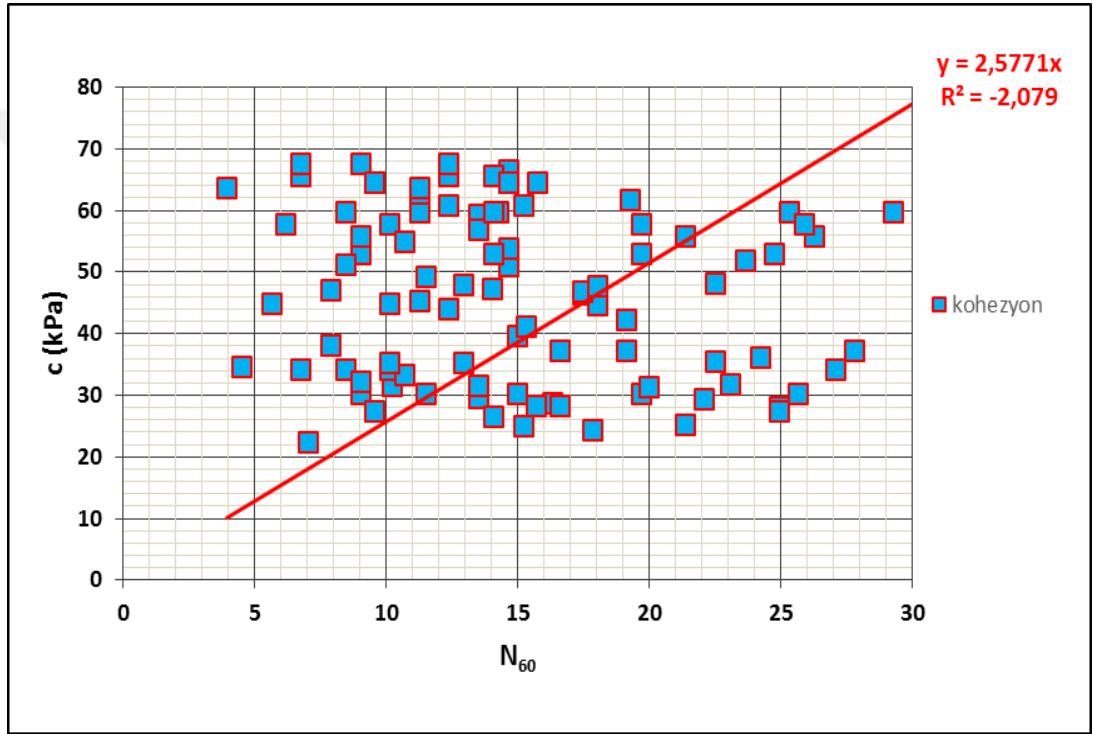
Tablo 5.2. Analiz için kullanılan numunelerin sayısı

Likit Limit	Veri Sayısı (n)
$LL < 50$	97
$LL > 50$	109

Bu bölümde regresyon ve korelasyon analizleri; düşük plastisiteli killer ve yüksek plastisiteli killer için ayrı ayrı yapılp her biri için regresyon denklemleri elde edilmiştir.

5.1.1. Düşük plastisiteli killer (LL < 50)

Bu bölümde düşük plastisiteli killer için araziden elde edilen 97 adet SPT düzeltmesi yapılmış SPT-N₆₀ değerleri ile kohezyon (c) arasındaki ilişkiler araştırılmıştır.



Şekil 5.2.SPT-N₆₀ ile c arasındaki ilişki

Regresyon analizi incelendiğinde korelasyon katsayısı (r) $-1 \leq r \leq +1$ arasında çıkmamıştır. Bu yüzden düzeltilmiş SPT-N değeri (N₆₀), killi zeminlerde zeminin mühendislik parametrelerini etkileyen önemli faktörlerden olan doğal su muhtevası (W_n) ve plastisite indisi (PI) bağımsız değişken olarak kabul edilmiş, bağımlı değişken olarak da kohezyon (c) kabul edilmiştir. Bu bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında regresyon analizleri yapılmış olup aşağıdaki eşitlik elde edilmiştir. Önerilen bağıntının korelasyon katsayısı 1'e oldukça yakın çıkmıştır.

$$(B\&VC1) \rightarrow c^* = 1,69 PI + 0,79 W_n - 0,04N_{60}, \quad r=0,97, \quad s=11,72 \quad (5.3)$$

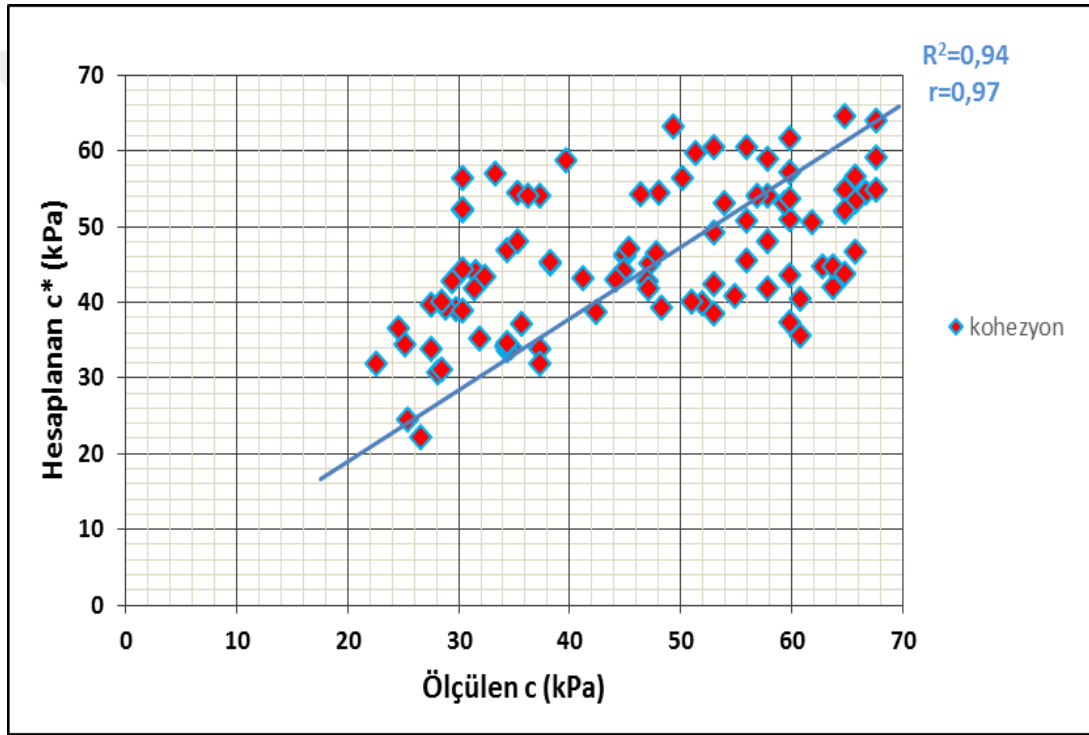
Burada;

c^* : Bağıntı ile hesaplanan kohezyon (c) değeri

PI: Plastisite indisi

W_n : Doğal su muhtevası

N_{60} : Düzeltilmiş SPT-N değeri

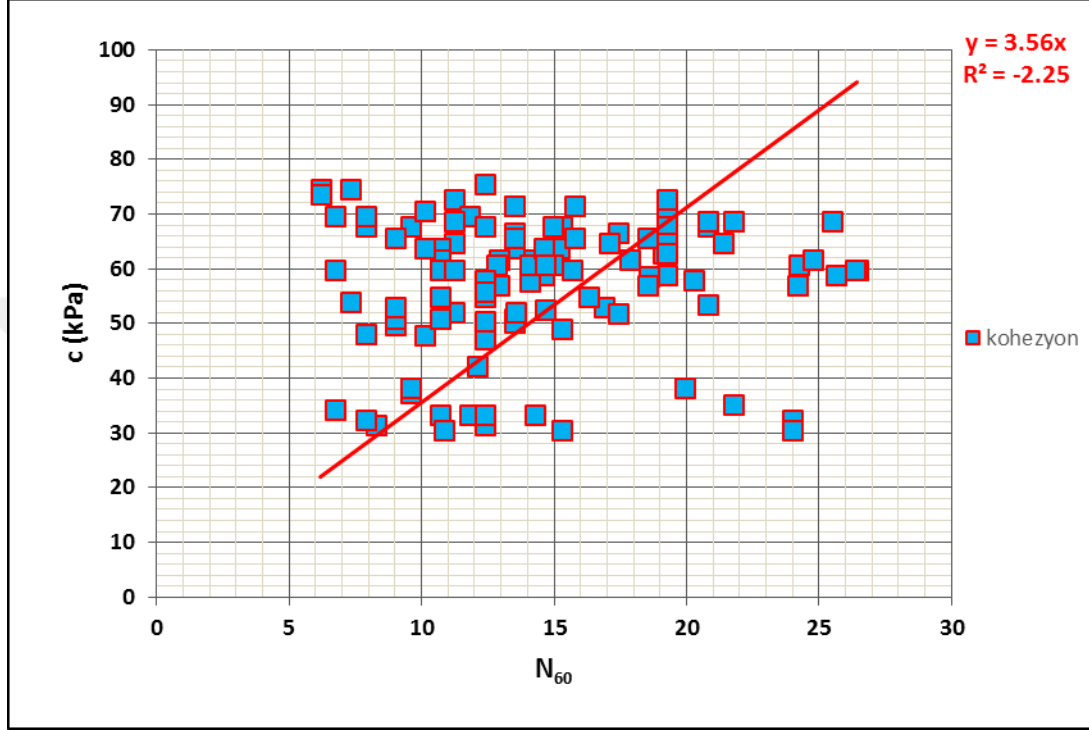


Şekil 5.3. Hesaplanan ve ölçülen kohezyon (c) arasındaki ilişki

Konsolidasyonsuz drenajsız üç eksenli basınç deneyi sonuçları kullanılarak doğrusal denklem cinsi için ölçülen ve hesaplanan kohezyon (c) arasındaki korelasyon bulunmuştur. Grafiği Şekil 5.3 ile gösterilmiştir. Bu korelasyon sonucu SPT-N darbe sayısı ile kohezyon arasında plastisite indisi ve doğal su muhtevasına bağlı güçlü bir ilişki olduğu tespit edilmiştir.

5.1.2. Yüksek plastisiteli killer (LL > 50)

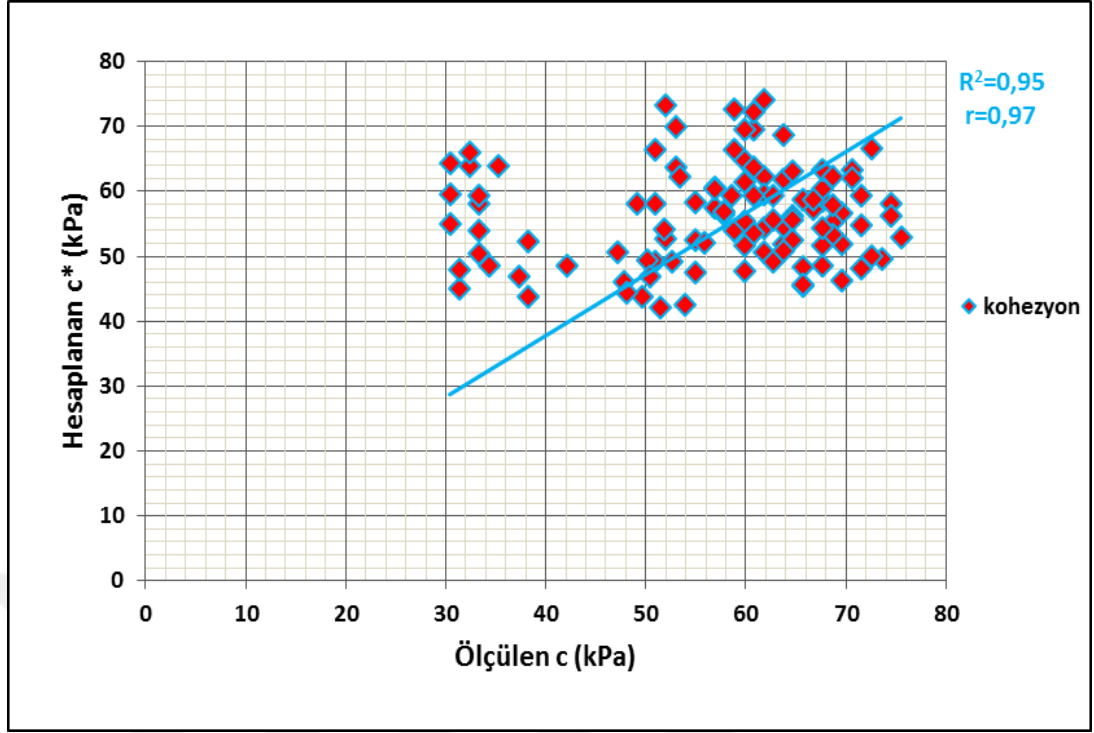
Bu bölümde yüksek plastisiteli killer için araziden elde edilen 109 adet SPT düzeltmesi yapılmış SPT-N₆₀ değerleri ile kohezyon (c) arasındaki ilişkiler araştırılmıştır.



