

67769

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YUMUŞAK ZEMİNLERE OTURAN DOLGU BARAJLARIN ANALİZİ

İnş. Yük. Müh. Mehmet Şükrü ÖZÇOBAN

F.B.E. İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Geoteknik Programında
hazırlanan

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi
Tez Danışmanı
Jüri Üyeleri

: 24 Kasım 1997
: Prof. Dr. Kutay ÖZAYDIN (Y.T.Ü.)
: Prof. Dr. Remzi ÜLKER (İ.T.Ü.)
: Prof. Dr. Mete İNCECİK (İ.T.Ü.)

[Handwritten signatures]

İSTANBUL , Kasım 1997



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SEMBOL LİSTESİ	I
ŞEKİL LİSTESİ	IV
TABLO LİSTESİ	X
TEŞEKKÜR	XII
ÖZET	XIII
SUMMARY	XIV
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
BÖLÜM 2 ALİBEY BARAJININ TEKNİK VE GEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ	5
2.1. Alibey Barajının Teknik Özellikleri	5
2.1.1. Hidrolik Karakteristikleri	5
2.1.2. Baraj	5
2.1.3. Dolusavak	6
2.1.4. Derivasyon Tüneli ve Dipsavak	6
2.1.5. Dipsavak Daimi Teçhizatı	6
2.1.6. Tünel giriş yapısı	6
2.1.7. Tünel çıkış yapısı	7
2.1.8. Yapılan Dolguların Karakteristikleri	7
2.1.9. Kum Drenler	8
2.2. Baraj Yeri Topoğrafyası ve Jeolojisi	8
2.2.1. Marmara Bölgesinin Genel Jeolojisi	8
2.2.2. Baraj Çevresinin Jeolojisi	9
2.2.3. Baraj Temel Zemini Özellikleri	11
BÖLÜM 3 KONSOLIDASYON TEORİSİ	26
3.1. Konsolidasyon Esasları	26



3.1.1.	Bir Boyutlu Konsolidasyonun Genel Kavramları	26
3.1.2.	Bir Boyutlu Konsolidasyon Teorisi	28
3.2.	Konsolidasyon Denkleminin Çözümü	34
3. 2.1.	Derinlik Boyunca Sabit Boşluk Suyu Basıncı Dağılımı için Çözüm	37
3.2.2.	Başlangıç Boşluk Suyu Basıncının Lineer Değişimi için Çözüm	42
3.2.3.	Başlangıç Boşluk Suyu Basıncının Sinüzoidal Değişimi için Çözüm	42
3.2.4.	Başlangıç Artık Boşluk Suyu Basıncı Dağılımının Diğer Formları İçin U_{av} ve T_v 'nin İlişkileri	44
3.2.5.	Bir Boyutlu Konsolidasyon İçin Nümerik Çözümler	44
3.2.6.	Tabakalı Bir Zemin Ortamında Konsolidasyon	48
3.2.7.	Zamana Bağlı Yükleme Altında Konsolidasyon Derecesi	51
3.3.	Standart Tek Boyutlu Konsolidasyon Deneyi ve Yorumu	54
3.3.1.	Önkonsolidasyon Basıncı	56
3.3.2.	Sıkışma İndisi	59
3.3.3.	Örselenmiş Numunenin e - $\log \sigma'$ Eğrisine Etkisi	60
3.4.	Tek Boyutlu Konsolidasyon Oturmasının Hesabı	62
3.4.1.	Sınırlı Bir Yüklü Alan Altında Konsolidasyon Oturmasının Hesabı	65
3.4.1.1.	Metot A	65
3.4.1.2.	Metot B	67
3.5.	Drenajsız Yüklemeyle Bağlı Boşluk Suyu Basıncı Artışları	67
3.5.1.	İzotrop gerilme uygulamasına bağlı olarak gelişen boşluk suyu basıncı artımı	68
3.5.2.	Tek eksenli yüklemeyle bağlı boşluk suyu basıncı artımı	70
3.5.3.	Üç eksenli deney koşulları altındaki boşluk suyu basıncı artımı	73
3.5.4.	Boşluk suyu basıncı denkleminin Henkel iyileştirmesi	74
3.6.	Konsolidasyon Oturmasının Hesabında Skempton-Bjerrum Değiştirmesi (İyileştirmesi)	78
3.7.	Aşırı Konsolide Killerin Oturması	82
3.8.	Laboratuvar Deney Sonuçlarından Konsolidasyon Katsayısının Hesabı;	84



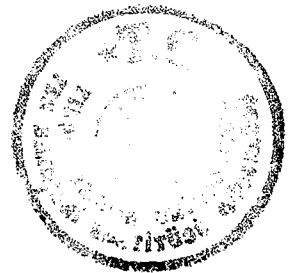
3.9.	İkincil Konsolidasyon	89
3.9.1.	İkincil Konsolidasyon Oturması	93
3.10.	Standart Tek Boyutlu Konsolidasyon Deneyi için Bazı Öneriler	94
3.10.1.	σ/σ' Yük artım oranının etkisi;	94
3.10.2.	Yük Uygulama Süresinin Etkisi	96
3.10.3.	İkincil Konsolidasyonun Ön Konsolidasyon Basıncı Üzerine Etkisi	96
3.11.	Diğer Konsolidasyon Deneyleri	98
3.11.1.	Sabit Şekil Değiştirme Hızlı Konsolidasyon Deneyi (CRS)	98
3.11.1.1.	Teori	100
3.11.1.2.	Konsolidasyon Katsayısı	105
3.11.1.3.	DeneySEL Sonuçların yorumlanması	106
3.11.1.4.	$e-\sigma'_{av}$ 'nün grafiğinin elde edilmesi	106
3.11.2.	Sabit -Hidrolik Eğimli Konsolidasyon Deneyi (CGT)	108
3.11.2.1.	Teori	109
3.11.2.3.	DeneySEL Sonuçların Yorumu	113
3.12.	Temel Zeminlerinin İyileştirmesinde Önyükleme (Önkonsolidasyon)	116
3.13.	Düşey Drenli Konsolidasyon	121
3.13.1.	Kum Drenler	121
3.13.2.	Sıvaşmasız Serbest Şekil Değiştirmeli Konsolidasyon	123
3.13.3.	Sıvaşmasız Eşit Şekil Değiştirmeli Konsolidasyon	126
3.13.4.	Radyal Konsolidasyon Üzerine Sıvaşma Zonu Etkisi	129
3.13.5.	Düşey ve Radyal Drenajlı Konsolidasyon Derecesinin Hesabı	130
3.13.6.	Radyal Drenajın Sayısal Çözümü	131

BÖLÜM 4 ALİBEY BARAJI ALTINDA MEYDANA GELEN

	OTURMALARIN ANALİZİ	134
4.1.	Gözlemsel Analiz	134
4.1.1.	Oturma - Zaman İlişkisinin Esas Denklemi	135
4.1.3.	Grafiksel Oturma Tahmini	142
4.1.4.	Oturma Tahmininin Emniyet Analizi	146



4.1.4.1.	Bazı Özel Problemler	152
4.1.4.1.1.	Kriye Bağlı İkincil Oturma	152
4.1.4.1.2.	Kum Damarlı Kil Tabakasının Oturması	153
4.1.5.	Kum Drenlerin Oturma Tahmini	154
4.1.5.1.	Kum Drenlerin Oturma Genel Tahmin Formülü	154
4.1.5.1.1.	Bir Karmaşık Sınırdeğer Problemine Pratik Bir Örnek	155
4.2.	Dolgu Altındaki Yumuşak Zeminin Stabilite Analizi	158
4.3.	Dolgu Altındaki Yumuşak Zeminin Deformasyon Analizi	159
4.4.	Dolgu Altındaki Yumuşak Zeminin Davranışının Kontrolü	162
4.4.1.	Ön Yükleme İle Zemin Davranışının Kontrolü	162
4.4.2.	Düşey Drenler İle Zemin Davranışının Kontrolü	162
4.4.3.	Kademeli Dolgu İnşaatı İle Zemin Davranışının Kontrolü	163
4.5.	Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Gerilme Ve Deformasyon Analizi	164
4.5.1.	Alibey Barajı Bünyesinde Yapılan Çalışmalar	168
4.6.	Alibey Barajının Oturma Hesapları	172
4.7.	Arazi Ölçümleri İle Karşılaştırmalar	187
BÖLÜM 5	SONUÇLAR ve ÖNERİLER	215
5.1.	Giriş	215
5.2.	Sonuçların Değerlendirilmesi	216
5.2.1.	Gerilme Analizi Sonuçları	217
5.2.2.	Oturma Analizi Sonuçları ve Arazi Okumaları ile Karşılaştırılması	218
5.2.3.	Arazi Yatay Yerdeğiştirme Ölçümlerinin Değerlendirilmesi	220
5.2.4.	Boşluk Suyu Basıncı Ölçümlerinin Değerlendirilmesi	222
5.3.	Gelecekteki Araştırmalar için Öneriler	229
KAYNAKLAR		231
EKLER		239
ÖZGEÇMİŞ		242



SEMBOLLER LİSTESİ

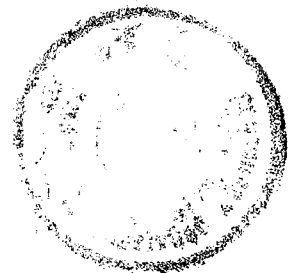
AKO	aşırı konsolidasyon oranı
α	boşluk basıncı dağılma parametresi, düzeltme faktörü
a_v	sıkışabilirlik katsayısı
$C_{c\text{ ort}}$	ortalama sıkışma indisi
C_α	ikincil sıkışma indisi
C_k	permeabilite indisi, $e\text{-log}k_v$ 'nin eğimi
C_r	sıkışma indisi, tekrar sıkışma aralığındaki $e\text{-log}\sigma'_v$ 'nin eğimi
C_{ae}	boşluk oranına bağlı ikincil sıkışma katsayısı
C_c	sıkışma indisi
C_e	hacmin genleşme katsayısı
C_p	boşluk suyunun sıkışabilirliği
C_v	konsolidasyon katsayısı
C_{vr}	radyal doğrultudaki konsolidasyon katsayısı
$\Delta\sigma_t, \Delta\sigma_m, \Delta\sigma_b$	kil tabakasının üst, orta ve altındaki gerilme artışları
ΔV_p	boşluk suyunun hacimsel değişimi;
e	boşluk oranı
$\dot{e}$	$\partial e / \partial t$
$\bar{e}$	ortalama boşluk oranı
$e_{(z, t)}$	z derinliğindeki ve t zamanındaki boşluk oranı
e_0	başlangıç boşluk oranı
E_{oed}	ödometrik modül ($d\sigma / d\epsilon_v$)
EOP	birincil sonu
ϵ_l	eksensel şekil değiştirme
$\dot{\epsilon}_v$	$\partial \epsilon_v / \partial t$
ϵ_v	düşey şekil değiştirme
ϵ_v	hacimsel şekil değiştirme
ϕ'	efektif sürtünme açısı
γ_w	suyun birim hacim ağırlığı
H	maksimum drenaj boyu
h	A noktasındaki hidrolik yük
H_0	numunenin ilk boyu
H_i	numunenin başlangıçtaki yüksekliği
H_t	kil tabakası kalınlığı
k_h	yatay permeabilite katsayısı
k_s	örselenmiş bölgenin permeabilite katsayısı
k_{v0}	başlangıç düşey permeabilite katsayısı
$[K_0]_p$	sıkışma bölgesindeki yatay toprak basıncı katsayısı
K_r	tekrar sıkışma bölgesindeki yatay toprak basıncı katsayısı
K_0	sükunetteki toprak basıncı katsayısı



k_x, k_y, k_z	x, y ve z doğrultularındaki permeabilite katsayıları
m_v	hacımsal sıkışma katsayısı
n	porozite
q	zemin üzerine düzgün yayılı yük
q_c	zemin üzerine düzgün yayılı yük
q_x, q_y, q_z	x, y ve z doğrultularında giren akımlar
r	dren kuyusunun merkezinden ölçülen radyal uzaklık
r_R	herhangi bir referansa göre radyal uzaklık
R_s	birim log zamandaki ikincil oturma
R_{100}	birincil konsolidasyon aşaması süresince oturma
S_c	tek boyutlu konsolidasyon oturması
$\dot{\sigma}'_v$	$\partial \sigma'_v / \partial t$
σ'_c	önkonsolidasyon basıncı
σ'_p	önkonsolidasyon basıncı
σ'_{h0}	arazideki efektif yatay gerilme
σ'_{vi}	başlangıç düşey efektif gerilme
σ'_v	düşey efektif gerilme
σ'_{vc}	ikincil sıkışma sonucundaki önkonsolidasyon basıncı
σ'_{vf}	nihai düşey efektif gerilme
σ_v	toplam düşey gerilme
$[\sigma'_p]_h$	yatay önkonsolidasyon basıncı
$\sigma'_{v0} = [\sigma'_0]_v$	arazideki düşey efektif gerilme
σ'_0, σ'_{av}	ortalama efektif gerilme
σ'_s	örselenmemiş numunede başlangıç izotrop efektif gerilme
σ'_h	efektif yatay gerilme
t	zaman
t_a	herhangi bir yükün uygulanma zamanı
T_c	
t_p	birincil konsolidasyonun tamamlanması için gereken zaman
t_R	herhangi bir referansa göre zaman
T_r	radyal akımın zaman faktörü
T_v	zaman faktörü
$\bar{t}$	boyutsuz zaman
$\bar{u}$	boyutsuz artık boşluk suyu basıncı
u	boşluk suyu basıncı
U	düşey ve radyal drenaj için ortalama konsolidasyon derecesi
u_0	ters basıncı
U_{av}, U_v	ortalama konsolidasyon derecesi
u_b	numune tabanındaki boşluk basıncı
u_R	herhangi bir referansa göre artık boşluk suyu basıncı
U_r	radyal drenaja bağlı ortalama konsolidasyon derecesi
U_z	z derinliğindeki konsolidasyon derecesi

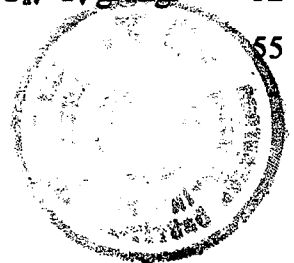


V	elemanter zemin hacmi
V_0	zeminin orijinal hacmi
V_s	zemin elemanındaki zemin danelerinin hacmi
V_v	zemin elemanındaki boşluk hacmi
w_l	likit limit
w_n	doğal su muhtevası
w_p	plastik limit
z_R	herhangi bir referansa göre uzunluk
$\bar{z}$	boyutsuz derinlik



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Alibey Barajı Jeolojik Kesiti	11
Şekil 3.1. Zemin kesiti	27
Şekil 3.2. Sürsaj altında kil tabakasındaki efektif gerilme ve boşluk suyu basıncının değişimi	27
Şekil 3.3. Konsolidasyona maruz kil tabakasının kesiti	29
Şekil 3.4. Elemanter zemin prizması üzerinde süreklilik denklemlerinin çıkarımı	29
Şekil 3.5. Derinlik boyunca sabit başlangıç artık boşluk suyu basıncı dağılımı (çift yönlü drenaj)	38
Şekil 3.6. U_z 'nin z/H ve T_v ile değişimi	40
Şekil 3.7. Ortalama konsolidasyon derecesinin değişim grafiği (Şekil 3.5 , 3.8, 3.9 ve 3.10 'da verilen koşullar için)	40
Şekil 3.8. u_i 'nin derinlikle sabit olduğu tek yönlü drenaj durumunda başlangıç artık boşluk suyu basınç dağılımı	43
Şekil 3.9. Çift yönlü drenaj durumunda başlangıç artık boşluk suyu basınç dağılımının lineer değişimi	43
Şekil 3.10. Çift yönlü drenaj durumunda başlangıç artık boşluk suyu basıncının sinüzoidal dağılımı	43
Şekil 3.11. Başlangıç artık boşluk suyu basınç dağılımının bazı formları	45
Şekil 3.12. Başlangıç artık boşluk suyunun Şekil 3.11 'de görülen basınç diyagramları için U_{av} 'nin T_v ile değişimi	45
Şekil 3.13. Geçirimli ve geçirimsiz tabaka durumları için sonlu fark ağ elemanları	49
Şekil 3.14. İki tabakalı zemindeki konsolidasyon derecesi	49
Şekil 3.15. İki farklı killi zemin durumu için sonlu fark ağ elemanları	49
Şekil 3.16. Üniform yayılı yüke bağlı tek boyutlu konsolidasyon	52
Şekil 3.17. Üniform yayılı yük durumunda farklı T_e değerleri için U_{av} - T_v grafiği	52
Şekil 3.18. Konsolidasyon hücresi	55



Şekil 3.19	Verilen bir yük artımı için tipik bir deformasyon-log t grafiği	55
Şekil 3.20	Tipik e-log σ' grafiği	55
Şekil 3.21	Yükleme, boşaltma ve tekrar yükleme durumlarını gösteren e-log σ' grafiği	57
Şekil 3.22	Önkonsolidasyon basıncının bulunmasında Casagrande metodu grafiği	57
Şekil 3.23	C_c sıkışma indisinin bulunmasını gösteren grafik	61
Şekil 3.24	Numune örselenmesinin e-log σ' eğrisine etkisi	61
Şekil 3.25	Tek boyutlu konsolidasyon oturmasının karşılaştırılmalı hesabı	64
Şekil 3.26	Δe 'nin hesabı (Eşitlik 3.85 - 3.87)	64
Şekil 3.27	Metod A 'ya göre konsolidasyon oturmasının hesabı	66
Şekil 3.28	Metod B 'ye göre konsolidasyon oturmasının hesabı	66
Şekil 3.29	İzotrop gerilme altında zemin elemanı	69
Şekil 3.30	C_c 'nin bulunmasını gösteren grafik	69
Şekil 3.31	Tek eksenli gerilme altındaki doymuş zemin elemanı	72
Şekil 3.32	C_c 'nin bulunmasını gösteren grafik	72
Şekil 3.33	Drenajsız üç eksenli deney koşulları altında artık boşluk suyu basıncı	72
Şekil 3.34	Maksimum, orta ve minimum asal gerilmeli doymuş zemin elemanı	76
Şekil 3.35	Drenajsız şartlarda doymuş bir zemin üzerindeki şerit yüklemenin orta çizgisi altındaki artık boşluk suyu basıncının tahmini	76
Şekil 3.36	Dairesel yüklü bir alanın merkezi altındaki artık boşluk suyu basıncının oluşumu	76
Şekil 3.37	M_1 'in H_v/B ile değişim grafiği	81
Şekil 3.38	Dairesel yüklemeye için oturma oranı (Eşitlik 3.113)	81
Şekil 3.39	Üniform şerit yüklü bir alanın merkezi altındaki artık boşluk suyu basıncının oluşumu	81
Şekil 3.40	Şerit yüklemeye için oturma oranı (Eşitlik 3.118)	83
Şekil 3.41	Aşırı konsolide kildeki oturma oranı	83



Şekil 3.42	C_v 'nin bulunmasında logaritma zaman metodunun grafiği	86
Şekil 3.43	C_v 'nin bulunmasında karekök zaman metodunun grafiği	86
Şekil 3.44	C_v 'nin bulunmasında maksimum eğim metodunun grafiği	90
Şekil 3.45	Doğal zeminler için ikincil konsolidasyon katsayıları	90
Şekil 3.46	$\Delta\sigma/\sigma'$ aynı yükleme artım oranlarının numune kalınlığı üzerine etkisi	92
Şekil 3.47	Organik Paulding kili ikincil sıkışma katsayısı	92
Şekil 3.48	Meksika kili için $\Delta\sigma/\sigma'$ 'nün konsolidasyon eğrileri üzerine etkisi	95
Şekil 3.49	Yük artım oranının e - $\log\sigma'$ eğrisine etkisi	95
Şekil 3.50	Leda kili üzerinde normal ve uzun süreli yük artımları için efektif basınç eğrilerinin logaritmasına karşı gelen sıkışma grafiği (sıkışma - $\log \sigma'$ grafiği)	97
Şekil 3.51	Normal konsolide killerin sıkışabilirliği ve jeolojik geçmişi a eğrisi : genç, normal konsolide kil $\sigma'_0=\sigma'_c$ b eğrisi : yaşlı, normal konsolide kil $\sigma'_1=\sigma'_c$	97
Şekil 3.52	Geç buzul ve buzul sonrası normal konsolide killerde gözlenen σ'/σ'_0 tipik değerleri	99
Şekil 3.53	CRS laboratuvar deneyinin şematik gösterimi	99
Şekil 3.54	Massena kili üzerinde yapılan CRS deney sonuçları ve standart deneylerle karşılaştırılması	107
Şekil 3.55	Kalsiyum montmorillonit üzerinde yapılan CRS deney sonuçları ve standart deneylerle karşılaştırılması	107
Şekil 3.56	CGT konsolidasyon deneyinin şematik gösterimi	110
Şekil 3.57	Kontrollü hidrolik eğimli deneydeki aşamalar	110
Şekil 3.58	Artık boşluk suyu basınç dağılımının parabolik kalıbı ile Terzaghi izokronunun karşılaştırılması	115
Şekil 3.59	Portland, Maine bölgesinden alınan aşırı konsolide deniz kili üzerinde yapılan standart konsolidasyon deneyleri ile kontrollü hidrolik eğimli deneylerin karşılaştırılması	115



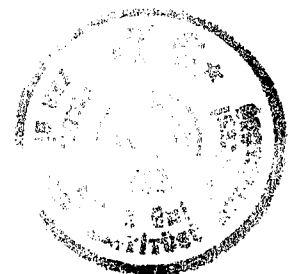
Şekil 3.60	Standart tek boyutlu deney ve kontrollü hidrolik eğimli deney işlemiyle bir numune üzerindeki efektif gerilmenin artmasındaki fark	117
Şekil 3.61	Önyükeme tekniği kavramı	117
Şekil 3.62	Ön sıkışmanın hesabında konsolidasyon derecesinin seçimi	120
Şekil 3.63	$U_{(f+s)}$ 'nin σ_s/σ_f ve σ_f/σ'_0 ile değişimi	120
Şekil 3.64	$U_{(f+s)}-T_v$ grafiği	122
Şekil 3.65	Kum drenler	122
Şekil 3.66	Killer üzerindeki esnek (a) ve rijit (b) temeller	124
Şekil 3.67	Kum drenlerin genel görünümü a. Plan b. S-S kesiti	124
Şekil 3.68	U_r konsolidasyon derecesinin T_r zaman faktörü ile değişimi	128
Şekil 3.69	k_h/k_s ve S 'nin farklı değerleri için m değerleri	128
Şekil 3.70	Farklı S ($k_h/k_s=20$) değerleri için $m-n$ grafiği	133
Şekil 3.71	Radyal drenajın sayısal çözümü için sonlu fark ağ elemanı	133
Şekil 4.1.	Üst ve alttan drenaj durumu	141
Şekil 4.2.	Üst drenaj durumu	141
Şekil 4.3a.	Kobe Limanı 'ndaki dolgu zemininin gözlemsel oturmaları	142
Şekil 4.3b.	Kobe Liman 'ndaki deniz dolgusunun oturma gözlemlerinden elde edilen $\rho_j-\rho_{j-1}$ grafiği	143
Şekil 4.4.	Shin-Ube termoelektrik güç santralindeki oturma gözlemleri	145
Şekil 4.5.	Oturma tahmininin grafiksel yöntemi	146
Şekil 4.6.	3 nolu Kobe Limanı deniz dolgusunda Aralık 1972 'ye kadar gözlemlenen datalardan elde edilen β_0 ve β_1 'in sonraki sınırsal (marjinal) olasılık dağılım fonksiyonu	151
Şekil 4.7.	3 nolu Kobe Limanı deniz dolgusunda Aralık 1972 'ye kadar gözlemlenen datalardan elde edilen σ 'nın sonraki sınırsal (marjinal) olasılık dağılım fonksiyonu	151
Şekil 4.8.	3 nolu Kobe Limanı deniz dolgusunda Aralık 1972 'den Aralık 1976 'ya kadar olan oturmanın tahmini olasılık dağılım fonksiyonu	151



Şekil 4.9.	İnce kum bandından yatay drenaj durumu	153
Şekil 4.10.	Iwamizawa test dolgusunun enkesiti ve zemin profili	156
Şekil 4.11.	Iwamizawa test dolgusunun kum dren deneme kesitindeki oturma gözlemleri	156
Şekil 4.12.	Grafiksel yöntemin Iwamizawa test dolgusunun gözlemlerine uygulanması	157
Şekil 4.13.	Alibey Barajı Yerleşim Planı	169
Şekil 4.14.	Alibey Barajı Kesiti	170
Şekil 4.15a.	Alibey Barajı Dolgu İnşaa Programı	173
Şekil 4.15b.	Alibey Barajı Dolgu İnşaa Programı	174
Şekil 4.15c.	Alibey Barajı Dolgu İnşaa Programı	175
Şekil 4.15d.	Alibey Barajı Dolgu İnşaa Programı	176
Şekil 4.15e.	Alibey Barajı Dolgu İnşaa Programı	177
Şekil 4.15f.	Alibey Barajı Dolgu İnşaa Programı	178
Şekil 4.15g.	Alibey Barajı Dolgu İnşaa Programı	179
Şekil 4.15h.	Alibey Barajı Dolgu İnşaa Programı	180
Şekil 4.15i.	Alibey Barajı Dolgu İnşaa Programı	181
Şekil 4.15j.	Alibey Barajı Dolgu İnşaa Programı	182
Şekil 4.16.	Boşluk Suyu Basıncı Katsayısı A 'nın Değişimi	184
Şekil 4.17.	Kademeli Yükleme Altında Konsolidasyon Oturmalarının Hesaplanması	186
Şekil 4.18.	Sıkışma İndisi ve Tekrar Sıkışma İndisinin Su muhtevası ile Değişimi	189
Şekil 4.19.	Arazi Ön konsolidasyon Basıncı Profili	190
Şekil 4.20.	Menba batardosu oturma okumalarına Asaoka Yönteminin uygulanması	192
Şekil 4.21.	Menba batardosu altında ölçülen ve hesaplanan oturma okumaları	192
Şekil 4.22.	Mansap batardosu oturma okumalarına Asaoka Yönteminin uygulanması	193
Şekil 4.23.	Mansap batardosu altında ölçülen ve hesaplanan oturma okumaları	193
Şekil 4.24.	Ara dolgu oturma okumalarına Asaoka Yönteminin uygulanması	194



Şekil 4.25.	Ara dolgu altında ölçülen ve hesaplanan oturma okumaları	194
Şekil 4.26.	Baraj aksı dolgusu oturma okumalarına Asaoka Yönteminin uygulanması	195
Şekil 4.27.	Baraj aksı dolgusu altında ölçülen ve hesaplanan oturma okumaları	195
Şekil 4.28.	Temel yükleme testi dolgusu oturma okumalarına Asaoka Yönteminin uygulanması	196
Şekil 4.29.	Temel yükleme testi dolgusu altında ölçülen ve hesaplanan oturma okumaları	196
Şekil 5.1a.	Test dolgusu altındaki yatay yerdeğiştirmelerin Kuzey-Güney doğrultusunda derinlikle değişimi	221
Şekil 5.1b	Test dolgusu altındaki yatay yerdeğiştirmelerin Doğu-Batı doğrultusunda derinlikle değişimi	221
Şekil 5.2a.	Yükseklik farkı ölçmelerinin planı	223
Şekil 5.2b.	Yatay Hareket Vektörleri (1987-1991)	224
Şekil 5.2c.	Yatay Hareket Vektörleri (1991-1996)	224
Şekil 5.2d.	Düşey Hareket Vektörleri (1987-1994)	225
Şekil 5.2e.	Düşey Hareket Vektörleri (1991-1994)	225
Şekil 5.3a.	Boşluk suyu basınçlarının zamanla değişimi (+1.69m kotu)	226
Şekil 5.3b.	Boşluk suyu basınçlarının zamanla değişimi (-5.00m kotu)	226
Şekil 5.3c.	Boşluk suyu basınçlarının zamanla değişimi (-8.25m kotu)	227
Şekil 5.3d.	Boşluk suyu basınçlarının zamanla değişimi (-18.36m kotu)	227
Şekil 5.3e.	Boşluk suyu basınçlarının ve dolgu üst kotunun zamanla değişimi (-22.34m kotu)	228
Şekil 5.4.	Dolgu yükü altında artık boşluk suyu basıncının sönümlenme eğrileriyle arazi ölçümlerinin karşılaştırılması	228
Şekil E1.	Alibey Barajı Genel Yerleşim Planı	240
Şekil E2.	Alibey Barajı Paleotopografik Haritası	241



TABLO LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Alibey Barajı Temel Zemini Laboratuar ve Arazi Deney Sonuçları	12
Tablo 2.2. Alibey Barajı Temel Zemini Laboratuar ve Arazi Deney Sonuçları	13
Tablo 2.3. Alibey Barajı Temel Zemini Laboratuar ve Arazi Deney Sonuçları	14
Tablo 2.4. Alibey Barajı Temel Zemini Laboratuar ve Arazi Deney Sonuçları	15
Tablo 2.5. Alibey Barajı Temel Zemini Laboratuar ve Arazi Deney Sonuçları	16
Tablo 2.6. Alibey Barajı Temel Zemini Laboratuar ve Arazi Deney Sonuçları	17
Tablo 2.7. Alibey Barajı Temel Zemini Laboratuar ve Arazi Deney Sonuçları	18
Tablo 2.8. Alibey Barajı Temel Zemini Laboratuar ve Arazi Deney Sonuçları	19
Tablo 2.9. Alibey Barajı Temel Zemini Laboratuar ve Arazi Deney Sonuçları	20
Tablo 2.10. Alibey Barajı Temel Zemini Laboratuar ve Arazi Deney Sonuçları	21
Tablo 2.11. Alibey Barajı Temel Zemini Laboratuar ve Arazi Deney Sonuçları	22
Tablo 2.12. Alibey Barajı Temel Zemini Laboratuar ve Arazi Deney Sonuçları	23
Tablo 2.13. Alibey Barajı Temel Zemini Laboratuar ve Arazi Deney Sonuçları	24
Tablo 2.14. Alibey Barajı Temel Zemini Laboratuar ve Arazi Deney Sonuçları	25
Tablo 3.1. U_{av} ile T_v arasındaki değişim	39
Tablo 3.2. Aşırı Konsolidasyona Neden Olan Mekanizmalar	58
Tablo 3.3. Göçme anındaki tipik değerleri	73
Tablo 3.4. İkincil Sıkışmaya Dayalı Zemin Sınıflandırması	91
Tablo 3.5. Radyal akış eşitliğinin çözümü: eşit şekil değiştirme koşulu	129
Tablo 4.1. Alibey Barajı altındaki kum drenlerin yeri ve özellikleri	183
Tablo 4.2. Alibey Barajı Altında Tipik Temel Zemini Kesiti	188
Tablo 4.3a. B24 Aksı için Konsolidasyon Analizi (Yüklem 1)Tablosu	197
Tablo 4.3b. B24 Aksı için Konsolidasyon Analizi (Yüklem 2)Tablosu	198
Tablo 4.3c. B24 Aksı için Konsolidasyon Analizi (Yüklem 3)Tablosu	199
Tablo 4.3d. B24 Aksı için Konsolidasyon Analizi (Yüklem 4)Tablosu	200
Tablo 4.3e. B24 Aksı için Konsolidasyon Analizi (Yüklem 5)Tablosu	201
Tablo 4.3f. B24 Aksı için Konsolidasyon Analizi (Yüklem 6)Tablosu	202



Tablo 4.3g.	B24 Aksı için Konsolidasyon Analizi (Yükleme 7)Tablosu	203
Tablo 4.3h.	B24 Aksı için Konsolidasyon Analizi (Yükleme 8)Tablosu	204
Tablo 4.3i.	B24 Aksı için Konsolidasyon Analizi (Yükleme 9)Tablosu	205
Tablo 4.4a.	B24 Aksı için Boşluk Suyu Basıncı Artışları ve Konsolidasyon Yüzdesi Hesabı (Yükleme 1)Tablosu	206
Tablo 4.4b.	B24 Aksı için Boşluk Suyu Basıncı Artışları ve Konsolidasyon Yüzdesi Hesabı (Yükleme 2)Tablosu	207
Tablo 4.4c.	B24 Aksı için Boşluk Suyu Basıncı Artışları ve Konsolidasyon Yüzdesi Hesabı (Yükleme 3)Tablosu	208
Tablo 4.4d.	B24 Aksı için Boşluk Suyu Basıncı Artışları ve Konsolidasyon Yüzdesi Hesabı (Yükleme 4)Tablosu	209
Tablo 4.4e.	B24 Aksı için Boşluk Suyu Basıncı Artışları ve Konsolidasyon Yüzdesi Hesabı (Yükleme 5)Tablosu	210
Tablo 4.4f.	B24 Aksı için Boşluk Suyu Basıncı Artışları ve Konsolidasyon Yüzdesi Hesabı (Yükleme 6)Tablosu	211
Tablo 4.4g.	B24 Aksı için Boşluk Suyu Basıncı Artışları ve Konsolidasyon Yüzdesi Hesabı (Yükleme 7)Tablosu	212
Tablo 4.4h.	B24 Aksı için Boşluk Suyu Basıncı Artışları ve Konsolidasyon Yüzdesi Hesabı (Yükleme 8)Tablosu	213
Tablo 4.4i.	B24 Aksı için Boşluk Suyu Basıncı Artışları ve Konsolidasyon Yüzdesi Hesabı (Yükleme 9)Tablosu	214
Tablo 5.1.	Oturma plakalarının baraj akslarına göre yerlerinin dağılımı	220



TEŞEKKÜR

Bu çalışmamda değerli bilgileri ile bana yol göstererek destekleyen tez danışmanım sayın Prof. Dr. İ.Kutay Özaydın'a ve University of Wisconsin'den sayın Prof. Dr. Tuncer Edil'e sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca, görüşlerinden faydalandığım sayın Prof. Dr. Sönmez Yıldırım ve sayın Yrd. Doç. Dr. Nejat N. Çetinkaya'ya, Jeoloji bilgilerinden faydalandığım ve haritaların hazırlanmasında yardımcı olan sayın Doç. Dr. Mustafa Yıldırım'a, kütüphanelerini kullanmama izin veren sayın Prof. Vahit Kumbasar'a ve Prof. Dr. Atilla M. Ansal'a, yayın temininde yardımcı olan sayın Doç. Dr. Fevziye Aköz'e teşekkürü borç bilirim.

Alibey Barajı'na ait 1967-1991 yılları arasındaki piezometre, tablalı tasman ve inklinometre arazi ölçüm kayıtlarının temini sağlayan DSİ Genel Müdürlüğü'ne, sayın Müh. Özer Karaben'e, kayıtların yorumlanmasında yardımcı olan Yük. Müh. Hasan Tuna Altay'a, bu kayıtların bilgisayara yüklenmesinde okuyarak yardımcı olan ; sayın Sevim Özçoban, Zafer Kütüğ, İrfan Coşkun, Semra Yavuz, Nilgün Aktan, F.İlter Aydınol, Ayşe Koçak, Filiz Sevük, Erhan Erol, Cem Akgüner, Havvanur Kılıç, Mehmet Berilgen'e ve baraj bölgesinde yapılmış olan viyadük ayağı sondaj verilerinin teminine yardımcı olan Karayolları Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederim.

Bu çalışmada A.B.D. National Science Foundation-NSF'e Grant No. INT-9312438, MOD.1 projesi ve DPT'ye 95K120550 nolu "Yumuşak Zeminlere Oturan Dolguların Davranışı" isimli Araştırma Projelerine verdikleri destekten dolayı sonsuz teşekkürler.



ÖZET

Yumuşak zemin tabakaları üzerine inşa olunan toprak dolgular altında meydana gelecek oturmaların tahmin edilmesi ve kontrol altında tutulabilmesi geoteknik mühendisliğinde karşılaşılan önemli sorunlardan birini oluşturmaktadır. Toprak dolgu inşaatının temel zemininde drenajsız göçmeye karşı yeterli güvenliğe sahip olacak şekilde projelendirilmesi durumunda meydana gelecek oturmaların konsolidasyon teorisine göre hesaplanması mümkün olmaktadır. Temel zemininin taşıma gücünün yeterli olmaması durumunda sıkça başvuru yapılan zemin önyüklemeye veya kademeli dolgu inşaatı uygulamalarında, toplam ve farklı oturmaların zamana bağlı gelişimlerinin doğru tahmin edilmesi büyük önem taşımaktadır.

İstanbul Alibey Barajı, 35 m'ye varan kalınlıkta yumuşak alüvyal kil tabakaları üzerinde yaklaşık 15 yıla yayılan kademeli dolgu yerleştirilmesi ile inşa edilmiş ve arazi ölçüm aletleri ile temel zemininde oluşan boşluk suyu basıncı değişimleri ve zemin hareketleri gözlem altında tutulmuştur. Aşılmışın dışında bir en kesite sahip olan bu toprak dolgu barajın menba ve mansap batardoları doğrudan temel zemini üzerine kademeli olarak yerleştirilmiş, baraj gövdesinin değişik kesitlerinde ise konsolidasyonu hızlandırmak için farklı aralıklarda düşey kum drenler kullanılmıştır.

Bu çalışmada, baraj altında farklı kesitlerde temel zemininde meydana gelen oturmaların zamana bağlı gelişimi Terzaghi konsolidasyon teorisi kullanılarak hesaplanmıştır. Kademeli inşaat programına uygun olarak, öncelikle menba batardosu altında meydana gelen oturmalar hesaplanmış ve arazi ölçümleri ile karşılaştırılarak zemin özelliklerinin arazi davranışı ile uyumu sağlanmıştır. Daha sonra barajın diğer kesitlerinde meydana gelen oturmalar hesaplanarak yaklaşık 25 yıl süre ile tutulan arazi ölçümleri ile karşılaştırılmıştır. Alibey Barajı örneğinde olduğu gibi taşıma gücü yeterli olmayan yumuşak kohezyonlu zemin tabakaları üzerine inşa olunacak toprak dolgularında, önyüklemeye ve kademeli inşaat programlarının yapılmasında, arazi oturma ölçümlerine dayanan gerçekçi konsolidasyon analizlerinin gerekli olduğu doğrulanmıştır.

Bu araştırmada, Alibey Barajı temel zemininde, kademeli dolgu inşaatından kaynaklanan gerilme artışları ve yer değiştirmeler zemin davranışının elastik ve elasto-plastik bünye denklemleri ile tanımlanması ile hesaplanmıştır. Sonlu elemanlar yönteminin kullanıldığı analizlerde, temel zemininin kademeli yükleme altında konsolidasyonu sonucu zemin özelliklerinde meydana gelen iyileşme de dikkate alınmıştır. Öncelikle, inşaat programına uygun olarak, menba batardosu altında oluşan gerilme ve yer değiştirme dağılımları için elastik ve elasto-plastik analiz sonuçları karşılaştırılmış ve arazi davranışı ile uyumu sağlanmıştır. Bu şekilde doğrulanan zemin özellikler kullanılarak ve kademeli dolgu inşaatına uygun olarak bütün baraj kesiti için temel zemininde oluşan gerilme ve yer değiştirmeler hesaplanmıştır. Analiz sonuçları, dolgu yükü altındaki yüksek sıkışabilirliğe sahip yumuşak zeminlerde, düşük yük kademelerinde bile plastik bölgelerin oluştuğunu, bu yüzden bu tip zeminlerde elasto-plastik analiz yapılmasının daha uygun olacağını göstermiştir. Ayrıca kademeli dolgu inşaatı sırasında yumuşak zeminde meydana gelen konsolidasyon sonucu malzeme parametrelerindeki iyileşmenin hesaplara yansıtılmasının gerekli olduğu ve bunun barajın güvenli bir şekilde inşaatı için uygulanan inşaat programının belirlenmesinde dikkate alınması gerektiği görülmüştür.



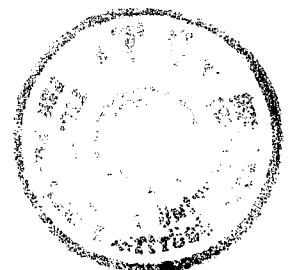
SUMMARY

Prediction and mitigation of excessive settlements from construction of earth structures founded on soft ground is a fundamental problem faced by geotechnical engineers. When the embankment is designed with a sufficiently high degree of safety against undrained bearing capacity failure, one-dimensional settlement analysis is applicable. In cases where bearing capacity of foundation layers are insufficient, staged construction and preloading are among the most frequently used techniques.

Alibey Dam in Istanbul which is seated on medium stiff cohesive alluvial deposits of up to 35 m thickness is constructed in stages within a period of 15 years. In order to program this staged construction, the foundation layers were heavily instrumented to monitor the pore pressures generated and displacements developed during construction. The upstream and downstream embankments of this dam with an unusual cross-section were seated on natural layers, whereas underneath of other sections sand drains were implemented to speed up the consolidation.

In this investigation, the settlement of foundation layers underneath different sections of the dam are analyzed using Terzaghi's consolidation theory. In accordance with the construction stages, firstly the settlements underneath the upstream embankment are computed and compared with the measured values to check the validity of soil compression characteristics. Then, the settlements underneath different sections of the dam are analyzed. The computed and measured settlement values are shown to be in good agreement with each other.

In this investigation, stress increases and immediate settlement of the founding strata of Alibey Dam, built in staged loading due to the unfavorable soil conditions, is aimed to be calculated. The finite element method is used in the calculations and the elasto-plastic behaviour of the founding strata as well as the improvements arising due to consolidation are taken into consideration. As a first step, which also complies with the construction method, the result of the elastic and elasto-plastic analysis are carried out for the computation of stresses and deformations of the strata beneath the upstream cofferdam are compared and their compatibility with the behaviour monitored by field measurements are maintained. By that means, using these verified ground properties, the stresses and the displacements of founding strata for the various sections of whole dam under staged loading are calculated. The results of the analysis have indicated that in the highly compressible soft soils under embankment loading, plastic regions develop even under low loading stages and thus it would be more appropriate to carry out elasto-plastic analysis under such soil conditions. In addition it is also found out that the improvement of the material properties due to the consolidation of the soft layer during the construction stages is necessary to be included in the calculations and that this would also be required to be considered in assessing the time schedule for the safe construction of the dam.



1. GİRİŞ

Yumuşak zemin üzerinde inşa edilmiş zemin yapılarının inşa rehabilitasyonu sonucu meydana gelen aşırı oturmaların tahmini, geoteknik mühendisleri tarafından karşılaşılan temel problemlerden biridir.

Dolgu, drenajsız taşıma gücü göçmesine karşı yeteri kadar yüksek bir güvenlik sayısı ile projelendirildiği zaman, tek-boyutlu oturma analizi uygulanabilir. Oturma analizleri, sıkışabilen zeminin detaylı bir profilini, ön yükleme basıncının güvenilir bir tahminini, her tabaka için kompresibilite ve permeabilite parametrelerini ve bir sıkışma modeli kullanımını ihtiva eder. Terzaghi 'nin klasik konsolidasyon teorisi ile başlayarak, çeşitli araştırmacılar zeminlerin tek boyutlu sıkışmasının anlaşılması konusunda önemli çalışmalar yapmışlar ve konuya katkıda bulunmuşlardır. Son yıllardaki gelişmeler, ani ve gecikmiş sıkışma tanımlamaları, birincil sıkışma sonucu basınç eğrisinin tekliği, ikincil basınç indisinin basınç indisine oranının sabit olması, gerilme-şekil değiştirme-şekil değiştirme hızı davranışının ortak tanımlanması konuları gibi hem yumuşak killer ve hem de yüksek derecede organik zeminler ve turba zeminler için ısı etkilerini de gözönüne alan araştırmaları ihtiva etmektedir. Fakat, arazide, geçerli yükleme ve drenaj şartlarında hangi sıkışma modelinin en uygun olduğu konusunda çelişkiler mevcut olup, teori ve laboratuvar verileri ile arazideki davranış arasında bağın tespit edilmesi konusunda gözlemsel metotların umut verici olduğu görülmüştür.

Yumuşak kil yatakları üzerinde inşa edilmiş dolgulardaki oturmalar esas olarak, yumuşak kil temelin konsolidasyonu sonucu ve dolgu altındaki yumuşak kilin dışarı doğru akmasından meydana gelmektedir. İnşaat sırasında drenajsız göçmeye karşı yeterli güvenlik sayısı ile tasarlanmış ve inşa edilmiş dolgular için, oturmanın yukarıda bahsedilen ikinci bileşeni genellikle küçük olup konsolidasyon oturması esastır. Yumuşak killerin oturma analizi, kompresibilitenin tayini için örselenmemiş numune temini ve laboratuvar deneyleri ile arazi yüklemeleri ve sınır şartları altında oturmanın ilerlemesinin tayini için konsolidasyon teorisi kullanımını ihtiva eder.

Son yıllarda, yumuşak killerin konsolidasyon davranışının anlaşılmasının ilerlemesine yönelik geniş çaplı araştırmalar yapılmış ve meydana gelen oturmaların tahmini konumundaki kabiliyetimiz laboratuvar deneyleri ve analitik çalışmalar ile ilerlemiştir. Yumuşak killer üzerine inşa edilmiş dolgularda yapılan vaka analizleri ve yerinde ölçümlerden elde edilen oturma verilerinin analizleri, laboratuvar deney sonuçlarının ve geleneksel analiz metotlarının, arazideki davranışın tahmini konumunda her zaman yeterli olmadığını ortaya koymuştur. Bu durum, yumuşak kil üzerindeki dolgularda meydana gelen oturmaların hassas bir şekilde tahmin edilebilmesi için, uzun vadeli arazi verileri ve gözlemsel metotların gerekliliğini ortaya çıkarmıştır.

Bir boyutlu konsolidasyon teorisi zemin mekaniğinin pratik temel mühendisliğine önemli bir katkısıdır. Bir boyutlu sıkışma ve bir boyutlu drenaj sonucu oturma, bu teori ile çok iyi açıklanabildiği ölçüde kabul görmüştür. Bununla beraber, meydana gelecek oturma



tahmini olaylarında teorisinin etkili olabilmesi için biraz mühendislik sağduyusu buna ilaveten vazgeçilmezdir.

Parabolik tip bir kısmi diferansiyel denklem olan konsolidasyon denkleminin, başlangıç ve sınır şartları, ve denklemin bir katsayısı önceden saptandığında tek bir çözüm verdiği bilinmektedir. Bu yaygın bir bilgidir öyleki, bu denklemin pratik uygulamaları çözümün sadece bu karakteristiğinden yararlandığı eğilimini göstermiştir. Gerçekte, sıradan bir oturma analizine göre boşluk suyu basıncının başlangıç dağılımı, drenaj boyu, zeminin son düşey şekil değiştirmesi gibi şartlar ve konsolidasyon katsayısı analiz öncesinde verilmek üzere doğal olarak gözönüne alınırlar. Bununla beraber, bu şartların tahmini genellikle yüksek derecede belirsizlik içerdiği de yaygın olarak kabul edilmiştir. Bu yüzden oturma tahmini üzerine mühendislik çalışması genellikle bazı geçmiş tecrübeye sahip olmakla tahmin edilir.

Asaoka(1978) tarafından oturma tahmini için yeni bir fikir sunulmuştur, bunun felsefesi gözlemsel işlem üzerine kurulmuştur. Oturmanın zamanla alınan datalarının eğim denklemi önce bir boyutlu konsolidasyon denkleminde çıkarılır, bundan sonra geçmiş gözlemler kullanılarak gelecekteki oturma tahmin edilir. İki tip pratik metod ortaya konmuştur. Biri grafik metod olup, üstünlüğü basit olmasıdır. Diğer, gelecekteki oturmanın bir tahmini olasılığını verebilen ve sonra oturma problemlerinin güvenilirlik üzerine kurulan tasarımı için bir ön teori de sağlayabilen, sabit olmayan olasılıksal işleminin Bayesian 'nın geliştirdiği sonuç çıkarma metodu üzerine kurulmuştur.

Ortaya konan yöntemin, kum kazıklarının drenajından dolayı meydana gelen oturmayı ihtiva eden bazı diğer özel problemler için de uygulanabilir olduğu gösterilmiştir.

Yumuşak ve doygun zeminler üzerine toprak dolgu inşaatı esnasında karşılaşılan stabilite sorunlarının temel kaynağı inşaat esnasında oluşan ilave boşluk suyu basınçlarıdır. Yüksek değerlere ulaşabilen ilave boşluk suyu basınçları efektif gerilmeleri ve dolayısıyla mukavemeti azaltarak temel zemini içinde bölgesel kaymalara ve daha sonra topyekün göçmeye sebebiyet verebilmektedir. Bu durumun kontrol edilebilmesi için uygulanan kademeli yükleme yöntemi ile konsolidasyon aşamalarında ilave boşluk suyu basıncının dağılması ile ulaşılan zemin yoğunluğundaki ve dolayısıyla mukavemetindeki artıştan yararlanarak tek aşamada ulaşılacak olandan çok daha yüksek dolgular inşaa edilebilir. Ancak ilave boşluk suyu basıncının dağılması için gerekli olan bekleme süreleri genellikle çok uzun olmaktadır. Konsolidasyon süresini kısaltmak için düşey drenlerin kullanılması Kjellman(1948) 'in prefabrike bant drenleri keşfinden itibaren olağan hale gelmiştir. Bu durum dolgu altındaki yumuşak zeminin konsolidasyonuna yönelik ön hesaplama tekniklerine düşey drenlerin sağladığı hızlanma ve buna bağlı zemin davranışında gerekli uyarmaların yapılması gibi ilave problemlerin çözümünü getirme zorunluluğunu katmaktadır. Düşey drenler permeabilitesi düşük ve dokusu tabii drenajı kolaylaştıracak süreksizlikleri içermeyen nispeten homojen yumuşak killerde özellikle gereklidir. İlaveten tabakalı zeminlerde de düşey drenlerden geniş ölçüde yararlanılabilmektedir.



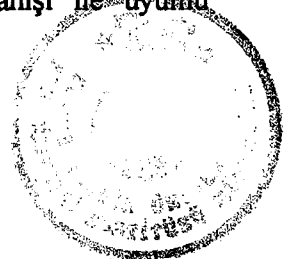
Bir zemin kütlesi içerisinde bünyesel değişikliklerin ve dokunun kümülatif etkisini aktaracak bir kütleli permeabilite katsayısı elde etmenin geoteknik tasarımın en zor konularından biri olduğu Jamiolkowski et al. (1983) tarafından ifade edilmiştir. Bu bakımdan araştırmacılar drenlerin konsolidasyonunun gelişimi üzerindeki etkisini sayısal ifade edebilmek için basitleştirilmiş analitik yöntemleri tercih etmektedirler. Bu yöntemlerden en çok kullanılanları (Barron, 1948; Hansbo, 1981) konsolidasyonun lineer sıkışma özelliklerine sahip üniform bir zemin kolonu içinde meydana geldiğini kabul ederler. Bu zemin kolonu, bir drenin etrafında drenin etki alanı içine giren zemin kütlesini kapsayan silindirik şeklinde ve yatay yönde deforme olmayan bir zemin birimi olarak düşünülür.

