

VILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Normal Kon. Yum. Kıl. Ara. ve
Labor. Deney. Karş.

YÜKSEK LİSANS TEZİ

S. Arzu Koç

1996

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
KÜTÜPHANE VE DOKÜMANTASYON
DAİRE BAŞKANLIĞI

Yer No (DDC) : R 150
300

Kayıt No :258.....

Geldiği Yer:Fen.Bil.Ens....

.....
Tarih :27.04.1999.....

Fiyat :350.000.TL.....

Fatura No:.....

Ayniyat No:....1-1.....

Ek :.....

YILDIZ YEKNIK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SEMBOLOJİ

SEKİL LİSTESİ

TABLO LİSTESİ

ÖZET

SUMMARY

NORMAL KONSOLİDE YUMUŞAK KİLLERDE

ARAZİ VE LABORATUAR DENEYLERİNİN

KARŞILAŞTIRILMASI

Y. T. Ü.

KÜTÜPHANE DUK. DAL. BAŞKANLIĞI

İnş. Müh. Saadet Arzu KOÇ

F.B.E. İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Geoteknik Programında Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Sönmez Yıldırım

İSTANBUL , 1996

İÇİNDEKİLER

SEMBOL LİSTESİ	I
ŞEKİL LİSTESİ	II
TABLO LİSTESİ	VI
ÖNSÖZ	VII
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
BÖLÜM 1	1
1. GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
2. Alibey Barajı'nın Tanıtılması	3
2.1. Alibey Barajı Zemin Özellikleri	5
BÖLÜM 3	11
3. Normal Konsolide Yumuşak Killler	11
3.1. Normal Konsolide, Genç , Çökelmiş yumuşak Killer	12
3.2.1. Normal Konsolide Yumuşak Killer Üzerinde Dolgu İnşaatı	13
3.2. Normal Konsolide Yaşlanmış Yumuşak Killer	13
3.2.1.1. Yükleme Devresi	13
3.2.1.2. Konsolidasyon Devresi	14
BÖLÜM 4	16
4. Arazi Deneyleri	16
4.1. Standart Penetrasyon Deneyleri (SPT)	16
4.2. Pressiometre Deneyleri	23
4.3. Arazi Veyn Deneyleri	30

BÖLÜM 5	37
5. Laboratuvar Deneyleri	37
5.1. Zemin Endeks Özellikleri	37
5.2. Mukavemet Özellikleri	47
5.2.1. Üç Eksenli Basınç Deneyleri	47
5.3. Konsolidasyon Deneyleri	63
BÖLÜM 6	75
6. Sonuçların Tartışılması Ve Öneriler	75
6.1. Endeks Özellikleri	75
6.1.1. Doğal Birim Hacim Ağırlıkları	75
6.1.2. Doğal Su Kapsamı	76
6.1.3. Atterberg (Kıvam) Limitleri	76
6.2. Mukavemet Parametreleri	77
6.2.1. Drenajsız Kayma Mukavemeti	77
6.2.2. İçsel Sürtünme Açısı (ϕ')	78
6.2.3. Elastisite Modülü	79
6.3. Sıkışabilirlik Parametreleri	80
6.4. Sonuç ve Öneriler	81
KAYNAKLAR	82
ÖZGEÇMİŞ	

SEMBOL LİSTESİ

C_c	Sıkışma indisi	4
C_α	İkincil konsolidasyon katsayısı	7
C_u	Drenajsız kayma mukavemeti parametresi	17
C_v	Konsolidasyon katsayısı	17
$C_{u \text{ press}}$	Pressiometrik drenajsız kayma mukavemeti parametresi	18
$C_{u \text{ veyn}}$	Veyn deneyleri drenajsız kayma mukavemeti parametresi	19
$C_{u \text{ Düzeltilmiş}}$	Düzeltilmiş veyn kayma mukavemeti parametresi	19
D	Kanat çapı	20
e	Boşluk oranı	22
e_0	Başlangıç boşluk oranı	22
E_p	Pressiometrik elastisite modülü	26
E_u	Drenajsız elastisite modülü	26
H	Kanat yüksekliği	27
I_p	Plastisite İndisi	28
K_0	Sükunetteki toprak basıncı katsayısı	28
m_v	Hacimsel sıkışma katsayısı	33
N	Standart penetrasyon darbe sayısı	33
P_L	Limit basınç	34
$P_L - P_0$	Net limit basınç	34
w_L	Likit limit	35
w_P	Plastik limit	35
α	Reolojik faktör	36
ϕ'	Efektif gerilmelere göre içsel sürtünme açısı	36
λ	Veyn deneyleri için düzeltme katsayısı	38
γ_s	Dane birim hacim ağırlığı	39
σ'_p	Önkonsolidasyon basıncı	39
σ'_{v0}	Arazide efektif düşey basınç	42

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1. Baraj kesiti ve temel zemin profili.....	4
Şekil 2.2. VSK 1-2-3-4-5-6 sondajlarında plastisite indisinin (I_p) likit limit (w_L) ile değişimi (Soydemir, 1970)	7
Şekil 4.1. Alibey Barajı planı ve sondaj yerleri.....	17
Şekil 4.2 . Alibey Barajı SPT N değerlerinin derinlikle değişimi	18
Şekil 4.3. f_1 katsayısının plastisite indisine bağlı değişimi.....	19
Şekil 4.4. Alibey Barajı SPT N değerleri ile tahmin edilen drenajsız kayma mukavemeti değerlerinin derinlikle değişimi.....	20
Şekil 4.5. Alibey Barajı SPT N değerleri ile tahmin edilen hacimsal sıkışma katsayısı (m_v) değerlerinin derinlikle değişimi	22
Şekil 4.6. Pressiometrik elastisite modülü E_p değerlerinin derinlikle değişimi.....	26
Şekil 4.7.Düzeltilmiş pressiometrik (E_u) drenajsız elastisite modülü değerlerinin derinlikle değişimi	27
Şekil 4.8.Pressiometrik drenajsız kayma mukavemeti (c_u) değerlerinden elde edilen drenajsız elastisite modülü (E_u) değerlerinin derinlikle değişimi	28
Şekil 4.9. Pressiometre deneyleri drenajsız kayma mukavemeti (c_u) değerlerinin derinlikle değişimi	33
Şekil 4.10.Pressiometre deneyleri c_u/σ_v' değerlerinin derinlikle değişimi.....	34
Şekil 4.11. Veyn deneyleri drenajsız kayma mukavemeti c_u değerlerinin derinlikle değişimi	35
Şekil 4.12 Veyn deneyleri drenajsız kayma mukavemeti c_u değerleri ile tahmin edilen elastisite modülü değerlerinin (E_u) derinlikle değişimi	36
Şekil 5.1. BH 1-5-6 ve CPT4 Sondajları likit limit (w_L) değerlerinin plastisite indisile (I_p) değişimi	38
Şekil 5.2. VSK 1-2-3-4-5-6 Sondajları plastisite indisı değerlerinin (I_p) derinlikle değişimi	39
Şekil 5.3. Şekil 5.3. BH1-5-6 ve CPT 4 sondajları su kapsamı değerlerinin derinlikle değişimi	42

Şekil 5.15. BH5 sondajı 34.00-34.30 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan	
Şekil 5.4.VSK 1-2-3-4-5-6 Sondajları plastisite indisi değerleriyle (I_p) tahmin edilen drenajsız kayma mukavemeti (c_u) değerlerinin derinlikle değişimi.....	48
Şekil 5.5. BH5-CPT4 sondajları içsel sürtünme açısı (ϕ') açılarının plastisite indisiyle (I_p) değişimi	51
Şekil 5.6. CPT4 sondajı 32.50-33.00 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyonlu drenajsız (CU) deneylerden elde edilen ($q'-p'$) efektif gerilme izleri ..	53
Şekil 5.7. CPT4 sondajı 32.50-33.00 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyonlu drenajsız (CU) deneylerden elde edilen boşluk suyu basıncı,deviatör gerilmenin ($\sigma_1-\sigma_3$) birim deformasyonla değişimi .($\sigma_3=400$ kPa)	53
Şekil 5.8. CPT4 sondajı 37.50-38.00 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyonlu drenajsız (CU) deneylerden elde edilen ($q'-p'$) efektif gerilme izleri....	54
Şekil 5.9. CPT4 sondajı 37.50-38.00 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyonlu drenajsız (CU) deneylerden elde edilen boşluk suyu basıncı,deviatör gerilmenin ($\sigma_1-\sigma_3$) birim deformasyonla değişimi .($\sigma_3=400$ kPa)	55
Şekil 5.10. CPT4 sondajı 37.50-38.00 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyonlu drenajsız (CU) deneylerden elde edilen boşluk suyu basıncı,deviatör gerilmenin ($\sigma_1-\sigma_3$) birim deformasyonla değişimi .($\sigma_3=500$ kPa)	55
Şekil 5.11. BH5 sondajı 45.00-45.50 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyonlu drenajsız (CU) deneylerden elde edilen ($q'-p'$) efektif gerilme izleri .	56
Şekil 5.12. BH5 sondajı 45.00-45.50 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyonlu drenajsız (CU) deneylerden elde edilen boşluk suyu basıncı,deviatör gerilmenin ($\sigma_1-\sigma_3$) birim deformasyonla değişimi .($\sigma_3=100$ kPa)	57
Şekil 5.13. BH5 sondajı 45.00-45.50 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyonlu drenajsız (CU) deneylerden elde edilen boşluk suyu basıncı,deviatör gerilmenin ($\sigma_1-\sigma_3$) birim deformasyonla değişimi .($\sigma_3=500$ kPa)	57
Şekil 5.14. BH5 sondajı 34.00-34.30 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyonlu drenajsız (CU) deneylerden elde edilen ($q'-p'$) efektif gerilme izleri .	59

Şekil 5.15. BH5 sondajı 34.00-34.30 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyonlu drenajsız (CU) deneylerden elde edilen boşluk suyu basıncı,deviatör gerilmenin ($\sigma_1-\sigma_3$) birim deformasyonla değişimi .($\sigma_3=350$ kPa)	59
Şekil 5.16. BH5 sondajı 50.00-50.50 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyonlu drenajsız (CU) deneylerden elde edilen ($q'-p'$) efektif gerilme izleri .60	
Şekil 5.17. BH5 sondajı 50.00-50.50 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyonlu drenajsız (CU) deneylerden elde edilen boşluk suyu basıncı,deviatör gerilmenin ($\sigma_1-\sigma_3$) birim deformasyonla değişimi .($\sigma_3=150$ kPa)	61
Şekil 5.18. BH5 sondajı 50.00-50.50 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyonlu drenajsız (CU) deneylerden elde edilen boşluk suyu basıncı,deviatör gerilmenin ($\sigma_1-\sigma_3$) birim deformasyonla değişimi .($\sigma_3=200$ kPa)	61
Şekil 5.19. Konsolidasyon katsayılarının (c_v) basınç kademelerindeki (σ_v')değişimi ...	65
Şekil 5.20. BH5 sondajı 34.00-34.30 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyon deneyleri sonucu elde edilen boşluk oranının (e) basınç kademelerindeki (σ_v') değişimi	66
Şekil 5.21. BH5 sondajı 40.00-40.30 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyon deneyleri sonucu elde edilen boşluk oranının (e) basınç kademelerindeki (σ_v') değişimi	66
Şekil 5.22. BH1 sondajı 15.00-15.50 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyon deneyleri sonucu elde edilen boşluk oranının (e) basınç kademelerindeki (σ_v') değişimi	67
Şekil 5.23. BH1 sondajı 24.00-24.50 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyon deneyleri sonucu elde edilen boşluk oranının (e) basınç kademelerindeki (σ_v') değişimi	67
Şekil 5.24. CPT4 sondajı 37.50-38.00 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyon deneyleri sonucu elde edilen boşluk oranının (e) basınç kademelerindeki (σ_v') değişimi	68

Şekil 5.25. CPT4 sondajı 32.50-33.00 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyon deneyleri sonucu elde edilen boşluk oranının (e) basınç kademelerindeki (σ_v') değişimi	68
Şekil 5.26. BH5 sondajı 45.00-45.50 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyon deneyleri sonucu elde edilen boşluk oranının (e) basınç kademelerindeki (σ_v') değişimi	69
Şekil 5.27. BH1 sondajı 50.00-50.50 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyon deneyleri sonucu elde edilen boşluk oranının (e) basınç kademelerindeki (σ_v') değişimi	69
Şekil 5.28. Hacimsal sıkışma katsayısının (m_v) basınç kademelerindeki (σ_v') değişimi	73
Şekil 5.29. Hacimsal sıkışmm katsayısı (m_v) değerleriyle hesaplanmış ($1/m_v$) değerlerinin basınç kademelerindeki (σ_v') değişimi	74

Kirimi Hızın Açıklayıcı ve Değerlendirici Değişkeni

Tablo 5.6.a BH1-BH5 sondajları 32.50-50.50 m derinlikten alınan örneklerin konsolidasyon

Basınçları ve Hacimsal Sıkışma Katsayıları

Tablo 5.6.b BH1-BH5 sondajları 32.50-50.50 m derinlikten alınan örneklerin konsolidasyon

Basınçları ve Hacimsal Sıkışma Katsayıları

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1. Zemin Profilinde Yer Alan Tabakalar ve Özellikleri.....	6
Tablo 4.1. Pressiometre Deney Verileri.....	24
Tablo 4.2. Pressiometrik Elastisite Modülü Düzeltme Katsayıları.....	29
Tablo 5.1.a. Alibey Barajı BH1 Sondajı Zemin Endeks Özellikleri.....	43
Tablo 5.1.b. Alibey Barajı BH6 Sondajı Zemin Endeks Özellikleri.....	44
Tablo 5.2.a. Alibey Barajı BH1 Sondajı Elek Analizi ve Hidrometre Deney Sonuçları...	45
Tablo 5.2.b. Alibey Barajı BH6 Sondajı Elek Analizi ve Hidrometre Deney Sonuçları...	46
Tablo 5.3. Alibey Barajı Zemin İçsel Sürtünme Açısı (ϕ) Değerleri.....	50
Tablo 5.4. Alibey Barajı Konsolidasyonlu Drenajsız (CU)Üç Eksenli Basınç Deney Verileri.....	62
Tablo 5.5. Üç Eksenli Basınç Deneylerinde Zemine Ait Deney Başı ve Deney Sonu Birim Hacim Ağırlıkları ve Su Muhtevası Değerleri Verileri.....	63
Tablo 5.6.a. BH1- BH5 Sondajları Konsolidasyon Katsayısı C_v , Ön Konsolidasyon Basıncı σ_p' , Sıkışma İndisi C_c	71
Tablo 5.6.b. BH5- CPT4 Sondajları Konsolidasyon Katsayısı C_v , Ön Konsolidasyon Basıncı σ_p' , Sıkışma İndisi C_c	72

Bu çalışmada DPT 95K170590 No'lu "Yumuşak Zeminlere Oluşan Dolguların Davranış" isimli araştırma projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu projenin gerçekleştirilmesinde Devlet Su İşleri tarafından Alibey Barajında gerçekleştirilen sondajlara büyük katkısı olduğundan bu kuruluş ve maddi katkılarından dolayı DPT'ne teşekkürü bir borç bilirim.

ÖNSÖZ

Bu çalışmada normal konsolide yumuşak killeri üzerinde yapılan arazi ve laboratuvar deneylerinden zemine ait geoteknik ve mekanik parametrelerin elde edilmesi ve her iki deney tipinden elde edilen deney sonuçlarının karşılaştırılması hedef alınmıştır.

DSİ tarafından Alibey Barajında 10 adet zemin etüd sondajları açılmış, sondajlardan örselenmiş ve örselenmemiş örnekler alınarak zemine ait geoteknik parametreleri incelenmek ve yapılan arazi deneylerinden elde edilen verilerle karşılaştırılmak üzere örnekler üzerinde Yıldız Teknik Üniversitesi Zemin Mekaniği Laboratuvarında bir seri laboratuvar deneyi yapılmıştır.

Çalışmalarım sırasında her türlü konuda değerli yardımı ve ilgisini esirgemeyen tez danışmanım Prof.Dr.Sönmez Yıldırım'a ,Prof.Dr.İ.Kutay Özaydın'a, Yrd.Doç.Dr. Mustafa Yıldırım'a, Arş.Gör.Dr.Mehmet Berilgen'e laboratuvar çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen Arş.Gör.Yük .Müh.Havvanur Kılıç'a, Arş.Gör.Yük.Müh.Şükrü Özçoban'a, arkadaşım İnş.Müh.Banu Mercangöz'e, sonsuz desteklerini gördüğüm aileme, laboratuvar görevlisi teknisyen Erhan Erol'a ve emeği geçen herkese teşekkür ederim.

Bu çalışma DPT 95K120550 No'lu "Yumuşak Zeminlere Oturan Dolguların Davranışı" isimli araştırma projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.Bu projenin gerçekleşmesinde Devlet Su İşleri tarafından Alibey Barajı'nda gerçekleştirilen sondajların büyük katkısı olduğundan bu kuruluşa ve maddi katkılarından dolayı DPT'na teşekkürü bir borç bilirim.

ÖZET

Normal konsolide yumuşak killi yeryüzünde kalın tabakalar halinde çok geniş alanları kaplamaktadır. Bu yüzden yumuşak killi üzerinde inşa edilecek yapıların tasarım ve yapımı son yıllarda geoteknik mühendisliğinin önemli problemlerinden biri haline gelmiştir. Alibey Barajı sözü edilen normal konsolide yumuşak bir kil tabakası üzerinde inşa edilmiş yapılardan biridir. Yumuşak alüvyal çökellerden oluşan baraj temel zemininde göçme meydana gelmemesi ve oturmaların kontrol altında tutulabilmesi için baraj dolgusu kademeli bir şekilde yaklaşık 15 yılda inşa edilmiş ve dolgu inşaatından önce yerleştirilen ölçüm aletleri sayesinde arazi boşluk suyu basıncı değişimleri ile zemin hareketleri gözlem altında tutulmuştur. Bu şekilde arazi enstrumantasyonuna sahip olması, inşa süresi ve sonrasında zemin hareketleri ile boşluk suyu basınçlarının gözlemlenmesi nedeniyle Alibey Barajı benzer yapılar arasında önemli bir yere sahip bulunmaktadır.

Bu çalışmada normal konsolide yumuşak bir kil tabakası üzerinde inşa olunan Alibey Barajı'nın inşaatından sonra temel zemininin geoteknik yönden incelenmesi ve elde edilen bulguların inşa öncesi elde edilenlerle karşılaştırılması yanında barajın ve altındaki jeolojik ortamın matematiksel olarak modellenmesi için gerekli geoteknik ve mekanik parametrelerin elde edilmesi amaçlanmıştır. Alibey Barajı temel zemininin endeks, mukavemet ve sıkışabilirlik özellikleri 1967 ve baraj inşaatı sonrası 1996 yılında yapılan sondajlar ve sondajlardan elde edilen örnekler üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri ile saptanmıştır. Bu çalışmada 1967 ve son olarak 1996 yılında yapılan arazi ve laboratuvar deney sonuçları düzenlenerek baraj dolgusu altındaki normal konsolide yumuşak kil zemin tabakalarına ait kayma mukavemeti ve sıkışabilirlik parametreleri belirlenmeye ve dolgu yüklemeleri altında zaman içinde baraj altı zemin tabakalarında meydana gelen değişimler incelenmeye çalışılmıştır. Ayrıca zemin üzerinde yapılan arazi ve laboratuvar deneyleri sonucu elde edilen veriler değerlendirilmiş ve birbirleriyle karşılaştırılmışlardır.

SUMMARY

Normally consolidated soft soils occupy large areas on the earth. Design and construction of the structures faunded on the soft clayey soils presents important engineering problems in geotechnical studies. Alibey Dam is one of structures which is constructed on a normally consolidated clay soil deposit . The Dam seated on medium stiff cohesive alluvial deposits of up to 35 m thickness is constructed in stages within a period of 15 years. Due to its foundation layers heavily instrumented inorder to monitor the generated pore pressures generated and displacement developed during construction, Alibey Dam hascollected a wide attantion among similar structures all over the world.

In this study, the geotechnical properties of the foundation layers obtained before and after the construction of the dam are compared. İn addition to this work mechanical parameters which are necessary in midelling the dam and its foundation for the numerical analyses are also investigated.

BÖLÜM 1

1. GİRİŞ

Normal konsolide yumuşak killer yeryüzünde kalın tabakalar halinde çok geniş alanları kaplamaktadır. Bu yüzden yumuşak killer üzerinde inşa edilecek yapıların tasarım ve yapımı son yıllarda geoteknik mühendisliğinin önemli problemlerinden biri haline gelmiştir.

İstanbul şehrinin su ihtiyacını karşılamak üzere inşa olunan Alibey Barajı sözü edilen normal konsolide yumuşak bir kil tabakası üzerinde inşa edilmiş yapılardan biridir. Yaklaşık 30 m kalınlığında yumuşak alüvyal çökellerden oluşan baraj temel zemininde göçme meydana gelmemesi ve oturmaların kontrol altında tutulabilmesi için baraj dolgusu kademeli bir şekilde yaklaşık 15 yılda inşa edilmiş ve dolgu inşaatından önce yerleştirilen ölçüm aletleri sayesinde arazi boşluk suyu basıncı değişimleri ile zemin hareketleri gözlem altında tutulmuştur. Bu şekilde arazi enstrumantasyonuna sahip olması, inşa süresi ve sonrasında zemin hareketleri ile boşluk suyu basınçlarının gözlemlenmesi nedeniyle Alibey Barajı benzer yapılar arasında önemli bir yere sahip bulunmaktadır.

Bu çalışmada normal konsolide yumuşak bir kil tabakası üzerinde inşa olunan Alibey Barajı'nın inşaatından sonra temel zemininin geoteknik yönden incelenmesi ve elde edilen bulguların inşa öncesi elde edilenlerle karşılaştırılması yanında barajın ve altındaki jeolojik ortamın matematiksel olarak modellenmesi için gerekli geoteknik ve mekanik parametrelerin elde edilmesi amaçlanmıştır.

Alibey Barajı temel zemininin baraj inşaatı başlamadan önce sahip olduğu özellikleri 1967 ve baraj inşaatı sonrası zemin özellikleri 1996 yılında yapılan sondajlar ve sondajlardan elde edilen örnekler üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri ile tespit olunmuştur. Diğer yandan sondajlardan alınan örselenmemiş örnekler üzerinde laboratuvar odometre ve üç eksenli basınç deneyleri yapılmıştır. Bu çalışmada 1967 ve son olarak 1996 yılında

yapılan arazi ve laboratuvar deney sonuçları düzenlenerek baraj dolgusu altındaki normal konsolide yumuşak kil zemin tabakalarına ait kayma mukavemeti ve sıkışabilirlik parametreleri belirlenmeye ve dolgu yüklemeleri altında zaman içinde baraj altı zemin tabakalarında meydana gelen değişimler incelenmeye çalışılmıştır. Ayrıca zemin üzerinde yapılan arazi ve laboratuvar deneyleri sonucu elde edilen veriler değerlendirilmiş ve birbirleriyle karşılaştırılmışlardır. Buna göre tez organizasyonu aşağıdaki paragrafda açıklandığı gibi gerçekleştirilmiştir.

Birinci bölümde, yapılan tez çalışması hakkında genel bir giriş yapılmış ve İkinci Bölümde yumuşak konsolide bir zemin üzerinde yeralan Alibey Barajı'nın özellikleri ve inşa edildiği temel zemini profili ve zemin özellikleri özetlenmiştir. Üçüncü Bölümde normal konsolide yumuşak killer hakkında literatürde yeralan bilgiler verilerek bu tip zeminlerin sınıflandırılmasından bahsedilmiş ve bu tip zeminler üzerinde inşa edilecek dolguların inşası hakkında bilgiler verildikten sonra Dördüncü Bölüm arazi çalışmalarına, Beşinci Bölüm ise laboratuvar çalışmalarına ayrılmıştır. Dördüncü Bölümde ilk olarak 1967 yılında yapılan arazi veyn deneyleri yeniden değerlendirilmiş ve sonra 1996 yılında DSİ tarafından Alibey Barajı sahasında yapılan arazi deneylerinden (SPT ve pressiometre) elde edilen veriler değerlendirilerek sunulmuştur. Laboratuvar çalışmalarının yer aldığı Beşinci Bölümde ise Alibey Barajı temel zemininden alınan örselenmiş ve örselenmemiş örnekler üzerinde laboratuvarda yapılan deneylerle endeks, mukavemet ve sıkışabilirlik özellikleri belirlenmiş ve elde edilen bulgular 1967 yılında elde edilen bulgularla ve 1996 yılında yapılan arazi deneyleri sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Son olarak Altıncı Bölümde ise tez çalışmasında DSİ tarafından yapılan arazi deneylerinin değerlendirilmesi ve laboratuvarda yapılan deney sonuçlarından elde edilen bulgular ile genel sonuçlar çıkarılmaya çalışılmıştır.

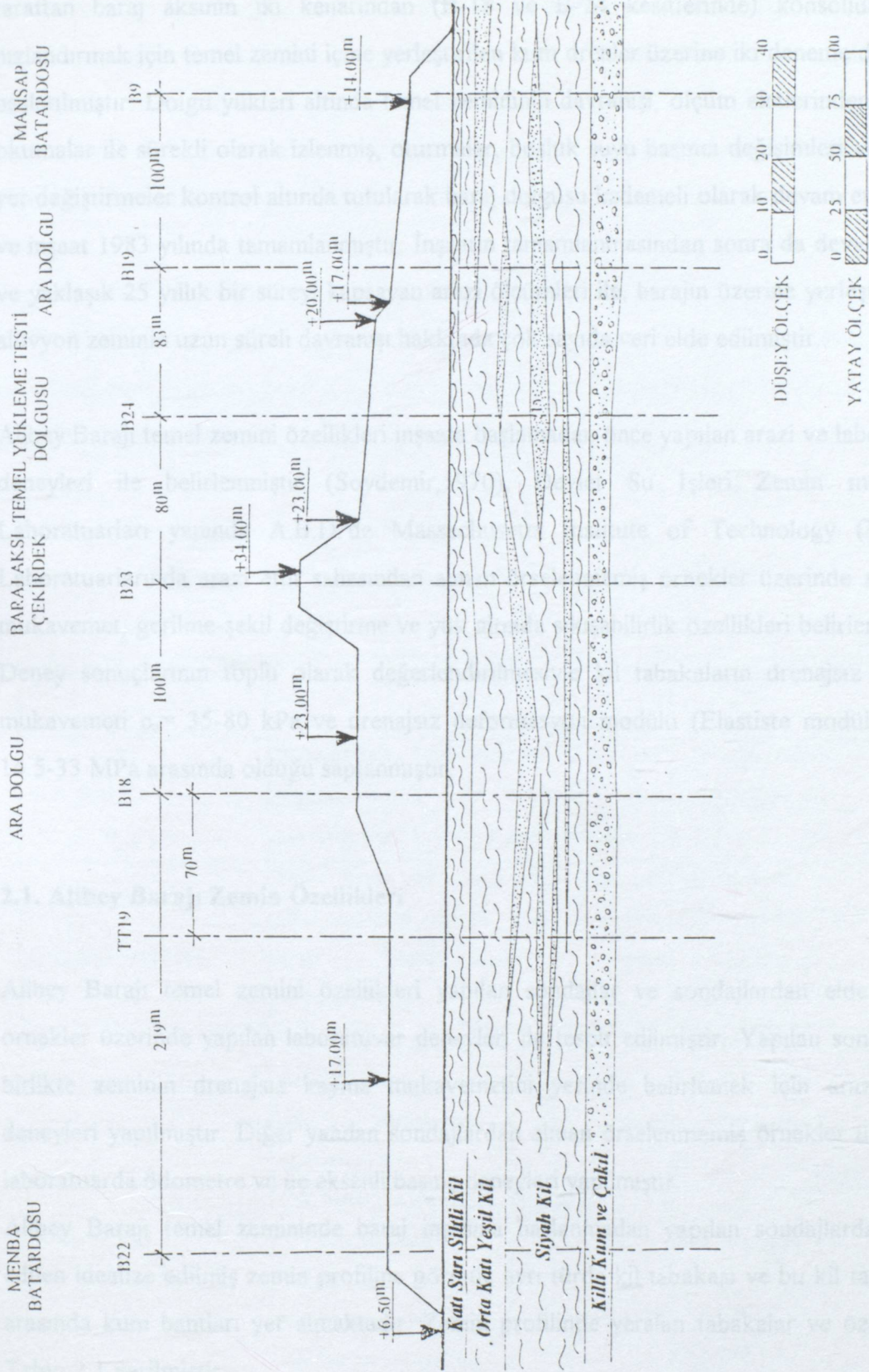
BÖLÜM 2

2. ALİBEY BARAJI'NIN TANITILMASI

Alibey Barajı, İstanbul şehrinin su ihtiyacını karşılamak üzere 1960' larda planlanan, Alibey deresi üzerine inşaa edilmiş bir toprak dolgu barajdır. Şekil 2.1.' de zemin profili ve baraj enkesiti gösterilen barajın kret genişliği 15 m, yüksekliği 28 m, taban genişliği 304 m, uzunluğu ise 550 m ' dir. Toprak dolgu hacmi 2 milyon m³ civarında olan barajın inşasına 1967 yılında başlanmıştır.

Haliç' e akan Alibey deresi vadisi, orta kesimlerde kalınlığı 35 m' ye varan alüvyal çökeller ile kaplanmıştır. Barajın üzerine oturtulduğu temel zemini, içinde yer yer kum mercekleri ve bantları içeren orta katı, plastik killi zeminlerden oluşmakta, onun altında ise üst kesimleri ayrıışmış kumtaşı-silttaşı formasyonları yer almaktadır. Killi tabakalar ile taban kayası arasında kalınlığı 2-4 m arasında değişen çakıllı bir tabakaya rastlanılmaktadır.