Şekil 5.4.SPT-N₆₀ ile c arasındaki ilişki

Regresyon analizi incelendiğinde korelasyon katsayısı (r) $-1 \leq r \leq +1$ arasında çıkmamıştır. Bu yüzden düzeltilmiş SPT-N değeri (N₆₀), killi zeminlerde zeminin mühendislik parametrelerini etkileyen önemli faktörlerden olan doğal su muhtevası (W_n) ve plastisite indisi (PI) bağımsız değişken olarak kabul edilmiş, bağımlı değişken olarak da kohezyon (c) kabul edilmiştir. Bu bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında regresyon analizleri yapılmış olup aşağıdaki eşitlik elde edilmiştir. Önerilen bağıntının korelasyon katsayısı 1'e oldukça yakın çıkmıştır.

$$(B\&VC2) \rightarrow c^* = 0,71 PI + 0,92 W_n + 0,55 N_{60}, \quad r=0,97, \quad s=13,68 \quad (5.4)$$



Şekil 5.5. Hesaplanan ve ölçülen kohezyon (c) arasındaki ilişki

5.1.3. SPT-N ile konsolidasyonsuz drenajsız üç eksenli basınç deneyinden elde edilen kohezyon (c) ilişkisi

Sondajlardan alınan örselenmemiş numuneler üzerinde gerçekleştirilen toplam 293 adet konsolidasyonsuz drenajsız üç eksenli basınç deneyi verileri kullanılarak SPT-N ile kohezyon arasında söz konusu zeminler için ilişkiler incelenmiştir

Konsolidasyonsuz drenajsız üç eksenli basınç deneyi sonuçları kullanılarak doğrusal denklem cinsi için SPT-N ile c arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Teorik serbest düşme tokmak enerjisinin %60'ına göre düzeltilmiş vuruş sayısı (N_{60}) kullanılarak araştırmacıların kohezyon değerleri yeniden hesaplanmıştır. Elde edilen 206 değerden seçilen bir kısmı Tablo 5.3'de verilmiştir.

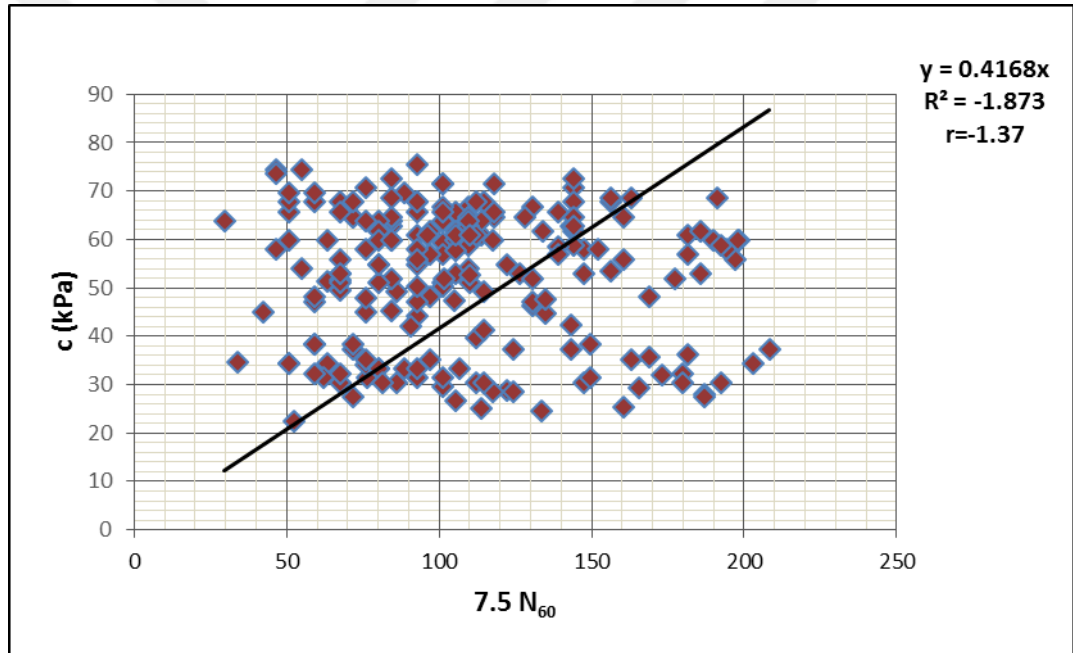
Tablo 5.3. Çalışmada kullanılan verilerin bir kısmı

N ₆₀	Tschebotarioff (1973)	Parcher & Means (1968)	Terzaghi &Peck (1967)	İyisan & Ansal (1990)	Sivrikaya & Toğrol (2002)	Nassaji &Kalantari (2011)
	7,5N	6,25N	6,67N	4,43N+8,07	4,75N	1,6N+15,4
21,38	160,31	133,59	142,57	102,76	101,53	49,60
19,69	147,66	123,05	131,32	95,29	93,52	46,90
4,50	33,75	28,13	30,02	28,01	21,38	22,60
9,00	67,50	56,25	60,03	47,94	42,75	29,80
22,50	168,75	140,63	150,08	107,75	106,88	51,40
14,63	109,69	91,41	97,55	72,86	69,47	38,80
10,13	75,94	63,28	67,53	52,92	48,09	31,60
13,50	101,25	84,38	90,05	67,88	64,13	37,00
15,19	113,91	94,92	101,30	75,35	72,14	39,70
15,19	113,91	94,92	101,30	75,35	72,14	39,70
11,25	84,38	70,31	75,04	57,91	53,44	33,40
10,13	75,94	63,28	67,53	52,92	48,09	31,60
13,50	101,25	84,38	90,05	67,88	64,13	37,00
9,00	67,50	56,25	60,03	47,94	42,75	29,80
5,63	42,19	35,16	37,52	32,99	26,72	24,40
10,20	76,50	63,75	68,03	53,26	48,45	31,72
6,75	50,63	42,19	45,02	37,97	32,06	26,20
7,01	52,59	43,83	46,77	39,14	33,31	26,62
9,56	71,72	59,77	63,78	50,43	45,42	30,70
14,03	105,19	87,66	93,55	70,20	66,62	37,84
8,44	63,28	52,73	56,28	45,45	40,08	28,90
11,48	86,06	71,72	76,54	58,90	54,51	33,76
19,24	144,28	120,23	128,31	93,29	91,38	46,18
12,94	97,03	80,86	86,29	65,38	61,45	36,10
19,13	143,44	119,53	127,56	92,79	90,84	46,00
14,06	105,47	87,89	93,80	70,37	66,80	37,90
21,38	160,31	133,59	142,57	102,76	101,53	49,60
10,13	75,94	63,28	67,53	52,92	48,09	31,60
24,94	187,03	155,86	166,33	118,54	118,45	55,30
17,44	130,78	108,98	116,31	85,32	82,83	43,30
23,06	172,97	144,14	153,83	110,24	109,55	52,30
14,96	112,22	93,52	99,80	74,35	71,07	39,34
16,31	122,34	101,95	108,80	80,33	77,48	41,50
18,00	135,00	112,50	120,06	87,81	85,50	44,20
17,44	130,78	108,98	116,31	85,32	82,83	43,30
18,00	135,00	112,50	120,06	87,81	85,50	44,20
19,13	143,44	119,53	127,56	92,79	90,84	46,00
22,50	168,75	140,63	150,08	107,75	106,88	51,40
12,38	92,81	77,34	82,54	62,89	58,78	35,20
6,19	46,41	38,67	41,27	35,48	29,39	25,30

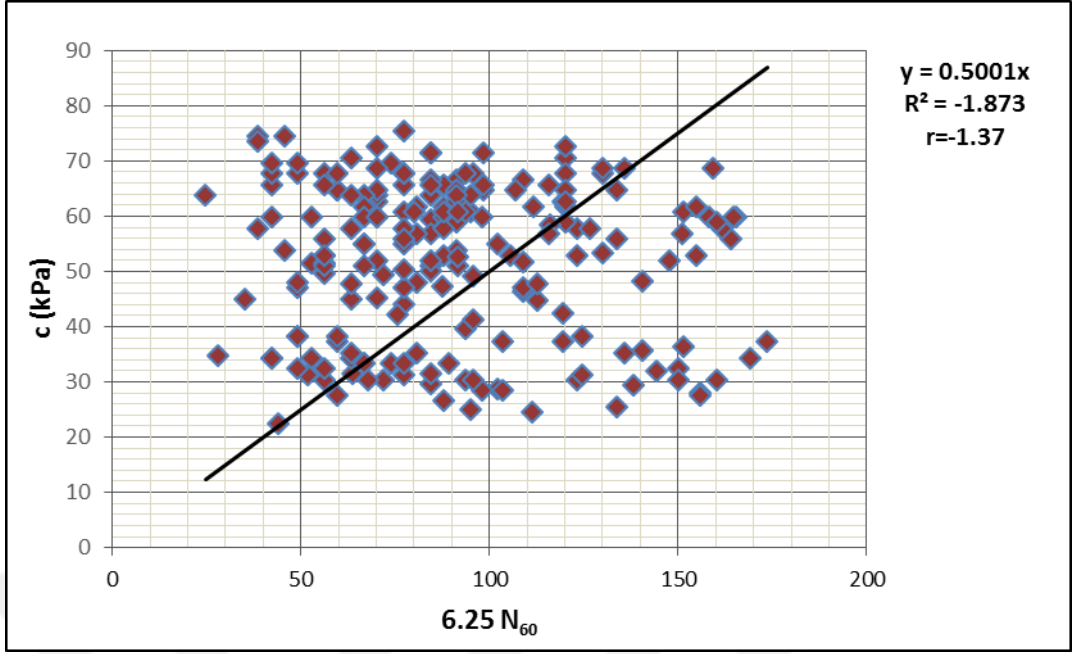
Elde edilen ifadeler ve özellikleri Tablo 5.4’de özetlenmiştir. Bu ifadeler incelendiğinde, korelasyon katsayılarının 0,85 ~ 1,40 değerleri arasında olduğu görülmektedir. İncelenen ilişkilere ait grafikler aşağıda verilmiştir.

Tablo 5.4. SPT-N ile c arasındaki ilişkiler (üç eksenli basınç deneyi)

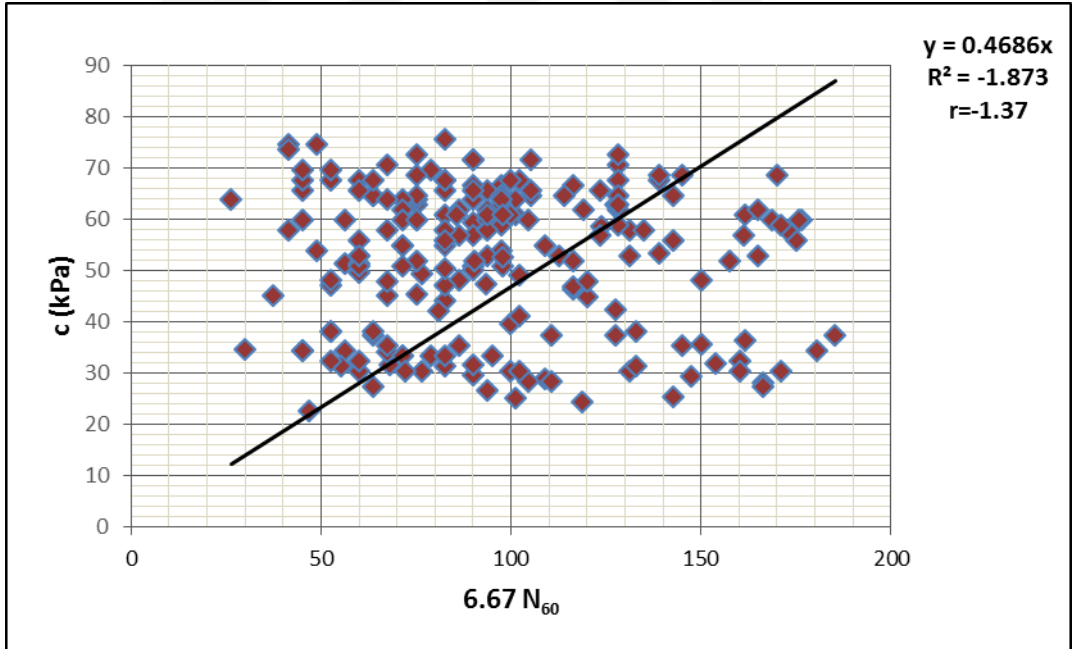
Araştırmacılar	C (kPa)	Korelasyon katsayısı (r)
Tschebotarioff (1973)	0,417(7,5N ₆₀)	-1,37
Parcher ve Means (1968)	0,5(6,25N ₆₀)	-1,37
Terzaghi ve Peck (1967)	0,467(6,67N ₆₀)	-1,37
İyisan ve Ansal (1990)	0,644(4,43N ₆₀ +8,07)	-1,24
Sivrikaya ve Toğrol (2007)	0,658(4,75N ₆₀)	-1,37
Nassaji ve Kalantari (2011)	1,28(1,6N ₆₀ +15,4)	-0,88