İnşaat sonrası aşırı oturmaların azaltılması için zemin iyileştirme yöntemlerinden biri olan önyükleme ve düşey drenler, yatırım ve inşaat programlarının izin vermesi halinde ekonomik ve uygulanabilir bir çözüm olarak ortaya çıkmaktadır. Uygulamada, tasarımın başarısında, diğer zemin mühendisliği problemlerinde olduğu gibi arazideki şartları gerçeğe uygun yansıtacak zemin parametrelerinin seçimi en önemli aşama olarak ortaya çıkmaktadır. Düşey drenler ile konsolidasyon hızlandırılması yönteminde tasarım parametrelerinin belirlenmesinde arazide tecrübe uygulaması, laboratuvar ve arazi deneylerinin yorumlanması ve birlikte değerlendirilmesi önem taşıdığı görülmektedir.

Bu çalışmaya konu olan İstanbul Alibey Barajı, 35 m'ye varan kalınlıkta yumuşak alüvyal kil tabakaları üzerinde yaklaşık 15 yıla yayılan kademeli dolgu yerleştirilmesi ile inşa edilmiş ve arazi ölçüm aletleri ile temel zemininde oluşan boşluk suyu basıncı değişimleri ve zemin hareketleri gözlem altında tutulmuştur. Alışılmışın dışında bir en kesite sahip olan bu toprak dolgu barajın menba ve mansap batardoları doğrudan temel zemini üzerine kademeli olarak yerleştirilmiş, baraj gövdesinin değişik kesitlerinde ise konsolidasyonu hızlandırmak için farklı aralıklarda düşey kum drenler kullanılmıştır.

Bu çalışmada, baraj altında farklı kesitlerde temel zemininde meydana gelen oturmaların zamana bağlı gelişimi Terzaghi konsolidasyon teorisi kullanılarak hesaplanmıştır. Kademeli inşaat programına uygun olarak, öncelikle menba batardosu altında meydana gelen oturmalar hesaplanmış ve arazi ölçümleri ile karşılaştırılarak zemin özelliklerinin arazi davranışı ile uyumu sağlanmıştır. Daha sonra barajın diğer kesitlerinde meydana gelen oturmalar hesaplanarak yaklaşık 25 yıl süre ile tutulan arazi ölçümleri ile karşılaştırılmıştır. Alibey Barajı örneğinde olduğu gibi taşıma gücü yeterli olmayan yumuşak kohezyonlu zemin tabakaları üzerine inşa olunacak toprak dolgularda, önyükleme ve kademeli inşaat programlarının yapılmasında, arazi oturma ölçümlerine dayanan gerçekçi konsolidasyon analizlerinin gerekli olduğu doğrulanmıştır.

Bu araştırmada, Alibey Barajı temel zemininde, kademeli dolgu inşaatından kaynaklanan gerilme artışları ve yer değiştirmeler zemin davranışının elastik ve elasto-plastik bünye denklemleri ile tanımlanması ile hesaplanmıştır. Sonlu elemanlar yönteminin kullanıldığı analizlerde, temel zemininin kademeli yüklemeye altında konsolidasyonu sonucu zemin özelliklerinde meydana gelen iyileşme de dikkate alınmıştır. Öncelikle, inşaat programına uygun olarak, menba batardosu altında oluşan gerilme ve yer değiştirme dağılımları için elastik ve elasto-plastik analiz sonuçları karşılaştırılmış ve arazi davranışı ile uyumu



sağlanmıştır. Bu şekilde doğrulanan zemin özellikler kullanılarak ve kademeli dolgu inşaatına uygun olarak bütün baraj kesiti için temel zemininde oluşan gerilme ve yer değiştirmeler hesaplanmıştır. Analiz sonuçları, dolgu yükü altındaki yüksek sıkışabilirliğe sahip yumuşak zeminlerde, düşük yük kademelerinde bile plastik bölgelerin oluştuğunu, bu yüzden bu tip zeminlerde elasto-plastik analiz yapılmasının daha uygun olacağını göstermiştir. Ayrıca kademeli dolgu inşaatı sırasında yumuşak zeminde meydana gelen konsolidasyon sonucu malzeme parametrelerindeki iyileşmenin hesaplara yansıtılmasının gerekli olduğu ve bunun barajın güvenli bir şekilde inşaatı için uygulanan inşaat programının belirlenmesinde dikkate alınması gerektiği görülmüştür.



BÖLÜM 2

2. ALİBEY BARAJININ TEKNİK VE GEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ

Alibey Barajı, İstanbul şehrinin hızla artan nüfusuna paralel olarak içme, kullanma ve endüstri suyu ihtiyacını karşılamak üzere 1960 ' larda planlanan, Alibey deresi üzerine inşaa edilmiş bir toprak dolgu barajdır. Baraj inşaaasından sonra baraj gövdesi arkasında kalan göl havzası geniş bir vadiyi kapsamaktadır.

İstanbul Alibey Barajı, 35 m 'ye varan kalınlıkta yumuşak alüvyal kil tabakaları üzerinde yaklaşık 15 yıla yayılan kademeli dolgu yerleştirilmesi ile inşa edilmiş ve arazi ölçüm aletleri ile temel zemininde oluşan boşluk suyu basıncı değişimleri ve zemin hareketleri gözlem altında tutulmuştur. Alışılmışın dışında bir en kesite sahip olan bu toprak dolgu barajın memba ve mansap batardoları doğrudan temel zemini üzerine kademeli olarak yerleştirilmiş, baraj gövdesinin değişik kesitlerinde ise konsolidasyonu hızlandırmak için farklı aralıklarda düşey kum drenler kullanılmıştır.

2.1. Alibey Barajının Teknik Özellikleri

2.1.1. Hidrolik Karakteristikleri

Drenaj alanı	: 160	km ²
Yıllık ortalama su	: 1.5	m ³ /sn.
Derede pik akış	: 1000	m ³ /sn.
Ortalama yıllık yağış	: 800	mm/yıl
Ortalama yıllık akım	: 280	mm/yıl
Ortalama yıllık buharlaşma	: 0.8x10 ⁶	m ³ /yıl
Rezervuar Maks. depolama kapasitesi	: 66 x10 ⁶	m ³
Aktif Depolama (26.00 m kotunda)	: 35 x10 ⁶	m ³
Verimli kapasite	: 39 x10 ⁶	m ³
Normal su kotu	: 26.00	m
Maksimum su kotu	: 29.75	m

2.1.2. Baraj

İnşaat gayesi	: İstanbul şehrinin su ihtiyacını karşılamak.
Tipi	: Toprak dolgu
Yüksekliği (Talvegten)	: 28.00 m
Talveg kotu	: 6.00m
Kret kotu	: 34.00 m
Kret uzunluğu	: 304.00 m
Kret genişliği	: 15.00 m
Dolgu hacmi	: 2000000 m ³



2.1.3. Dolusavak

Yeri	: Sağ sahil
Tipi	: Kapaklı (8.35x10.20)x2
Feyezan piki	: 1000 m ³
Yaklaşım kanalı kotu	: 20.00 m
Eşik kotu	: 22.50 m
Kret uzunluğu	: 20.63 m
Enerji kırıcı tesis tipi	: Savurucu eşik ile dereye desarj
Hafriyat hacmi	: 675000 m ³ çatlaklı kaya

2.1.4. Derivasyon Tüneli ve Dipsavak

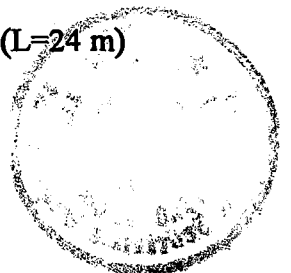
İnşaa yılı	: 1967-1968
Yeri	: Sol sahil
Sayısı	: 1 Adet
Hesap kapasitesi	: 130 m ³ /sn
İç çapı	: Menbada 4.00 m, Mansapta 2.00 m.
Uzunluğu	: 503.97 m
Hafriyat hacmi	: 12000 m ³
Beton hacmi	: 7000 m ³
Dipsavak hesap kapasitesi	: 107.50 m ³ /sn
Su alma tipi	: Kapaklı kule
Derivasyon tüneli aynı zamanda dipsavak olarak kullanılmıştır.	

2.1.5. Dipsavak daimi Techizatı

İnşaa yılı	: 1969-1970
Cebri boru çapı	: 1.80-2.00-3.00 m
Cebri boru uzunluğu	: 207.00 m
Tehlike vanası tipi ve boyutu	: ϕ 1.80 m kelebek vana
	: ϕ 1.75 m konik vana
Tehlike vanası adedi	: 3 Adet kelebek vana
	: 3 Adet konik vana
Deşarj vanası tipi ve boyutu	: Sürgülü, 1.40x1.40 m

2.1.6. Tünel giriş yapısı

İnşaa yılı	: 1969
Görevi	: Kontrollü su alma ağzı
Taban kotu (Temel)	: 2.75 m
Üst kotu	: 44.40 m
Izgara adedi	: 7 Adet
Kapak adedi	: 5 Adet
Ulaşım imkanı	: Sol sahilden kafes kirişli köprüyle (L=24 m)



Beton hacmi : 3800 m³

2.1.7. Tünel çıkış yapısı

İnşaa yılı : 1969-1970
 Görevi : Feyezanda rezervuarı boşaltma ve su verme
 Taban kotu : -1.50 m
 Üst kotu : 13.50 m
 Enerji kırıcı havuz : 2 Adet
 Beton hacmi : 5300 m³

2.1.8. Yapılan Dolguların Karakteristikleri

a- Memba Batardosu (B-22 Aksı)

İnşaa yılı : 1967
 Yeri : Memba
 Tipi : Kil dolgu
 Taban kotu : 6.00 m
 Üst kotu : 15.50 m
 Dolgu hacmi : 91000 m³

b- Mansap Batardosu (B-9 Aksı)

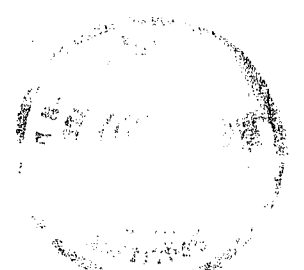
İnşaa yılı : 1969
 Yeri : Mansap
 Tipi : Çatlaklı kaya (Dolusavaktan)
 Taban kotu : 6.00 m
 Üst kotu : 14.00 m
 Dolgu hacmi : 40000 m³

c- Temel Yükleme Testi Dolgusu (Test Dolgusu - I) (B-24 Aksı)

İnşaa yılı : 1968
 Yeri : Mansap Batardosu ile Baraj aksı arasında
 Tipi : Kil dolgu
 Taban kotu : 6.00 m
 Üst kotu : 12.00 m
 Dolgu hacmi : 42000 m³

d- Baraj Aksı Dolgusu (Test Dolgusu - II) (B-23 Aksı)

İnşaa yılı : 1970
 Yeri : Baraj aksında
 Tipi : Kil dolgu + Filtre
 Taban kotu : 6.00 m



Üst kotu	: 12.00	m
Dolgu hacmi	: 46000	m ³

2.1.9. Kum Drenler

a- Baraj Aksı Altında (Test Dolgusu -II)

İnşaa yılı	: 1969	
Amacı	: Konsolidasyonu hızlandırmak	
Sayısı ve Boyu	: 664	Adet (Muhtelif boyda, Maks.2/3h)
Yerleşim şekli	: Kare 3.50x3.50 m	
Toplam uzunluk	: 10452	m
Kum dren çapı	: ϕ 0.40	m

b- Temel Yükleme Testi Dolgusu Altında (Test Dolgusu - I)

İnşaa yılı	: 1968	
Amacı	: Konsolidasyonu hızlandırmak	
Sayısı ve Boyu	: Anakaya 'ya kadar	
Yerleşim şekli	: Üçgen 5.00x5.00 m	
Kum dren çapı	: ϕ 0.40	m

c- Memba ile baraj aksı arasındaki Ara Dolgusu Altında (B-18 Aksı))

İnşaa yılı	: 1970	
Amacı	: Konsolidasyonu hızlandırmak	
Sayısı ve Boyu	: Anakaya 'ya kadar	
Yerleşim şekli	: Üçgen 7.00x7.00 m	
Kum dren çapı	: ϕ 0.40	m

2.2. Baraj Yeri Topoğrafyası ve Jeolojisi

2.2.1. Marmara Bölgesinin Genel Jeolojisi

Marmara bölgesinin temelinde Paleozoyik yaşlı formasyonlar yer almaktadır. Paleozoyik yaşlı bu formasyonlar yakından incelendiklerinde, bunların kumtaşı, silttaşı ve kilttaşlarından oluştukları gözlenmektedir. Genellikle grovak olarak adlanan bu litolojiler çoğunlukla İstanbul Boğazı 'nın doğusunu oluşturan Kocaeli Yarımadası 'nın büyük bir kısmında mostra vermektedir. İstanbul Kocaeli Yarımadası 'ndaki Paleozoyik, Ordoviziyen dönemiyle başlamakta ve "Arkoz Serisi" olarak adlandırılan kırıntılı kayalardan oluşmaktadır. İstif üste doğru Silüryen yaşlı alacalı şeyl ve grovaklardan; Devoniyen, Kireçtaşı ve şeyllerden; Karbonifer dönemi ise çörtlerden, grovaklardan ve silttaşlarından (Trakya Formasyonu) meydana gelmişlerdir. Bu istif yer yer granitler tarafından kesilmektedir. Paleozoyik istifini kırmızı renkli bir konglomera-kumtaşı serisiyle başlayan Triyas yaşlı formasyonlar diskordan örtmektedir. Triyas üzerine ise açılı uyumsuzlukla tansgresif olarak konglomera (Hereke Pudingleri) ve kireçtaşları

gelmektedir. Üst Kretase yaşlı bu oluşukların üst seviyeleri fliş, marn ve kireçtaşlarıyla devam etmektedir. Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı formasyonlar ve Senozoyik yaşlı genç çökeller tarafından diskordan örtülmektedir. Tersiyer yaşlı genç çökeller genellikle İstanbul Boğazı batısında Trakya Havzası 'nda oluşmuşlar ve bu bölgede geniş mostra yayılımlarıyla dikkati çekmektedirler. Edirne-İstanbul arasında yer alan bu sedimentlerin kalınlıkları yer yer ikibin metreyi geçmektedir. Trakya Havzası 'nın Orta Eosen döneminde çökeltmeye başlayan sedimentleri birbirini izleyen dönemlerde trasgresyon oluşmuş ve regresyonla sonlanarak gelişmişlerdir. Çökeltme, önce sığ deniz tortularıyla başlamış, bunu derinleşen deniz tortuları izlemiş, daha sonra tekrar sığ deniz ve karasal tortularla sonuçlanmıştır. Bunun sonucu, ya kireçtaşı ve sığ deniz kırıntıları, ya da mikalı kumve killerden oluşan tortullar çökelmişlerdir. Neojen yaşlı, genç çökeller ise Eosen yaşlı formasyonlar üzerinde diskordan olarak gelişen karasal-gölsel oluşuklardır. Bunlar alttan üste doğru aşırı konsolide kil (Gürpınar Formasyonu), çakıllı siltli kum (Çukurçeşme Formasyonu), organik kil (Güngören Formasyonu) ve marn-kireçtaşlarıdır (Bakırköy Formasyonu). Tüm bu formasyonlar dere yataklarında güncel alüvyal çökeller tarafından diskordan olarak örtülmektedirler.

2.2.2. Baraj Çevresinin Jeolojisi

İnceleme alanının oluşturan Alibey Barajı, Haliç'e güney yönde akarak birleşen Alibeyköy Deresi 'nin kuzeyinde İstanbul 'un içme suyunu sağlamak amacıyla inşa edilmiş toprak dolgu tipinde bir barajdır. Bu barajın aksı grovak kayaları üzerinde yer alan ve ortalama 33.00 m kalınlığa ulaşan alüvyal çökeller üzerine oturtulmuştur. Yayvan "V" tipini oluşturan bu vadinin sol yamacında yaklaşık 26° derece ve sağ yamacında ise 23° derece eğimli yamaçları kahverenkli, ince; orta katmanlı ve bol çatlaklı kiltası, silttaşı ve kumtaşı olarak adlandırılan grovak kayalarından oluşmaktadır. Paleozoyik yaşlı Trakya Formasyonu olarak adlandırılan bu kayalarda sık sık değişen doğrultularda kıvrımlanma ve makaslama zonları gelişmiştir. Vadi tabanında ise grovak kayaları Alibey Deresi 'nin değişik dönemlerde taşıdığı kalın bir alüvyon tabakası ile örtülmektedir. Vadi Talveg 'inde ortalama 30.000 m 'yi bu alüvyal çökeller mevcut sondajlardan elde edilen verilere göre ana kayayı oluşturan grovaklara kadar birbirleriyle korele edilebilir ve endeks özellikleri benzer 4 ana zondan meydana gelmişlerdir. Bu zonlar yüzeyden itibaren sarı kil, yeşil kil, gri kil ve çakıl zonundan oluşmaktadır. Yanal yönde ve aynı derinlikte merceksel nitelikte devam eden bu kil gruplarının arasında bölgenin rejiminin arttığı dönemlere bağlı olarak sellenme sonucu değişik zamanlarda derenin eski dönemlerde taşıdığı çakıl ve kum cepleri yer almaktadır. Bu çakıl, kum ceplerinin yanal bir devamlılığı olmayıp, değişik düzeylerde ve kalınlıkta (Şekil 2.1) gözlenmektedir. Ancak, alüvyon çökellerinin tabanında grovak kayaları üstünde yer alan 4. zon ise çakıllı kumlu seviyeyi oluşturmakta ve yanal devamlılığı kesiksiz olarak tüm alanda devam eden zon niteliğini taşıyan bir katmandır. Bu çakıl, kum zonu grovak kayaları üzerinde çökelen ilk kırıntılı birimdir ve kırıntılar yakından incelendiklerinde tabanında yer alan grovak kayalarının parçacıkları olduğu gözlenmektedir (Yıldırım, vd., 1992)

Alibey Barajı Paleotopoğrafik haritası Şekil E2.'de verilmiştir.



2.2.3. Baraj Temel Zemini Özellikleri

Alibey Barajı'nın inşasına başlanılmadan önce çok ayrıntılı bir arazi zemin etüdü ve laboratuvar araştırmaları gerçekleştirilerek temel zemini profili ve zemin özellikleri belirlenmiştir. Şekil 2'de baraj temel zemini profili gösterilmiştir. DSİ laboratuvarları yanında, A.B.D. Massachusetts Institute of Technology (M.I.T.) laboratuvarlarında da etüd sahasından alınan yüksek kalitede örselenmemiş zemin numuneleri üzerinde yapılan deneylerle temel zemininin mukavemet, gerilme-şekil değiştirme ve yük altında sıkışabilirlik özellikleri belirlenmiştir (Soydemir,1970). Etüd sonuçlarının toplu olarak değerlendirilmesinden, arazideki kohezyonlu tabakaların drenajsız kayma mukavemetinin $s_u = 35-80$ kPa, ve drenajsız deformasyon modülünün $E_u = 14.5-33$ Mpa aralığında değiştiği, (s_u/E_u) oranının ise 410 olarak alınabileceği saptanmıştır. Şekil 3' de önkonsolidasyon basıncının derinlikle değişimi, Şekil 4' de ise sıkışma indisinin (C_c) ve tekrar sıkışma indisinin (C_s) arazi su muhtevası ile değişimi gösterilmiştir. Üç eksenli basınç deneyleri sonuçlarından elde olunan Skempton boşluk suyu basıncı parametresi A' nın farklı düşey şekil değiştirme seviyeleri için aşırı konsolidasyon oranı ile değişimi ise Şekil 5' de gösterilmiştir. Laboratuvar ödometre deneyleri sonuçlarından ortalama konsolidasyon katsayısı (c_v) değeri 2×10^{-4} cm²/s olarak saptanırken, arazi boşluk suyu basıncı sönümlenmesi ve oturma okumalarından yapılan geri hesaplamalardan ortalama arazi c_v değeri 1.2×10^{-2} cm²/s olarak belirlenmiştir.



Tablo 2.1. Alibey Barajı Temel Zemini Laboratuar ve Arazi Deney Sonuçları

ALİBEY BARAJI
BARAJ TEMELİ LABORATUAR SONUÇLARI

ATTERBERG LİMİTLERİ VE TABİİ SU MUHTEVASI										VANE SHEAR TEST		
Sondaj No	Numune No	Derinlik (Kot) (m)	WL (%)	Wp (%)	Ip (%)	Wn (%)	K= (WL-Wn)/Ip (%)	gn (t/m3)	Zemin Sınıfı	Cu (Yoğunluk) (kg/cm2)	Cu (Tebii) (kg/cm2)	
ASK-2		6.60										
		6.50										
		5.50										
		5.10										
		5.00										
		4.50										
		4.00										
		3.90										
		3.50										
		3.10										
		3.00										
		2.90										
		2.70										
		2.60										
		2.50										
		2.30	53.20	23.10	30.1	36.60		0.55		CH	0.22	0.73
		2.00										
		1.50										
		1.30										
		1.10										
		1.00										
		0.50										
		0.10										
		0.00										
		-0.40										
		-0.50	35.30	24.80	10.50					CL-ML	0.18	0.55
		-1.00										
		-1.30										
		-2.50										
		-2.70										
		-2.90										
		-3.00										
		-3.30										
		-3.40										
		-3.50	50.00	44.40	5.60					ML-MH	0.22	0.52
		-3.90										
		-4.10										
		-4.50										
		-5.00										
		-5.40										
		-5.50										
		-6.00									0.19	0.6
		-6.50										
		-6.90										
		-7.40										
		-7.50										
		-8.00	48.80	25.90	22.90					CL		
		-8.30										
		-8.80										
		-8.90										
	-9.00											
	-9.40											
	-9.50											
	-9.70											
	-10.00	68.70	31.60	37.10	46.90		0.59		CH	0.11	0.24	
	-10.50											
	-11.00											
	-11.10											
	-11.30											
	-11.50											
	-11.90											
	-12.00											
	-12.30											
	-12.40											
	-12.50											
	-12.70											
	-12.90											
	-13.40											
	-13.50											
	-13.80											
	-13.90											
	-15.00									0.17	0.40	
	-15.30											
	-15.50											
	-15.70											
	-16.50											
	-16.70											
	-17.00											
	-17.50											
	-17.90											
	-18.00											
	-18.10											
	-18.40											
	-18.50											
	-19.00											
	-19.50											
	-20.00											
	-20.90											
	-21.50											
	-22.00											
	-22.30											
	-22.50											
	-23.00											
	-23.50											
	-26.00											



Tablo 2.2. Alibey Barajı Temel Zemini Laboratuar ve Arazi Deney Sonuçları

ALİBEY BARAJI
BARAJ TEMELİ LABORATUAR SONUÇLARI

SEKİLER LİMİTLERİ VE TABİİ SU MUHTEVASI								VANE SHEAR TEST				
Sondaj No	Numune No	Derinlik (Kot) (m)	WL (%)	Wp (%)	Ip (%)	Wn (%)	K=(WL-Wn)/Ip (%)	gn (t/m3)	Zemin Sınıfı	Cu (Yoğunlaşmış) (kg/cm2)	Cu (Tabii) (kg/cm2)	
ASK-3		6.60										
		6.50										
		5.50										
		5.10										
		5.00										
		4.50										
		4.00										
		3.90										
		3.50										
		3.10										
		3.00										
		2.90										
		2.70										
		2.60										
		2.50	32.10	19.60	12.5					CL	0.18	0.57
		2.30										
		2.00										
		1.50										
		1.30										
		1.10	50.40	21.20	29.20	29.60	0.71			CH-CL		
		1.00										
		0.50										
		0.10										
		0.00										
		-0.40	57.40	25.40	32.00	56.10	0.04			CH	0.18	0.39
		-0.50										
		-1.00										
		-1.30										
		-2.50										
		-2.70										
		-2.90										
		-3.00										
		-3.30										
		-3.40										
		-3.50										
		-3.90	46.80	22.50	24.30	29.00	0.73			CL	0.2	0.56
		-4.10										
		-4.50										
		-5.00										
		-5.40										
		-5.50										
		-6.00										
		-6.50										
		-6.90	48.40	23.70	24.70	44.60	0.15			CL		
		-7.40	51.80	20.40	31.40	40.20	0.37			CH	0.10	0.51
		-7.50										
		-8.00										
		-8.30										
		-8.80										
		-8.90	69.4	23.1	46.30	63	0.14			CH		
	-9.00											
	-9.40											
	-9.50											
	-9.70											
	-10.00											
	-10.50											
	-11.00											
	-11.10											
	-11.30											
	-11.50											
	-11.90											
	-12.00											
	-12.30											
	-12.40									0.29	0.41	
	-12.50											
	-12.70											
	-12.90	80.9	29.7	51.20	91.7	-0.21			CH			
	-13.40											
	-13.50											
	-13.80											
	-13.90	66.8	34.6	32.20	48.6	0.57			MH			
	-15.00											
	-15.30											
	-15.50											
	-15.70											
	-16.50											
	-16.70											
	-17.00											
	-17.50											
	-17.90											
	-18.00											
	-18.10											
	-18.40	38.8	19.9	18.90	38.5	0.02			CL	0.13	0.62	
	-18.50											
	-19.00											
	-19.50											
	-20.00											
	-20.90											
	-21.50											
	-22.00											
	-22.30											
	-22.50									0.40	0.81	
	-23.00											
	-23.50											
	-26.00											



Tablo 2.3. Alibey Barajı Temel Zemini Laboratuar ve Arazi Deney Sonuçları

ALIBEY BARAJI
BARAJ TEMELİ LABORATUAR SONUÇLARI

ATTERBERG LİMİTLERİ VE TABİİ SU MUHTEVASI							VANE SHEAR TEST				
Sondej No	Nümunne No	Derinlik (Kot) (m)	WL (%)	Wp (%)	Ip (%)	Wn (%)	$K = (WL - Wn) / Ip$ (%)	gn (t/m3)	Zemin Sınıfı	Cu (Yoğunlaş) (kg/cm2)	Cu (Tabii) (kg/cm2)
ASK-4		6.60									
		6.50									
		5.50									
		5.10									
		5.00									
		4.50									
		4.00	47.30	30.10	17.2	28.20	1.11		ML		
		3.90									
		3.50									
		3.10									
		3.00									
		2.90									
		2.70									
		2.60									
		2.50									
		2.30									
		2.00									
		1.50									
		1.30									
		1.10									
		1.00									
		0.50									
		0.10									
		0.00	63.40	26.30	37.10	35.40	0.75		CH	0.19	0.31
		-0.40									
		-0.50									
		-1.00									
		-1.30									
		-2.50								0.26	0.53
		-2.70									
		-2.90									
		-3.00									
		-3.30									
		-3.40									
		-3.50									
		-3.90									
		-4.10									
		-4.50									
		-5.00	51.30	22.60	28.70	50.50	0.03		CH		
		-5.40									
		-5.50									
		-6.00									
		-6.50								0.13	0.42
		-6.90									
		-7.40									
		-7.50									
		-8.00									
		-8.30									
		-8.80									
		-8.90									
	-9.00										
	-9.40										
	-9.50										
	-9.70										
	-10.00										
	-10.50										
	-11.00										
	-11.10										
	-11.30										
	-11.50										
	-11.90										
	-12.00	47.30	21.30	26.00				CL	0.16	0.37	
	-12.30										
	-12.40										
	-12.50										
	-12.70										
	-12.90										
	-13.40										
	-13.50										
	-13.80										
	-13.90										
	-15.00										
	-15.30										
	-15.50										
	-15.70										
	-16.50										
	-16.70										
	-17.00										
	-17.50										
	-17.90										
	-18.00	79.8	22.8	57.00	51	0.51		CH			
	-18.10										
	-18.40										
	-18.50										
	-19.00										
	-19.50										
	-20.00										
	-20.90										
	-21.50										
	-22.00	71	26.6	44.40	51.6	0.44		CH			
	-22.30										
	-22.50										
	-23.00										
	-23.50										
	-26.00										



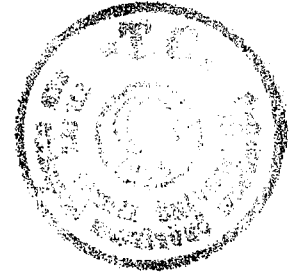
Tablo 2.4. Alibey Barajı Temel Zemini Laboratuar ve Arazi Deney Sonuçları

ALIBEY BARAJI BARAJ TEMELİ LABORATUAR SONUÇLARI										VANE SHEAR TEST	
ATTERBERG LİMİTLERİ VE TABİİ SU MUHTEVASI										Cu (Yoğunlaş)	Cu (Tabii)
Sondaj No	Numune No	Derinlik (Kot) (m)	WL (%)	Wp (%)	Ip (%)	Wn (%)	K=(WL-Wn)/Ip (%)	gn (t/m3)	Zemin Sınıfı		
ASK-7		6.60									
		6.50									
		5.50									
		5.10									
		5.00									
		4.50									
		4.00									
		3.90									
		3.50									
		3.10									
		3.00									
		2.90									
		2.70									
		2.60									
		2.50	36.10	19.50	16.6	36.40	-0.02		CL		
		2.30									
		2.00									
		1.50									
		1.30									
		1.10									
		1.00									
		0.50								0.17	0.48
		0.10									
		0.00									
		-0.40									
		-0.50	40.30	23.50	16.8	29.60	0.64		CL		
		-1.00									
		-1.30									
		-2.50								0.21	0.59
		-2.70									
		-2.90									
		-3.00									
		-3.30									
		-3.40									
		-3.50	47.10	24.80	22.30	29.40	0.79		CL-CH		
		-3.90									
		-4.10									
		-4.50									
		-5.00									
		-5.40									
		-5.50									
		-6.00									
		-6.50								0.15	0.35
		-6.90									
		-7.40									
		-7.50	57	26.5	30.50	48	0.30		CH		
		-8.00									
		-8.30									
		-8.80									
		-8.90									
		-9.00									
		-9.40									
		-9.50									
		-9.70									
		-10.00									
		-10.50	88.9	24.2	64.70	52.9	0.56		CH	0.08	0.42
		-11.00									
		-11.10									
		-11.30									
		-11.50									
		-11.90									
		-12.00									
		-12.30									
		-12.40									
		-12.50									
		-12.70									
		-12.90									
		-13.40									
		-13.50									
		-13.80									
		-13.90									
		-15.00									
		-15.30									
		-15.50									
		-15.70									
		-16.50									
		-16.70									
		-17.00									
		-17.50									
		-17.90									
		-18.00									
		-18.10									
		-18.40									
		-18.50									
		-19.00									
		-19.50									
		-20.00	48.2	26.9	21.30	55.4	-0.34		CL-CH		
		-20.90									
		-21.50									
		-22.00									
		-22.30									
		-22.50									
		-23.00									
		-23.50									
		-26.00									



Tablo 2.5. Alibey Barajı Temel Zemini Laboratuar ve Arazi Deney Sonuçları

ALİBEY BARAJI BARAJ TEMELİ LABORATUAR SONUÇLARI												
ATTERBERG LİMİTLERİ VE TABİİ SU MUHTEVASI												
Sondaj No	Numune No	Derinlik (Kot) (m)	WL (%)	Wp (%)	Ip (%)	Wn (%)	K=(WL-Wn)/Ip (%)	gn (t/m3)	Zemin Sınıfı	VANE SHEAR TEST Cu (Yoğrulmuş) (kg/cm2) Cu (Tabii) (kg/cm2)		
ASK-8		6.60										
		6.50										
		5.50										
		5.10										
		5.00										
		4.50										
		4.00										
		3.90										
		3.50										
		3.10										
		3.00										
		2.90										
		2.70										
		2.60										
		2.50	53.40	22.10	31.3	42.40	0.35			CH	0.18	0.42
		2.30										
		2.00										
		1.50										
		1.30										
		1.10										
		1.00										
		0.50									0.3	0.55
		0.10										
		0.00										
		-0.40										
		-0.50	39.20	24.10	15.1	29.90	0.62			CL-ML		
		-1.00										
		-1.30										
		-2.50										0.86
		-2.70										
		-2.90										
		-3.00										
		-3.30										
		-3.40										
		-3.50										
		-3.90										
		-4.10										
		-4.50										
		-5.00										
		-5.40										
		-5.50										
		-6.00										
		-6.50										
		-6.90										
		-7.40										
		-7.50										
		-8.00										
		-8.30										
		-8.80										
		-8.90										
	-9.00											
	-9.40											
	-9.50									0.21	0.41	
	-9.70											
	-10.00											
	-10.50	81	27.8	53.20	65.4	0.29			CH			
	-11.00											
	-11.10											
	-11.30											
	-11.50											
	-11.90											
	-12.00											
	-12.30											
	-12.40											
	-12.50											
	-12.70											
	-12.90											
	-13.40											
	-13.50											
	-13.80											
	-13.90											
	-15.00									0.19	0.65	
	-15.30											
	-15.50											
	-15.70											
	-16.50											
	-16.70											
	-17.00											
	-17.50									0.19	0.62	
	-17.90											
	-18.00											
	-18.10											
	-18.40											
	-18.50	28.1	16.7	11.40	37.2	-0.80			CL			
	-19.00											
	-19.50											
	-20.00											
	-20.90											
	-21.50										0.85	
	-22.00											
	-22.30											
	-22.50											
	-23.00											
	-23.50								SC		0.70	
	-26.00											



Tablo 2.6. Alibey Barajı Temel Zemini Laboratuar ve Arazi Deney Sonuçları

ALIBEY BARAJI
BARAJ TEMELİ LABORATUAR SONUÇLARI

ATTERBERG LİMİTLERİ VE TABİİ SU MUHTEVASI										VANE SHEAR TEST	
Sondaj No	Numune No	Derinlik (Kot) (m)	WL (%)	Wp (%)	Ip (%)	Wn (%)	K=(WL-Wn)/Ip (%)	gn (t/m3)	Zemin Sınıfı	Cu (Yoğunluk) (kg/cm2)	Cu (Tabii) (kg/cm2)
ASK-9		6.60									
		6.50									
		5.50									
		5.10									
		5.00									
		4.50									
		4.00									
		3.90									
		3.50									
		3.10									
		3.00									
		2.90									
		2.70									
		2.60									
		2.50	48.00	21.80	26.2	30.20	0.68		CL-CH		
		2.30									
		2.00									
		1.50									
		1.30									
		1.10									
		1.00									
		0.50	39	18.3	20.70				CL		
		0.10									
		0.00									
		-0.40									
		-0.50									
		-1.00									
		-1.30									
		-2.50									
		-2.70									
		-2.90									
		-3.00									
		-3.30									
		-3.40									
		-3.50									
		-3.90									
		-4.10									
		-4.50									
		-5.00									
		-5.40									
		-5.50									
		-6.00									
		-6.50									
		-6.90									
		-7.40									
		-7.50									
		-8.00									
		-8.30									
		-8.80									
		-8.90									
		-9.00									
		-9.40									
		-9.50									
		-9.70									
		-10.00									
		-10.50									
		-11.00									
		-11.10									
		-11.30									
		-11.50									
		-11.90									
		-12.00									
		-12.30									
		-12.40									
		-12.50									
		-12.70									
		-12.90									
		-13.40									
		-13.50									
		-13.80									
		-13.90									
		-15.00									
		-15.30									
		-15.50									
		-15.70									
		-16.50								0.29	0.675
		-16.70									
		-17.00									
		-17.50	42	19.9	22.10				CL		
		-17.90									
		-18.00									
		-18.10									
		-18.40									
		-18.50									
		-19.00									
		-19.50									
		-20.00	43.9	23.1	20.80	36.2	0.37		CL	0.22	0.72
		-20.90									
		-21.50									
		-22.00									
		-22.30									
		-22.50									
		-23.00									
		-23.50									
		-26.00									



Tablo 2.7. Alibey Barajı Temel Zemini Laboratuar ve Arazi Deney Sonuçları

ALİBEY BARAJI
BARAJ TEMELİ LABORATUAR SONUÇLARI

ATTERBERG LİMİTLERİ VE TABİİ SU MUHTEVASI

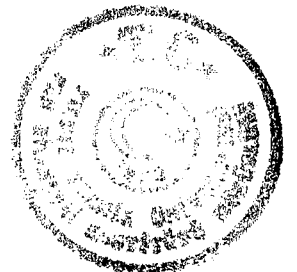
Sondaj No	Nümunne No	Derinlik (Kot) (m)	WL (%)	Wp (%)	Ip (%)	Wn (%)	$K=(WL-Wn)/Ip$ (%)	g_n (t/m ³)	Zemin Sınıfı	VANE SHEAR TEST C _u (Yoğrulmuş) (kg/cm ²)	C _u (Tabii) (kg/cm ²)
ASK-10		6.60									
		6.50									
		5.50									
		5.10									
		5.00									
		4.50									
		4.00									
		3.90									
		3.50									
		3.10									
		3.00									
		2.90									
		2.70									
		2.60	63.40	29.90	33.5	29.70	1.01		CH	0.09	0.69
		2.50									
		2.30									
		2.00									
		1.50									
		1.30									
		1.10									
		1.00									
		0.50									
		0.10									
		0.00									
		-0.40	57.2	21.4	35.80	28.4	0.80		CH-MH	0.23	0.56
		-0.50									
		-1.00									
		-1.30									
		-2.50									
		-2.70									
		-2.90									
		-3.00									
		-3.30									
		-3.40	41.1	17.2	23.90	40.2	0.04		CH	0.12	0.28
		-3.50									
		-3.90									
		-4.10									
		-4.50									
		-5.00									
		-5.40									
		-5.50									
		-6.00									
		-6.50									
		-6.90									
		-7.40									
		-7.50									
		-8.00									
		-8.30									
		-8.80									
		-8.90									
		-9.00									
		-9.40									
		-9.50									
		-9.70									
		-10.00									
		-10.50									
		-11.00									
		-11.10									
		-11.30									
		-11.50									
		-11.90									
		-12.00									
		-12.30									
		-12.40									
		-12.50									
		-12.70									
		-12.90									
		-13.40									
		-13.50									
		-13.80									
		-13.90									
		-15.00									
		-15.30									
		-15.50									
		-15.70									
		-16.50									
		-16.70									
		-17.00									
		-17.50									
		-17.90									
		-18.00									
		-18.10									
		-18.40									
		-18.50									
		-19.00									
		-19.50									
		-20.00									
		-20.90									
		-21.50									
		-22.00									
		-22.30									
		-22.50									
		-23.00									
		-23.50									
		-26.00									



Tablo 2.8. Alibey Barajı Temel Zemini Laboratuar ve Arazi Deney Sonuçları

ALİBEY BARAJI
BARAJ TEMELİ LABORATUAR SONUÇLARI

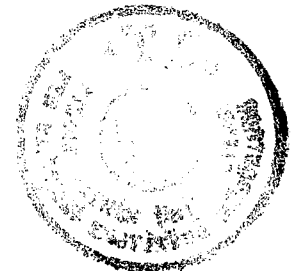
ATTERBERG LİMİTLERİ VE TABİİ SU MUHTEVASI									VANE SHEAR TEST			
Sondaj No	Numune No	Derinlik (Kot) (m)	WL (%)	Wp (%)	Ip (%)	Wn (%)	K=(WL-Wn)/Ip (%)	gn (t/m3)	Zemin Sınıfı	Cu (Yoğunluk) (kg/cm2)	Cu (Tabii) (kg/cm2)	
ASK-12		6.60										
		6.50										
		5.50										
		5.10										
		5.00										
		4.50										
		4.00										
		3.90										
		3.50										
		3.10										
		3.00										
		2.90										
		2.70										
		2.60										
		2.50										
		2.30										
		2.00	54.30	24.90	29.4	38.40	0.54			CH		
		1.50										
		1.30										
		1.10										
		1.00										
		0.50										
		0.10										
		0.00									0.18	0.38
		-0.40										
		-0.50										
		-1.00	34.9	18	16.90	34.2	0.04			CL		
		-1.30										
		-2.50										
		-2.70										
		-2.90										
		-3.00										
		-3.30										
		-3.40										
		-3.50										
		-3.90										
		-4.10										
		-4.50										
		-5.00										
		-5.40										
		-5.50										
		-6.00										
		-6.50									0.32	0.63
		-6.90										
		-7.40										
		-7.50										
		-8.00										
		-8.30										
		-8.80										
		-8.90										
	-9.00											
	-9.40											
	-9.50											
	-9.70											
	-10.00											
	-10.50											
	-11.00											
	-11.10											
	-11.30											
	-11.50											
	-11.90											
	-12.00											
	-12.30											
	-12.40											
	-12.50											
	-12.70											
	-12.90											
	-13.40											
	-13.50											
	-13.80											
	-13.90											
	-15.00											
	-15.30											
	-15.50											
	-15.70											
	-16.50											
	-16.70											
	-17.00											
	-17.50											
	-17.90											
	-18.00											
	-18.10											
	-18.40											
	-18.50											
	-19.00									0.34	0.73	
	-19.50											
	-20.00	56.1	26.9	29.20	43	0.45						
	-20.90											
	-21.50											
	-22.00											
	-22.30	53.6	25.4	28.20	42.6	0.39			CL-CH	0.13	0.50	
	-22.50											
	-23.00											
	-23.50											
	-24.00											



Tablo 2.9. Alibey Barajı Temel Zemini Laboratuar ve Arazi Deney Sonuçları

ALIBEY BARAJI
BARAJ TEMELİ LABORATUAR SONUÇLARI

ATTERBERG LİMITLERİ VE TABİİ SU MUHTEVASI									
Sondaj No	Numune No	Derinlik (Kot) (m)	WL (%)	Wp (%)	Ip (%)	Ws (%)	K=(WL-Wp)/Ip (%)	gn (t/m3)	Zemin Sınıflı
VANE SHEAR TEST									
									Cu (Yoğunluk) (kg/cm2) Cu (Tabii) (kg/cm2)
VSK-1		6.60	20		0				
		6.30							
		5.50							
		5.10							
		5.00							
		4.50							
		4.00							
		3.90							
		3.50							
		3.10							
		3.00	28.80	17.50	11.3	20.10	0.77		CL - ML 0.23 0.58
		2.90							
		2.70							
		2.60							
		2.50							
		2.30							
		2.00							
		1.50	65.40	31.40	34.00	33.30	0.94		CH 0.12 0.41
		1.30							
		1.10							
		1.00							
		0.50							
		0.10							
		0.00	54.30	27.10	27.20	29.40	0.92		CH 0.31 0.43
		-0.40							
		-0.50							
		-1.00							
		-1.30	39.00	21.10	17.90	24.60	0.80		CL 0.17 0.41
		-2.50							
		-2.70	37.10	17.90	19.20	26.20	0.57		CL 0.12 0.25
		-2.90							
		-3.00							
		-3.30							
		-3.40							
		-3.50							
		-3.90							
		-4.10	68.20	27.90	40.30	41.10	0.67		CH 0.10 0.32
		-4.50							
		-5.00							
		-5.40							
		-5.50	47.20	26.60	20.60	39.30	0.38		CL 0.06 0.42
		-6.00							
		-6.50							
		-6.90	69.90	28.20	41.70	40.40	0.71		CH 0.05 0.43
		-7.40							
		-7.50							
		-8.00							
		-8.30							
		-8.80	69.20	27.40	41.80	39.60	0.71		CH 0.09 0.35
		-8.90							
		-9.00							
		-9.40							
		-9.50							
		-9.70	55.40	18.00	37.40	32.40	0.61		CH 0.06 0.38
		-10.00							
		-10.50							
		-11.00	77.20	27.10	50.10	65.20	0.24		CH 0.06 0.47
		-11.10							
		-11.30							
		-11.50							
		-11.90							
		-12.00							
		-12.30							
		-12.40							
		-12.50	80.20	30.00	50.20	63.30	0.34		CH 0.10 0.48
		-12.70							
		-12.90							
		-13.40							
		-13.50							
		-13.80							
		-13.90	65.50	28.80	36.70	48.50	0.46		CH 0.12 0.35
		-15.00							
		-15.30							
		-15.50	52.20	25.70	26.50	39.00	0.50		CH 0.12 0.33 0.45
		-15.70							
		-16.50							
		-16.70							
		-17.00	58.90	29.3	29.60	45.30	0.46		CH 0.21 0.44 0.71
		-17.50							
		-17.90							
		-18.00							
		-18.10							
		-18.40							
		-18.50							
		-19.00							
		-19.50							
		-20.00							
		-20.90							
		-21.50							
		-22.00							
		-22.30							
		-22.50							
		-23.00	31.10	19.7	11.40	16.1	1.32		CL 1.06
		-23.50							
		-26.00	100		58.4				



Tablo 2.10. Alibey Barajı Temel Zemin Laboratuvar ve Arazi Deney Sonuçları

ALİBEY BARAJI
BARAJ TEMELİ LABORATUAR SONUÇLARI

ATTENBERG LİMITLERİ VE TABİİ SU MUHTEVASI

Sondaj No	Numune No	Derinlik (Kot) (m)	WL (%)	Wp (%)	Ip (%)	Wa (%)	K=(WL-Wp)/Ip (%)	gn (t/m3)	Zemin Sınıfı	VANE SHEAR TEST Cu (Yoğrulmuş) (kg/cm2)	Cu (Tabii) (kg/cm2)
VSK-2		6.60									
		6.50									
		5.50									
		5.10									
		5.00									
		4.50									
		4.00									
		3.90									
		3.50									
		3.10									
		3.00	29.60	15.60	14	24.00	0.40		CL	0.11	0.48
		2.90									
		2.70									
		2.60									
		2.50									
		2.30									
		2.00									
		1.50	23.30	18.60	6.70	20.00	0.79		CL-ML	0.11	0.58
		1.30									
		1.10									
		1.00									
		0.50									
		0.10									
		0.00	22.90	16.40	6.50	18.00	0.75		CL-ML	0.14	0.74
		-0.40									
		-0.50									
		-1.00									
		-1.30	20.20	14.50	5.70	19.90	0.05		CL-ML	0.19	0.48
		-2.50									
		-2.70	76.50	41.30	35.20	43.60	0.93		CH-MH	0.21	0.46
		-2.90									
		-3.00									
		-3.30									
		-3.40									
		-3.50									
		-3.90									
		-4.10	57.10	41.00	16.10	45.30	0.73		MH	0.19	0.68
		-4.50									
		-5.00									
		-5.40									
		-5.50	42.30	36.90	5.40	30.70	2.15		ML	0.18	0.97
		-6.00									
		-6.50									
		-6.90				35.20				0.12	0.94
		-7.40									
		-7.50									
		-8.00									
		-8.30									
		-8.60									
		-8.90									
		-9.00									
		-9.40									
		-9.50									
		-9.70									
		-10.00									
		-10.50									
		-11.00									
		-11.10									
		-11.30									
		-11.50									
		-11.90									
		-12.00									
		-12.30									
		-12.40									
		-12.50									
		-12.70									
		-12.90									
		-13.40									
		-13.50									
		-13.80									
		-13.90									
		-15.00									
		-15.30									
		-15.50									
		-15.70									
		-16.50									
		-16.70									
		-17.00									
		-17.50									
		-17.90									
		-18.00									
		-18.10									
		-18.40									
		-18.50									
		-19.00									
		-19.50									
		-20.00									
		-20.90									
		-21.50									
		-22.00									
		-22.30									
		-22.50									
		-23.00									
		-23.50									
		-26.00									



Tablo 2.11. Alibey Barajı Temel Zemini Laboratuar ve Arazi Deney Sonuçları

ALİBEY BARAJI BARAJ TEMELİ LABORATUAR SONUÇLARI											
ATTERBERG LİMİTLERİ VE TABİİ SU MUHTEVASI											
Sondaj No	Numune No	Derinlik (Kot) (m)	WL (%)	Wp (%)	Ip (%)	Wn (%)	K=(WL-Wn)/Ip (%)	gn (t/m3)	Zemin Sınıfı	Cu (Yoğunluğu) (kg/cm2)	Cu (Tabii) (kg/cm2)
VSK-3		6.60									
		6.50									
		5.50									
		5.10									
		5.00									
		4.50									
		4.00									
		3.90									
		3.50									
		3.10									
		3.00									
		2.90									
		2.70									
		2.60									
		2.50	60.30	32.50	27.8	29.80	1.10		CH	0.17	0.55
		2.30									
		2.00									
		1.50									
		1.30									
		1.10									
		1.00	61.40	24.60	36.80	40.90	0.56		CH	0.11	0.28
		0.50								0.04	0.31
		0.10									
		0.00	57.60	20.20	37.40	33.70	0.64		CH	0.28	0.57
		-0.40									
		-0.50									
		-1.00									
		-1.30	42.00	22.30	19.70	28.00	0.71		CL	0.23	0.55
		-2.50									
		-2.70	33.50	18.30	15.20	28.10	0.36		CL	0.22	0.43
		-2.90									
		-3.00									
		-3.30									
		-3.40									
		-3.50									
		-3.90									
		-4.10	74.40	33.40	41.00	47.80	0.65		CH	0.08	0.43
		-4.50									
		-5.00									
		-5.40									
		-5.50	58.40	23.20	35.20	44.70	0.39		CH	0.19	0.37
		-6.00									
		-6.50									
		-6.90	71.60	33.80	37.80	56.90	0.39		CH	0.12	0.38
		-7.40									
		-7.50									
		-8.00									
		-8.30	60.80	22.80	38.00	48.00	0.34		CH	0.06	0.39
		-8.80									
		-8.90									
		-9.00									
		-9.40									
		-9.50									
		-9.70	75.70	30.50	45.20	49.50	0.58		CH	0.03	0.38
		-10.00									
		-10.50									
		-11.00									
		-11.10									
		-11.30									
		-11.50	90.60	23.20	67.40	71.20	0.29		CH	0.12	0.42
		-11.90									
		-12.00									
		-12.30									
		-12.40									
		-12.50	84.20	38.20	46.00	65.30	0.41		CH	0.05	0.43
		-12.70									
		-12.90									
		-13.40									
		-13.50									
		-13.80									
		-13.90	78.60	33.40	45.20	52.60	0.58		CH	0.18	0.53
		-15.00									
		-15.30									
		-15.50	74.70	26.90	47.80	49.50	0.53		CH	0.24	0.56
		-15.70									
		-16.50									
		-16.70	49.20	27.20	22.00	38.70	0.48		CL-CH	0.10	0.50
		-17.00									
		-17.50									
		-17.90									
		-18.00									
		-18.10									
		-18.40									
		-18.50									
		-19.00									
		-19.50	74.70	26.8	47.90	58.00	0.35		CH	0.17	0.65
		-20.00									
		-20.90	82.20	37.8	44.40	41.8	0.91		CH		1.10
		-21.50									
		-22.00									
		-22.30									
		-22.50									
		-23.00									
		-23.50									
		-26.00									