Temel zemin özellikleri yönünden Alibey Barajı dünyada bu tür sorunlu zeminler üzerine inşa edilen barajlar arasında önemli bir yere sahip kılmaktadır. Baraj dolgusunun yerleştirilmesi sırasında stabilite problemlerine yol açmamak ve meydana gelmesi beklenen büyük oturmaların yol açacağı sorunları enaza indirmek için, inşaatın kademeli olarak yapılması kararlaştırılmıştır. Kademeli dolgu inşaatını planlayabilmek için, baraj temel zemini zamanının en gelişmiş ölçüm aletleri ile donatılmıştır. Meydana gelecek oturmaları, boşluk suyu basıncı artışlarını ve yatay yer değiştirmeleri sürekli izlemek ve kontrol altında tutmak amacıyla, baraj altına ve temel zemini içerisine çok sayıda oturma plakası, piezometre ve inklinometre, ayrıca baraj ve çevresine jeodezik ölçüm blokları ve sismograflar yerleştirilmiştir. Baraj inşaatına 1967 yılı yaz aylarında, memba batardosunun yerleştirileceği yüzeyin temizlenmesi ve tabanın hazırlanması ile başlanmıştır. Kasım 1967' de gerçekleştirilen küçük çaplı memba batardosu dolgusundan sonra, 1968 bahar aylarında memba batardosu dolgusu 8 m'ye yükseltilirken, diğer



Şekil 2.1. Baraj kesiti ve temel zemin profili

tarafından baraj aksının iki kenarından (B-18 ve B-24 kesitlerinde) konsolidasyonu hızlandırmak için temel zemini içine yerleştirilen kum drenler üzerine iki deneme dolgusu başlatılmıştır. Dolgu yükleri altında temel zemininin davranışı, ölçüm aletlerinden alınan okumalar ile sürekli olarak izlenmiş, oturmalar, boşluk suyu basıncı değişimleri ve yanıl yer değıştirmeler kontrol altında tutularak baraj dolgusu kademeli olarak devam ettirilmiş ve inşaat 1983 yılında tamamlanmıştır. İnşaatın tamamlanmasından sonra da devam eden ve yaklaşık 25 yıllık bir süreyi kapsayan arazi ölçümleri ile, barajın üzerine yerleştirildiği alüvyon zeminin uzun süreli davranışı hakkında çok sayıda veri elde edilmiştir.

Alibey Barajı temel zemini özellikleri inşaatı başlamadan önce yapılan arazi ve laboratuvar deneyleri ile belirlenmiştir (Soydemir,1970). Devlet Su İşleri Zemin mekaniği Laboratuvarları yanında A.B.D.'de Massachusetts Institute of Technology (M.I.T.) Laboratuvarlarında arazi etüt sahasından alınan örselenmemiş örnekler üzerinde zeminin mukavemet, gerilme-şekil değıştirme ve yük altında sıkışabilirlik özellikleri belirlenmiştir. Deney sonuçlarının toplu olarak değerlendirilmesiyle kil tabakaların drenajsız kayma mukavemeti $c_u = 35-80$ kPa ve drenajsız deformasyon modülü (Elastite modülü) $E_u = 14.5-33$ MPa arasında olduğu saptanmıştır.

2.1. Alibey Barajı Zemin Özellikleri

Alibey Barajı temel zemini özellikleri yapılan sondajlar ve sondajlardan elde edilen örnekler üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri ile tespit edilmiştir. Yapılan sondajlarla birlikte zeminin drenajsız kayma mukavemetini yerinde belirlemek için arazi veyn deneyleri yapılmıştır. Diğer yandan sondajlardan alınan örselenmemiş örnekler üzerinde laboratuvarda ödometre ve üç eksenli basınç deneyleri yapılmıştır.

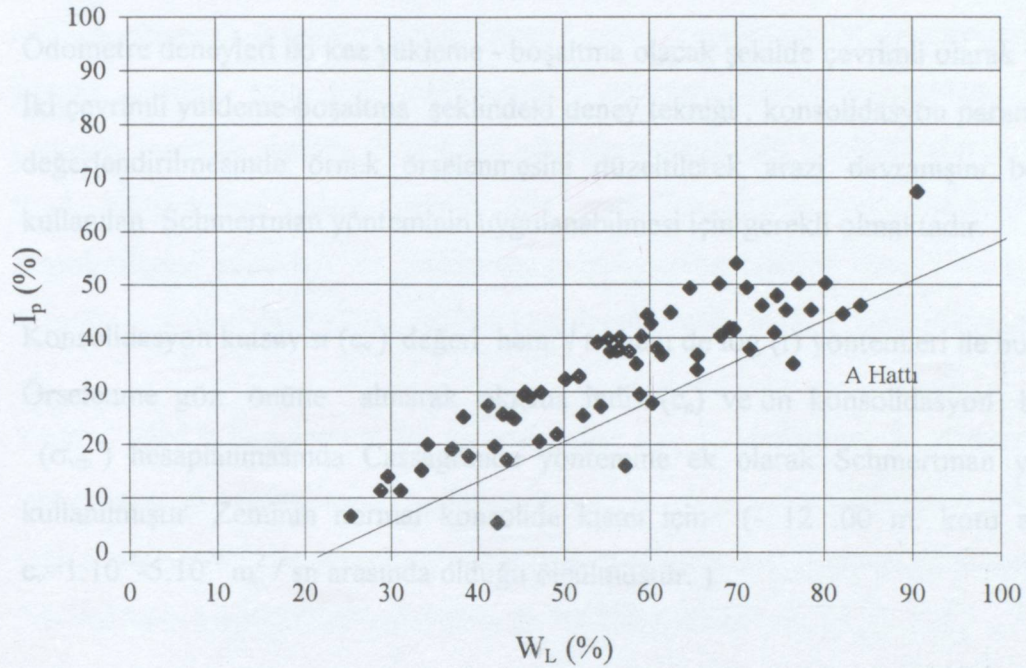
Alibey Barajı temel zemininde baraj inşasına başlanmadan yapılan sondajlardan elde edilen idealize edilmiş zemin profiline göre üç ayrı türde kil tabakası ve bu kil tabakalar arasında kum bantları yer almaktadır. Zemin profilinde yer alan tabakalar ve özellikleri Tablo 2.1 verilmiştir.

Ayrıca arazide tuz konsantrasyonu için deneyler yapılmış ve bu deneylerde 7 metre derinlikten alınan örneklerde tuza rastlanmamış , 13 - 26 metre derinlik arasında alınan örneklerde deniz suyu tuz konsantrasyonunun % 10- % 30 ' u arasında olduğu bulunmuştur. Kil minerallerin saptanması için yapılan deneylerde zeminin % 30 - % 50 arası kil mineralleri (montmorillonit ve illite) içerdiği bulunmuştur.

Beş adet arazi veyn deneyinin yapıldığı sondaj çukurlarından alınmış örnekler (VSK1-VSK2-VSK3-VSK4-VSK5) üzerinde yapılan laboratuvar deneylerinden elde edilen Atterberg limit değerleri Şekil 2.2 ' de görüldüğü üzere Cassagrande plastisite kartında A çizgisinin biraz üstünde dar bir bant içinde toplanmıştır.

Tablo 2.1. Zemin Profilinde Yer Alan Tabakalar ve Özellikleri

İdealize Edilmiş Profil	Ayrıntılı Açıklama	Tipik Değerler
Sert, Sarı Kil	Sert,sarı-kahverengi siltli kil , yer yer organik, orta ile yüksek arası plastisite.Kum Ceplerine rastlamaktadır.	$W_L = \% 40 - \% 60$ $\gamma = 20 \text{ kN/ m}^3$
Orta Sert ,Yeşil Kil	Orta sert kirli yeşil kil ,yer yer siltli,genellikle organik ,orta ile yüksek arası plastisite.Kum ceplerine rastlanmaktadır.	$W_L = \% 40 - 60$ $I_p = \% 25 - \% 35$ $\gamma = 19 \text{ kN/ m}^3$
Orta Sert ,Gri Kil	Orta sert,koyu gri,organik kil , (Derinlik arttıkça midye kabuklarına ve ağaç parçalarına çok sıkça rastlanmaktadır.)	$W_L = \% 55 - 70$ $I_p = \% 30 - \% 50$ $\gamma = 17 \text{ kN/ m}^3$
Kum ve Sert Kil	Çok heterojen bir tabaka ,genellikle; 1- İnce siltli kum 2-Killi kum 3-Kumlu çakıllı kil 4-Koyu gri organik kil	$\gamma = 19 \text{ kN/ m}^3$



Şekil 2.2. VSK 1-2-3-4-5-6 sondajlarında plastisite indisinin (I_p) likit limit (w_L) ile değişimi (Soydemir, 1970)

Kil tabakası boyunca alınan örnekler üzerinde yapılan beş ödometre deneyinde σ_p' ; Ön konsolidasyon basıncı ; c_c , Sıkışma indisi , c_v ; Yükleme artışına bağlı konsolidasyon katsayısı , c_{α} ; İkincil konsolidasyon katsayısı parametreleri ölçülmüştür.

Ödometre deneyleri iki kez yükleme - boşaltma olacak şekilde çevrimli olarak yapılmıştır. İki çevrimli yükleme-boşaltma şeklindeki deney tekniği , konsolidasyon parametrelerinin değerlendirilmesinde örnek örselenmesini düzeltilerek arazi davranışını belirlemekte kullanılan Schmertman yönteminin uygulanabilmesi için gerekli olmaktadır.

Konsolidasyon katsayısı (c_v) değeri hem $\sqrt{t}$, hem de $\log(t)$ yöntemleri ile bulunmuştur. Örselenme göz önüne alınarak sıkışma indisi (c_c) ve ön konsolidasyon basıncının (σ_{vm}') hesaplanmasında Cassagrande yöntemine ek olarak Schmertman yöntemi de kullanılmıştır. Zeminin normal konsolide kısmı için (- 12 .00 m. kotu aşağısı için $c_v=1.10^{-7}-5.10^{-7} \text{ m}^2 / \text{sn}$ arasında olduğu ölçülmüştür.)

Labaratuvar c_v değerlerinin doğal zemindeki yükleme öncesi efektif düşey gerilmeler ve yüklemeye karşılık gelen gerilme artışlarına bağlı belirli bir özellik göstermemesi nedeniyle, tüm ödometre deneylerinde elde edilen c_v 'ler karşılaştırılmış ve sonuçta zemin özelliklerini temsil ettiği kabul edilen tek bir konsolidasyon katsayısı değeri $c_v = 4.8 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2 / \text{sn}$ değeri oturma analizinde kullanılmıştır.

Dolgu altı zemini mukavemetinin bulunması ve yükleme altında boşluk suyu basıncı artışı özelliklerinin belirlenmesi için yeşil kil ve gri kil üzerinde dört adet CK₀U türünde üç eksenli basınç deneyi (CK₀U tipi deneyde örnek öncelikle anizotropik-jeolojik yükleme altında konsolide edilip, daha sonra boşluk suyu basıncı ölçülerek drenajsız olarak kırılmıştır.) ve yüzeye yakın sert sarı kil üzerinde de bir adet CIU tipi üç eksenli deney (CIU tipi deneyde örnek öncelikle izotropik hücre basıncı altında konsolide edilip , daha sonra drenajsız olarak kırılmıştır.) yapılmıştır. Deneylerde; örnek saptanan gerilme altında konsolide edilmiş, daha sonra boşluk suyu basıncı ölçülerek, drenajsız olarak

kırılmıştır. Gerçekte arazideki yükleme durumunu daha iyi örnekleyebilecek Gerilme Yolu Üzerinde Yükleme (Lamb, (1964) ve Davis - Paulos , (1963)) ve Tek Düzlemde Yükleme deneylerinin imkansızlık yüzünden yapılamaması sebebiyle yukarıda sözedilen deneylerin yükleme öncesi durumu en iyi şekilde örnekleyeceği düşünülmüştür. Bilindiği gibi laboratuvarında örneklerin kesme öncesi , zeminin gerilme tarihçesine karşılık gelen bir jeolojik gerilme hattı boyunca konsolide edilmesi, genellikle uygulanan izotropik konsolidasyondan gerçeğe daha yakın sonuçlar vermektedir. Ladd tarafından belirlenen (Ladd,1964) kesme öncesi zeminin sabit bir gerilme altında konsolide edilmesinin üç eksenli deney sonuçları ile belirlenen zemin parametrelerine, özellikle de drenajsız deformasyon modülüne etkisi, yapılan deneyler esnasında bir kez daha ortaya çıkmıştır.

Yapılan CK₀U deneylerinde gri ve yeşil killeri için K₀ değerinin (K₀ değeri $K_0 = \sigma_3' / \sigma_1'$ olup, düşey eksen boyunca uygulanan σ_1' altında yatay deformasyonların sıfır olmasını sağlayacak σ_3' yükleme gerilmesinin tespiti ile bulunmuştur.) 0.55- 0.56 arasında olduğu ölçülmüştür. Bu değerlerin Brooker ve Ireland (1965)

$$K_0 = 0.95 - \sin \phi' \quad (2.1)$$

ampirik değerlendirmesine çok yakın olduğu görülmüştür.

Dört adet CK₀U tipli üç eksenli basınç deneyinin ikisi 20.4 m ' den alınan normal konsolide orta sert gri kil üzerinde, diğer ikisi de 4.5 m' den alınan ön konsolidasyona maruz kalmış orta sert yeşil kil örnekleri üzerinde yapılmıştır. Yeşil kil üzerinde yapılan iki deneyden birinde kesme öncesi ön konsolidasyonda 1.5, ikincisinde ise 3.0 değerinde aşırı konsolidasyon oranına karşılık gelen yüklemeler uygulanmıştır. Yüksek ön konsolidasyon basıncı altında konsolide olan sert sarı kilin K₀ değerinin yaklaşık 1.0 civarında olacağı düşünülerek bu örnek üzerinde CIU deneyi yapılmıştır.

Alibey Barajı temel altı zemininde 1996 yılında DSİ tarafından BH1-BH2-BH3-BH4-BH5-BH6 ve CPT1-CPT3-CPT4-CPT6 sondajları olmak üzere 10 adet sondaj deliği üzerinde arazi deneyleri yapılmış ve laboratuvar deneyleri yapılmak üzere farklı derinliklerden örselenmiş ve örselenmemiş örnekler alınmıştır.

Alınan örnekler üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri sırasında 1967 yılında yapılan sondajlardan elde edilen benzer zemin tanımlamalarıyla karşılaştırılmıştır. 1996 yılında yapılan sondajlardan elde edilen verilere göre baraj altında sarı renkli ve diğer kil tabakalarına nazaran daha fazla konsolide olmuş, içsel sürtünme açısı yeşil ve gri renkli normal konsolide yumuşak kil tabakalarından daha yüksek değerlere sahip bir kil tabakası bulunduğu bu tabakanın ardından yeşil ve gri renkli bir kil tabakasının yer aldığı, zeminin yer yer çok yüksek su muhtevalarına sahip olup konsolidasyon ve üç eksenli basınç deneyleri için örnek almaya imkan vermediği görülmüştür. Ayrıca zemin içinde yer yer kum bantları içeren bir tabakalanma yapısına rastlanmıştır. Baraj altı zemininde sarı ve yeşil kil tabakaları altında bulunan gri ve koyu gri renklerin hakim olduğu kil tabakası içinde çok sık olarak midye kabukları, ağaç parçaları gibi organik yapılara rastlanmaktadır.

BÖLÜM 3

3. NORMAL KONSOLİDE YUMUŞAK KİLLER

Ulaşım sistemleri, alt yapı yatırımları, toprak barajlar vb. inşaat projelerinde yumuşak zemin tabakaları üzerine toprak dolgu inşa edilmesi gereği uygulamada sıkça karşılaşılan problemlerden biridir Alibey Barajı sözü edilen yumuşak zemin tabakaları üzerinde inşa edilmiş yapılardan biridir. Bu barajın inşa olunduğu zemin tabakası normal konsolide yumuşak kil tanımına uygun düştüğünden bu bölümde normal konsolide yumuşak killere ait bilgiler verilecektir.

Normal konsolide yumuşak killer yeryüzünde kalın tabakalar halinde çok geniş alanlar kaplamakta olup ve bu yüzden yumuşak killer üzerinde inşa edilecek yapıların tasarım ve yapımı son yıllarda geoteknik mühendisliğinin en önemli problemlerinden biri haline gelmiştir. Uzun yıllar alan çalışmalar sonucunda yumuşak killerin farklı türleri ve bunların sınıflandırılması ile ilgili önemli gelişmeler elde edilmiştir. Bu gelişmelerden normal konsolide killerin cinsini tayin etmek ve sınıflandırmak için,

- i- Tabakaların jeolojik geçmişi,
- ii- Zeminin su kapsamı ve Atterberg limitleri ve plastisite kartında incelenen Atterberg limitleriyle zeminin organik içeriğinin ve kilin hassaslığının araştırılması,
- iii- Kil yapısında su kapsamından dolayı meydana gelecek değişikliklerin incelenmesi,
- iv- Arazide yapılan veyn deneylerinden elde edilen çok sayıdaki mukavemet değerinin hesaplanması,
- v-e- $\log \sigma'_v$ eğrisinin belirlendiği konsolidasyon deneylerinin yapılması ve σ'_p ön konsolidasyon basıncı değerinin belirlenmesi, kilin sıkışmasında sınır değerlerin belirlenmesi gerekmektedir.

Rutin problemlerin çözümlerinde pratik deneyimler sonucu elde edilen verilerle gruplama yapmak mümkün olmaktadır. Yumuşak killerin taşıma gücü ve mukavemeti, inşaatı aşamalar halinde yapmak ve aralarda konsolidasyon için beklemek suretiyle artırılabilir.

Bu tarzda aralıklı yükleme yöntemi yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır ancak , mevcut tasarım yöntemleri ya güvenlik faktörünü gerçek değerinin üzerinde hesaplayan toplam gerilme analizine dayandırılmaktadır veya zemin davranışını belirleyen esas etkenlerin uygulanmasına olanak taşıyan efektif gerilme analizi kullanılmaktadır.

3.1. Normal konsolide, genç , çökelmiş yumuşak killler

Son zamanlarda çökelmiş ,kendi ağırlığı altında dengeye gelmiş ,ikincil ve gecikmiş oturmasının büyük bir kısmını henüz tamamlamamış yumuşak killler normal konsolide genç çökeller olarak adlandırılır. Üzerindeki zeminin ağırlığı nedeniyle ,yumuşak killler ilave yüklerden dolayı büyük oturmalar gösterebilirler. Örselenmemiş bir örnek ile yapılacak bir konsolidasyon deneyinde , sonuç olarak çizilen e - $\log \sigma'_v$ eğrisinden (σ'_p) değeri elde edilebilir.

Normal konsolide yumuşak killerde yapılan veyn deneyleri , (σ_{v0}') değeri ile kayma mukavemetinin lineer olarak arttığını göstermektedir. Bu deneyler sonucu elde edilecek (s_u/σ'_{v0}) değeri kilin plastisitesine bağlı olarak değişen bir parametre olarak değerlendirilebilir. Bu parametre için bu çalışmada, Skempton (1957) tarafından önerilen istatistiksel bir bağıntı,

$$(s_u/\sigma'_{v0}) = 0.11 + 0.0037 I_p \quad (3.1)$$

kullanılmıştır.

3.2. Normal konsolide yaşlanmış yumuşak killler:

Bir kil tabakası uzun bir süre sabit bir efektif gerilme altında kalırsa kildeki oturmalar sürekli olacaktır. Bu ikincil ve gecikmiş konsolidasyon oturmaları zemin danelerinin daha

stabil olarak yerleşmesi demektir ki ; bunun sonucu olarak da zeminde büyük dayanım değerleri elde edilmesine ve sıkışabilirlikte azalmalara neden olur. Böylece zemin, hacim değişikliği olmadan yük taşıyabilir. Normal konsolide yaşlanmış yumuşak killerde alınan örselenmemiş örnekler üzerinde yapılacak konsolidasyon deneyleri sonucu elde edilecek $e - \log \sigma'_v$ eğrilerinde görüleceği gibi ; σ'_{v0} 'dan fazla bir σ'_p basıncında , sıkışabilirlikte ani bir artış ortaya çıkacaktır.

Homojen bir kil tabakasında σ'_p/σ'_{v0} oranının derinlikle değişimi yaklaşık sabittir. Aynı yaştaki kil tabakalarında bu oran , kil üstündeki jeolojik efektif gerilme artışıyla oluşan ikincil konsolidasyon miktarına bağlı olarak artar.

3.2.1. Normal Konsolide Yumuşak Killer Üzerinde Dolgu İnşaatı

Yumuşak killerin taşıma gücü ve mukavemeti yapımı kademeler halinde yapmak ve aralarda konsolidasyon için beklemekle arttırılabilir. Bu tarzda aralıklı yükleme metodu günümüzde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Yumuşak zeminler üzerinde inşa edilecek dolguların tasarımında birincil önemdeki iki ölçüt, stabilitenin sağlanması ve deformasyonların kabul edilebilir sınırlar içinde kalmasının sağlanmasıdır. Yumuşak temel zemininde oluşacak deformasyonlar oturmalar ve yanal hareketler olarak genelleştirilebilir. Aletsel gözlemlerle dolgu altındaki oturma ve yanal akma profilleri elde edilebilir. Aletsel gözlemlerle sonuçlarının doğru yorumlanması dolgu inşaatının temel zemininde sebep olduğu etkileri tanımlama ve karşılaşılabilecek sorunlara doğru çözümler getirebilme imkanı sağlar.

Kademeli dolgu inşaatı sırasında gözlenen ve ölçülen temel zemini davranışının yapım sürecinin birbirini takip eden ve farklı davranış biçimlerinin gelişmesine sebep olan iki aşaması yani yükleme ve konsolidasyon aşamalarının incelenmesi gereklidir.

3.2.1.1. Yükleme Devresi

Yükleme devresine ait oturma ölçümleri bu devrede oluşabilecek bir miktar konsolidasyonun sebep olabileceğinden çok fazlaysa zemin içinde aşırı kayma deformasyonlarının oluştuğunu gösterirler ve dolayısıyla olası bir göçmenin habercisidirler. Stabilitenin kontrolü bakımından sadece oturma ölçümlerinin izlenmesi yeterli değildir. Bu durum özellikle konsolidasyonu hızlandırmak için düşey drenlerin kullanıldığı dolgu inşaatlarında önemlidir. Çünkü düşey drenlerin hızlandırdığı konsolidasyon nedeniyle oluşan fazla oturma aynı süreç içerisinde aşırı kayma deformasyonlarının oluşumuna bağlı olarak meydana gelen oturmaları engelliyebilmekte ve stabilitenin yeterliği konusunda yanlış sonuçlar çıkarılabilmektedir.

Temel dengesinin güvenilirlik derecesini izleyebilmek bakımından yatay yer değiştirme hareketleri çok daha geçerli göstergelerdir. Yatay deformasyonlar drenajsız yükleme sonucunda zemin bünyesinde oluşan kayma davranışından doğrudan etkilenir. Aşamalı olarak inşa edilen dolguların yükleme devrelerinde bir miktar konsolidasyonun gerçekleşmesi kaçınılmazdır. Tavenas ve Leroueil (1977) yumuşak zeminlerin dolgu ile yüklenmesi sırasında yükleme devrelerinin başlangıcında hızlı bir konsolidasyonun oluştuğunu belirtmektedirler. Tavenas ve Leroueil (1977)'nin yorumuna göre bütün doğal killer az miktarda da olsa aşırı konsolidasyon özelliğine sahiptir ve dolgu yüklenmeye başlanır başlanmaz zeminde hızlı bir konsolidasyon görülür. Ancak bu davranış zeminde oluşan gerilme seviyesi zemini normal konsolide hale getirinceye kadar devam edecek ve bundan sonraki yükler altında zeminin davranışı gerçek drenajsız davranış halinde gerçekleşecektir. Ayrıca zemin yapısı içerisinde bulunabilecek geçirimli tabakalar drenaj kanalları görevini görebilir ve bu arada yüklemeler için geçen sürenin de bir miktar konsolidasyonun oluşmasına yeterli olacak kadar uzun olduğunu söylemek tam drenajsız zemin davranışı beklemekten çok daha gerçekçidir.

BÖLÜM 4

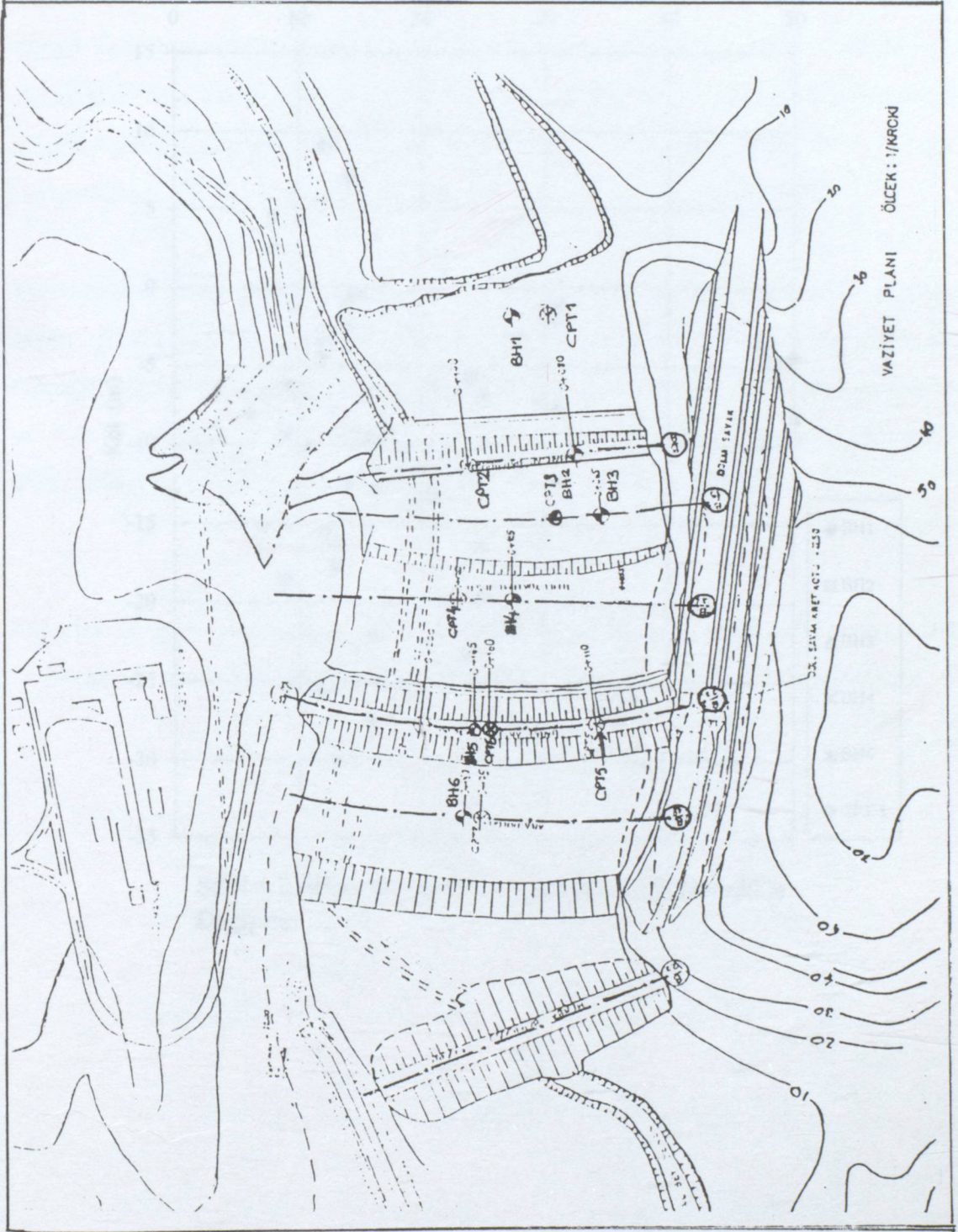
4. ARAZİ DENEYLERİ

Alibey Barajı' nın yumuşak bir zemin tabakası üzerinde yer alması ve bu sebeple inşaat sırasında ve sonrasında baraj gövdesine altındaki zemine yerleştirilen aygıtlar ile boşluk suyu basınçları ve oturma miktarları baraj inşaatının başlangıcından beri ölçüldüğünden, mühendislik açısından ilginç bir mühendislik yapısıdır. Bu çalışmada Alibey Barajı altında yeralan zemin tabakasının inşaat tarihinden günümüze özelliklerinin değişiminin incelenmesi amaçlanmıştır. İncelemeler için çeşitli arazi ve laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Bu bölümde Alibey Barajı altında yeralan zemin tabakasında yapılan arazi deneyleri ve bu deneylerden elde edilen çeşitli geoteknik parametreler saptanmıştır. Arazide DSİ tarafından gerçekleştirilen sondajlarda çeşitli derinliklerde Standart Penetrasyon (SPT) ve Pressiometre deneyleri yapılmış sondajlar sırasında örselenmiş ve örselenmemiş örnekler alınmıştır.

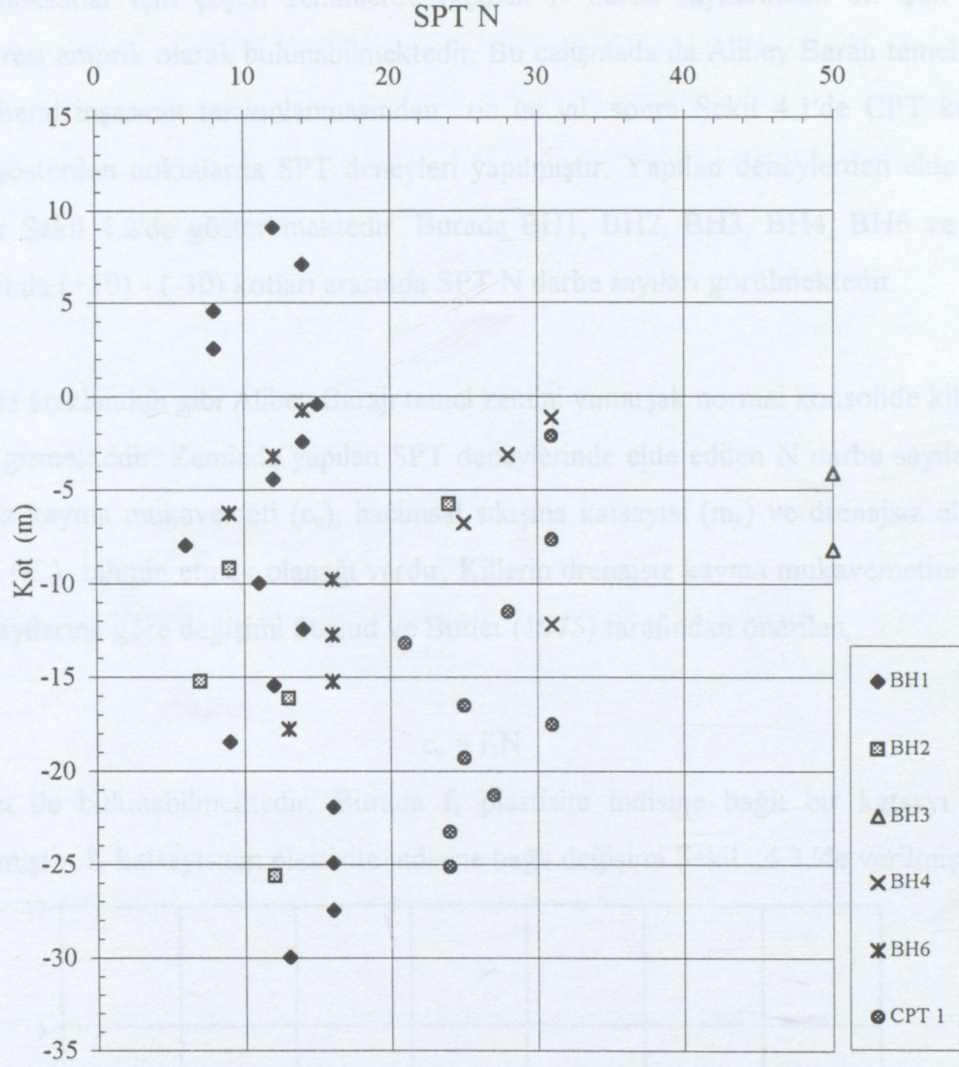
Arazide baraj gövdesi altında yeralan zeminin inşaat sonrasında günümüze geçirdiği evrimi saptamak için planlanan arazi deneyleri için altı sondaj yapılması kararlaştırılmıştır. Bu sondajların seçildiği yerler Şekil 4.1'de görüldüğü gibi biri mansap batardosunda, biri baraj ekseninde, biri mansap önündeki düzlükte olmak üzere dört adedi baraj eksenine ile mansap batardosu arasında yeralan kısımda yapılması planlanmıştır. Diğer yandan bu sondajlara ek olarak Konik Penetrasyon Deneyleri (CPT) planlanmış ancak ortaya çıkan teknik olanaksızlıklardan dolayı bu deneyler gerçekleştirilememiştir. CPT yapılamayan yerlerde sondajlar yapılmış, sondajlar sırasında SPT deneyleri gerçekleştirilmiştir.