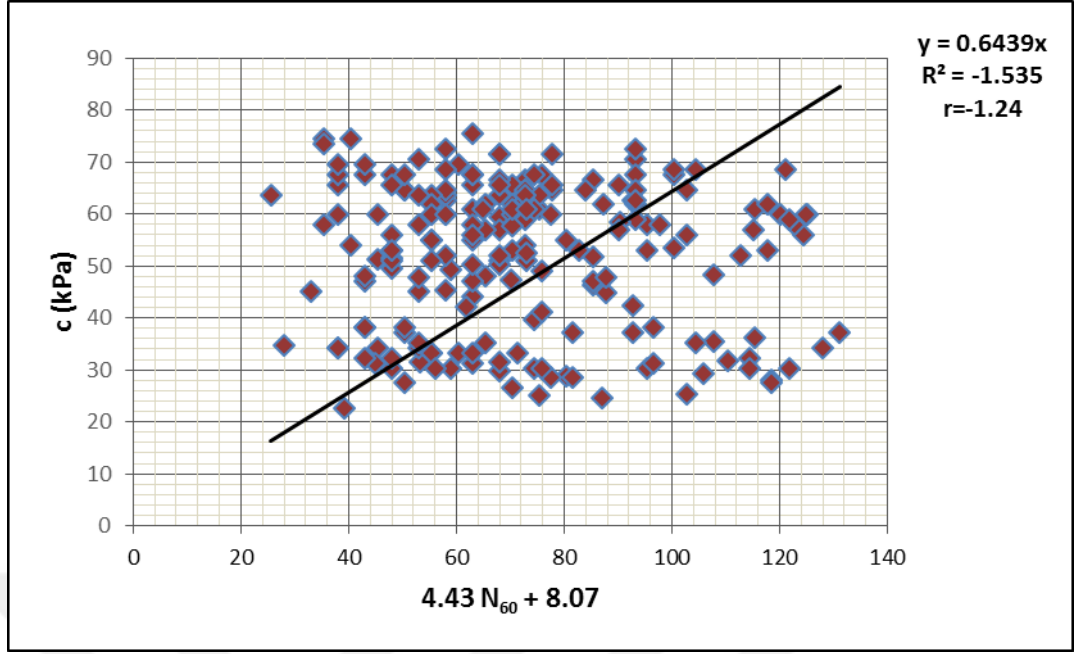
Şekil 5.6. Tschebotarioff (1973)'e göre SPT-N₆₀ & c ilişkisi



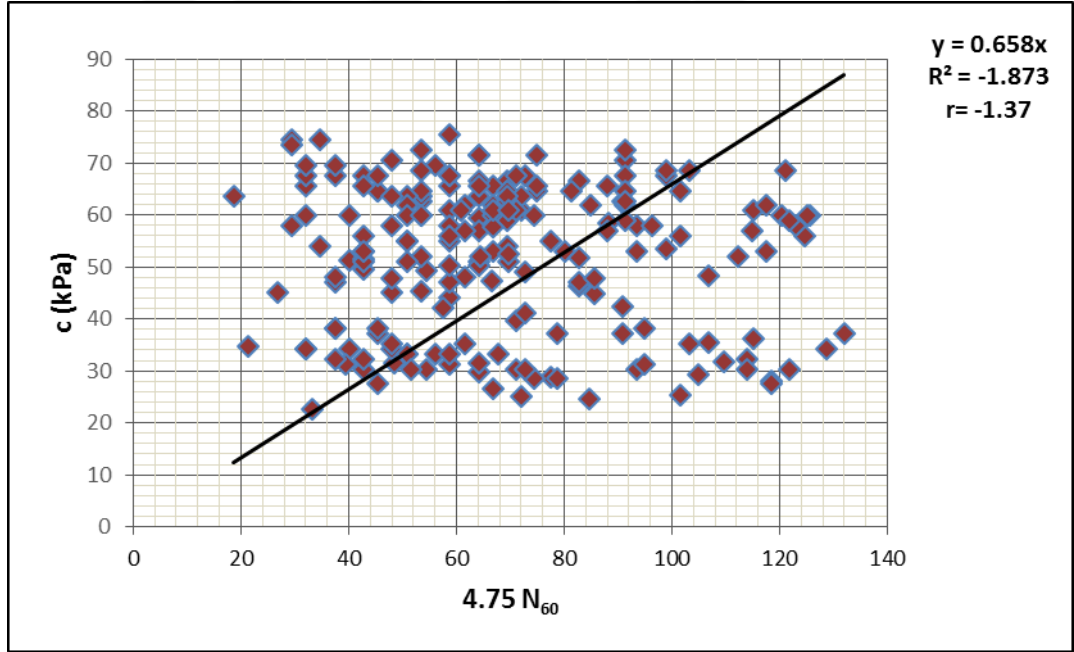
Şekil 5.7. Parcher ve Means (1968)'e göre SPT-N₆₀ & c ilişkisi



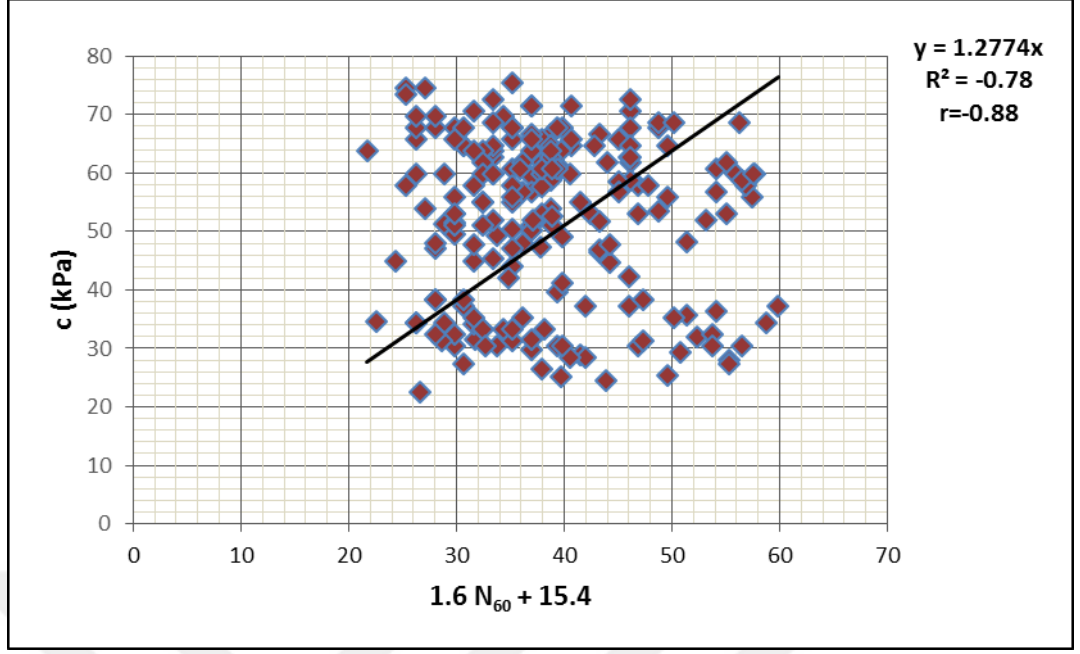
Şekil 5.8. Terzaghi ve Peck (1967)'e göre SPT-N₆₀ & c ilişkisi



Şekil 5.9. İyisan ve Ansal (1990)'a göre SPT-N₆₀ & c ilişkisi



Şekil 5.10. Sivrikaya ve Toğrol (2007)'a göre SPT-N₆₀ & c ilişkisi



Şekil 5.11. Nassaji ve Kalantari (2011)'a göre SPT- N_{60} & c ilişkisi

Gerçekleştirilen regresyon ve korelasyon analizleri sonucunda elde edilen kohezyon değerlerinin bir kısmı Tablo 5.5' de verilmiştir.

Tablo 5.5. Analiz sonucunda elde edilen kohezyon değerlerinin bir kısmı

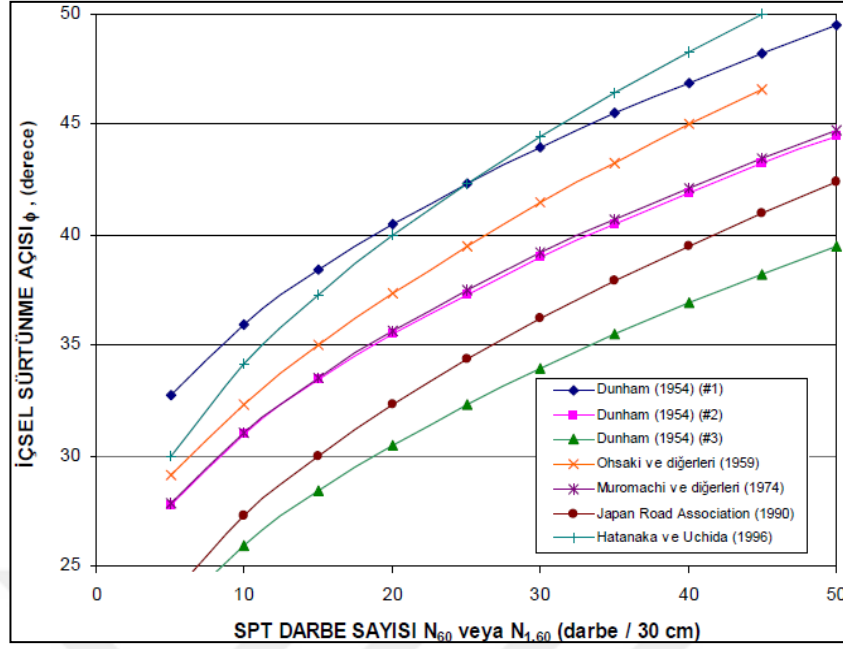
C (kPa)	Var Ceyhan (2016)	Tschebotarioff (1973)	Parcher & Means (1968)	Terzaghi &Peck (1967)	İyisan & Ansal (1990)	Sivrikaya & Toğrol (2002)	Nassaji &Kalantari (2011)
66,69	54,45	45,74	45,70	45,56	46,92	45,71	49,66
55,90	50,71	66,85	66,80	66,58	66,18	66,81	63,49
57,86	48,14	61,57	61,52	61,32	61,36	61,53	60,03
34,72	34,04	14,07	14,06	14,02	18,04	14,06	28,93
52,96	60,48	28,15	28,13	28,03	30,87	28,13	38,14
48,25	39,37	70,37	70,31	70,09	69,39	70,32	65,79
64,72	51,93	45,74	45,70	45,56	46,92	45,71	49,66
57,86	58,90	31,67	31,64	31,54	34,08	31,65	40,45
29,71	39,16	42,22	42,19	42,05	43,71	42,19	47,36
25,11	34,48	47,50	47,46	47,31	48,53	47,47	50,82
60,80	35,63	47,50	47,46	47,31	48,53	47,47	50,82
59,82	51,07	35,18	35,16	35,04	37,29	35,16	42,75
45,01	46,19	31,67	31,64	31,54	34,08	31,65	40,45
31,58	43,94	42,22	42,19	42,05	43,71	42,19	47,36
55,90	45,62	28,15	28,13	28,03	30,87	28,13	38,14
45,01	46,37	17,59	17,58	17,52	21,24	17,58	31,23
31,58	44,07	31,90	31,88	31,77	34,30	31,88	40,60
34,32	33,72	21,11	21,09	21,03	24,45	21,10	33,54
22,56	31,83	21,93	21,91	21,84	25,20	21,92	34,07
64,72	64,57	29,91	29,88	29,79	32,48	29,89	39,30
47,27	45,14	43,86	43,83	43,69	45,21	43,84	48,44
51,39	59,73	26,39	26,37	26,28	29,27	26,37	36,99
49,33	63,33	35,89	35,86	35,74	37,93	35,87	43,21
61,78	50,62	60,17	60,12	59,92	60,08	60,13	59,11
48,05	54,42	40,46	40,43	40,30	42,11	40,44	46,21
37,27	54,09	59,81	59,77	59,57	59,76	59,78	58,88
65,71	46,80	43,98	43,95	43,80	45,32	43,95	48,51
25,40	24,61	66,85	66,80	66,58	66,18	66,81	63,49
34,23	34,25	31,67	31,64	31,54	34,08	31,65	40,45
28,05	30,79	77,99	77,93	77,68	76,34	77,94	70,78
46,39	54,31	54,54	54,49	54,32	54,94	54,50	55,42
31,87	35,16	72,13	72,07	71,84	70,99	72,08	66,94
39,62	58,87	46,80	46,76	46,61	47,88	46,77	50,36
28,83	39,29	51,02	50,98	50,81	51,74	50,98	53,12
44,82	44,13	56,30	56,25	56,07	56,55	56,26	56,58
46,97	42,77	54,54	54,49	54,32	54,94	54,50	55,42
47,76	46,46	56,30	56,25	56,07	56,55	56,26	56,58
42,37	38,66	59,81	59,77	59,57	59,76	59,78	58,88
35,60	37,22	70,37	70,31	70,09	69,39	70,32	65,79
65,71	56,65	38,70	38,67	38,55	40,50	38,68	45,06
57,86	54,19	19,35	19,34	19,27	22,85	19,34	32,38

5.2. SPT-N ile İçsel Sürtünme Açısı (ϕ) Arasındaki İlişkiler

SPT, kumların ve siltlerin yerindeki içsel sürtünme açısı (ϕ) değerlerinin belirlenmesinde de kullanılır. İçsel sürtünme açısı (ϕ) ile SPT-N değerleri arasındaki ilişkiyi veren eşitlikler Tablo 5.6'da özetlenmiş ve Şekil 5.12'de bu eşitliklerin grafiksel gösterimi verilmiştir.