Tablo 2.12. Alibey Barajı Temel Zemini Laboratuar ve Arazi Deney Sonuçları

ALIBEY BARAJI
BARAJ TEMELİ LABORATUAR SONUÇLARI

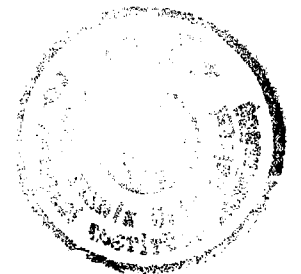
ATTERBERG LİMİTLERİ VE TABİİ SU MUHTEVASI										VANE SHEAR TEST	
Sondaj No	Numune No	Derinlik (Kot) (m)	WL (%)	Wp (%)	Ip (%)	Wu (%)	K=(WL-Wp)/Ip (%)	gn (t/m3)	Zemin Sınıfı	Cu (Yegruhuş) (kg/cm2)	Cu (Tabii) (kg/cm2)
VSK-4		6.60									
		6.50									
		5.50									
		5.10									
		5.00									
		4.50									
		4.00									
		3.90									
		3.50									
		3.10									
		3.00									
		2.90									
		2.70									
		2.60									
		2.50									
		2.30	59.00	18.90	40.1	18.00	1.02		CH	0.32	0.81
		2.00									
		1.50									
		1.30	50.20	17.90	32.30	32.50	0.55		CH	0.16	0.63
		1.10									
		1.00									
		0.50									
		0.10									
		0.00	70.00	16.00	54.00	50.90	0.35		CH	0.08	0.65
		-0.40									
		-0.50									
		-1.00									
		-1.30	44.00	18.80	25.20	33.00	0.44		CL	0.15	0.38
		-2.50									
		-2.70				38.00			CL	0.05	0.38
		-2.90									
		-3.00									
		-3.30									
		-3.40									
		-3.50									
		-3.90									
		-4.10									
		-4.50									
		-5.00									
		-5.40									
		-5.50									
		-6.00									
		-6.50									
		-6.90									
		-7.40									
		-7.50									
		-8.00									
		-8.30									
		-8.60									
		-8.90									
		-9.00									
		-9.40									
		-9.50									
		-9.70									
		-10.00									
		-10.50									
		-11.00									
		-11.10				43.70				1.30	
		-11.30									
		-11.50									
		-11.90									
		-12.00								0.08	0.40
		-12.30									
		-12.40									
		-12.50								0.11	0.62
		-12.70									
		-12.90									
		-13.40									
		-13.50									
		-13.80									
		-13.90									
		-15.00									
		-15.30									
		-15.50									
		-15.70	43.40	26.30	17.10	34.10	0.54		CL	0.17	0.48
		-16.50									
		-16.70	45.40	16.00	29.40	35.80	0.33		CL	0.10	0.43
		-17.00									
		-17.50									
		-17.90									
		-18.00									
		-18.10									
		-18.40									
		-18.50									
		-19.00									
		-19.50									
		-20.00									
		-20.90									
		-21.50									
		-22.00									
		-22.30									
		-22.50									
		-23.00									
		-23.50									
		-26.00									



Tablo 2.13. Alibey Barajı Temel Zemini Laboratuar ve Arazi Deney Sonuçları

ALİBEY BARAJI
BARAJ TEMELİ LABORATUAR SONUÇLARI

Sondaj No	Numune No	Derinlik (Kot) (m)	ATTERBERG LİMİTLERİ VE TABİİ SU MUHTEVASI				K _p =(WL-W _n)/I _p (%)	g _n (t/m ³)	Zemin Sınıfı	VANE SHEAR TEST	
			WL (%)	W _p (%)	I _p (%)	W _n (%)				Cu (Yoğrulmuş) (kg/cm ²)	Cu (Tabii) (kg/cm ²)
VSK-5		6.60									
		6.50									
		5.50									
		5.10									
		5.00									
		4.50									
		4.00									
		3.90									
		3.50									
		3.10									
		3.00									
		2.90									
		2.70	62.40	17.70	44.7	42.90	0.44			0.16	0.48
		2.60									
		2.50									
		2.30									
		2.00									
		1.50									
		1.30	51.80	18.90	32.90	39.50	0.37			0.07	0.33
		1.10									
		1.00									
		0.50									
		0.10									
		0.00	43.00	17.30	25.70	32.70	0.40			0.19	0.37
		-0.40									
		-0.50									
		-1.00									
		-1.30	56.10	18.50	37.60	26.20	0.80		CH	0.36	0.7
		-2.50									
		-2.70									
		-2.90									
		-3.00									
		-3.30	41.30	14.00	27.30	28.30	0.48		CL	0.23	0.64
		-3.40									
		-3.50									
		-3.90									
		-4.10	56.50	16.50	40.00	42.80	0.34		CH	0.16	0.49
		-4.50									
		-5.00									
		-5.40									
		-5.50	55.20	15.30	39.90	45.20	0.25		CH	0.09	0.49
		-6.00									
		-6.50	53.90	14.80	39.10	45.00	0.23		CH	0.08	0.36
		-6.90									
		-7.40									
		-7.50									
		-8.00									
		-8.30									
		-8.80	68.00	17.90	50.10	54.00	0.28		CH	0.04	0.42
		-8.90									
		-9.00									
		-9.40									
		-9.50									
		-9.70	71.20	21.80	49.40	60.30	0.22		CH	0.07	0.59
		-10.00									
		-10.50									
		-11.00									
		-11.10									
		-11.30	73.00	27.00	46.00	64.30	0.19		CH	0.07	0.48
		-11.50									
		-11.90									
		-12.00									
		-12.30									
		-12.40									
		-12.50	64.60	15.30	49.30	39.30	0.51		CH	0.10	0.36
		-12.70									
		-12.90									
		-13.40									
		-13.50									
		-13.80									
		-13.90	59.70	15.50	44.20	39.60	0.45		CH	0.47	0.88
		-15.00									
		-15.30	44.20	19.40	24.80	39.90	0.17		CL	0.15	0.68
		-15.50									
		-15.70									
		-16.50									
		-16.70	47.40	17.60	29.80	33.20	0.48		CL	0.19	0.45
		-17.00									
		-17.50									
		-17.90									
		-18.00									
		-18.10				29.50				0.22	0.84
		-18.40									
		-18.50									
		-19.00									
		-19.50									
		-20.00									
		-20.90									
		-21.50									
		-22.00									
		-22.30									
		-22.50									
		-23.00									
		-23.50									
		-26.00									



Tablo 2.14. Alibey Barajı Temel Zemini Laboratuar ve Arazi Deney Sonuçları

ALİBEY BARAJI
BARAJ TEMELİ LABORATUAR SONUÇLARI

ATTENBERG LİMITLERİ VE TABİİ SU MUHTEVASI										VANE SHEAR TEST	
Sondaj No	Numune No	Derinlik (Kot) (m)	WL (%)	Wp (%)	Ip (%)	Wn (%)	K=(WL-Wn)/Ip (%)	gn (t/m3)	Zemin Sınıfı	Cu (Yoğunluk) (kg/cm2)	Cu (Tabii) (kg/cm2)
VSK-6		6.60									
		6.50									
		5.50									
		5.10									
		5.00									
		4.50									
		4.00									
		3.90	60.10	17.50	42.6	34.50	0.60		CH	0.13	0.70
		3.50									
		3.10									
		3.00									
		2.90									
		2.70									
		2.60									
		2.50									
		2.30									
		2.00	51.80	19.10	32.70	34.70	0.52		CH	0.16	0.28
		1.50									
		1.30									
		1.10									
		1.00									
		0.50									
		0.10	34.30	14.20	20.10	31.40	0.14		CL	0.04	0.27
		0.00									
		-0.40									
		-0.50									
		-1.00									
		-1.30	56.50	18.70	37.60	44.10	0.33		CL	0.11	0.32
		-2.50									
		-2.70								0.33	0.93
		-2.90									
		-3.00									
		-3.30									
		-3.40									
		-3.50									
		-3.90									
		-4.10									
		-4.50									
		-5.00									
		-5.40									
		-5.50									
		-6.00									
		-6.50									
		-6.90									
		-7.40									
		-7.50									
		-8.00									
		-8.30									
		-8.60									
		-8.90									
		-9.00									
		-9.40									
		-9.50									
		-9.70								0.23	0.87
		-10.00									
		-10.50									
		-11.00									
		-11.10									
		-11.30	38.40	13.10	25.30	39.00	-0.02		CL	0.19	0.44
		-11.50									
		-11.90									
		-12.00									
		-12.30									
		-12.40									
		-12.50									
		-12.70									
		-12.90				42.40				0.35	0.62
		-13.40									
		-13.50									
		-13.80								0.14	0.67
		-13.90									
		-15.00								0.28	0.50
		-15.30									
		-15.50									
		-15.70									
		-16.50									
		-16.70	46.00	17.00	29.00	35.90	0.35		CL	0.08	0.49
		-17.00									
		-17.50									
		-17.90									
		-18.00									
		-18.10	45.60	15.80	29.80	39.60	0.20		CL	0.21	0.51
		-18.40									
		-18.50									
		-19.00								0.10	0.55
		-19.50									
		-20.00									
		-20.90									
		-21.50									
		-22.00									
		-22.30									
		-22.50									
		-23.00									
		-23.50									
		-26.00									



BÖLÜM 3

3. KONSOLİDASYON TEORİSİ

Bir zemin tabakası (bir yapının inşaatı esnasındaki gibi) basınç gerilmesine maruz bırakıldığı zaman belli bir miktar sıkışma sergiler. Bu sıkışma zemin danelerinin tekrar düzenlenmesi veya boşluk suyu ve/veya boşluk havasının dışarı çıkmasını içeren birkaç yolla meydana gelir. Terzaghi (1943) ye göre doymuş zeminin su muhtevasının, suyun hava ile yer değiştirmeksizin azalmasına konsolidasyon işlemi denir. " Düşük permeabilite katsayılı doymuş killi zeminler bir temel yüklemesinden dolayı basınç gerilmesi uygulandığı zaman boşluk suyu basıncı hemen artacaktır; ancak, zeminin düşük permeabilitesinden dolayı yükün uygulanması ile boşluk suyunun sönmülmesi ile oturma arasında bir zaman aralığı olacaktır.

3.1. Konsolidasyon Esasları

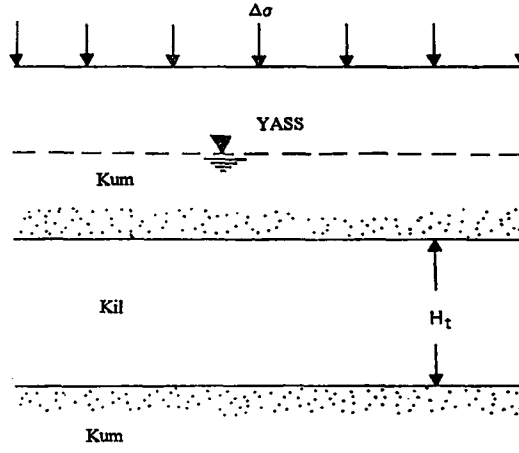
3.1.1. Bir Boyutlu Konsolidasyonun Genel Kavramları

Konsolidasyonun temel kavramını anlamak için Şekil 3.1 'de görüldüğü gibi yüksek permeabilite iki kum tabakası arasında ve yeraltı su seviyesinin altında H_1 kalınlıklı bir kil tabakası gözönüne alalım. $\Delta\sigma$ şiddetindeki bir sürsaj yükü çok geniş bir alan üzerinde zemin yüzeyinde uygulanırsa, kil tabakasındaki boşluk suyu basıncı artacaktır.

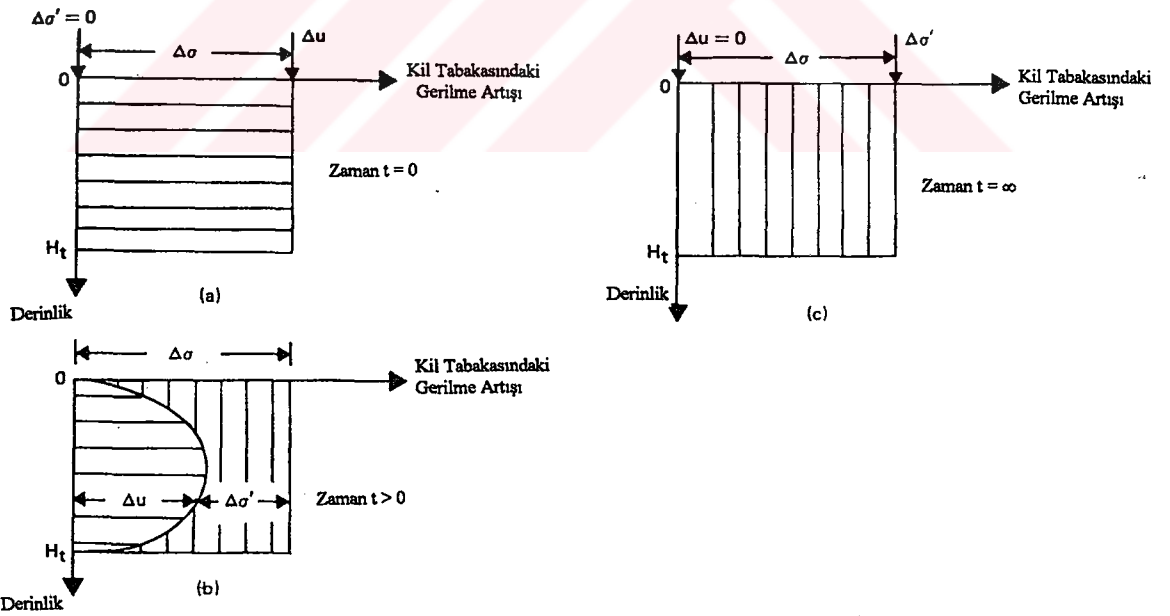
Sonsuz genişlikteki bir sürsaj için (kil tabakasının bütün derinliklerindeki) boşluk suyu basıncındaki ani artış Δu , $\Delta\sigma$ toplam gerilmenin artışına eşit olacaktır. Böylece sürsaj uygulamasından hemen sonra $\Delta u = \Delta\sigma$ olur.

Toplam gerilme, kil tabakasının bütün derinliklerinde boşluk suyu basıncı ve efektif gerilmenin toplamına eşit olduğu için sürsajdan dolayı efektif gerilmenin artışı yük uygulamadan hemen sonra sıfıra eşit olacaktır. (yani $\Delta\sigma' = 0$, burada $\Delta\sigma'$ efektif gerilmenin artışıdır.) Diğer bir deyişle $t=0$ zamanında kil tabakasını her derinliklerdeki bütün gerilme artışları zemin iskeleti tarafından değil boşluk suyu basıncı tarafından alınır.





Şekil 3.1. Zemin kesiti



Şekil 3.2. Sürsaj altında kil tabakasındaki efektif gerilme ve boşluk suyu basıncının değişimi



Bu Şekil 3.2.a 'da görülmektedir. (Belirtilmelidir ki sınırlı bir alan üzerinde uygulanan yükler için boşluk suyu basıncının artması $t=0$ zamanında herhangi bir derinlikteki düşey gerilmenin artışına eşit olması doğru olmayabilir.)

Sürsajın uygulanmasından sonra (yani $t>0$ zamanında), kil tabakasının boşluklarındaki su dışarı doğru sızacaktır ve her iki yüksek permeabiliteli kum tabakalarına doğru akacaktır, bu nedenle artık boşluk suyu basıncı azalacaktır. Bu, sıra ile, $\Delta\sigma' + \Delta u = \Delta\sigma$ olduğu için efektif gerilmeyi eşit miktarda artıracaktır. Böylece $t>0$ zamanında, $\Delta\sigma' > 0$ ve $\Delta u < \Delta\sigma$ olur. Bu gerçek Şekil 3.2.b 'de görülmektedir.

Teorik olarak $t=\infty$ 'da kil tabakasının bütün derinliklerdeki artık boşluk suyu basıncı kademeli drenajla dağıtılacaktır. Böylece $t=\infty$ 'da $\Delta\sigma' = \Delta\sigma$ ve $\Delta u = 0$ olur.

Bu gerçek Şekil 3.2.c 'de görülmektedir.

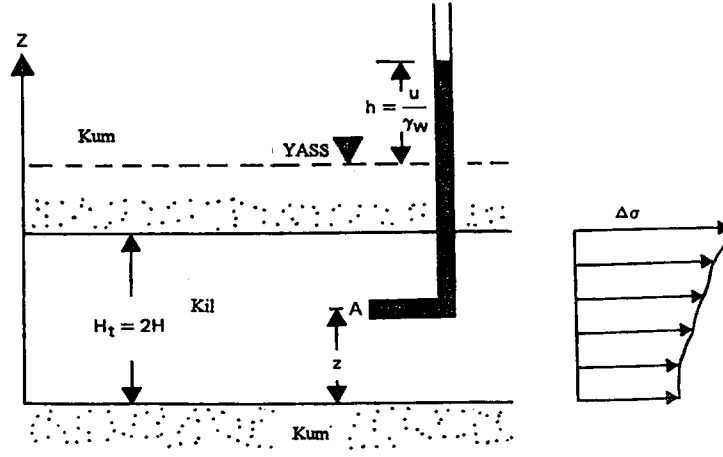
Sürsajdan dolayı kil tabakasındaki efektif gerilmenin kademeli artış işlemi konsolidasyon işlemi olarak adlandırılan ve zamana bağlı bir oturma ile sonuçlanır.

3.1.2. Bir Boyutlu Konsolidasyon Teorisi

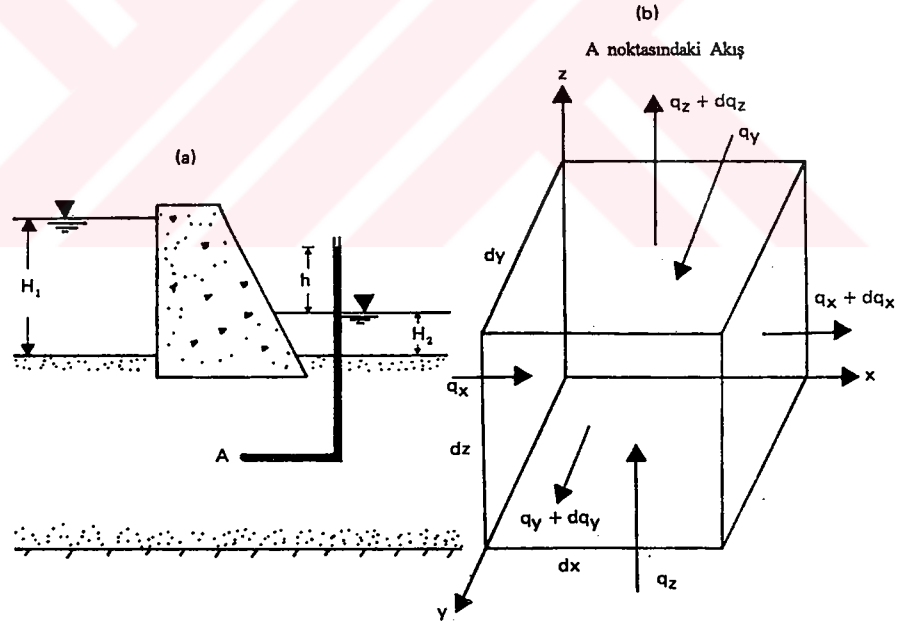
Bir boyutlu konsolidasyonun zamana bağlı hızı için teori ilk önce Terzaghi (1925) tarafından önerilmiştir. Matematiksel denklemlerin çıkarılmasının altında yatan kabuller aşağıdaki gibidir:

1. Kil tabakası homojendir
2. Kil tabakası suya doygunudur
3. Zemin tabakasının sıkışması sadece, suyun boşluklardan dışarı sızması nedenine bağlı olan, hacimdeki değişimden dolayıdır
4. Darcy kanunu geçerlidir
5. Zeminin yerdeğiştirmesi sadece uygulama yükü doğrultusunda meydana gelir
6. C_v konsolidasyon katsayısı konsolidasyon süresince sabittir.





Şekil 3.3. Konsolidasyona maruz kil tabakasının kesiti



Şekil 3.4. Elemanter zemin prizması üzerinde süreklilik denklemlerinin çıkarımı



Yukarıdaki kabullerle Şekil 3.3'de görüldüğü gibi H_1 kalınlıklı bir kil tabakası gözönüne alalım. Kil tabakası yüksek permeabiliteli iki kum tabakası arasına yerleşmiş olsun . Kile $\Delta\sigma$ artan düşey basıncı uygulandığı zaman herhangi bir A noktasındaki boşluk suyu basıncı u ile artacaktır.

Birçok pratik durumlarda zemin içindeki suyun akım biçimi ortam boyunca hız ve hidrolik eğimin değişimi ile tanımlanır. Bu problemler için akım ağları olarak adlandırılan grafikler kullanılarak akım hesapları yapılır. Akım ağı kavramı, zemin kütlesinin verilen bir noktası için durgun akım şartını tanımlayan Laplace denkleminin sürekliliğine dayanır.

Akımın süreklilik denklemini çıkarmak için Şekil 3.4 .a 'da görülen hidrolik yapının A noktasındaki bir $dx.dy.dz$ hacimli elemanter zemin prizmasını (Şekil 3.4 .b) ele alalım.

x , y ve z doğrultularında zemin prizmasına giren akımlar Darcy kanunundan,

$$q_x = k_x i_x A_x = k_x \frac{\partial h}{\partial x} dy dz \quad (3.1)$$

$$q_y = k_y i_y A_y = k_y \frac{\partial h}{\partial y} dx dz \quad (3.2)$$

$$q_z = k_z i_z A_z = k_z \frac{\partial h}{\partial z} dx dy \quad (3.3)$$

olarak verilebilir, burada

$q_x, q_y, q_z = x, y$ ve z doğrultularında giren akımlar

$k_x, k_y, k_z = x, y$ ve z doğrultularındaki permeabilite katsayıları

$h = A$ noktasındaki hidrolik yüküdür.

x, y ve z doğrultularında prizmadan çıkan akımlar



$$q_x + dq_x = k_x(i_x + di_x)A_x = k_x \left(\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} \right) dydz \quad (3.4)$$

$$q_y + dq_y = k_y \left(\frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \right) dx dz \quad (3.5)$$

$$q_z + dq_z = k_z \left(\frac{\partial h}{\partial z} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} \right) dx dy \quad (3.6)$$

biçimindedir.

Bir boyutlu konsolidasyon durumunda zemin elemanına giren ve çıkan su akışı sadece bir doğrultuda, z doğrultusundadır. Bunun anlamı Şekil 3.4 .b 'deki q_x , q_y , dq_x ve dq_y 'nin sıfıra eşit olması ve böylece zemin elemanına giren ve çıkan akımın hızı sıra ile eşitlik

$$q_z = k_z i_z A_z = k_z \frac{\partial h}{\partial z} dx dy \quad (3.3)$$

$$q_z + dq_z = k_z \left(\frac{\partial h}{\partial z} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} \right) dx dy \quad (3.6)$$

3.3 ve 3.6 ile verilebilir. Böylece,

$$(q_z + dq_z) - q_z = \frac{\partial V}{\partial t} (\text{Zemin elemanın hacim değişiminin hızı}) \quad (3.7)$$

burada,

$$V = dx dy dz \quad (3.8)$$



biçimindedir. Eşitlik 3.3 ve 3.6 'nın sağ tarafları eşitlik 3.7 'nin sol tarafına yerleştirilerek

$$k \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} dx dy dz = \frac{\partial V}{\partial t} \quad (3.9)$$

elde edilir. Burada k [eşitlik 3.3 ve 3.6 'daki k_z] permeabilite katsayısıdır. Bununla birlikte

$$h = \frac{u}{\gamma_w} \quad (3.10)$$

biçimindedir. Burada γ_w suyun birim hacim ağırlığıdır. Eşitlik 3.10 eşitlik 3.9 'de yerine konur ve düzenlenirse

$$\frac{k}{\gamma_w} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{1}{dx dy dz} \cdot \frac{\partial V}{\partial t} \quad (3.11)$$

elde edilir. Konsolidasyon süresince hacim değişiminin hızı boşluk hacminin değişim hızına eşittir. Bundan dolayı

$$\frac{\partial V}{\partial t} = \frac{\partial V_v}{\partial t} \quad (3.12)$$

burada V_v zemin elemanındaki boşluk hacmidir. Fakat

$$V_v = e \cdot V_s \quad (3.13)$$

burada V_s zemin elemanındaki zemin danelerinin hacmidir ve sabittir, e boşluk oranıdır. Dolayısıyla



$$\frac{\partial V}{\partial t} = V_s \frac{\partial e}{\partial t} = \frac{V}{1+e} \frac{\partial e}{\partial t} = \frac{dx dy dz}{1+e} \frac{\partial e}{\partial t} \quad (3.14)$$

Bu ilişkiyi eşitlik 3.11 'de yerine konulursa

$$\frac{k}{\gamma_w} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{1}{1+e} \frac{\partial e}{\partial t} \quad (3.15)$$

elde edilir.

∂e boşluk oranındaki değişim efektif gerilmenin artışına bağlıdır; bunların ilişkili olduğunu varsayarak

$$\partial e = -a_v \partial(\Delta \sigma') \quad (3.16)$$

yazılabilir, burada a_v deneysel olarak belirlenebilen sıkışabilirlik katsayısıdır. Efektif gerilmenin artışı artık boşluk suyu basıncının azalmasına bağlıdır $\partial \Delta \sigma' = -\partial u$. Bundan dolayı

$$\partial e = a_v \partial u \quad (3.17)$$

yazılır. Eşitlik 3.15 ve 3.17 birleştirilerek

$$\frac{k}{\gamma_w} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{a_v}{1+e} \frac{\partial u}{\partial t} = m_v \frac{\partial u}{\partial t} \quad (3.18)$$

burada



$$m_v = \frac{a_v}{1+e} = \text{hacımsal sıkışma katsayısıdır} \quad (3.19)$$

veya

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{k}{\gamma_w m_v} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = C_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (3.20)$$

yazılabilir , burada

$$C_v = \frac{k}{\gamma_w m_v} \quad \text{konsolidasyon katsayısıdır} \quad (3.21)$$

3.2. Konsolidasyon Denkleminin Çözümü

Eşitlik 3.20 Terzaghi 'nin konsolidasyon teorisinin temel difransiyel denklemdir ve uygun başlangıç ve sınır koşulları ile çözülebilir. Denklemi çözmek için u 'nun biri z 'nin fonksiyonu diğeri t 'nin fonksiyonu olan iki fonksiyonun çarpımı olarak farz edelim.

$$u = F(z)G(t) \quad (3.22)$$

Böylece

$$\frac{\partial u}{\partial t} = F(z) \frac{\partial}{\partial t} G(t) = F(z)G'(t) \quad (3.23)$$

ve

$$\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{\partial}{\partial z^2} F(z)G(t) = F''(z)G(t) \quad (3.24)$$



yazılabilir. Eşitlik 3.20, 3.23 ve 3.24 'den

$$F(z)G'(t) = C_v F''(z)G(t)$$

veya

$$\frac{F''(z)}{F(z)} = \frac{G'(t)}{C_v G(t)} \quad (3.25)$$

yazılabilir.

Eşitlik 3.25 'in sol tarafı sadece z 'nin fonksiyonu olup t 'den bağımsızdır. Eşitliğin sağ tarafı sadece t 'nin fonksiyonu olup z 'den bağımsızdır. Bundan dolayı bunlar, $-B^2$ gibi sabit sayıya eşit olmalıdır. Böylece

$$F''(z) = -B^2 F(z) \quad (3.26)$$

yazılabilir. Eşitlik 3.26 'nin çözümü

$$F(z) = A_1 \cos Bz + A_2 \sin Bz \quad (3.27)$$

gibi verilebilir, burada A_1 ve A_2 sabitlerdir.

Tekrar eşitlik 3.25 'in sağ tarafı

$$G'(t) = -B^2 C_v G(t) \quad (3.28)$$

gibi yazılabilir. Eşitlik 3.28 'in çözümü

$$G(t) = A_3 \exp(-B^2 C_v t) \quad (3.29)$$



gibi verilir, burada A_3 bir sabittir. Eşitlik 3.22 , 3.27 ve 3.29 birleştirilerek

$$\begin{aligned} u &= (A_1 \cos Bz + A_2 \sin Bz) A_3 \exp(-B^2 C_v t) \\ &= (A_4 \cos Bz + A_5 \sin Bz) \exp(-B^2 C_v t) \end{aligned} \quad (3.30)$$

yazılır, burada $A_4=A_1A_3$ ve $A_5=A_2A_3$ dir.

Eşitlik 3.30 'daki sabitler aşağıdaki gibi başlangıç ve sınır koşullarından çıkarılabilir:

1. $t=0$ zamanında, $u=u_i$ (herhangi bir derinlikteki başlangıç artık boşluk suyu basıncı)
2. $z=0$ 'da $u=0$
3. $z=H_t=2H$ 'da $u=0$

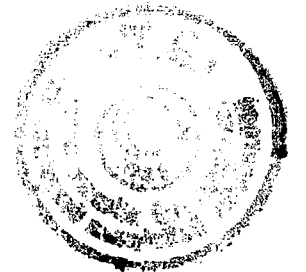
Burada H en uzun drenaj yolunun uzunluğudur. Buradaki kil tabakasının üst ve altındaki iki yönlü drenaj şartının geçerli olduğu durumda H , H_t kil tabakasının toplam kalınlığının yarısına eşittir.

İkinci sınır şartından $A_4=0$, üçüncü sınır şartından $A_5=\sin 2BH=0$ veya $2BH=n\pi$ elde edilir, burada n bir tam sayıdır. Buradan eşitlik 3.30 'un bir genel çözümü

$$u = \sum_{n=1}^{n=\infty} A_n \sin \frac{n\pi z}{2H} \exp\left(\frac{-n^2 \pi^2 T_v}{4}\right) \quad (3.31)$$

biçiminde verilebilir, burada T_v boyutsuz bir zaman faktörü olup $C_v t/H^2$ 'ye eşittir.

Birinci sınır koşulunu sağlamak için



$$u_i = \sum_{n=1}^{n=\infty} A_n \sin \frac{n\pi z}{2H} \quad (3.32)$$

gibi A_n katsayıları alınmalıdır. Eşitlik 3.32 bir Fourier sinüs serisi olup A_n terimleri

$$A_n = \frac{1}{H} \int_0^{2H} u_i \sin \frac{n\pi z}{2H} dz \quad (3.33)$$

biçiminde alınabilir. Eşitlik 3.31 ve 3.33 birleştirilerek

$$u = \sum_{n=1}^{n=\infty} \left(\frac{1}{H} \int_0^{2H} u_i \sin \frac{n\pi z}{2H} dz \right) \sin \frac{n\pi z}{2H} \exp \left(\frac{-n^2 \pi^2 T_v}{4} \right) \quad (3.34)$$

elde edilir.

İleride u_i kil tabakasının derinlik ile değişimi hakkında herhangi bir kabul yapılmayacaktır. u_i için mümkün olan birkaç değişim tipleri gözönüne alınmıştır.

3. 2.1. Derinlik Boyunca Sabit Boşluk Suyu Basıncı Dağılımı için Çözüm

Eğer u_i derinlik boyunca sabit olursa yani $u_i = u_0$ ise (Şekil 3.5) eşitlik 3.34 göre

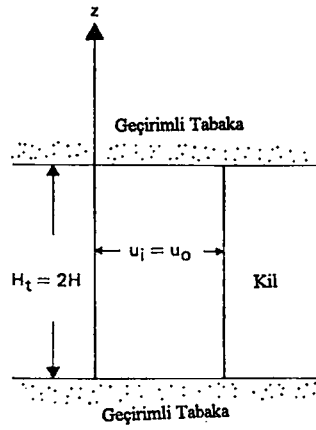
$$\frac{1}{H} \int_0^{2H} \underset{=u_0}{u_i} \sin \frac{n\pi z}{2H} dz = \frac{2u_0}{n\pi} (1 - \cos n\pi) \quad (3.35)$$

Dolayısıyla

$$u = \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{2u_0}{n\pi} (1 - \cos n\pi) \sin \frac{n\pi z}{2H} \exp \left(\frac{-n^2 \pi^2 T_v}{4} \right)$$

elde edilir.





Şekil 3.5. Derinlik boyunca sabit başlangıç artık boşluk suyu basıncı dağılımı (çift yönlü drenaj)

n 'in çift sayı olduğu durumlarda yukarıdaki denklemdeki $(1 - \cos n\pi)$ terimi sıfırdır, bundan dolayı u 'da sıfırdır. Sıfırdan farklı terimler için $(n=2m+1)$ koymak uygundur, burada m bir tamsayıdır. Böylece eşitlik 3.35

$$u = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2u_0}{(2m+1)\pi} [1 - \cos(2m+1)\pi] \sin \frac{(2m+1)\pi z}{2H} \exp \left[\frac{-(2m+1)^2 \pi^2 T_v}{4} \right] \quad (3.36)$$

veya

$$u = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2u_0}{M} \sin \frac{Mz}{H} \exp(-M^2 T_v)$$

biçiminde okunur, burada $M=(2m+1)\pi/2$ dir. Verilen bir zamanda herhangi bir z derinliğindeki konsolidasyon derecesi

$$U_z = \frac{\text{Sönümlenen boşluk suyu basıncı}}{\text{Başlangıç boşluk suyu basıncı}} = \frac{u_i - u}{u_i} = 1 - \frac{u}{u_i} = \frac{\sigma'}{u_i} = \frac{\sigma'}{u_0} \quad (3.37)$$

burada σ' konsolidasyondan dolayı z derinliğindeki efektif gerilme artışıdır. Eşitlik 3.36 ve 3.37 'den



$$U_z = 1 - \sum_{m=0}^{m=\infty} \frac{2}{M} \sin \frac{Mz}{H} \exp(-M^2 T_v) \quad (3.38)$$

elde edilir. Şekil 3.6 boyutsuz T_v zaman faktörünün çeşitli değerleri için U_z 'nin derinlikle değişimini gösterir; bu eğrilere izokronlar denir.

Birçok durumda, bununla beraber, bütün bir tabaka için ortalama konsolidasyon derecesini elde etmek gerekir. Bu

$$U_{av} = \frac{(1/H_t) \int_0^{H_t} u_i dz - (1/H_t) \int_0^{H_t} u dz}{(1/H_t) \int_0^{H_t} u_i dz} \quad (3.39)$$

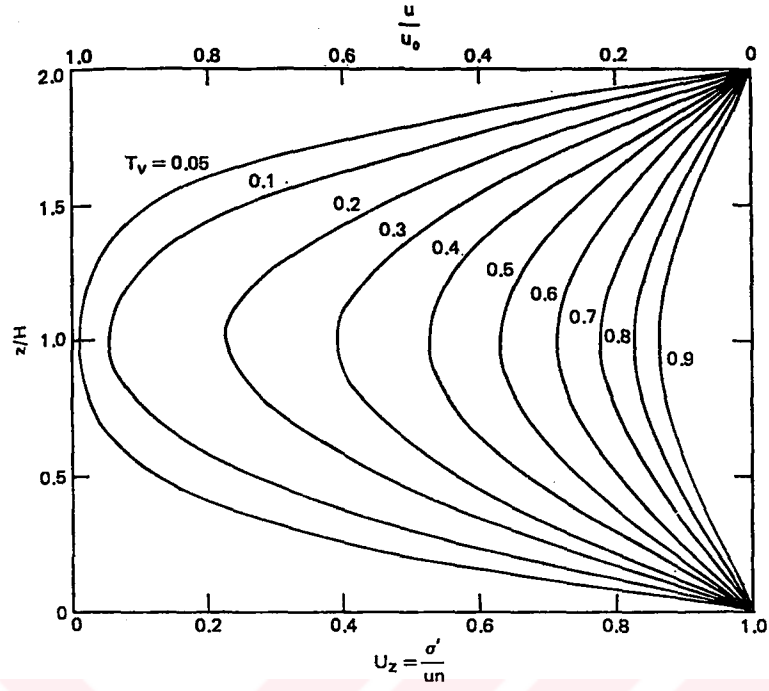
ile verilir. Ortalama konsolidasyon derecesi herhangi bir zamandaki konsolidasyon oturmasının maksimum konsolidasyon oturmasına oranıdır. Bu durumda $H_t=2H$ ve $u_i=u_0$ olduğu unutulmamalıdır. Eşitlik 3.36 ve 3.39 birleştirilerek

$$U_{av} = 1 - \sum_{m=0}^{m=\infty} \frac{2}{M^2} \exp(-M^2 T_v) \quad (3.40)$$

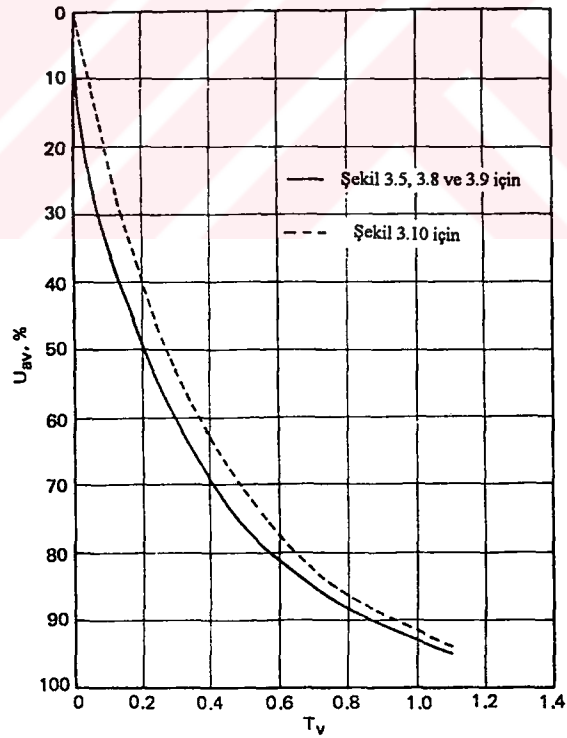
elde edilir. Şekil 3.6 ortalama U_{av} 'nin T_v ile değişimini gösterir. (Tablo 3.1 ' e bkz.)

Tablo 3.1. U_{av} ile T_v arasındaki değişim

U_{av} (%)	T_v (%)	U_{av} (%)	T_v (%)
0	0.0000	60	0.287
10	0.008	65	0.342
20	0.031	70	0.403
30	0.071	75	0.478
35	0.096	80	0.567
40	0.126	85	0.684
45	0.159	90	0.848
50	0.197	95	1.127
55	0.238	100	∞



Şekil 3.6. U_z 'nin z/H ve T_v ile değişimi



Şekil 3.7. Ortalama konsolidasyon derecesinin değişim grafiği
(Şekil 3.5 , 3.8, 3.9 ve 3.10 'da verilen koşullar için)



Terzaghi U_{av} için eşitlik 3.40 'den elde edilen değerlere yakınsaması için aşağıdaki denklemleri önerir.

$$U_{av} = \%0 \text{ ile } \%53 \text{ arası: } T_v = \frac{\pi}{4} \left(\frac{\%U}{100} \right)^2 \quad (3.41)$$

$$U_{av} = \%53 \text{ ile } \%100 \text{ arası: } T_v = 1.781 - 0.933 [\log(100 - \%U)] \quad (3.42)$$

Sivaram and Swamee (1977) $\%0 - \%100$ arasında değişen U_{av} için aşağıdaki denklemi vermiştir.

$$\frac{\%U_{av}}{100} = \frac{(4T_v/\pi)^{0.5}}{\left[1 + (4T_v/\pi)^{2.8}\right]^{0.179}} \quad (3.43)$$

veya

$$T_v = \frac{(\pi/4)(\%U_{av}/100)^2}{\left[1 - (\%U_{av}/100)^{5.6}\right]^{0.357}} \quad (3.44)$$

biçimindedir. Eşitlik 3.43 ve 3.44 T_v 'de $\%0 < U_{av} < \%90$ için $\%1$ den daha az $\%90 < U_{av} < \%100$ için $\%3$ 'den daha az bir hata verir.

Şekil 3.8 a ve b 'de görüldüğü gibi tek yönlü drenaj durumlarında eşitlik 3.40 'ın bu durumda da geçerli olduğu belirtilmelidir. Bununla beraber drenaj boyunun uzunluğu kil tabakasının toplam kalınlığına eşittir.



3.2.2. Başlangıç Boşluk Suyu Basıncının Lineer Değişimi için Çözüm

Şekil 3.9 'de görüldüğü gibi başlangıç boşluk suyu basıncının lineer değişimi

$$u_i = u_1 - u_2 \frac{H - z}{H} \quad (3.45)$$

olarak yazılabilir. u_i 'nin bu ilişkisine eşitlik 3.44 'de yerine konmasıyla

$$u = \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{1}{H} \int_0^H \left(u_1 - u_2 \frac{H - z}{H} \right) \sin \frac{n\pi z}{2H} dz \right] \sin \frac{n\pi z}{2H} \exp \left(\frac{-n^2 \pi^2 T_v}{4} \right) \quad (3.46)$$

elde edilir. Ortalama konsolidasyon derecesi eşitlik 3.46 ve 3.39 çözülmesi ile elde edilebilir:

$$U_{av} = 1 - \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2}{M^2} \exp(-M^2 T_v) \quad (3.40)$$

Bu artık boşluk suyu basıncının derinlikle sabit kaldığı durum için olan eşitlik 3.40 ile aynıdır ve bu yüzden Şekil 3.7 'da verilen aynı eğri kullanılabilir.

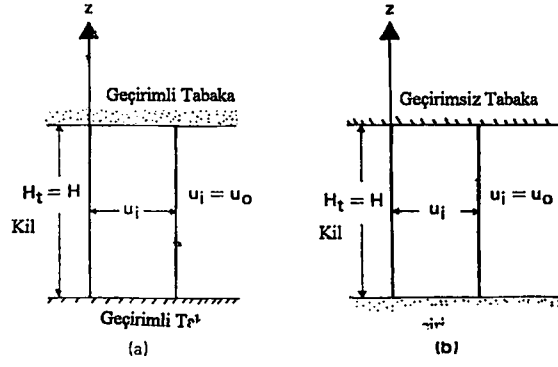
3.2.3. Başlangıç Boşluk Suyu Basıncının Sinüzoidal Değişimi için Çözüm

Sinüzoidal değişim (Şekil 3.10)

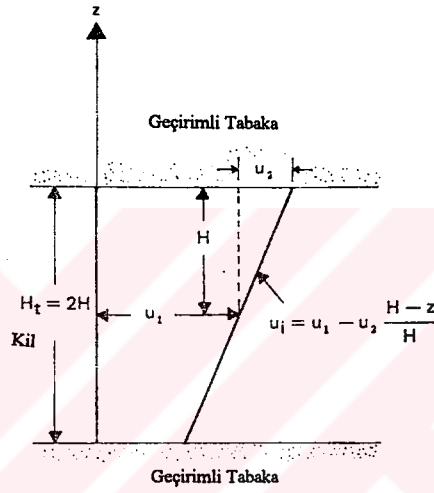
$$u_i = u_3 \sin \frac{\pi z}{2H} \quad (3.47)$$

ifadesi ile gösterilebilir.

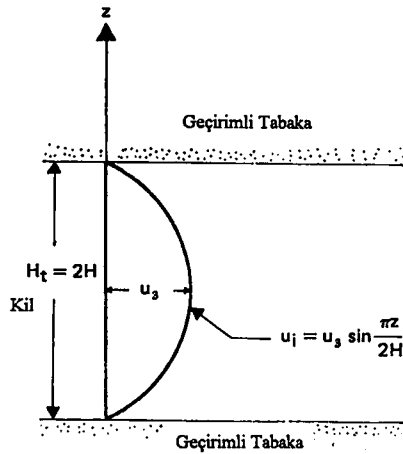




Şekil 3.8. u_i 'nin derinlikle sabit olduğu tek yönlü drenaj durumunda başlangıç artık boşluk suyu basınç dağılımı



Şekil 3.9. Çift yönlü drenaj durumunda başlangıç artık boşluk suyu basınç dağılımının lineer değişimi



Şekil 3.10. Çift yönlü drenaj durumunda başlangıç artık boşluk suyu basıncının sinüzoidal dağılımı



Bu tip başlangıç artık boşluk suyu basınç dağılımı için ortalama konsolidasyon derecesi çözümü

$$U_{av} = 1 - \exp\left(\frac{-\pi^2 T_v}{4}\right) \quad (3.48)$$

biçimindedir.

T_v 'nin çeşitli değerleri için U_{av} 'nin değişimi Şekil 3.7 'da verilmiştir.

3.2.4. Başlangıç Artık Boşluk Suyu Basınç Dağılımının Diğer Formları İçin U_{av} ve T_v 'nin İlişkileri

Artık boşluk suyu basıncı ve uygun sınır koşulları için eşitlik 3.34 temel denlemini kullanarak başlangıç artık boşluk suyu basınç dağılımının çeşitli diğer tipleri için U_{av} ve T_v ilişkileri elde edilebilir. Şekil 3.11 ve 3.12 bu durumların bazılarını gösterir.

3.2.5. Bir Boyutlu Konsolidasyon İçin Nümerik Çözümler

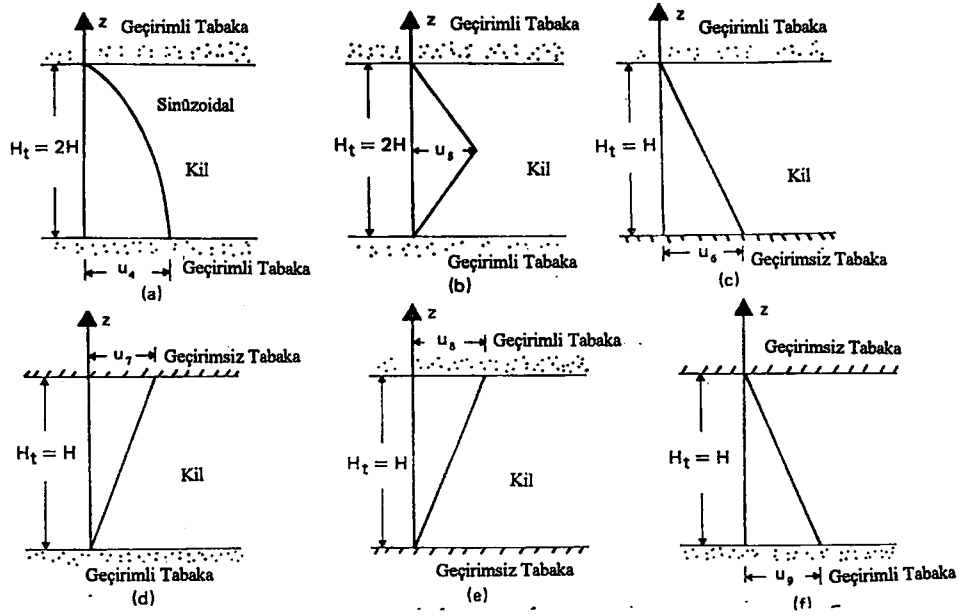
Bu bölümde Terzaghi konsolidasyon teoreminin,

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (3.20)$$

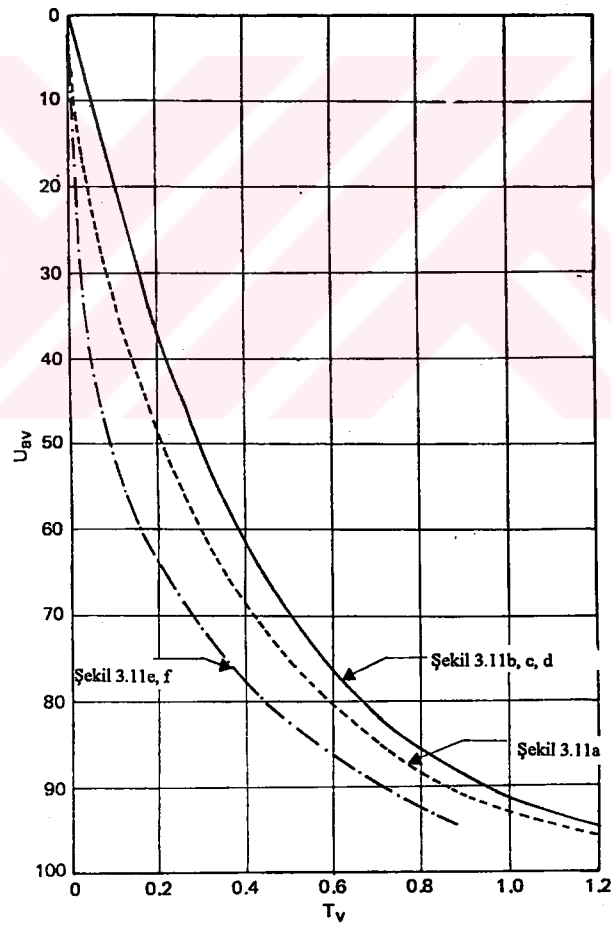
temel diferansiyel denkleminde başlayarak bir boyutlu konsolidasyon için sonlu fark çözümü gözönüne alınacaktır.

u_R , t_R ve z_R sırasıyla keyfi artık boşluk suyu basıncı, zaman ve uzunluk referansları olsun. Bunlardan aşağıdaki boyutsuz terimleri tanımlayabiliriz.





Şekil 3.11. Başlangıç artık boşluk suyu basınç dağılımının bazı formları



Şekil 3.12. Başlangıç artık boşluk suyunun Şekil 3.11 'da görülen basınç diyagramları için U_{av} 'nin T_v ile değişimi



$$\text{Boyutsuz Artık Boşluk Suyu Basıncı : } \bar{u} = \frac{u}{u_R} \quad (3.49)$$

$$\text{Boyutsuz Zaman : } \bar{t} = \frac{t}{t_R} \quad (3.50)$$

$$\text{Boyutsuz Derinlik : } \bar{z} = \frac{z}{z_R} \quad (3.51)$$

Eşitlik 3.49 , 3.50 ve 3.20 ' nin sol tarafından

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{u_R}{t_R} \frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{t}} \quad (3.52)$$

elde edilir. Benzer olarak eşitlik 3.49, 3.51 ve 3.20 ' nin sağ tarafından

$$C_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = C_v \frac{u_R}{z_R^2} \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial \bar{z}^2} \quad (3.53)$$

elde edilir. Eşitlik 3.52 ve 3.53 'den

$$\frac{u_R}{t_R} \frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{t}} = C_v \frac{u_R}{z_R^2} \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial \bar{z}^2} \quad (3.54)$$

veya

$$\frac{1}{t_R} \frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{t}} = \frac{C_v}{z_R^2} \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial \bar{z}^2}$$

elde edilir. Referans zamanı $t_R = z_R^2 / C_v$ gibi bir şekile dönüştürsek 3.54 eşitliği



$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{t}} = \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial \bar{z}^2} \quad (3.55)$$

haline gelir. Eşitlik 3.55 'in sol tarafı

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{t}} = \frac{1}{\Delta \bar{t}} (\bar{u}_{0,\bar{t}+\Delta \bar{t}} - \bar{u}_{0,\bar{t}}) \quad (3.56)$$

biçiminde yazılabilir, burada $\bar{u}_{0,\bar{t}}$ ve $\bar{u}_{0,\bar{t}+\Delta \bar{t}}$, t ve $t + \Delta t$ boyutsuz zamanlardaki O noktasındaki (Şekil 3.13 a) boyutsuz boşluk suyu basınçlarıdır. Tekrar eşitlik 3. 55 'in sol tarafı

$$\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial \bar{z}^2} = \frac{1}{(\Delta \bar{z})^2} (\bar{u}_{1,\bar{t}} + \bar{u}_{3,\bar{t}} - 2\bar{u}_{0,\bar{t}}) \quad (3.57)$$

biçiminde elde edilir. 3.56 ve 3.57 eşitliklerinin sağ taraflarını eşitleyerek

$$\frac{1}{\Delta \bar{t}} (\bar{u}_{0,\bar{t}+\Delta \bar{t}} - \bar{u}_{0,\bar{t}}) = \frac{1}{(\Delta \bar{z})^2} (\bar{u}_{1,\bar{t}} + \bar{u}_{3,\bar{t}} - 2\bar{u}_{0,\bar{t}}) \quad (3.58)$$

veya

$$\bar{u}_{0,\bar{t}+\Delta \bar{t}} = \frac{\Delta \bar{t}}{(\Delta \bar{z})^2} (\bar{u}_{1,\bar{t}} + \bar{u}_{3,\bar{t}} - 2\bar{u}_{0,\bar{t}}) + \bar{u}_{0,\bar{t}}$$

elde edilir. 3.58 eşitliğinin yakınsaklığı için $\Delta \bar{t}$ ve $\Delta \bar{z}$ öyle seçilmelidir ki $\Delta \bar{t} / (\Delta \bar{z})^2 < 0.5$ olsun.