4.1. Standart Penetrasyon Deneyleri (SPT)

Dünyada en yaygın kullanılan arazi deneylerinin başında SPT deneyi gelmektedir. Bilindiği gibi bu deneyde 63.5 kg 'lık özel bir ağırlık yaklaşık 75 cm yükseklikten zemine düşürülmekte standart bir uç zemine 45 cm çakılmaktadır. Ucun zemine giren son 30



Şekil 4.1. Alibey Barajı Planı ve Sondaj Yerleri



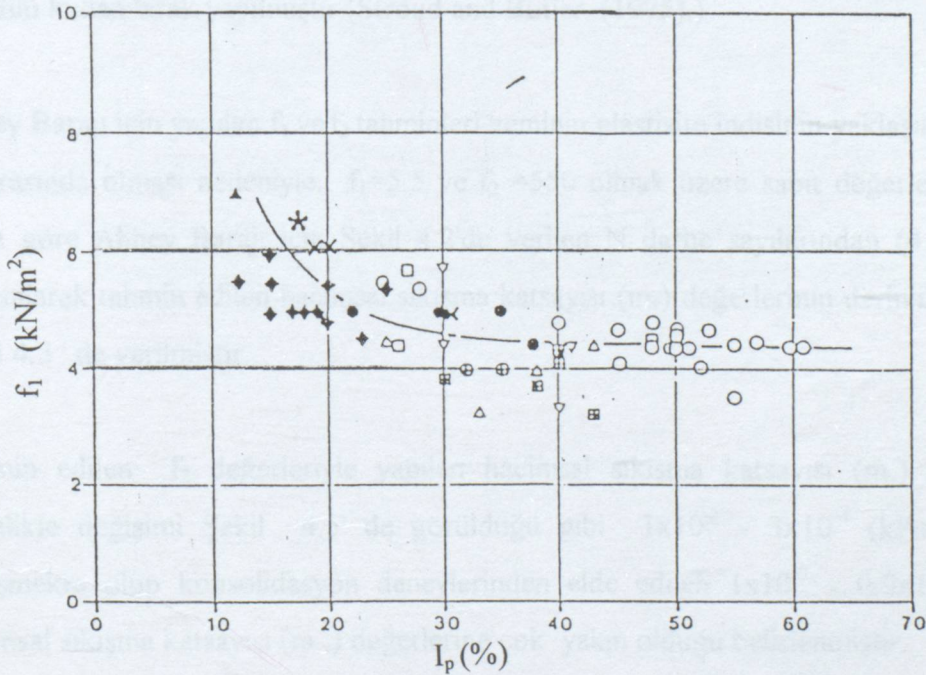
Şekil 4.2. Alibey Barajı SPT (N) Değerlerinin Derinlikle Değişimi

cm'si için gerekli darbe sayısına SPT N sayısı olarak adlandırılmaktadır. Literatürde pratik maksatlar için çeşitli zeminlerde ölçülen N darbe sayılarından bir çok zemin parametresi amprik olarak bulunabilmektedir. Bu çalışmada da Alibey Barajı temel zemin altında baraj inşasının tamamlanmasından on üç yıl sonra Şekil 4.1'de CPT kuyuları olarak gösterilen noktalarda SPT deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 4.2'de gösterilmektedir. Burada BH1, BH2, BH3, BH4, BH6 ve CPT1 kuyularında (+10) - (-30) kotları arasında SPT N darbe sayıları görülmektedir.

Yukarıda açıklandığı gibi Alibey Barajı temel zemini yumuşak normal konsolide kil zemin sınıfına girmektedir. Zeminde yapılan SPT deneylerinde elde edilen N darbe sayılarından drenajsız kayma mukavemeti (c_u), hacimsal sıkışma katsayısı (m_v) ve drenajsız elastisite modülü (E_u) tahmin etmek olanağı vardır. Killerin drenajsız kayma mukavemetini (c_u) N darbe sayılarına göre değişimi Stroud ve Butler (1975) tarafından önerilen,

$$c_u = f_1 N \quad (4.1)$$

bağıntısı ile bulunabilmektedir. Burada f_1 plastisite indisine bağlı bir katsayı olarak tariflenmiştir. f_1 katsayısının plastisite indisine bağlı değişimi Şekil 4.3 'de verilmiştir.



Şekil 4.3 : f_1 Katsayısının plastisite indisine bağlı değişimi

SPT deneylerinden elde edilen ve Şekil 4.2'de derinlikle değişimi gösterilen N darbe sayılarına göre (4.1) bağıntısı kullanılarak elde edilen drenajsız kayma mukavemeti değerleri Şekil 4.4'de görülmektedir. Şekil 4.4'den görüldüğü gibi SPT sonuçlarından elde edilen drenajsız kayma mukavemeti 50-150 kPa arasında değişmekte olup arazide yapılan diğer deney sonuçlarına yakın değerlerdir.

Stroud ve Butler (1975) tarafından yine SPT değerlerine bağlı olarak m_v tahmini yapmak amacıyla bir f_2 katsayısı önerilmiştir. Bu katsayı ,

$$f_2 = 100 f_1 \quad (4.2)$$

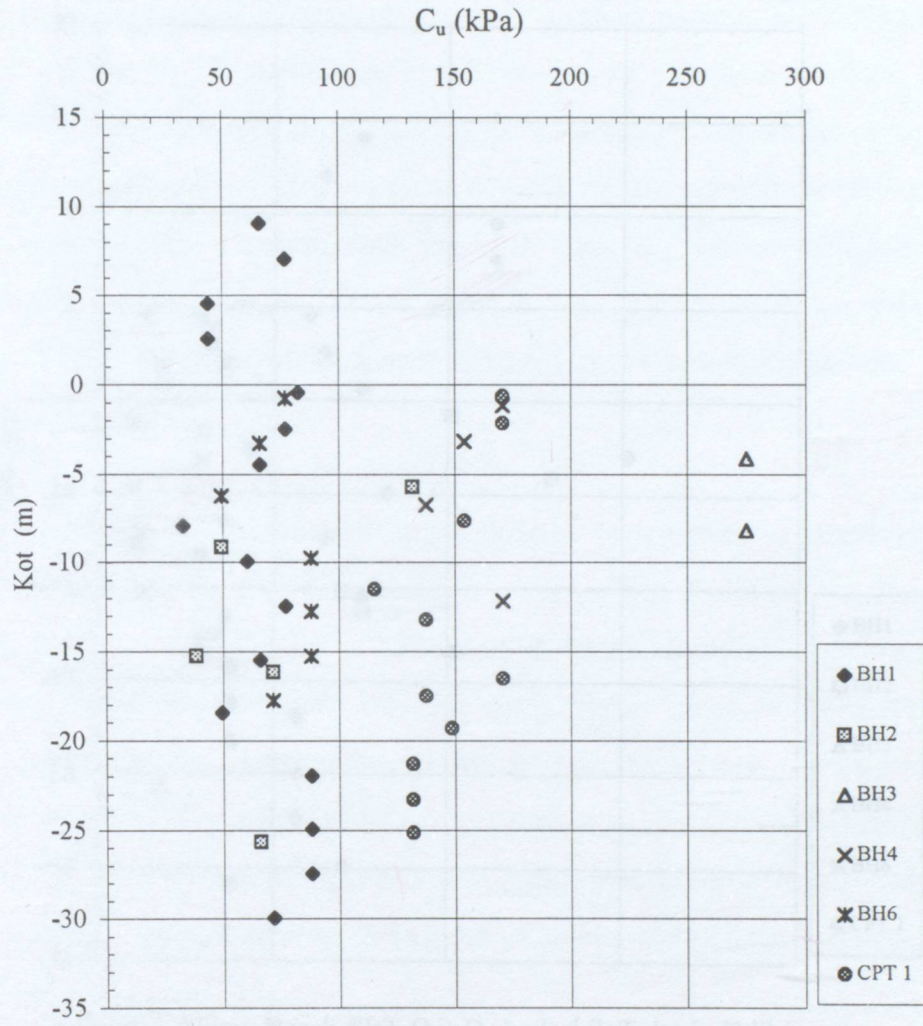
bağıntısıyla tanımlanmakta ve f_1 katsayısına bağlı olarak tanımlanması dolayısıyla direkt olarak zeminin plastisitesine bağlı olarak değişmektedir. f_2 katsayısına bağlı m_v tahminleri,

$$m_v = 1 / (f_2 N) \quad (4.3)$$

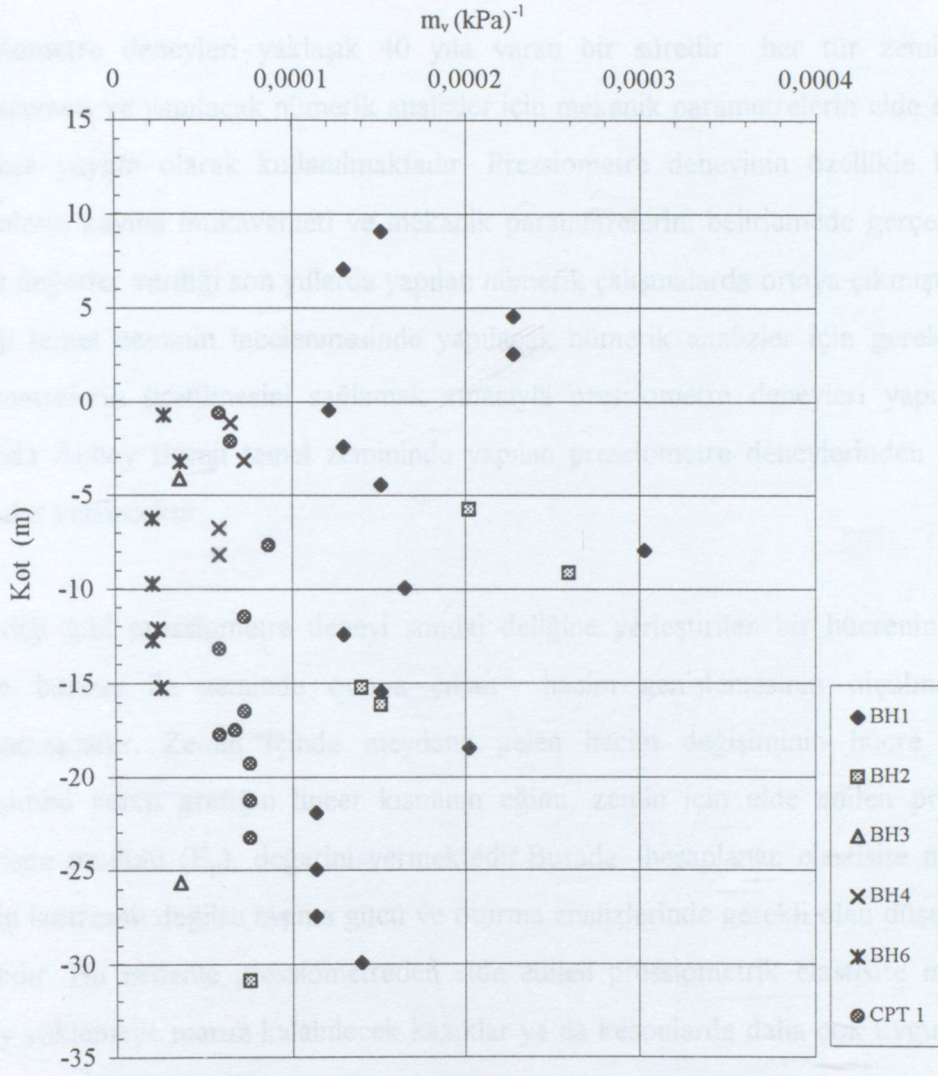
formülü kullanılarak yapılmıştır (Stroud and Butler, (1975).)

Alibey Barajı için yapılan f_1 ve f_2 tahminleri zeminin plastisite indisinin yaklaşık olarak 15-20 arasında olması nedeniyle, $f_1=5.5$ ve $f_2=550$ olmak üzere sabit değerler alınmıştır. Buna göre Alibey Barajı için Şekil 4.2'de verilen N darbe sayılarından (4.3) bağıntısı kullanılarak tahmin edilen hacimsal sıkışma katsayısı (m_v) değerlerinin derinlikle değişimi Şekil 4.5 ' de verilmiştir.

Tahmin edilen f_2 değerleriyle yapılan hacimsal sıkışma katsayısı (m_v) değerlerinin derinlikle değişimi Şekil 4.5' de görüldüğü gibi $1 \times 10^{-3} - 3 \times 10^{-4}$ (kPa^{-1}) arasında değişmekte olup konsolidasyon deneylerinden elde edilen $1 \times 10^{-3} - 0.9 \times 10^{-4}$ (kPa^{-1}) hacimsal sıkışma katsayısı (m_v) değerlerine çok yakın olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.4. Alibey Barajı SPT (N) Değerleri ile Tahmin Edilen Drenajsız Kayma Mukavemeti Değerlerini Derinlikle Değişimi



Şekil 4.5. Alibey Barajı SPT (N) Değerleri ile Tahmin Edilen Hacimsal Sıkışma Katsayılarının (m_v) Derinlikle Değişimi

4.2. Pressiometre Deneyleri

Pressiometre deneyleri yaklaşık 40 yıla varan bir süredir her tür zeminin kayma mukavemeti ve yapılacak nümerik analizler için mekanik parametrelerin elde edilmesinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Pressiometre deneyinin özellikle kohezyonlu zeminlerin kayma mukavemeti ve mekanik parametrelerini belirlemede gerçeğe oldukça yakın değerler verdiği son yıllarda yapılan nümerik çalışmalarda ortaya çıkmıştır. Alibey Barajı temel zeminin incelenmesinde yapılacak nümerik analizler için gerekli mekanik parametrelerin üretilmesini sağlamak amacıyla pressiometre deneyleri yapılmıştır. Bu kısımda Alibey Barajı temel zemininde yapılan pressiometre deneylerinden elde edilen bulgular verilecektir.

Bilindiği gibi pressiometre deneyi sondaj deliğine yerleştirilen bir hücrenin uygulanan hücre basıncı ile zeminde ortaya çıkan hacim genişlemesinin ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Zemin içinde meydana gelen hacim değişiminin hücre basıncı ile değişimini veren grafiğin lineer kısmının eğimi, zemin için elde edilen pressiometrik elastisite modülü (E_p), değerini vermektedir. Burada hesaplanan elastisite modülü (E_p) zemin izotropik değilse taşıma gücü ve oturma analizlerinde gerekli olan düşey değerden farklıdır. Bu nedenle pressiometreden elde edilen pressiometrik elastisite modülü (E_p) yatay yüklemeye maruz kalabilecek kazıklar ya da kesonlarda daha çok uygulama sahası bulmaktadır (Bowles, 1988).

Alibey Barajı arazi deney programı içinde yeralan pressiometre deneyleri için Menard pressiometresi kullanılmış, deneylerde pressiometrik elastisite modülü (E_p), limit basınç (P_L), ve net limit basınç ($P_L - P_0$) değerleri elde edilmiştir. BH1, BH2, BH4, BH5, BH6, CPT1, CPT3, CPT6 sondaj kuyularında yapılan pressiometre deneylerinde derinlikle ölçülen pressiometrik elastisite modülü (E_p), limit basınç (P_L), ve net limit basınç ($P_L - P_0$) değerleri ile E_p/P_L oranı zemin cinslerine göre Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1 Pressiometre Deney Verileri

Sondaj İsmi	Kuyu Derinliği (m)	Deney Seviyesi (m)	E_p (kPa)	P_L (kPa)	$P_L - P_0$ (kPa)	E_p / P_L	Zemin Cinsi
BH1	5.00	4.7	6900	1050	1000	7	Memba Dolgusu
	10.00	9.7	1900	320	270	6	Alüvyon
	15.00	14.7	2900	320	270	6	Alüvyon
	20.00	19.7	2100	400	350	5	Alüvyon
	25.00	24.7	14700	1050	880	14	Alüvyon
	30.00	29.7	4900	950	910	5	Alüvyon
	35.00	34.7	5600	1100	970	5	Alüvyon
	42.00	41.7	158100	5200	4730	30	Ana Kaya
BH2	17.00	16.70	4300	380	310	11	Alüvyon
	22.00	21.70	6600	450	400	15	Alüvyon
	28.00	27.70	1700	280	230	6	Alüvyon
	32.00	31.70	1800	370	320	5	Alüvyon
	37.00	36.70	2500	370	330	7	Alüvyon
BH4	22.00	26.70	6500	520	470	13	Alüvyon
	32.00	31.70	10700	950	790	11	Alüvyon
	37.00	36.70	10000	1050	910	10	Alüvyon
	42.00	41.70	Yapılmadı				
BH5	39.00	38.70	4300	620	550	7	Alüvyon
	42.00	41.80	12700	820	770	15	Alüvyon
BH6	22.00	21.70	3800	500	420	7	Alüvyon
	27.00	26.70	18200	1200	1130	15	Alüvyon
	32.00	31.70	7100	500	350	14	Alüvyon
	37.00	36.70	16200	800	660	20	Alüvyon
CPT1	10.00	9.70	1700	200	180	8	Alüvyon
	15.00	14.80	4900	300	260	16	Alüvyon
	20.00	19.70	1800	280	230	6	Alüvyon
	25.00	24.70	3600	300	250	12	Alüvyon
	30.00	29.80	6100	460	410	13	Alüvyon
CPT3	20.00	19.70	1300	300	250	4	Alüvyon
	25.00	24.70	6000	300	270	20	Alüvyon
	30.00	29.80	2400	450	390	6	Alüvyon
	35.00	34.80	4500	700	660	6	Alüvyon
	40.00	39.80	19500	600	550	32	Alüvyon
CPT4	28.00	27.80	1500	650	600	2	Alüvyon
	33.00	32.70	10000	620	570	16	Alüvyon
	38.00	37.70	8600	500	440	17	Alüvyon
	43.00	42.70	12300	550	500	22	Alüvyon
CPT6	34.00	33.70	2000	350	280	5	Alüvyon
	35.00	34.80	10000	820	780	12	Alüvyon
	36.00	35.70	12800	820	780	15	Alüvyon
	37.00	36.80	8800	620	580	14	Alüvyon
	38.00	37.70	3000	520	460	5	Alüvyon
	39.00	38.80	4800	530	460	9	Alüvyon
	40.00	39.50	8300	720	690	11	Alüvyon

BH1, BH2, BH4, BH5, BH6 ve CPT1,CPT3,CPT6 sondajları için elde edilen düzeltilmemiş pressiometrik elastisite modülü değerlerinin derinlikle değişim grafiği Şekil (4.6.) da verilmiştir. Grafikten görülebileceği gibi değerler 2000-15000 kPa arasında değişmekte olup drenajsız kayma mukavemeti verilerini kullanan, korelasyonlarla elde edilenlere göre daha düşüktür.

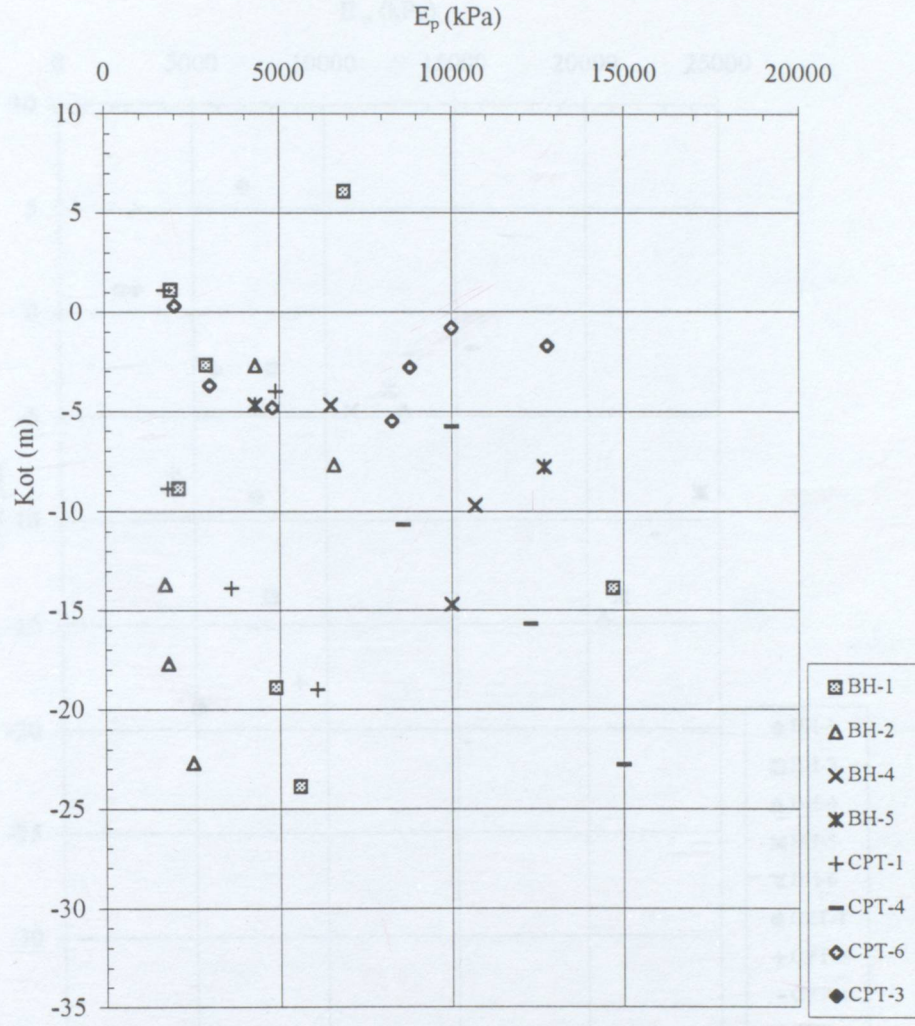
Pressiometre deneylerinden elde edilen pressiometrik elastisite modüllerinden (E_p) drenajsız elastisite modülünü (E_u) tahmin etmek için Menard ve Rousseau (1962) tarafından önerilen

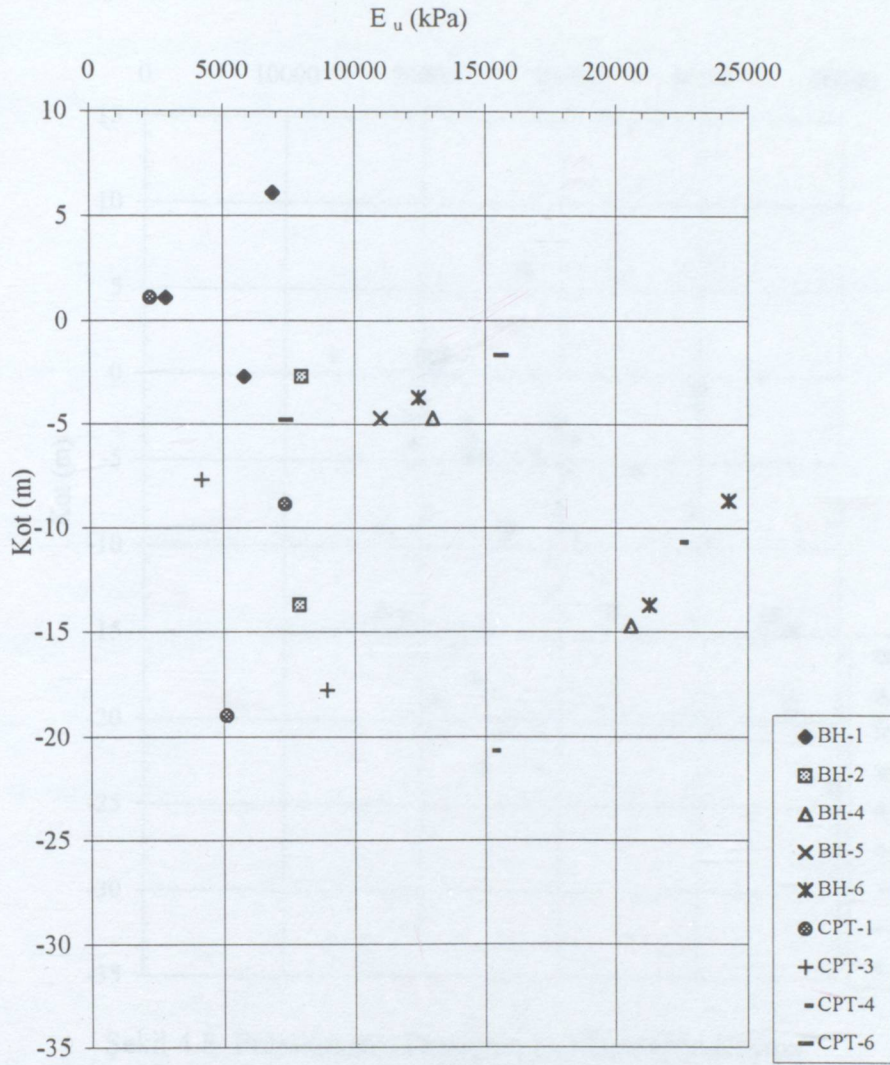
$$E_u = (E_p / \alpha) \quad (4.4)$$

formülü kullanılmıştır. Bu formülde α pressiometrik elastisite modüllerinden elastisite modülünü (E) tahmin etmek için kullanılan ve reolojik faktör olarak isimlendirilen bir katsayıdır. Pressiometre deneylerinden elde edilen pressiometrik elastisite modüllerinden (E_p) elastisite modülünü (E) tahmin etmek için yapılan düzeltmelerde E_p/P_L oranlarına bağlı olarak seçilen α katsayısı Tablo 4.2. 'de verilmiştir. Pressiometre deneylerinden elde edilen pressiometrik elastisite modülleri (E_p) düzeltilerek elde edilen drenajsız elastisite modülü (E_u) değerleri Şekil 4.7 ' de verilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi elde edilen drenajsız elastisite modülü (E_u) değerleri 2000-30000 kPa arasında değişim göstermiştir

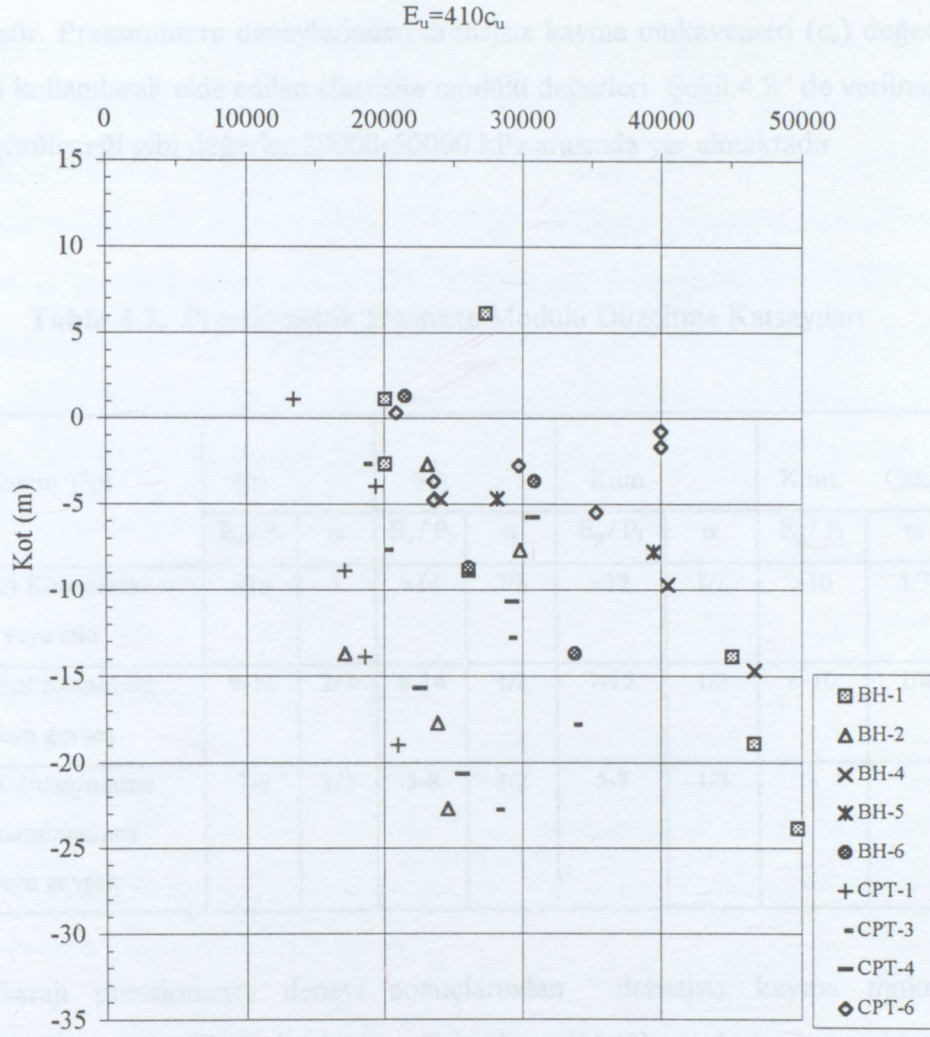
Şekil 4.6 ve 4.7 'den görülebileceği gibi zemine ait düzeltilmiş elastisite modülü değerleri, düzeltilmemişe nazaran daha büyük değerler vermektedir. Ancak bu değerler ,baraj inşaatından önce yapılan arazi ve laboratuar deneylerinin korelasyonu sonucu Soydemir (1968) tarafından ileri sürülen ,

$$E = 410 c_u \quad (4.5)$$





Şekil 4.7. Düzeltilmiş Pressiometrik (E_u) Drenajsız Elastisite Modülü Değerlerinin Derinlikle Değişimi



Şekil 4.8. Pressiometre Deneyleri (c_u) Drenajsız Kayma Mukavemeti Değerleri ile Tahmin Edilen E_u değerlerinin Derinlikle Değişimi

eşitliğinden elde edilen elastisite modülü değerlerinden küçük değerler olarak belirlenmiştir. Pressiometre deneylerinden drenajsız kayma mukavemeti (c_u) değerleri ile 4.5 eşitliği kullanılarak elde edilen elastisite modülü değerleri Şekil 4.8 'de verilmiştir. Grafikte görüleceği gibi değerler 20000-50000 kPa arasında yer almaktadır.