Tablo 5.6. SPT-N değerleri ile içsel sürtünme açısı arasındaki bağıntılar

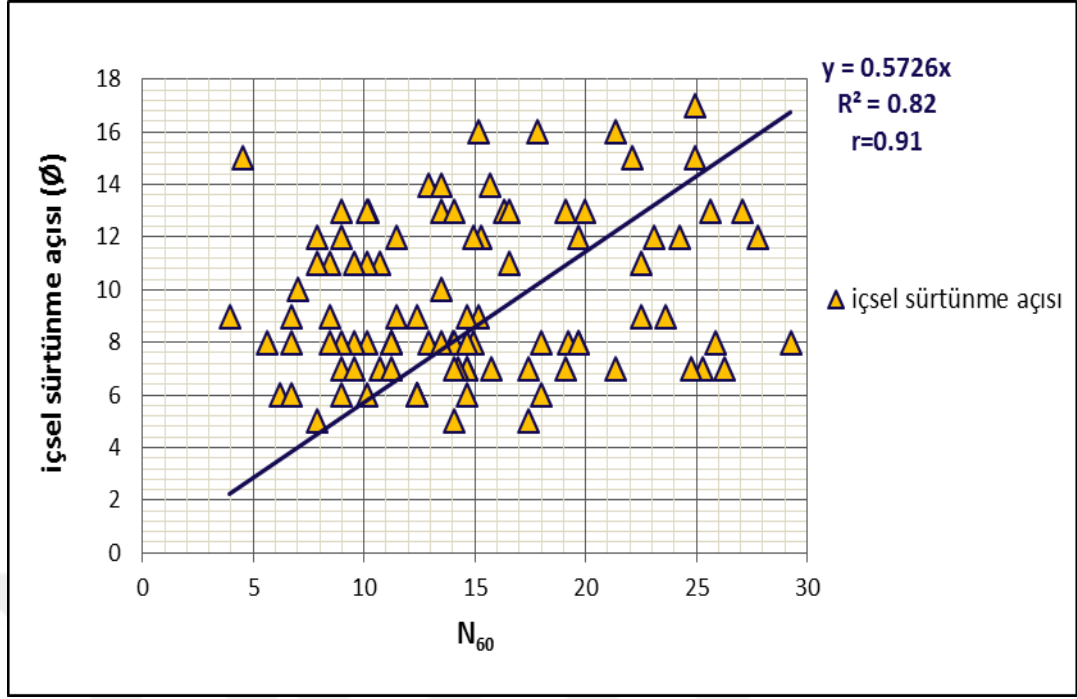
Zemin Türü	İçsel Sürtünme Açısı ϕ (derece)	Araştırmacılar
Köşeli ve iyi boylanmış zemin tanecikleri	$\phi=(12N)^{0,5}+25$	Dunham (1954)
Yuvarlak ve iyi boylanmış veya köşeli ve üniform boylanmış zemin tanecikleri	$\phi=(12N)^{0,5}+20$	Dunham (1954)
Üniform boylanmış zemin tanecikleri	$\phi=(12N)^{0,5}+15$	Dunham (1954)
Kumlu ve kumlu ince çakıl zemin	$\phi=(28)^{\circ}+(N/4)$	Peck ve diğerleri (1957)
Kumlu zemin	$\phi=(20N)^{0,5}+15$	Ohsaki ve diğerleri (1959)
Granüler (Tanecikli – Çakıllı) zemin	$\phi=20+3,5(N)^{0,5}$	Muromachi ve diğerleri (1974)
Kumlu zemin	$\phi=(20N_1)^{0,5}+20$	Hatanaka ve Uchida (1996)
Kumlu zemin	$\phi=(15N)^{0,5}+15 \leq 45 \quad (N>5)$	Japan Road Association (1990)
Not: SPT-N değerleri yerine düzeltilmiş N_{60} değerleri kullanılmalıdır.		



Şekil 5.12. SPT-N değerleri ile içsel sürtünme açısı arasındaki bağıntıların grafiği

5.2.1. Düşük plastisiteli killer (LL < 50)

Bu bölümde düşük plastisiteli killer için araziden elde edilen 97 adet SPT düzeltmesi yapılmış SPT-N₆₀ değerleri ile içsel sürtünme açısı (Ø) arasındaki ilişkiler araştırılmıştır.



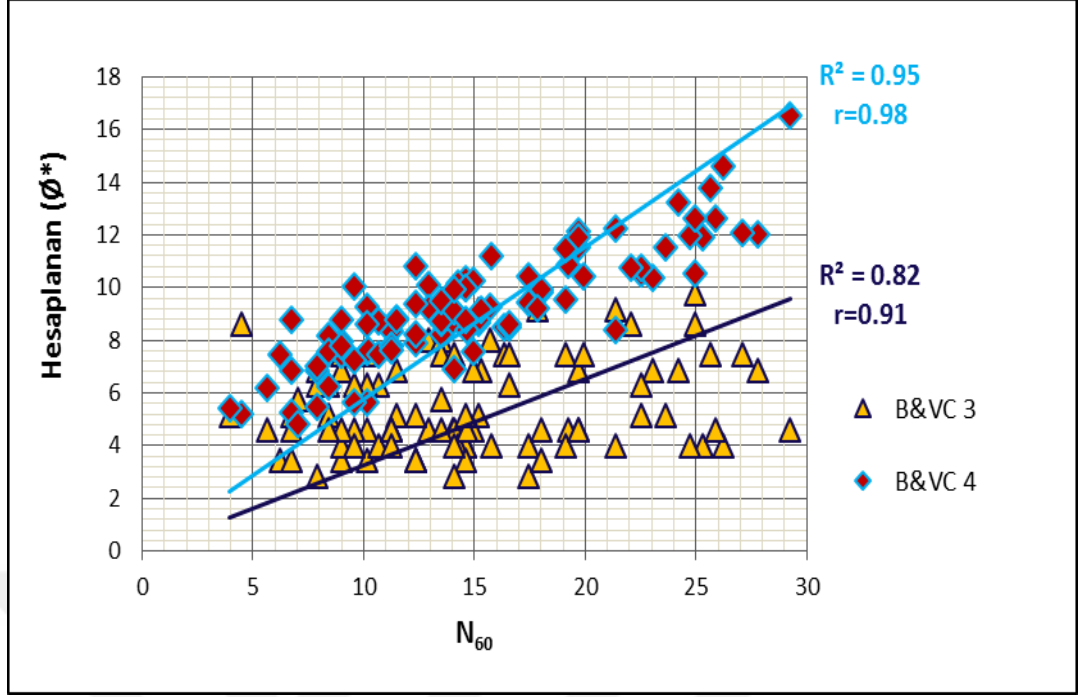
Şekil 5.13.SPT- N_{60} ile \emptyset arasındaki ilişki

Birinci durumda sadece SPT- N_{60} vuruş sayısı bağımsız değişken, \emptyset ise bağımlı değişken olarak kabul edilmiştir. SPT- N_{60} ile \emptyset arasında ayrı ayrı basit doğrusal regresyon analizi yapılmıştır ve aşağıdaki B&VC3 korelasyonları elde edilmiştir. Elde edilen denklemin korelasyon katsayısı (r) değeri 1'e yakın değerler vermiştir.

$$(B\&VC3) \rightarrow \emptyset^* = 0,573.N_{60}, \quad r=0,99, \quad s=3,81 \quad (5.5)$$

İkinci durumda ise düşük plastisiteli killer için SPT- N_{60} vuruş sayısı ve plastisite indisi (PI) bağımsız değişken olarak kabul edilmiş, içsel sürtünme açısı (\emptyset) bağımlı değişken olarak kabul edilmiştir. Bu bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında regresyon analizleri yapılmış olup aşağıdaki eşitlik elde edilmiştir. Önerilen bağıntının korelasyon katsayısı 1'e oldukça yakın çıkmıştır.

$$(B\&VC4) \rightarrow \emptyset^* = 0,24 PI + 0,31 N_{60}, \quad r=0,93, \quad s=3,75 \quad (5.6)$$

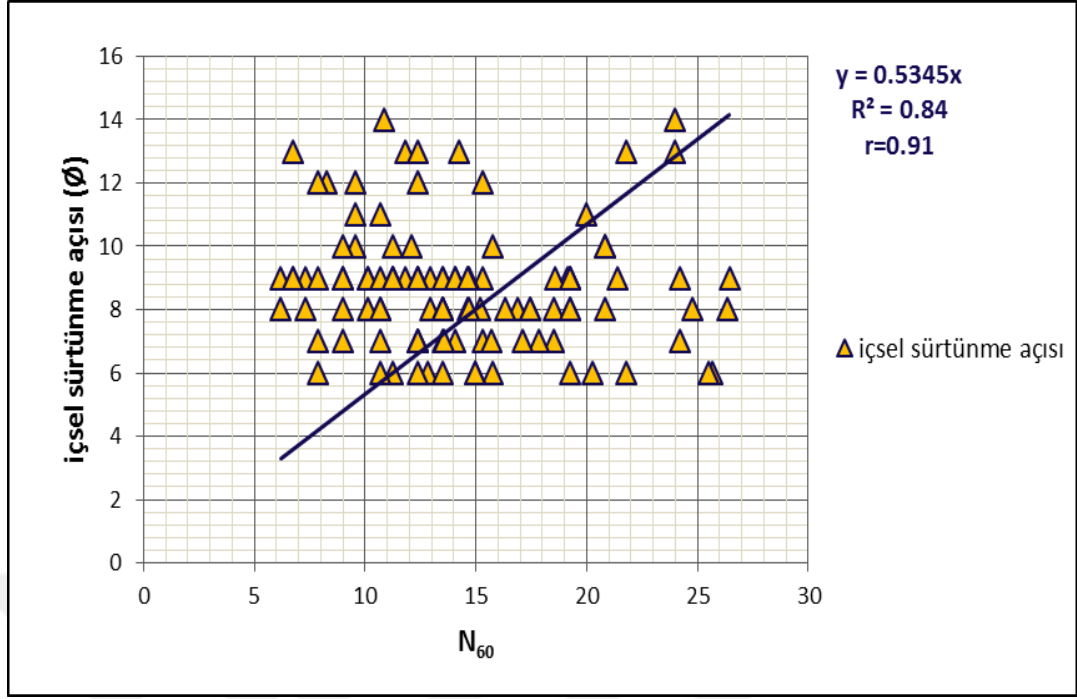


Şekil 5.14. Eşitlik B&VC3 ve B&VC4 ile hesaplanan ϕ değerleri

Birinci ve ikinci durumdaki regresyon analizleri karşılaştırıldığında; ikinci durumdaki korelasyon katsayısı (r) birinci duruma göre 1'e daha yakın çıkmıştır. Standart hatalar da ikinci durumda birinci durumdan daha az olmuştur, bundan dolayı plastisite indisini içeren korelasyonlar daha anlamlı sonuçlar vermektedir. İkinci durumda elde edilen denklemler daha anlamlı korelasyon katsayısı vermesine rağmen direk SPT-N ile ϕ ilişkisini vermediği için birinci durumdaki korelasyonları kullanmak daha pratik ve ekonomik olacağı düşünülmektedir.

5.2.2. Yüksek plastisiteli killer ($LL > 50$)

Bu bölümde yüksek plastisiteli killer için araziden elde edilen 109 adet SPT düzeltmesi yapılmış SPT- N_{60} değerleri ile içsel sürtünme açısı (ϕ) arasındaki ilişkiler araştırılmıştır.