Geçirimsiz bir tabaka ile bir kil tabakasının ara yüzeyindeki boşluk suyu basıncının çözümü için eşitlik 3.58 kullanılabilir. Bununla birlikte 1 noktasının O noktasına göre



simetriği olan 3 noktasını $\bar{u}_{1,i} = \bar{u}_{3,i}$ olacak biçimde almamız gerekir. Bu durumda 3.58 eşitliği

$$\bar{u}_{0,i+\Delta\bar{z}} = \frac{\Delta\bar{t}}{(\Delta\bar{z})^2} (2\bar{u}_{1,i} - 2\bar{u}_{0,i}) + \bar{u}_{0,i} \quad (3.59)$$

haline gelir.

3.2.6. Tabakalı Bir Zemin Ortamında Konsolidasyon

Tabakalı zeminlerin konsolidasyonu için kapalı bir çözüm geliştirmek her zaman mümkün değildir. Farklı geçirgenlik (permeabilite) katsayısı değerleri gibi çeşitli değişkenler mevcuttur. Şekil 3.14 iki tabakalı zeminin konsolidasyon derecesinin biçimini göstermektedir.

Yukarıda bahsedilenlerin ışığında sayısal çözümler daha iyi yaklaşımlar sağlar. İki farklı tip killi zeminin (yani farklı C_v değerli) arayüzelerindeki artık boşluk suyu basıncının hesabı ile ilgilenirsek eşitlik 3.58 bir miktar modifiye edilmelidir. Şekil 3.15 'ye göre bu aşağıdaki gibi yapılabilir (Scott, 1963): Eşitlik 3.20 'den

$$\frac{k}{C_v} \frac{\partial u}{\partial t} = k \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (3.60)$$

$\uparrow$
Hacim değişimi

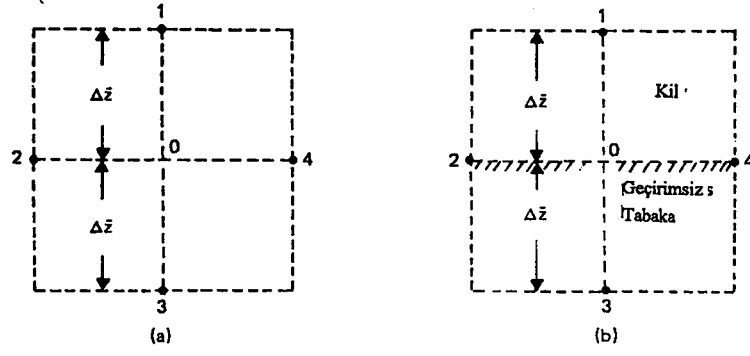
$\uparrow$
Akım oranları arasındaki fark

Hacim değişimi Akım oranları arasındaki fark

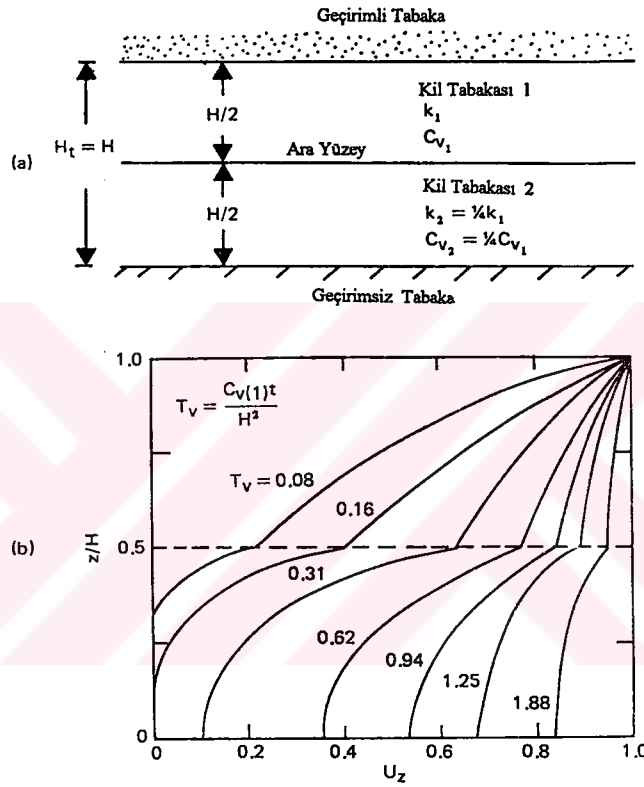
Akım oranları arasındaki farkın sonlu farklar formülasyonu aşağıdaki gibi,

$$k \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{1}{2} \left[\frac{k_1}{(\Delta z)^2} + \frac{k_2}{(\Delta z)^2} \right] \left(\frac{2k_1}{k_1 + k_2} u_{1,t} + \frac{2k_2}{k_1 + k_2} u_{3,t} - 2u_{0,t} \right) \quad (3.61)$$

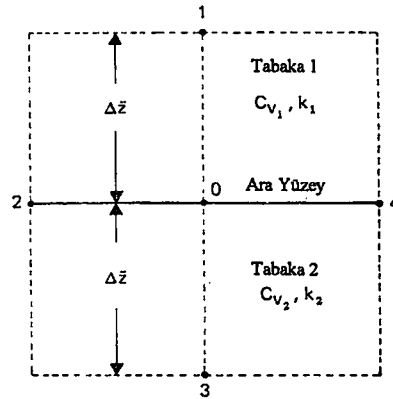




Şekil 3.13. Geçirimli ve geçirimsiz tabaka durumları için sonlu fark ağ elemanları



Şekil 3.14. İki tabakalı zemindeki konsolidasyon derecesi



Şekil 3.15. İki farklı killi zemin durumu için sonlu fark ağ elemanları



yazılabilir, burada k_1 ve k_2 sırasıyla 1 ve 2 tabakalarının permeabilite katsayılarıdır. $u_{0,t}$, $u_{1,t}$, ve $u_{3,t}$ t zamanındaki 0, 1 ve 3 noktalarının artık boşluk suyu basınçlarıdır.

Sınırdaki elemanın ortalama hacim değişimi de

$$\frac{k}{C_v} \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{1}{2} \left(\frac{k_1}{C_{v_1}} + \frac{k_2}{C_{v_2}} \right) \frac{1}{\Delta t} (u_{0,t+\Delta t} - u_{0,t}) \quad (3.62)$$

gibi yazılabilir, burada $u_{0,t}$ ve $u_{0,t+\Delta t}$ 0 noktasındaki sırasıyla t ve t+Δt zamanlarındaki artık boşluk suyu basınçlarıdır. Eşitlik 3.61 ve 3.62 'in sağ taraflarını eşitleyerek

$$\left(\frac{k_1}{C_{v_1}} + \frac{k_2}{C_{v_2}} \right) \frac{1}{\Delta t} (u_{0,t+\Delta t} - u_{0,t}) = \frac{1}{(\Delta z)^2} (k_1 + k_2) \left(\frac{2k_1}{k_1 + k_2} u_{1,t} + \frac{2k_2}{k_1 + k_2} u_{3,t} - 2u_{0,t} \right)$$

veya

$$u_{0,t+\Delta t} = \frac{\Delta t}{(\Delta z)^2} \frac{k_1 + k_2}{k_1/C_{v_1} + k_2/C_{v_2}} \left(\frac{2k_1}{k_1 + k_2} u_{1,t} + \frac{2k_2}{k_1 + k_2} u_{3,t} - 2u_{0,t} \right) + u_{0,t} \quad (3.63)$$

veya

$$u_{0,t+\Delta t} = \frac{\Delta t C_{v_1}}{(\Delta z)^2} \frac{1 + k_2/k_1}{1 + (k_2/k_1)(C_{v_1}/C_{v_2})} \left(\frac{2k_1}{k_1 + k_2} u_{1,t} + \frac{2k_2}{k_1 + k_2} u_{3,t} - 2u_{0,t} \right) + u_{0,t}$$

elde edilir. $1/t_R = C_{v_1}/z_R^2$ varsayarsak ve 3.43 eşitliği 3.45 ve 3.55 eşitliklerine yerleştirerek

$$u_{0,i+\Delta i} = \frac{1 + k_2/k_1}{1 + (k_2/k_1)(C_{v_1}/C_{v_2})} \frac{\Delta \bar{t}}{(\Delta \bar{z})^2} \left(\frac{2k_1}{k_1 + k_2} u_{1,i} + \frac{2k_2}{k_1 + k_2} u_{3,i} - 2u_{0,i} \right) + u_{0,i} \quad (3.64)$$

elde edilir.



3.2.7. Zamana Bağlı Yükleme Altında Konsolidasyon Derecesi

Olson (1977), düzgün yayılı tekil yüklemeye bağlı bir boyutlu konsolidasyon için bir matematiksel çözüm ortaya koymuştur. Olson 'un çözümü, kil tabakasının alttan ve üstten drene edildiği (H drenaj mesafesidir) Şekil 3.16 'ın yardımı ile açıklanabilir. Bir q üniform yayılı yükü zemin yüzeyinde uygulansın Şekil 3.16 b 'de görüldüğü gibi q zamanın bir fonksiyonudur.

$$u = \sum_{m=0}^{m=\infty} \frac{2u_0}{M} \sin \frac{Mz}{H} \exp(-M^2 T_v) \quad (3.36)$$

burada $T_v = C_v t / H^2$ dir. Yukarıda belirtildiği gibi uygulanan yük zamanın bir fonksiyonudur:

$$q = f(t_a) \quad (3.65)$$

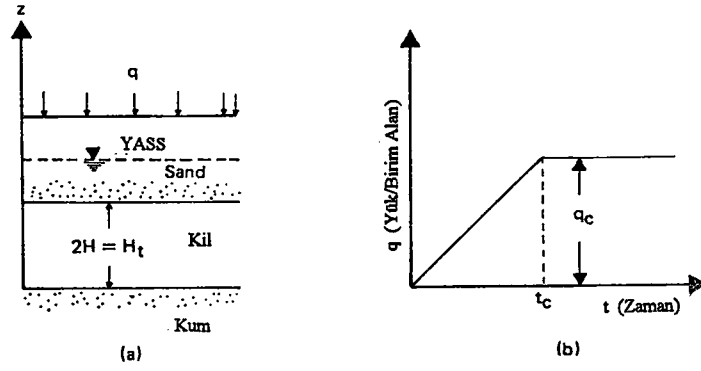
burada t_a herhangi bir yükün uygulanma zamanıdır.

t_a zamanındaki sonsuz küçük dq uygulama yükü için ani boşluk suyu basıncı artışı $du_i = dq$ olacaktır. t zamanında , bir z derinliğindeki kalan artık boşluk suyu basıncı da;

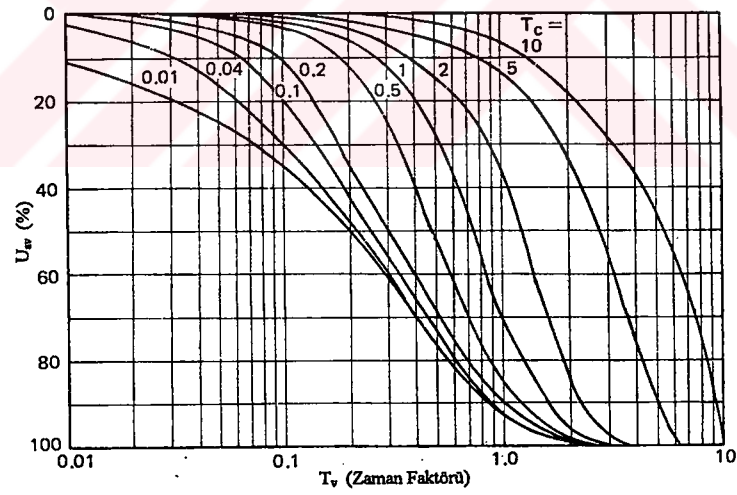
$$\begin{aligned} du &= \sum_{m=0}^{m=\infty} \frac{2du_i}{M} \sin \frac{Mz}{H} \exp\left(\frac{-M^2 C_v (t - t_a)}{H^2}\right) \\ &= \sum_{m=0}^{m=\infty} \frac{2dq}{M} \sin \frac{Mz}{H} \exp\left(\frac{-M^2 C_v (t - t_a)}{H^2}\right) \end{aligned} \quad (3.66)$$

ifadesi ile verilebilir.





Şekil 3.16. Üniform yayılı yüke bağlı tek boyutlu konsolidasyon



Şekil 3.17. Üniform yayılı yük durumunda farklı T_c değerleri için U_{av} - T_v grafiği



Ortalama konsolidasyon derecesi

$$U_{av} = \frac{\alpha q_c - (1/H_t) \int_0^{H_t} u dz}{q_c} = \frac{t \text{ zamanındaki oturma}}{t = \infty \text{ daki oturma}} \quad (3.67)$$

burada αq_c analiz süresince birim alana uygulanan toplam yüküdür. $t=\infty$ 'daki oturma nihai oturmadır. Eşitlik 3.67 'nin paydasındaki q_c terimi, q_c gerilmesi aniden yüklendiğinde kil tabakası boyunca ortaya çıkan ani artık boşluk suyu basıncına eşittir ($u_i=q_c$).

3.66 ve 3.67 eşitliklerinin uygun integrasyonu aşağıdakileri verir:

$T_v \leq T_c$ için

$$u = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2q_c}{M^3 T_c} \sin \frac{Mz}{H} \left[1 - \exp(-M^2 T_v) \right] \quad (3.68)$$

ve

$$U_{av} = \frac{T_v}{T_c} \left\{ 1 - \frac{2}{T_c} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{1}{M^4} \left[1 - \exp(-M^2 T_v) \right] \right\} \quad (3.69)$$

$T_v \geq T_c$ için

$$u = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2q_c}{M^3 T_c} \left[\exp(M^2 T_c) - 1 \right] \sin \frac{Mz}{H} \exp(-M^2 T_v) \quad (3.70)$$

ve

$$U_{av} = 1 - \frac{2}{T_c} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{1}{M^4} \left[\exp(M^2 T_c) - 1 \right] \exp(-M^2 T_c) \quad (3.71)$$

$$\text{burada } T_c = \frac{C_v t_c}{H^2} \quad (3.72)$$

dir. Şekil 3.17 U_{av} 'nin çeşitli T_c değerleri için T_v 'ye karşı grafiğini göstermektedir.



3.3. Standart Tek Boyutlu Konsolidasyon Deneyi ve Yorumu

Standart tek boyutlu konsolidasyon deneyi genellikle 25.4 mm kalınlıklı 63.5 mm çaplı doymuş numuneler üzerinde yapılır (Şekil 3.18). Zemin numunesi üstten ve alttan poroz taşlarla bir metal ring içinde tutulur. Bir manivela kolu yardımı ile numune üzerine P yükü uygulanır ve numunenin sıkışması bir deformasyon saati ile ölçülür. Yük genellikle her 24 saatte bir iki katına çıkarılarak uygulanır. Zemin numunesi deney boyunca su altında tutulur.

Her yükleme artımı için numune deformasyonu ve buna karşı gelen t zamanı yarı logaritmik grafik kağıdına çizilir. Şekil 3.19 tipik bir deformasyon-logt grafiğini göstermektedir.

Deneylerden elde edilen grafikte üç ana bölüm vardır.

1. Eğrinin üst bölümü (Aşama I).

Bu esas olarak numunenin önkonsolidasyonunun sonucudur.

2. Eğrinin doğrusal bölümü (Aşama II).

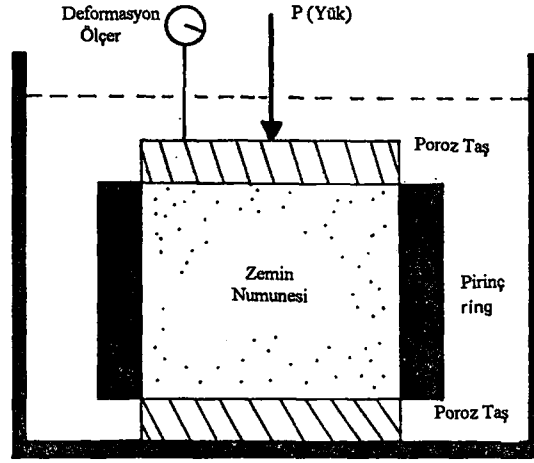
Bu birincil konsolidasyon olarak adlandırılır. Birincil konsolidasyonun sonunda yükün artırılması ile ortaya çıkan artık boşluk suyu basıncı geniş bir alana yayılır.

3. Eğrinin alt doğrusal bölümü (Aşama III).

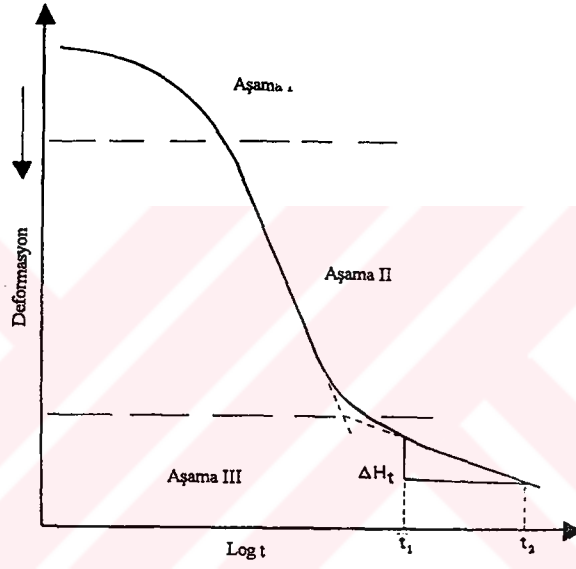
Buna ikincil konsolidasyon denir. Bu aşama süresince numune zamanla küçük deformasyon yapar . Gerçekte ikincil konsolidasyon süresince numunede ölçülemeyecek derecede küçük artık boşluk suyu basıncı mevcuttur.

Her yük artırımını için deneyin sonunda numune üzerindeki gerilme, σ' efektif gerilmedir. Zemin danelerinin özgül ağırlığı numune başlangıç boyutları ve her yükleme sonunda numune deformasyonu belirlendikten sonra karşı gelen boşluk oranı hesaplanabilir. Tipik bir efektif basınç-boşluk oranı ilişkisinin yarı logaritmik bir grafik ile çizimi Şekil 3.20 'da görülmektedir.

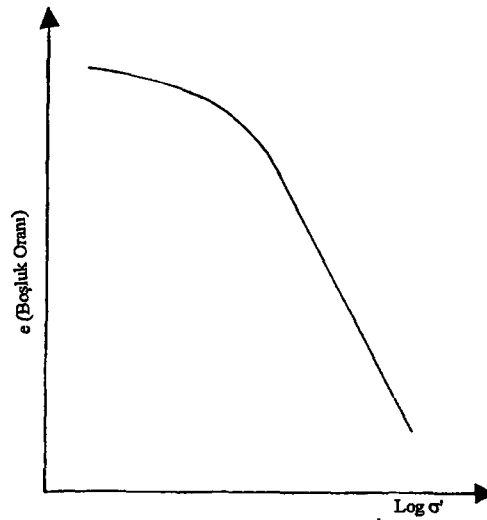




Şekil 3.18. Konsolidasyon hücresi



Şekil 3.19. Verilen bir yük artımı için tipik bir deformasyon-log t grafiği



Şekil 3.20. Tipik e-log σ' grafiği



3.3.1. Önkonsolidasyon Basıncı

Şekil 3.20 'de görülen tipik $e-\log \sigma'$ grafiğinde, eğrinin üst parçasının eğrisel; bununla beraber daha yüksek basınçlarda e ve $\log \sigma'$ lineer bir ilişki sergilediği görülebilir. Üst parça eğriseldir çünkü zemin numunesi araziden elde edildiği zaman belli bir maksimum efektif basınca maruz idi. Zemin araştırmacısının işlemleri esnasında basınç serbest kalır. Laboratuarda zemin numunesi yüklendiğinde, numune geçmişte zeminin maruz kaldığı maksimum efektif gerilmeye kadar boşluk oranında relatif olarak küçük azalma gösterecektir. Bu Şekil 3.20 'de üst eğrisel bölüm ile gösterilmiştir. Eger zemin numunesi üzerindeki efektif gerilme daha fazla arttırılırsa gerilme seviyesi ile boşluk oranı azalması daha büyük olacaktır. Bu $e-\log \sigma'$ grafiğinde doğrusal çizgi ile gösterilmiştir. Şekil 3.21 'de görüldüğü gibi bu etki laboratuarda yük kaldırılarak ve tekrar yüklenerek de gösterilebilir. Bu grafikte cd numune yüksüz halde iken $dfgh$ tekrar yüklendiği zamanki boşluk oranı-efektif gerilme ilişkisidir. d 'de numune daha önce yüklendiği σ'_1 maksimum gerilmesinden daha düşük efektif gerilmeye maruzdur. Bu nedenle df daha yayvan bir eğri parçası sergiler. f noktasının ötesinde boşluk oranı efektif gerilme ile daha büyük oranlarda azalır, ve gh bc ile aynı eğime sahip olur.

Yukarıdaki açıklamalar ışığında, bir zeminin iki halini tanımlayabiliriz:

1. Normal Konsolide Zemin

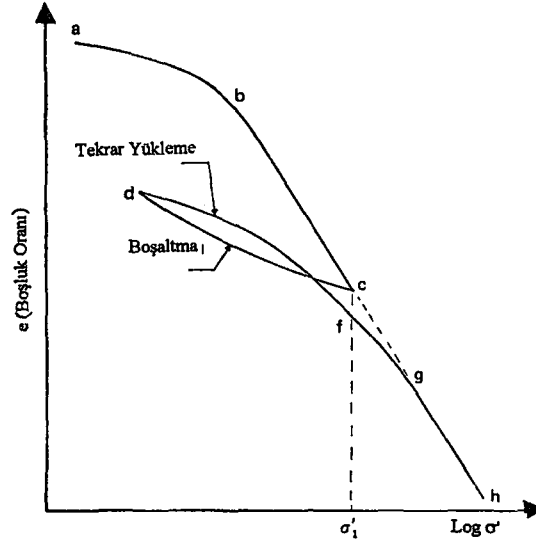
O anki efektif yük basıncı, zemine geçmişte uygulanmış olan maksimum basınca eşit olursa, yani $\sigma'_{\text{şimdiki}} = \sigma'_{\text{maks geçmiş}}$, bu zemine normal konsolide zemin denir.

2. Aşırı Konsolide Zemin

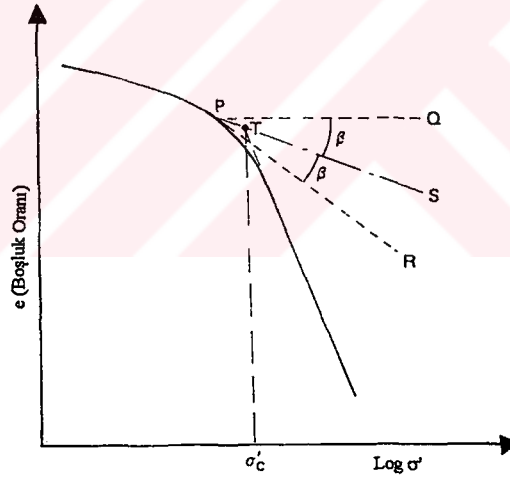
O anki efektif yük basıncı zemine geçmişte uygulanmış maksimum basınçtan daha az olursa, yani $\sigma'_{\text{şimdiki}} < \sigma'_{\text{maks geçmiş}}$, bu zemine aşırı konsolide zemin denir.

Şekil 3.21 'de ab , cd ve df kolları zeminin aşırı konsolide hali, bc ve fh kolları zeminin normal konsolide durumudur.





Şekil 3.21. Yükleme, boşaltma ve tekrar yükleme durumlarını gösteren e - $\log \sigma'$ grafiği



Şekil 3.22. Önkonsolidasyon basıncının bulunmasında Casagrande metodu grafiği



Arazideki doğal koşullarda zemin ya normal konsolide veya aşırı konsolide olabilir. Arazideki bir zemin çeşitli mekanizmalar sonucunda aşırı konsolide hale gelebilir. Bu mekanizmaların bazıları Tablo 3.2 'de listelenmiştir.

Tablo 3.2. Aşırı Konsolidasyona Neden Olan Mekanizmalar

Mekanizma	Referanslar ve Notlar
Toplam gerilmedeki değişimler	-
Aşırı yük basıncının kaldırılmasından dolayı	-
Geçmiş yapılardan dolayı	-
Buzludan dolayı	-
YASS 'nin değişiminden dolayı boşluk suyu basıncındaki değişim	Kenney (1964) deniz seviyesi değişimlerini vermiştir.
Artezden basınçlar	Buzul alanlarda yaygındır
Derin kuyudan su çekme	Birçok şehirde yaygındır.
Kurumadan dolayı	Çoğu çürüme esnasında meydana gelmiştir.
Bitkilerden dolayı	Çoğu çürüme esnasında meydana gelmiştir
İkincil sıkışmadan (yaşlanma) dolayı zemin yapısındaki değişiklikler	Raju (1965), Leonards and Ramiah (1960); Leonards and Altschaeffl (1964); Bjerrum (1967, 1972)
pH, sıcaklık ve tuz konsantrasyonu gibi çevresel değişiklikler	Lambe (1958)
İyon değişimi, bağlayıcı etkenlerin çökmesi, kurutmadan dolayı kimyasal değişim	Bjerrum (1967)
Yükleme esnasında şekil değiştirme hızının değişimi	Lowe (1974)

e-log σ' grafiğinden önkonsolidasyon basıncı, genellikle Casagrande (1936) ortaya koyduğu bir grafiksel yöntemle Şekil 3.22 'de görüldüğü gibi saptanır. İşlem adımları aşağıdaki gibidir:



1. Eğriliğin maksimum olduğu (e-log σ' grafiğinin üst eğrisel parçası) P noktası gözlemsel olarak saptanır.
2. PQ yatay doğrusu çizilir.
3. P noktasından bir PR teğeti çizilir.,
4. QPR açısının PS açısı ortayı çizilir.
5. e-log σ' grafiğinin doğrusal kısmı geriye doğru uzatılarak PS doğrusunu kestiği T noktası saptanır.
6. T noktasına karşı gelen efektif basınç σ'_e önkonsolidasyon basıncıdır.

σ'_e 'nün saptanmasında diğer bir metod Burmister (1951) tarafından verilmiştir.

3.3.2. Sıkışma İndisi

Normal konsolide zeminlerin e-log σ' grafiğinin eğimi C_c sıkışma indisi dir. Şekil 3.23 'den

$$C_c = \frac{e_1 - e_2}{\log \sigma'_2 - \log \sigma'_1} = \frac{\Delta e}{\log(\sigma'_2 / \sigma'_1)} \quad (3.73)$$

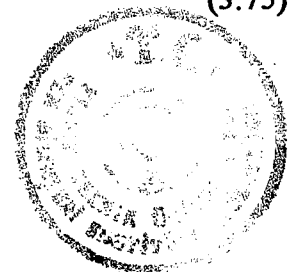
Normal konsolide killeri için Terzaghi and Peck (1967) sıkışma indisinin bir korelasyonunu

$$C_c = 0.009(w_L - 10) \quad (3.74)$$

vermiştir, burada w_L likit limit tir. Bu ifade $\pm\%30$ 'luk bir güvenilirliğe sahiptir ve 4 'den daha büyük hassaslık oranlı killeri için kullanılmamalıdır.

Terzaghi ve Peck benzer bir korelasyonu yoğrulmuş killeri içinde vermiştir:

$$C_c = 0.007(w_L - 10) \quad (3.75)$$



Zeminlerin temel endeks özellikleri ile sıkışma indisi için çeşitli başka korelasyonlar yapılmış olup bazıları aşağıda verilmiştir (Azzouz et al. 1976).

$$C_c = 0.01w_n \quad (\text{Chicago killeri için}) \quad (3.76)$$

$$C_c = 0.0046(w_L - 9) \quad (\text{Brazilya killeri için}) \quad (3.77)$$

$$C_c = 1.21 + 1.055(e_0 - 1.87) \quad (\text{Sao Paulo - Motley kili}) \quad (3.78)$$

$$C_c = 0.208e_0 + 0.0083 \quad (\text{Chicago killeri için}) \quad (3.79)$$

$$C_c = 0.0115w_n \quad (\text{Organik zeminler, Turba vb.}) \quad (3.80)$$

burada w_n tabii su muhtevası (%) ve e_0 başlangıç boşluk oranıdır.

Nacci et al. (1975) Kuzey Atlantik'ten doğal derin okyanus zemin numunelerini test etmişlerdir. Kalsit muhtevası %10-%80 arasında değişiklik göstermiştir. Onların sonuçlarına dayanarak, aşağıdaki eşitlik de ortaya konmuştur

$$C_c = 0.02 + 0.014(w_p) \quad (3.81)$$

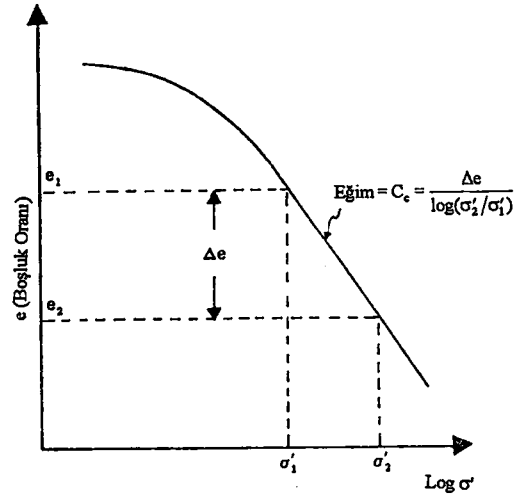
burada w_p plastisite indisidir.

3.3.3. Örselenmiş Numunenin e-log σ' Eğrisine Etkisi

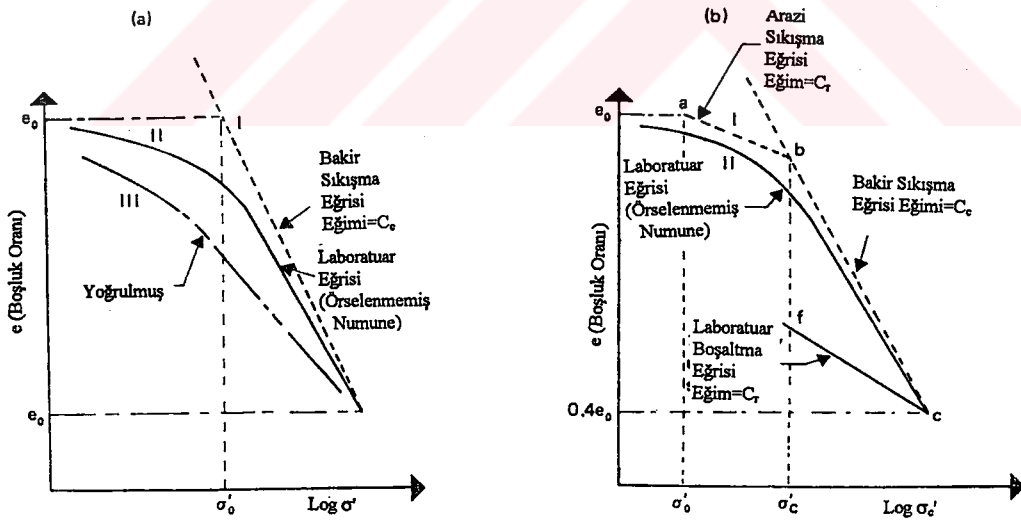
Araziden elde edilen zemin numuneleri bazen örselenmiş olur. Bu numuneler üzerinde konsolidasyon deneyleri yapıldığında arazide yapılandan çok az farklı e-log σ' eğrisi elde edilir. Bu Şekil 3.24 'de gösterilmiştir.

Şekil 3.24 'deki I eğrisi örselenmemiş normal konsolide kilin (şimdiki efektif basınç σ'_0 ; boşluk oranı e_0) arazide gösterdiği e-log σ' değişiminin grafiğini gösterir. Buna bakir sıkışma eğrisi denir. Dikkatli bir şekilde alınan numune üzerinde yapılan bir laboratuvar





Şekil 3.23. C_c sıkışma indisinin bulunmasını gösteren grafik



Şekil 3.24. Numune örselenmesinin e - $\log \sigma'$ eğrisine etkisi



konsolidasyon deneyi II eğrisi gibi e-log σ ' grafiği verir. Aynı zemin tümüyle yoğrulursa ve sonra konsolidometrede deneye tabi tutulursa nihai boşluk oranı-basınç grafiği III eğrisi gibi olacaktır. Bakir sıkışma eğrisi (Eğri I) ve dikkatlice çıkarılan numunedan elde edilen laboratuvar e-log σ ' eğrisi (eğri II) yaklaşık 0.4e₀ boşluk oranında kesişirler (Terzaghi ve Peck, 1967).

Şekil 3.24 b 'deki I eğrisi, aşırı konsolide bir kilin arazi konsolidasyon eğrisini gösterir. Şimdiki efektif basınç σ'_0 ve buna karşı gelen boşluk oranı e₀ 'dır. σ'_c ön konsolidasyon basıncı ve bc bakir sıkışma eğrisinin bir parçasıdır. Eğri II buna karşı gelen laboratuvar konsolidasyon eğrisidir. Dikkatli bir deneyden sonra Schmertman (1953) Şekil 3.24 b 'deki ab arazi sıkışma kısmının laboratuvar boşaltma cf yaklaşık olarak aynı eğime sahip olduğu sonucuna varmıştır. Laboratuvar boşaltma parçasının eğimi C_r olarak gösterilir. C_r 'nin aralığı yaklaşık olarak nin 1/5 ile 1/10 arasındadır.

3.4. Tek Boyutlu Konsolidasyon Oturmasının Hesabı

Tek boyutlu konsolidasyon oturma hesabının temel esası Şekil 3.25 'de gösterilmiştir. H_t toplam kalınlıklı bir kil tabakası σ'_0 'den σ'_1 ortalama efektif basıncına kadarki bir artırıma maruz bırakılırsa ΔH_t konsolidasyon oturması meydana gelir. Böylece şekil değiştirme

$$\epsilon = \frac{\Delta H_t}{H_t} \quad (3.82)$$

ile verilebilir, burada ϵ şekil değiştirmedir. Tekrar, örselenmemiş bir laboratuvar numunesi aynı efektif gerilme artımına maruz bırakılırsa boşluk oranı Δe kadar azalır. Böylece şekil değiştirme



$$\varepsilon = \frac{\Delta e}{1 + e_0} \quad (3.83)$$

halini alır, burada e_0 , σ'_0 efektif gerilmesindeki boşluk oranıdır. Böylece eşitlik 3.82 ve 3.83 'den

$$\Delta H_t = \frac{\Delta e H_t}{1 + e_0} \quad (3.84)$$

yazılabilir.

Arazideki normal konsolide bir kil için (Şekil 3.26a):

$$\Delta e = C_c \log \frac{\sigma'_1}{\sigma'_0} = C_c \log \frac{\sigma'_0 + \Delta \sigma}{\sigma'_0} \quad (3.85)$$

Aşırı konsolide bir kil için, (1) eğer $\sigma'_1 < \sigma'_c$ ise (Şekil 3.26b)

$$\Delta e = C_r \log \frac{\sigma'_1}{\sigma'_0} = C_r \log \frac{\sigma'_0 + \Delta \sigma}{\sigma'_0} \quad (3.86)$$

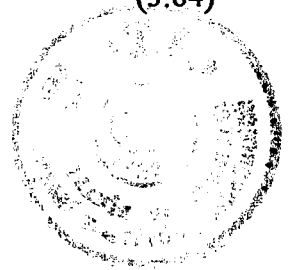
ve (2) eğer $\sigma'_0 < \sigma'_c < \sigma'_1$ (Şekil 3.26c) ise

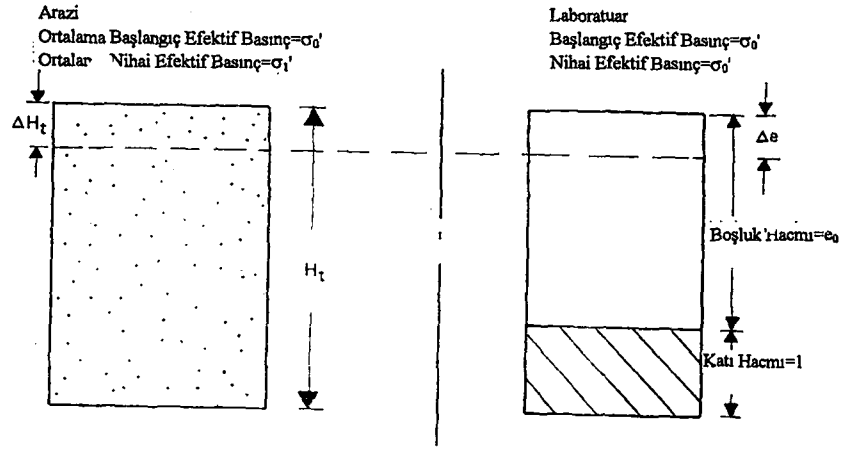
$$\Delta e = \Delta e_1 + \Delta e_2 = C_r \log \frac{\sigma'_c}{\sigma'_0} + C_c \log \frac{\sigma'_0 + \Delta \sigma}{\sigma'_c} \quad (3.87)$$

biçimindedir.

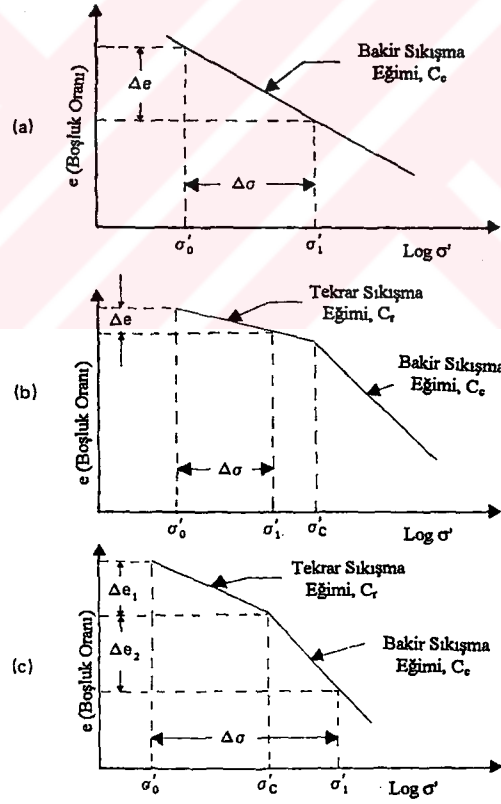
Eşitlik 3.84 'ya göre bir boyutlu konsolidasyon oturması

$$S_c = \frac{\Delta e}{1 + e_0} H_t \quad (3.84)$$





Şekil 3.25. Tek boyutlu konsolidasyon oturmasının karşılaştırılması hesabı



Şekil 3.26. Δe 'nin hesabı (Eşitlik 3.85 - 3.87)



biçiminde verilebilir, burada

$$\Delta e = C_c \log \frac{\sigma'_0 + \Delta \sigma}{\sigma'_0} \quad (\text{normal konsolide killer için}) \quad (3.85)$$

$$\Delta e = C_r \log \frac{\sigma'_0 + \Delta \sigma}{\sigma'_0} \quad (\text{aşırı konsolide killer için}) \quad \sigma'_0 + \Delta \sigma \leq \sigma'_c \quad (3.86)$$

$$\Delta e = C_r \log \frac{\sigma'_c}{\sigma'_0} + C_c \log \frac{\sigma'_0 + \Delta \sigma}{\sigma'_c} \quad (\sigma'_0 < \sigma'_c < \sigma'_0 + \Delta \sigma) \quad (3.87)$$

burada σ'_c ön konsolidasyon basıncıdır.

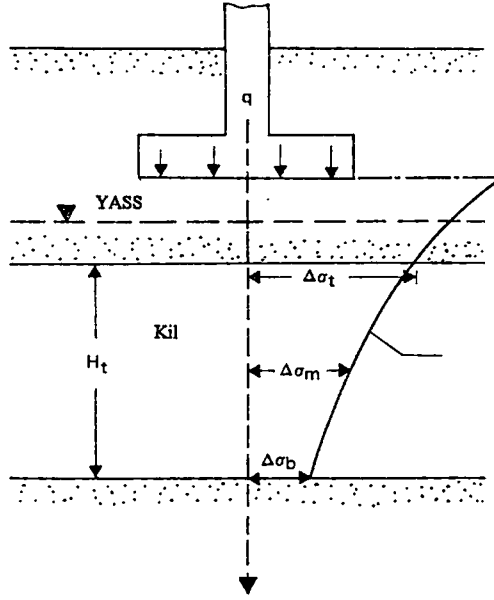
3.4.1. Sınırlı Bir Yüklü Alan Altında Konsolidasyon Oturmasının Hesabı

Sınırlı bir alan üzerine bir yük uygulandığında uygulanan yüke bağlı olarak basınç artması Şekil 3.27 'da görüldüğü gibi, derinlikle azalacaktır. Dolayısıyla, daha gerçekçi bir oturma tahmini için aşağıdaki yöntemleri kullanabiliriz.

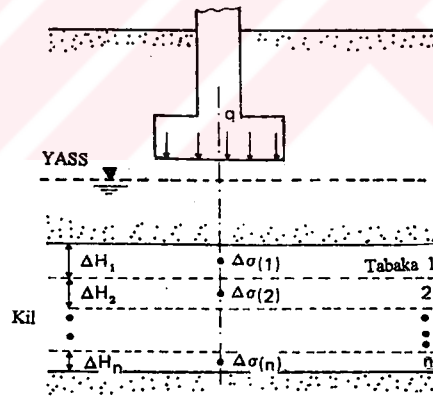
3.4.1.1. Metot A

1. Göz önüne alınan yük uygulamadan önce kil tabakası üzerindeki σ'_0 ortalama efektif basıncı hesaplanır.
2. Kil tabakasının üst, orta ve altında uygulanan yükten dolayı olan gerilme artışı hesaplanır. Boussinesq (1883) zemin yüzeyine etkiyen tekil yüklemeden dolayı yarı sonsuz kütle içindeki gerilme problemini çözmüştür. Bu çözüm çeşitli taban şekilli temeller için genelleştirilebilir ve böylece geliştirilen formüllerle gerilme artışı hesaplanabilir. Kil tabakasındaki ortalama gerilme artışı Simpson kuralı kullanılarak





Şekil 3.27. Metod A 'ya göre konsolidasyon oturmasının hesabı



Şekil 3.28. Metod B 'ye göre konsolidasyon oturmasının hesabı



$$\Delta\sigma_{av} = \frac{1}{6}(\Delta\sigma_t + 4\Delta\sigma_m + \Delta\sigma_b) \quad (3.88)$$

tahmin edilebilir, burada $\Delta\sigma_t$, $\Delta\sigma_m$ ve $\Delta\sigma_b$ sırasıyla kil tabakasının üstündeki, ortasındaki ve altındaki gerilme artışlarıdır.

σ'_0 ve yukarıda hesaplanan $\Delta\sigma_{av}$ kullanılarak eşitlik 3.85, 3.86 veya 3.87 'den hangisi uygulanabilirse ondan Δe elde edilir.

4. Eşitlik 3.84 kullanılarak oturma hesaplanır.

3.4.1.2. Metot B

1. Oturma hesabında daha iyi sonuçlar kil tabakasını Şekil 3.28'de görüldüğü gibi, n adet tabakaya bölerek elde edilebilir.
2. Herbir tabakanın ortasında $\sigma'_{0(i)}$ efektif gerilmesi hesaplanır.
3. Uygulanan yükten dolayı olan her tabakanın ortasındaki $\Delta\sigma_i$ gerilme artışı hesaplanır.
4. Eşitlik 3.85, 3.86 veya 3.87 'dan hangisi uygulanabilirse herbir kil tabakası için Δe_i hesaplanır.
5. Bütün kil tabakası için toplam oturma

$$S_c = \sum_{i=1}^{i=n} \Delta S_c = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta e_i}{1 + e_0} \Delta H_i \quad (3.89)$$

biçiminde hesaplanır.

3.5. Drenajsız Yüklemeyle Bağlı Boşluk Suyu Basıncı Artışları

Zeminlerde konsolidasyona uygulanan yüklerden dolayı meydana gelen boşluk suyu basıncı artışlarının neden olduğu bilinmektedir. Boşluk suyunun dışarıya çıkmasına yetecek kadar bir zaman süresince bir zemin üzerine bir yük çok yavaş uygulanırsa pratik olarak boşluk suyu basıncında hiçbir artma olmayacaktır. Bununla beraber, bir zemin



hızlı bir şekilde yüklendiğinde ve permeabilite katsayı kilde olduğu gibi küçükse, boşluk suyunun drenajı için yeterli bir zaman olmayacaktır. Bu boşlu suyu basıncında bir artmaya sebep olur. Bu bölümde çeşitli drenajsız yüklemeler için artık boşluk suyu basıncının matematiksel formülasyonları geliştirilecektir.

3.5.1. İzotrop gerilme uygulamasına bağlı olarak gelişen boşluk suyu basıncı artımı

Şekil 3.29 bir $\Delta\sigma$ şiddetinde bir izotrop gerilme artımına maruz izotrop doygun zemin elemanını göstermektedir. Eğer zeminden drenaja mücade edilmezse boşluk suyu basıncı Δu 'ya kadar artacaktır. Boşluk suyu basıncının artması boşluk suyunda ΔV_p miktarlı bir hacimsel değişmeye neden olacaktır. Bu,

$$\Delta V_p = n V_0 C_p \Delta u \quad (3.90)$$

biçimde ifade edilebilir, burada

n = porozite

C_p = boşluk suyunun sıkışabilirliği

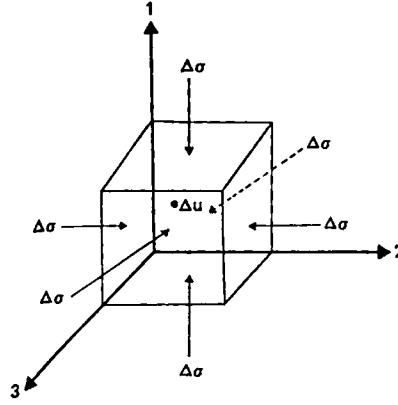
V_0 = zemin elemanının orjinal hacmi

Elemanın bütün doğrultularındaki efektif gerilme artışı $\Delta\sigma' = \Delta\sigma - \Delta u$ olacaktır. Efektif gerilme artışına bağlı olarak zemin iskeletinin hacmindeki değişim,

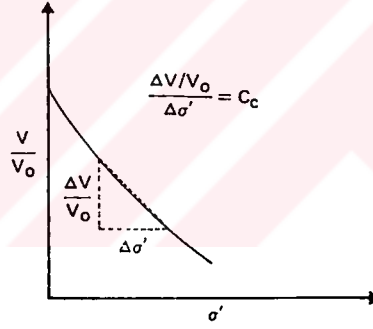
$$\Delta V = 3 C_c V_0 \Delta\sigma' = 3 C_c V_0 (\Delta\sigma - \Delta u) \quad (3.91)$$

biçiminde verilebilir. Eşitlik 3.91'deki C_c , Şekil 3.30'de görüldüğü gibi zemin iskeletinin laboratuarda sıfır artık boşluk suyu basınçlı tek eksenli basınç yüklemesi altında elde edilen, sıkışabilirliğidir. Burada sıkışmanın, yeni hacimdeki azalmanın pozitif olarak alındığını belirtelim.





Şekil 3.29. İzotrop gerilme altında zemin elemanı



Şekil 3.30. C_c 'nin bulunmasını gösteren grafik



Boşluk suyunun hacmindeki değişme, ΔV_p , zemin iskeletinin hacmindeki ΔV değişimine eşit olduğundan, eşitlik 3.90 ve 3.91'den

$$nV_0C_p\Delta u = 3C_cV_0(\Delta\sigma - \Delta u)$$

ve buradan

$$\frac{\Delta u}{\Delta\sigma} = B = \frac{1}{1 + n(C_p / 3C_c)} \quad (3.92)$$

elde edilir. Burada B boşluk basınç parametresidir (Skempton, 1954).

Boşluk suyunun C_p sıkışabilirliği C_c ile karşılaştırıldığında çok küçüktür ve bütün pratik uygulamalar için boşluk suyu basınç parametresi B bir'e eşit alınır. Dolayısıyla doymuş zeminler için boşluk suyu basıncının artımı izotrop gerilmenin artımına eşittir, yani $\Delta u = \Delta\sigma$.

3.5.2. Tek eksenli yüklemeye bağlı boşluk suyu basıncı artımı

Tek eksenli gerilme artımına maruz doymuş bir zemin elemanı Şekil 3.31'de görülmektedir. Boşluk suyu basıncın artımı Δu 'ya eşit olsun. Bir önceki bölümde anlatıldığı gibi boşluk suyu hacmindaki değişim,

$$\Delta V_p = nV_0C_p\Delta u \quad (3.93)$$

biçimindedir.