Tablo 4.2. Pressiometrik Elastisite Modülü Düzeltme Katsayıları

Zemin Tipi	Kil		Silt		Kum		Kum, Çakıl	
	E_p / P_1	α	E_p / P_1	α	E_p / P_1	α	E_p / P_1	α
Aşırı Konsolide veya sıkı	>16	1	>14	2/3	>12	1/2	>10	1/3
Normal Konsolide veya gevşek	9-16	2/3	8-14	1/2	7-12	1/3	6-10	1/4
Konsolidasyonunu tamamlamamış veya gevşek	7-9	1/2	5-8	1/2	5-7	1/3	-	-

Alibey Barajı pressiometre deneyi sonuçlarından drenajsız kayma mukavemeti değerlerini elde etmek için Kalteziotis ve Tsiambaos (1990) tarafından normal konsolide yumuşak killer için önerilen bağıntılardan yararlanılmıştır. Bu bağıntılarda drenajsız kayma mukavemeti değerleri $P_L - P_0$ değerine bağlı olarak hesaplanmaktadır. Bu bağıntılar

$$(P_1 - P_0) < 0,4 \text{ MPa} \quad c_u = (P_1 - P_0) / 5.5 \quad (4.6.a)$$

$$0,4 < (P_1 - P_0) < 1 \text{ MPa} \quad c_u = (P_1 - P_0) / 8 \quad (4.6.b)$$

$$(P_1 - P_0) \geq 0,4 \text{ MPa} \quad c_u = (P_1 - P_0) / 15 \quad (4.6.c)$$

şeklinde dir.

Bu değerler gözönüne alınarak hesaplanan BH1, BH2, BH4, BH5, BH6 ve CPT1, CPT3, CPT4, CPT6 sondajlarında yapılan pressiometre deneylerinden elde edilen drenajsız kayma mukavemetinin (c_u) derinlikle değişimi veren grafik Şekil 4.9 'de verilmiştir. Bu grafikten görüldüğü gibi veriler 40 kPa ile 120 kPa arasında değişmekte, derinlikle doğru orantılı olarak bir artış göstermemektedir. Pressiometre deneylerinden elde edilen kayma mukavemetinin (c_u) düşey jeolojik efektif gerilmeye (σ_{v0}') oranının (c_u / σ_{v0}') derinlikle değişim grafiği Şekil 4.10' da verilmiştir. Değerlerin büyük bir bölümünün 0.2-0.3 aralığında değiştiği belirlenmiştir. Bu oran için ortalama $c_u / \sigma_{v0}' = 0.28$ değeri kabul edilebilir ve bu oran, daha önce Jardine ve Hight (1987) tarafından yapılan çalışmalarda c_u / σ_{v0}' oranı için elde ettikleri 0.19-0.28 aralığı içinde yer almaktadır.

4.3. Arazi Veyn Deneyi

Bu çalışmada yukarıda anlatılan Alibey Barajı temel zemininde 1996 yılında yapılan pressiometre ve SPT deneyleri yanında baraj inşaatından önce yapılan arazi veyn deneylerine değinilecek ve bu deneylerden elde edilen geoteknik parametreler ile yeni deneylerde elde edilenler karşılaştırılacaktır.

Arazi veyn deneyi arazide kayma mukavemetinin tayini için killi zeminlerde ve özellikle yumuşak killerde kullanılan bir deney yöntemidir. Veyn aleti 4 adet keskin bıçaktan oluşan bir pervane kanadı şeklindedir. Deney bu pervane kanadının belirli bir hız ile dönerek zemine sokulmasıyla yapılmaktadır. Deney esnasında kanatlar çevresindeki silindirik zemin yüzeyinde göçmeler meydana gelmektedir. Veyn deneyleri sonucu elde edilecek c_u drenajsız kayma mukavemeti,

$$c_u = T / ((\pi D^2) * ((6H + 2D) / 12)) \quad (4.7)$$

olarak belirlenmektedir. Burada T= Uygulanan Döndürme Momenti (kNm), D= Kanat Çapı (m) ve H= Kanat Yüksekliği (m)'ni göstermektedir. Deney sırasında kanat

yüksekliğinin kanat çapına oranı (H/D) genellikle 2 olarak kullanılmaktadır. Veyn deneyinde kullanılan kanat yüksekliği , çapı ve pervane kanadının kalınlıkları kullanıldığı kilin mukavemetine göre değişebilir.

Pratik mühendislik uygulamalarında veyn deneylerinin kullanıldığı son 20 yıl içinde bu deneylerin uygulanması hakkında önemli deneyimler elde edilmiştir. Veyn deneyi ile ölçülen mukavemet değerinin, kilin drenajsız koşullarda yüklenmesi ile mobilize olan mukavemet değerine eşit olduğu varsayımı yapılmıştır. Geçmiş yıllarda yumuşak killer üzerinde yapılan dolguların göçmesi ile ilgili yapılan ayrıntılı çalışmalar veyn deneyleriyle elde edilen mukavemet değerlerinin her zaman arazideki gerçek değerleri yansıtamayacağını göstermiştir (Golder ve Palmer , 1955; A.Cassagrande 1960; Parry ve McLeod, 1967). Bu araştırmalara göre veyn deneyi ile elde edilen mukavemet değeri gerçek değerinden daha büyük değerler verdiği bulunmuş ve nedeninin ise yükleme hızındaki farklılıklar olduğu tahmin edilmiştir (A.Cassagrande 1960). Stabilité hesabında kullanılacak kayma mukavemeti için ortaya çıkan bu belirsizlikler nedeniyle 8 'i deney dolgusu olmak üzere 11 adet dolgu üzerinde araştırmalar yapılmış ve veyn deneyi ile ölçülen kayma mukavemeti ile ,göçme esnasında mobilize olan kayma mukavemeti arasında karşılaştırma yapılmıştır. Bu araştırmalarda yüksek plastisiteli Bangkok kilinde veyn deneyinden elde edilen kayma mukavemetinin dolgu altındaki oluşan gerçek kayma mukavemetinden % 20 -% 50 arasında daha fazla belirlendiği gözlenmiştir. Pascal, Tournier,Tavenas ve La Rochelle (1971) tarafından yumuşak killer üzerinde yapılan bir dolguda yapılan veyn deneyleri sonucu güvenlik sayısı 1.5 olarak tahmin edilmiştir ki bu araştırma da, veyn tahminlerinin gerçek değerlerden daha fazla olduğu sonucuna varılan örneklerden biridir.Yapılan araştırmalar açıkça göstermektedir ki yumuşak killer üzerinde yapılan arazi veyn deneyleri gerçek kayma mukavemetinden daha yüksek değerler verebilmekte bu da stabilité analizlerinin yanlış yapılabilmesi sonucu doğurabilmektedir. Bu nedenle veyn deneyi sonuçları plastisite değişimine bağlı bir katsayı ile düzeltilmektedir (Bjerrum, (1974).

$$C_u \text{ Düzeltilmiş} = \lambda C_u \text{ Veyn}$$

(4.8)

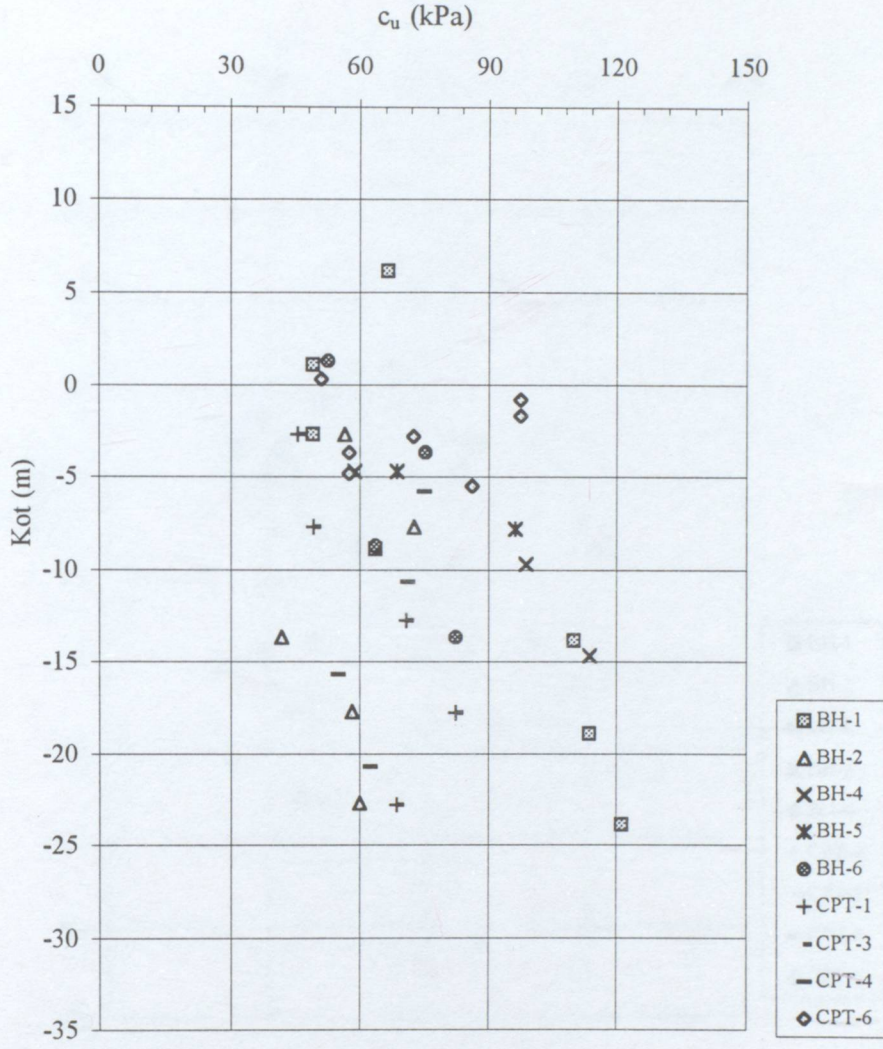
$$\lambda = 1.7 - 0.54 \log(I_p) \quad (4.9)$$

$c_{u \text{ Veyn}}$ arazide veyn deneyi sonucu elde edilen drenajsız kayma mukavemeti değerini , $c_{u \text{ Düzeltilmiş}}$ elde edilen arazi kayma mukavemeti değerlerinin (4.9) 'da verilen katsayıyla çarpılmasından elde edilen düzeltilmiş kayma mukavemeti değerini göstermektedir. Veyn değerlerini düzeltilmek için plastisite indisine bağlı olarak belirlenen λ katsayısına ait ampirik formül (4.9) ' da verilmiştir.

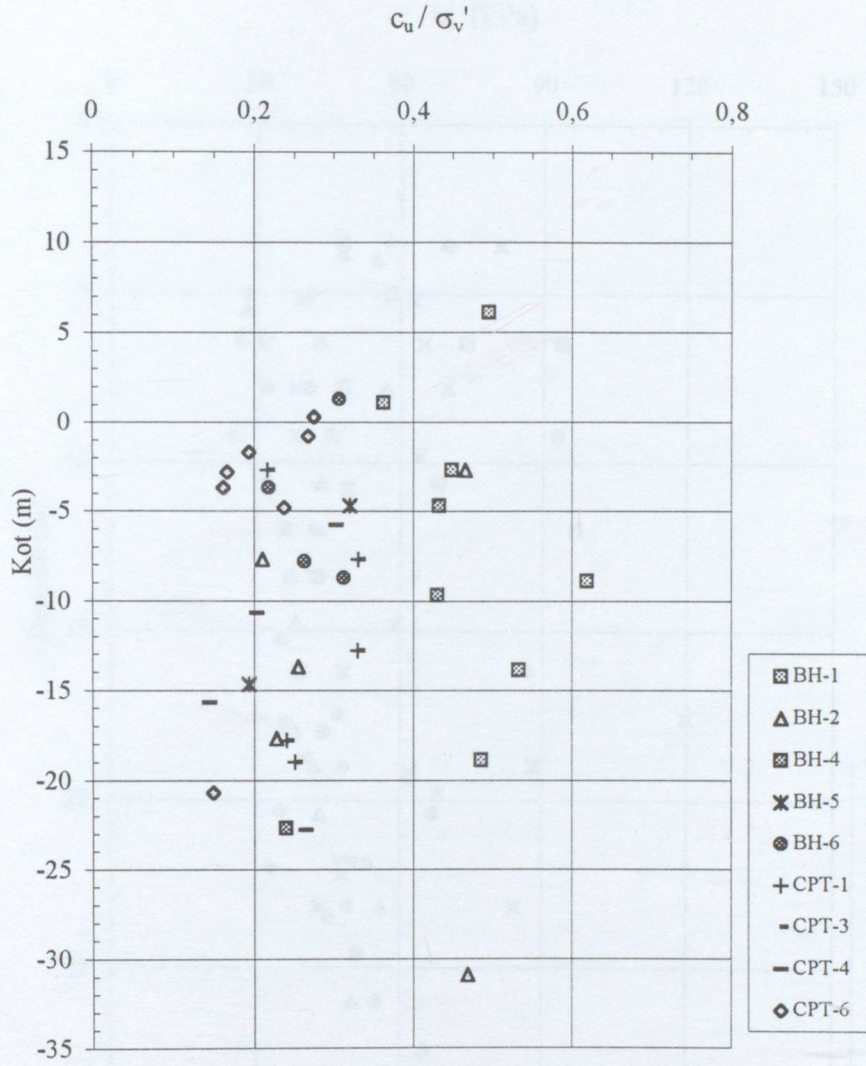
Alibey Barajı' nda 1967 yılında VSK1-VSK2-VSK3-VSK4-VSK5-VSK6 olmak üzere beş adet sondaj üzerinde veyn deneyleri ve sondajdan alınan alınmış örnekler üzerinde bir seri labaratuvar deneyleri yapılmıştır. Veyn sondajlarının yapıldığı tüm sondajlardaki kot +6.50 kotundadır. Düzeltilmiş arazi veyn kayma mukavemeti değerlerinin derinlikle değişimleri Şekil 4.11 ' da verilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi düzeltilmiş arazi veyn kayma mukavemetinin 30-80 kPa arasında değişmekte olup, derinlikle doğru orantılı olarak bir artış göstermediği belirlenmiştir.

Arazi veyn deneylerinden elde edilen drenajsız kayma mukavemetleri değerleri ile (4.5) eşitliği kullanılarak elde edilen elastisite modülü değerleri Şekil 4.12.' de verilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi elastisite modülü değerleri 10000-40000 kPa arasında değişmekte olup düzeltilmiş pressiometre deneylerinden elde edilen değerlere yakın bulunmaktadır.

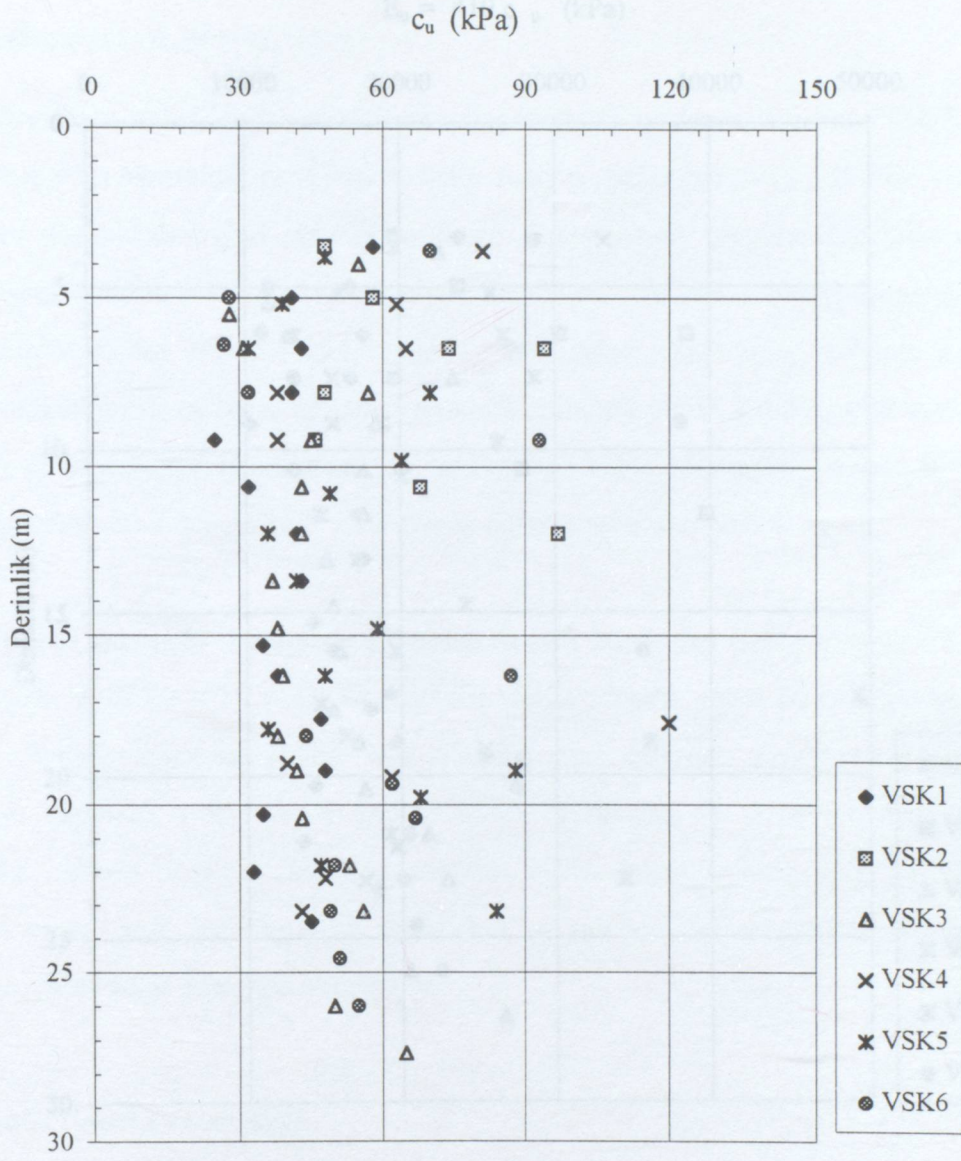
1968 yılında yapılan arazi veyn deneylerinden elde edilen drenajsız kayma mukavemeti değerleri 1996 yılında yapılan pressiometre ve SPT deneylerinden bulunan değerler ile karşılaştırıldığında Alibey Barajı temel zeminin drenajsız kayma mukavemetinin zaman geçtikçe artmış olduğu görülmektedir.



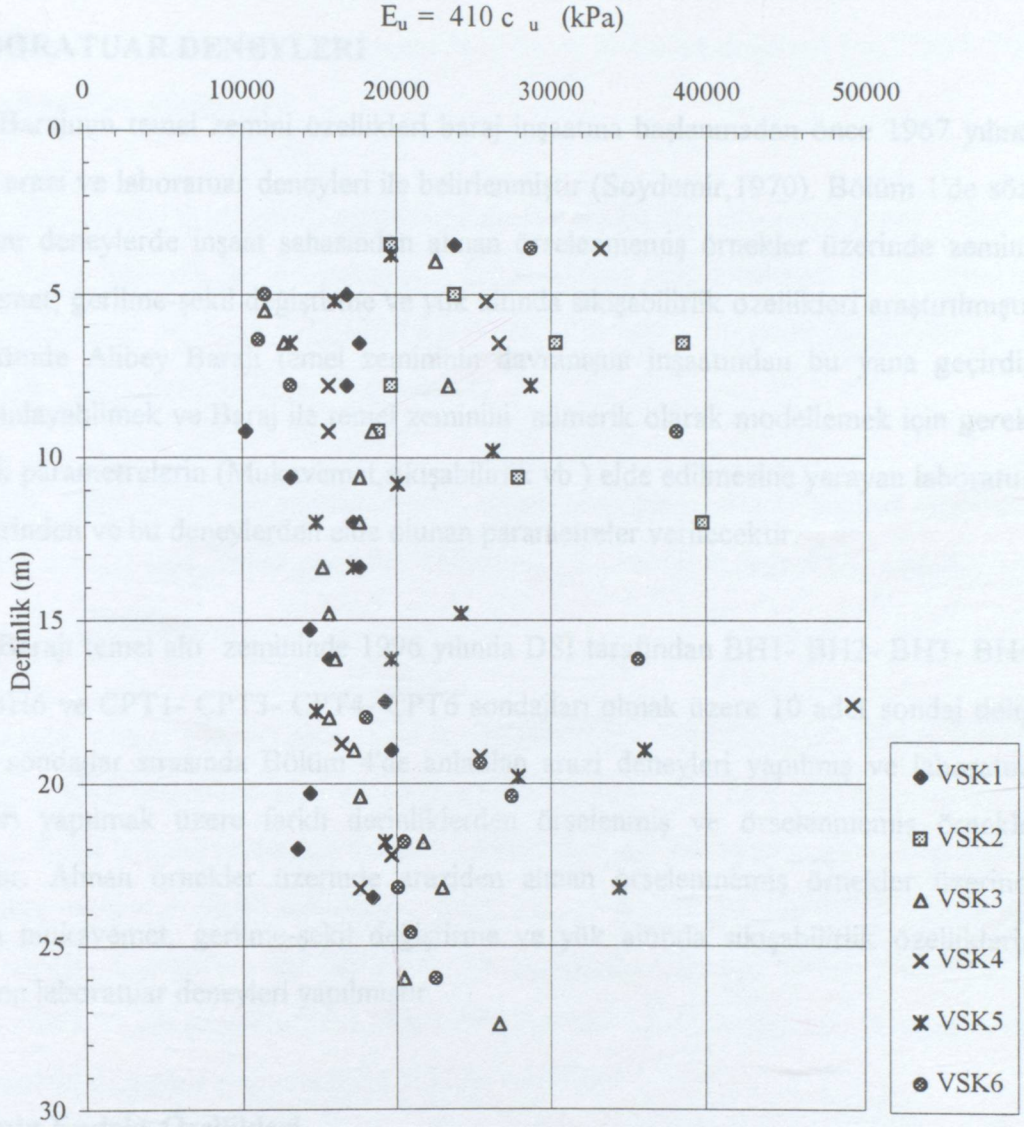
Şekil 4.9. Pressiometre Deneyleri (c_u) Drenajsız Kayma Mukavemeti Değerlerinin Derinlikle Değişimi



Şekil 4.10. Pressiometre Deneyleri c_u / σ_v' Değerlerinin Derinlikle Değişimi



Şekil 4.11. Veyn Deneyleri Drenajsız Kayma Mukavemeti (c_u) Değerlerinin Derinlikle Değişimi



Şekil 4.12. Veyn Deneyleri Drenajsız Kayma Mukavemeti c_u Değerleri ile Tahmin edilen Elastisite Modülünün (E_u) Derinlikle Değişimi

BÖLÜM 5

5. LABORATUAR DENEYLERİ

Alibey Barajının temel zemini özellikleri baraj inşaatına başlanmadan önce 1967 yılında yapılan arazi ve laboratuvar deneyleri ile belirlenmiştir (Soydemir,1970). Bölüm 1'de sözü edilen bu deneylerde inşaat sahasından alınan örselenmemiş örnekler üzerinde zeminin mukavemet, gerilme-şekil değiştirme ve yük altında sıkışabilirlik özellikleri araştırılmıştır. Bu bölümde Alibey Barajı temel zemininin davranışını inşaatından bu yana geçirdiği evrimi anlayabilmek ve Baraj ile temel zeminini nümerik olarak modellemek için gerekli mekanik parametrelerin (Mukavemet,sıkışabilirlik vb.) elde edilmesine yarayan laboratuvar deneylerinden ve bu deneylerden elde olunan parametreler verilecektir.

Alibey Barajı temel altı zemininde 1996 yılında DSİ tarafından BH1- BH2- BH3- BH4- BH5- BH6 ve CPT1- CPT3- CPT4- CPT6 sondajları olmak üzere 10 adet sondaj deliği açılmış sondajlar sırasında Bölüm 4'de anlatılan arazi deneyleri yapılmış ve laboratuvar deneyleri yapılmak üzere farklı derinliklerden örselenmiş ve örselenmemiş örnekler alınmıştır. Alınan örnekler üzerinde araziden alınan örselenmemiş örnekler üzerinde zeminin mukavemet, gerilme-şekil değiştirme ve yük altında sıkışabilirlik özelliklerini belirleyen laboratuvar deneyleri yapılmıştır.

5.1 Zemin Endeks Özellikleri

Alibey Barajında yapılan BH1,BH5, BH6 ve CPT 4 sondajlarından elde edilen örselenmiş ve örselenmemiş deney örneklerinin sınıflandırılabilmesi, örneklerin kıvam limitleri ve plastik limitlerinin saptanabilmesi için deneyler AASHTO T89 ve T90 Standartlarına göre Yıldız Teknik Üniversitesi Zemin Mekaniği Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Örneklerin dane çapı dağılımını belirlemek için elek analizi ve hidrometre deneyleri, Atterberg limitlerini belirlemek için kıvam deneyleri yapılmıştır.

BH1 ve BH6 sondajlarından değişik derinliklerde alınan örnekler üzerinde yapılan kıvam deneylerinden zemin endeks özellikleri saptanmış ve Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma

Sistemi 'ne göre zemin cinsi Tablo 5.1a ve Tablo 5.1b 'de verilmiştir. Tablolardan görüldüğü gibi plastik limit (w_p) değerleri %17-%39, likit limit değerleri (w_L) %24 -%65 aralığında değişim göstermiştir.

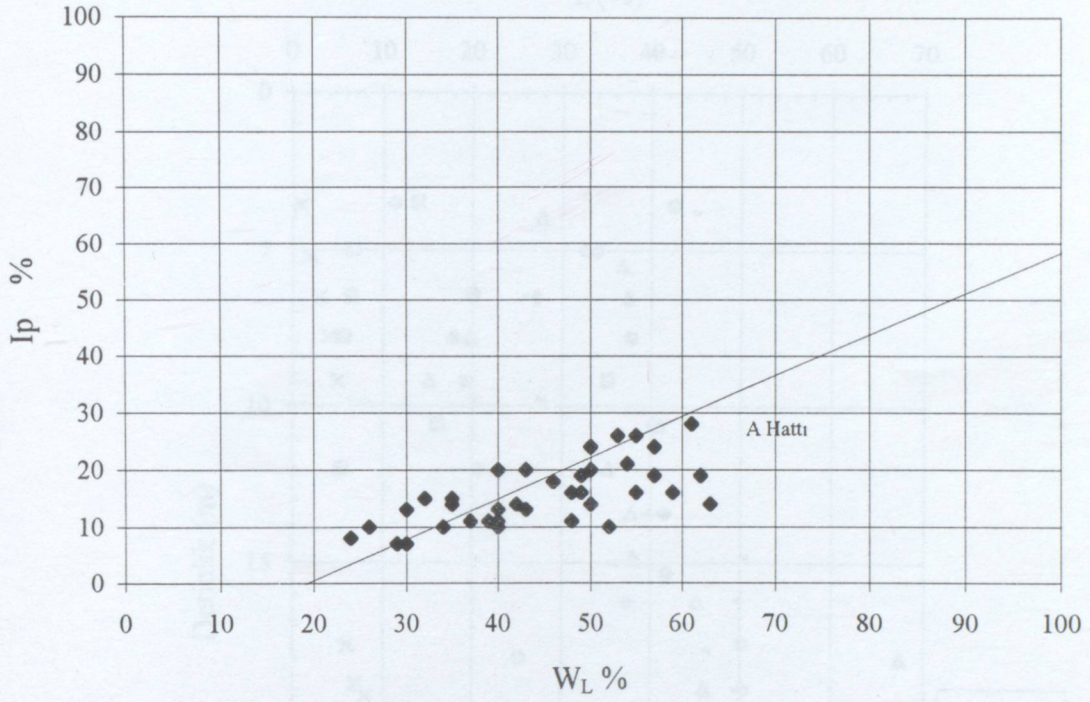
BH1 ve BH6 sondaj örnekleri üzerinde yapılan elek analizi ve hidrometre deney sonuçları Tablo 5.2a ve Tablo 5.2b ' de verilmiştir. Bu sonuçlara göre incelenen zemin örnekleri içinde çakıl oranı ortalama %1-%3, kum oranı %30-%40, silt oranı %55-%60 ve kil oranı %14 - %20 arasında değerler almaktadır.

BH1, BH5, BH6 ve CPT4 sondajlarından alınan örnekler üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri sonucu elde edilen plastisite indisinin (I_p), likit limit değeri (w_L) ile değişimi Şekil 5.1.'de görülmektedir.

1967 yılında VSK1-VSK2-VSK3 -VSK4- -VSK5-VSK6 sondajlarından alınan örnekler üzerinde yapılan deneylerle elde edilen plastisite indisinin (I_p), likit limit değeri (w_L) ile değişimi Şekil 2.2.'de verilmiştir. Şekil 5.1.'de görüldüğü gibi yapılan yeni sondajlardan elde edilen veriler A Hattı' nın altında, Şekil 2.2 'de görüldüğü gibi 1967 yılında elde edilen veriler A Hattı'nın üst kısmında yer almaktadır. Ayrıca VSK1-VSK2-VSK3-VSK4-VSK5-VSK6 sondajlarından elde edilen örnekler üzerinde saptana plastisite indisi (I_p) değerinin derinlikle değişimi Şekil 5.2.' de verilmiştir.