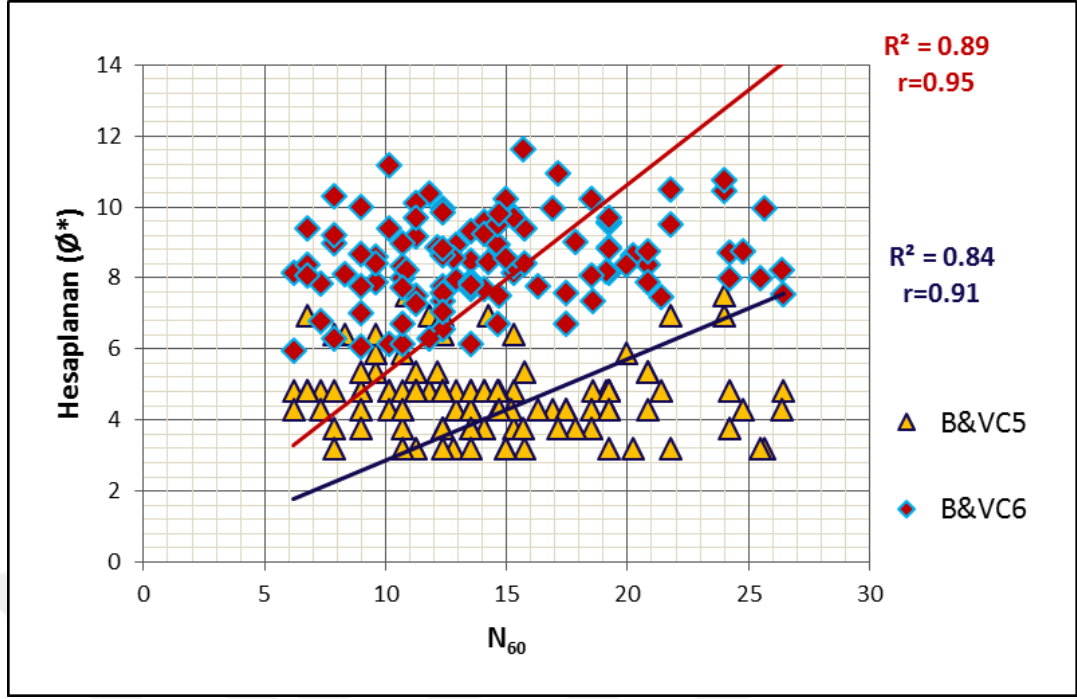
Şekil 5.15.SPT- N_{60} ile \emptyset arasındaki ilişki

Birinci durumda sadece SPT- N_{60} vuruş sayısı bağımsız değişken, \emptyset ise bağımlı değişken olarak kabul edilmiştir. SPT- N_{60} ile \emptyset arasında ayrı ayrı basit doğrusal regresyon analizi yapılmıştır ve aşağıdaki B&VC3 korelasyonları elde edilmiştir. Elde edilen denklemin korelasyon katsayısı (r) değeri 1'e yakın değerler vermiştir.

$$(B\&VC5) \rightarrow \emptyset^* = 0,535.N_{60}, \quad r=0,91, \quad s=3,62 \quad (5.6)$$

İkinci durumda ise yüksek plastisiteli killer için, SPT- N_{60} vuruş sayısı ve plastisite indisi (PI) bağımsız değişken olarak kabul edilmiş, içsel sürtünme açısı (\emptyset) bağımlı değişken olarak kabul edilmiştir. Bu bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında regresyon analizleri yapılmış olup aşağıdaki eşitlik elde edilmiştir. Önerilen bağıntının korelasyon katsayısı 1'e oldukça yakın çıkmıştır.

$$(B\&VC6) \rightarrow \emptyset^* = 0,21 PI + 0,04 N_{60}, \quad r=0,97, \quad s=2,25 \quad (5.7)$$



Şekil 5.16. Eşitlik B&VC5 ve B&VC6 ile hesaplanan ϕ değerleri

Birinci ve ikinci durumdaki regresyon analizleri karşılaştırıldığında; ikinci durumdaki korelasyon katsayısı (r) birinci duruma göre 1'e daha yakın çıkmıştır. Standart hatalar ise birinci durumda ikinci durumdan daha az olmuştur. Plastisite indisini içeren korelasyonlar daha anlamlı sonuçlar vermektedir. İkinci durumda elde edilen denklemler daha anlamlı korelasyon katsayısı vermesine rağmen direk SPT-N ile ϕ ilişkisini vermediği için birinci durumdaki korelasyonları kullanılmasının pratik ve ekonomik olacağı düşünülmektedir.

6.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, Karabük iline ait Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) ile laboratuvar deney sonuçlarından elde edilen veriler kullanılarak, SPT-N darbe sayısı ile zeminin çeşitli parametreleri arasında regresyon ve korelasyon analizleri yapılmış ve geçmişte yapılan çalışmalarla karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada Karabük ilinde yapılan SPT arazi deneylerinden elde edilen N darbe sayıları ile düşük plastisiteli killerin ve yüksek plastisiteli killerin kohezyonu arasında yaklaşık korelasyonlar elde edilmiştir.

SPT-N darbe sayısı ile kohezyon (c) arasında güçlü bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışmanın ışığında Karabük ili özelinde ince daneli zeminler için aşağıdaki korelasyonlar önerilmektedir.

Karabük, Türkiye için geliştirilen kohezyon ile N_{60} arasındaki doğrusal korelasyonlar gerçek kohezyon değeri ile yakın sonuçlar vermemektedir. Bu nedenle arazide N_a değerini etkileyen zemin parametrelerinin de korelasyonda kullanılması gereklidir. Bu çalışmada N_{60} değeri, doğal su muhtevası ve plastisite indisinin kohezyon değerini etkilediği görülmüştür. N_{60} değeri ile gerçeğe daha yakın bir kohezyon değerinin elde edilmesi için doğal su muhtevası ve plastisite indisinin kullanılması Karabük, Türkiye için gereklidir.

SPT-N darbe sayısı ile içsel sürtünme açısı (ϕ) arasında güçlü bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışmanın ışığında Karabük ili özelinde ince daneli zeminler için aşağıdaki korelasyonlar önerilmektedir.

SPT- N_{60} değerleri ile içsel sürtünme açısı (ϕ) arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Bu çalışmada N_{60} değeri ve plastisite indisinin içsel sürtünme açısının değerini etkilediği görülmüştür. N_{60} değeri ile gerçeğe daha yakın bir kohezyon değerinin elde edilmesi için doğal plastisite indisinin kullanılması Karabük, Türkiye için gereklidir.

Bugüne kadar yapılmış olan çalışmalar sadece kohezyon (c) için ya da içsel sürtünme açısı (ϕ) için yapılmıştır. Bu çalışma c – ϕ zeminler için yapılmış olup SPT sonucunda iki değerinde tahmin edilebileceği düşünülmektedir.

Düşük plastisiteli zeminler için ($LL < 50$) için önerilen bağıntılar;

$$(B\&VC1) \rightarrow c^* = 1,69 PI + 0,79 W_n - 0,04N_{60}, \quad r=0,97, \quad s=11,72 \quad (6.1)$$

$$(B\&VC4) \rightarrow \phi^* = 0,24 PI + 0,31 N_{60}, \quad r=0,93, \quad s=3,75 \quad (6.2)$$

Yüksek plastisiteli zeminler için ($LL > 50$) için önerilen bağıntılar;

$$(B\&VC2) \rightarrow c^* = 0,71 PI + 0,92 W_n + 0,55 N_{60}, \quad r=0,97, \quad s=13,68 \quad (6.3)$$

$$(B\&VC6) \rightarrow \phi^* = 0,21 PI + 0,04 N_{60}, \quad r=0,97, \quad s=2,25 \quad (6.4)$$

SPT sonuçlarını doğru bir şekilde yorumlayabilmek için, deneyin tam olarak nasıl yapıldığının bilinmesi gerekmektedir. Geçmişten beri, SPT için kullanılan ekipman ülkeden ülkeye farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle korelasyonları seçerken yalnızca o bölgede yapılmış korelasyonları dikkate almak güvenilir sonuçlar bulunmasına ve doğru tasarımlar yapılmasına yardımcı olacaktır.

KAYNAKLAR

Aydın K., Ankara Metro Güzergahlarında SPT- V_s Korelasyonu Üzerine Bir Çalışma, Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü , 2010, 269450.

Bayazıt M., Oğuz B. Y., *Mühendisler İçin İstatistik*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2011.

Cubrinovski M., Ishihara, K., *Empirical Correlation between SPT N-value and Relative Density for Sandy Soils*, Soils and Foundations, 1999, **39**(5), 61 - 71.

Bowles J. E., *Foundation Analysis and Design*, 4.th ed., McGraw-Hill International Editions Civil Engineering Series, Singapore, 1998.

Clayton C. R. I., SPT Energy Transmission Theory: Measurement and Significance, *Ground Engineering*, 1990, **23**(10), 35 - 43.

Coduto D. P., *Foundation Design: Principles and Practices*, 2nd ed., Prentice Hall, New Jersey, 2000.

Décourt L., The Standard Penetration Test State of the Art Report), *Norwegian Geotechnical Institute Publication*, Oslo, Norway, 179, 1990.

Erol A. O., Çekinmez Z., *Geoteknik Mühendisliğinde Saha Deneyleri*, Yüksel Proje, Ankara, 2014.

Farrar J. A., Chitwood D., CME Automotic Hammer Operations, *U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation Earth Sciences and Research Laboratory*, DSO-99-03, 1999.

Gibbs H. J., Holtz W. G., *Research on Determining the Density of Sands by Spoon Penetration Testing*, Proc. 4th. ICSMFE, London, 1957, (1), 35-39.

Hara A., Ohta T., Niwa M., Tanaka S., Banno T., Shear Modulus and Shear Strength of Cohesive Soils, *Soils and Foundation*, 1974, **14**(3),1 - 12.

Hatanaka M., Uchida A., Empirical Correlation between Penetration Resistance and Internal Friction Angle of Sandy Soils, *Soils and Foundations*, 1996, **36**(4), 1 – 10.

Hettiarachchi H., Brown T., Use of SPT Blow Counts to Estimate Shear Strength Properties of Soils: Energy Balance Approach, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 2009, **135**(6), 125-135.

Horn H. M., North American experience in sampling and laboratory dynamic testing, *ASTM Geotechnical Testing Journal*, 1979, **2**(2), 84-97.

İyisan R., Ansal A., SPT-N darbe sayıları ile kayma mukavemeti ilişkisi, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Üçüncü Ulusal Kongresi*, İstanbul, 25-26 Ekim 1990.

Jamilowsky M., Ghionna V. N., Lancelotto R., Pasqualini E., *New Correlations of Penetrating Testing*, Penetration Testing ISOPT-1, AA Balkema, 1988, (1), 263-296.

Kovacs W.D., Salomone L.A., Yokel F.Y., *Energy measurement in the Standard Penetration Test*, U.S. Department of Commerce and National Bureau of Standards, Washington, DC, 1981.

Kulhawy F. H., Mayne P. W., Manual on Estimating Soil Properties for Foundation Design, *Electric Power Research Institute (EPRI)*, EL-6800, 1493-6, 1990.

McGregor J. A., Duncan, J. M., *Performance and Use of the Standard Penetration Test in Geotechnical Engineering Practice*, Center for Geotechnical Practice and Research, Virginia Polytechnic Institute, Blacksburg, VA, 1998.

Meyerhof G. G., Penetration tests and bearing capacity of cohesionless soils, *Journal of Geotechnical Engineering*, 1956, **82**(1), 1-19.

Nassaji F., Behzad K., SPT capability to estimate undrained shear strength of fine-grained soils of Tehran /Iran, *EJGE*, 2011, **16**(4), 1229-1238.

Nixon I. K., Standard penetration test: State-of-the-art report, *Proceedings of the 2nd European Symposium on Penetration Testing*, Amsterdam, Netherlands, 24-27 May 1982.

Ohsaki Y., Sakaguchi, O., *Major Types of Soil Deposits in Urban Areas of Japan*, Faculty of Engineering Research Report 72-03, 1972.

Otçu N., *Isparta Merkez İnşaat Alanlarında Yapılan Standart Penetrasyon (spt) Deneyleri ve Emniyet Gerilmesi Tayini*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü , 2009, 234160.

Sanglerat G., *The Penetrometer and Soil Exploration*, Elsevier Publishing Co., Amsterdam, 1972.

Sağlamer A., Standart Penetrasyon Deneyi Nedir - Ne Değildir, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Türk Milli Komitesi Bülteni*, 1979, **1**(4), 267-271.

Schmertmann J. H. , Palacios A., Energy Dynamics of SPT, *Journal of Geotechnical Engineering Division ASCE*, 1979, **105**(GT8), 909-926.

Sivrikaya O., Toğrol E., Türkiye’de SPT-N Değeri ile İnce Daneli Zeminlerin Drenajsız Kayma Mukavemeti arasındaki İlişkiler, *İMO Teknik Dergi*, 2007, **18**(4), 4229 - 4246.

Sivrikaya O., Standart penetrasyon deneyi ile zemin özelliklerinin belirlenmesi ve Türkiye'deki uygulaması, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi; Fen Bilimleri Enstitüsü , İstanbul , 2003.

Sivrikaya O., Toğrol E., İnce daneli zeminlerde SPT sonuçlarının düzeltilmesi üzerine bir çalışma, *İTÜ Mühendislik Dergisi*, 2003, **2**(6), 59-67.

Sivrikaya O., Toğrol E., *Arazi Deneyleri ve Geoteknik Tasarımda Kullanımları*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2009.

Sivrikaya O., Toğrol E., Standart Penetrasyon Deneyinin Türkiye’deki Uygulaması, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 9. Ulusal Kongresi*, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 21-22 Ekim 2002.

Skempton A. W., Standard Penetration Test Procedures and the Effects in Sands of Overburden Pressure, Relative Density, Particle Size, Ageing and Overconsolidation, *Geotechnique*, 1986, **36**(3), 425 - 447.

Sowers G. F., *Introductory Soil Mechanics and Foundations*, 4th ed., Macmillan, New York, 1979.

Stroud M. A., The Standard Penetration Test in Insensitive Clays and Softrock, *Proceedings of the 1st European Symposium on Penetration Testing*, 1974, **2**(2), 367 - 375.

Terzaghi K., and Peck R. B., *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 1st ed., John Wiley, Newyork, 1948.

Terzaghi K, and Peck R. B., *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 2nt ed., John Wiley, Newyork, 1967.