Şekil 3.31'deki zemin elemanı üzerindeki efektif gerilmelerin artışları:

1 Doğrultusunda $\Delta\sigma' = \Delta\sigma - \Delta u$

2 Doğrultusunda $\Delta\sigma' = 0 - \Delta u = -\Delta u$

3 Doğrultusunda $\Delta\sigma' = 0 - \Delta u = -\Delta u$ biçimindedir. Bu zemin iskeletinin hacmündeki değişimin

$$\Delta V = C_c V_0 (\Delta\sigma - \Delta u) + C_e V_0 (-\Delta u) + C_e V_0 (-\Delta u) \quad (3.94)$$

biçiminde yazılabilmesi sonucunu doğurur, burada C_e hacmin genleşme katsayısıdır (Şekil 3.32). $\Delta V_p = \Delta V$ olduğundan

$$n V_0 C_p \Delta u = C_c V_0 (\Delta\sigma - \Delta u) - 2 C_e V_0 \Delta u$$

veya

$$\frac{\Delta u}{\Delta\sigma} = A = \frac{C_c}{nC_p + C_c + 2C_e} \quad (3.95)$$

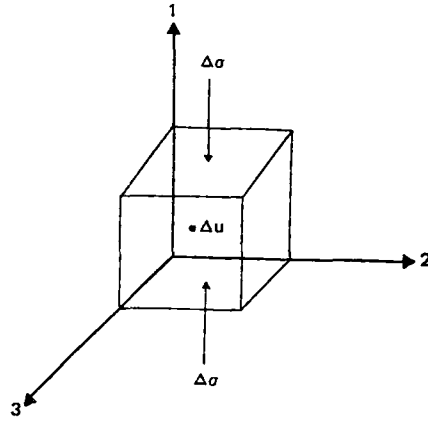
elde edilir, burada A boşluk suyu parametresidir (Skempton, 1954)

Zemin elemanı elastik kabul edilirse, yani $C_e = C_c$

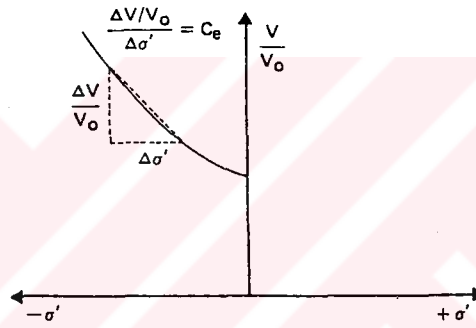
$$A = \frac{1}{n(C_p / C_c) + 3} \quad (3.96)$$

elde edilir, Daha önce işaret edildiği gibi C_p , C_c 'den çok daha küçüktür. Dolayısıyla $C_p / C_c \approx 0$ dır, buradan $A = 1/3$ elde edilir. Bununla beraber, bu gerçek bir durum, yani zemin tam elastik bir malzeme, değildir ve A'nın gerçek değeri geniş bir aralıkta değişir. A'nın üç eksenli deneyden saptanan göçme anındaki tipik değerleri Tablo 3.3 'de verilmektedir.

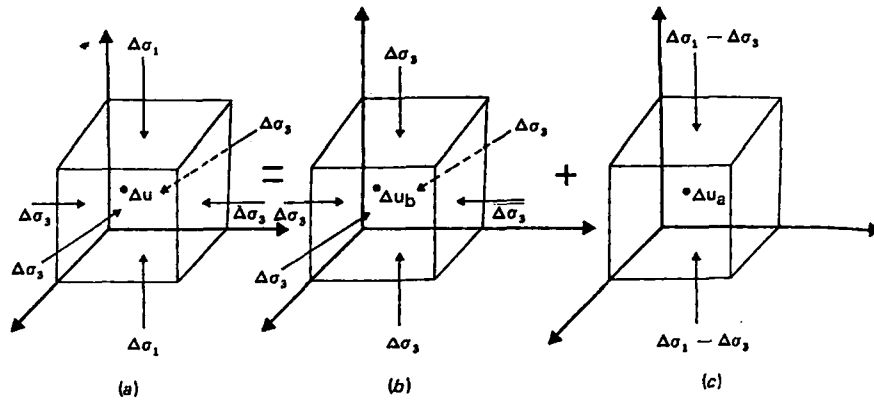




Şekil 3.31. Tek eksenli gerilme altındaki doygun zemin elemanı



Şekil 3.32. C_e 'nin bulunmasını gösteren grafik



Şekil 3.33. Drenajsız üç eksenli deney koşulları altında artık boşluk suyu basıncı



Tablo 3.3. Göçme anındaki tipik değerleri

Zemin Tipi	A
Yüksek Hassasiyetli Kil	$\frac{3}{4}$ den $1\frac{1}{2}$
Normal Konsolide Kil	$\frac{1}{2}$ den 1
Aşırı Konsolide Kil	$\frac{1}{2}$ den 0
Sıkıştırılmış Kumlu Kil	$\frac{1}{2}$ den $\frac{3}{4}$

3.5.3. Üç eksenli deney koşulları altındaki boşluk suyu basıncı artımı

Üç eksenli deney koşulları altındaki bir zemin elemanı üzerine tipik bir gerilme uygulaması Şekil 3.33a 'da görülmektedir ($\Delta\sigma_1 > \Delta\sigma_3$). Δu drenajsız boşluk suyu basıncı artışıdır. Δu , $\Delta\sigma_1$ ve $\Delta\sigma_3$ arasında bir ilişki kurmak için Şekil 3.33a 'da görülen gerilme durumlarının Şekil 3.33 b ve c 'de görülen gerilme durumlarının toplamı olarak gözönüne alınabilir.

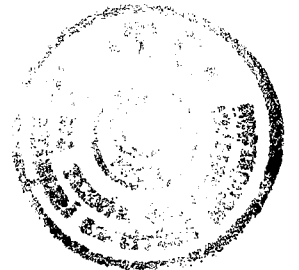
$\Delta\sigma_3$ izotrop gerilmesi Şekil 3.33b 'deki gibi uygulandığında [Eşitlik 3.92 'den]

$$\Delta u_b = B\Delta\sigma_3 \quad (3.97a)$$

yazılabilir. $\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3$ tek eksenli gerilme Şekil 3.33c 'deki gibi uygulandığında [Eşitlik 3.95 'den]

$$\Delta u_a = A(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3) \quad (3.97b)$$

yazılabilir. Şimdi



$$\Delta u = \Delta u_b + \Delta u_a = B\Delta\sigma_3 + A(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3) \quad (3.98)$$

elde edilir. Doygun zemin için , $B=1$;

$$\Delta u = \Delta\sigma_3 + A(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3) \quad (3.99)$$

biçiminde yazılabilir.

Boşluk suyu basınç parametreleri ilk olarak Skempton (1954) tarafından önerildiği için Skempton parametreleri olarak bilinirler.

3.5.4. Boşluk suyu basınç denkleminin Henkel iyileştirmesi

Zemin mekaniğinde çeşitli pratik uygulamalarda orta ve küçük asal gerilmeler aynı değildir. Orta asal gerilmeyi (Şekil 3.34) gözönüne almak için, Henkel (1960) eşitlik 3.99 'da bir iyileştirme önermiştir.

$$\Delta u = \frac{\Delta\sigma_1 + \Delta\sigma_2 + \Delta\sigma_3}{3} + a\sqrt{(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_2)^2 + (\Delta\sigma_2 - \Delta\sigma_3)^2 + (\Delta\sigma_3 - \Delta\sigma_1)^2} \quad (3.100)$$

veya

$$\Delta u = \Delta\sigma_{oct} + 3a\Delta\tau_{oct} \quad (3.101)$$

burada a Henkel boşluk basınç katsayısı olup, $\Delta\sigma_{oct}$ ve $\Delta\tau_{oct}$ sırasıyla normal ve kayma gerilmelerindeki artışlardır.

Üç eksenli sıkışma deneyinde $\Delta\sigma_2 = \Delta\sigma_3$ biçimindedir. Bu durum için,



$$\Delta u = \frac{\Delta\sigma_1 + 2\Delta\sigma_3}{3} + a\sqrt{2}(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3) \quad (3.102)$$

halini alır.

Şekil 3.33c 'deki gibi tek eksenli deneyler için eşitlik 3.100 'de $\Delta\sigma_1$ yerine $\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3$ ve $\Delta\sigma_2$ ve $\Delta\sigma_3$ yerine sıfır alınabilir, bu durumda

$$\Delta u = \frac{\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3}{3} + a\sqrt{2}(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3)$$

veya

$$\Delta u = \left(\frac{1}{3} + a\sqrt{2}\right)(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3) \quad (3.103)$$

biçiminde yazılabilir. 3.97b ve 3.103 eşitliklerinin karşılaştırılmasından,

$$A = \left(\frac{1}{3} + a\sqrt{2}\right)$$

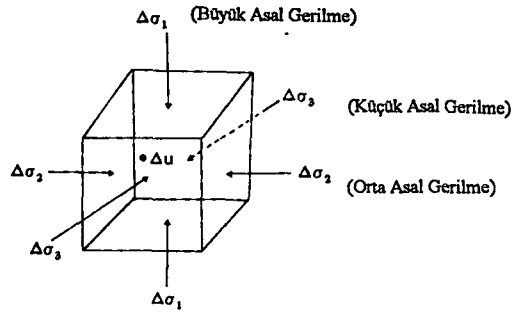
veya

$$a = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(A - \frac{1}{3}\right) \quad (3.104)$$

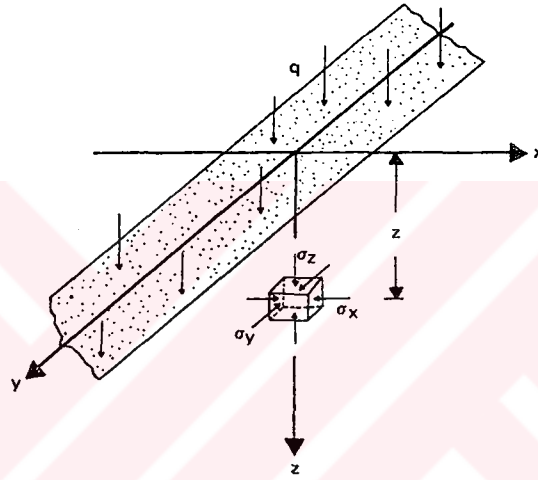
elde edilir.

Boşluk suyu basıncının daha temel olan bu tanımının faydası düzlem şekil değiştirmeler gibi yükleme koşulları ile artık boşluk suyu basıncını birlikte tahmin etmeyi mümkün kılmasıdır. Bu, aşağıda q üniform şiddetli (Şekil 3.35) fleksibl şerit yüklemenin merkez çizgisi altındaki doygun bir zemindeki (drenajsız koşulda) artık boşluk suyu basıncı

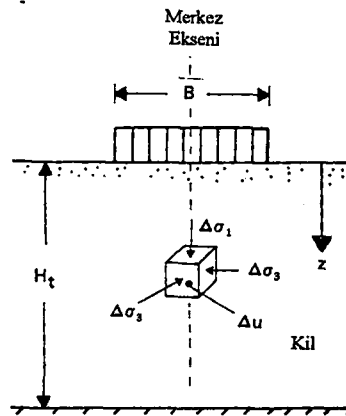




Şekil 3.34. Maksimum, orta ve minimum asal gerilmeli doygun zemin elemanı



Şekil 3.35. Drenajsız şartlarda doygun bir zemin üzerindeki şerit yüklemenin orta çizgisi altındaki artık boşluk suyu basıncının tahmini



Şekil 3.36. Dairesel yüklü bir alanın merkezi altındaki artık boşluk suyu basıncının oluşumu



gelişimi için bir ifade çıkarılmasıyla gösterilebilir. Düzlem şekil değiştirme durumunda bu tip yüklemeler için σ_x , σ_y ve σ_z ifadeleri

$$\sigma_z = \frac{2qz^3}{\pi(x^2 + z^2)^2} \quad (3.105)$$

$$\sigma_x = \frac{2qx^2z}{\pi(x^2 + z^2)^2} \quad (3.106)$$

$$\sigma_y = \nu(\sigma_x + \sigma_z)$$

biçimindedir, ($\sigma_z > \sigma_y > \sigma_x$).

Eşitlik 3.100 'de σ_1 , σ_2 ve σ_3 yerine σ_x , σ_y ve σ_z koyarak

$$\Delta u = \frac{\sigma_z + \nu(\sigma_x + \sigma_z) + \sigma_x}{3} + \frac{1}{\sqrt{2}} \left(A - \frac{1}{3} \right) \times \sqrt{[\sigma_z + \nu(\sigma_x + \sigma_z)]^2 + [\nu(\sigma_x + \sigma_z) - \sigma_x]^2 + (\sigma_x - \sigma_z)^2}$$

veya $\nu = 0.5$ için

$$\Delta u = \sigma_x + \left[\frac{\sqrt{3}}{2} \left(A - \frac{1}{3} \right) + \frac{1}{2} \right] (\sigma_z + \sigma_x) \quad (3.107)$$

elde edilir. Eğer standart üç eksenli deneylerden A 'nın değeri saptanabilirse Δu tahmin edilebilir.



3.6. Konsolidasyon Oturmasının Hesabında Skempton-Bjerrum Değiştirmesi (İyileştirmesi)

Tek boyutlu konsolidasyon deneylerinde zemin numunesinin yatay göçmesi yoktur, en büyük ve en küçük asal efektif gerilmelerin oranı, K_0 , sabit kalır. Bu durumda düşey gerilmedeki artıştan ileri gelen boşluk suyu basıncının artışı maksimum asal efektif gerilmeye eşittir:

$$\Delta u = \Delta \sigma \quad (3.108)$$

burada Δu , boşluk suyu basıncı artımı ve $\Delta \sigma$ düşey gerilme artışıdır.

Bununla beraber kil tabakasının bir noktasında verilen yükleme koşuluna bağılı olarak maksimum ve minimum asal gerilmeleri nihai artımı K_0 'a eşit oranda kalmaz. Bu ise zeminin yatay göçmesine neden olur. Verilen bir yükten ileri gelen bir noktadaki boşluk suyu basıncı artışı

$$\Delta u = \Delta \sigma_3 + A(\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3) \quad (3.99)$$

olarak verilir (Şekil 3.36).

Skempton - Bjerrum (1957) dz kalınlıklı bir zemin elemanın Δu boşluk suyu basıncı artışından ileri gelen düşey sıkışmanın

$$dS_c = m_v \Delta u dz \quad (3.109)$$

biçiminde verilebileceğini ortaya koymuşlardır, burada m_v hacimsel sıkışma katsayısıdır (bölüm 3.1.2), veya



$$dS_c = m_v [\Delta\sigma_3 + A(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3)] dz = m_v \Delta\sigma_1 \left[A + \frac{\Delta\sigma_3}{\Delta\sigma_1} (1 - A) \right] dz \quad (3.110)$$

Önceki denklem toplam konsolidasyon oturmasını elde etmek için entegre edilirse

$$S_c = \int_0^{H_t} m_v \Delta\sigma_1 \left[A + \frac{\Delta\sigma_3}{\Delta\sigma_1} (1 - A) \right] dz \quad (3.111)$$

elde edilir.

Geleneksel bir boyutlu konsolidasyon için (K_0 şartı):

$$S_{c(oed)} = \int_0^{H_t} \frac{\Delta e}{1 + e_0} dz = \int_0^{H_t} \frac{\Delta e}{\Delta\sigma_1} \frac{1}{1 + e_0} \Delta\sigma_1 dz = \int_0^{H_t} m_v \Delta\sigma_1 dz \quad (3.112)$$

yazılabilir. (Eşitlik 3.112 'nin eşitlik 3.84 ile aynı olduğunu belirtelim.) Böylece dairesel yük için oturma oranı

$$\begin{aligned} \rho_{daire} &= \frac{S_c}{S_{c(oed)}} = \frac{\int_0^{H_t} m_v \Delta\sigma_1 \left[A + (\Delta\sigma_3 / \Delta\sigma_1)(1 - A) \right] dz}{\int_0^{H_t} m_v \Delta\sigma_1 dz} \\ &= A + (1 - A) \frac{\int_0^{H_t} \Delta\sigma_3 dz}{\int_0^{H_t} \Delta\sigma_1 dz} = A + (1 - A) M_1 \end{aligned} \quad (3.113)$$

burada ,

$$M_1 = \frac{\int_0^{H_t} \Delta\sigma_3 dz}{\int_0^{H_t} \Delta\sigma_1 dz} \quad (3.114)$$



B çaplı dairesel alan üzerine düzgün yayılı yüklemenin merkezi altında oluşan gerilmeler için M_1 değerleri Şekil 3.37 'te verilmektedir. Çeşitli A boşluk suyu basıncı parametreleri için ρ_{daire} oturma oranı değerleri Şekil 3.38 'de verilmektedir.

Eşitlik 3.113 'e benzer bir ifadeyi B genişlikli şeritsel bir yükün merkezi altındaki konsolidasyon içinde çıkarabiliriz (Scott, 1963) (Şekil 3.39).

Eşitlik 3.107 'den

$$\Delta u = \Delta \sigma_3 + \left[\frac{\sqrt{3}}{2} \left(A - \frac{1}{3} \right) + \frac{1}{2} \right] (\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3) \quad (v=0.5 \text{ için}) \quad (3.115)$$

biçiminde elde edilir. Böylece

$$S_c = \int_0^{H_t} m_v \Delta u dz = \int_0^{H_t} m_v \Delta \sigma_1 \left[N + (1 - N) \frac{\Delta \sigma_3}{\Delta \sigma_1} \right] dz \quad (3.116)$$

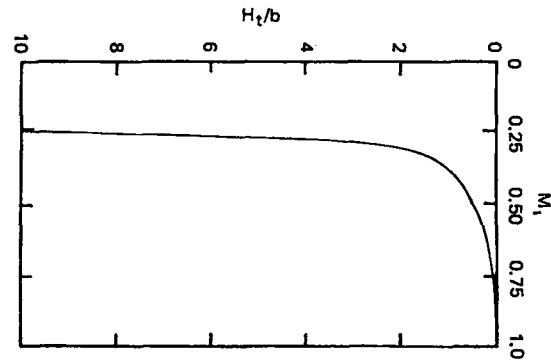
burada,

$$N = \frac{\sqrt{3}}{2} \left(A - \frac{1}{3} \right) + \frac{1}{2} \quad (3.117)$$

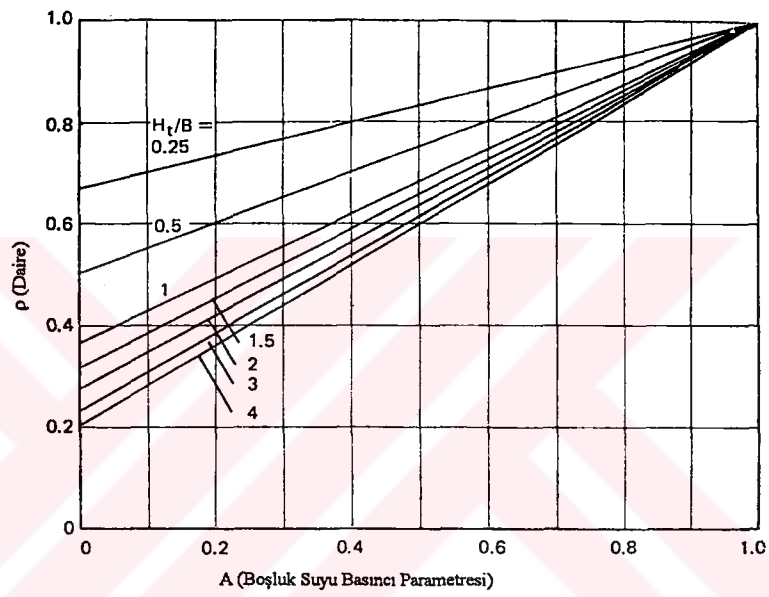
biçimindedir.

$$\begin{aligned} \rho_{\text{şerit}} &= \frac{S_c}{S_{c(\text{oed})}} = \frac{\int_0^{H_t} m_v \Delta \sigma_1 [N + (1 - A)(\Delta \sigma_3 / \Delta \sigma_1)] dz}{\int_0^{H_t} m_v \Delta \sigma_1 dz} \\ &= N + (1 - N) M_2 \end{aligned} \quad (3.118)$$

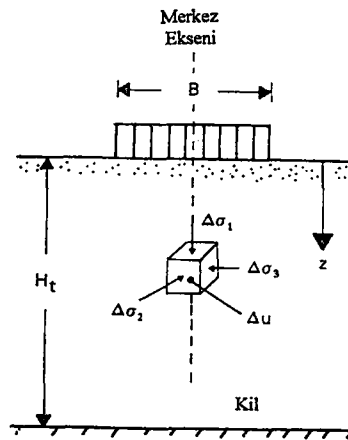




Şekil 3.37. M_1 'in H_t/B ile değişim grafiği



Şekil 3.38. Dairesel yükleme için oturma oranı (Eşitlik 3.113)



Şekil 3.39 Üiform şerit yüklü bir alanın merkezi altındaki artık boşluk suyu basıncının oluşumu



burada ,

$$M_2 = \frac{\int_0^{H_t} \Delta\sigma_3 dz}{\int_0^{H_t} \Delta\sigma_1 dz} \quad (3.119)$$

biçimindedir.

A boşluk suyu basınç parametresinin farklı değerleri için $\rho_{\text{şerit}}$ değerleri Şekil 3.40'de verilmektedir.

Eşitlik 3.113 ve 3.118 'den elde edilen oturmaların sadece simetri eksenı boyunca olan oturma hesaplamaları için kullanılabileceği mutlaka belirtilmelidir. Simetri ekseninden uzaklardaki asal gerilmeler yatay ve düşey doğrultularda daha farklı değildir.

3.7. Aşırı Konsolide Killerin Oturması

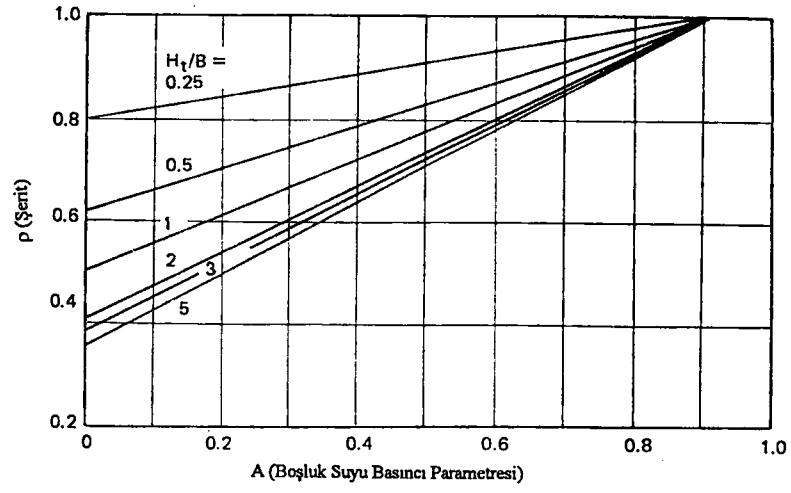
Aşırı konsolide killer üzerindeki yapı temellerinin oturması, kil tabakasının bölüm 3.4.1.2. 'de bahsedilen Metod B 'deki kalınlıkların daha küçük kalınlıklarda sonlu sayıda tabaka sayısına bölünerek hesaplanabilir. Böylece,

$$S_{c(oed)} = \sum \frac{C_r \Delta H_i}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_{0(i)} + \Delta\sigma_i}{\sigma'_{0(i)}} \quad (3.120)$$

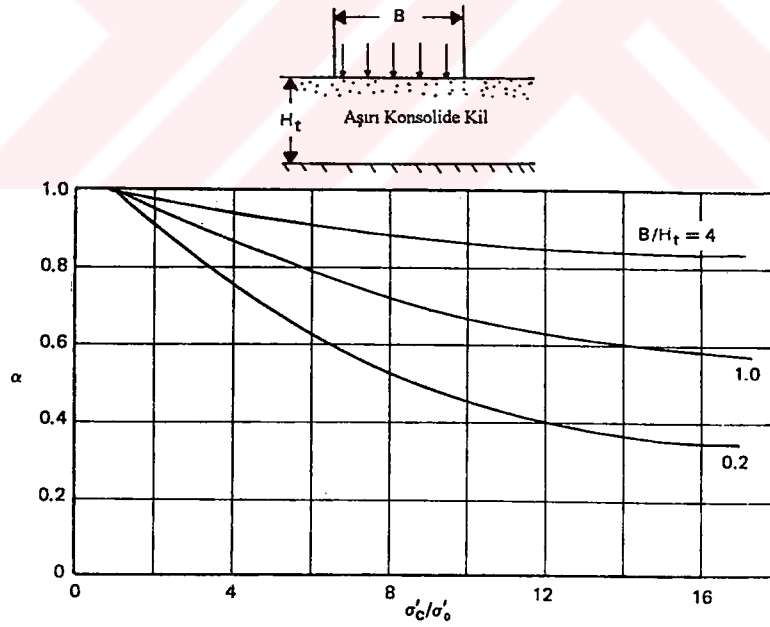
Bölüm 3.6 'da bahsedilen bir boyutlu konsolidasyondan küçük bir değişikliği izah etmek için Leornards (1976) α gibi düzeltme faktörü önermiştir.

$$S_c = \alpha S_{c(oed)} \quad (3.121)$$





Şekil 3.40. Şerit yükleme için oturma oranı (Eşitlik 3.118)



Şekil 3.41. Aşırı konsolide kildeki oturma oranı



Şekil 3.41b 'de, α düzeltme faktörünün değerleri verilmiştir ve bunlar σ'_c / σ'_0 ortalama değerlerinin ve B/H_t (B temel genişliği, H_t kil tabakasının kalınlığı (Şekil 3.41a) 'nin bir fonksiyonudur. Leonard 'a göre $B > 4H_t$ ise $\alpha=1$ kullanılabilir. Aynı zamanda kil tabakasının üstüne kadar olan derinlik yüklü alanın genişliğinin iki katını aşarsa, $\alpha=1$ eşitlik 3.121 'de kullanılabilir.

3.8. Laboratuvar Deney Sonuçlarından Konsolidasyon Katsayısının Hesabı;

Verilen bir yük artışı için C_v konsolidasyon katsayısı, sıkışma-zaman okumasının laboratuvar gözlemlerinden saptanabilir. Bunun için iki grafik metod yaygın olarak kullanılır.

- a. Casagrande and Fadum (1940) tarafından verilen Logaritma Zaman Metodu
- b. Taylor (1942) tarafından verilen Karekök Zaman Metodu.

Ayrıca Su (1958) ve Sivaram and Swamee (1977) tarafından verilen iki kullanışlı metod daha vardır. Bu dört metodun herbiri aşağıda tanımlanmıştır.

a. Logaritma Zaman Metodu,

1. Yarı logaritmik grafik kağıdı üzerine, Şekil 3.42 'de görüldüğü gibi, zamana bağlı verilen bir yük artışı için numune deformasyonu-zaman okuması çizilir.

2. t_1 ve t_2 zamanlarına karşı gelen konsolidasyon eğrisinin üst kısmı üzerinde sırasıyla P ve Q noktaları işaretlenir. Burada $t_2=4t_1$ olmalıdır.

3. P ve Q arasındaki zaman okumaları farklı x eşittir. P noktasının üzerinde, x eşittir.

P noktasının üzerinde x uzaklığında bir R noktası belirlenir.

4. Yatay RS çizgisi çizilir. Bu çizginin düşey eksenini kestiği nokta %0 konsolidasyona karşı gelen saat okuması d_0 dir.



5. Birincil konsolidasyonun doğrusal kısmı ile ikincil konsolidasyonun doğrusal kısmının uzantılarının keştiği T noktası bulunur. T 'ye karşı gelen saat okuması d_{100} yani %100 birincil konsolidasyondur.

6. $(d_0 + d_{100})/2 = d_{50}$ saat okumasına karşı gelen konsolidasyon eğrisi üzerinde V noktası saptanır. V noktasına karşı gelen zaman t_{50} , yani %50 konsolidasyonun gerçekleştiği zamandır.

7. $T_v = C_v t / H^2$ eşitliğinden C_v saptanır. $U_{av} = \%50$ için $T_v = 0.197$ dir (Tablo 3.1). Böylece

$$C_v = \frac{0.197 H^2}{t_{50}} \quad (3.122)$$

biçiminde bulunur.

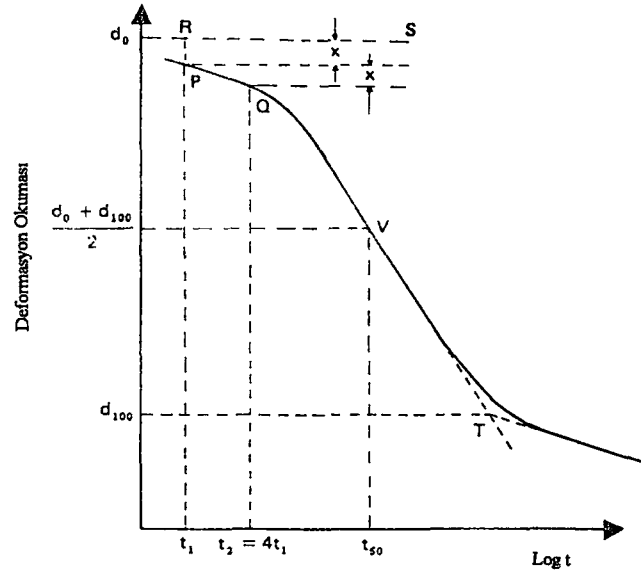
b. Karekök Zaman Metodu

1. Şekil 3.43 'de görüldüğü gibi $\sqrt{t}$ karekök zaman ve saat okumaları çizilir.
2. Eğrinin ilk kısmına PQ teğeti çizilir.
3. $OR = (1.15)(OQ)$ uzunluğu olacak biçimde PR doğrusu çizilir.
4. S noktasının (yani PR ile konsolidasyon eğrisinin keştiği nokta) apsisi $\sqrt{t_{90}}$ 'ı (yani %90 konsolidasyonun olduğu karekök zamanı) verecektir.
5. Ortalama $U_{av} = \%90$ için T_v değeri 0.848 dir. Böylece

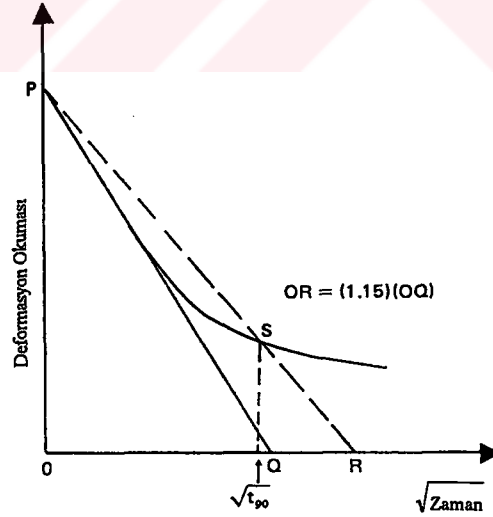
$$C_v = \frac{0.848 H^2}{t_{50}} \quad (3.123)$$

elde edilir.





Şekil 3.42. C_v 'nin bulunmasında logaritma zaman metodunun grafiği



Şekil 3.43. C_v 'nin bulunmasında karekök zaman metodunun grafiği



c. Su 'nun maksimum eğim medotu

1. Şekil 3.44 'da görüldüğü gibi yarı logaritmik grafik kağıdına zaman-deformasyon okuması çizilir.
2. Logaritma zaman metodundaki 2-4 adımlarındaki durumlarla aynı biçimde d_0 saptanır.
3. Konsolidasyon eğrisinin doğrusal kısmına PQ teğeti çizilir.
4. PQ teğetinin h eğimi bulunur.
- 5.

$$d_u = d_0 + \frac{h}{0.688} U_{av} \quad (3.124)$$

olarak bulunur, burada d_u , verilen herhangi bir U_{av} ortalama konsolidasyon derecesine karşı gelen deformasyon okumasıdır.

6. d_u okumasına karşı gelen zaman böylece saptanabilir ve

$$C_v = \frac{T_v H^2}{t} \quad (3.125)$$

biçiminde hesaplanabilir.

Su 'nun metodu tipik S şekli sergilemeyen konsolidasyon eğrileri için daha uygulanabilir.



d. Sivaram ve Swamee Hesaplamalı Metodu,

1. Konsolidasyonun ilk aşamasından ("ilk aşama" konsolidasyon derecesinin %53 den daha küçük olduğu anlamındadır) t_1 ve t_2 zamanlarına karşı gelen d_1 ve d_2 deformasyon okuması alınır

2. Oturmanın büyük bir kısmının tamamlandığı bir t_3 zamanında d_3 okuması alınır.

3.

$$d_0 = \frac{d_1 - d_2 \sqrt{t_1/t_2}}{1 - \sqrt{t_1/t_2}} \quad (3.126)$$

olarak saptanır.

4.

$$d_{100} = d_0 - \frac{d_0 - d_3}{\left\{ 1 - \left[(d_0 - d_3)(\sqrt{t_2} - \sqrt{t_1}) / (d_1 - d_2)\sqrt{t_3} \right]^{5.6} \right\}^{0.179}} \quad (3.127)$$

olarak saptanır.

5.

$$C_v = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_1 - d_2}{d_0 - d_{100}} \frac{H}{\sqrt{t_2} - \sqrt{t_1}} \right)^2 \quad (3.128)$$

olarak saptanır, burada H maksimum drenaj boyunun uzunluğudur.



3.9. İkincil Konsolidasyon

Önceki bölümlerde kilin birincil konsolidasyonu sonucunda sürekli yüklemeler altında oturmaya devam ettiğini ve bunun kil parçacıklarının sürekli biçimde tekrar düzenlenmesinden olduğu işaret edilmişti. İkincil konsolidasyonun niteliksel ve niceliksel incelenmesi için çeşitli araştırmalar yürütülmüştür. İkincil konsolidasyonun şiddeti (Şekil 3.19) genellikle,

$$C_{\alpha} = \frac{\Delta H_t / H_t}{\log t_2 - \log t_1} \quad (3.129)$$

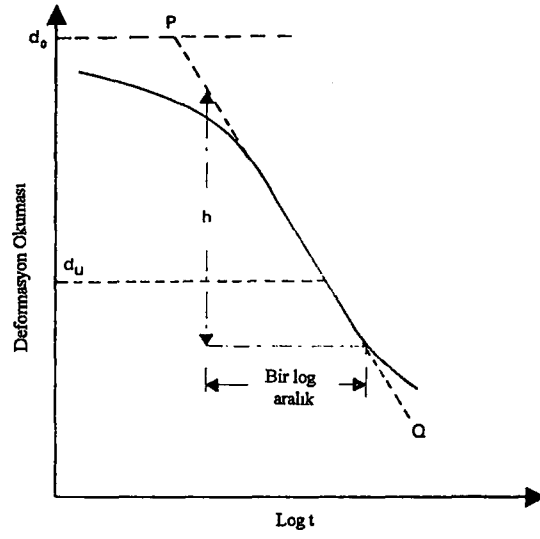
biçiminde tanımlanır, burada C_{α} ikincil konsolidasyon katsayısıdır.

Mesri (1973) bu alandaki çeşitli araştırmacıların çalışmalarının geniş bir listesini yayınlamıştır. Şekil 3.45 bir takım killi zeminlerde gözlenen ikincil konsolidasyon katsayısının genel aralığını göstermektedir.

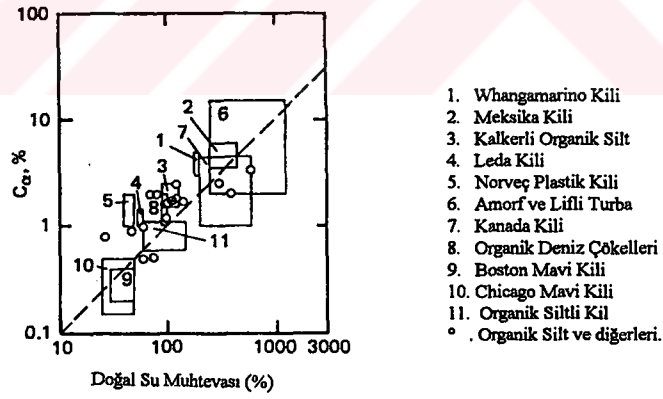
İkincil konsolidasyon değeri plastik killer ve organik zeminlerde yüksektir. Tablo 3.4 ikincil sıkışmaya dayalı bir zemin sınıflandırmasını verir.

İkincil konsolidasyonun birincil konsolidasyona oranı numune kalınlığı ve yük artırımı oranı $\Delta\sigma/\sigma'$ ($\Delta\sigma$ gerilme artımı ve σ' yük artırımı uygulanmadan önceki numune üzerindeki efektif gerilmedir) gibi faktörlere bağlıdır.





Şekil 3.44. C_v 'nin bulunmasında maksimum eğim metodunun grafiği



Şekil 3.45. Doğal zeminler için ikincil konsolidasyon katsayıları



Tablo 3.4. İkincil Sıkışmaya Dayalı Zemin Sınıflandırması

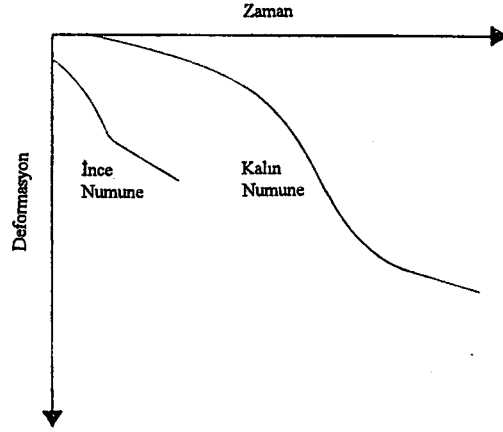
C_α	İkincil Sıkışabilirlik
<0.002	Çok düşük
0.004	Düşük
0.008	Orta
0.016	Yüksek
0.032	Çok yüksek
0.064	Son derece yüksek

Aynı yük artımı oranı için ikincil konsolidasyonun birincil konsolidasyonuna oranı numune kalınlığının azalmasıyla artar (Şekil 3.50). Aynı şekilde ikincil sıkışmanın birincil sıkışmaya oranı $\Delta\sigma/\sigma'$ 'nün azalması ile artar.

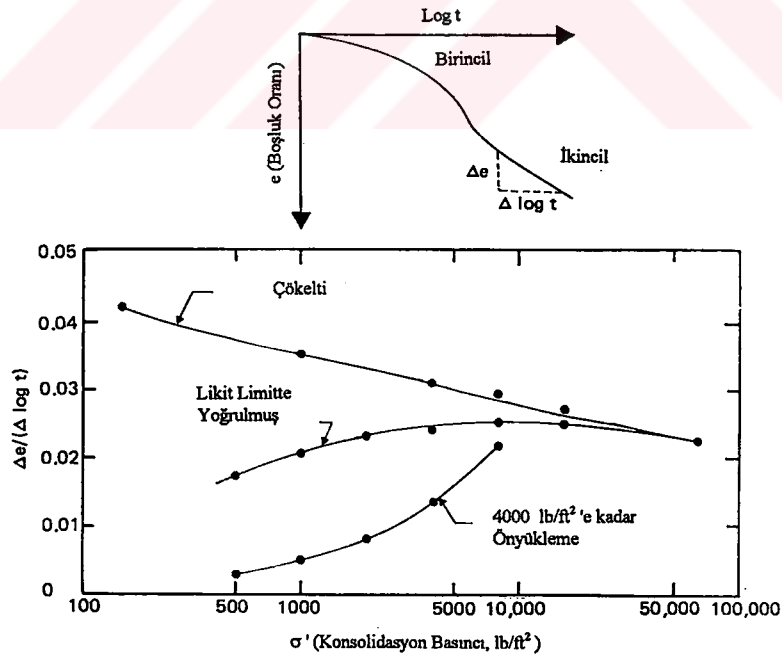
Yoğrulma ve ön yüklemenin ikincil sıkışmaya etkisinin araştırılması için, Mesri (1973) bir Paulding organik kili üzerinde bir seri tek boyutlu konsolidasyon deneyleri yapmıştır. Şekil 3.47 'de $\Delta e / (\Delta \log t)$ konsolidasyon basıncı grafiğinin biçimini gösterir. Bu deneyler için her bir numune artık boşluk suya basıncının dağılması için yeteri kadar zaman verildiği ve yük artırımı oranı 1 olduğu nihai basınca kadar yüklenmiştir. Nihai basınç altında, ikincil sıkışma 6 aylık bir periyot için gözlenmiştir. Aşağıdaki fikirler deneylerin sonuçlarından çıkarılabilir.

1. Çökelmiş (örselenmemiş) zeminler için $\Delta e / (\Delta \log t)$ nihai konsolidasyon basıncının artımı ile azalır.
2. Killerin yoğrulması fazla dağılmış bir bünye yaratır. Bu, yoğrulmuş killer daha düşük konsolidasyon basınçlarında örselenmemiş numunelere kıyasla ikincil konsolidasyon katsayısının azalması sonucunu verir. Bununla beraber bu konsolidasyon basıncı ile bir maksimum değere kadar artar ve sonra düşer, sonunda normal konsolide örselenmemiş numunenin değerleri ile birleşir.
3. Önceden sıkıştırılmış killer daha düşük bir ikincil konsolidasyon katsayısı değeri gösterir. İndirgemenin derecesi ön sıkışma derecesinin bir fonksiyonu gibi görünmektedir.





Şekil 3.46. $\Delta\sigma/\sigma'$ aynı yükleme artım oranlarının numune kalınlığı üzerine etkisi



Şekil 3.47. Organik Paulding kili ikincil sıkışma katsayısı



3.9.1. İkincil Konsolidasyon Oturması

C_α ikincil konsolidasyon katsayısı

$$C_\alpha = \frac{\Delta H_t / H_t}{\Delta \log t} \quad (3.129)$$

olarak tanımlanmıştır, burada t zaman ve H_t kil tabakasının kalınlığıdır.

C_α 'nın zamanının logaritması ile azaldığı ve ikincil konsolidasyonun başlangıcındaki kil tabakasının toplam kalınlığı ile doğru orantılı olduğu ortaya konmuştur. Böylece ikincil konsolidasyon oturması

$$S_s = C_\alpha H_{ts} \log \frac{t}{t_p} \quad (3.130)$$

olarak verilebilir, burada

$H_{ts} = H_t - S_c$ ikincil konsolidasyonun başlangıcındaki kil tabakası kalınlığı

t = ikincil konsolidasyon için gerekli zaman

t_p = birincil konsolidasyonun sonundaki zaman.

İkincil oturmaların gerçek arazi ölçümleri relatif olarak nadirdir. Bununla birlikte ölçülmüş ve tahmini oturmalarının iyi uyuşmaları bazı gözlemciler tarafından Horn and Lambe (1964), Crawford and Sutherland (1971) ve Su and Prysock (1972), rapor edilmiştir.



3.10. Standart Tek Boyutlu Konsolidasyon Deneyi için Bazı Öneriler

Yukarıda, standart tek boyutlu konsolidasyon deneyi anlatılmıştı ve her 24 saatte bir yükün genel olarak ikiye katlanarak yüklendiği ($\Delta\sigma/\sigma' = 1$) bahsedilmişti. Deney ile ilgili aşağıdaki gibi bazı sorular akla gelebilir.

1. Yük artım oranı ($\Delta\sigma/\sigma'$) ikiye katlanmadığı zaman ne olur?
2. Eğer zemin numunesi üzerine verilen bir yük 24 saatten fazla durursa ne olur?

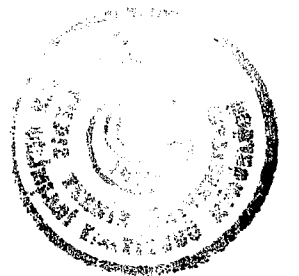
Bu bölümde benzer koşullar altında e - $\log\sigma'$ değişimi incelenecektir.

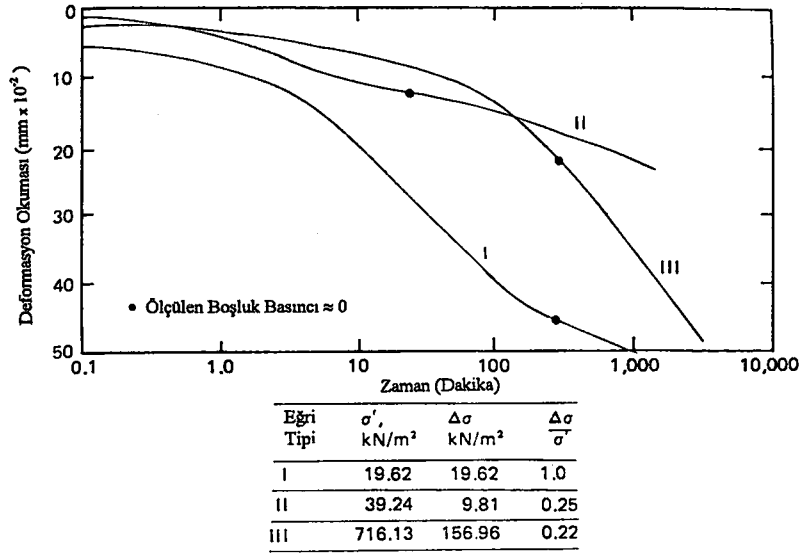
3.10.1. σ/σ' Yük artım oranının etkisi;

Bir boyutlu konsolidasyon deneyinde sıkışma zaman eğrilerinin şeklindeki eğriliğin değişimi, genellikle yük artım oranı esas itibarıyla bir düşük değere indirgenirse ortaya çıkar. Şekil 3.48 örselenmemiş Meksika kilinin sıkışma-zaman eğrisinin şeklini gösterir. Eğri I $\Delta\sigma/\sigma' = 1$ içindir. Eğri II ve III sırasıyla yük artım oranlarının ($\Delta\sigma/\sigma'$) 0.25 ve 0.2 olduğu durumlar içindir. Birincil konsolidasyonun sonundaki konum - yani Eğri II ve III deki yük artırımından dolayı olan 0 (sıfır) artık boşluksuyu basıncı - kaldırmak biraz zordur. C_v konsolidasyon katsayısının saptanmasında Su metodu bu eğriler için daha uygulanabilir.

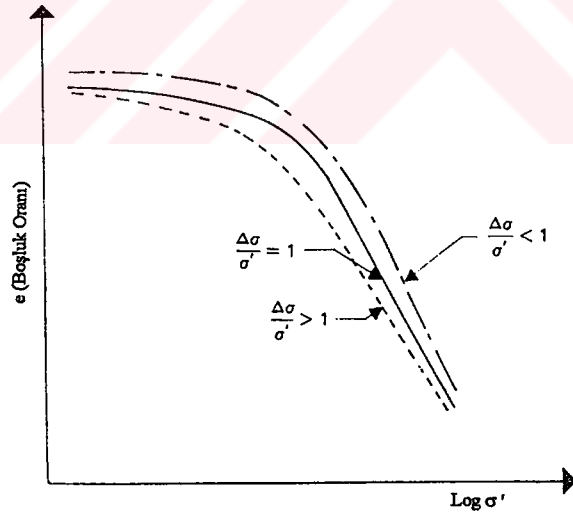
Yük artım oranı kilin konsolidasyonu üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Şekil 3.49, çeşitli $\Delta\sigma/\sigma'$ değerleri için e - $\log\sigma'$ eğrisinin yapısını göstermektedir.

Eğer $\Delta\sigma/\sigma'$ küçükse daha büyük $\Delta\sigma/\sigma'$ değerlerinininkilerle karşılaştırıldığında daha küçük bir sıkışmayla sonuçlanan tekil kil parçacıklarının kendi denge durumlarını tekrar ayarlama kabiliyetleri küçüktür.

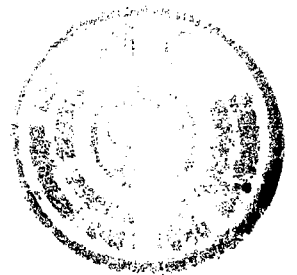




Şekil 3.48. Meksika kili için $\Delta\sigma/\sigma'$ 'nün konsolidasyon eğrileri üzerine etkisi



Şekil 3.49. Yük artım oranının e-log σ' eğrisine etkisi



3.10.2. Yük Uygulama Süresinin Etkisi

Zemin numunesinin verilen bir yük altında yaklaşık bir gün kadar maruz bırakıldığı yaygın deneylerde belli bir miktar ikincil konsolidasyon, sonraki yük artırımı ilave edilmeden önce meydana gelir. Eğer numune verilen bir yük altında bir günden fazla tutulursa ilave ikincil konsolidasyon oturması meydana gelir. Bu ilave ikincil konsolidasyonun miktarı Şekil 3.50 'de görüldüğü gibi e-log σ' grafiğinde bir etkiye sahip olacaktır. a eğrisi birincil konsolidasyonun sonundaki sonuçlara dayanır. b eğrisi standart 24 saatlik yük artırım süresine dayanır. c eğrisinde ise, sonraki yük artırımı uygulanmadan önce verilen yük bir hafta uygulanmıştır. σ' 'nün verilen bir değeri için şekil değiştirmesi numunenin sonraki yük artımı uygulanmadan önceki maruz kaldığı toplam deformasyondan hesaplanır.

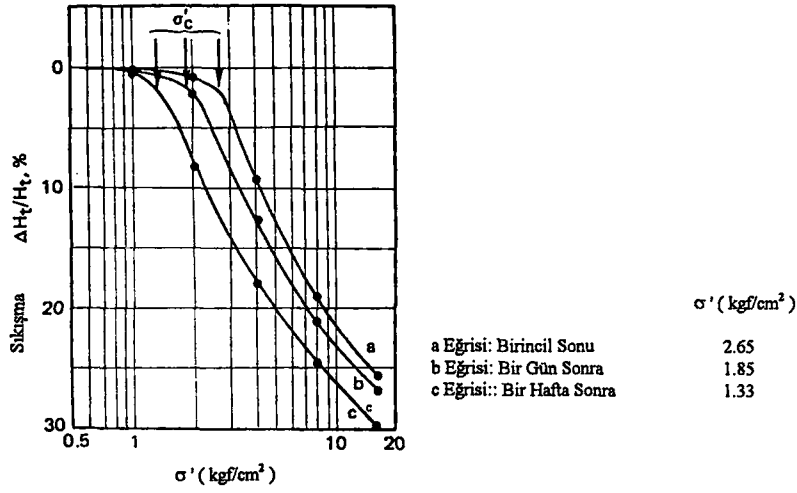
Belirtilmesi gereken diğer bir noktada bu eğrilerin herbirisi için Casagrande grafik metodu ile saptanan ön konsolidasyon basıncı farkı olup 260-130 kN/m² arasında değişmektedir.

3.10.3. İkincil Konsolidasyonun Ön Konsolidasyon Basıncı Üzerine Etkisi

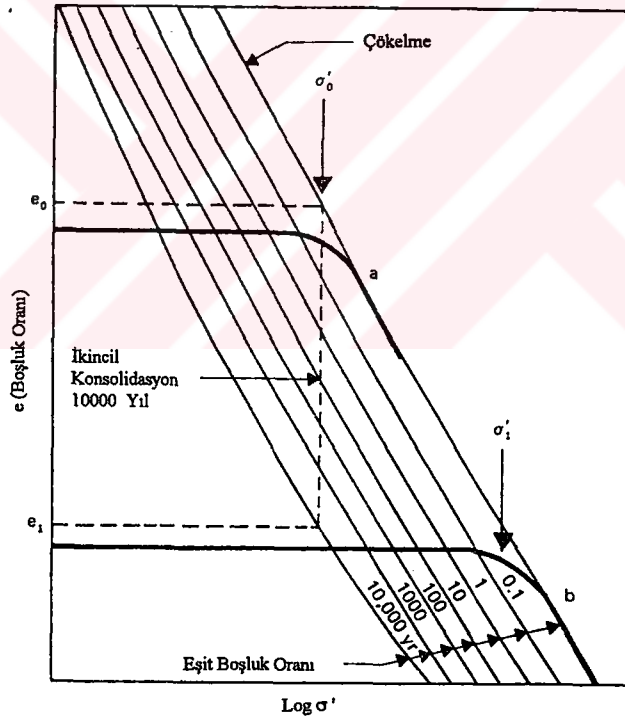
Tablo 3.2 'de, bir kil zemindeki devam eden ikincil konsolidasyonun zeminin yapısını değiştirdiği ve σ'_c ön konsolidasyon basıncı üzerinde bazı etkileri olduğu belirtilmiştir. Bu Şekil 3.50 'de Leda kili içinde gösterilmiştir. Bu mekanizmanın prensibi Şekil 3.51 'da verilen çok idealize edilmiş diyagram tarafından açıklanabilir.