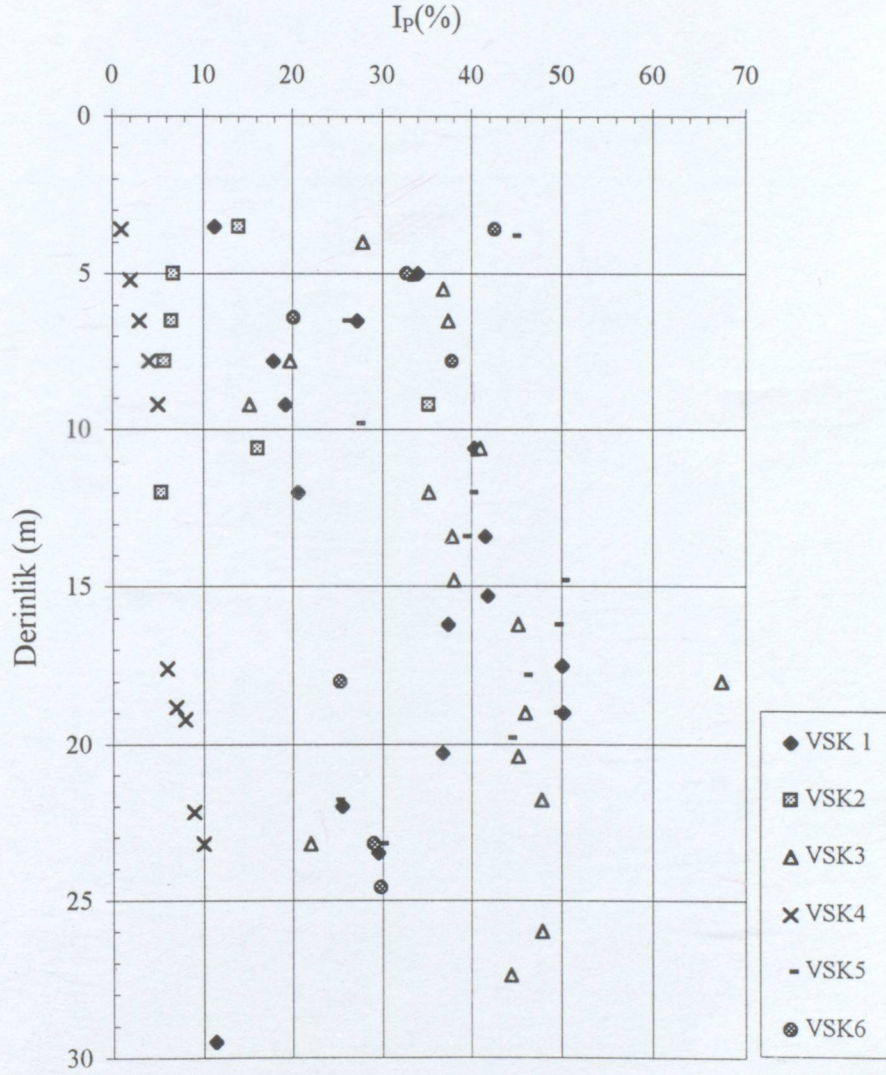
BH1 ve BH6 sondajlarından alınan örnekler üzerinde özellikle plastik limiti bulmak üzere yapılan deneyler esnasında zeminin silt içeriğinin yüksek oranlarda olduğu zaman zaman bu durumun deney yapmakta zorluklar yarattığı gözlenmiştir. Bu gözlemler zemin üzerinde yapılan deneylerle elde edilen düşük plastisite indisi (I_p) değerlerinin, A Hattı altında yer alması sonucunu doğrulamaktadır.

BH1 ve BH6 sondajlarından alınan örneklerde belirlenen su muhtevasının derinliğe göre değişimi Şekil 5.3. ' de verilmektedir. Buna göre baraj altı zemini için tabii su muhtevası değerleri w_n =% 30-%70 arasında büyük bir aralık içinde değişmektedir.



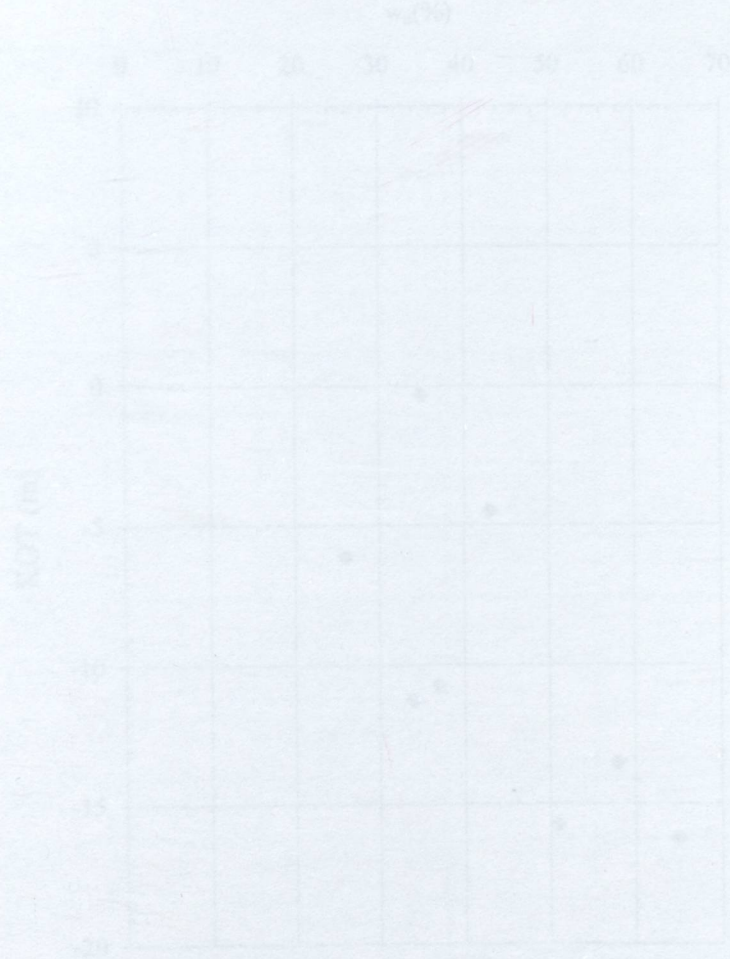
Şekil 5.1. BH 1-5-6 ve CPT4 Sondajları likit limit (w_L) değerlerinin plastisite indisiyle (I_p) değişimi

BH1 ve BH6 sondajlarından alınan örneklerde belirlenen su muhtevasının derinliğe göre değişimi Şekil 5.2 'de verilmektedir. Buna göre baraj altı zemini için tatlı su muhtevanı değerleri $w_s = 4\%$ 30-40' arasında büyük bir aralık içinde değişmektedir.



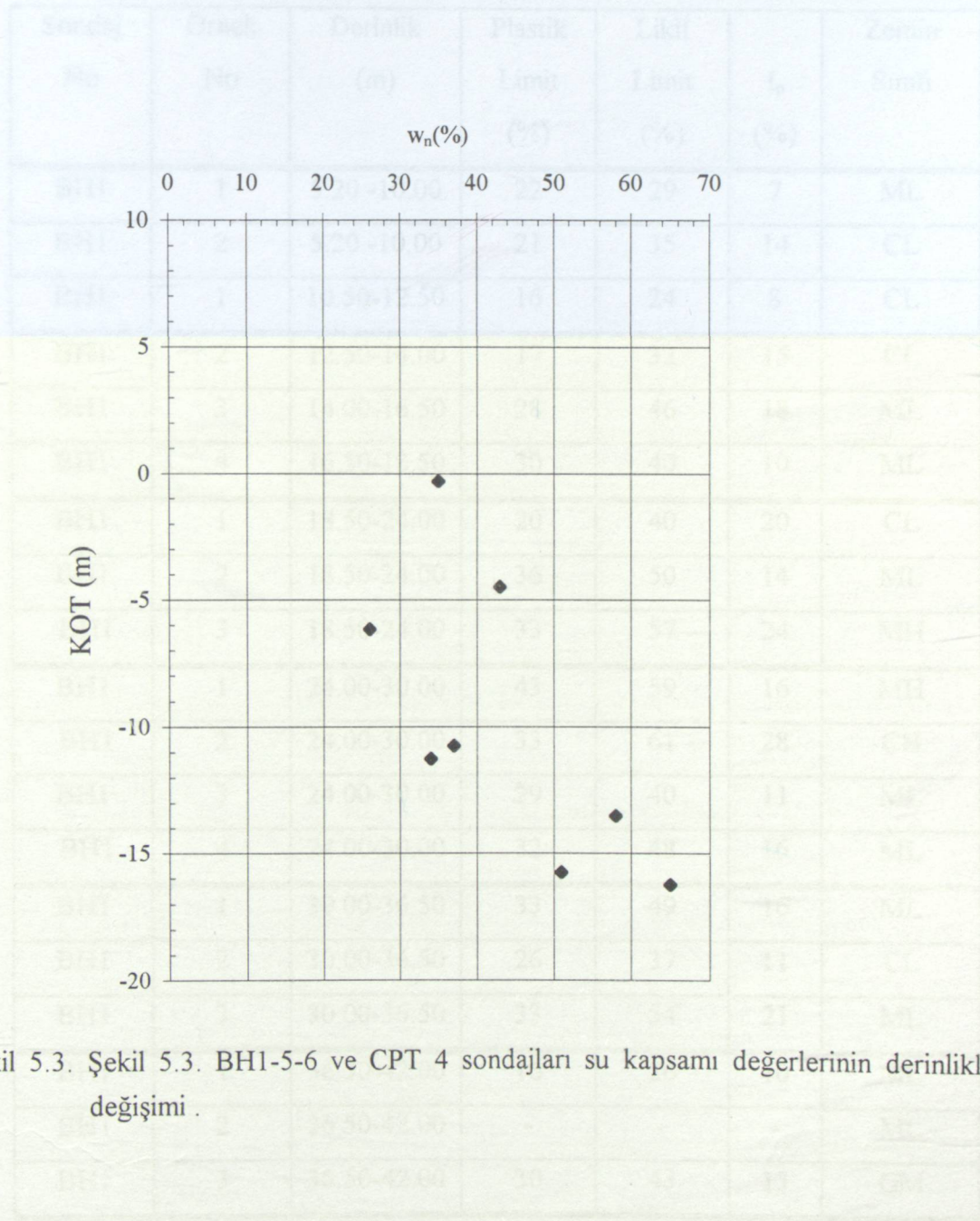
Şekil 5.2. VSK 1-2-3-4-5-6 Sondajları plastisite indisi değerlerinin (I_p) derinlikle değişimi

BH1 ve BH6 sondajlarından alınan örneklerde belirlenen su muhtevasının derinliğe göre değişimi Şekil 5.3. ' de verilmektedir. Buna göre baraj altı zemini için tabii su muhtevası değerleri $w_n = \% 30 - \% 70$ arasında büyük bir aralık içinde değişmektedir.



Şekil 5.3. BH1 ve BH6 sondajları su muhtevası değişiminin gösterilmesi

Tablo 5.1.3. Akbey Barajı BH1 Sondajı Zemin Endeksi Özellikleri



Şekil 5.3. Şekil 5.3. BH1-5-6 ve CPT 4 sondajları su kapsamı değerlerinin derinlikle değişimi .

Tablo 5.1.a Alibey Barajı BH1 Sondajı Zemin Endeks Özellikleri

Sondaj No	Örnek No	Derinlik (m)	Plastik Limit (%)	Likit Limit (%)	I _p (%)	Zemin Sınıfı
BH1	1	5.20 -10.00	22	29	7	ML
BH1	2	5.20 -10.00	21	35	14	CL
BH1	1	10.50-12.50	16	24	8	CL
BH1	2	12.50-14.00	17	32	15	CL
BH1	3	14.00-16.50	28	46	18	ML
BH1	4	16.50-18.50	30	40	10	ML
BH1	1	18.50-24.00	20	40	20	CL
BH1	2	18.50-24.00	36	50	14	ML
BH1	3	18.50-24.00	33	57	24	MH
BH1	1	24.00-30.00	43	59	16	MH
BH1	2	24.00-30.00	33	61	28	CH
BH1	3	24.00-30.00	29	40	11	ML
BH1	4	24.00-30.00	32	48	16	ML
BH1	1	30.00-36.50	33	49	16	ML
BH1	2	30.00-36.50	26	37	11	CL
BH1	3	30.00-36.50	33	54	21	ML
BH1	1	36.50-42.00	16	26	10	ML
BH1	2	36.50-42.00	-	-	-	ML
BH1	3	36.50-42.00	30	43	13	GM

Tablo 5.1.b Alibey Barajı BH6 Sondajı Zemin Endeks Özellikleri

Sondaj No	Örnek No	Derinlik (m)	Plastik Limit (%)	Likit Limit (%)	I_p (%)	Zemin Sınıfı
BH6	1	18.50- 9.90	-	-	-	SW
BH6	2	19.90-20.10	28	39	11	ML
BH6	3	20.10-21.55	28	42	14	ML
BH6	4	21.55-22.00	43	62	19	CH
BH6	5	22.00-22.30	23	30	7	ML
BH6	6	22.30-23.30	39	55	16	CH
BH6	1	24.50-25.60	17	30	13	CL
BH6	2	25.60-26.20	38	57	19	MH
BH6	3	27.70-28.00	42	52	10	MH
BH6	4	28.00-31.60	37	48	11	ML
BH6	1	31.60-32.40	24	34	10	ML
BH6	2	32.40-32.75	-	-	-	SW
BH6	3	32.75-33.70	26	50	24	MH
BH6	4	33.70-35.60	-	-	-	SW
BH6	5	35.60-43.70	49	63	14	MH
BH6	1	43.70-44.80	29	55	26	CH
BH6	2	44.80-46.00	-	-	-	SM
BH6	3	46.00-47.20	-	-	-	SM

Tablo 5.2.a Alibey Barajı BH1 Sondajı Elek Analizi Ve Hidrometre Deney Sonuçları

Sondaj No	Num.No	Derinlik (m)	Çakıl %	Kum %	Silt %	Kil %	Zemin Sınıfı
BH1	1	5.20 -10.00	10	30	50	10	ML
BH1	2	5.20 -10.00	12	61	27	-	CL
BH1	1	10.50-12.50	1	39	50	10	CL
BH1	2	12.50-14.00	1	59	34	6	CL
BH1	3	14.00-16.50	-	25	58	17	ML
BH1	4	16.50-18.50	6	32	57	5	ML
BH1	1	18.50-24.00	1	17	64	18	CL
BH1	2	18.50-24.00	1	5	74	20	ML
BH1	3	18.50-24.00	-	14	71	15	MH
BH1	1	24.00-30.00	1	5	75	19	MH
BH1	2	24.00-30.00	-	6	72	22	CH
BH1	3	24.00-30.00	1	25	54	20	ML
BH1	4	24.00-30.00	-	19	61	20	ML
BH1	1	30.00-36.50	-	21	66	13	ML
BH1	2	30.00-36.50	-	21	63	16	CL
BH1	3	30.00-36.50	1	14	60	25	ML
BH1	1	36.50-42.00	8	37	45	10	ML
BH1	2	36.50-42.00	1	28	58	13	ML
BH1	3	36.50-42.00	38	44	18	-	GM

Tablo 5.2.b Alibey Barajı BH6 Sondajı Elek Analizi Ve Hidrometre Deney Sonuçları

Sondaj No	Num.No	Derinlik (m)	Çakıl %	Kum %	Silt %	Kil %	Zemin Sınıfı
BH6	1	18.50- 19.90	-	98	2	-	SW
BH6	2	19.90-20.10	1	8	58	33	ML
BH6	3	20.10-21.55	-	5	70	25	ML
BH6	4	21.55-22.00	-	-	57	43	CH
BH6	5	22.00-22.30	2	48	43	7	ML
BH6	6	22.30-23.30	1	1	53	45	CH
BH6	1	24.50-25.60	1	39	47	13	CL
BH6	2	25.60-26.20	-	58	26	16	MH
BH6	3	27.70-28.00	-	15	53	32	MH
BH6	4	28.00-31.60	1	67	29	3	ML
BH6	1	31.60-32.40	-	43	42	15	ML
BH6	2	32.40-32.75	-	94	6	-	SW
BH6	3	32.75-33.70	3	15	69	13	MH
BH6	4	33.70-35.60	-	94	6	-	SW
BH6	5	35.60-43.70	-	-	70	30	MH
BH6	1	43.70-44.80	-	1	71	28	CH
BH6	2	44.80-46.00	1	47	42	10	SM
BH6	3	46.00-47.20	7	67	26	-	SM

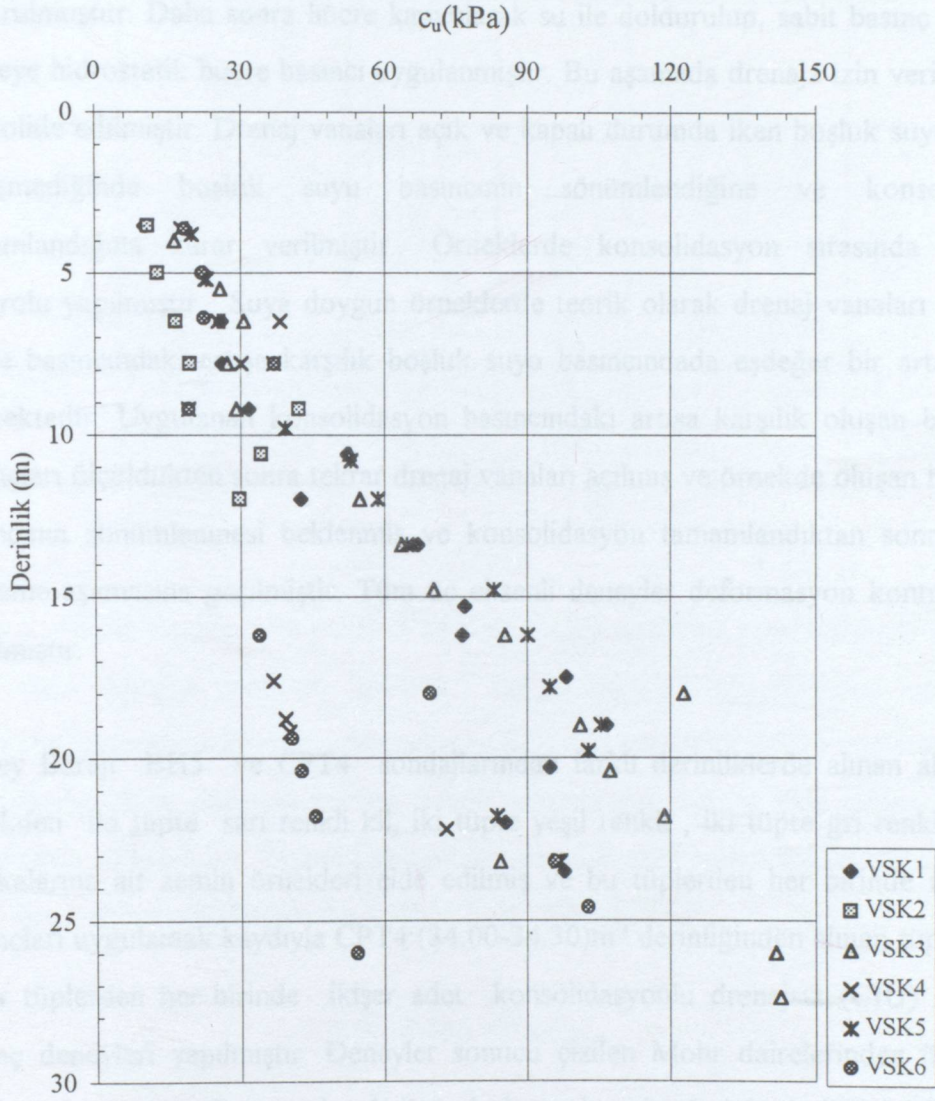
5.2. Mukavemet Özellikleri

Bu çalışmada Alibey Barajı temel zeminin inşaat öncesi mukavemet durumu ile inşaat sonrası mukavemet durumunun ortaya çıkarılması, amaçlardan birini teşkil etmektedir. Bu nedenle ilk olarak 1967 yılında gerçekleştirilen VSK1-VSK2-VSK3-VSK4-VSK5-VSK6 sondajlarından alınan laboratuvar deneylerinden drenajsız kayma mukavemetini tahmin etmek için deneysel olarak bulunan plastisite indisi (I_p) değerleri (3.1) eşitliğinde kullanılmıştır. Hesaplanan drenajsız kayma mukavemetinin (c_u) derinlikle değişimini veren grafik Şekil 5.4.'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi (3.1) eşitliğinden hesaplanan kayma mukavemeti değerleri arazi veyn deneylerinden elde edilen kayma mukavemeti değerlerinden farklı olarak derinlikle artan bir eğilim göstermektedir. Bu artışın nedeni (3.1) eşitliğiyle hesaplanan kayma mukavemeti değerlerinin zemin için hesaplanan ve derinlik arttıkça artan düşey jeolojik efektif gerilme ile doğru orantılı olarak artmasıdır. Elde edilen kayma mukavemeti değerleri 15 kPa -110 kPa aralığında değişmektedir. Şekil 5.4 de görüldüğü gibi elde edilen değerler Bölüm 4'de açıklanan 1996 yılında gerçekleştirilen arazi deneylerinden belirlenen kayma mukavemeti değerlerinden daha düşük değerler vermektedir. Bu veriler, baraj inşaatı tamamlandıktan sonra zamana bağlı olarak Alibey Barajı temel altı zeminine ait geoteknik parametrelerde gerçekleşmesi beklenen değişimin gerçekleştiğini (diğer arazi ve laboratuvar sonuçlarından elde edilen bulgularla birlikte) doğrulamaktadır.

5.2.1 Üç Eksenli Basınç Deneyleri

Bu çalışmada laboratuvarında normal konsolide olarak hazırlanan izotropik konsolide-drenajsız (CIU) üç eksenli basınç deneyleri yapılmıştır.

Alibey Barajı BH1, BH5 ve CPT 4 sondajlarına ait örnekler tüplerden örnek çıkarıcı yardımıyla çıkarılıp , örnek tıraşlama aletinde çapları 5.0 cm boyu 10 cm' den küçük olmayacak şekilde üç eksenli basınç deneyleri için örnek hazırlanmış, deneylerde konsolidasyonu hızlandırmak için örneğin çevresine filtre kağıdı sarılmıştır. Örnek üç eksenli sistemin hücreğine alt başlıkta poroz taş üzerine yerleştirilmiş ve örnek membran



Şekil 5.4. VSK1-2-3-4-5-6 Sondajları Plastisite İndisleriyle
Tahmin Edilen Drenajsız Kayma Mukavemeti Değerleri

gerici bir boru yardımı ile membran içine alınmıştır. Üst başlık altına da poroz taş konularak sızdırmazlık için kullanılan lastik halkalarla membran alt ve üst başlıklara tutturulmuştur. Daha sonra hücre kapatılarak su ile doldurulup, sabit basınç kaynağı ile hücreye hidrostatik hücre basıncı uygulanmıştır. Bu aşamada drenaja izin verilmiş, örnek konsolide edilmiştir. Drenaj vanaları açık ve kapalı durumda iken boşluk suyu basınçları değişmediğinde boşluk suyu basıncının sönümlendiğine ve konsolidasyonun tamamlandığına karar verilmiştir.. Örneklerde konsolidasyon sırasında doygunluk kontrolü yapılmıştır. Suyu doymun örneklerde teorik olarak drenaj vanaları kapalı iken hücre basıncındaki artışa karşılık boşluk suyu basıncında eşdeğer bir artış meydana gelmektedir. Uygulanan konsolidasyon basıncındaki artışa karşılık oluşan boşluk suyu basınçları ölçüldükten sonra tekrar drenaj vanaları açılmış ve örnekde oluşan boşluk suyu basıncının sönümlenmesi beklenmiş ve konsolidasyon tamamlandıktan sonra drenajsız yükleme aşamasına geçilmiştir. Tüm üç eksenli deneyler deformasyon kontrollü olarak yapılmıştır.

Alibey Barajı BH5 ve CPT4 sondajlarından farklı derinliklerde alınan altı adet tüp örnekden iki tüpte sarı renkli kil, iki tüpte yeşil renkli , iki tüpte gri renkli kil zemin tabakalarına ait zemin örnekleri elde edilmiş ve bu tüplerden her birinde farklı hücre basınçları uygulamak kaydıyla CPT4 (34.00-34.30)m ' derinliğinden alınan tüpte bir adet, diğer tüplerden her birinde ikişer adet konsolidasyonlu drenajsız (CIU) üç eksenli basınç deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucu çizilen Mohr dairelerinden üç farklı kil tabakası için elde edilen zemin ϕ' değerleri, zemine ait plasisite indisleri $I_p(\%)$, zeminin sükunetteki toprak basıncı katsayısı değerleri K_0 (2.1) eşitliği ile , deney verileri (5.1) eşitliğinde kullanılarak hesap edilen

$$M = \frac{q'}{p'} \quad (5.1)$$

değerleri ve deney yapılan derinlikteki zemin tanımı Tablo 5.3' de verilmiştir.

Tablo 5.3 Alibey Barajı Zemin İçsel Sürtünme Açısı (ϕ') Değerleri

SONDAJ NO	DERİNLİK (m)	ZEMİN TANIMI	γ_n (kN/m ³)	I_p (%)	K_0	M	ϕ' (°)
BH5	34.00-34.27	Sarı Kil	20	22	0.67	0.63	16
	45.00-45.50	Yeşil Kil	18	13	0.72	0.73	13
	50.00-50.50	Gri Kil	19	26	0.76	0.65	11
CPT4	22.00-22.50	Sarı Kil	20	20	0.69	0.35	15
	32.50-33.00	Yeşil Kil	18	23	0.77	0.36	10
	37.50-38.00	Gri Kil	19	25	0.76	0.32	11

Ayrıca zemine ait plastisite indisleri ve zemin içsel sürtünme açısı değerleri ϕ' değerleri arasındaki değişimi gösteren Şekil 5.5' de görüldüğü üzere plastisite indisinin artan değerleri için zemine ait içsel sürtünme açısı değerleri azalan bir eğilim göstermekte olup, bu bulgular daha önceden yapılan birçok araştırmalar sonucu elde edilen bulgular ile uyumludur. Yapılan üç eksenli basınç deneylerinden elde edilen veriler değerlendirilerek içsel sürtünme açısının plastisite indisine bağlı değişimi için,

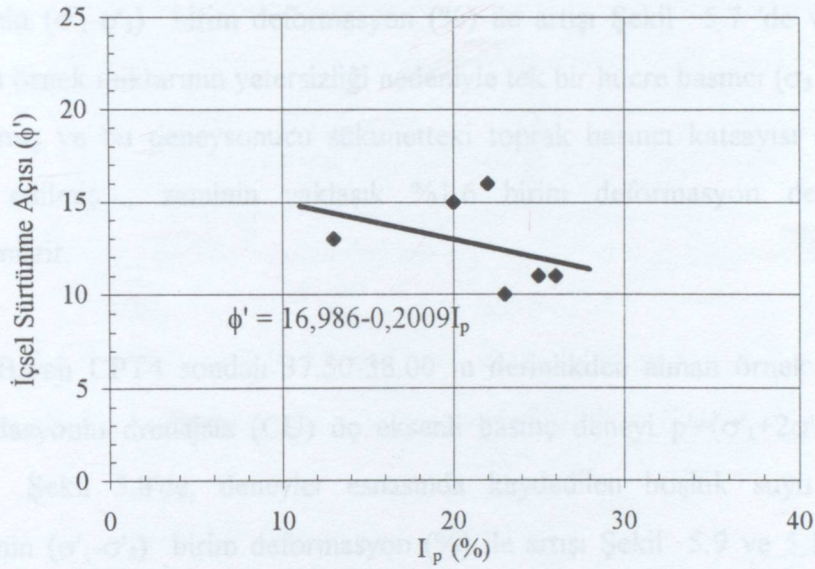
$$\phi' = 16.986 - 0.2009I_p \quad (5.2)$$

amprik formülü ile tanımlanmıştır.

Alibey Barajı örnekleri üzerinde yapılan üç eksenli basınç deneyleri sırasında ölçülen eksenel deformasyon ile boşluk suyu basıncı ve deviatör gerilme artışı davranışı izlendiğinde yaklaşık % 20 birim deformasyon artışına gelindiğinde zeminde göçme meydana geldiği ancak daha sonra zeminin tekrar yük almaya devam ettiği gözlenmiştir. Tüm deneylere ait boşluk suyu basıncı değişimi, deviatör gerilmenin

deplasman ile devrişim $p'=(\sigma'_1+2\sigma'_3)$ değeri ile $q'=(\sigma'_1-\sigma'_3)$ ile değışimleri Şekil 5.6'den 5.18'e kadar verilen grafiklerde verilmiştir.

Aktıcı Baraj CPT4 sondajı 32.50-33.00 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan kontroldeci drenajlı (CU) üç eksenli basınç deneyi $p'=(\sigma'_1+2\sigma'_3)$ - $q'=(\sigma'_1-\sigma'_3)$ grafiği Şekil 5.5'de, deneyler sırasında kaydedilen boşluk suyu basıncı-devrişim



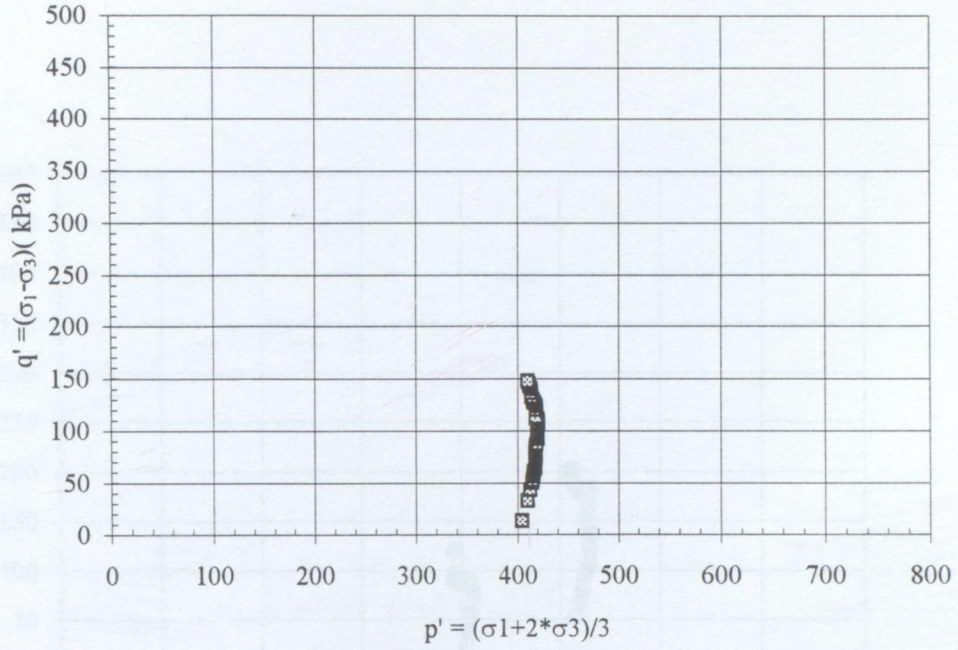
Şekil 5.5. BH5-CPT4 sondajları içsel sürtünme açısı (ϕ') açılarının plastisite indisiyle (I_p) değışimi

deplasman ile davranışı, $p'=(\sigma'_1+2\sigma'_3)$ değerlerinin $q'=(\sigma'_1-\sigma'_3)$ ile değişimleri Şekil 5.6.'den 5.18.' a kadar çizilen grafiklerde verilmiştir.