Tshebotarioff G. P., *Foundations Retaining and Earth Structures*, 2nd. Edition, McGraw-Hill, Newyork, 1973.

Ulusay R., *Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler*, Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara, 2001.

Uzuner B. A., *Temel Zemin Mekaniği*, Teknik Yayın Evi, Ankara, 1998.

Youd T. L., Idriss I. M., Summary Report Proc. of the NCEER workshop on evaluation of liquefaction resistance of soils, *NCEER*, 97-0022, 1997.



EKLER

EK –A SPT-N ile c ve SPT-N ile korelasyonlarında kullanılan veriler

Derinlik (m)	N30	N60	Zemin Sınıfı	LL%	PL%	PI%	Wn%	c (kPa)	Ø
1,5	23	12,94	CL	44,8	19,5	25,3	15,5	35,30	14
3	26	14,63	CL	42,7	18,5	24,2	17,9	66,69	7
1	38	21,38	CL	44,3	20,8	23,5	15,0	55,90	7
1	35	19,69	CL	42,2	19,7	22,5	13,8	57,86	8
3	13	7,31	CH	61,2	25,2	36,0	31,0	74,53	9
3	23	12,94	CH	60,5	20,4	40,1	27,2	56,88	8
3	25	14,06	CH	64,1	21,1	43,0	26,0	61,78	7
3	14	7,88	CH	70,0	28,7	41,3	27,1	67,67	9
1,5	8	4,50	SC	32,5	16,6	15,9	9,3	34,72	15
3	22	12,38	CH	50,5	21,7	28,8	22,1	54,92	7
3	10	5,63	CH	73,4	28,4	45,0	31,6	60,80	9
3	9	5,06	CH	58,1	26,5	31,6	31,5	70,61	9
3	15	8,44	CH	51,7	23,0	28,7	31,7	60,80	5
3	16	9,00	CL	43,1	21,5	21,6	30,8	52,96	6
3	37	20,81	CH	65,2	29,3	35,9	23,6	67,67	10
3	11	6,19	CH	64,0	26,4	37,6	28,3	74,53	9
3	14	7,88	CH	72,3	24,7	47,6	20,2	69,63	7
10,5	30	22,50	CL	34,0	19,1	14,9	19,1	48,25	9
6	44	31,35	CH	63,7	25,4	38,3	36,9	53,64	9
7,5	38	27,08	CH	67,9	24,1	43,8	38,7	42,17	5
3	24	13,50	CH	60,6	26,5	34,1	18,0	71,59	8
4,5	24	15,30	CH	62,3	26,4	35,9	26,4	49,13	7
3	22	12,38	CH	57,9	23,2	34,7	20,9	47,17	9
4,5	24	15,30	CH	63,9	27,1	36,8	28,0	67,67	9
3	26	14,63	CL	43,0	20,2	22,8	17,7	64,72	7
3	18	10,13	CL	45,2	19,6	25,6	20,3	57,86	6
1,5	24	13,50	SC	34,3	17,4	16,9	14,1	29,71	14
4	24	13,50	CH	62,9	27,7	35,2	24,3	71,59	9
1,5	27	15,19	SC	33,8	17,2	16,6	8,9	25,11	16
4	27	15,19	CH	51,9	25,4	26,5	22,3	64,72	9
4	24	13,50	CH	68,5	26,6	41,9	15,9	63,74	7
4	27	15,19	CL	34,6	17,6	17,0	9,5	60,80	9
3	20	11,25	CL	42,2	22,0	20,2	22,0	59,82	8
1,5	18	10,13	CL	36,9	18,4	18,5	19,4	45,01	8
4,5	24	13,50	SC	38,2	19,5	18,7	16,3	31,58	13
3	11	6,19	CH	54,3	27,1	27,2	29,2	73,55	8
3	17	9,56	CH	61,1	25,4	35,7	19,4	67,67	10
3	10	5,63	CH	62,7	26,2	36,5	22,4	68,65	9
3	20	11,25	CH	57,9	24,3	33,6	21,7	72,57	10
3	16	9,00	CL	43,6	24,2	19,4	16,7	55,90	7

Derinlik (m)	N30	N60	Zemin Sınıfı	LL%	PL%	PI%	Wn%	c (kPa)	Ø
3	13	7,31	CH	57,0	26,1	30,9	17,9	53,94	8
3	25	14,06	CH	62,1	28,8	33,3	14,1	80,42	9
3	24	13,50	CH	62,8	28,1	34,7	18,5	51,00	8
1,5	10	5,63	CL	36,9	18,4	18,5	19,4	45,01	8
4,5	16	10,20	SC	38,2	19,5	18,7	16,3	31,58	13
3	20	11,25	CH	69,2	27,6	41,6	22,3	64,72	9
1,5	12	6,75	CL	28,6	15,5	13,1	15,0	34,32	9
3	11	6,19	CL	36,2	18,4	17,8	15,4	75,51	8
4,5	11	7,01	CL	29,2	18,1	11,1	16,9	22,56	10
3	17	9,56	CL	46,6	17,0	29,6	18,9	64,72	8
4,6	22	14,03	CL	37,8	19,5	18,3	18,7	47,27	8
6	21	14,96	CH	52,0	25,5	26,5	16,5	62,76	9
1,5	15	8,44	CL	46,2	23,0	23,2	26,4	51,39	9
3	16	9,00	CH	61,4	26,2	35,2	16,9	65,71	9
4,5	18	11,48	CL	43,2	21,3	21,9	33,9	49,33	9
6	27	19,24	CH	68,2	26,4	41,8	35,1	58,84	8
3	18	10,13	CH	71,1	28,2	42,9	29,6	70,61	9
6	27	19,24	CL	46,0	25,5	20,5	21,2	61,78	8
3	19	10,69	CH	63,8	27,7	36,1	25,1	63,74	8
6	27	19,24	CH	68,8	30,3	38,5	26,3	70,61	9
9	27	19,24	CH	61,3	26,2	35,1	30,2	67,67	9
1,5	18	10,13	CH	52,0	24,6	27,4	22,9	47,86	9
1,5	23	12,94	CL	43,6	21,8	21,8	22,9	48,05	8
3	23	12,94	CH	61,0	25,5	35,5	24,0	61,78	9
1,5	24	13,50	CH	50,9	24,2	26,7	24,9	50,21	8
3	24	13,50	CH	63,8	26,0	37,8	25,1	66,69	9
3	34	19,13	CL	41,1	17,9	23,2	19,8	37,27	13
3	25	14,06	CL	39,1	19,3	19,8	17,6	65,71	8
1,5	16	9,00	CH	53,9	26,8	27,1	19,5	51,49	9
3	16	9,00	CH	58,2	26,6	31,6	17,8	49,62	10
7,5	30	21,38	SC	26,1	18,7	7,4	16,4	25,40	16
1,5	18	10,13	SC	27,0	16,5	10,5	21,4	34,23	13
7,5	35	24,94	SC	25,4	13,6	11,8	15,0	28,05	15
1,5	31	17,44	CL	42,1	21,1	21,0	24,7	46,39	7
3	41	23,06	SC	33,0	19,5	13,5	16,8	31,87	12
3	19	10,69	CH	56,0	28,8	27,2	27,6	61,78	9
6	21	14,96	CL	43,8	20,3	23,5	25,0	39,62	8
1,5	29	16,31	SC	30,0	15,6	14,4	19,8	28,83	13
3	34	19,13	CH	61,4	26,0	35,4	21,6	62,76	9
1,5	32	18,00	CL	36,1	18,4	17,7	18,9	44,82	8
4,5	56	35,70	CL	44,1	21,4	22,7	24,7	50,21	8
3	43	24,19	CH	58,8	25,3	33,5	22,3	56,88	9

Derinlik (m)	N30	N60	Zemin Sınıfı	LL%	PL%	PI%	Wn%	c (kPa)	Ø
1,5	31	17,44	CL	32,9	16,2	16,7	19,3	46,97	5
1,5	32	18,00	CL	37,4	19,3	18,1	21,0	47,76	6
1,5	34	19,13	CL	31,4	16,3	15,1	17,6	42,37	7
3	40	22,50	SC	30,9	15,2	15,7	14,7	35,60	11
3	47	26,44	CH	58,4	27,5	30,9	30,8	59,82	9
3	7	3,94	CH	62,7	27,3	35,4	22,5	54,92	8
1,5	22	12,38	CH	51,0	18,3	32,7	16,2	31,38	12
3	22	12,38	CL	46,4	17,4	29,0	10,3	65,71	6
1,5	19	10,69	CH	53,2	18,6	34,6	17,8	29,42	14
3	19	10,69	CH	61,7	20,9	40,8	14,0	59,82	7
3	11	6,19	CL	45,0	22,0	23,0	19,7	57,86	6
1,5	21	11,81	CH	76,6	29,5	47,1	19,8	33,34	13
3	26	14,63	CH	63,6	23,8	39,8	19,1	58,84	9
3	27	15,19	CH	68,8	24,9	43,9	31,6	63,74	8
3	12	6,75	CH	67,1	23,7	43,4	29,2	59,82	9
3	20	11,25	CH	77,8	31,8	46,0	37,5	51,98	6
3	26	14,63	CH	55,4	26,3	29,1	22,3	62,76	8
1,5	18	10,13	CL	27,2	16,5	10,7	8,9	44,92	8
1,5	25	14,06	SC	29,1	18,5	10,6	6,2	26,58	13
3	12	6,75	CH	66,1	27,5	38,6	22,6	69,63	9
1,5	35	19,69	CL	46,8	21,7	25,1	13,2	30,40	12
3	35	19,69	CL	44,7	20,4	24,3	11,4	52,96	8
3	28	15,75	CL	45,9	19,7	26,2	14,2	64,72	7
1,5-1,95	24	13,50	CL	40,1	21,3	18,8	27,7	59,33	10
3-3,45	25	14,06	CH	60,2	26,3	33,9	26,8	57,76	9
3	16	9,00	CL	44,0	19,1	24,9	22,1	67,67	8
3	21	11,81	CH	52,3	24,6	27,7	21,9	69,63	9
6,5	20	14,25	CL	48,6	24,7	23,9	22,0	59,82	7
15,5	19	14,25	CL	27,7	15,7	12,0	16,6	75,51	8
15,5	49	36,75	CL	27,1	15,3	11,8	16,9	69,63	9
3	10	5,63	CH	51,9	17,7	34,2	22,8	59,82	5
4,5	13	8,29	CH	56,9	19,9	37,0	18,5	31,38	12
9	19	13,54	CH	52,9	18,0	34,9	22,3	51,98	7
6	18	12,83	CH	54,1	17,9	36,2	24,4	61,78	5
9	20	14,25	CH	59,2	18,1	41,1	26,7	28,44	13
12	27	20,25	CH	57,0	19,7	37,3	20,8	57,86	6
6	15	10,69	CH	60,4	22,7	37,7	23,2	33,34	11
7,5	18	12,83	CH	62,1	23,8	38,3	20,9	60,80	6
15	25	18,75	CH	55,5	19,8	35,7	23,3	64,72	5
3	30	16,88	CH	66,6	22,3	44,3	25,0	52,96	8
6,5	34	24,23	CH	59,9	23,1	36,8	26,4	60,80	7
10	35	26,25	CL	47,4	20,4	27,0	20,3	55,90	7

Derinlik (m)	N30	N60	Zemin Sınıfı	LL%	PL%	PI%	Wn%	c (kPa)	Ø
3	29	16,31	CH	54,2	20,3	33,9	21,1	54,92	8
8	36	25,65	CH	62,6	20,0	42,6	24,0	58,84	6
13	40	30,00	CH	59,5	22,7	36,8	26,0	62,76	7
0,5	45	25,31	CL	30,7	13,8	16,9	20,3	59,82	7
0,5	46	25,88	CL	33,7	14,6	19,1	13,3	57,86	8
0,5	42	23,63	CL	32,8	15,3	17,5	14,3	51,98	9
1,5	44	24,75	CL	34,3	16,4	17,9	11,8	52,96	7
3	38	21,38	CH	57,3	25,8	31,5	19,9	64,72	9
3	37	20,81	CH	63,8	26,1	37,7	18,4	68,65	10
1,5	33	18,56	CH	55,8	24,3	31,5	29,1	58,55	9
1,5	37	20,81	CH	55,9	22,3	33,6	29,2	53,45	8
1,5	31	17,44	CH	52,8	24,2	28,6	26,3	51,78	8
1,5	31	17,44	CH	51,3	25,1	26,2	25,6	49,62	7
3	19	10,69	CL	33,5	16,2	17,3	15,3	54,92	7
4,5	26	16,58	CL	27,9	13,8	14,1	10,1	28,44	13
4,5	23	14,66	CL	30,3	14,3	16,0	17,2	51,00	8
7,5	25	17,81	SC	29,0	13,5	15,5	14,1	24,52	16
3	22	12,38	CL	32,3	15,3	17,0	15,5	60,80	6
4,5	26	16,58	CL	28,6	14,2	14,4	12,9	37,27	11
6	28	19,95	CL	33,4	15,7	17,7	16,2	31,38	13
9	39	27,79	CL	28,9	14,7	14,2	11,4	37,27	12
3	14	7,88	CL	34,8	16,4	18,4	18,1	38,25	12
6	22	15,68	CL	34,6	16,3	18,3	12,3	28,44	14
1,5	19	10,69	CL	42,9	20,3	22,6	24,3	33,34	11
4,5	24	15,30	CL	35,2	16,8	18,4	16,1	41,19	12
3	26	14,63	CL	43,7	21,0	22,7	19,5	53,94	6
9	38	27,08	CL	29,7	14,3	15,4	12,3	34,32	13
7,5	31	22,09	SC	30,2	14,0	16,2	20,7	29,42	15
9	34	24,23	CL	47,4	23,6	23,8	18,9	36,29	12
9	36	25,65	CL	45,0	20,7	24,3	20,8	30,40	13
3	28	15,75	CH	58,6	21,6	37,0	14,5	65,71	6
6	37	26,36	CH	56,9	22,8	34,1	14,1	59,82	8
3	25	14,06	CH	68,4	27,0	41,4	35,2	60,80	9
4	45	28,69	MH	58,9	31,3	27,6	35,2	53,94	8
1,5	49	27,56	CH	54,3	23,6	30,7	27,2	60,80	8
1,5	16	9,00	CL	38,0	18,6	19,4	15,0	30,40	13
3	15	8,44	CL	38,8	18,2	20,6	15,8	34,32	11
1,5	14	7,88	CL	39,6	20,6	19,0	17,1	38,25	11
4,5	18	11,48	CL	41,2	19,5	21,7	20,4	30,40	12
1,5	16	9,00	CL	39,8	19,0	20,8	10,9	32,36	12
3	18	10,13	CL	41,8	19,1	22,7	12,7	35,30	11
3	22	12,38	CH	70,8	31,2	39,6	21,2	67,67	7