Kendi ağırlığı ile dengeye gelen ve yeni çökelmiş bir kile "genç, normal konsolide kil" denilebilir. Bir dengedeki e_0 boşluk oranında σ'_0 efektif basınç altındaki bir kil zeminden çıkarılır ve konsolidometrede deneye tabi tutulursa Şekil 3.51 'da a eğrisi ile işaret edilen bir e-log σ' eğrisi sergiler. Burada a eğrisi için ön konsolidasyon basıncı σ'_0 'dür.





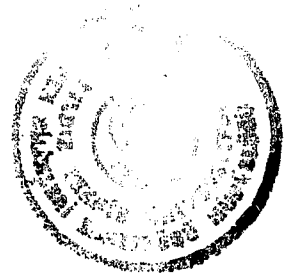
Şekil 3.50. Leda kili üzerinde normal ve uzun süreli yük artımları için efektif basınç eğrilerinin logaritmasına karşı gelen sıkışma grafiği (sıkışma - log σ' grafiği)



Şekil 3.51. Normal konsolide killerin sıkışabilirliği ve jeolojik geçmişi

a eğrisi : genç, normal konsolide kil $\sigma'_0 = \sigma'_c$

b eğrisi : yaşlı, normal konsolide kil $\sigma'_1 = \sigma'_c$



Diğer taraftan örneğin aynı kil aynı σ'_0 efektif basınç altında 10000 yıl örselenmeden kalsa krip veya ikincil konsolidasyon meydana gelirdi. Bu boşluk oranını e_1 indirgerdi. Kile bu durumda "yaşlı, normal konsolide kil" denilebilir. e_1 boşluk oranındaki ve σ'_0 efektif basınç altındaki bu kil zeminden çıkarılsa ve konsolidometre de deney yapılırsa Şekil 3.51 'daki **b** eğrisi gibi bir e - $\log \sigma'$ eğrisi verir. Standart işlemlere belirlenen ön konsolidasyon basıncı σ'_1 olacaktır. Bu durumda $\sigma'_c = \sigma'_1 > \sigma'_0$ 'dür. Bu bazen yarı ön konsolidasyon etkisi olarak adlandırılır.

Bölüm 3.8. 'de de bahsedildiği gibi ikincil konsolidasyonun etkisi yüksek plastisiteli killerde daha belirgindir. Böylece aynı koşullar altında yarı önkonsolidasyon basıncının efektif basınca oranı σ'_1/σ'_0 zeminin plastisite indisi ile artar sonucu çıkarılabilir. Geç buzul ve buzul sonrası periyotlar süresince çökelen normal konsolide killer üzerinde yapılan gözlemler sonucundaki bu etki Şekil 3.52 'de görülmektedir.

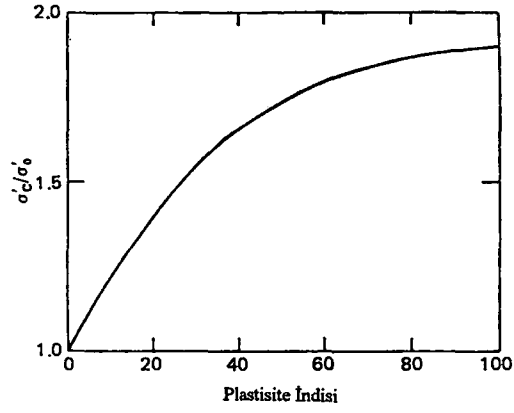
3.11. Diğer Konsolidasyon Deneyleri

Bölüm 3.3 'de bahsedilen standart bir boyutlu konsolidasyon deneyi uzunca bir zaman aldığı için son zamanlarda, çok daha hızlı fakat oldukça iyi sonuçlar veren en az iki tane bir boyutlu konsolidasyon deney metodu geliştirilmiştir. Metodlar (1) sabit şekil değiştirme hızlı konsolidasyon deneyi (CRS) ve (2) Sabit Hidrolik Eğimli Konsolidasyon (CGT) Deneyidir.

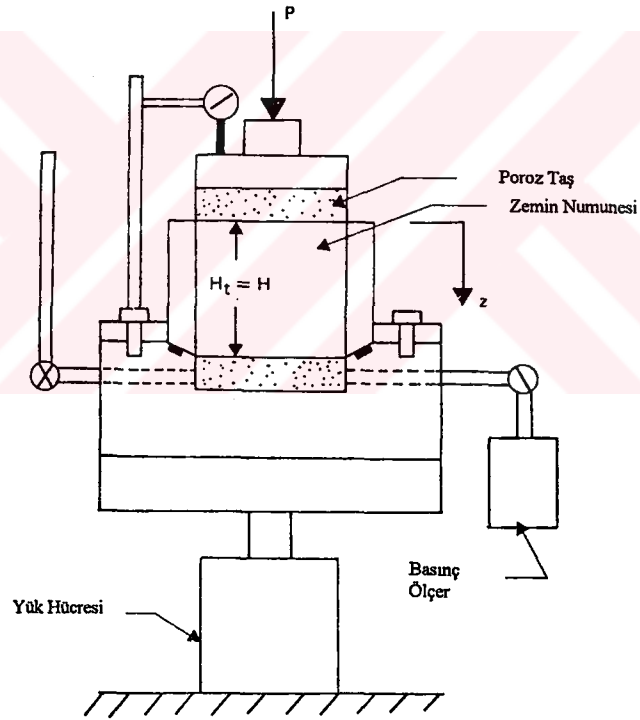
3.11.1. Sabit Şekil Değiştirme Hızlı Konsolidasyon Deneyi (CRS)

Sabit şekil değiştirme hızlı konsolidasyon deneyi metodu Smith ve Wahls (1969) tarafından geliştirildi. Bir zemin numunesi sabit ringli konsolidometresi içine alınır ve doyurulur. Deneyi yapmak için drenaj numunenin üstünden serbest bırakılır fakat altında bırakılmaz. Sürekli artan bir yük sabit bir şekil değiştirme hızı oluşacak şekilde numunenin üstünden uygulanır ve u_b üstte sürekli artan gerilmeden dolayı ortaya çıkan artık boşluk suyu basıncı ölçülür. Şekil 3.53 laboratuvar deney setinin şematik bir diyagramını gösterir.





Şekil 3.52. Geç buzul ve buzul sonrası normal konsolide killerde gözlenen σ'_c/σ'_0 tipik değerleri



Şekil 3.53. CRS laboratuvar deneyinin şematik gösterimi



3.11.1.1. Teori

Smith ve Wahls tarafından boşluk oranı efektif basınç ilişkisi ve buna karşı gelen konsolidasyon katsayısını elde etmek üzere geliştirilen matematiksel ifadeler aşağıda verilmektedir.

Zemin elemanı boyunca olan sürekli akımın temel denklemi eşitlik 3.15

$$\frac{k}{\gamma_w} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{1}{1+e} \frac{\partial e}{\partial t} \quad (3.15)$$

olarak verilir.

Verilen bir zamandaki permeabilite katsayısı zemindeki ortalama boşluk oranı $\bar{e}$ 'nin bir fonksiyonudur. Bununla beraber ortalama boşluk oranı sabit şekil değiştirme hızından dolayı sürekli değişir. Böylece

$$k = k(\bar{e}) = f(t) \quad (3.131)$$

biçimindedir. Ortalama boşluk oranı

$$\bar{e} = \frac{1}{H} \int_0^H e \, dz \quad (3.132)$$

biçimindedir, burada $H (= H_t)$ numune kalınlığıdır.

Sabit şekil değiştirme hızlı konsolidasyon deneyi tipli deneyde hacim değişme hızı sabittir, veya



$$\frac{dV}{dt} = -RA \quad (3.133)$$

burada , V = Zemin hacmi

A = Numune kesit alanı

R = Üst yüzeyin sabit deformasyon hızıdır.

$\bar{e}$ ortalama boşluk oranının değişim hızı

$$\frac{d\bar{e}}{dt} = \frac{1}{V_s} \frac{dV}{dt} = -\frac{1}{V_s} RA = -r \quad (3.134)$$

olarak verilebilir, burada r bir sabittir.

$\bar{e}$ 'nin tanımına ve eşitlik 3.131 'e dayanarak

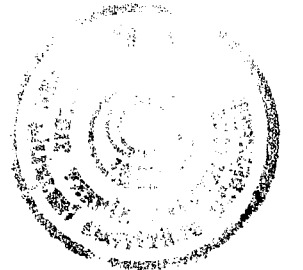
$$e_{(z, t)} = g(z)t + e_0 \quad (3.135)$$

olarak yazılabilir, burada $e_{(z, t)}$ = z derinliğindeki ve t zamanındaki boşluk oranı
 e_0 = deney başlangıcındaki başlangıç boşluk oranı
 $g(z)$ = sadece derinliğin bir fonksiyonudur.

$g(z)$ fonksiyonunu saptamak zordur.

$$g(z) = -r \left[1 - \frac{b}{r} \left(\frac{z - 0.5H}{H} \right) \right] \quad (3.136)$$

biçiminde lineer bir fonksiyon olarak varsayılabilir, burada b bir sabittir. Bunu 3.135 eşitliğinde yerine koyarak



$$e_{(z,t)} = e_0 - rt \left[1 - \frac{b}{r} \left(\frac{z - 0.5H}{H} \right) \right] \quad (3.137)$$

elde edilir.

Eşitlik 3.137 'de verilen b/r 'nin olası değişim aralığı :

1. Eğer $b/r = 0$ ise ,

$$e_{(z,t)} = e_0 - rt \quad (3.138)$$

Bu boşluğun derinlikle sabit olduğunu ve sadece zamanla değiştiğini gösterir. Bu gerçek bir durum değildir.

2. Eğer $b/r = 2$ ise, numunenin altındaki, yani $z=H$, boşluk oranı

$$e_{(H,t)} = e_0 \quad (3.139)$$

haline gelir.

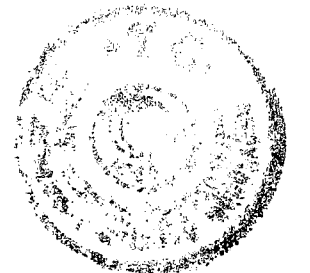
Bu , tabandaki boşluk oranının zamanla değişmediği anlamına gelirki gerçekçi değildir. b/r değeri 0 ile 2 arasında olup yaklaşık olarak 1 olarak alınabilir.

$b/r \neq 0$ varsayarak ve boşluk oranını eşitlik 3.35 'de verildiği ifadesini kullanarak 3.15 eşitliği artık boşluk suyu basıncı denklemini elde etmek üzere integre edilebilir. Sınır koşulları :

$z=0$ 'da $u=0$ (herhangi bir zamanda) ve

$z=H$ 'da $\partial u / \partial z = 0$ (herhangi bir zamanda)

biçimindedir. Böylece



$$u = \frac{\gamma_w r}{k} \left\{ zH \left[\frac{1+e_0-bt}{rt(bt)} \right] + \frac{z^2}{2rt} - \left[\frac{H(1+e_0)}{rt(bt)} \right] \right. \\ \left. \times \left[\frac{H(1+e)}{bt} \ln(1+e) - z \ln(1+e_B) - \frac{H(1+e_T)}{bt} \ln(1+e_T) \right] \right\} \quad (3.140)$$

elde edilir. Burada

$$e_B = e_0 - rt \left(1 - \frac{1}{2} \frac{b}{r} \right) \quad (3.141)$$

$$e_T = e_0 - rt \left(1 + \frac{1}{2} \frac{b}{r} \right) \quad (3.142)$$

biçimindedir.

Eşitlik 3.140 çok karmaşıktır. Hassaslıktan büyük bir miktar kaybetmeksizin u ifadesi için 3.15 'deki $1+e$ teriminin yaklaşık olarak $1+\bar{e}$ 'ye (bu, z 'nin bir fonksiyonu değildir) eşit olduğu varsayılarak daha basit bir formunu elde etmek mümkündür. Bunun için eşitlik 3.15 ve 3.137 'den

$$\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \left[\frac{\gamma_w}{k(1+\bar{e})} \right] \frac{\partial}{\partial t} \left\{ e_0 - rt \left[1 - \frac{b}{r} \left(\frac{z-0.5H}{H} \right) \right] \right\} \quad (3.143)$$

elde edilir. $z=0$ $u=0$ ve $z=H$ $\partial u / \partial t = 0$ sınır koşulları kullanılarak eşitlik 3.143

$$u = \left[\frac{\gamma_w r}{k(1+\bar{e})} \right] \left[\left(Hz - \frac{z^2}{2} \right) - \frac{b}{r} \left(\frac{z^2}{4} - \frac{z^3}{6H} \right) \right] \quad (3.144)$$



elde edilecek biçimde integre edilebilir.

Numunenin tabanındaki boşluk basıncı eşitlik 3.144 'da $z=H$ konularak elde edilebilir;

$$u_{z=H} = \frac{\gamma_w r H^2}{k(1+\bar{e})} \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{12} \frac{b}{r} \right) \quad (3.145)$$

$u_{z=H}$ 'nin verilen bir değerine karşı gelen ortalama efektif gerilme

$$\sigma'_{av} = \sigma - \frac{u_{av}}{u_{z=H}} u_{z=H} \quad (3.146)$$

yazılarak elde edilebilir. Burada,

σ'_{av} = herhangi bir zamandaki zemin üzerindeki ortalama efektif gerilme

σ = numune üzerindeki toplam gerilme

u_{av} = karşı gelen ortalama boşluk suyu basıncı

$$\frac{u_{av}}{u_{z=H}} = \frac{\frac{1}{H} \int_0^H u \, dz}{u_{z=H}} \quad (3.147)$$

eşitlik 3.144 ve 3.145 'ü 3.147 'de yerine koyarak ve bazı basitleştirmeler yapılarak

$$\frac{u_{av}}{u_{z=H}} = \frac{\frac{1}{3} - \frac{1}{24} (b/r)}{\frac{1}{2} - \frac{1}{12} (b/r)} \quad (3.148)$$

elde edilir. Burada $b/r = 0$ için $u_{av}/u_{z=H} = 0.667$ ve

$b/r = 1$ için $u_{av}/u_{z=H} = 0.700$ dür.



Böylece $0 \leq b/r \leq 1$ için $u_{av}/u_{z=H}$ önemli bir değişme göstermez. Böylece eşitlik 3.146 ve 3.148 'den

$$\sigma'_{av} = \sigma - \left[\frac{\frac{1}{3} - \frac{1}{24}(b/r)}{\frac{1}{2} - \frac{1}{12}(b/r)} \right] u_{z=H} \quad (3.149)$$

elde edilir.

3.11.1.2. Konsolidasyon Katsayısı

Konsolidasyon katsayısı, 3.19 ifadesinin 3.21 'de yerine konmasıyla

$$C_v = \frac{k(1+e)}{a_v \gamma_w} \quad (3.150)$$

olarak elde edilir.

$1+e \approx 1+\bar{e}$ olduğu varsayılarak ve eşitlik 3.145 'den

$$k = \frac{\gamma_w r H^2}{(1+\bar{e}) u_{z=H}} \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{12} \frac{b}{r} \right) \quad (3.151)$$

elde edilir. Bunu C_v ifadesinde yerine koyarak

$$C_v = \frac{r H^2}{a_v u_{z=H}} \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{12} \frac{b}{r} \right) \quad (3.152)$$

elde edilir.

TÜRKİYE KİMYA VE PETROL
KONSERVASYON ENSTİTÜSÜ



3.11.1.3. Deneysel Sonuçların yorumlanması

Aşağıdaki bilgi sabit şekil değiştirme hızlı konsolidasyon deneyinden elde edilebilir

1. H_i numunenin başlangıç yüksekliği
2. A .
3. V_s
4. R şekil değiştirme hızı
5. $u_{z=H}$ 'nın sürekli kayıtları
6. σ (numunenin üstünde uygulanan toplam gerilme) 'nin $u_{z=H}$ 'ya karşı gelen kayıtları.

3.11.1.4. $e-\sigma'_{av}$ 'nın grafiğinin elde edilmesi

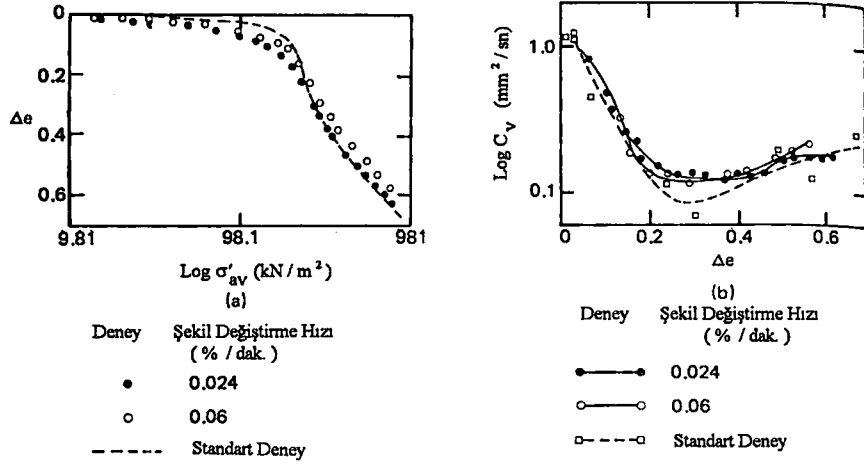
1. $r = RA/V_s$ hesaplanır.
2. $b/r \approx 1$ olarak alınır.
3. $u_{z=H}$ 'nın verilen bir değeri için σ 'nın değeri (deneyin başlangıcından sonraki t zamanında) bilinir ve dolayısıyla σ'_{av} eşitlik 3.149 'den hesaplanabilir.
4. $\Delta H = R.t$ ve sonra t zamanı boyunca yer alan boşluk oranındaki değişim, 3.84 eşitliğinin düzenlenmesiyle,

$$\Delta e = \frac{\Delta H}{H_i} (1 + e_0) \quad (3.153)$$

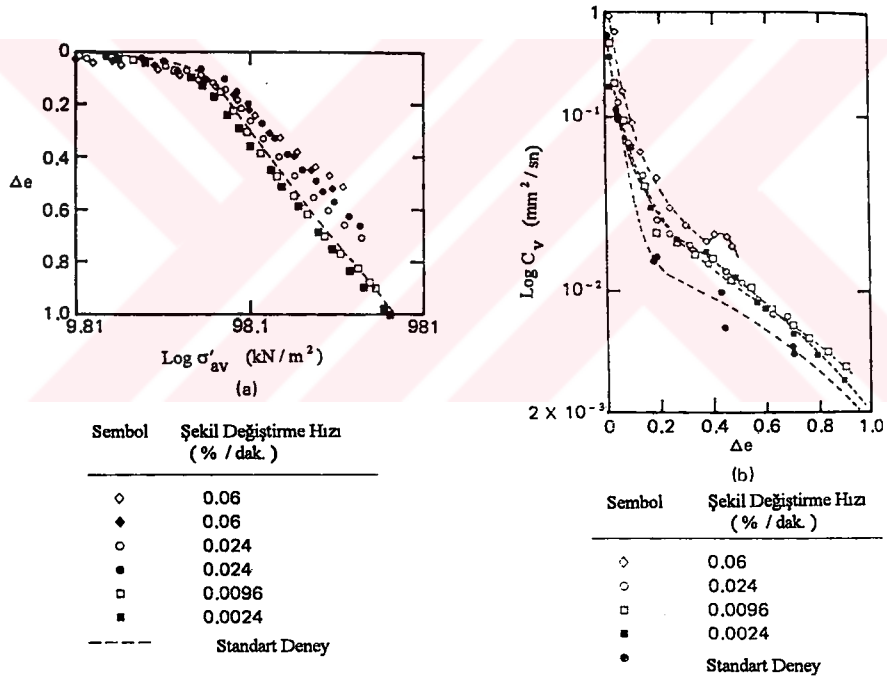
biçiminde hesaplanır, burada H_i numunenin başlangıçtaki yüksekliğidir.

5. (t zamanında) karşı gelen boşluk oranı $e = e_0 - \Delta e$ biçimindedir.
6. σ'_{av} 'nin bir grup noktalarını ve buna karşı gelen e değerlerini elde ettikten sonra, $e-\log \sigma'_{av}$ grafiği çizilir.

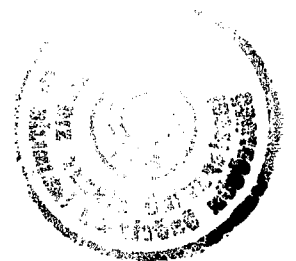




Şekil 3.54. Massena kili üzerinde yapılan CRS deney sonuçları ve standart deneylerle karşılaştırılması



Şekil 3.55. Kalsiyum montmorillonit üzerinde yapılan CRS deney sonuçları ve standart deneylerle karşılaştırılması



7. Verilen bir σ'_{av} ve e değeri için C_v konsolidasyon katsayısı eşitlik 3.152 kullanılarak hesaplanabilir (eşitlik 3.152 'daki H 'nin $H_i - \Delta H$ 'ya eşit olduğunu belirtelim).

Şekil 3.54 ve 3.55 iki kil numunesi üzerinde yapılan sabit şekil değiştirme hızlı konsolidasyon deneylerinin deneysel sonuçlarını göstermektedir. Standart konsolidasyon deneylerinden elde edilen sonuçlarda karşılaştırma için gösterilmiştir. Kalsiyum montmorillonit halinde, yüksek şekil değiştirme hızlarında verilen bir σ'_{av} için Δe deneysel değerlerinin standart deney sonuçlarından önemli miktarda saptığı görülebilir.

Bu muhtemelen eşlik 3.137 'de yapılan basitleştirici kabullerden dolayıdır. Bu nedenden dolayı verilen bir deneyde şekil değiştirme hızı, deney sonundaki $u_{z=H}/\sigma$ değeri 0.5 'i aşmayacak biçimde seçilmelidir. Bununla birlikte bu değer hassasiyetle ölçülebilecek şekilde yeteri kadar yüksek olmalıdır. (bkz. Smith and Wahls 'ın makalesine)

3.11.2. Sabit -Hidrolik Eğimli Konsolidasyon Deneyi (CGT)

Sabit hidrolik eğimli konsolidasyon deneyi Lowe et al. (1969) tarafından geliştirildi. Bu deneyde doymuş bir numune konsolidasyon ringinde yer alır. Sabit şekil değiştirme hızlı konsolidasyon deneyi tipi deneyde olduğu gibi drenaj üstten serbest bırakılmış ve boşluk suyu basıncı tabandan ölçülür (Şekil 3.56). Numunedeki artık boşluk suyu basıncını Δu (Şekil 3.57a) kadar artıran bir P yükü numune üzerine uygulanır. Küçük bir t_1 zamanından sonra numunenin üstündeki artık boşluk suyu basıncı drenaj serbest bırakıldığı için sıfıra eşit olacaktır. Bununla beraber, numunenin tabanında artık boşluk suyu basıncı hala yaklaşık olarak Δu kadar olacaktır (Şekil 3.57b). Bu noktadan sonra numunenin üst ve altındaki artık boşluk suyu basıncı farkı sabit kalacak yani fark sabit Δu 'da tutulacak (Şekil 3.57 c ve d). Şekilde P yükü yavaşça artırılır, P 'nin istenen değerine ulaşıldığında, diyelim t_3 zamanı olsun, yükleme durdurulur ve artık boşluk suyu basıncının dağılmasına müsaade edilir. Numunenin tabanındaki boşluk suyu basıncının $0.1\Delta u$ değerine ulaştığı t_4 zamanı kaydedilir. Bütün deney süresince ΔH numunenin maruz kaldığı basınç kaydedilir.



Laboratuvar deney düzeneğinin tüm detayları için Lowe et al (1969) orjinal makalesine başvurulabilir.

3.11.2.1. Teori

3.15 ve 3.16 eşitliklerinden

$$\frac{k}{\gamma_w} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = - \frac{a_v}{1+e} \frac{\partial \sigma'}{\partial t} \quad (3.154)$$

veya

$$\frac{\partial \sigma'}{\partial t} = - \frac{k}{\gamma_w m_v} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = - C_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (3.155)$$

elde edilir. $\sigma' = \sigma - u$ olduğundan

$$\frac{\partial \sigma'}{\partial t} = \frac{\partial \sigma}{\partial t} - \frac{\partial u}{\partial t} \quad (3.156)$$

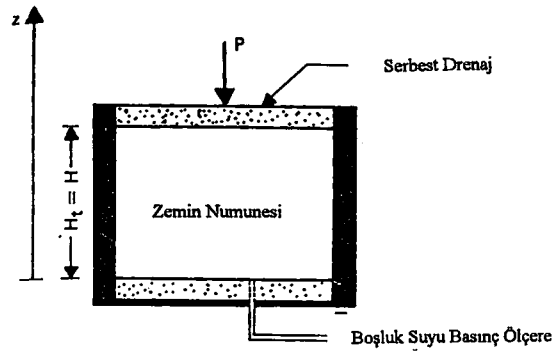
yazılabilir.

Kontrollü hidrolik eğimli konsolidasyon deneyi (yani, Şekil 3.57 de t_1 den t_3 'e kadarki zaman süresince) için $\partial u / \partial t = 0$ dır. Bundan dolayı

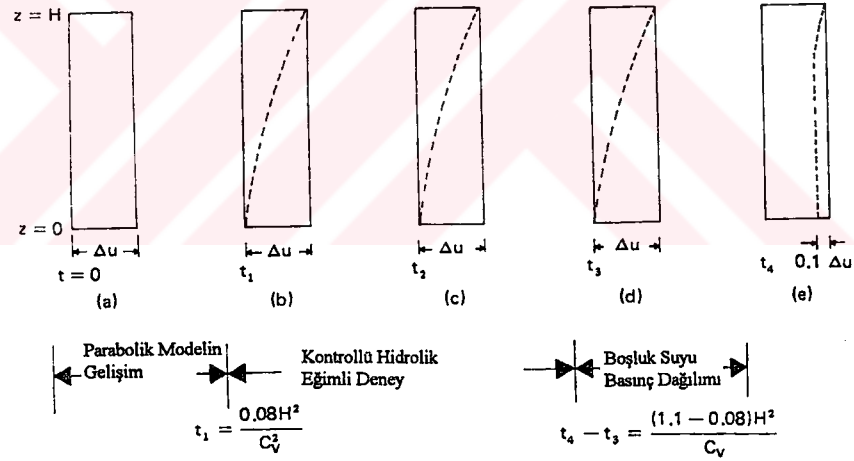
$$\frac{\partial \sigma'}{\partial t} = \frac{\partial \sigma}{\partial t} \quad (3.157)$$

elde edilir.





Şekil 3.56. CGT konsolidasyon deneyinin şematik gösterimi



Şekil 3.57. Kontrollü hidrolik eğimli deneydeki aşamalar



Eşitlik 3.155 ve 3.157 birleştirilerek

$$\frac{\partial \sigma}{\partial t} = -C_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (3.158)$$

elde edilir.

Eşitlik 3.158 'de sol taraf z değişkeninden, sağ taraf ise t değişkeninden bağımsızdır.

Dolayısıyla her iki tarafta bir sabite, A_1 diyelim, eşit olmalıdır. Böylece

$$\frac{\partial \sigma}{\partial t} = A_1 \quad (3.159)$$

ve

$$\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = -\frac{A_1}{C_v} \quad (3.160)$$

elde edilir. Eşitlik 3.160 'ün integrasyonu

$$\frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{A_1}{C_v} z + A_2 \quad (3.161)$$

ve

$$u = -\frac{A_1}{C_v} \frac{z^2}{2} + A_2 z + A_3 \quad (3.162)$$

verir. Sınır koşulları aşağıdaki gibidir.

1. $z=0$ da $\partial u / \partial z = 0$
2. $z=H$ da $u=0$
3. $z=0$ da $u=\Delta u$.



Birinci sınır koşulundan ve eşitlik 3.161 'den $A_2=0$ bulunur. Dolayısıyla

$$u = -\frac{A_1}{C_v} \frac{z^2}{2} + A_3 \quad (3.163)$$

İkinci sınır koşulundan ve eşitlik 3.163 'den

$$A_3 = \frac{A_1 H^2}{2C_v} \quad (3.164)$$

veya

$$u = -\frac{A_1}{C_v} \frac{z^2}{2} + \frac{A_1}{C_v} \frac{H^2}{2} \quad (3.165)$$

elde edilir.

Üçüncü sınır koşulundan ve eşitlik 3.165 'den

$$\Delta u = \frac{A_1}{C_v} \frac{H^2}{2}$$

veya

$$A_1 = \frac{2C_v \Delta u}{H^2} \quad (3.166)$$

elde edilir. A_1 bu değerini eşitlik 3.165 'de yerine konmasıyla

$$u = \Delta u \left(1 - \frac{z^2}{H^2} \right) \quad (3.167)$$

elde edilir.



Eşitlik 3.167 kontrollü hidrolik eğimli konsolidasyon deneyi süresince (Şekil 3.57 'de t_1 'den t_3 'e kadar olan zamanda) sabit olarak kalan artık boşluk suyu basıncının parabolik bir kalıbını göstermektedir. Bu Şekil 3.58 'de görülmektedir. Bunun Terzaghi eş eğrisine (Şekil 3.6) $T_v = 0.08$ için çok yakın olarak karşı geldiğini belirtelim.

Eşitlik 3.159 ve 3.166 birleştirilerek

$$\frac{\partial \sigma}{\partial t} = A_1 = \frac{2C_v \Delta u}{H^2}$$

$$C_v = \frac{\partial \sigma}{\partial t} \frac{H^2}{2\Delta u} \quad (3.168)$$

elde edilir.

3.11.2.3. Deneysel Sonuçların Yorumu

Aşağıdaki bilgiler sabit hidrolik eğimli konsolidasyon deneyinden elde edilebilir:

1. H_i numunenin başlangıç yüksekliği ve H deney süresince herhangi bir zamandaki yükseklik
2. P yükünün uygulama hızı ve böylece numune üzerindeki $\partial \sigma / \partial t$ gerilme uygulama hızı
3. Δu boşluk basıncı farkı
4. t_1 zamanı
5. t_3 zamanı
6. t_4 zamanı

$e-\sigma'_{av}$ grafiği aşağıdaki biçimde elde edilebilir:

1. e_0 başlangıç boşluk oranı hesaplanır.
2. Deney süresince herhangi bir t zamanındaki boşluk oranındaki değişim



$$\Delta e = \frac{\Delta H}{H_i} (1 + e_0) \quad (3.153)$$

olarak hesaplanır, burada ΔH deneyin başlangıcından beri toplam yükseklik değişimi. Dolayısıyla t zamanındaki ortalama boşluk oranı $e = e_0 - \Delta e$ dir.

3. t zamanındaki numune üzerine uygulanan bilinen toplama σ gerilmesini kullanarak aynı t zamanındaki ortalama efektif gerilme hesaplanır:

$$\sigma'_{av} = \sigma - u_{av} \quad (3.169)$$

burada u_{av} Şekil 3.58 'den hesaplanabilen numunedeki artık boşluk suyu basıncıdır.

Konsolidasyon katsayısının hesabı aşağıdaki gibidir:

1. t_1 zamanında

$$C_v = \frac{0.08H^2}{t_1} \quad (3.170)$$

2. $t_1 < t < t_3$ zamanında

$$C_v = \frac{\Delta \sigma}{\Delta t} \frac{H^2}{2 \Delta u} \quad (3.171)$$

$\Delta \sigma / \Delta t$, H ve Δu değerlerinin hepsinin deneylerden elde edildiğini belirtelim.

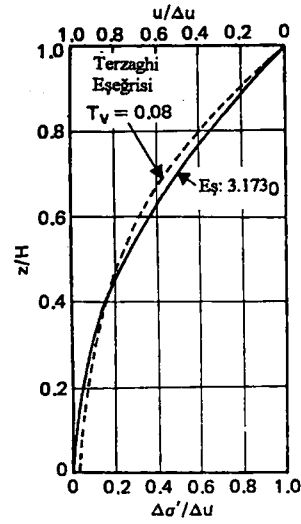
3. t_3 ve t_4 zamanları arasında

$$C_v = \frac{(1.1 - 0.08)H^2}{t_3 - t_4} = \frac{1.02H^2}{t_3 - t_4} \quad (3.172)$$

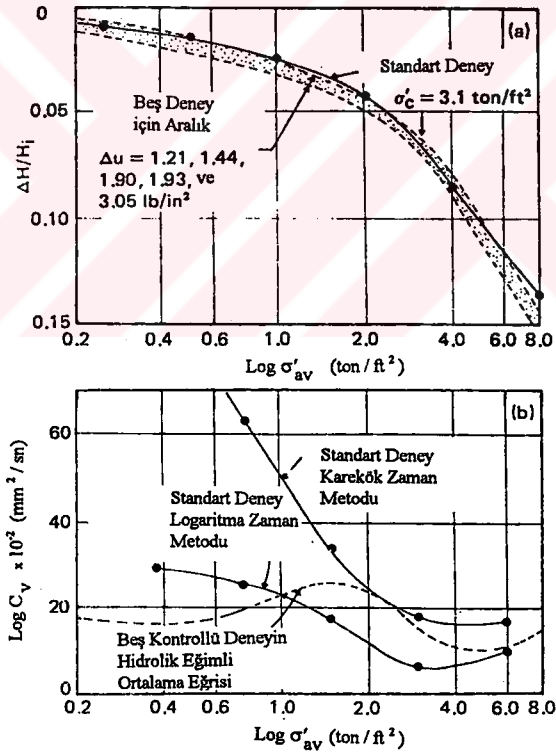
biçiminde bulunur.

Şekil 3.59a aşırı konsolide bir kil (Maine 'deki Portland civarından çıkarılan deniz kili) üzerinde yapılan çeşitli kontrollü hidrolik eğimli konsolidasyon deneylerinin sonuçlarını





Şekil 3.58. Artık boşluk suyu basınç dağılımının parabolik kalıbı ile Terzaghi izokronunun karşılaştırılması



Şekil 3.59. Portland, Maine bölgesinden alınan aşırı konsolide deniz kili üzerinde yapılan standart konsolidasyon deneyleri ile kontrollü hidrolik eğimli deneylerin karşılaştırılması



göstermektedir. Δu 'nun geniş bir değişim aralığında [8.35-21.05 kN/m²] olmasına rağmen σ'_{av} ile $\Delta H/H_i$ değişiminin dar bir banda düştüğü gözükmemektedir. Bu standart konsolidasyon deneylerinin sonuçlarıyla iyi uyumaktadır.

Şekil 3.59b konsolidasyon katsayısının bu deneyde standart karekök zaman eğrisi ve logaritma-zaman eğrisi ile elde edilen sonuçları karşılaştırır. Genelde sabit hidrolik eğimli konsolidasyon deneylerinden elde edilen C_v değerleri iki standart deneyle elde edilenler arasında bir yere düşer.

Standart bir boyutlu konsolidasyon deneyinden elde edilen verilen bir örnek üzerindeki σ' efektif gerilmesinin artımı Şekil 3.60 'de kontrollü hidrolik eğimli konsolidasyon deneyinden elde edilenle karşılaştırılmıştır. Artımdaki fark konsolidasyon katsayısının değeri üzerinde bir takım etkilere sahip olabilir.

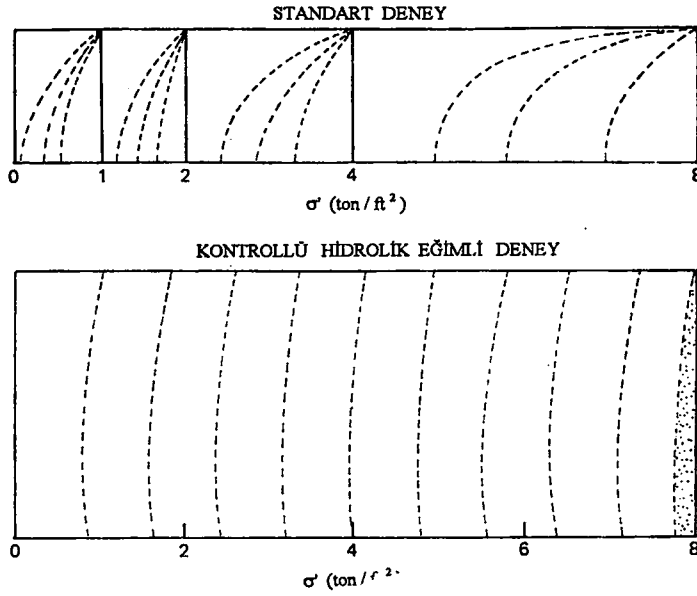
3.12. Temel Zeminlerinin İyileştirmesinde Önyüklemeye (Önkonsolidasyon)

Konsolidasyon oturmalarının çoğunun yapı temellerinin inşasından dolayı meydana geldiği gibi görünse de inşaat sonrası oturmaları azaltmak veya yoketmek için temel inşaatından önce bazı yüklemeleri uygulamak arzu edilebilir.

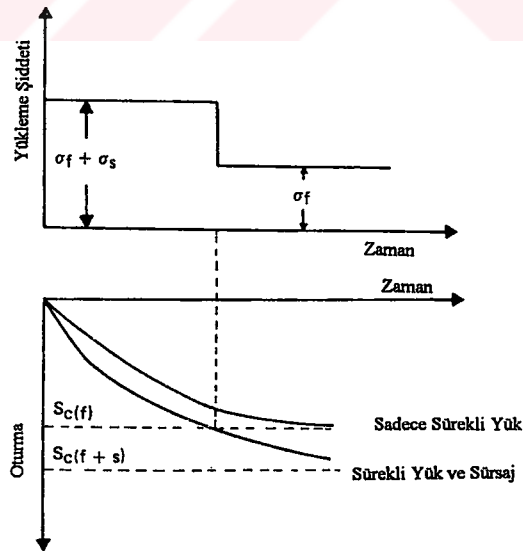
Bu teknik (sürsaj yüklemesi) son zamanlarda birçok büyük inşaat projelerinde başarı ile kullanılmıştır (Johnson 1970). Bu bölümde sıkışabilen killerin konsolidasyon oturmasının önceden gerçekleştirilmesi için sürsaj uygulamasının temel kavramları verilmiştir.

Verilen bir inşaat Şekil 3.61 'da görüldüğü gibi σ_f şiddetinde daimi üniform yükleme gerektiren bir durumu ele alalım. Yüklemeden dolayı oluşan toplam önkonsolidasyon oturmasının $S_{c(f)}$ 'ye eşit olduğu tahmin edilir. Ön konsolidasyondan dolayı oluşan tahmini oturmayı yok etmek istenirse $\sigma = \sigma_f + \sigma_s$ şiddetinde toplam üniform yükleme uygulanmalıdır. Bu yükleme sıkışabilen kilin oturma oranının daha hızlı olmasına neden olur; $S_{c(f)}$ toplam oturmaya ulaşıldığında gerçek inşaa için sürsaj kaldırılabilir.





Şekil 3.60. Standart tek boyutlu deney ve kontrollü hidrolik eğimli deney işlemiyle bir numune üzerindeki efektif gerilmenin artmasındaki fark



Şekil 3.61. Önyüklemme tekniği kavramı



Yükün uygulanacağı zamanı ve σ_s 'nin şiddetinin sayısal olarak elde edilmesi için Şekil 3.62 'de görüldüğü gibi kil tabakasının yüklemekten sonraki herhangi bir zamanda konsolidasyon derecesinin değişim biçiminin bilinmesine gereksinim vardır. U_z konsolidasyon derecesi derinlikle değişecektir ve orta düzlemde, yani $z=H$ 'da, minimum olacaktır, kaldırılacak olan sürsaj yükün kriteri olarak U_{av} ortalama konsolidasyon derecesi kullanılırsa sürsaj yükünün kaldırılmasından sonra orta düzleme yakın olan kil oturmaya devam edecek ve geçirgen tabakalara yakın olan kil şişme eğiliminde olacaktır. Bu muhtemelen net bir konsolidasyon oturması ile sonuçlanacaktır. Bu problemten kaçınmak için daha güvenli bir yaklaşım kabul etmeye ve hesaplama için kriter olarak $U_{z=H}$ 'ta düzlemdeki konsolidasyon derecesini kullanmak gerekir. Johnson (1970) tarafından verilen işlem kullanılarak

$$S_{c(f)} = \left(\frac{H_t}{1 + e_0} \right) C_c \log \frac{\sigma'_0 + \sigma_f}{\sigma'_0} \quad (3.173)$$

ve

$$S_{c(f+s)} = \left(\frac{H_t}{1 + e_0} \right) C_c \log \frac{\sigma'_0 + \sigma_f + \sigma_s}{\sigma'_s} \quad (3.174)$$

yazılabilir, burada σ'_0 başlangıç ortalama yerinde aşırı efektif basınç ve $S_{c(f)}$ ve $S_{c(f+s)}$ sırasıyla σ_f ve $\sigma_f + \sigma_s$ şiddetindeki yüklemelerden dolayı ortaya çıkan ön konsolidasyon oturmalarıdır. Fakat,

$$S_{c(f)} = U_{(f+s)} S_{c(f+s)} \quad (3.175)$$

biçimindedir, burada $U_{(f+s)}$, $\sigma_f + \sigma_s$ yüklemesinden dolayı olan konsolidasyon derecesidir.



Daha önce açıklandığı gibi bu güvenliğin alınması açısından orta düzlemin ($z=H$) konsolidasyon derecesi olarak alınmıştır. Böylece

$$U_{c(f+s)} = \frac{S_{c(f)}}{S_{c(f+s)}} \quad (3.176)$$

olarak yazılır. 3.173, 3.174 ve 3.176 eşitliklerini birleştirerek

$$U_{c(f+s)} = \frac{\log[1 + (\sigma_f / \sigma'_0)]}{\log\{1 + (\sigma_f / \sigma'_0)[1 + (\sigma_s / \sigma'_f)]\}} \quad (3.177)$$

elde edilir.

σ_f / σ'_0 ve σ_s / σ'_f 'nin çeşitli kombinasyonları için $U_{(f+s)}$ 'nin değerleri Şekil 3.63 'de verilmiştir. Bir kere $U_{(f+s)}$ biliniirse Şekil 3.6 'den boyutsuz zaman faktörü T_v çıkarılabilir. Şekil 3.6 'de kabul edilen varsayıma dayalı olarak $Z=H$ 'da $U_{(f+s)} = U_z$ olduğunu belirtelim. Uygunluk açısından $U_{(f+s)}-T_v$ grafiği Şekil 3.64 'de verilmiştir.

Dolayısıyla kaldırılacak sürsaj yüklemesi için t zamanı,

$$t = \frac{T_v H^2}{C_v} \quad (3.178)$$

olarak yazılabilir, burada C_v konsolidasyon katsayısı ve H maksimum drenaj boyudur.

Benzer bir yaklaşım sürsaj dolgusunun büyüklüğünü ikincil konsolidasyondan dolayı olan inşaat sonrası oturmayı azaltmak veya yok etmek için kaldırılma zamanı tahmin etmek için uygulanabilir.



3.13. Düşey Drenli Konsolidasyon

Konsolidasyon işlemini hızlandırmak ve önyüklemeye projelerinde bekleme süresini azaltmak için zemin içine düşey drenler (kum veya yapay drenler) yerleştirilmesi yoluna başvurulmaktadır.

3.13.1. Kum Drenler

Bazı yapıların inşaatlarında konsolidasyon oturması işlemini hız kazandırma için kullanışlı olan kum drenler inşaat tekniği kullanılabilir. Kum drenler zemin içine delik açarak veya kılıf sürerek inşa edilirler. Boşluklar kumla doldurulur, sonra kılıflar çekilir. Bir sürsaj zemin yüzeyine uygulandığında kildeki boşluk suyu basıncı artacak ve yatay ve düşey doğrultularda drenaj olacaktır (Şekil 3.65). Yatay drenajlar kum drenler tarafından alınır. Böylece, yükleme tarafından ortaya çıkan artık boşluk suyu basıncının dağılma işlemi ve oturma hız kazanır.

Kum drenlerin temel teorisi Rendulic (1935) ve Barron (1948) tarafından ortaya konmuş ve sonradan Richart (1959) tarafından özetlenmiştir. Kum drenler incelendiğinde, iki temel durum görülür:

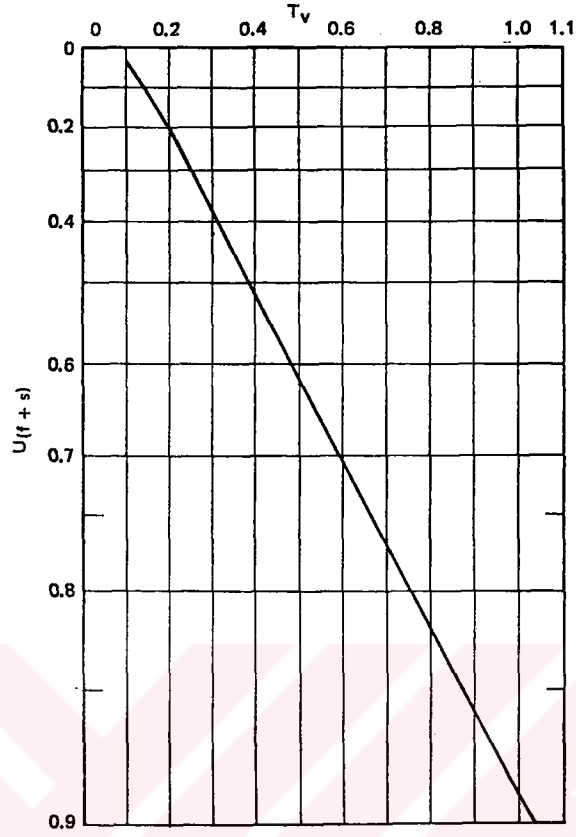
1. Serbest Şekil Değiştirme Durumu

Zemin yüzeyinde uygulanan sürsaj rijit olmayan bir halde ise eşit yüzey gerilme dağılımı ortaya çıkacaktır. Bu, yüzeyde üniform olmayan bir oturma verecektir (Şekil 3.66.a).

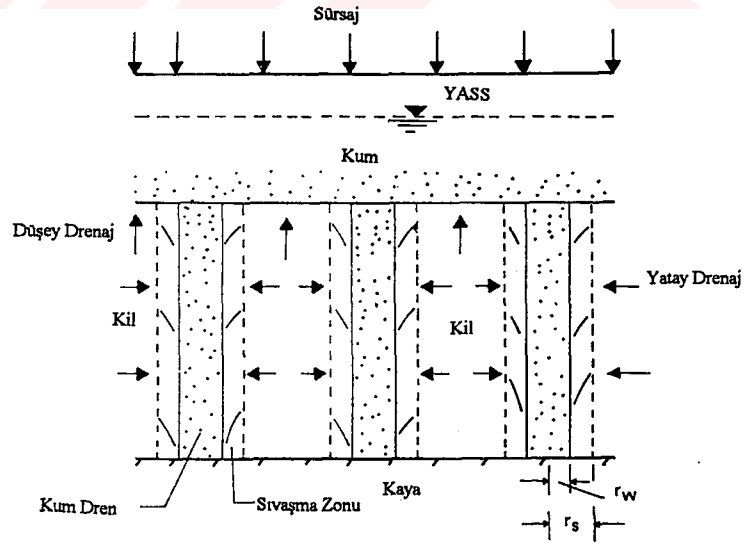
2. Eşit Şekil Değiştirme Durumu

Zemin yüzeyinde uygulanan rijitse yüzey oturması her yerde aynı olacaktır. Bununla birlikte eşit olmayan bir gerilme dağılımı ortaya çıkacaktır (Şekil 3.66.b).

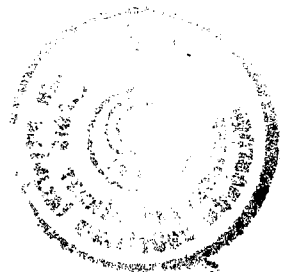




Şekil 3.64. $U_{(f+s)}-T_v$ grafiği



Şekil 3.65. Kum drenler



Dikkate alınması gereken diğer bir faktörde sığışma etkisidir. Bir kum drende sığışma zonu dren inşaatında delme esnasında kilin yoğrulmasıyla ortaya çıkar (Şekil 3.65). Kilin yoğrulması yatay doğrultudaki permeabilite katsayısının azalmasına neden olur.

Serbest şekil değiştirmeli ve eşit şekil değiştirmeli konsolidasyon teorileri aşağıdaki iki bölümde ayrı ayrı incelenecektir. Bu teorileri geliştirilmesinde drenajın sadece radyal doğrultuda olduğu yani düşey doğrultuda artık boşluk suyu basıncının dağılmadığı varsayılmaktadır.

3.13.2. Sığışmasız Serbest Şekil Değiştirmeli Konsolidasyon

Şekil 3.67 kum drenlerin şekli hakkında genel bir kesitini göstermektedir. Kum drenlerin üçgensel boşlukları için tesir sınırı planda altıgen yapıya sahiptir. Bu altıgene de çaplı eşdeğer bir daire olarak yaklaşılabilir. Bu bölümde kullanılan diğer notasyonlar aşağıdaki gibidir (Şekil 3.67 b)

1. r_e eşdeğer dairenin yarı çapı = $d_e/2$
2. r_w kum dreni kuyusunun yarıçapı
3. r_s dren kuyusunun merkezinden sığışma zonunun en uzak noktasına olan yarıçapı $r_w=r_s$ durumunda hiç sığışma durumu yoktur.