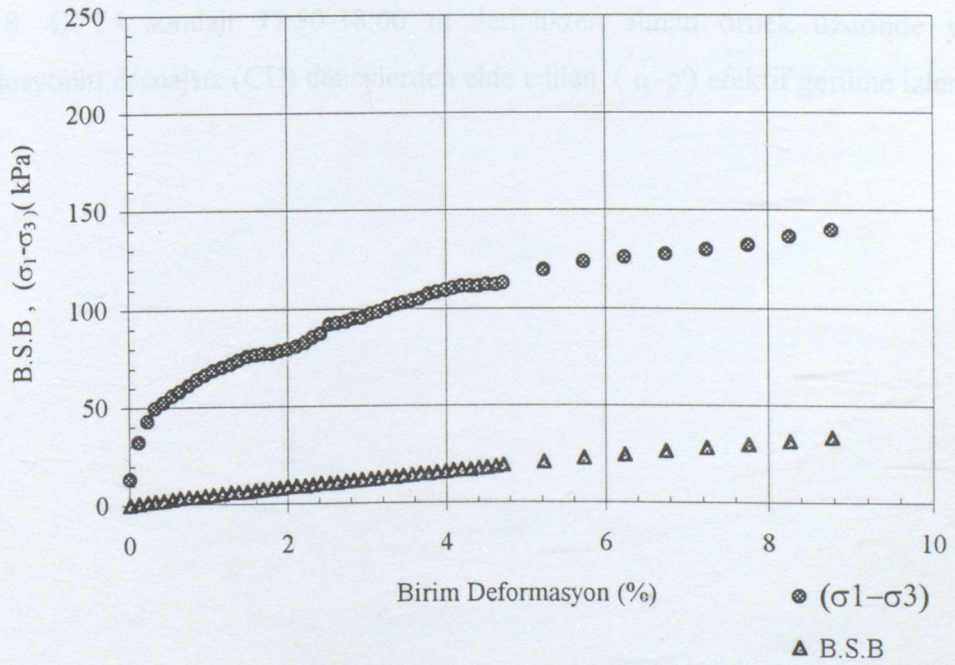
Alibey Barajı CPT4 sondajı 32.50-33.00 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyonlu drenajsız (CU) üç eksenli basınç deneyi $p'=(\sigma'_1+2\sigma'_3)$ '- $q'=(\sigma'_1-\sigma'_3)$ grafiği Şekil 5.6'da, deneyler esnasında kaydedilen boşluk suyu basıncı-deviatör gerilmenin $(\sigma'_1-\sigma'_3)$ birim deformasyon (%) ile artışı Şekil 5.7 'de verilmiştir. Tüpten çıkarılan örnek miktarının yetersizliği nedeniyle tek bir hücre basıncı ($\sigma_3=400$ kPa) değeri uygulanmış ve bu deney sonucu sükunetteki toprak basıncı katsayısı (K_0) 0.67 olarak tahmin edilmiş , zeminin yaklaşık %1.6 birim deformasyon değerinde kırıldığı belirlenmiştir.

Alibey Barajı CPT4 sondajı 37.50-38.00 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyonlu drenajsız (CU) üç eksenli basınç deneyi $p'=(\sigma'_1+2\sigma'_3)$ '- $q'=(\sigma'_1-\sigma'_3)$ grafiği Şekil 5.8'de, deneyler esnasında kaydedilen boşluk suyu basıncı-deviatör gerilmenin $(\sigma'_1-\sigma'_3)$ birim deformasyon (%) ile artışı Şekil 5.9 ve 5.10 'da verilmiştir. Zemin hücre basıncı $\sigma_3=400$ kPa ve hücre basıncı $\sigma_3=500$ kPa olacak şekilde iki ayrı basınç altında drenajsız olarak kesilmiştir. Bu iki deney sonucu sükunetteki toprak basıncı katsayısı (K_0) 0.76 olarak tahmin edilmiş , zeminin % 1.8 birim deformasyon değerinde kırıldığı belirlenmiştir.

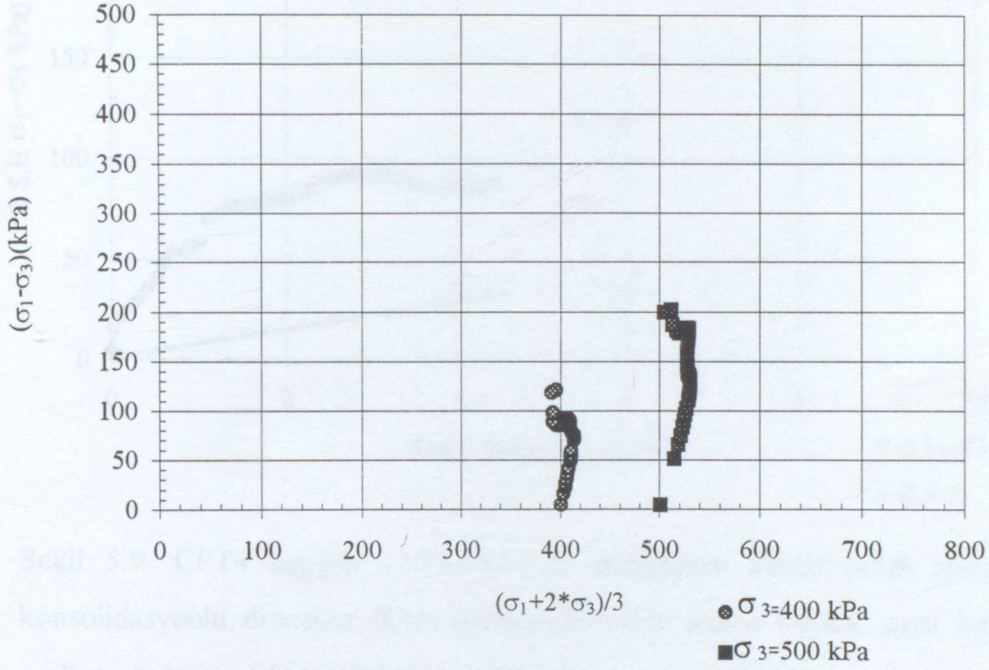
Alibey Barajı BH5 sondajı 45.00-45.50 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyonlu drenajsız (CU) üç eksenli basınç deneyi $p'=(\sigma'_1+2\sigma'_3)$ '- $q'=(\sigma'_1-\sigma'_3)$ grafiği Şekil 5.11'de, deneyler esnasında kaydedilen boşluk suyu basıncı-deviatör gerilmenin $(\sigma'_1-\sigma'_3)$ birim deformasyon (%) ile artışı Şekil 5.12 ve 5.13 'de verilmiştir. Zemin hücre basıncı $\sigma_3=100$ kPa ve hücre basıncı $\sigma_3=500$ kPa olacak şekilde iki ayrı basınç altında drenajsız kesilmiştir. Bu iki deney sonucu sükunetteki toprak basıncı katsayısı (K_0) 0.72 olarak tahmin edilmiş, zeminin % 2.8 birim deformasyon değerinde kırıldığı belirlenmiştir.



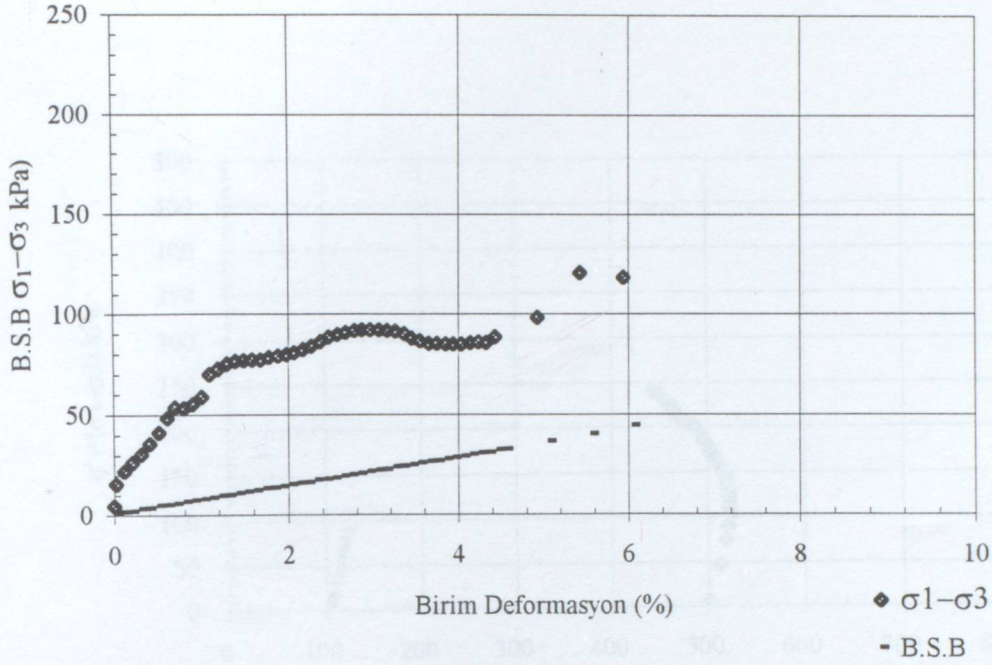
Şekil 5.6. CPT4 sondajı 32.50-33.00 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyonlu drenajsız (CU) deneylerden elde edilen ($q'-p'$) efektif gerilme izleri



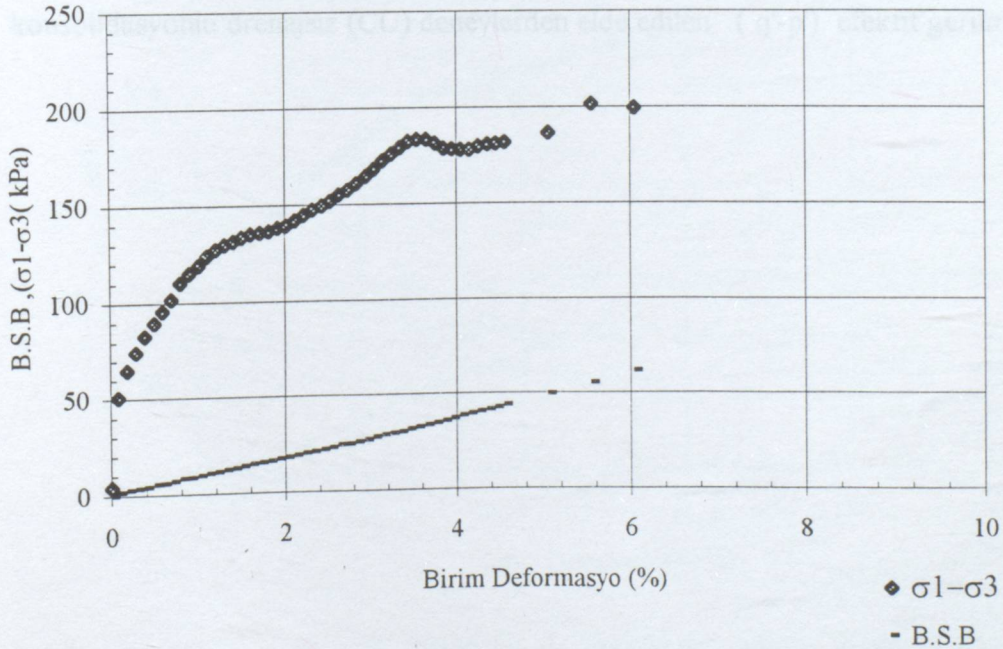
Şekil 5.7. CPT4 sondajı 32.50-33.00 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyonlu drenajsız (CU) deneylerden elde edilen boşluk suyu basıncı, deviyör gerilmenin ($\sigma_1 - \sigma_3$) birim deformasyonla değişimi. ($\sigma_3 = 400$ kPa)



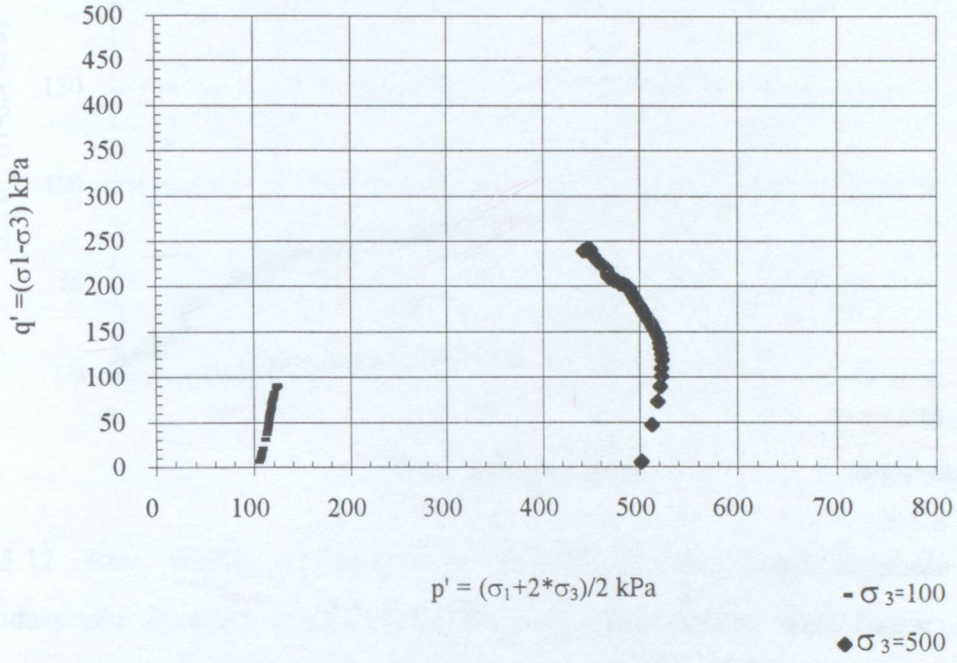
Şekil 5.8. CPT4 sondajı 37.50-38.00 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyonlu drenajsız (CU) deneylerden elde edilen ($q'-p'$) efektif gerilme izleri.



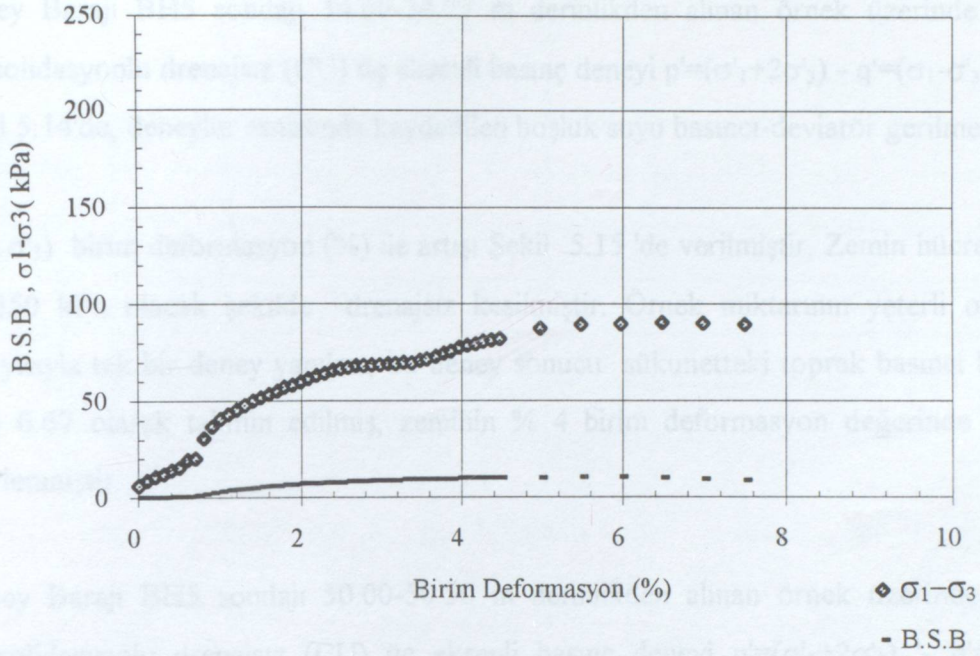
Şekil 5.9. CPT4 sondajı 37.50-38.00 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyonlu drenajsız (CU) deneylerden elde edilen boşluk suyu basıncı, deviator gerilmenin ($\sigma_1 - \sigma_3$) birim deformasyonla değişimi. ($\sigma_3 = 400$ kPa)



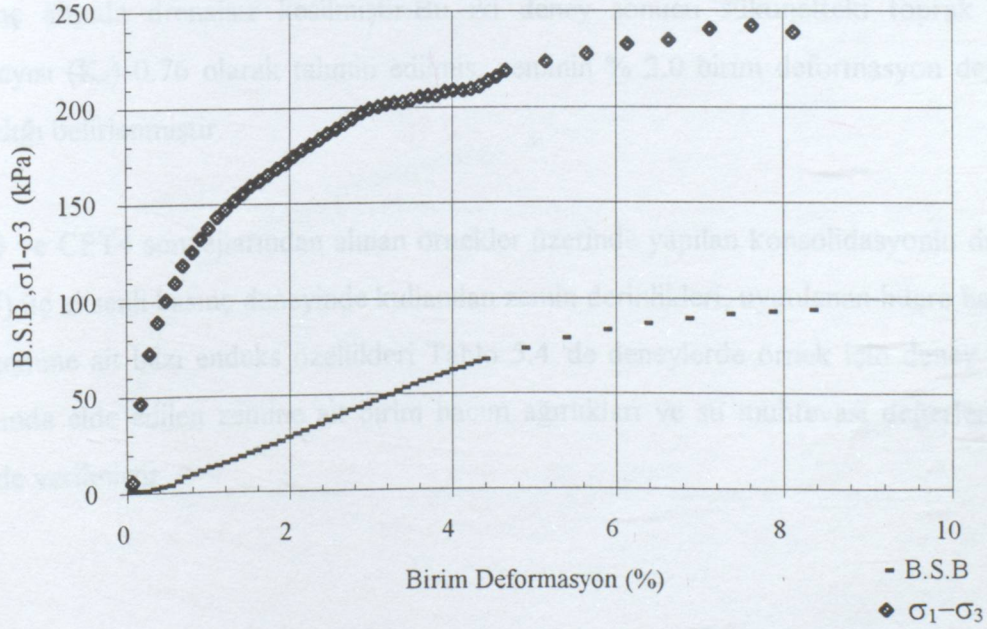
Şekil 5.10. CPT4 sondajı 37.50-38.00 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyonlu drenajsız (CU) deneylerden elde edilen boşluk suyu basıncı, deviator gerilmenin ($\sigma_1 - \sigma_3$) birim deformasyonla değişimi. ($\sigma_3 = 500$ kPa)



Şekil 5.11. BH5 sondajı 45.00-45.50 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyonlu drenajsız (CU) deneylerden elde edilen (q' - p') efektif gerilme izleri



Şekil 5.12. BH5 sondajı 45.00-45.50 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyonlu drenajsız (CU) deneylerden elde edilen boşluk suyu basıncı, deviator gerilmenin ($\sigma_1 - \sigma_3$) birim deformasyonla değişimi. ($\sigma_3 = 100$ kPa)



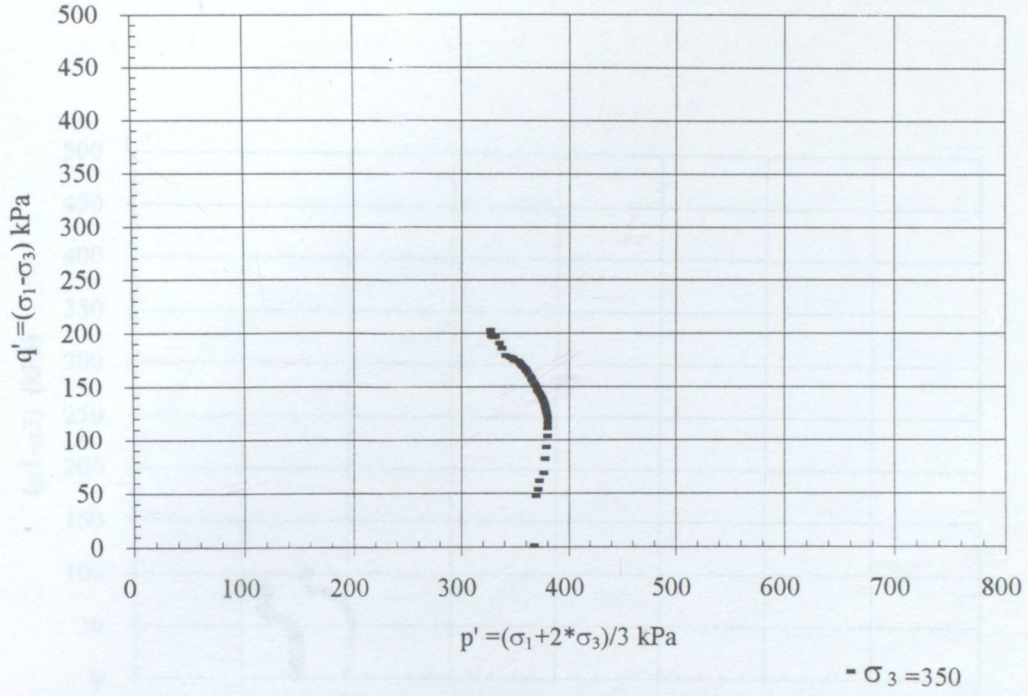
Şekil 5.13. BH5 sondajı 45.00-45.50 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyonlu drenajsız (CU) deneylerden elde edilen boşluk suyu basıncı, deviator gerilmenin ($\sigma_1 - \sigma_3$) birim deformasyonla değişimi. ($\sigma_3 = 500$ kPa)

Alibey Barajı BH5 sondajı 34.00-34.27 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyonlu drenajsız (CU) üç eksenli basınç deneyi $p'=(\sigma'_1+2\sigma'_3)$ - $q'=(\sigma'_1-\sigma'_3)$ grafiği Şekil 5.14'de, deneyler esnasında kaydedilen boşluk suyu basıncı-deviyatör gerilmenin

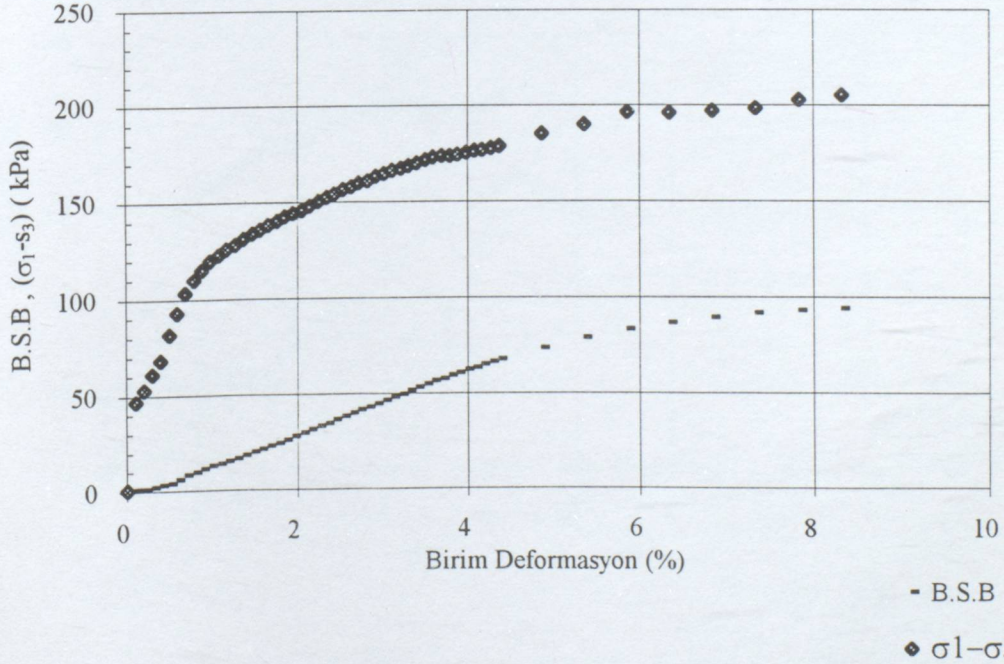
$(\sigma'_1 - \sigma'_3)$ birim deformasyon (%) ile artışı Şekil 5.15 'de verilmiştir. Zemin hücre basıncı $\sigma_3=350$ kPa olacak şekilde drenajsız kesilmiştir. Örnek miktarının yeterli olmaması dolayısıyla tek bir deney yapılmış bu deney sonucu sükunetteki toprak basıncı katsayısı (K_0) 0.67 olarak tahmin edilmiş, zeminin % 4 birim deformasyon değerinde kırıldığı belirlenmiştir.

Alibey Barajı BH5 sondajı 50.00-50.50 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyonlu drenajsız (CU) üç eksenli basınç deneyi $p'=(\sigma'_1+2\sigma'_3)$ - $q'=(\sigma'_1-\sigma'_3)$ grafiği Şekil 5.16'da, deneyler esnasında kaydedilen boşluk suyu basıncı-deviyatör gerilmenin $(\sigma_1 - \sigma'_3)$ birim deformasyon (%) ile artışı Şekil 5.17 ve 5.18 'de verilmiştir. Zemin hücre basıncı $\sigma_3=150$ kPa ve hücre basıncı $\sigma_3=200$ kPa olacak şekilde iki ayrı basınç altında drenajsız kesilmiştir. Bu iki deney sonucu sükunetteki toprak basıncı katsayısı (K_0) 0.76 olarak tahmin edilmiş, zeminin % 2.0 birim deformasyon değerinde kırıldığı belirlenmiştir.

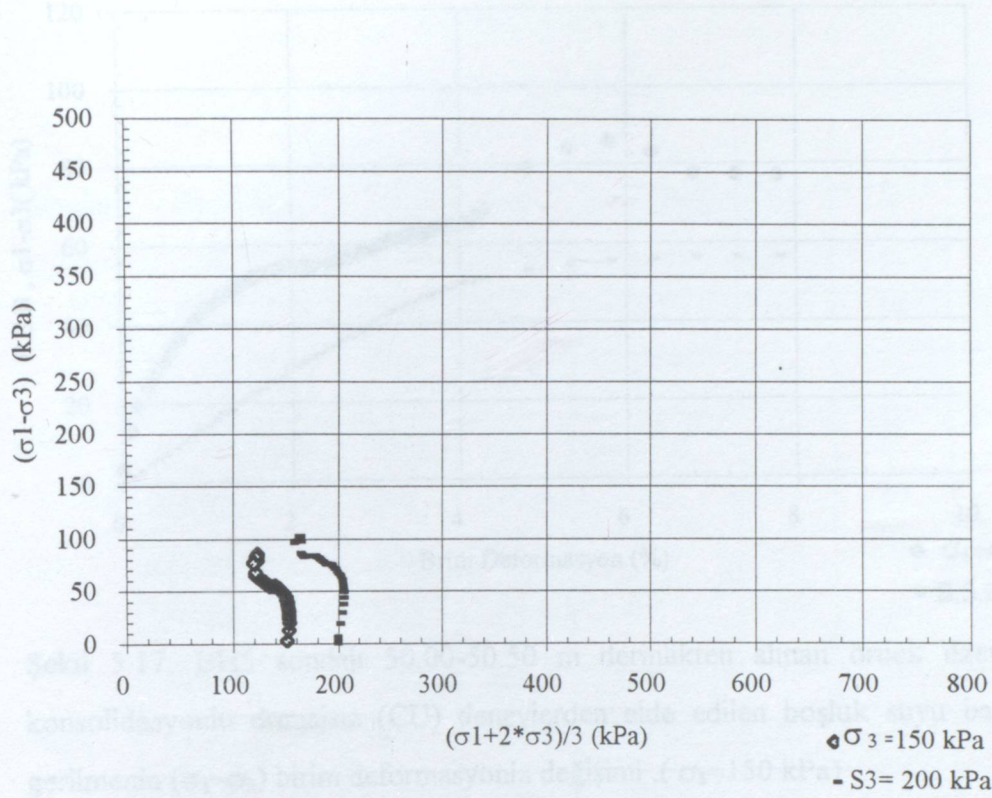
BH5 ve CPT4 sondajlarından alınan örnekler üzerinde yapılan konsolidasyonlu drenajsız (CU) üç eksenli basınç deneyinde kullanılan zemin derinlikleri, uygulanan hücre basınçları ve zemine ait bazı indeks özellikleri Tablo 5.4 'de deneylerde örnek için deney başı ve sonunda elde edilen zemine ait birim hacim ağırlıkları ve su muhtevası değerleri Tablo 5.5'de verilmiştir.