Derinlik (m)	N30	N60	Zemin Sınıfı	LL%	PL%	PI%	Wn%	c (kPa)	Ø
7	20	14,25	CH	58,0	20,4	37,6	17,3	33,34	13
4,5	17	10,84	CH	58,7	21,6	37,1	24,7	30,40	14
3	17	9,56	CH	61,6	22,4	39,2	15,1	37,27	11
1,5	19	12,11	CH	60,6	20,6	40,0	14,7	42,17	10
3	17	9,56	CH	61,5	23,2	38,3	12,2	38,25	12
0,5	12	6,75	CH	59,5	22,3	37,2	20,0	34,32	13
1,5	26	14,63	CH	55,6	20,7	34,9	16,8	29,42	13
1	24	13,50	CL	40,0	18,0	22,0	22,0	56,88	8
3	22	12,38	CL	46,0	22,8	23,2	20,4	67,67	9
3	18	10,13	CH	80,4	29,2	51,2	21,6	63,74	8
3	25	14,06	CL	33,6	13,8	19,8	12,1	52,96	7
0,5	22	12,38	CL	31,4	13,1	18,3	15,9	44,13	6
6	26	18,53	CL	46,9	17,4	29,5	12,9	21,57	13
3	20	11,25	CH	58,8	26,3	32,5	26,1	68,65	9
6	26	18,53	CH	62,2	27,3	34,9	25,9	65,71	8
3	14	7,88	CL	31,5	17,1	14,4	15,2	72,57	9
3	52	29,25	CL	48,2	17,2	31,0	13,3	59,82	8
1,5	14	7,88	CH	65,9	23,5	42,4	32,1	32,36	12
3	16	9,00	CH	70,3	24,4	45,9	31,3	51,00	8
3	18	10,13	CH	67,7	23,1	44,6	28,8	29,42	13
6	26	18,53	CH	68,8	23,6	45,2	19,6	56,88	7
4,5	18	11,48	CH	80,2	24,8	55,4	36,3	37,27	10
9	37	26,36	CH	78,3	25,3	53,0	33,4	53,94	7
3	10	5,63	CL	43,7	24,5	19,2	17,7	72,57	8
3	7	3,94	CL	35,9	18,5	17,4	16,3	63,74	9
3	12	6,75	CL	40,2	20,4	19,8	25,4	65,71	8
3	14	7,88	MH	59,8	31,4	28,4	21,7	48,05	6
3	17	9,56	CL	34,0	16,1	17,9	28,1	64,72	7
3	15	8,44	CL	29,4	14,2	15,2	15,3	59,82	8
3	19	10,69	CH	54,2	24,3	29,9	33,6	51,00	8
3	16	9,00	CH	67,7	28,1	39,6	40,1	52,96	7
3	19	10,69	CH	55,2	20,4	34,8	30,1	54,92	6
3	15	8,44	CH	61,1	24,9	36,2	29,1	54,92	5
3	22	12,38	CH	59,0	25,2	33,8	28,3	57,86	6
6	22	15,68	CH	80,5	28,2	52,3	25,8	59,82	7
6	21	14,96	CH	72,1	26,3	45,8	34,3	60,80	6
3	19	10,69	CH	57,8	21,7	36,1	20,7	65,71	5
1,5-1,95	20	11,25	CL	36,7	18,8	17,9	21,8	45,31	8
3-3,5	44	24,75	CH	64,3	27,4	36,9	37,3	61,78	8
3	14	7,88	CL	34,7	22,0	12,7	26,2	47,07	5
4,5	15	9,56	CL	30,4	19,3	11,1	19,7	27,46	11
24,5	44	33,00	CH	73,9	26,3	47,6	20,5	37,27	12

Derinlik (m)	N30	N60	Zemin Sınıfı	LL%	PL%	PI%	Wn%	c (kPa)	Ø
6	21	14,96	CL	26,5	14,3	12,2	23,9	30,40	12
9	30	21,38	SC	24,6	14,6	10,0	18,0	20,59	15
3	12	6,75	CL	44,7	16,8	27,9	21,6	67,67	6
1,5	22	12,38	MH	56,6	25,3	31,3	19,5	50,41	9
3	22	12,38	MH	65,8	27,1	38,7	20,2	75,51	9
4,5	23	14,66	MH	56,2	23,2	33,0	19,3	52,56	9
3	20	11,25	CL	37,7	19,8	17,9	19,0	62,76	8
3	20	11,25	CL	32,7	15,4	17,3	20,2	63,74	7
6	27	19,24	CH	69,4	27,5	41,9	28,5	72,57	9
3	19	10,69	CH	86,5	31,3	55,2	35,6	65,71	10
3	31	17,44	CH	59,6	26,9	32,7	28,2	66,69	8
3	28	15,75	CH	70,2	28,4	41,8	22,9	71,59	10
3	26	14,63	CL	38,8	21,2	17,6	18,6	64,72	9
3	25	14,06	CL	39,4	16,2	23,2	19,0	59,82	5
3	26	14,63	CH	71,9	29,4	42,5	13,8	63,74	9
3	10	5,63	CH	65,7	28,6	37,1	18,3	65,71	8
1,5	22	12,38	CH	70,2	25,1	45,1	22,2	33,34	13
3	23	12,94	CH	72,9	25,4	47,5	23,9	69,63	5
12	28	21,00	CH	75,9	26,2	49,7	24,6	27,46	15
6	21	14,96	CH	60,5	22,5	38,0	17,8	67,67	6
30	37	27,75	CH	76,9	27,3	49,6	23,7	35,30	16
6	27	19,24	CH	69,0	30,6	38,4	19,2	64,72	8
1,5	24	13,50	CH	57,0	22,4	34,6	14,8	65,71	6
4,5	24	15,30	CH	68,0	24,7	43,3	22,1	30,40	12
3	20	11,25	CH	69,1	25,0	44,1	19,4	59,82	9
3	22	12,38	CH	73,5	28,9	44,6	14,7	55,90	7
12	32	24,00	CH	69,3	24,0	45,3	22,5	32,36	13
15	29	21,75	CH	64,8	23,6	41,2	22,9	68,65	6
4,5	28	17,85	CH	70,1	30,5	39,6	23,4	61,78	7
24	44	33,00	CH	63,1	26,3	36,8	22,2	31,38	14
7,5	28	19,95	CH	58,6	22,6	36,0	17,2	38,25	11
6	28	19,95	CH	70,3	25,0	45,3	19,3	76,49	5
30	39	29,25	CH	73,2	28,9	44,3	20,9	36,29	13
3	21	11,81	CH	58,5	23,3	35,2	17,9	29,42	12
6	27	19,24	CH	70,8	28,3	42,5	20,3	62,76	6
4,5	23	14,66	CH	73,3	29,3	44,0	21,8	60,80	8
6	24	17,10	CH	73,0	24,1	48,9	20,7	64,72	7
15	32	24,00	CH	74,1	27,4	46,7	19,5	30,40	14
10,5	31	23,25	CH	76,1	24,9	51,2	19,8	73,55	5
18	34	25,50	CH	54,6	21,3	33,3	21,9	68,65	6
12	29	21,75	CH	74,9	29,1	45,8	21,2	35,30	13
21	38	28,50	CH	63,7	30,6	33,1	19,7	76,49	9

EK-B. SPT-N ile UU Deneyi Sonuçlarından Elde Edilen 'c' Arasındaki İlişkiler

C (kPa)	Var Ceyhan	Tschebotarioff	Parcher &Means	Terzaghi &Peck	İyisan &Ansal	Sivrikaya &Toğrol	Nassaji &Kalantari
35,30	54,48	40,46	40,43	40,30	42,11	40,44	46,21
66,69	54,45	45,74	45,70	45,56	46,92	45,71	49,66
55,90	50,71	66,85	66,80	66,58	66,18	66,81	63,49
57,86	48,14	61,57	61,52	61,32	61,36	61,53	60,03
34,72	34,04	14,07	14,06	14,02	18,04	14,06	28,93
52,96	60,48	28,15	28,13	28,03	30,87	28,13	38,14
48,25	39,37	70,37	70,31	70,09	69,39	70,32	65,79
64,72	51,93	45,74	45,70	45,56	46,92	45,71	49,66
57,86	58,90	31,67	31,64	31,54	34,08	31,65	40,45
29,71	39,16	42,22	42,19	42,05	43,71	42,19	47,36
25,11	34,48	47,50	47,46	47,31	48,53	47,47	50,82
60,80	35,63	47,50	47,46	47,31	48,53	47,47	50,82
59,82	51,07	35,18	35,16	35,04	37,29	35,16	42,75
45,01	46,19	31,67	31,64	31,54	34,08	31,65	40,45
31,58	43,94	42,22	42,19	42,05	43,71	42,19	47,36
55,90	45,62	28,15	28,13	28,03	30,87	28,13	38,14
45,01	46,37	17,59	17,58	17,52	21,24	17,58	31,23
31,58	44,07	31,90	31,88	31,77	34,30	31,88	40,60
34,32	33,72	21,11	21,09	21,03	24,45	21,10	33,54
22,56	31,83	21,93	21,91	21,84	25,20	21,92	34,07
64,72	64,57	29,91	29,88	29,79	32,48	29,89	39,30
47,27	45,14	43,86	43,83	43,69	45,21	43,84	48,44
51,39	59,73	26,39	26,37	26,28	29,27	26,37	36,99
49,33	63,33	35,89	35,86	35,74	37,93	35,87	43,21
61,78	50,62	60,17	60,12	59,92	60,08	60,13	59,11
48,05	54,42	40,46	40,43	40,30	42,11	40,44	46,21
37,27	54,09	59,81	59,77	59,57	59,76	59,78	58,88
65,71	46,80	43,98	43,95	43,80	45,32	43,95	48,51
25,40	24,61	66,85	66,80	66,58	66,18	66,81	63,49
34,23	34,25	31,67	31,64	31,54	34,08	31,65	40,45
28,05	30,79	77,99	77,93	77,68	76,34	77,94	70,78
46,39	54,31	54,54	54,49	54,32	54,94	54,50	55,42
31,87	35,16	72,13	72,07	71,84	70,99	72,08	66,94
39,62	58,87	46,80	46,76	46,61	47,88	46,77	50,36
28,83	39,29	51,02	50,98	50,81	51,74	50,98	53,12
44,82	44,13	56,30	56,25	56,07	56,55	56,26	56,58
47,76	46,46	54,54	54,49	54,32	54,94	54,50	55,42
42,37	38,66	56,30	56,25	56,07	56,55	56,26	56,58
35,60	37,22	59,81	59,77	59,57	59,76	59,78	58,88
65,71	56,65	70,37	70,31	70,09	69,39	70,32	65,79