Düşey doğrultudaki akım için Terzaghi 'nin konsolidasyon teorisinin temel diferansiyel denklemi eşitlik 3.20 'de verilmiştir. Radyal drenaj için bu denklem

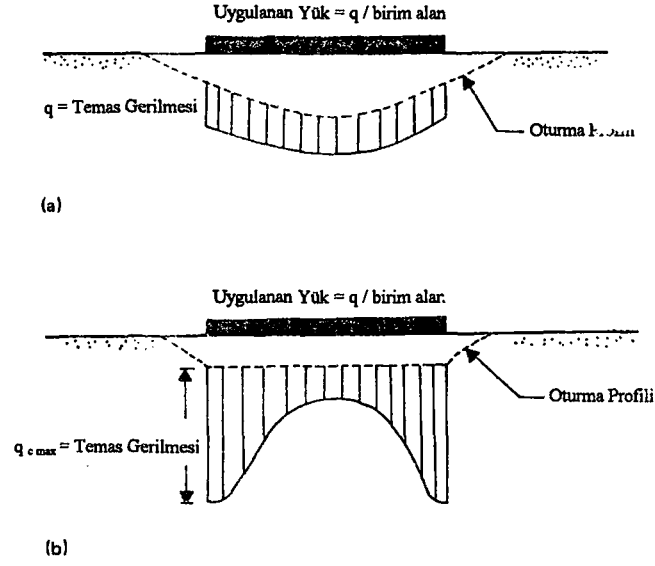
$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_{vr} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} \right) \quad (3.179)$$

olarak yazılabilir. Burada, u = artık boşluk suyu basıncı

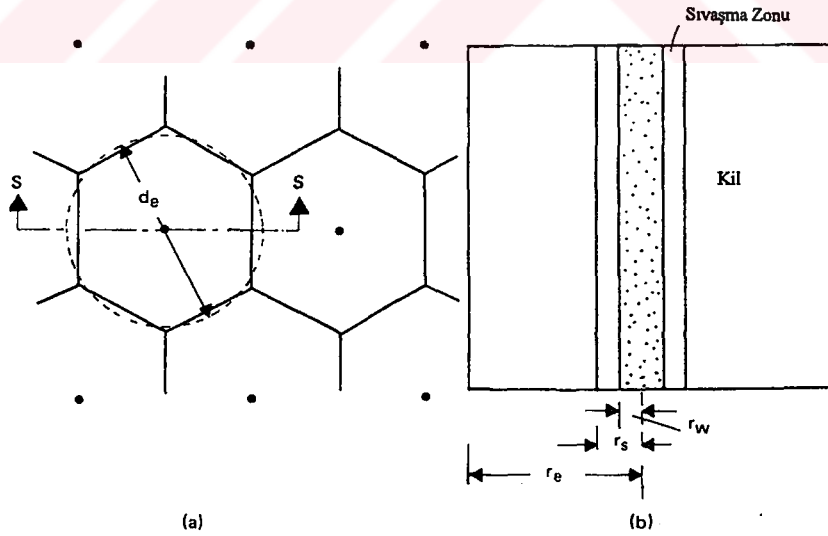
r = dren kuyusunun merkezinden ölçülen radyal uzaklık

C_{vr} = radyal doğrultudaki konsolidasyon katsayısı [eşitlik 3.186]





Şekil 3.66. Killer üzerindeki esnek (a) ve rijit (b) temeller



Şekil 3.67. Kum drenlerin genel görünümü

a. Plan b. S-S kesiti



Eşitlik 3.179 'un çözümü için aşağıdaki sınır koşulları kullanılır:

1. $t=0$ 'da $u = u_i$
2. $t>0$ 'da $r = r_w$ 'da $u = 0$
3. $r = r_e$ 'de $\frac{\partial u}{\partial r} = 0$

Yukardaki sınır koşulları ile eşitlik 3.179 herhangi bir t zamanında ve r radyal uzaklığındaki artık boşluk suyu basıncı için:

$$u = \sum_{\alpha_1, \alpha_2, \dots}^{\alpha=\infty} \frac{-2U_1(\alpha)U_0(\alpha r / r_w)}{\alpha[n^2 U_0^2(\alpha n) - U_1^2(\alpha)]} \exp(-4\alpha^2 n^2 T_r) \quad (3.180)$$

bulunur. Eşitlik 3.180 'de

$$n = \frac{r_e}{r_w} \quad (3.181)$$

$$U_1(\alpha) = J_1(\alpha)Y_0(\alpha) - Y_1(\alpha)J_0(\alpha) \quad (3.182)$$

$$U_0(\alpha n) = J_0(\alpha n)Y_0(\alpha) - Y_0(\alpha n)J_0(\alpha) \quad (3.183)$$

$$U_0\left(\frac{\alpha r}{r_w}\right) = J_0\left(\frac{\alpha r}{r_w}\right)Y_0(\alpha) - Y_0\left(\frac{\alpha r}{r_w}\right)J_0(\alpha) \quad (3.184)$$

burada , J_0 = sıfırıncı mertebeden birinci tip Bessel fonksiyonu

J_1 = birinci mertebeden birinci tip Bessel fonksiyonu

Y_0 = sıfırıncı mertebeden ikinci tip Bessel fonksiyonu

Y_1 = birinci mertebeden ikinci tip Bessel fonksiyonu

$\alpha_1, \alpha_2, \dots = J_1(\alpha n)Y_0(\alpha) - Y_1(\alpha n)J_0(\alpha) = 0$ ifadesini sağlayan Bessel fonksiyonunun kökleridir.



$$T_r = \frac{C_{vr} t}{d_e^2} \quad (3.185)$$

T_r radyal akımın zaman faktörüdür. Eşitlik 3.185 'de

$$C_{vr} = \frac{k_h}{m_v \gamma_w} \quad (3.186)$$

biçimindedir, burada k_h yatay doğrultudaki permeabilite katsayısıdır.

Zemin kütlesi boyunca U_{av} ortalama boşluk suyu basıncı eşitlik 3.180 'den

$$u_{av} = u_i \sum_{\alpha_1, \alpha_2, \dots}^{\alpha=\infty} \frac{4U_1^2(\alpha)}{\alpha^2 (n^2 - 1) [n^2 U_0^2(\alpha n) - U_1^2(\alpha)]} \exp(-4\alpha^2 n^2 T_r) \quad (3.187)$$

olarak elde edilir.

U_r ortalama konsolidasyon derecesi

$$U_r = 1 - \frac{u_{av}}{u_i} \quad (3.188)$$

biçiminde saptanabilir. Şekil 3.68 U_r 'nin T_r zaman faktörü ile değişimini göstermektedir.

3.13.3. Sıvaşmasız Eşit Şekil Değiştirmeli Konsolidasyon

Sıvaşmasız yani $r_w = r_s$ olduğu eşit şekil değiştirmeli konsolidasyon problemi Barron (1948) tarafından çözülmüştür. Çözümün sonuçları aşağıda verilmiştir (bkz. Şekil 3.67).



r radyal uzaklığında ve herhangi bir t zamanındaki artık boşluk suyu basıncı

$$u = \frac{4u_{av}}{d_e^2 F(n)} \left[r_e^2 \left(\frac{r}{r_w} \right) - \frac{r^2 - r_w^2}{2} \right] \quad (3.189)$$

olarak verilir. Burada,

$$F(n) = \frac{n^2}{n^2 - 1} \ln(n) - \frac{3n^2 - 1}{4n^2} \quad (3.190)$$

burada

$$u_{av} = u_i e^{\lambda} \quad (3.191)$$

biçiminde kil tabakası boyunca boşluk suyu basıncının ortalama değeridir.

$$\lambda = \frac{-8T_r}{F(n)} \quad (3.192)$$

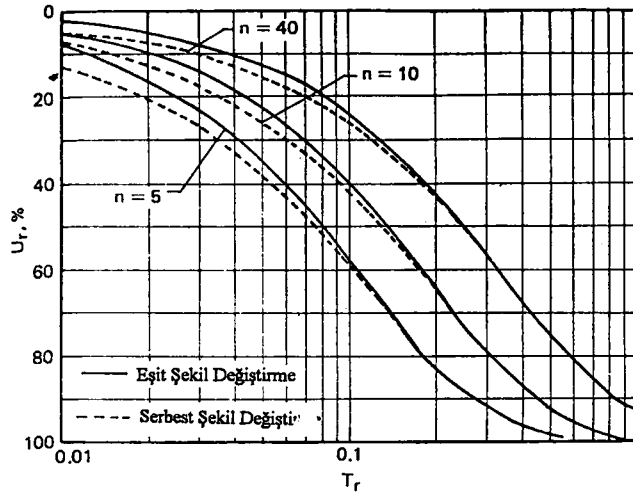
biçimindedir. Radyal drenajdan dolayı ortaya çıkan ortalama konsolidasyon derecesi

$$U_r = 1 - \exp \left[\frac{-8T_r}{F(n)} \right] \quad (3.193)$$

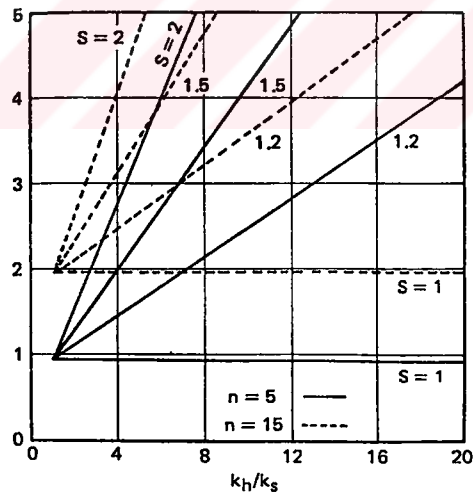
biçimindedir.

Tablo 3.5 çeşitli U_r değerleri için T_r zaman faktörünün değerlerini verir (Şekil 3.68 'ye de bakınız). $r_e/r_w > 5$ için, serbest şekil değiştirmeli ve eşit şekil değiştirmeli çözümler ortalama konsolidasyon derecesi için yaklaşık olarak aynı sonuçları vermektedirler.





Şekil 3.68 U_r konsolidasyon derecesinin T_r zaman faktörü ile değişimi



Şekil 3.69 k_h/k_s ve S 'nin farklı değerleri için m değerleri



Tablo 3.5. Radyal akış eşitliğinin çözümü: eşit şekil değiştirme koşulu

U _r (%)	T _r								
	r _o /r _w 5	r _o /r _w 10	r _o /r _w 20	r _o /r _w 30	r _o /r _w 40	r _o /r _w 50	r _o /r _w 60	r _o /r _w 80	r _o /r _w 100
5	0.006	0.010	0.014	0.017	0.019	0.020	0.021	0.032	0.025
10	0.012	0.021	0.030	0.035	0.039	0.042	0.044	0.048	0.051
20	0.026	0.044	0.063	0.074	0.082	0.088	0.092	0.101	0.107
30	0.042	0.070	0.101	0.118	0.131	0.141	0.149	0.162	0.172
40	0.060	0.101	0.144	0.170	0.188	0.202	0.214	0.232	0.246
50	0.081	0.137	0.195	0.230	0.255	0.274	0.290	0.315	0.334
60	0.107	0.180	0.258	0.304	0.337	0.362	0.383	0.416	0.441
70	0.137	0.231	0.330	0.389	0.431	0.463	0.490	0.532	0.564
80	0.188	0.317	0.453	0.534	0.592	0.636	0.673	0.730	0.775
90	0.270	0.455	0.649	0.764	0.847	0.911	0.963	1.046	1.110
99	0.539	0.907	1.298	1.528	1.693	1.821	1.925	2.091	2.219

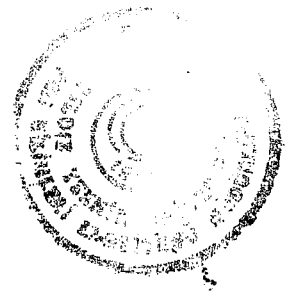
3.13.4. Radyal Konsolidasyon Üzerine Sıvaşma Zonu Etkisi

Barron (1948) de kum drenlerce yapılan eşit şekil değiştirmeli konsolidasyon analizini bölüm 3.13.1 'de açıklanan sıvaşma zon için de genişletmiştir. Analiz sıvaşma zon içindeki kilin sıfır artık boşluk suyu basınçlı bir sınırı sahip olduğu ve zamana bağlı artık boşluk suyu basınçlı diğer bir sınırı sahip olduğu kabulüne dayanır. Bu kabule göre

$$u = \frac{1}{m} u_{av} \left[\ln \left(\frac{r}{r_e} \right) - \frac{r^2 - r_s^2}{2r_e^2} + \frac{k_h}{k_s} \left(\frac{n^2 - S^2}{n^2} \right) \ln S \right] \quad (3.194)$$

biçimindedir, burada k_s = örselenmiş bölgenin permeabilite katsayısıdır,

$$S = \frac{r_s}{r_w} \quad (3.195)$$



$$m = \frac{n^2}{n^2 - S^2} \ln\left(\frac{n}{S}\right) - \frac{3}{4} + \frac{S^2}{4n^2} + \frac{k_h}{k_s} \left(\frac{n^2 - S^2}{n^2} \right) \ln S \quad (3.196)$$

$$u_{av} = u_i \exp\left(\frac{-8T_r}{m}\right) \quad (3.197)$$

biçimindedir.

Ortalama konsolidasyon derecesi

$$U_r = 1 - \frac{u_{av}}{u_i} = 1 - \exp\left(\frac{-8T_r}{m}\right) \quad (3.198)$$

ilişkisi ile verilir.

Şekil 3.69 S (n=5 ve 15 için) ve k_h/k_s 'nin çeşitli değerleri için m [Eşitlik 3.196] değerlerini verir. Örselenme olmayan, yani S=1, yerlerdeki durumlar için m [Eşitlik 3.196] ifadesi Eşitlik 3.190 deki F(n)'nin ifadesine eşit hale gelir. Şekil 3.70, çeşitli S ($k_h/k_s=20$ için) değerleri için m-n grafiğini vermektedir.

Olson (1977) zamana bağlı yükleme için yayılı yük U_r ortalama konsolidasyon derecesinin bölüm 3.2.7 'de anlatılan düşey drenaj durumuna benzer bir çözümünü verdi.

3.13.5. Düşey ve Radyal Drenajlı Konsolidasyon Derecesinin Hesabı

Sadece düşey drenajlı ortalama konsolidasyon derecesi ifadesi bölüm 3.1.2 'de; sadece radyal drenajdan dolayı olan konsolidasyon derecesi ifadesi bölüm 3.13.2 - 3.13.4 arasında verilmiştir. Gerçekte artık boşluk suyu basıncının dağılımı için drenaj her iki doğrultuda aynı anda yer alır. Bu durum için Carillo (1942)



$$U = 1 - (1 - U_v)(1 - U_r) \quad (3.199)$$

olduğunu göstermiştir. Burada,

U = Aynı andaki düşey ve radyal drenaj için ortalama konsolidasyon derecesi

U_v = Sadece düşey drenajın olduğu varsayımı ile hesaplanan ortalama konsolidasyon derecesidir. (Bu bölümden daha önceleri U_{av} notasyonunu kullandığımızı belirtelim)

U_r = Sadece radyal drenajın olduğu varsayımı ile hesaplanan ortalama konsolidasyon derecesidir.

3.13.6. Radyal Drenajın Sayısal Çözümü

Önceden drenaj için (Bölüm 3.2.5) görüldüğü gibi radyal drenaj durumundaki konsolidasyon problemlerinin çözümü için sonlu farklar tekniği uygulanabilir. Eşitlik 3.179 tekrar yazılırsa:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_{vr} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} \right) \quad (3.179)$$

u_R , t_R ve r_R herhangi bir referansa göre sırasıyla, artık boşluk suyu basıncı, zaman ve radyal uzaklık olsun. Böylece

$$\bar{u} = \frac{u}{u_R} \quad :(\text{boyutsuz artık boşluk suyu basıncı}) \quad (3.200)$$

$$\bar{t} = \frac{t}{t_R} \quad :(\text{boyutsuz zaman}) \quad (3.201)$$

$$\bar{r} = \frac{r}{r_R} \quad :(\text{boyutsuz radyal uzaklık}) \quad (3.202)$$

Eşitlik 3.200 - 3.202, Eşitlik 3.179 'da yerine konursa



$$\frac{1}{t_R} \frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{t}} = \frac{C_{vr}}{r_R^2} \left(\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial \bar{r}^2} + \frac{1}{\bar{r}} \frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{r}} \right) \quad (3.203)$$

elde edilir. Şekil 3.71 'e göre

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{t}} = \frac{1}{\Delta \bar{t}} (\bar{u}_{0,i+\Delta \bar{t}} - \bar{u}_{0,i}) \quad (3.204)$$

$$\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial \bar{r}^2} = \frac{1}{(\Delta \bar{r})^2} (\bar{u}_{1,i} + \bar{u}_{3,i} - 2\bar{u}_{0,i}) \quad (3.205)$$

ve

$$\frac{1}{\bar{r}} \frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{r}} = \frac{1}{\bar{r}} \left(\frac{\bar{u}_{3,i} - \bar{u}_{1,i}}{2\Delta \bar{r}} \right) \quad (3.206)$$

yazılabilir.

t_R 'yi $\frac{1}{t_R} = \frac{C_{vr}}{r_R^2}$ olacak biçimde uygulanırsa ve sonra eşitlik 3.204 - 3.206 'yı eşitlik

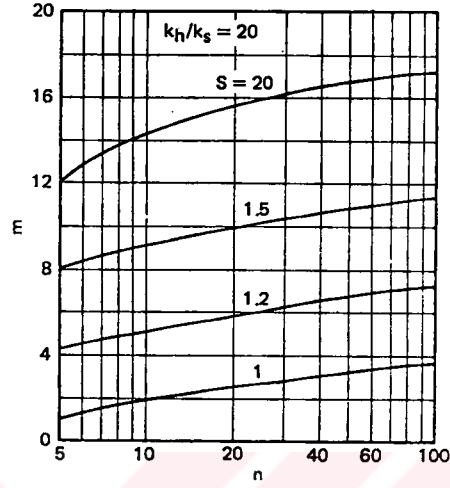
3.203 'de yerine konursa,

$$\bar{u}_{0,i+\Delta \bar{t}} = \frac{\Delta \bar{t}}{(\Delta \bar{r})^2} \left[\bar{u}_{1,i} + \bar{u}_{3,i} + \frac{\bar{u}_{3,i} - \bar{u}_{1,i}}{2(\bar{r}/\Delta \bar{r})} - 2\bar{u}_{0,i} \right] + \bar{u}_{0,i} \quad (3.207)$$

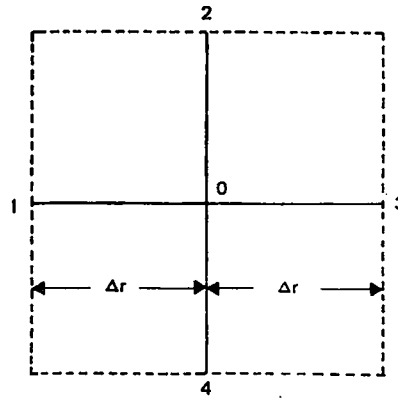
elde edilir.

Eşitlik 3.207 sadece radyal drenaj için artık boşluk suyu basıncının çözümünün esas sonlu farklar denklemdir.

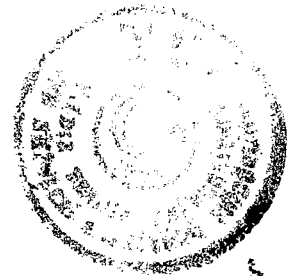




Şekil 3.70. Farklı S ($k_h/k_s=20$) değerleri için m - n grafiği



Şekil 3.71. Radyal drenajın sayısal çözümü için sonlu fark ağ elemanı



BÖLÜM 4

4. ALİBEY BARAJI ALTINDA MEYDANA GELEN OTURMALARIN ANALİZİ

4.1. Gözlemsel Analiz

Bir boyutlu konsolidasyon teorisi zemin mekaniğinin pratik temel mühendisliğine önemli bir katkısıdır. Bir boyutlu sıkışma ve bir boyutlu drenaj sonucu oturma, bu teori ile çok iyi açıklanabildiği ölçüde kabul görmüştür. Bununla beraber, gelecek oturma tahmini olaylarında teorinin etkili olabilmesi için biraz mühendislik sağduyusu buna ilaveten vazgeçilmezdir.

Parabolik tip bir kısmi diferansiyel denklem olan konsolidasyon denklemi, başlangıç ve sınır şartları, ve denklemin bir katsayısı önceden saptandığında tek bir çözüm verdiği bilinmektedir. Bu yaygın bir bilgidir öyleki, bu denklemin pratik uygulamaları çözümün sadece bu karakteristiğinden yararlandığı eğilimini göstermiştir. Gerçekte, sıradan bir oturma analizine göre boşluk suyu basıncının başlangıç dağılımı, drenaj boyu, zeminin son düşey şekil değiştirmesi gibi şartlar ve konsolidasyon katsayısı analiz öncesinde verilmek üzere doğal olarak gözönüne alınırlar. Bununla beraber, bu şartların tahmini genellikle yüksek derecede belirsizlik içerdiği de yaygın olarak kabul edilmiştir. Bu yüzden oturma tahmini üzerine mühendislik çalışması genellikle bazı geçmiş tecrübeye sahip olmakla tahmin edilir.

Asaoka (1978) , oturma tahmini için yeni bir metod ortaya koymuştur, bunun felsefesi gözlemsel işlem üzerine kurulmuştur. Oturmanın zamanla alınan datalarının eğim denklemi önce bir boyutlu konsolidasyon denkleminde çıkarılır, bundan sonra geçmiş gözlemler kullanılarak gelecekteki oturma tahmin edilir. İki tip pratik metod ortaya konmuştur. Biri grafik metod olup, üstünlüğü basit olmasıdır. Diğer, gelecekteki oturmanın bir tahmini olasılığını verebilen ve sonra oturma problemlerinin güvenilirlik



üzerine kurulan tasarımı için bir ön teori de sağlayabilen, sabit olmayan olasılıksal işleminin Bayesian 'nın geliştirdiği sonuç çıkarma metodu üzerine kurulmuştur.

Ortaya konan yöntem, kum kazıklarının drenajından dolayı meydana gelen oturmaya ihtiva eden bazı diğer özel problemler için de uygulanabilir olduğu gösterilmiştir.

4.1.1. Oturma - Zaman İlişkisinin Esas Denklemi

Bu bölümde türetilen adi diferansiyel denklem bir oturma zaman ilişkisini verir.

Mikasa 'nın denkleminden uyarlanan temel denklem olarak

$$\dot{\epsilon} = c_v \epsilon_{zz} \quad (4.1)$$

verilmiştir. Burada

$\epsilon(t, z)$: düşey şekil değiştirme (hacımsal şekil değiştirme)

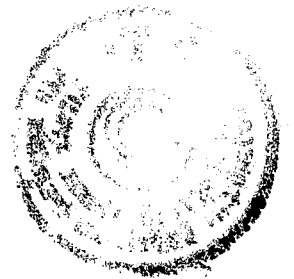
$t(\geq 0)$: zaman

z : kil tabakasının üstünden olan derinlik

c_v : konsolidasyon katsayısı

biçimindedir. Denklem 4.1 'deki (')üst nokta zamana göre türevi ve z alt indisi z derinliğine göre türevi ifade eder. Hem permeabilite ve hemde hacımsal sıkışabilirlik katsayıları zamanla değişse bile eşitlik 4.1 c_v sabit kaldığı zaman (Mikasa, 1963) hala etkindir. Buna ilaveten eşitlik 4.1 oturma ifadesini kolaylaştırır. Bu sebeplerden dolayı eşitlik 4.1 Tezaghi 'nin denkleminin yerine konulmuştur.

Eşitlik 4.1 'in çözümü, zamana bağlı T ve F gibi iki tane bilinmeyen fonksiyon yerleştirilerek ifade edilmiştir:



$$\varepsilon(t, z) = T + \frac{1}{2!} \left(\frac{z^2}{c_v} \dot{T} \right) + \frac{1}{4!} \left(\frac{z^4}{c_v^2} \ddot{T} \right) + \dots + zF + \frac{1}{3!} \left(\frac{z^3}{c_v} \dot{F} \right) + \frac{1}{5!} \left(\frac{z^5}{c_v^2} \ddot{F} \right) + \dots \quad (4.2)$$

Eşitlik 4.2 gösterir ki :

$T = \varepsilon(t, z=0)$ ve

$F = \varepsilon_z(t, z=0)$.

Eşitlik 4.1 'deki ε düşey şekil değiştirmesi başlangıçta bir Eulerian anlamında tanımlanmıştır, fakat bu yazıda ε basitlik için yaklaşık olarak bir Lagrangean şekil değiştirme olarak alınmıştır. ε 'nın Eulerian şekil değiştirme olarak alındığı bir oturma tahmini formülü hali hazırda Asaoka tarafından kurulmuştur. Bununla beraber sonuçlar bir karmaşık lineer olmayan bir problem haline gelmiş ve bu yüzden pratik uygulanabilirlik amacının gerisinde kalmışlardır. Şimdi iki tipik sınır koşulu gözönüne alınmıştır.

1.- Alt ve üst sınırlardan drenaj.

Şekil 4.1 bu sınır koşulunu gösterir. Formülasyonu

$$\varepsilon(t, z = 0) = \bar{\varepsilon} \quad : \text{sabit} \quad (4.3)$$

$$\varepsilon(t, z = H) = \underline{\varepsilon} \quad : \text{sabit} \quad (4.4)$$

biçimindedir, burada H kil tabakasının kalınlığı olup hem $\bar{\varepsilon}$ ve hemde $\underline{\varepsilon}$ bilinmeyen sınır değerleridir.

Eşitlik 4.3 ' ü eşitlik 4.2 ' de yerine konmasıyla

$$T = \bar{\varepsilon} \quad : \text{sabit} \quad (4.5)$$



elde edilir, bu eşitlik 4.2 ' nin çözümünün üst yarısının sabit hale geldiğini gösterir. Sonra eşitlik 4.4 ' den sabit katsayılı F bilinmeyen fonksiyonunun lineer adi diferansiyel denklemini elde ederiz,

$$F + \frac{1}{3!} \left(\frac{H^2}{c_v} \dot{F} \right) + \frac{1}{5!} \left(\frac{H^4}{c_v^2} \ddot{F} \right) + \dots = \frac{\varepsilon - \bar{\varepsilon}}{H} \quad (4.6)$$

2.- Üstten drenaj (Şekil 4.2)

Kil tabakasının altı geçirimsiz olduğu zaman sınır koşulları aşağıdaki gibi verilir:

$$\varepsilon(t, z = 0) = \bar{\varepsilon} \quad : \text{sabit} \quad (4.7)$$

$$\varepsilon_z(t, z = H) = 0. \quad (4.8)$$

Eşitlik 4.7 eşitlik 4.3 ile aynı olduğundan

$$T = \bar{\varepsilon} \quad : \text{sabit} \quad (4.9)$$

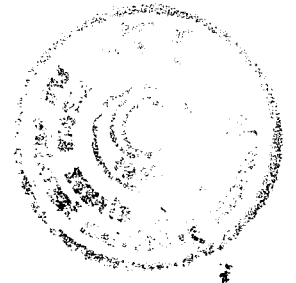
biçimindedir. Sonra eşitlik 4.2 ' nin çözümünden eşitlik 4.8 ' i hesap ederek

$$F + \frac{1}{2!} \left(\frac{H^2}{c_v} \dot{F} \right) + \frac{1}{4!} \left(\frac{H^4}{c_v^2} \ddot{F} \right) + \dots = 0 \quad (10)$$

elde edilir. Bu da sabit katsayılı F 'nin bir lineer adi diferansiyel denklemdir.

Şimdi herhangi bir sınır koşulu için kil tabakasının oturması,

$$\rho(t) = \int_0^H \varepsilon(t, z) dz \quad (11)$$



biçiminde ifade edilir. Burada $f(t)$ t zamanındaki oturmayı ifade eder. Z çözümünü eşitlik 4.11 ' de yerine koyarak $T = \bar{\epsilon}$: sabit, olduğundan dolayı,

$$\rho(t) = \bar{\epsilon}H + \frac{1}{2!}(H^2\dot{F}) + \frac{1}{4!}\left(\frac{H^4}{c_v}\dot{F}\right) + \frac{1}{6!}\left(\frac{H^6}{c_v^2}\dot{F}\right) + \dots = 0 \quad (12)$$

elde edilir. Eşitlik 4.12 'nin t ye göre ardışık türevleri alınması ile aşağıdaki denklem takımı elde edilir.

$$\left. \begin{aligned} \dot{\rho} &= \frac{1}{2!}(H^2\ddot{F}) + \frac{1}{4!}\left(\frac{H^4}{c_v}\ddot{F}\right) + \frac{1}{6!}\left(\frac{H^6}{c_v^2}\ddot{F}\right) + \dots \\ \vdots & \quad \quad \quad \vdots \\ \rho^{(n)} &= \frac{1}{2!}\left(H^2 \frac{(n)}{F}\right) + \frac{1}{4!}\left(\frac{H^4}{c_v} \frac{(n+1)}{F}\right) + \frac{1}{6!}\left(\frac{H^6}{c_v^2} \frac{(n+2)}{F}\right) + \dots \\ \vdots & \quad \quad \quad \vdots \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

4.12 ve 4.13 eşitliklerinin eşitlik 4.6 ve eşitlik 4.10 ' la karşılaştırılmasından bilinmeyen F fonksiyonu yok edilebilir. Bu durumda eşitlik 4.6

$$\rho + \frac{1}{3!}\left(\frac{H^2}{c_v}\dot{\rho}\right) + \frac{1}{5!}\left(\frac{H^4}{c_v^2}\ddot{\rho}\right) + \dots = \frac{H}{2}(\bar{\epsilon} + \underline{\epsilon}) \quad (14a)$$

haline gelir. Benzer olarak Eşitlik 4.10

$$\rho + \frac{1}{2!}\left(\frac{H^2}{c_v}\dot{\rho}\right) + \frac{1}{4!}\left(\frac{H^4}{c_v^2}\ddot{\rho}\right) + \dots = H\bar{\epsilon} \quad (14b)$$



haline gelir. 4.14 eşitlikleri bir dış konsolidasyon yükünün sabit olduğu koşul altındaki oturma-zaman ilişkisini verir. 4.14 eşitlikleri, eşitlik 4.3 ve eşitlik 4.7 değişmeyen sınır koşullarında çıkarılan sonuçlardır.

Eşitlik 4.14 'ün $t \rightarrow \infty$ için stabil (kararlı) yani bu denklemlerinin bütün özdeğerleri birbirlerinden farklı negatif gerçel sayılar olduğu kolayca tahkik edilebilir. Bununla beraber gelecek bölümlerde C_v , H ve drenaj ile yükün sınır koşullarının tümüyle belirsiz olduğu pratik problemleri ele alınacaktır. Buradan dolayı, sıradan analizlerde yaygın olan önde gelen sınır değer ve özdeğerlerin kullanımı ile 4.14 eşitliklerinin çözümlerinin ifadesi (açıklaması) oturma tahmini için yeterli olmayacaktır.

4.14 Eşitliklerinin daha yüksek metebeden diferansiyel terimlerinin ihmal edilebilir derecede küçük olduğu not edilmelidir. Bu yüzden aşağıdaki n 'inci mertebeden yaklaşım eşitliği oturma-zaman ilişkisinin esas denklemi olarak uyarlanmıştır:

$$\rho + c_1 \dot{\rho} + c_2 \ddot{\rho} + \dots + c_n \rho^{(n)} = C \quad (4.15)$$

burada $c_1, c_2, \dots, c_n$ ve C bilinmeyen sabitlerdir. Sonradan görüleceği gibi 4.15 eşitliği bazı değer oturma tahmini problemlerine de uygulanır. Zaman aralıkları,

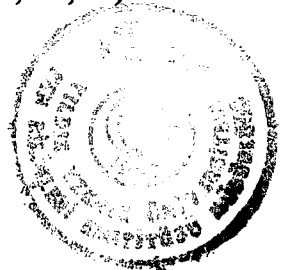
$$t_j = \Delta t \cdot j, \quad j = 0, 1, 2, \dots \quad (4.16)$$

Δt : sabit

biçiminde alınarak 4.15 eşitliği bir sonlu fark biçimine indirgenebilir:

$$\rho_j = \beta_0 + \sum_{s=1}^n \beta_s \rho_{j-s} \quad (4.17)$$

burada ρ_j , $t = t_j$ zamanındaki $\rho(t_j)$ oturmasını gösterir ve β ve β_s ($s = 1, 2, \dots, n$)



bilinmeyen arazi parametreleridir. 4.17 eşitliği bize gözlemsel oturma tahmini için bir fikir verecektir.

İleriki tartışmalara uygun olması açısından, birinci mertebe yaklaşım denklemi

$$\rho + c_1 \dot{\rho} = C \quad (4.18)$$

burada ele alınacaktır. Başlangıç koşulu

$$\rho(t = 0) = \rho_0 \quad (4.19)$$

biçiminde olsun, burada $t=0$ zamanı yükleme çalışmalarından sonraki zaman olarak alınmalıdır. Çünkü eşitlik 4.14 zamandan zamana değişmeyen kararlı (durgun) sınır koşulları için çıkarılmıştır. Bu durumda eşitlik 4.18

$$\rho(t) = \rho_f - (\rho_f - \rho_0) \exp\left(-\frac{t}{c_1}\right) \quad (4.20)$$

biçiminde kolayca çözülebilir. Burada , $\rho_f = C$, C bazen ρ' 'nün durgun durumu olarak ima edilen son oturmadır. Diğer taraftan birinci mertebe fark denklemi

$$\rho_j = \beta_0 + \beta_1 \rho_{j-1} \quad (4.21)$$

olarak ifade edilir. β_0 ve β_1 katsayıları aşağıdaki değerlerdir. Durgun durum

$$\rho_j = \rho_{j-1} = \rho_f \quad (4.22)$$

ifadesini 4.21 eşitliğinde yerine koyarak



$$\rho_f = \frac{\beta_0}{1 - \beta_1} \quad (4.23)$$

elde edilir. Dahası j 'ye göre tekrarlama operasyonu ile eşitlik 4.21, eşitlik 4.20 ile karşılaştırılabilen

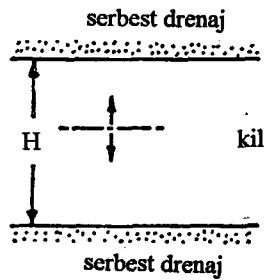
$$\rho_j = \frac{\beta_0}{1 - \beta_1} - \left\{ \frac{\beta_0}{1 - \beta_1} - \rho_0 \right\} (\beta_1)^j \quad (4.24)$$

ifadesini verir. Buradan

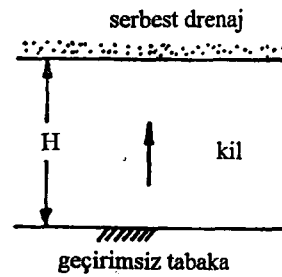
$$l_n \beta_1 = -\frac{\Delta t}{c_1} \begin{cases} = -\frac{6c_v}{H^2} \Delta t : \text{üst ve altta drenaj durumu} \\ = -\frac{2c_v}{H^2} \Delta t : \text{üstten drenaj durumu} \end{cases} \quad (4.25)$$

$$(4.26)$$

β_1 , $\bar{\varepsilon}$ ve $\underline{\varepsilon}$ sınır değerlerine ve yüke bağımlı olmadığı fikrini verir.



Şekil 4.1. Üst ve alttan drenaj durumu

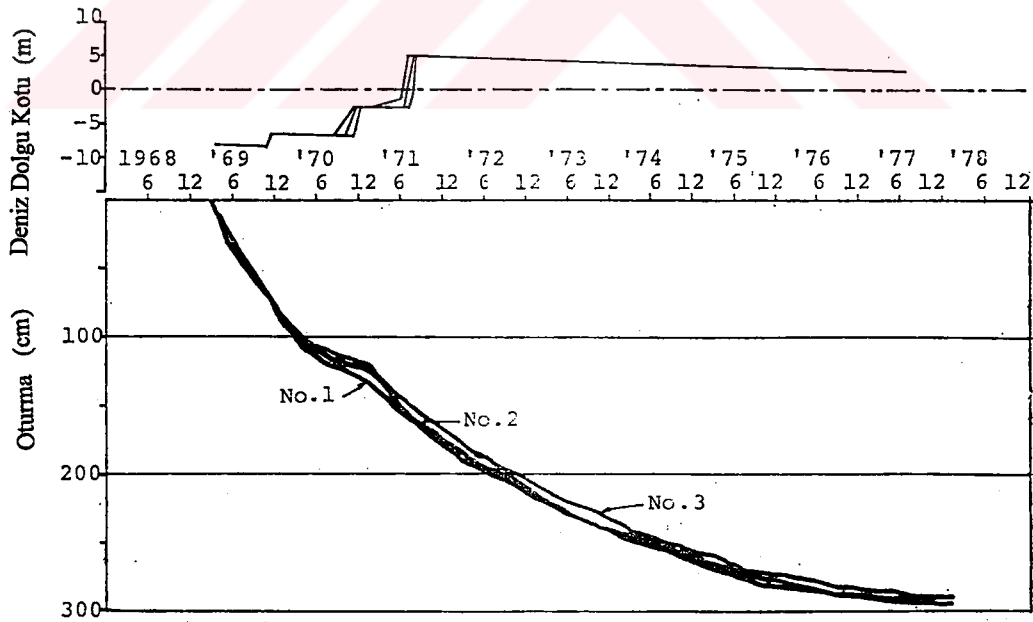


Şekil 4.2. Üst drenaj durumu



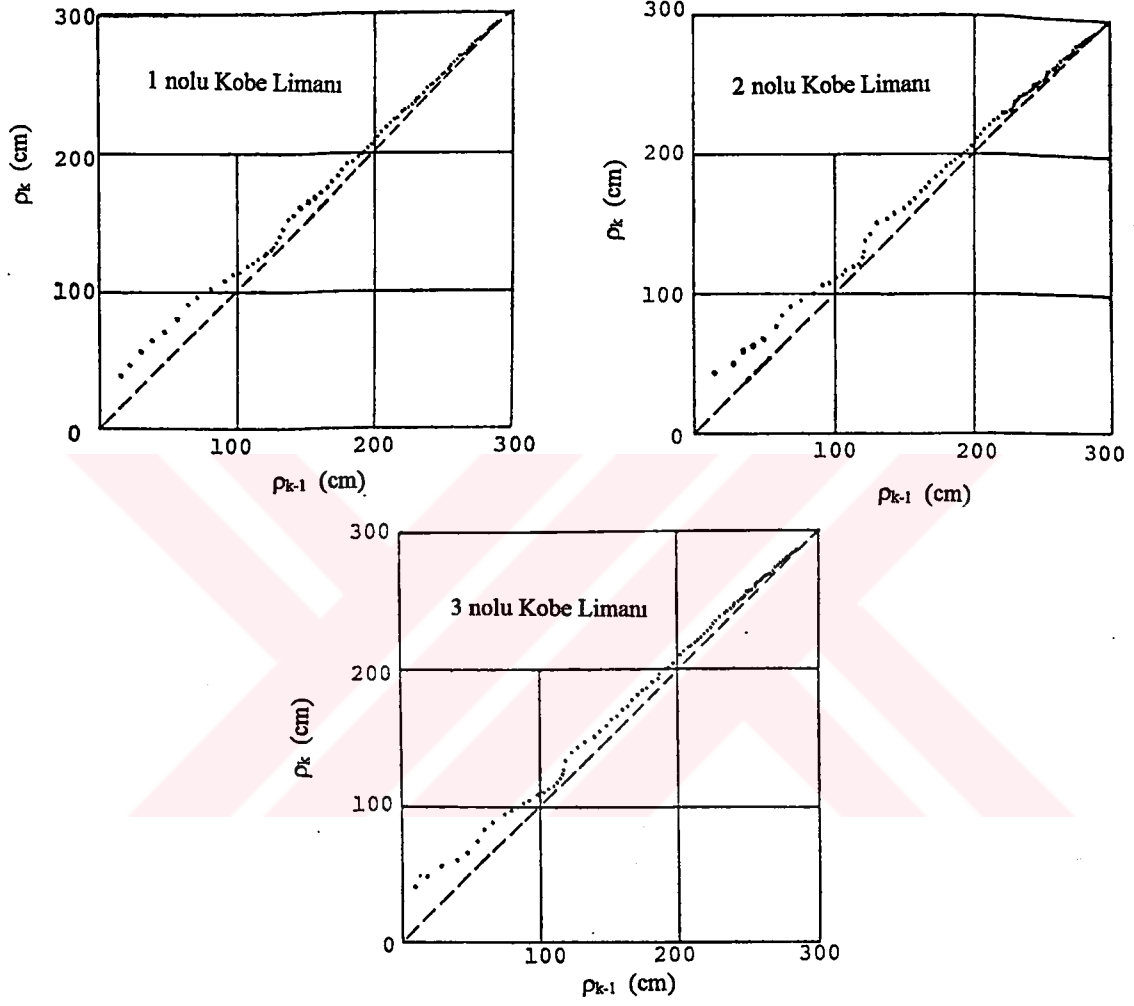
4.1.3. Grafiksel Oturma Tahmini

Önce birinci merteye yaklaşım denkleminin etkin olmadığını araştıralım. $n+1$ oturma gözlemine ve sabit dış yükten elde edilen (üretilen) $(\rho_0, \rho_1, \dots, \rho_n)$ değerlerine sahip olduğunu varsayalım. Bu gözlemleri kullanarak, $k=1, 2, \dots, n$ için (ρ_k, ρ_{k-1}) n tane noktayı (ρ_j, ρ_{j-1}) koordinat, üzerine çizebiliriz. Bundan Eşitlik 4.21 ' in fikir verdiği gibi bütün noktaların bir doğru üzerinde olup olmadığını gözle görebiliriz. Şekil 4.3 ve 4.4 Japonya ' daki geniş ölçekli deniz dolgularından kazanılan arazinin oturma gözlemlerinden elde edilen gerçek sonuçları göstermektedir. Şekil 4.3 ' teki dataları Kobe limanındaki dolgu zemininden elde edilmiştir. Şekil 4.4, Aboshi (1969) yayınındaki dataların tekrar düzenlenmiş sonuçlardır. Bu şekillerin her durumunda oturma bir boyutlu konsolidasyon sonucunda olduğu gözönüne alınmıştır. Bu şekillerde Δt bir zaman aralığı (91-92 gün) 3 ay olarak alınmıştır.



Şekil 4.3a. Kobe Limanı 'ndaki dolgu zemininin gözlemsel oturmaları





Şekil 4.3b. Kobe Liman 'ındaki deniz dolgusunun oturma gözlemlerinden elde edilen $\rho_j - \rho_{j-1}$ grafiği



Şekillerde görüldüğü gibi birinci mertebe fark denklemi, eşitlik 4.21, grafik metoduyla gelecek oturmayı tahmin etmeyi mümkün kılan, gözlemlere iyi uyan, bir eğri uydurması verir. Bu işlem Şekil 4.5 ' de gösterilmiştir. β_0 ve β_1 'nin yaklaşık tahminleri, uydurulan doğrunun eksenini kestiği yerle ve eğim ile verildiği için Eşitlik 4.24 ' ü kullanarak herhangi bir j gelecek zamanının oturması tahmin edilebilir. Dahası bu doğrunun 45° 'lik doğru ile kesişimi nihai oturmayı verir, çünkü ρ_f , $\rho_j = \rho_{j-1}$ tarafından verilir. Eğer gerekirse zaman faktörünün bilinmeyen katsayısı, c_v'/H^2 , Eşitlik 4.25 veya 4.26 ile geriye doğru kolayca hesaplanabilir.

Kademeli yükleme durumunda $\rho_j = \beta_0 + \beta_1 \cdot \rho_{j-1}$ doğrusu Şekil 4.5 ' de de görüldüğü gibi yukarı doğru hareket edecektir. Oturma kil tabakasının kalınlığına nazaran bağıl (relatif) olarak küçük olduğu zaman ötelenen çizgi başlangıç çizgisine hemen hemen paralel hale gelir, çünkü β_1 dış yükten değil, fakat H kalınlığından ve c_v konsolidasyon katsayısından saptanır.

Bu grafiksel metod basitliğin zorluktan daha değerli olduğu durumlarda oldukça yararlıdır, fakat aşağıdakiler dikkate değerdir.

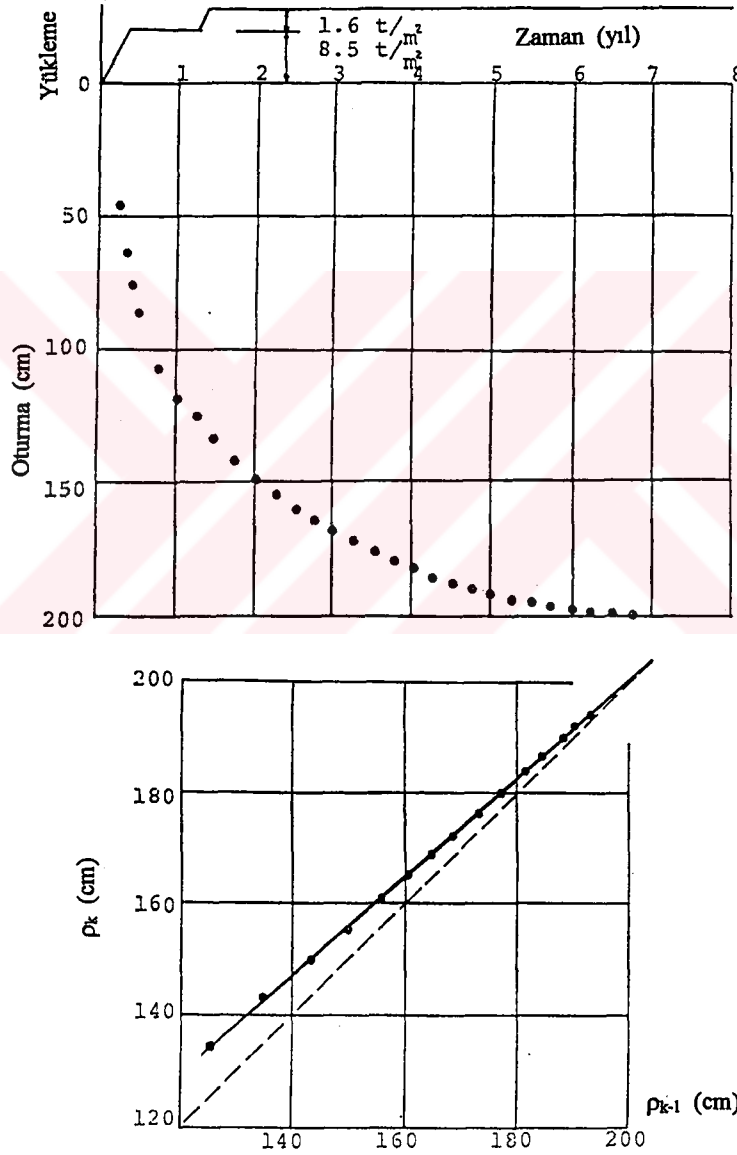
(1) β_0 'ı elde etmek için genellikle uydurulmuş eğrinin $\rho_{k-1} = 0$ eksenine ekstrapolasyonuna (dış değerinin bulunmasına) mecbur oluruz. Bu yüzden doldurma (banking) periyodu çok uzun olursa ρ_0 çok büyük olur. Bu durumda ekstrapolasyon çok dikkatli şekilde yapılmalıdır.

(2) Grafik metodun hassasiyeti esas olarak Δt bir zaman aralığına bağlıdır. Δt ne kadar uzun olursa o kadar yüksek hassasiyet elde edilir. Bu amaç için gözlemlerin tekrardan düzenlenmesi bazen tavsiye edilir. Bir örnek olarak eğer her hafta oturmayı gözleyip Δt ' yi 10 hafta olarak alınırsa bu durumda $\rho[k]$ k 'ıncı haftada bir gözlem serisine sahip oluruz. Yani:

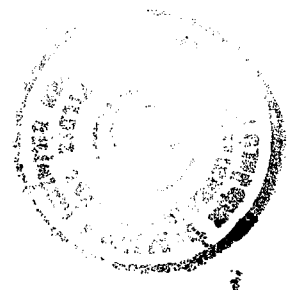


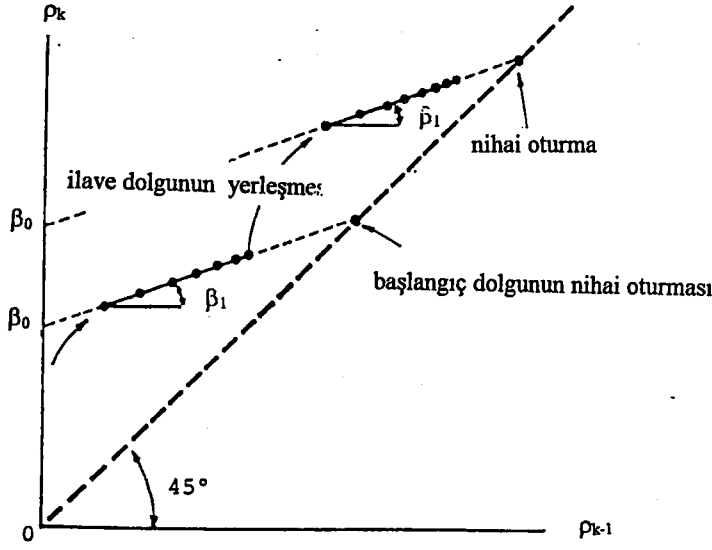
- (1) $\rho[0], \rho[10], \rho[20], \dots$
 (2) $\rho[1], \rho[11], \rho[21], \dots$
 $\vdots$
 (10) $\rho[9], \rho[19], \rho[29], \dots$

β_0 ve β_1 mutlak zamandan bağımsız olduklarından bütün zaman serisi dataları aynı düz doğru üzerinde çizilecektir.



Şekil 4.4. Shin-Ube termoelektrik güç santralindeki oturma gözlemleri





Şekil 4.5. Oturma tahmininin grafiksel yöntemi

4.1.4. Oturma Tahmininin Emniyet Analizi

4.18 eşitliğinin çözümü, birinci mertebeden yaklaşım denklemi, burada $t=0$ zamanında, c_1 ve C' nin bilinmediği koşullar altında Bayesian tekniği kullanılarak tahmin edilmiştir.

Olasılık yaklaşımının grafik metoda olan üstünlüğü, tahmin edilen değerin güvenliği ile birlikte verilmesidir.