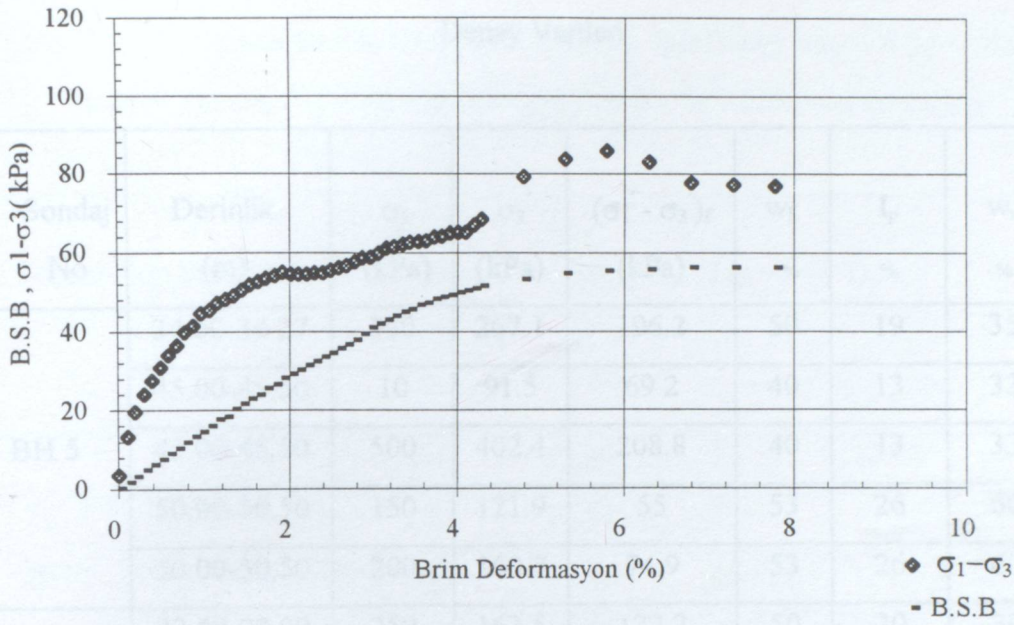
Şekil 5.14. BH5 sondajı 34.00-34.30 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyonlu drenajsız (CU) deneylerden elde edilen ($q'-p'$) efektif gerilme izleri



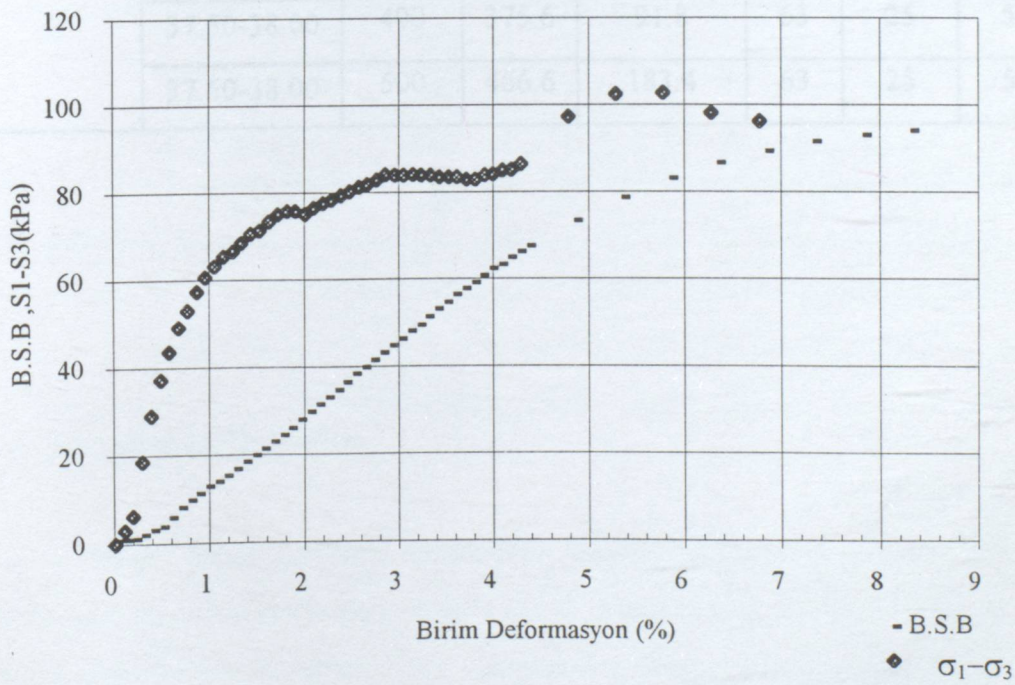
Şekil 5.15. BH5 sondajı 34.00-34.30 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyonlu drenajsız (CU) deneylerden elde edilen boşluk suyu basıncı, deviator gerilmenin ($\sigma_1 - \sigma_3$) birim deformasyonla değişimi. ($\sigma_3 = 350 \text{ kPa}$)



Şekil 5.16. BH5 sondajı 50.00-50.50 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyonlu drenajsız (CU) deneylerden elde edilen $(q'-p')$ efektif gerilme izleri



Şekil 5.17. BH5 sondajı 50.00-50.50 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyonlu drenajsız (CU) deneylerden elde edilen boşluk suyu basıncı, deviator gerilmenin ($\sigma_1 - \sigma_3$) birim deformasyonla değişimi. ($\sigma_3 = 150$ kPa)



Şekil 5.18. BH5 sondajı 50.00-50.50 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyonlu drenajsız (CU) deneylerden elde edilen boşluk suyu basıncı, deviator gerilmenin ($\sigma_1 - \sigma_3$) birim deformasyonla değişimi. ($\sigma_3 = 200$ kPa)

Tablo 5.4 Alibeyköy Barajı Konsolidasyonlu Drenajsız (CU) Üç Eksenli Basınç

Deney Verileri

Sondaj No	Derinlik (m)	σ_3 (kPa)	σ_3' (kPa)	$(\sigma_1' - \sigma_3')_f$ (kPa)	w_L %	I_p %	w_n %
BH 5	34.00-34.27	350	267.1	196.2	50	19	35
	45.00-45.50	10	91.5	69.2	40	13	33
	45.00-45.50	500	402.4	208.8	40	13	33
	50.00-50.50	150	121.9	55	53	26	60
	50.00-50.50	200	160.7	74.9	53	26	60
CPT4	22.50-23.00	250	163.5	122.2	50	20	30
	22.50-23.00	350	221.6	181.5	50	20	30
	32.50-33.00	350	320.8	237.2	55	23	37
	32.50-33.00	400	389.9	91.9	55	23	37
	37.50-38.00	400	375.6	91.8	63	25	50
	37.50-38.00	500	466.6	183.4	63	25	50

5.3. Şekillendirik Özellikleri

Arayış during temel zeminin sıvılaşma özelliği ve bu özelliklerin BH 5, BH 5, CPT4 ve CPT4 sondajları ile ilgili derinliklerde alınan örneklerin analizleri arasında her yıl katmanlarına 74 adet belirlemek üzere, yüksek basınçlı çarpmalı standart konsolidasyon deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler sonucu farklı yük katmanlarına ait elde edilen konsolidasyon oranları (C_c), önkonsolidasyon basıncı (σ_{p0}) ve şırınga indisi (C_u)

Tablo 5.5 Üç Eksenli Basınç Deneylerinde Örnek İçin Deney Başı Ve Sonunda Elde Edilen Zemine Ait Birim Hacim Ağırlıkları Ve Su Muhtevası Değerleri

Sondaj No	Derinlik (m)	σ_3 (kPa)	Deney Başı		Deney Sonu	
			γ_n kN/m ³	w_n %	γ_n kN/m ³	w_n %
BH 5	34.00-34.27	350	13.49	35	13.00	22
	45.00-45.50	100	13.83	33	13.54	27
	45.00-45.50	500	14.83	45	13.49	20
	50.00-50.50	150	14.29	60	13.9	33
	50.00-50.50	200	13.20	60	12.32	52
CPT 4	22.50-23.00	250	13.96	50	11.42	28
	22.50-23.00	350	15.91	50	14.40	30
	32.50-33.00	350	13.55	37	12.65	34
	32.50-33.00	400	20.22	37	18.9	27
	37.50-38.00	400	16.2	50	14.46	38
	37.50-38.00	500	16.45	50	14.3	30

5.3. Sıkışabilirlik Özellikleri

Alibey Barajı temel zemininin sıkışabilirlik özelliklerini belirlemek üzere BH1-BH5-CPT4 sondajlarından çeşitli derinliklerde alınan örselenmemiş örnekleri üzerinde her yük kademesinde 24 saat beklemek üzere, yükleme-boşaltma çevrimli standart konsolidasyon deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler sonucu farklı yük kademelerine ait elde edilen konsolidasyon katsayısı (c_v), önkonsolidasyon basıncı (σ_p') ve sıkışma indisi (C_c)

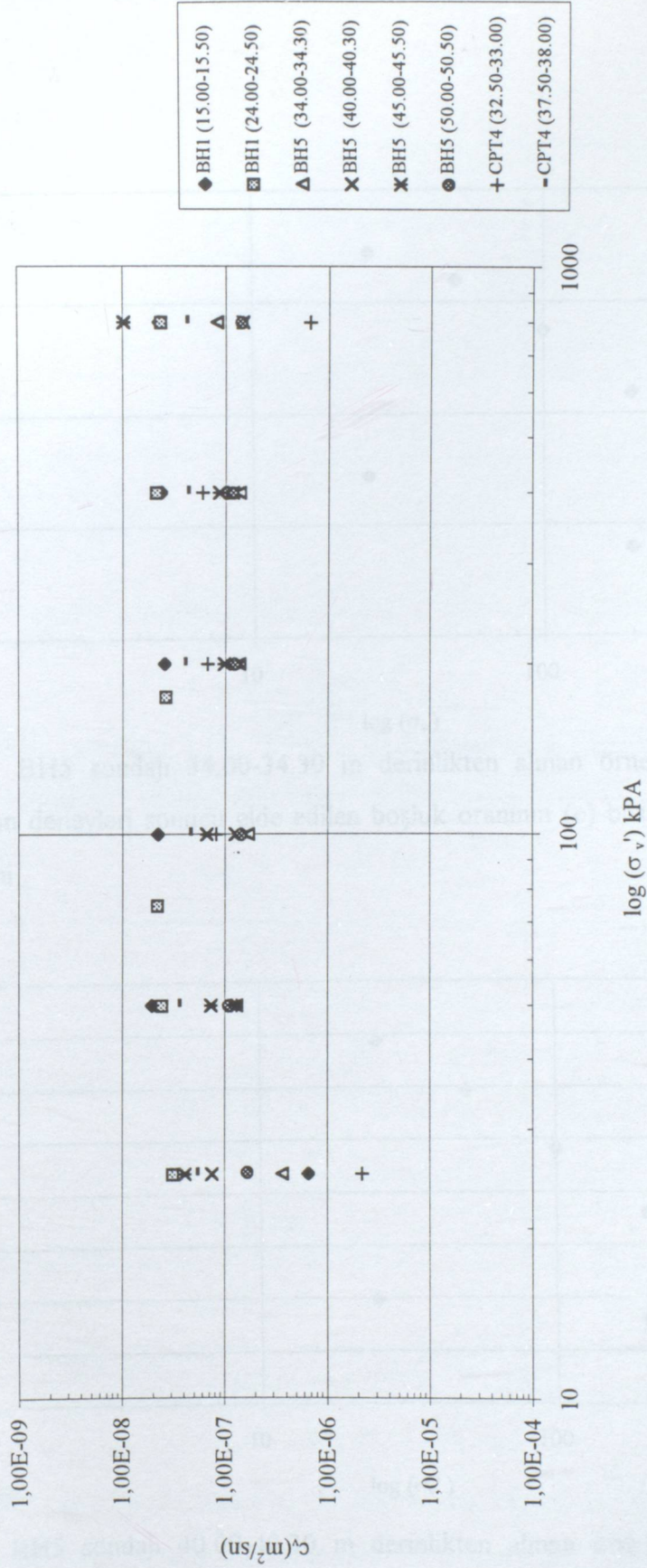
değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu sıkışabilirlik parametreleri ile derinliklere göre zemin üzerindeki düşey efektif gerilmeler (σ'_{v0}) Tablo 5.6a ve Tablo 5.6b' de toplu olarak verilmiştir. Konsolidasyon katsayılarının basınç kademelerindeki değişimi Şekil 5.19' de verilmiş olup şekilde de görüldüğü gibi konsolidasyon katsayısı (c_v) değerleri konsolidasyon basıncı (σ'_v) artışıyla çok büyük bir değişim göstermemiştir.

Konsolidasyon deneyleri sonucu elde edilen boşluk oranı (e)- basınç log (σ'_v) grafikleri Şekil 5.20- Şekil 5.27. de verilmiştir. Grafiklerden elde edilen önkonsolidasyon basıncı (σ'_p) değerleri elde edilmesi beklenen değerlerden daha küçük değerler olarak belirlenmiştir.

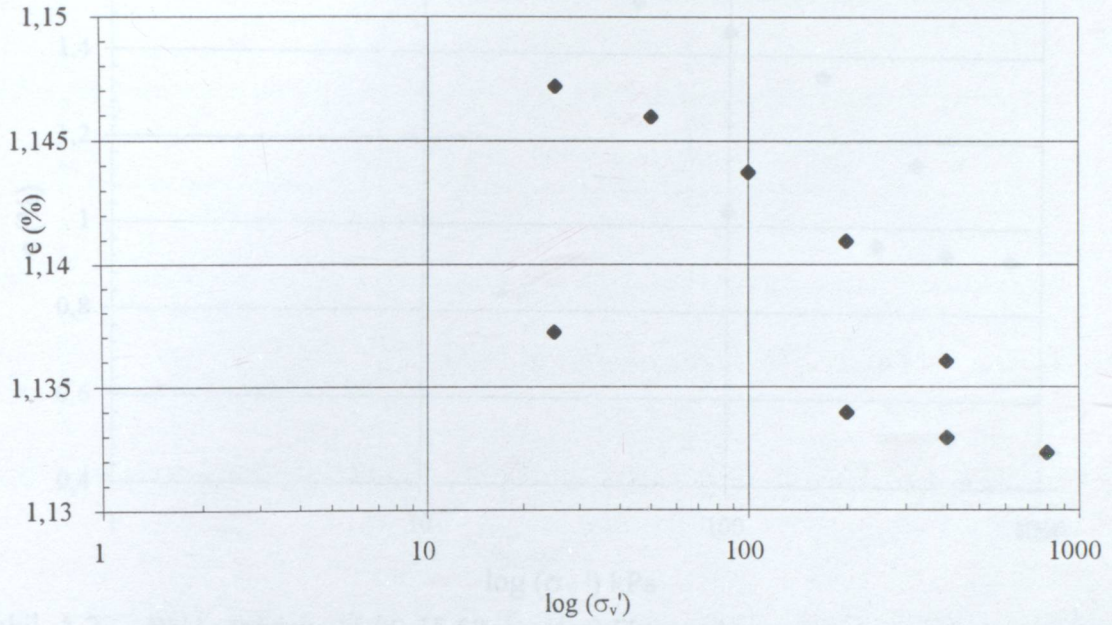
Konsolidasyon deneyleri sonucu elde edilen hacımsal sıkışma katsayısı (m_v) ile konsolidasyon basıncı log (σ'_v) arasında Şekil 5.28 'de görüldüğü gibi konsolidasyon basıncı artışıyla azalan bir ilişki görülmektedir. Konsolidasyon deneyleri sonucu elde edilen hacımsal sıkışma katsayısı (m_v) değerleri $1 \times 10^{-3} (\text{kPa})^{-1}$ ile $0.9 \times 10^{-4} (\text{kPa})^{-1}$ değerleri arasında geniş bir aralık içinde değişim göstermektedir.

Bölüm 4.1.1. verildiği gibi Stroud ve Butler (1975) tarafından SPT değerlerine bağlı olarak hacımsal sıkışma katsayısı (m_v) tahmini yapmak amacıyla bir (4.2) formülüyle f_1 katsayısına bağlı olarak bir f_2 katsayısı tariflenmiş böylece direkt olarak zeminin plastisitesine bağlı olarak değişen hacımsal sıkışma katsayısı (m_v) tahminleri yapmak mümkün olmuştur. Alibey Barajı için yapılan f_1 ve f_2 tahminleri zeminin plastisitesinin yaklaşık olarak 15-20 arasında olması nedeniyle, $f_1=5.5$ ve $f_2=550$ olmak üzere sabit değerler alınmıştır.

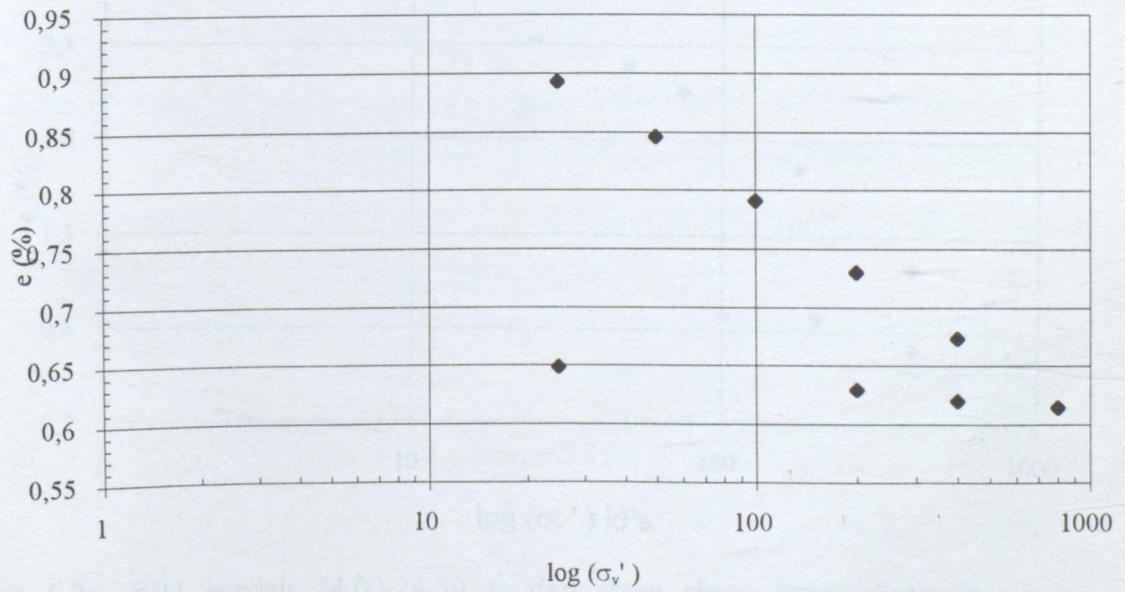
Tahmin edilen f_2 değerleriyle yapılan hacımsal sıkışma katsayısı (m_v) değerlerinin derinlikle değişimi Şekil 4.5.'de görüldüğü gibi $1 \times 10^{-3} - 3 \times 10^{-4} (\text{kPa}^{-1})$ arasında değişmekte olup konsolidasyon deneylerinden elde edilen $1 \times 10^{-3} - 0.9 \times 10^{-4} (\text{kPa}^{-1})$ hacımsal sıkışma katsayısı (m_v) değerlerine (Şekil 5.29) çok yakın olduğu belirlenmiştir



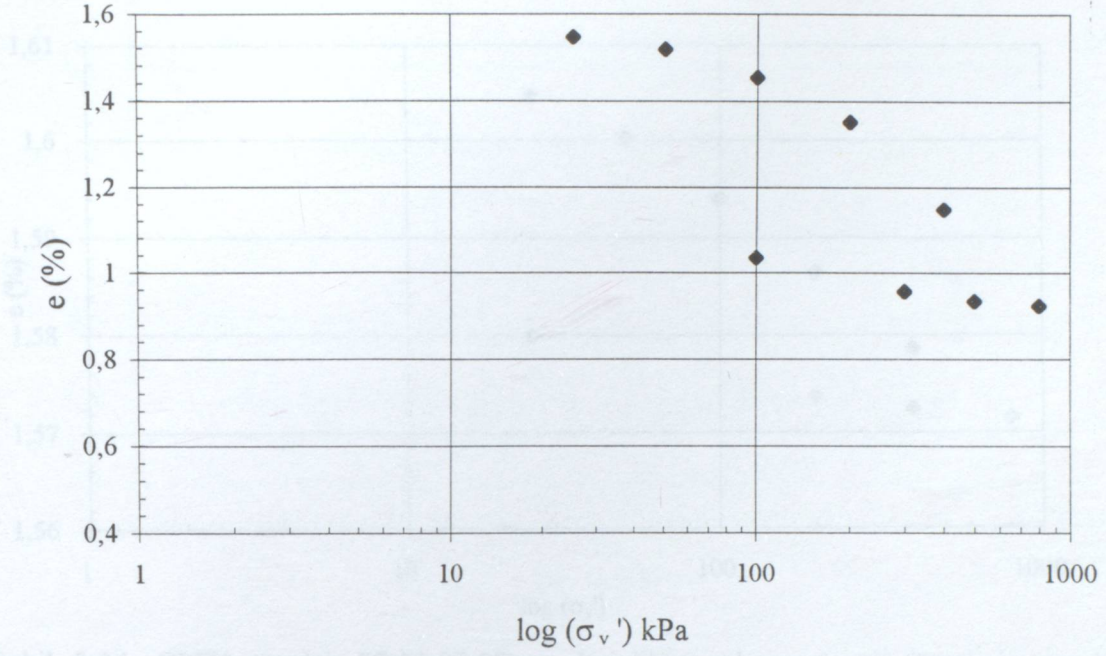
Şekil 5.19. Konsolidasyon katsayılarının (c_v) basınç kademelerindeki (σ'_v) değişimi



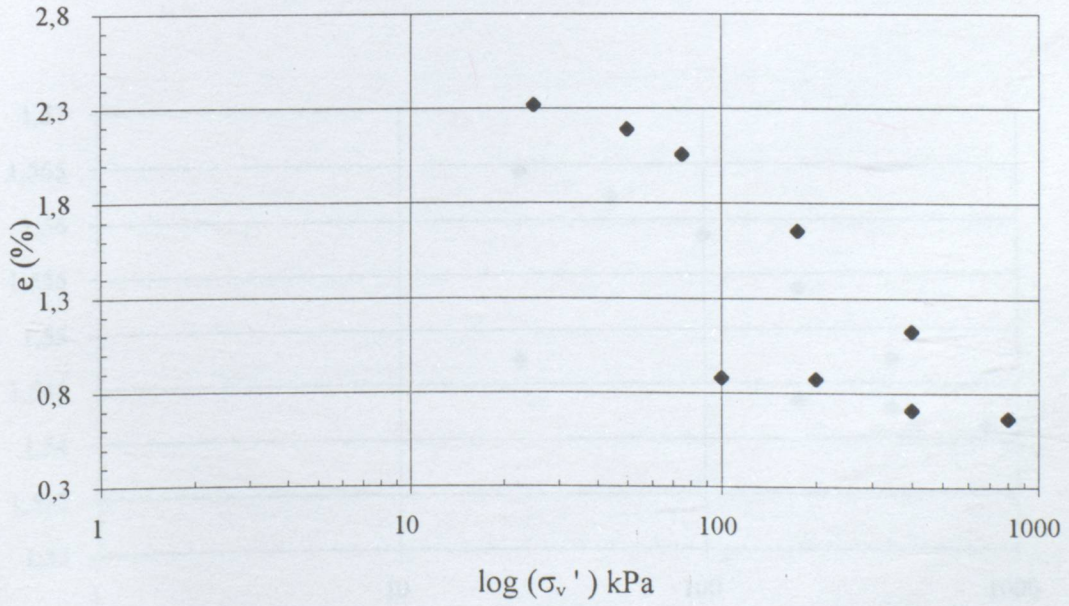
Şekil 5.20. BH5 sondajı 34.00-34.30 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyon deneyleri sonucu elde edilen boşluk oranının (e) basınç kademelerindeki (σ'_v) değişimi .



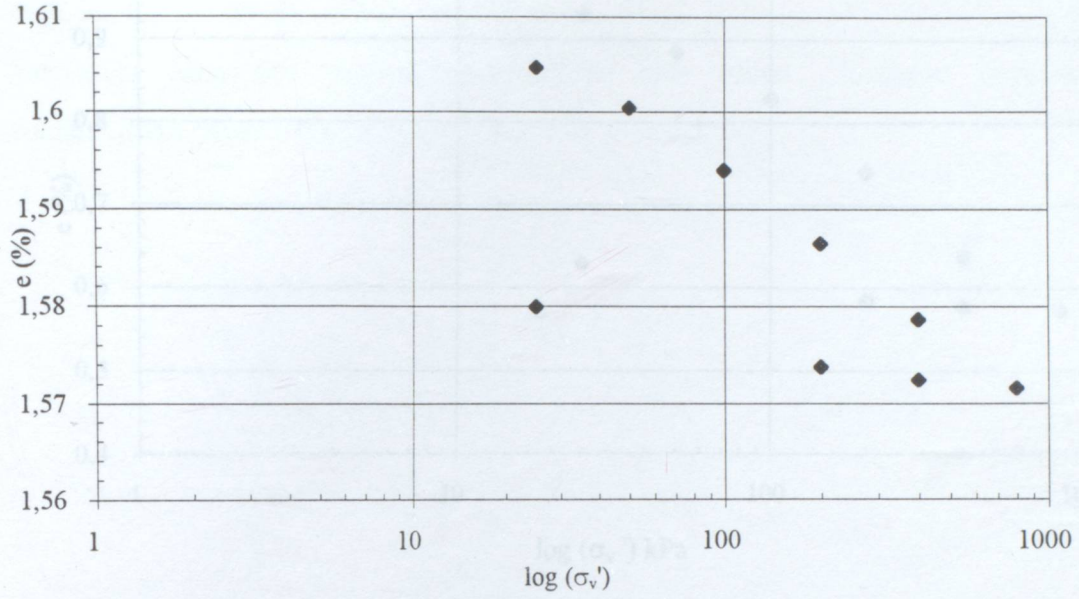
Şekil 5.21. BH5 sondajı 40.00-40.30 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyon deneyleri sonucu elde edilen boşluk oranının (e) basınç kademelerindeki (σ'_v) değişimi



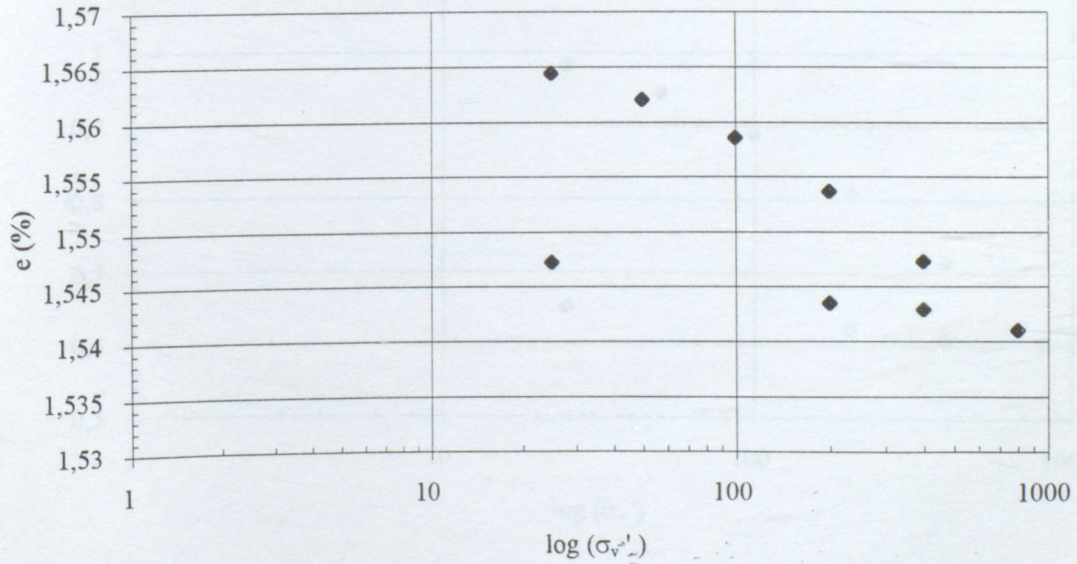
Şekil 5.22. BH1 sondajı 15.00-15.50 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyon deneyleri sonucu elde edilen boşluk oranının (e) basınç kademelerindeki (σ_v') değişimi .



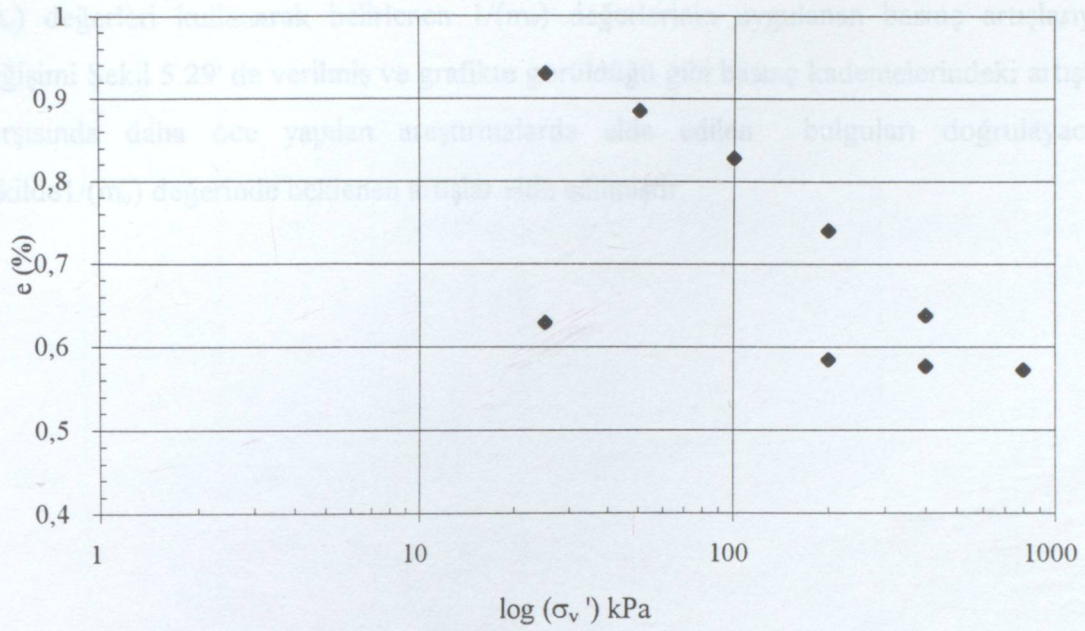
Şekil 5.23. BH1 sondajı 24.00-24.50 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyon deneyleri sonucu elde edilen boşluk oranının (e) basınç kademelerindeki (σ_v') değişimi .



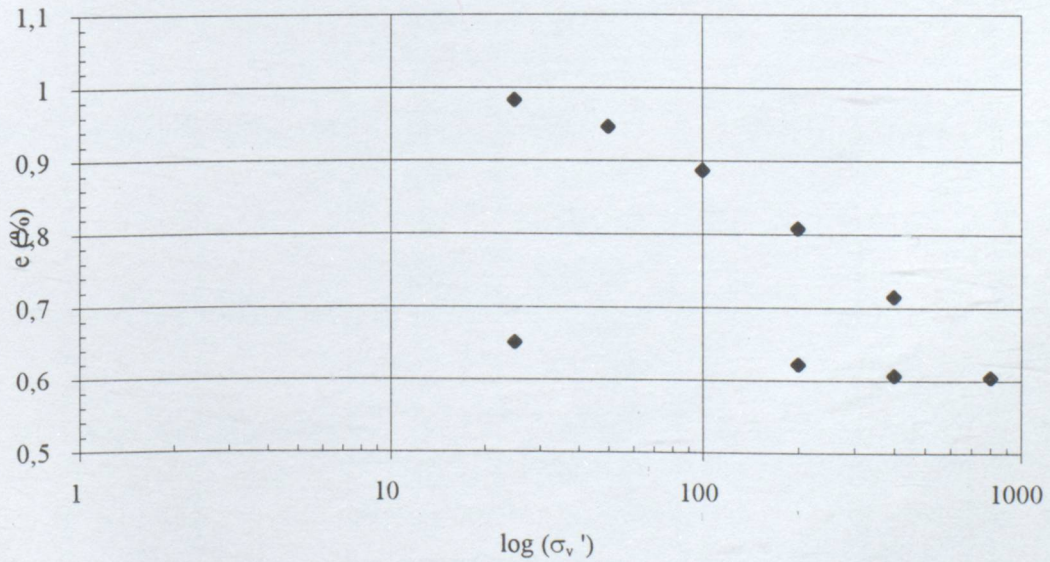
Şekil 5.24. CPT4 sondajı 37.50-38.00 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyon deneyleri sonucu elde edilen boşluk oranının (e) basınç kademelerindeki (σ'_v) değişimi



Şekil 5.25. CPT4 sondajı 32.50-33.00 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyon deneyleri sonucu elde edilen boşluk oranının (e) basınç kademelerindeki (σ'_v) değişimi .



Şekil 5.26. BH5 sondajı 45.00-45.50 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyon deneyleri sonucu elde edilen boşluk oranının (e) basınç kademelerindeki (σ_v') değişimi ..



Şekil 5.27. BH1 sondajı 50.00-50.50 m derinlikten alınan örnek üzerinde yapılan konsolidasyon deneyleri sonucu elde edilen boşluk oranının (e) basınç kademelerindeki (σ_v') değişimi .