C (kPa)	Var Ceyhan	Tschebotarioff	Parcher &Means	Terzaghi &Peck	İyisan &Ansal	Sivrikaya &Togrol	Nassaji &Kalantari
57,86	54,19	38,70	38,67	38,55	40,50	38,68	45,06
26,58	22,25	19,35	19,34	19,27	22,85	19,34	32,38
30,40	52,06	43,98	43,95	43,80	45,32	43,95	48,51
52,96	49,29	61,57	61,52	61,32	61,36	61,53	60,03
64,72	54,87	61,57	61,52	61,32	61,36	61,53	60,03
59,33	53,12	49,26	49,22	49,06	50,13	49,23	51,97
67,67	59,18	42,22	42,19	42,05	43,71	42,19	47,36
59,82	57,20	28,15	28,13	28,03	30,87	28,13	38,14
55,90	60,62	44,57	44,53	44,39	45,85	44,54	48,90
59,82	43,59	82,10	82,03	81,77	80,09	82,04	73,47
57,86	41,75	79,16	79,10	78,85	77,41	79,11	71,55
51,98	39,93	80,92	80,86	80,60	79,02	80,87	72,70
52,96	38,58	73,89	73,83	73,59	72,60	73,84	68,10
27,46	39,65	77,41	77,34	77,09	75,81	77,36	70,40
54,92	40,90	77,99	77,93	77,68	76,34	77,94	70,78
28,44	31,15	33,43	33,40	33,29	35,69	33,40	41,60
51,00	40,04	51,84	51,80	51,63	52,48	51,81	53,66
24,52	36,62	45,86	45,82	45,67	47,03	45,83	49,74
60,80	40,48	55,71	55,66	55,48	56,01	55,67	56,19
37,27	33,86	38,70	38,67	38,55	40,50	38,68	45,06
31,38	41,91	51,84	51,80	51,63	52,48	51,81	53,66
37,27	31,89	62,39	62,34	62,14	62,11	62,35	60,57
38,25	45,08	86,91	86,84	86,56	84,47	86,85	76,62
28,44	40,02	24,63	24,61	24,53	27,66	24,61	35,84
33,34	56,96	49,02	48,98	48,83	49,92	48,99	51,81
41,19	43,20	33,43	33,40	33,29	35,69	33,40	41,60
53,94	53,18	47,85	47,81	47,66	48,85	47,82	51,05
34,32	34,66	45,74	45,70	45,56	46,92	45,71	49,66
29,42	42,85	84,68	84,61	84,34	82,44	84,62	75,16
36,29	54,18	69,08	69,02	68,80	68,21	69,03	64,95
30,40	56,47	75,76	75,70	75,46	74,31	75,72	69,32
30,40	44,28	80,22	80,16	79,90	78,37	80,17	72,24
34,32	46,96	28,15	28,13	28,03	30,87	28,13	38,14
38,25	45,30	26,39	26,37	26,28	29,27	26,37	36,99
30,40	52,33	24,63	24,61	24,53	27,66	24,61	35,84
32,36	43,40	35,89	35,86	35,74	37,93	35,87	43,21
35,30	47,99	28,15	28,13	28,03	30,87	28,13	38,14
56,88	54,02	31,67	31,64	31,54	34,08	31,65	40,45
67,67	54,83	42,22	42,19	42,05	43,71	42,19	47,36
52,96	42,46	38,70	38,67	38,55	40,50	38,68	45,06
44,13	42,99	43,98	43,95	43,80	45,32	43,95	48,51
63,74	42,13	38,70	38,67	38,55	40,50	38,68	45,06
64,72	52,07	12,31	12,30	12,26	16,43	12,31	27,78

C (kPa)	Var Ceyhan	Tschebotarioff	Parcher &Means	Terzaghi &Peck	İyisan &Ansal	Sivrikaya &Togrol	Nassaji &Kalantari
59,82	37,44	21,11	21,09	21,03	24,45	21,10	33,54
45,31	47,02	29,91	29,88	29,79	32,48	29,89	39,30
47,07	41,85	26,39	26,37	26,28	29,27	26,37	36,99
27,46	33,94	35,18	35,16	35,04	37,29	35,16	42,75
30,40	38,90	24,63	24,61	24,53	27,66	24,61	35,84
67,67	63,95	29,91	29,88	29,79	32,48	29,89	39,30
62,76	44,81	46,80	46,76	46,61	47,88	46,77	50,36
63,74	44,75	21,11	21,09	21,03	24,45	21,10	33,54
64,72	43,85	35,18	35,16	35,04	37,29	35,16	42,75
59,82	53,66	35,18	35,16	35,04	37,29	35,16	42,75
74,53	58,10	45,74	45,70	45,56	46,92	45,71	49,66
56,88	60,61	43,98	43,95	43,80	45,32	43,95	48,51
61,78	62,18	22,87	22,85	22,78	26,06	22,86	34,69
67,67	58,59	40,46	40,43	40,30	42,11	40,44	46,21
54,92	47,59	43,98	43,95	43,80	45,32	43,95	48,51
67,67	58,65	24,63	24,61	24,53	27,66	24,61	35,84
74,53	56,14	38,70	38,67	38,55	40,50	38,68	45,06
69,63	56,71	65,09	65,04	64,83	64,57	65,05	62,34
71,59	48,20	19,35	19,34	19,27	22,85	19,34	32,38
49,13	58,19	24,63	24,61	24,53	27,66	24,61	35,84
47,17	50,67	42,22	42,19	42,05	43,71	42,19	47,36
67,67	60,30	47,85	47,81	47,66	48,85	47,82	51,05
71,59	54,77	38,70	38,67	38,55	40,50	38,68	45,06
63,74	51,80	47,85	47,81	47,66	48,85	47,82	51,05
73,55	49,58	42,22	42,19	42,05	43,71	42,19	47,36
67,67	48,45	42,22	42,19	42,05	43,71	42,19	47,36
72,57	50,01	19,35	19,34	19,27	22,85	19,34	32,38
53,94	42,43	29,91	29,88	29,79	32,48	29,89	39,30
51,00	49,08	35,18	35,16	35,04	37,29	35,16	42,75
64,72	56,24	22,87	22,85	22,78	26,06	22,86	34,69
65,71	45,49	42,22	42,19	42,05	43,71	42,19	47,36
58,84	72,55	35,18	35,16	35,04	37,29	35,16	42,75
70,61	63,26	28,15	28,13	28,03	30,87	28,13	38,14
63,74	54,60	60,17	60,12	59,92	60,08	60,13	59,11
70,61	62,11	31,67	31,64	31,54	34,08	31,65	40,45
67,67	63,29	33,43	33,40	33,29	35,69	33,40	41,60
47,86	46,09	60,17	60,12	59,92	60,08	60,13	59,11
61,78	54,40	60,17	60,12	59,92	60,08	60,13	59,11
50,21	49,29	31,67	31,64	31,54	34,08	31,65	40,45
66,69	57,36	40,46	40,43	40,30	42,11	40,44	46,21
51,49	42,13	42,22	42,19	42,05	43,71	42,19	47,36
49,62	43,76	42,22	42,19	42,05	43,71	42,19	47,36
61,78	50,58	28,15	28,13	28,03	30,87	28,13	38,14

C (kPa)	Var Ceyhan	Tschebotarioff	Parcher &Means	Terzaghi &Peck	İyisan &Ansal	Sivrikaya &Togrol	Nassaji &Kalantari
62,76	55,52	28,15	28,13	28,03	30,87	28,13	38,14
56,88	57,58	33,43	33,40	33,29	35,69	33,40	41,60
59,82	64,82	59,81	59,77	59,57	59,76	59,78	58,88
31,38	44,93	75,65	75,59	75,34	74,20	75,60	69,25
59,82	47,73	82,68	82,62	82,35	80,62	82,63	73,86
33,34	58,15	38,70	38,67	38,55	40,50	38,68	45,06
58,84	53,87	33,43	33,40	33,29	35,69	33,40	41,60
63,74	68,59	36,94	36,91	36,79	38,90	36,92	43,90
59,82	61,39	45,74	45,70	45,56	46,92	45,71	49,66
51,98	73,35	47,50	47,46	47,31	48,53	47,47	50,82
62,76	49,22	21,11	21,09	21,03	24,45	21,10	33,54
69,63	51,91	35,18	35,16	35,04	37,29	35,16	42,75
57,76	56,46	45,74	45,70	45,56	46,92	45,71	49,66
69,63	46,31	21,11	21,09	21,03	24,45	21,10	33,54
31,38	47,85	43,98	43,95	43,80	45,32	43,95	48,51
51,98	52,74	36,94	36,91	36,79	38,90	36,92	43,90
57,86	56,76	25,92	25,90	25,81	28,84	25,90	36,68
33,34	53,99	42,34	42,30	42,17	43,82	42,31	47,44
60,80	53,47	63,33	63,28	63,08	62,97	63,29	61,18
52,96	63,73	33,43	33,40	33,29	35,69	33,40	41,60
60,80	63,74	40,11	40,08	39,95	41,79	40,08	45,98
54,92	52,45	52,78	52,73	52,56	53,34	52,74	54,27
58,84	66,43	75,76	75,70	75,46	74,31	75,72	69,32
64,72	52,43	51,02	50,98	50,81	51,74	50,98	53,12
68,65	55,14	80,22	80,16	79,90	78,37	80,17	72,24
58,55	59,35	66,85	66,80	66,58	66,18	66,81	63,49
53,45	62,17	65,09	65,04	64,83	64,57	65,05	62,34
51,78	54,09	58,05	58,01	57,82	58,15	58,02	57,73
65,71	48,27	65,09	65,04	64,83	64,57	65,05	62,34
59,82	51,68	54,54	54,49	54,32	54,94	54,50	55,42
60,80	69,51	49,26	49,22	49,06	50,13	49,23	51,97
33,34	50,45	82,45	82,38	82,12	80,41	82,40	73,70
30,40	55,03	43,98	43,95	43,80	45,32	43,95	48,51
37,27	46,98	44,57	44,53	44,39	45,85	44,54	48,90
42,17	48,59	33,89	33,87	33,76	36,12	33,87	41,91
38,25	43,68	29,91	29,88	29,79	32,48	29,89	39,30
34,32	48,52	37,88	37,85	37,73	39,75	37,86	44,52
63,74	61,79	29,91	29,88	29,79	32,48	29,89	39,30
68,65	53,27	21,11	21,09	21,03	24,45	21,10	33,54
65,71	58,80	31,67	31,64	31,54	34,08	31,65	40,45
32,36	63,97	35,18	35,16	35,04	37,29	35,16	42,75
51,00	66,34	57,94	57,89	57,70	58,05	57,90	57,65
56,88	60,31	24,63	24,61	24,53	27,66	24,61	35,84

C (kPa)	Var Ceyhan	Tschebotarioff	Parcher &Means	Terzaghi &Peck	İyisan &Ansal	Sivrikaya &Togrol	Nassaji &Kalantari
48,05	44,46	28,15	28,13	28,03	30,87	28,13	38,14
51,00	58,02	57,94	57,89	57,70	58,05	57,90	57,65
52,96	69,96	24,63	24,61	24,53	27,66	24,61	35,84
54,92	58,28	33,43	33,40	33,29	35,69	33,40	41,60
57,86	56,84	28,15	28,13	28,03	30,87	28,13	38,14
59,82	69,49	33,43	33,40	33,29	35,69	33,40	41,60
60,80	72,30	38,70	38,67	38,55	40,50	38,68	45,06
61,78	74,13	49,02	48,98	48,83	49,92	48,99	51,81
50,41	46,97	46,80	46,76	46,61	47,88	46,77	50,36
75,51	52,87	77,41	77,34	77,09	75,81	77,36	70,40
52,56	49,25	38,70	38,67	38,55	40,50	38,68	45,06
72,57	66,55	38,70	38,67	38,55	40,50	38,68	45,06
66,69	58,75	45,86	45,82	45,67	47,03	45,83	49,74
71,59	59,41	60,17	60,12	59,92	60,08	60,13	59,11
63,74	50,91	54,54	54,49	54,32	54,94	54,50	55,42
33,34	59,25	49,26	49,22	49,06	50,13	49,23	51,97
67,67	51,59	45,74	45,70	45,56	46,92	45,71	49,66
64,72	55,51	38,70	38,67	38,55	40,50	38,68	45,06
65,71	45,61	46,80	46,76	46,61	47,88	46,77	50,36
30,40	59,49	60,17	60,12	59,92	60,08	60,13	59,11
59,82	55,35	42,22	42,19	42,05	43,71	42,19	47,36
55,90	52,00	47,85	47,81	47,66	48,85	47,82	51,05
32,36	66,06	35,18	35,16	35,04	37,29	35,16	42,75
68,65	62,28	38,70	38,67	38,55	40,50	38,68	45,06
61,78	59,46	75,06	75,00	74,76	73,67	75,01	68,86
38,25	52,36	68,02	67,97	67,75	67,25	67,98	64,26
62,76	59,43	55,83	55,78	55,60	56,12	55,79	56,27
60,80	59,36	62,39	62,34	62,14	62,11	62,35	60,57
64,72	63,17	60,17	60,12	59,92	60,08	60,13	59,11
30,40	64,30	45,86	45,82	45,67	47,03	45,83	49,74
68,65	57,82	53,48	53,44	53,26	53,98	53,45	54,73
35,30	63,98	75,06	75,00	74,76	73,67	75,01	68,86
67,67	54,43	79,75	79,69	79,43	77,95	79,70	71,94

ÖZGEÇMİŞ

1986 yılında Eskişehir’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Eskişehir’de tamamladı. 2005 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü’ne devam ederken 2008 yılında İnşaat Mühendisliği çift anadal programına (Ç.A.P) başladı. 2009 yılında Jeoloji Mühendisliği bölümünden derece ile mezun oldu. 2015 yılında İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine devam etmektedir. İzmit Su A.Ş.’de Baraj ve Boru Hattı İşletme Mühendisi olarak görev yapmaktadır.