Konsolidasyon deneyleri sonucu Şekil 5.28 ' de belirlenen hacimsal sıkışma katsayısı (m_v) değerleri kullanarak belirlenen $1/(m_v)$ değerlerinin uygulanan basınç artışlarıyla değişimi Şekil 5.29' de verilmiş ve grafikte görüldüğü gibi basınç kademelerindeki artışlar karşısında daha öce yapılan araştırmalarda elde edilen bulguları doğrulayacak şekilde $1/(m_v)$ değerinde beklenen artışlar elde edilmiştir.

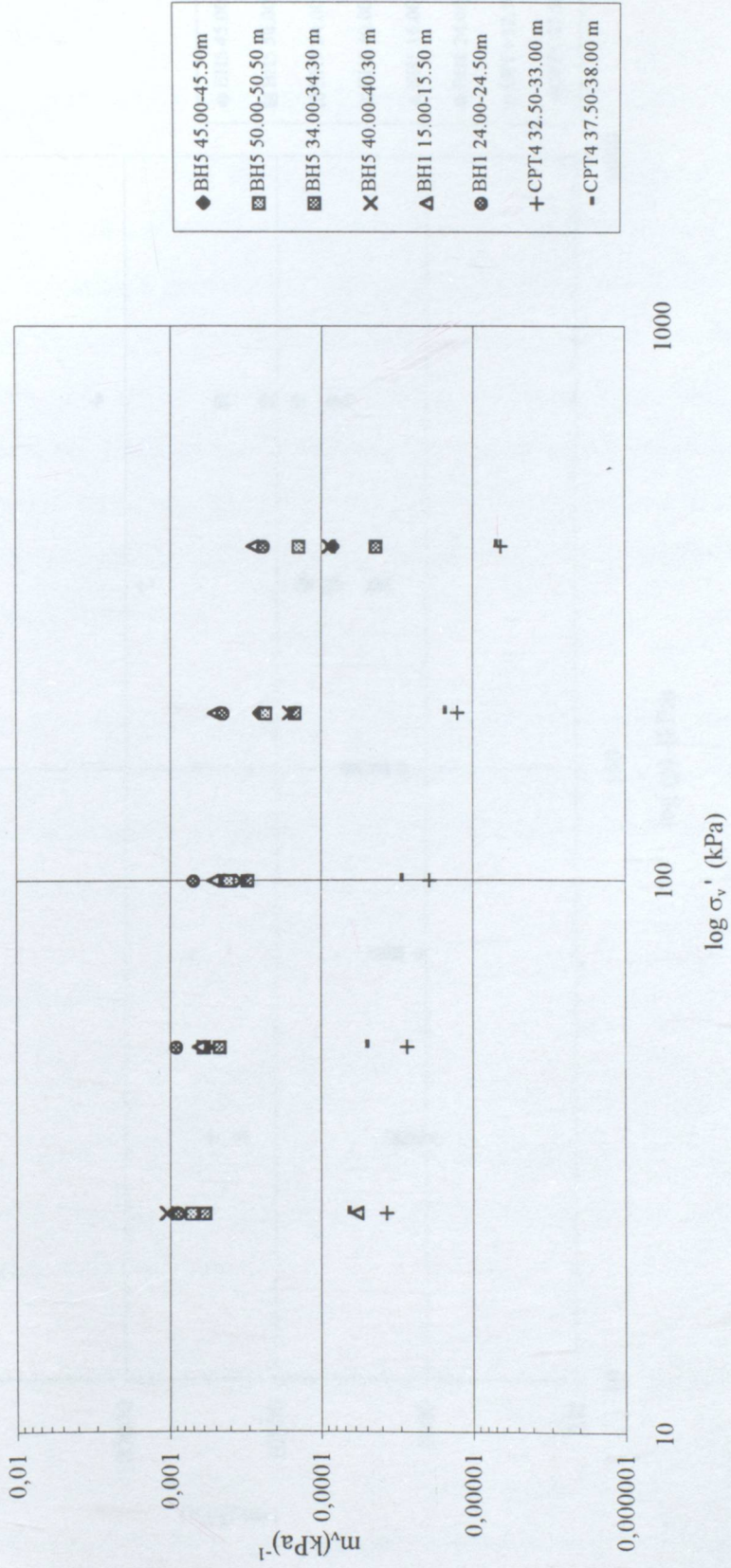
No	Tabanı	(m)	Kesme Gerilimi (τ) (kg/cm ²)	Kesme Gerilimi (τ) (kPa)	Konsolidasyon Basıncı (σ_v) (kPa)	(σ_v)	Sıkışma İndisi (C_c)
B11	Yerli Zil	24.20-24.30	25	1.50×10^3	140	187	0.140
			50	1.75×10^3			
			100	2.10×10^3			
			200	2.30×10^3			
			400	2.50×10^3			
B11	Öz Zil	24.80-24.90	25	1.10×10^3	125	263	0.140
			50	1.30×10^3			
			100	1.90×10^3			
			200	2.60×10^3			
			400	2.70×10^3			
B12	S. Z. Zil	24.90-25.30	25	1.60×10^3	210	660	0.074
			50	1.70×10^3			
			100	1.80×10^3			
			200	1.90×10^3			
			400	2.20×10^3			
B13	Yerli Zil	40.90-40.95	25	7.80×10^2	120	218	0.157
			50	1.10×10^3			
			100	1.20×10^3			
			200	1.30×10^3			
			400	1.40×10^3			

Tablo 5.6.a BH1-BH5 Sondajları Konsolidasyon Katsayısı C_v , Ön Konsolidasyon Basıncı σ_p' , Sıkışma İndisi C_c

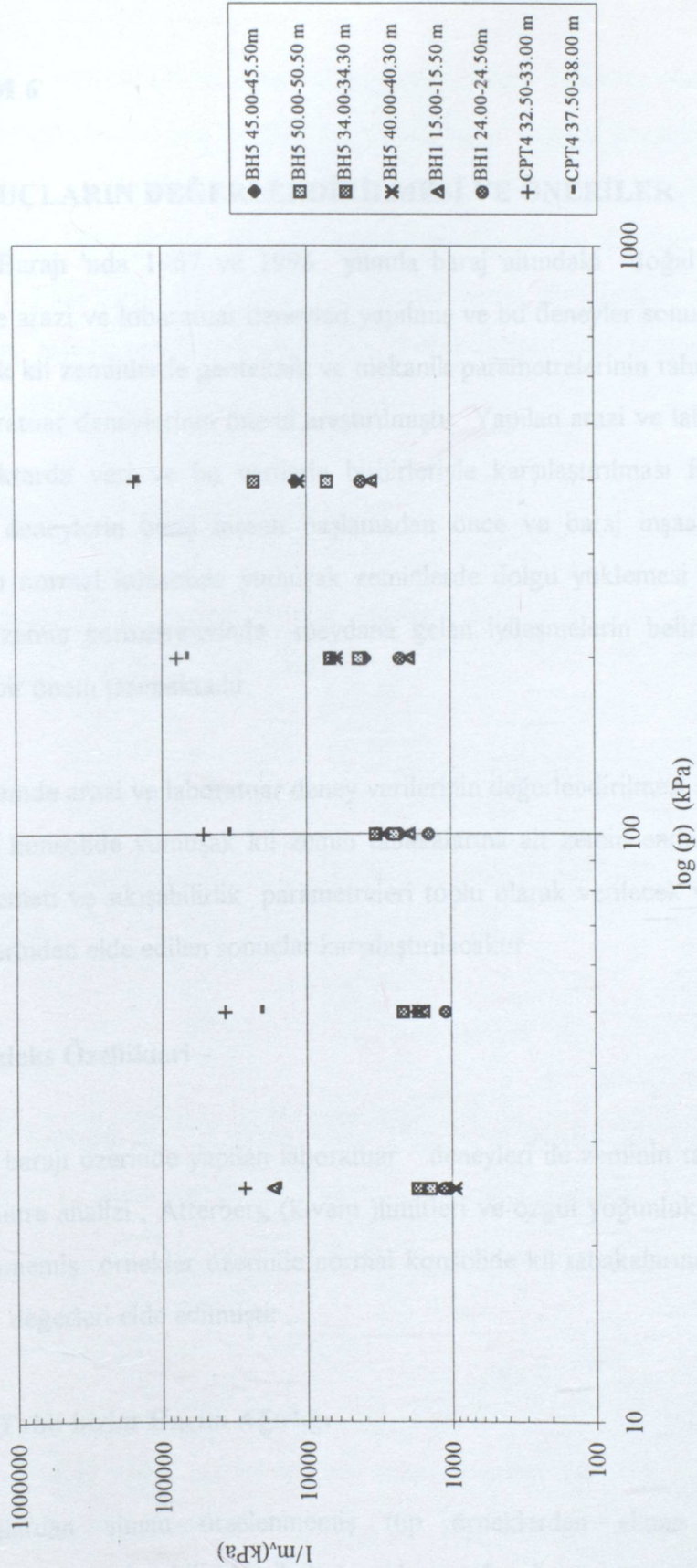
Sondaj No	Zemin Tanımı	Derinlik (m)	Yükleme Kademesi (kPa)	Konsolidasyon Katsayısı (C_v) (m^2/sn)	Ön Konsolidasyon Basıncı (σ_p') (kPa)	(σ_{v0}')	Sıkışma İndisi (C_c)
BH1	Yeşil Kil	15.00-15.50	25	6.560×10^{-7}	140	187	0.746
			50	1.930×10^{-8}			
			100	2.190×10^{-8}			
			200	2.530×10^{-8}			
			400	2.350×10^{-8}			
			800	2.220×10^{-8}			
BH1	Gri Kil	24.00-24.50	25	3.120×10^{-8}	125	264	1.52
			50	2.430×10^{-8}			
			100	2.190×10^{-8}			
			200	2.630×10^{-8}			
			400	2.120×10^{-8}			
			800	2.340×10^{-8}			
BH5	Sarı kil	34.00-34.30	25	3.648×10^{-7}	210	669	0.014
			50	1.313×10^{-7}			
			100	1.683×10^{-7}			
			200	1.368×10^{-7}			
			400	1.368×10^{-7}			
			800	8.20×10^{-8}			
BH5	Yeşil Kil	40.00-40.30	25	7.462×10^{-8}	120	719	0.192
			50	1.313×10^{-7}			
			100	1.263×10^{-7}			
			200	1.368×10^{-7}			
			400	1.173×10^{-7}			
			800	1.149×10^{-7}			

Tablo 5.6.b BH5-CPT4 Konsolidasyon Katsayısı c_v , Ön Konsolidasyon Basıncı σ_p' , Sıkışma İndisi C_c

Sondaj No	Zemin Tanımı	Derinlik (m)	Yükleme Kademesi (kPa)	Konsolidasyon Katsayısı (c_v) (m^2/sn)	Ön Konsolidasyon Basıncı (σ_p') (kPa)	(σ_{v0}')	Sıkışma İndisi (C_c)
BH5	Gri Kil	45.00-45.50	25	4.104×10^{-8}	150	775	0.279
			50	7.296×10^{-8}			
			100	6.567×10^{-8}			
			200	9.656×10^{-8}			
			400	8.640×10^{-8}			
			800	1.026×10^{-7}			
BH5	Gri Kil	50.00-50.50	25	6.840×10^{-8}	180	801	0.339
			50	1.094×10^{-7}			
			100	1.430×10^{-7}			
			200	1.216×10^{-7}			
			400	1.173×10^{-7}			
			800	1.427×10^{-7}			
CPT4	Yeşil Kil	32.50-33.00	25	2.189×10^{-7}	110	529	0.021
			50	1.313×10^{-7}			
			100	8.208×10^{-8}			
			200	6.659×10^{-8}			
			400	5.969×10^{-8}			
			800	6.657×10^{-7}			
CPT4	Gri Kil	37.50-38.00	25	5.472×10^{-8}	120	584	0.024
			50	3.648×10^{-8}			
			100	4.654×10^{-8}			
			200	4.104×10^{-8}			
			400	4.378×10^{-8}			
			800	4.264×10^{-8}			



Şekil 5.28. Hacimsal sıkışma katsayısının (m_v) basınç kademelerindeki (σ_v') değişimi



Şekil 5.29. Hacimsal sıkışım katsayısı (m_v) değerleriyle hesaplanmış ($1/m_v$) değerlerinin

BÖLÜM 6

6. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNERİLER

Alibey Barajı 'nda 1967 ve 1996 yılında baraj altındaki doğal zemine ait örnekler üzerinde arazi ve laboratuvar deneyleri yapılmış ve bu deneyler sonucu normal konsolide yumuşak kil zeminlerde geoteknik ve mekanik parametrelerinin tahmin edilmesinde arazi ve laboratuvar deneylerinin önemi araştırılmıştır. Yapılan arazi ve laboratuvar deneyleriyle çok miktarda veri ve bu verilerin birbirleriyle karşılaştırılması fırsatı elde edilmiştir. Ayrıca deneylerin baraj inşaatı başlamadan önce ve baraj inşaatı bitiminde yapılmış olmaları normal konsolide yumuşak zeminlerde dolgu yükleme altında zamana bağlı olarak zemin parametrelerinde meydana gelen iyileşmelerin belirlenmesi açısından da büyük bir önem taşımaktadır.

Bu bölümde arazi ve laboratuvar deney verilerinin değerlendirilmesi sonucu baraj altındaki normal konsolide yumuşak kil zemin tabakalarına ait zemin endeks özellikleri, kayma mukavemeti ve sıkışabilirlik parametreleri toplu olarak verilecek ve arazi ve laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılacaktır.

6.1. Endeks Özellikleri

Alibey barajı üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri ile zeminin tabii sumuhtevası (w_n), hidrometre analizi, Atterberg (kıvam) limitleri ve özgül yoğunluk deneyleri yapılmış ve örselenmemiş örnekler üzerinde normal konsolide kil tabakalarına ait tabii birim hacim ağırlık değerleri elde edilmiştir.

6.1.1. Tabii birim Hacim Ağırlığı

Sondajlardan alınan örselenmemiş tüp örneklerden alınan numunelerde kayma mukavemeti ve sıkışabilirlikle ilgili deneyler yapılmadan önce zemine ait tabii birim hacim ağırlıkları farklı zemin tabakaları için belirlenmiştir. Buna göre zemin birim hacim

ağırlıkları $\gamma = 16-20 \text{ kN/m}^3$ arasında değişmekte olup ortalama olarak sarı renkli normal konsolide kil tabakası için $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$, yeşil renkli normal konsolide kil tabakası için $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$, gri renkli normal konsolide kil tabakası için $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ tespit edilmiş ve bu değerler 1967 yılında yapılan deneylerde elde edilen değerlerden (Tablo 2.1) daha büyüktür. Elde edilen bu değerler baraj temel zemininin üzerinde varolan dolgu yükleri nedeniyle zaman içinde sıkışmasından dolayı zemin tabii birim hacim ağırlıklarında beklenen artışı doğrulamaktadır.

6.1.2. Tabii Su Muhtevası

Sondajlardan alınan tüp numuneler üzerinde zemine ait $w_n = \%30$ ile $\%70$ derinlikle değişimi Şekil 5.3' de verilmiş olup değerler,

$$w_n = \%30 \text{ ile } \%70$$

arasında geniş bir aralık içinde değişmektedir. 1967 yılında elde edilen tabii su muhtevası değerlerinin

$$w_n = \%30 \text{ ile } \%70$$

arasında değiştiği belirlenmiştir. Buna göre farklı zamanlarda yapılan sondajlarla elde edilen tabii su muhtevası w_n değerleri birbirine yakın çıkmıştır.

6.1.3. Atterberg (Kıvam) Limitleri

1996 yılında yapılan BH1- BH6 sondajları ve 1967 yılında yapılan VSK1, VSK2, VSK3, VSK4, VSK5, VSK6 sondajlarından alınan örnekler üzerinde yapılan kıvam limitleri deneyleri sonucu plastik limit (w_p), likit limit değerleri (w_L), ve plastisite indisi (I_p) değerleri

<u>Kıvam Limitleri</u>	<u>BH-BH6</u>	<u>VSK1-2-3-4-5-6</u>
$w_p =$,	%17 - %39	% 13 - %44
$w_L =$	%24 - %65	% 21 - %90
$I_p =$	% 7 - %25	%8 - %46

aralığında değişim göstermiştir.

6.2. Mukavemet Parametreleri

6.2.1.Drenajsız Kayma Mukavemeti

Alibey Barajı' nda 1967 yılında VSK1-VSK2-VSK3-VSK4-VSK5-VSK6 olmak üzere beş adet sondaj üzerinde veyn deneyleri ve sondajdan alınan alınmış örnekler üzerinde bir seri laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Veyn sondajlarının yapıldığı tüm sondajlar +6.50 kotundadır. Düzeltilmiş arazi veyn kayma mukavemeti değerlerinin derinlikle değişimleri Şekil 4.11 ' da verilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi düzeltilmiş arazi veyn kayma mukavemetinin 30-80 kPa arasında değişmekte olup, derinlikle doğru orantılı olarak bir artış göstermediği belirlenmiştir.

VSK1-VSK2-VSK3-VSK4-VSK5-VSK6 sondajlarında yapılan laboratuvar deneylerinden drenajsız kayma mukavemetini belirlemek için (3.1) eşitliğinde örnekler üzerinde yapılan deneylerden elde edilen plastisite indisi (I_p) değerleri ile kullanılmış ve hesaplanan drenajsız kayma mukavemetinin (c_u) derinlikle değişimi grafiği Şekil 5.4.' de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi hesaplanan kayma mukavemeti değerlerine elde edilen diğer kayma mukavemeti değerlerinden farklı olarak derinlikle artan bir eğilim göstermektedir. Bu artışın nedeni (3.1) eşitliğiyle hesaplanan kayma mukavemeti değerlerinin zemin için hesaplanan ve derinlik arttıkça artan düşey jeolojik efektif gerilme ile doğru orantılı olarak artmasıdır. Elde edilen kayma mukavemeti değerleri 15 kPa-110 kPa aralığında değişmektedir.Bu değerlere1967 yılında elde edilen drenajsız kayma mukavemeti değerleri ortalama,

$$c_{u \text{ veyn}} = 53 \text{ kPa}$$

$$c_{u \text{ Ip}} = 57 \text{ kPa}$$

olarak belirlenmiştir.

Alibey Barajı'nda 1967 yılında gerçekleştirilen arazi ve laboratuvar drenajsız kayma mukavemeti değerleri incelendiğinde laboratuvar deney sonuçlarından tahmin edilen değerlerin arazi sonuçlarından daha yüksek değerler olduğu belirlenmiştir.

Alibey Barajında 1996 yılında DSİ tarafından yapılan sondajlarda SPT deneylerinden elde edilen ve Şekil 4.2'de derinlikle değişimi gösterilen N darbe sayılarına göre (4.1) bağıntısı kullanılarak elde edilen drenajsız kayma mukavemeti değerleri (Şekil 4.4) 50-150 kPa arasında değişmekte olduğu belirlenmiştir. BH1, BH2, BH4, BH5, BH6 ve CPT1, CPT3, CPT4, CPT6 sondajlarında yapılan pressiometre deneylerinden elde edilen drenajsız kayma mukavemeti (c_u) değerleri 40 kPa ile 120 kPa (Şekil 4.9) arasında değişmekte olup derinlikle doğru orantılı olarak bir artış göstermemektedir. Baraj altı zemininde 1996 yılında yapılan bu arazi deneyleri sonucu ortalama drenajsız kayma mukavemeti (c_u) değeri ortalama,

$$(c_u)_{\text{Press}} = 68 \text{ kPa}$$

$$(c_u)_{\text{SPT}} = 70 \text{ kPa}$$

olarak belirlenmiştir. Burada pressiometre deneylerinden elde edilen kayma mukavemetinin (c_u) düşey jeolojik efektif gerilmeye (σ_{v0}') oranının (c_u / σ_{v0}') derinlikle değişimini büyük bir bölümünün 0.2-0.3 aralığında gerçekleştiği belirlenmiştir. Bu oran için ortalama $c_u / \sigma_{v0}' = 0.28$ değeri kabul edilebilir ve bu oran, daha önce Jardine ve

Hight (1987) tarafından yapılan çalışmalarda c_u / σ_{v0} oranı için elde ettikleri 0.19-0.28 aralığı içinde yer almaktadır.

6.2.2. İçsel Sürtünme Açısı (ϕ')

Efektif gerilmeler cinsinden içsel sürtünme açısı (ϕ') değerlerini belirlemek üzere tüp örnekler üzerinde boşluk suyu basıncı ölçümlü bir seri konsolidasyonlu-drenajsız (CU) deney gerçekleştirilmiş, üç farklı normal konsolide yumuşak kil tabakası için içsel sürtünme açısı değerleri aşağıda verildiği gibi,

<u>Zemin Tanınımı</u>	<u>İçsel Sürtünme Açısı (ϕ')°</u>
Sarı Kil	16 - 15
Yeşil Kil	13 - 10
Gri Kil	11

belirlenmiştir. Elde edilen bu değerlerin zemine ait plastisite indisinin (I_p) artan değerleri için Şekil 5.5'de de görüleceği gibi azalma göstermiştir. Bu durum literatüre uygun düşmektedir.

6.2.3. Elastisite Modülü

Alibey Barajı taban zemininde 1967 yılında arazi veyn deneylerinden elde edilen drenajsız kayma mukavemetleri değerlerinden (4.5) eşitliği kullanılarak elde edilen elastisite modülü değerleri Şekil 4.12.' de verilmiştir. Buradan görüleceği gibi baraj inşaatından önce Alibey Barajı temel zeminin arazi deneylerinden bulunan drenajsız elastisite modülü değerleri 10000-40000 kPa arasında değişmektedir. Baraj inşaatı tamamlandıktan sonra 1996 yılında yapılan BH1, BH2, BH4, BH5, BH6 ve CPT1, CPT3, CPT6 sondajlarında elde edilen düzeltilmemiş pressiometrik elastisite modülü değerlerinin derinlikle değişim grafiği Şekil (4.6.) da verilmiştir. Grafikten görülebileceği gibi değerler 2000-15000 kPa arasında değişmektedir. Pressiometre deneylerinden elde edilen pressiometrik elastisite

modülleri (E_p) düzeltilerek elde edilen drenajsız elastisite modülü (E_u) değerleri Şekil 4.7 'de verilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi elde edilen drenajsız elastisite modülü (E_u) değerleri 2000-30000 kPa arasında değişmektedir. Bu durum deneylerin farklı bölgelerde ve farklı deney düzenekleri ile yapılması şeklinde açıklanabilir. Buradan anlaşılabileceği üzere 1967 yılında yapılan veyn deneylerinden elde edilen c_u değerlerinden E_u değerleri bulunmuştur. Oysa pressiometre deneylerinde arazide doğrudan drenajsız elastisite modülü E_u saptanmaktadır. Benzer şekilde pressiometre deneylerinden drenajsız kayma mukavemeti (c_u) değerleri ile 4.5 eşitliği kullanılarak elde edilen elastisite modülü değerleri Şekil 4.8 'de verilmiştir. Grafikte görüleceği gibi değerler 20000-50000 kPa arasında yer almaktadır. Bu durum baraj inşaatı sonrasında temel zemininde meydana gelen iyileşmeyi doğrulamaktadır.

6.3. Sıkışabilirlik Parametreleri

Alibey Barajı temel zemini için Şekil 4.2'de verilen N darbe sayılarından (4.3) bağıntısı kullanılarak tahmin edilen hacimsal sıkışma katsayısı m_v değerlerinin derinlikle değişimi Şekil 4.5 'de verilmiştir. Formülasyonda yeralan zemini plastisite indisine (I_p) bağlı olarak tahmin edilen f_2 değerleriyle yapılan hacimsal sıkışma katsayısı (m_v) değerlerinin derinlikle değişimi Şekil 4.5'de görüldüğü gibi 3×10^{-4} - 1×10^{-3} (kPa^{-1}) arasında değişmekte olup konsolidasyon deneylerinden elde edilen ve Şekil 5.28 'de verilen 0.9×10^{-4} - 1×10^{-3} (kPa^{-1}) değerleri arasında değişim gösteren hacimsal sıkışma katsayısı (m_v) değerlerine çok yakın olduğu belirlenmiştir. Konsolidasyon deneyleri sonucu Şekil 5.29 'de belirlenen hacimsal sıkışma katsayısı (m_v) değerleri kullanarak belirlenen $1/(m_v)$ değerlerinin uygulanan basınç artışlarıyla değişimi Şekil 5.30'de verilmiş ve grafikte görüldüğü gibi basınç kademelerindeki artışlar karşısında daha önce yapılan araştırmalarda elde edilen bulguları doğrulayacak şekilde $1/(m_v)$ değerinde beklenen artışlar elde edilmiştir. Konsolidasyon katsayılarının basınç kademelerindeki değişimi Şekil 5.19'de verilmiş olup şekilde de görüldüğü gibi konsolidasyon basıncı (σ_v') arttıkça beklendiği gibi konsolidasyon katsayısı (c_v)'de azalma görülmüştür.

6.4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada Alibey Barajı temel zemininde yapılan arazi ve laboratuvar deneylerinden geoteknik özellikleri (endeks ,mukavemet ve sıkışabilirlik) elde edilmiş ve bu sonuçlar inşa öncesi yapılar ile karşılaştırılmaya çalışılmıştır. Buna göre yukarıda açıklanan geoteknik özelliklerde 1967'den bu yana bir iyileşme olduğu anlaşılmaktadır. Yapılan arazi ve laboratuvar deneyleri sonucunda elde edilen bulguların literatürdeki sonuçlarla uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Bu çalışmada elde edilen bulgular ile Alibey Barajı gibi yumuşak normal konsolide kile oturan bir yapının inşasından sonraki evrimi yapılan deneylerle ortaya konmaya çalışılmıştır. Ayrıca burada elde edilen bulgular ile Alibey Barajı ve temel zeminin nümerik modellenmesi için gerekli mekanik parametreler belirlenmiştir.

Bu çalışmada ortaya konan bulgular ile Geomekanikte son yıllarda kullanımı yaygınlaşan Kritik Durum Teorisi'ne ait parametreler elde edilebilir. Böylece Alibey Barajı ve temel zemininde yapılabilecek nümerik analizlerde gerçeğe daha yakın tahmin yapılması mümkün olacaktır.

6- Golden H.Q., and Paksoy, D.J., (1953), "Investigation of a bank failure at Springvale, Isle of Sheppy, Kent, Geotechnique, Vol 3, No. 1, s 181-210.

7- Kallipetris, N.A., and Tsamirias, G. Savastaris, N., Zervogianni, S., (1990), "Prediction of Soil Dynamic Parameters from Presumptive and Other in-Situ Test", Central Laboratory of Public Works, Athens, Greece.

8- Ladd, C.C. (1968), "Testing -Strain Modulus of Clay in Undrained Shear", Conference on Design of Foundations for Control of Settlement, ASCE, JSMFD, Vol 98, SM 3, s 103-122.

KAYNAKLAR

- 1- Bowles , J.,P.E.,S.E. (1988), " Foundation Analysis and Design," 4th Edition , Peoria ,Illinois ,Mcgraw-Hill Book .,Company.
- 2- Brooker, E.W and Ireland ,H.O. (1965) , " Earth Pressure at Rest Related to Stress History , " Canadian Geotechnical Journal ,Vol.2, No.1, Feb., s1-15.
- 3- Cassagrande ,A. ,(1960) , " An Ansolved Problem of Embankment stability on Soft Ground." Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering I . Mexico. Proceedings , Vol.2., s 721-746.
- 4- Das, B.M., (1990) , " Princeples of Foundation Engineering ,PWS Publishing Company , Boston.
- 5- Davis, E.H.and Poulos, G.G.(1963) , " Triaxial Testing and Three Dimensional Settlement Analysis ," Proc.4th Australia -New Zealand Conference on Soil Mechanics and Found , Eng.,Univ .of Adealide , s 233-303.
- 6- Golder,H.Q., and Palmer,D.J., (1955)", Investigation of a bank failure at Scrapsgate, Isle of ,Sheppy ,Kent,Geotechnique ,Vol.5, No. 1, s 181-210.
- 7- Kalteziotis, N.A, and Tsiambaas ,G.,Sabatatakis , N., Zervogionni, S. , (1990). " Prediction of Soil Dynamic Parametres from Pressumeter and Other inSitu Tests " , Central Laboratory of Public Works , Athens, Greece.
- 8- Ladd, C.C. (1964)," Testing -Strain Modulus of Clay İn Undrained Shear ,," Conference on Design of Foundations for Control Settlement,ASCE, JSMFD, Vol.90,SM 5, s 103-132.

9- Ladd, C.C. (1965), "Stress - Strain Behavior of Anisotropically Consolidated Clays During Undrained Shear , " Proc. 6th ICSMFE, Montreal, Vol.1, s 282-286.

10- Lambe, T.W.(1964), " Methods of Estimating Settlement," Conference on Design of Foundations for Control Settlement , ASCE ,JSMFD, Vol.90,SM 5, s 43-68.

11- Leroueil .S., Jamiolkowski ,M., " Exploration of Soft Soil and Determation of Design Parameters ", Geo-Coast ' 91 -3-6,Sept ., 1991, Yokohoma.

12- Menard ,L., (1975) " Interpretation and Application of Pressuremeter Tests Results", General Notice , Sols Soils .26

13- Mesri , G. , " Prediction and Performence of Earth Structures on Soft Clay " . Geo - Coast 91.3-6, Sept., 1991, Yokohoma .

14- Parry , R.H.G. and McLeod ,J.H.,(1967) , " İ nvestigation of Slip Failure in Flood Levree at Launceston, Tasmania ". Australia -New -Zealand Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering , 5. Proceeding.

15- Skempton ,H.W." A Contribution to the Settlement Analıysis of Foundations on Clay," Geotechnique 4:4,s143-47.

16- Soydemir, Ç.(1970)." Alibey Toprak Barajı Menba Batardosu Oturma ve Stabilite Etüdü ", İnşaat Mühendisleri Odası Türkiye İnşaat Mühendisliği V.Teknik Kongresi, Ankara.

17- Straud, M.A. and Butler ,F.G.,(1975) " The Standart Penetration Test and the Engineering Properties of Glacial Materials ,Univ .of Birmingham U.K

- 18- Tavenas ,F. and Leroueil ,S. ,(1977) " Effect of Stresses and Time on Yielding of Clays " Proc. 9th. Int . Conf. on Soil Mech.and Found. Eng. Tokyo, Vol.I.,319-326.

ÖZGEÇMİŞ

Y. T. Ü.
KÜTÜPHANE DOK. DALI BAŞKANLIĞI

Araştırmacı 0.8.06.1973 tarihinde Erzincan 'da doğmuş, ilk öğrenimini ve orta öğrenimini Bursa' da tamamlamıştır. 1990 - 1994 yılları arasında Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği lisans öğrenimini tamamlamıştır. 1994 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Geoteknik programında yüksek lisans öğrenimine başlamıştır. Araştırmacı Y.T.Ü İnşaat Fakültesi Geoteknik Anabilim Dalı'nda araştırma görevlisidir.