Daha önceki bölümde bahsedildiği gibi birinci mertebe otoregresif model burada

$$\rho_j = \beta_0 + \beta_1 \rho_{j-1} + \sigma \eta_j \quad (4.27)$$

oturma tahmini için uygun bir model olmak üzere seçilmiştir. Burada η_j sıfır ortalama (zero mean) ve birim sapmalı (unity deviation) rastgele bir değişkendir. Ardışık



hesaplamaları basitleştirmek için aşağıdakiler varsayılmalıdır: birincisi η_j Gauss rastgele değişkeni ve diğeri

$$E[\eta_j, \eta_k] = \begin{cases} 1 & : j = k \\ 0 & : j \neq k \end{cases} \quad (4.28)$$

olmalıdır. Burada $E[]$ beklenti operatörünü gösterir. Eşitlik 4.28 ' in ρ_j ve ρ_k arasında istatistiksel bağımsızlığı ifade etmediğini ortaya koymak gereksizdir. β_0 , β_1 ve σ bilinmeyen üç parametre basitlik için bazen θ olarak yazılır, yani, $\theta = (\beta_0, \beta_1, \sigma)'$, bilinmeyen parametre vektörüdür. Gözlemlerin seti

$$\rho^i = (\rho_0, \rho_1, \dots, \rho_i) \quad (4.29)$$

hali hazırda elde edilmiş olduğunu varsayalım. θ bilinmeyeninin sonraki Olasılık Dağılım Fonksiyonunu (pdf) aşağıdaki gibi gösterelim:

$$\xi(\theta|\rho_i) \propto \xi(\theta) \prod_{j=1}^i p(\rho_j|\theta, \rho_{j-1}) \quad (4.30)$$

Burada $\xi(\theta)$, θ 'nın önceki olasılık dağılım fonksiyonu; $p(\rho_i|\theta, \rho_{j-1})$, $(\beta_0 + \beta_1 \rho_{j-1})$ ortalamalı ve σ^2 varyanslı Gauss olasılık dağılım fonksiyonudur. $t=0$ anında hiçbir bilgiye sahip olmadığımız için $\xi(\theta)$ önceki bir olasılık dağılım fonksiyonu dağılımı ile verilebilir.

$$\xi(\theta) \propto \frac{1}{\sigma} \quad (4.31)$$



Eğer $t=0$ zamanında bazı bilgilere sahipsek $\xi(\theta)$ eşitlik 4.31 'dekinden daha çok bilgi içeren bir biçimde açıklanabilir. $\xi(\theta)$ 'yı bir Gauss-Gama bağlantılı olasılık dağılım fonksiyonu olarak alırsak, sonraki olasılık dağılım fonksiyonu $\xi(\theta|\rho^i)$ Gauss-Gama bağlantılı olasılık dağılım fonksiyonu olur.

Sonraki çıkarılan ifade θ ve ρ_0 ile şartlandırılmış ρ_j 'nin olasılık dağılım fonksiyonudur. Bu olasılık dağılım fonksiyonu

$$p(\rho_j|\theta, \rho_0) = \underbrace{\int \cdots \int}_{(j=1)} \prod_{k=1}^j p(\rho_k|\theta, \rho_{k-1}) \cdot d\rho_1 d\rho_2 \cdots d\rho_{j-1} \quad (4.32)$$

ifadesinden hesaplanır. Matematiksel tümevarım metodu kullanılarak $p(\rho_j|\theta, \rho_0)$ ifadesi M_j ortalamalı ve $\sum_j^2$ varyanslı

$$\left. \begin{aligned} M_j &= \frac{\beta_0}{1-\beta_1} - \left(\frac{\beta_0}{1-\beta_1} - \rho_0 \right) (\beta_1)^j \\ \sum_j &= \sigma \sqrt{\frac{1-\beta_1^{2j}}{1-\beta_1^2}} \end{aligned} \right\} \quad (4.33)$$

Gauss olasılık dağılım fonksiyonu olarak ifade edilebilir. Hem M_j ve hemde $\sum_j$ 'nin monoton artan fonksiyonları olmalarına rağmen, $1-\beta_1 < 0$ olduğundan, üstten de sınırlıdır:

$$\left. \begin{aligned} \lim_{j \rightarrow \infty} M_j &= \frac{\beta_0}{1-\beta_1} \\ \lim_{j \rightarrow \infty} \sum_j &= \sigma / \sqrt{1-\beta_1^2} \end{aligned} \right\} \quad (4.34)$$



Şimdi burada σ 'nın anlamını inceleyelim. Eğer bir kil tabakası üzerinde sadece bir noktada ρ^i bir zaman serisi gözlemi alırsak $\sum_j, M_j$ eğiliminden ρ_j nin rastgele dalgalanmasını ifade eder. Bununla beraber genellikle belli bir bölgenin içindeki çeşitli noktalardaki oturmaları gözlemleyebiliriz. $^1\rho^i$, "l" noktasındaki oturmanın bir zaman serisi gözlemi olsun ve

$$\rho^i = (^1\rho^i, ^2\rho^i, ^3\rho^i, \dots, ^m\rho^i) \quad (4.35)$$

biçiminde gösterilsin burada, m gözlem noktalarının sayısıdır. Bu durumda, eğer bir oturma işlemi uzaysal olarak kararlı olduğu varsayılabilirse sonraki olasılık dağılım fonksiyonu ile tahmin edilen σ ,

$$\xi(\theta|\rho^i) \propto \xi(\theta) \prod_{l=1}^m \prod_{j=1}^i p(^l\rho_j|\theta, \rho_{j-1}) \quad (4.36)$$

biçiminde $l = 1, 2, \dots, m$ gözlem noktaları arasında uzaysal aralıkla karakterize edilen eşit olmayan oturmanın özellikleri kapsayacak biçimde gözönüne alınabilir. Bu durumda ρ_0 , bir başlangıç dağılım kavramını $p(\rho_0)$ da yerine koyarak

$$p(\rho_j|\theta) = \underbrace{\int \dots \int}_{(j)} p(\rho_0) \prod_{k=1}^j p(\rho_k|\theta, \rho_{k-1}) \cdot d\rho_0 d\rho_1 \dots d\rho_{j-1} \quad (4.37)$$

elde ederiz, bu eşitlik 4.32 ' den farklıdır. ρ ' nun bir başlangıç dağılımı $p(\rho_0)$ yüklemekten hemen sonraki eşit olmayan oturmanın dağılımı ifade eder. $p(\rho_0)$ ' nin bir Gauss olasılık dağılım fonksiyonu olarak ifade edilebilmesi şartıyla $p(\rho_j|\theta)$ ' da tıpkı $p(\rho_j|\theta, \rho_0)$ gibi bir Gauss olasılık dağılım fonksiyonu haline gelir.



Şimdi tahmin problemimize dönelim. Hali hazırda ρ^i gözlemlerinin seti ile koşullandırılmış ρ_j 'nin tahmini olasılık dağılım fonksiyonunu aşağıdaki gibi çıkarabilmiş olalım:

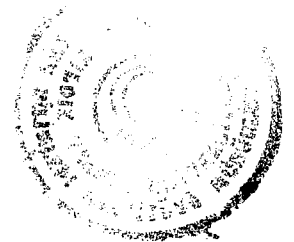
$$p(\rho_j|\rho^i) = \int p(\rho_j|\theta, \rho_0)\xi(\theta|\rho^i)d\theta, \quad (4.38)$$

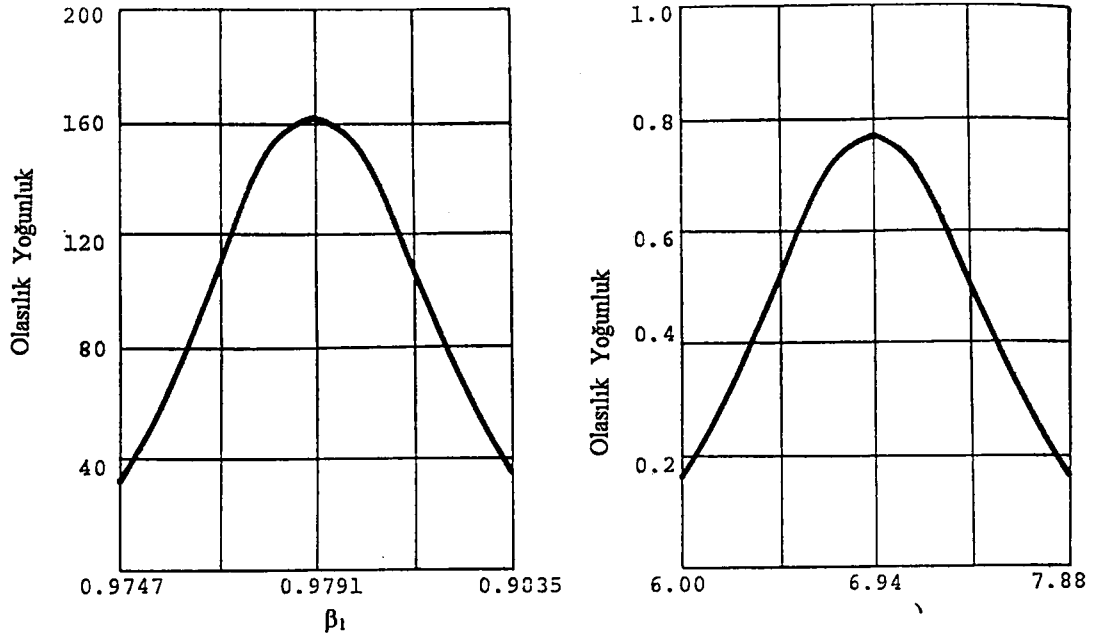
burada $d\theta = d\beta_0 d\beta_1 d\sigma$, biçimindedir. Oturma tahmininin güvenliği eşitlik 4.38 'den saptanır. Örneğin j zamanındaki ρ_j olasılığını ρ_a ve ρ_b arasında alınması

$$(p_a < \rho_j < p_b | \rho^i) = \int_{p_a}^{p_b} p(\rho_j|\rho^i) d\rho_j \quad (4.39)$$

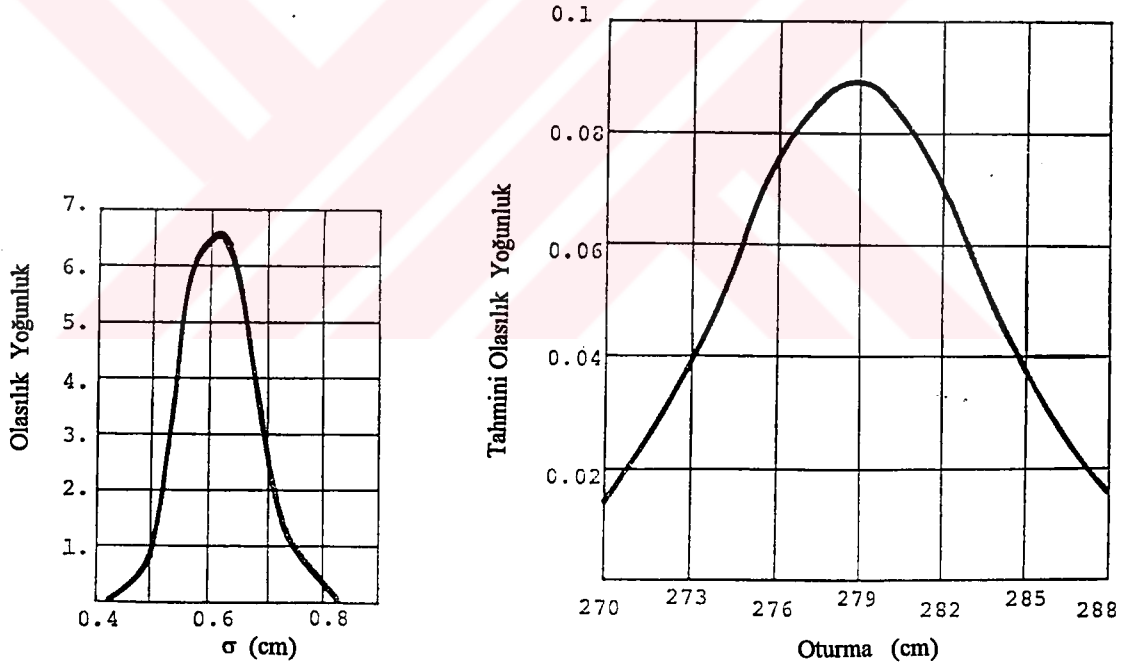
biçiminde verilebilir. Eşitlik 4.38 veya 4.39 'un hesaplanması bu denklemlerdeki katlı integraller nedeniyle bir bilgisayar olmaksızın yapılamaz.

Şekil 4.6, 4.7 ve 4.8, eşitlik 4.30 ve 4.38 'in şekil 4.3 'de gösterilen 3 nolu Kobe limanının gözlemlerinde uygulanmasının nümerik sonuçlarıdır. Sonuçları elde etmek için hem önceki olasılık dağılım fonksiyonu dağılımı ve hemde 1972 Aralığına kadarki gözlenen datalar kullanılmıştır. Tahmin, gerçekleşen 281 cm lik değer olan 1972 Aralığına kadarki gözlenen datalar kullanılmıştır. Tahmin, gerçekleşen 281 cm lik değer olan 1976 Aralığının oturmasına kadar iletilmiştir. Şekil 4.8 oturmanın tahmini olasılık dağılım fonksiyonudur. Şekil 4.6 ve 4.7 eşitlik 4.30 'un β_0 , β_1 ve σ değerlerinin sırasıyla sınırsal (marjinal) olasılık dağılım fonksiyonlarıdır. Bu hesaplamalar için Δt 30~31 gün olarak alınmıştır.





Şekil 4.6. 3 nolu Kobe Limanı deniz dolgusunda Aralık 1972 'ye kadar gözlemlenen datalardan elde edilen β_0 ve β_1 'in sonraki sınırsal (marjinal) olasılık dağılım fonksiyonu



Şekil 4.7. 3 nolu Kobe Limanı deniz dolgusunda Aralık 1972 'ye kadar gözlemlenen datalardan elde edilen σ 'nın sonraki sınırsal (marjinal) olasılık dağılım fonksiyonu

Şekil 4.8. 3 nolu Kobe Limanı deniz dolgusunda Aralık 1972 'den Aralık 1976 'ya kadar olan oturmanın tahmini olasılık dağılım fonksiyonu



4.1.4.1. Bazı Özel Problemler

4.1.4.1.1. Kriye Bağı İkincil Oturma

En basit durum olan kil tabakasının ikincil sıkışması sabit bir dış yüke maruz tekil Voigt modeli ile yaklaşık olarak tanımlanabilir. Bu durumda ikincil oturma ρ_{II} ,

$$\rho_{II} + c\dot{\rho}_{II} = P \quad (4.40)$$

sabit katyasılı birinci mertebeden lineer diferansiyel denklem ifadesini sağlayacak şekilde gözönüne alınır. 4.40 eşitliğinin çözümü

$$\rho_{II} = \rho_{fII} - (\rho_{fII} - \rho_{0II}) \exp\left(-\frac{t}{c}\right) \quad (4.41)$$

olarak verildiğinden (burada ρ_{0II} 4.40 eşitliğinin başlangıç şartı ve $\rho_{fII} = P$) toplam oturma aşağıdaki gibi gösterilebilir

$$\rho = (\rho_{fI} + \rho_{fII}) - (\rho_{fI} - \rho_{0I}) \exp\left(-\frac{t}{c_1}\right) - (\rho_{fII} - \rho_{0II}) \exp\left(-\frac{t}{c}\right) \quad (4.42)$$

burada Terzaghi ' nin konsolidasyon teorisinin sonucu olan oturma ρ_I ile gösterilmiş ve eşitlik 4.20, birinci mertebe yaklaşım denkleminin çözümü ile de açıklanabilir. Eşitlik 4.42 'deki ρ sabit katsayılı kararlı ikinci mertebeden lineer adi diferansiyel denklemin özel çözümü olduğu gözönünde tutulmalıdır. Böylece bir fark formunu ele alarak sonraki ikinci mertebe otoregresif denklem

$$\rho_j = \beta_0 + \sum_{s=1}^2 \beta_s \rho_{j-s} \quad (4.43)$$

kriye faktöründe içeren oturma tahmini için uygun bir denklem olarak önerilir.

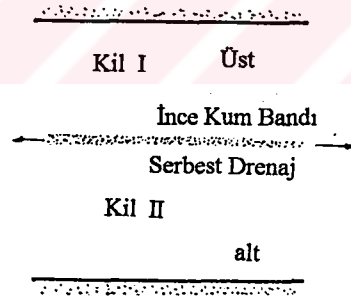


4.1.4.1.2. Kum Damarlı Kil Tabakasının Oturması

Sıradan bir zemin araştırmasında ince bir kum damarlı bazen gözden kaçırılır. Bununla beraber eğer kum damarı serbest drenaja müsade ederse bu gözden kaçırma oturma zaman tahmininde büyük bir hataya neden olur. Şekil 4.9 hem I ve hemde II tabakalarının toplam oturmalarının

$$\rho(t) = \rho_I(t) + \rho_{II}(t) \quad (4.44)$$

biçiminde verildiği en basit bir durum göstermektedir, burada $\rho_I(t)$ ve $\rho_{II}(t)$ sırasıyla I ve II tabakadaki oturmaları gösterir. Şekil 4.9 'daki kum damarının serbest drenaja müsade ettiğini varsayalım. Bundan başka, basitlik için, $\rho_I(t)$ ve $\rho_{II}(t)$ eşitlik 4.20 'nin formu ile ifade edilsin. Bu durumda, eşitlik 4.44, $\rho(t)$ toplam oturmasının kripten dolayı ikincil oturmanın konusunda verilen yollarda (yani ikinci mertebe otoregresif denklemleriyle) aynen tahmin edilebileceğini önerir.



Şekil 4.9. İnce kum bandından yatay drenaj durumu



4.1.5. Kum Drenlerin Oturma Tahmini

Konsolidasyon zamanını azaltmak için, düşey kum drenler bazen kullanılır. İyi bilindiği gibi, eğer eşit düşey şekil değiştirme hipotezi yaklaşık olarak gerçekleşirse konsolidasyon derecesi bir tekil model ile ifade edilebilir, yani,

$$U = 1 - \exp(-\lambda t) \quad (4.45)$$

burada λ özdeğeri hem yatay konsolidasyon katsayısından ve hemde kum kazıkların geometrik boyutlarından saptanır. Zemin mühendisliği alanındaki alışla geldiği gibi oturma konsolidasyon derecesi ile doğru orantılı imiş gibi bakılabilir. Eşitlik 4.45, bundan dolayı, kum drenler ile olan oturma birinci mertebe otoregresif denklemi ile tahmin edilebileceğini gösterir.

4.1.5.1. Kum Drenlerin Oturma Genel Tahmin Formülü

Yukarıdaki bölümler genel bir oturma tahmin modelinin

$$\rho_j = \beta_0 + \sum_{s=1}^n \beta_s \rho_{j-s} \quad (4.46)$$

ile verildiğini anlatmaktadır. Gerçek bir oturma birçok farklı faktörün etkisindedir. Bununla beraber eğer bu faktörler bir özdeğer problemi gibi matematiksel olarak formüle edilebilirse eşitlik 4.46 tahmin formülü oldukça geneldir.

Katsayılarının fiziksel anlamlısı çok farklı olmasına rağmen eşitlik 4.46 eşitlik 4.17 ile aynı formda olduğu belirtilmelidir.



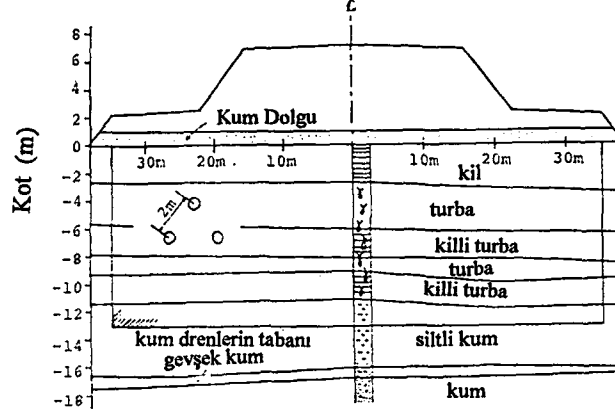
Bununla beraber, son gözlemlerden $n \geq 2$ için eşitlik 4.46 'nın istatistiksel parametre tanımı şu an için mümkün değildir, çünkü oturma işlemi kararlı, yani $E[\rho_j] \neq \text{sabit}$, değildir. Bayesian istatistikleri ile ρ_j 'nin olasılık dağılım fonksiyonunun bir tahmini için analitik bir metod, önceki bölümde $n=1$ durumu için ortaya konan aynı yolla mümkündür. Bununla beraber sonuçlar, zorlu çok katlı integraller içerir. Bundan dolayı uzun süreli gözlem mümkünse ve dikkate değer bir geniş zaman aralığı, $\Delta t = t_j - t_{j-1}$, uygulanabilirse yazar, β_0 ve β_s ($s=1,2,\dots$) 'nin küçük kareler metodu ile tahminlerini tavsiye eder.

Pratik olarak eşitlik 4.21 veya 27 birinci mertebe tahmin modeli öncelikle ele alınmalıdır. Sadece birtane göze çarpan özdeğer mecutsa birinci mertebe yaklaşım metodu tahmin edici sonuçlar verecektir. Eğer model gözlemlere iyi bir yaklaşım vermez ise $n=2$ için eşitlik 4.46, ikinci mertebe tahmin modeli sonradan denenmelidir.

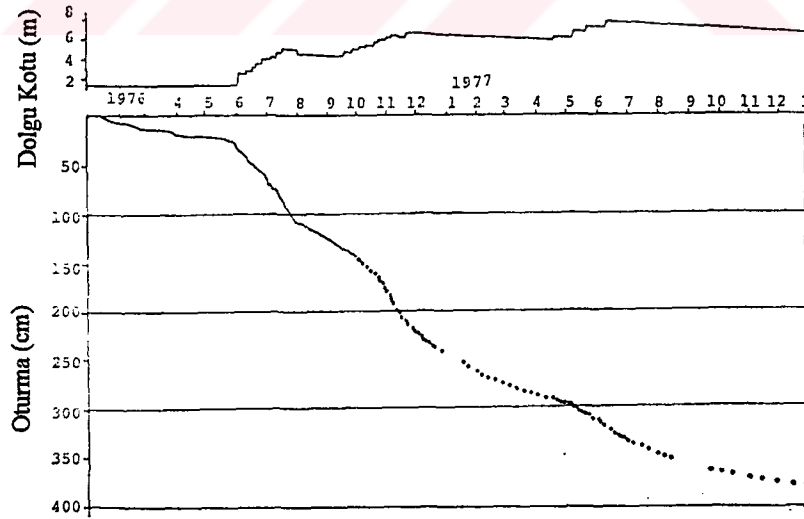
4.1.5.1.1. Bir Karmaşık Sınırdeğer Problemine Pratik bir Örnek

Ortaya konan oturma tahmini metodunun çok tabakalı bir karmaşık kil dolgusuna uygulanabilirliği Japon Devlet Karayolları Şirketi (J.H.P.C.) tarafından Do-o otobanının bir bölümü olan Hokkaido 'daki Iwamizawa 'da 1975-1978 yılları arasında inşa edilen test dolgusundan elde edilen gerçek datalar kullanılarak araştırılmıştır. Test bölümündeki zemin profili ve dolgu kesit alanı Şekil 4.10 'da görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi kil tabakası, kil, turba ve siltli kil tabakası içeren 7 alt zemin tabakasından meydana gelmiştir. Kazıklar boyunca düşey drenaj amacıyla, kum kazıklar -13 m kotuna kadar imal edilmiştir. Dolgu merkezi altındaki ölçülen oturmalar Şekil 4.11 'de verilmiştir. Dolgu iki kademede yüklenmiştir. Birincisi 1976 Kasımının sonundan 1977 Nisanının ortalarına kadar, ikincisi 1977 Mayısının sonunda başlamıştır. Ortaya konana grafiksel oturma metodu bu iki periyot süresince elde edilen gözlemlere uygulanmıştır. Sonuçlar birinci mertebe otoregresif tahmin modelinin önemli derecede uygulanabilir olduğunu gösteren





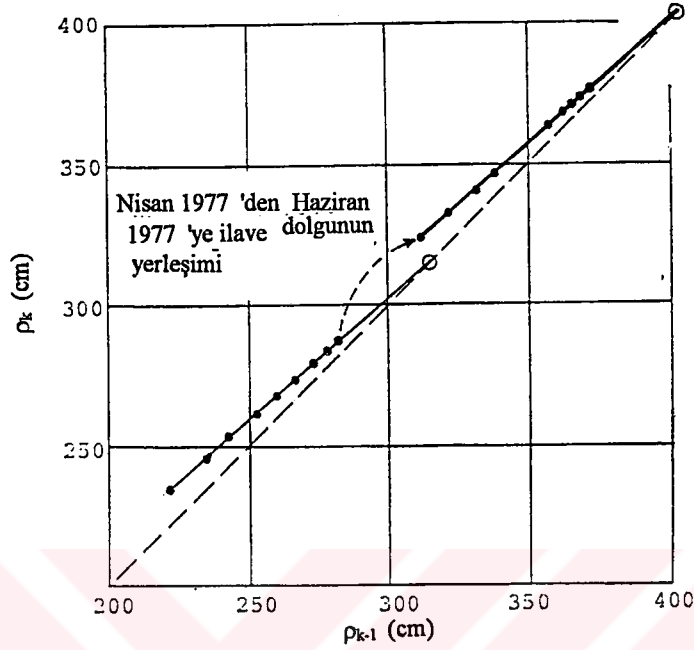
Şekil 4.10. Iwamizawa test dolgusunun enkesiti ve zemin profili



Şekil 4.11. Iwamizawa test dolgusunun kum dren deneme kesitindeki oturma gözlemleri



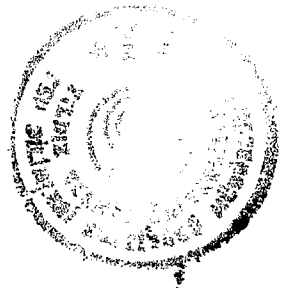
şekil 4.12 'de verilmiştir. Şekil 4.12 'nin gösteriminde Δt zaman aralığı 15 gün olarak alınmıştır.



Şekil 4.12. Grafikselsel yöntemin Iwamizawa test dolgusunun gözlemlerine uygulanması

Oturma tahmini için gözlemsel metod, yeni bir fikir olarak Asaoka (1978) tarafından ortaya konmuştur. Bir boyutlu konsolidasyon problemleri ve kum drenler için eşitlik 4.21 veya 4.27 birinci mertebe otoregresif denkleminin oturma tahmini için uygun olduğu gösterilmiştir. Bu tahmin formülü için hem grafiksel ve hem de emniyet yaklaşımları ortaya konmuştur.

Ortaya konan metod konsolidasyon katsayısının ve hem başlangıç ve hem de sınır koşullarının oldukça belirsiz olduğu durumlar altında keyfi bir gelecek zamanın oturma tahmini için büyük bir üstünlüğe sahip olduğu görülmüştür. Bu durumlar, yaygın mühendislik uygulamalarında öyle gözönüne alınabilir ki ortaya konan metod bir kesin geçerliliğe sahiptir. Bilinmeyen şartlara gelince, onlar eğer gerekirse, birinci mertebe



otoregresif denklemin tahmin edilen katsayıları kullanılarak oturma gözlemlerinden geriye doğru tahmin edilebilir.

Daha yüksek mertebeden eşitlik 4.46 otoregresif denklemi daha hassas oturma tahmini elde etmek ve biri ikincil sıkışmayla ilgili ve diğeri kum damarlı çok tabakalı oturma olan bazı özel problemlere uygulanmak üzere önerilir.

4.2. Dolgu Altındaki Yumuşak Zeminin Stabilitate Analizi

Yumuşak kohezyonlu zemin dayanımının önemli göstergesi olan drenajsız kayma mukavemetinin arazi veya deneyleriyle belirlenen değeri, pratikte stabilite analizlerinde direkt olarak kullanılabilir. Ancak yumuşak zemin üzerindeki dolguların göçmesine karşı yapılan birçok stabilite analizi, arazi veya deneyleriyle bulunan kayma mukavemetinin, her zaman arazideki gerçek kayma mukavemetine eşit olarak kabul edilemeyeceğini ortaya koymuştur. Analizler sonucu, veya deneyleriyle bulunan mukavemetin, arazideki gerçek zemin mukavemetinden daha büyük olduğu, bunda da zeminin anizotropik yapısının, dolgu yükleme hızının artırılması halinde zeminde plastik bölgelerin oluşmasının ve kayma (göçme) düzleminin etkili olduğu görülmüştür. Bu nedenle gerçek drenajsız kayma mukavemetine ulaşmak için arazi veya deneyleriyle ölçülen drenajsız kayma mukavemeti değerinin, plastisite indisine (Bjerrum, 1972) veya likit limite (Pilot, 1972) bağlı olan bir düzeltme faktörüyle çarpılması önerilmiştir. Daha sonra örselenmemiş numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deneylerinden yumuşak zeminin mukavemetini belirlemek için yeni metodlar geliştirilmiştir.

Bu metodlar La Rochelle et al. (1974) tarafından önerilen Büyük Şekil Değiştirmelerde Drenajsız Mukavemet Metodu ile Ladd and Foott (1972) tarafından bulunan Gerilme Geçmişi ve Normalize Edilmiş Zemin Mühendisliği Parametreleri Metodudur. Trak et al. (1980) tarafından gerçekleştirilen diğer bir çalışma ise, dolgu altındaki yumuşak zeminin göçme anındaki dayanımının tahmininde bugüne kadar yapılan çalışmaların başını çeken ve zeminin drenajsız kayma mukavemetinin plastisite indisinden bağımsız olarak zeminin



önkonsolidasyon basıncına bağlı olarak tahminine dayanan Bjerrum verilerinin kullanıldığı Mesri (1975) tarafından yapılan çalışmanın yorumuna dayanmaktadır. Bu çalışmada yumuşak kil yığınlarının drenajsız kayma mukavemetinin tahmininde kullanılan diğer metodların $c_u=0.22\sigma'_p$ eşitliğindeki pratik sabit dayanım değerini kullandıkları saptanmıştır. Burada σ'_p zeminin önkonsolidasyon basıncıdır.

Pilot (1972), yumuşak zemin üzerinde bulunan dört ayrı dolgunun stabilitesini zemindeki göçme süresince arazide boşluk suyu basıncı ölçümlerini dikkate alan efektif gerilme analizini kullanarak incelemiştir. Bu çalışmada efektif gerilme analizlerinin, toplam gerilme analizlerine göre tatbik edilmesi daha zor olmasına, daha hassas deney yapılması gereği duyulmasına ve elde edilen verilerin daha kapsamlı yorumlanmasına ihtiyaç duyulmasına rağmen daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bununla birlikte bu çalışma, efektif gerilme analizinin geçerli olduğunu, stabilitenin kontrolünün birincil öneme sahip olduğu durumlarda önemli avantajlar sağladığını göstermektedir. Ayrıca göçme anında, mevcut arazi boşluk basınçlarını ve dolgunun nihai geometrisini dikkate alan efektif gerilme analizlerinin, düşük plastisiteli temel zemininde tatminkar sonuçlar verdiği görülmüştür.

4.3. Dolgu Altındaki Yumuşak Zeminin Deformasyon Analizi

Dolgu inşaatı uzun süren ve büyük yüklerin uygulandığı işlemleri içerir. Ayrıca bu süreç içerisinde önceden geniş inceleme yapılmış olsa bile etkilenen zemin kütlesinin büyük hacmi ve değişken özellikleri sebebiyle yapım sırasında gelişen şartlar önceden tatmin edilenlerden farklı olabilir. Bu durum yapım süresi içerisinde sürekli gözlem ve ölçümleri gerekli kılmaktadır ve günümüz uygulamasında aletsel gözlemlemenin gerekliliği tartışılmaz hale gelmiştir. Aletsel gözleme sonuçlarının doğru tanımlanması ve yorumu, ortaya çıkan problemlere çabuk ve uygun çözümler getirme olanağını sağlayacaktır. Özellikle aşamalı inşaa edilen dolguların yapımında oturma ve yanal akma hareketlerinin takip edilmesi, tanımlanması ve oluşum sebeplerinin belirlenmesi, dolgunun



stabilitesinin korunması ve dolgu inşaatının devamı sırasında ortaya çıkan duruma göre tasarımın revize edilmesi gereklidir.

Yumuşak zeminler üzerindeki dolguların tasarımında stabilite, gözetilmesi gereken ilk kriter ise de deformasyonların oluşum, yön, şekil ve miktarının belirlenmesi ve kontrol edilmesi, hem stabilitenin kontrolü ve korunması, hem de yapının işletme yeterliliği bakımından aynı derecede öneme sahiptir. Aynı zamanda bu iki davranış biçimi birbirleriyle doğrudan ilişkilidir. Dolgu altındaki yumuşak zeminde oluşan deformasyonlar, oturmalar ve yanal deplasmanlar şeklinde oluşurlar. Yanal deplasmanlarla oturmalar arasında gözardı edilemeyecek bir ilişki vardır.

Aşamalı olarak inşaa edilen dolguların yükleme devrelerinde yanal akma hareketleri yüksek değerlere ulaşabilir ve gerçek drenajsız şartlarda sabit hacim ilkesine göre bu devrede oluşan oturmalarla yanal deplasmanların hacımsal değerlerinin birbirlerini dengeleyecek büyüklükte olmaları gerekir. Halbuki konsolidasyon davranışı, zeminde üç boyutlu bir sıkışmayla artan konsolidasyon basıncı ile orantılı olarak zemin mukavemetinde artışa sebep olmaktadır. Bu sebeple bir taraftan yanal akma hareketlerine bağlı olarak oluşan oturmalar stabilitenin bozulması yönünde etkili olur, bununla birlikte konsolidasyonun ilerlemesi stabilite ve güvenliği artırıcı yöndedir. Bu bakımdan dolgu inşaat programının uygulanması sırasında ölçümlerle belirlenen deformasyon hareketlerinin tip, şekil, gidiş ve yönlerinin tanımlanabilmesi ve oluşum sebeplerinin belirlenerek bileşenlerine ayrılabilmesi büyük önem taşımaktadır. Loganathan et al. (1993) arazide dolgu inşaatı sırasında yapılan oturma ve yanal akma ölçümlerinden yararlanarak oturma hareketlerinin bileşenlerini bulmaya yarayan Arazi Deformasyon Analizi adı altında bir yöntem geliştirmişlerdir. Loganathan et al. (1993) 'ün önerdiği yöntem, aşamalı dolgu inşaatına uygundur ve yükleme esnasındaki oturma bileşenlerini ani oturma ve konsolidasyon oturmaları; konsolidasyon esnasındaki oturma bileşenlerini ise konsolidasyon oturmaları kripi oturmaları olarak hesaplamaktadır. Bu hesaplama, yapılan ölçümler ile oturmalar arasında doğrusal bağıntılar geliştirme esasına dayalıdır ve bunun için elastik ani oturma ve kripi formüllerinden yararlanılmakta, böylelikle ani



oturma ve krip bileşeni belirlendikten sonra kalan kısım konsolidasyon oturması olarak tanımlanmaktadır. Ancak bu şekilde oturma bileşenleri bulunabilse bile bulunan değerlerle tasarıma ait yükleme ve gerilme parametreleri arasında bir bağıntı kurmaya yönelik araçlar bu yöntemde mevcut değildir. Ayrıca elastik ani oturmalarla ait bağıntının değişik yükleme aşamalarında aynı sabit değerle kullanılmasına ait sakıncalar vardır. Bu bakımdan yapılan ölçümlerin sonuçlarını zeminin gerçek davranışını yansıtan efektif gerilme ve özgül hacim ilişkileri çerçevesine aktaracak bir yöntemle deformasyon bileşenleri için daha uygun bir yorum getirilebilecektir (Toğrol, vd. 1994).

Laboratuarda örselenmemiş zemin numuneleri üzerinde yapılan ödometre deneyleri sonucu elde edilen sıkışma eğrisinden toplam oturmalar tahmin edilebilmektedir. Ancak çoğu zaman zemin tabakasının heterojen olması ve drenaj sınır koşullarının tam olarak belirlenememesi durumunda, oturma-zaman eğrisinden bu tahminleri yapmak zorlaşmaktadır. Tecrübelerin gösterdiği bu gibi durumlarda, yatay yer değiştirmelerin ve arazi oturmaların yerinde ölçülmesiyle güvenli sonuçlara ulaşılabilceğini ve arazi gözlem sonuçlarının doğru yorumlanması ile dolgu inşaatının temel zemininde sebep olduğu etkileri tanımlama ve karşılaşılabilecek problemlere doğru çözüm getirebilme olanağı sağladığını göstermektedir. Tahmin edilen oturmaların kabul edilebilir olması için komşu yapılarıdaki farklı sıkışmaların önlenmesi gerekmektedir. Bu koşullar gözönünde tutularak zeminde meydana gelecek ani ve zamana bağlı düşey ve yatay hareketler deformasyon analizleriyle kontrol edilmelidir (Magnan, 1994).

Londra 'da yer alan Thames nehrinde, çok yumuşak alüvyon zemine sahip nehir yatağı üzerine inşa edilen deneme dolgusunun etkisindeki temel zemin davranışı Marsland (1977) tarafından incelenmiştir. Temel zemin yer yer organik kil, silt ve kum merceklerinin bulunduğu, yumuşak alüvyondan oluşmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucu temel zemininde yer alan kum merceklerin varlığının arazi veyn deneyleriyle belirlenen kil zemin mukavemetinin artmasına sebep olduğu anlaşılmıştır. Arazi ölçüm aletleri ile belirlenen yatay yer değiştirmelerin arazideki kritik durumun belirlenmesinde önemli rol oynadığı saptanmıştır.



4.4. Dolgu Altındaki Yumuşak Zeminin Davranışının Kontrolü

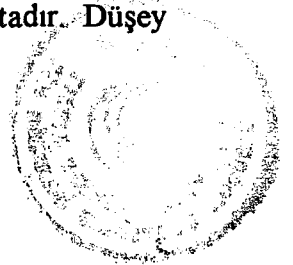
4.4.1. Ön Yükleme İle Zemin Davranışının Kontrolü

Yumuşak kil tabakalarının mukavemetini arttırmak ve inşa olunacak yapı altında meydana gelecek oturmaları azaltmak için en yaygın olarak kullanılan yöntemlerden birini ön yükleme oluşturmaktadır. Bu yöntemde, esas yapının inşaaından önce inşaat sahası geçici olarak bir toprak dolgu ile kaplanmakta ve temel zeminini oluşturan tabakaların, bu dolgu ağırlığı altında konsolide olması sağlanmaktadır. Uygulanan konsolidasyon basıncına bağılı olarak zeminin mukavemeti artmaktadır. Daha sonra bu dolgu kaldırılarak yerine yapı inşaa edilmekte, bu arada zemin önkonsolidasyona uğradığı için yapıdan aktarılan yükler altında meydana gelecek oturmalar da azalmış olmaktadır.

Ön yükleme genellikle yumuşak ve permeabilitesi düşük kil tabakaları üzerinde uygulandığı için, ön yükleme sırasında temel zemininde kayma göçmeleri meydana gelmemesine ve konsolidasyonun tamamlanabilmesi için de uzun bir süre beklenilmesine dikkat etmek gerekmektedir. Ön yükleme sırasında bekleme süresini azaltmak için zemin içine düşey kum drenaj kolonları veya bazı yapay drenaj levhaları yerleştirmek çok yararlı sonuçlar vermektedir. Bu durumda zemin içindeki su yalnız düşey yönde değil, yatay yönde de hareket edebildiği ve bu drenaj kanalları vasıtası ile zeminden dışarı çıkabildiği için tabakanın konsolidasyonu çok daha hızlı gerçekleşmektedir.

4.4.2. Düşey Drenler İle Zemin Davranışının Kontrolü

Yumuşak zeminlerin konsolidasyonunu hızlandırmak amacıyla düşey drenlerin kullanılması günümüz uygulamalarının yaygın yöntemlerinden biridir. Permeabilitesi düşük ve dokusu doğal drenajı kolaylaştıracak süreksizlikleri içermeyen nispeten homojen, kalın kil tabakalarının, önyükleme için bekleme zamanları, pratik sınırların dışında olmaktadır. Bu gibi durumlarda zeminin konsolidasyonunu hızlandırmak ve önyükleme bekleme zamanlarını azaltmak için düşey drenler kullanılmaktadır. Düşey



drenler drenaj yolunu kısaltarak, zemindeki boşluk suyu basınçlarının hızla sönümlenmesini sağlamaktadır.

Çinicioğlu (1993) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada toprak dolgu altındaki yumuşak zeminde düşey drenlerin konsolidasyona etkisi ve dolayısıyla stabiliteye katkısı araştırılmıştır. Sonlu elemanlar yönteminin kullanıldığı çalışmada, birim hücre analiz yöntemiyle düşey drenlerin konsolidasyona etkisi incelenmiştir. Elde edilen konsolidasyona ilişkin sonuçlar arazi gözlemleriyle karşılaştırılmış ve oturma zaman eğrilerinin birbirine benzer olduğu fakat hesaplanan oturmaların ölçülenlere göre daha az olduğu görülmüştür. Aradaki fark birim hücrenin dolgu ve temel zemini geometrisinin sınırlı bir bölümünü gözönüne alması ve bütünsel davranış esnasında oluşabilecek yatay deformasyonların oturmalarla katkısının gözardı edilmesi şeklinde açıklanmıştır.

Ayrıca, düşey band drenlerle iyileştirilmiş yumuşak kohezyonlu zemin üzerine inşaa edilen dolgunun stabilite analizi Indraratna, et al (1994) tarafından yapılmıştır. Sonlu eleman yönteminin kullanıldığı analiz sonucunda düşey band drenlerin kullanılmasının yararlı olduğu görülmüş ve drenlerin konsolidasyonu hızlandırması yanında zemindeki yatay deformasyonları engelleyip, göçme riskini azalttığı, dolayısıyla yüksek dolgu inşaatının kolaylaştırdığı saptanmıştır.

4.4.3. Kademeli Dolgu İnşaatı İle Zemin Davranışının Kontrolü

Yumuşak ve doymuş zeminler üzerinde dolgu inşaatı sırasında karşılaşılan stabilite sorunlarının esas nedeni inşaat esnasında oluşan ilave boşluk suyu basınçlarıdır. Yüksek değerlere ulaşabilen ilave boşluk suyu basınçları, efektif gerilmeleri ve dolayısıyla mukavemeti azaltarak temel zemini içinde bölgesel kaymalara ve daha sonra göçmeye sebebiyet verebilmektedir. Bu durumun kontrol edilebilmesi için uygulanan kademeli yükleme yöntemi ile konsolidasyon devrelerinde ilave boşluk suyu basıncının sönümlenmesiyle ulaşılan zemin yoğunluğundaki ve dolayısıyla mukavemetindeki artıştan



yararlanarak tek aşamada ulaşılabilecek olandan çok daha yüksek dolgular inşaa edilebilmektedir (Çinicioğlu, 1993).

Güler, vd. (1993) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, dolgu barajların inşaaı kademeler halinde yapılarak, kontrollü yük uygulaması ile kohezyonlu yumuşak zeminin her yükleme aşamasında konsolidasyona bırakılarak zeminin mukavemetinin artması incelenmiştir. Sonlu elemanlar yönteminin kullanıldığı çalışmada, yumuşak kohezyonlu zemin üzerinde inşaa edilecek dolgu baraj imalatının kademeler halinde yapılmasının yükleme ve su basıncı altındaki zeminin taşıma gücünü ve mukavemetini arttırdığı gözlenmiştir.

Yumuşak zeminler üzerindeki dolgu barajların inşaa aşamalarında oluşacak deformasyon ve çökmelere karşı stabilite analizi sonlu elemanlar metodu ile hazırlanan sayısal modelle, deformasyonlar, gerilmeler ve çökmeler yönünden incelenebilmektedir. Dolgu barajların tasarım ve inşaaında güvenli sonuçlar elde edilmesi gerekmektedir. Dolgu barajların içinde ve altındaki gerilmelerin hesaplanmasında en sağlıklı yöntem sonlu elemanlar yöntemidir. Bu yöntemle, dolgu barajın kendi ağırlığından dolayı zemine gelecek yükler kademeli olarak aktarılabilmekte ve bu yüklemeler neticesinde zeminde ortaya çıkan bölgesel plastikleşme gözönüne alınabilmektedir. Bununla birlikte sonlu eleman metodu, dolgu baraj altındaki boşluk suyu basıncı değişimlerini, düşey ve yatay yerdeğiştirmeleri ve inşaatın her aşamasındaki oturmaları verebilmektedir.

4.5. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Gerilme ve Deformasyon Analizi

Sonlu elemanlar yöntemi, sayısal yaklaşımların genel özelliklerinin çoğunu gözönüne almakla birlikte bilgisayar yazılımları için en uygun formülasyona sahiptir. Bunun nedeni, karmaşık sınır koşulları ve non-lineer malzeme davranışı homojen olmayan malzemeler gibi zor ve karmaşık problemlerin çözümünde sistematik bir programlamaya uygun olmasıdır.



Sonlu elemanlar yöntemi, sürekli bir sistemi problemin karakterine uygun sonlu elemanlara ayırarak elde edilen elemanlar üzerinde iç ve dış kuvvetlerin enerjisinin minimum olması ve sonra bu elemanların birleştirilmesi tarzında bir uygulama getirmektedir. Bunun sonucu olarak mesnet şartları, sisteme ait özellikler, dış yüklerin sürekli ya da ani değişimleri kolayca gözönüne alınmaktadır. Dolayısıyla sonlu elemanlar yöntemi analitik metodlarla çözülemeyen karışık problemlere uygulanabilmektedir. Ayrıca yüzeysel sistemin tipik bölgelerinde eleman boyutları küçültülerek o bölgenin daha ayrıntılı incelenmesi mümkün olmaktadır. Diğer bir avantaj da sınır şartlarının problemin çözüm sırasına göre en son adımda hesaplara dahil edilmesidir. Böylelikle çeşitli sınır şartlarını probleme uygularken baştaki yoğun hesaplara girilmez.

Yumuşak kohezyonlu zeminlerin, dolgu yükleri altındaki davranışının incelenmesi Geoteknik Mühendisliği 'nde önemli bir yer tutmaktadır. Yumuşak ve suya doygun bir kohezyonlu zemin tabakası üzerine toprak dolgu yerleştirildiğinde, göçmeye karşı güvenliğin tahkik edilmesi, zeminde meydana gelecek ani ve zamana bağlı düşey ve yatay yer değiştirmelerin hesaplanabilmesi, temel zemininde oluşacak gerilmelerin belirlenmesi için çoğunlukla sonlu eleman tekniğinden yararlanılmaktadır. Bugüne kadar birçok araştırmacı, yumuşak kohezyonlu zemin üzerine inşaa edilen toprak dolgu ve barajların gerilme analizi ve dolgu altındaki zeminde meydana gelen yatay ve düşey deformasyonların hesabı için sonlu eleman yöntemini kullanmıştır. Bu çalışmalardan bazıları ve elde edilen sonuçlar şöyledir.

Hoeg (1972) tarafından yumuşak kohezyonlu zemin üzerine inşaa edilen bir deneme dolgusunun iki boyutlu drenajsız analizi yapılmıştır. Von Mises ve Tresca akma kriterlerini kullanarak gerçekleştirilen elasto-plastik analiz sonucunda bulunan değerler arazi ölçüm değerlerinden daha az çıkmıştır.

Thamm (1979) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, Zienkiewicz (1977) 'nin önerdiği elasto-visko-plastik bünye denklemleri kullanılmıştır. Yumuşak kil üzerindeki dolgu için



gerçekleştirilen iki boyutlu, konsolidasyon analizi sonuçlarının arazi ölçüm sonuçlarıyla uyum içinde olduğu görülmüştür.

Bir başka çalışmada ise turba ve yumuşak kil üzerinde yer alan Makiezaats barajının iki boyutlu drenajsız analizi gerçekleştirilmiştir (Termaat et al., 1985). Elasto-plastik bünye denklemlerinin kullanıldığı bu çalışmada sonlu eleman sonuçlarıyla arazi gözlemlerinin uyumlu olduğu görülmüştür.

Yumuşak kil üzerindeki beş adet dolgunun iki boyutlu konsolidasyon analizinin gerçekleştirildiği bir çalışmada hesaplanan oturma değerleriyle ölçümlerin uyumlu olduğu, ancak dolgu altındaki zemin için hesaplanan yatay deformasyonlarla, ölçülen deformasyonların uyumlu olmadığı gözlenmiştir (Ohta, 1991).

Yumuşak suya doymuş kohezyonlu zemin üzerindeki dar vadilere oturan dolguların incelendiği bir başka çalışmada ise iki boyutlu konsolidasyon analizi yapılmıştır (Kobayashi, 1991). Hesaplanan oturma değerlerinin, arazi ölçümleriyle uyumlu olduğu görülmüştür. Diğer yandan dolgu altındaki yumuşak zeminde kullanılan kum drenlerin konsolidasyonu hızlandığı belirlenmiştir.

Indraratna, et al. (1994) tarafından yapılan bir çalışmada Malezya 'daki düşey bant drenlerle iyileştirilmiş yumuşak kohezyonlu zemin üzerine inşaa edilen bir dolgunun gerilme ve deformasyon analizi yapılmıştır. Boşluk suyu basınçları, yatay ve düşey deplasmanların hesaplanabilmesi için konsolidasyon analizinin uygulandığı çalışmada düşey band drenlerin kullanılmasının yararlı olduğu görülmüş ve drenlerin konsolidasyonu hızlandırması yanında zemindeki yatay deformasyonları engelleyip, göçme riskini azalttığı anlaşılmıştır. Ayrıca düşey band drenlerin varlığının yüksek dolgu inşaatını kolaylaştırdığı saptanmıştır.

Bu araştırmada toprak dolgu baraj (Alibey Barajı) altındaki yumuşak kohezyonlu zemin davranışını incelemek için ANSYS 5.0A adında bir sonlu eleman programı kullanılmıştır.



Statik ve dinamik yükler altında elastik ve elasto-plastik analizler yapılmasına imkan tanıyan bu program kendi içinde üç ana programa dayanarak çalışmaktadır.

Birincisi grafik bilgi girişine olanak tanıyan ön-işlem programıdır. Bu kısımda model geometrisi, eleman tipi ve boyutları, malzeme özellikleri belirlenerek, model sonlu sayıda elemanlara bölünmektedir.

İkincisi çözüm programıdır. Burada analiz tipi, yükler, yükleme adımları, sınır koşulları tanımlanılarak çözüm yaptırılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan analiz tipi statik analizdir. Statik analiz, atalet etkilerinin ihmal edildiği bir yapıda, dış yük etkisi altında meydana gelen gerilme, deformasyon ve şekil değiştirmeleri belirlemektedir. Ayrıca statik analiz değişik sınır koşullarına ve malzeme özelliklerine sahip kademeli yükleme adımlarının kullanılmasına olanak vermektedir.

Çözüm yaptırdıktan sonra sonuçların gözden geçirilmesi amacıyla son-işlem programına başvurulmaktadır. Son-işlem programı da kendi içinde iki ana gruba ayrılmaktadır:

- Genel son-işlem programı
- Zamana bağlı son-işlem programı

Genel son-işlem programı, belli bir zamanda veya yükleme adımındaki analiz sonuçlarını bütün model için sergileyebilmektedir. Örneğin incelenen model için gerilme ve yerdeğiştirme vektörleri, deformasyona uğramış model şekilleri bu program kullanılarak elde edilmektedir.

Zamana bağlı son-işlem programı, seçilen belli bir eleman veya düğüm noktasındaki sonuçları tüm yükleme adımları için gösterebilmektedir. Ayrıca adı geçen her iki son-işlem programı da sonuçların grafik olarak gösterilmesine olanak vermektedir.

ANSYS programı gerilme-deformasyon analizi yapmak için geliştirilmiş olup, zeminin konsolidasyon davranışını modellemek için uygun değildir. Bu çalışmada, Alibey Barajı temel zeminin kademeli yükleme altında konsolidasyonu klasik analiz yöntemleri



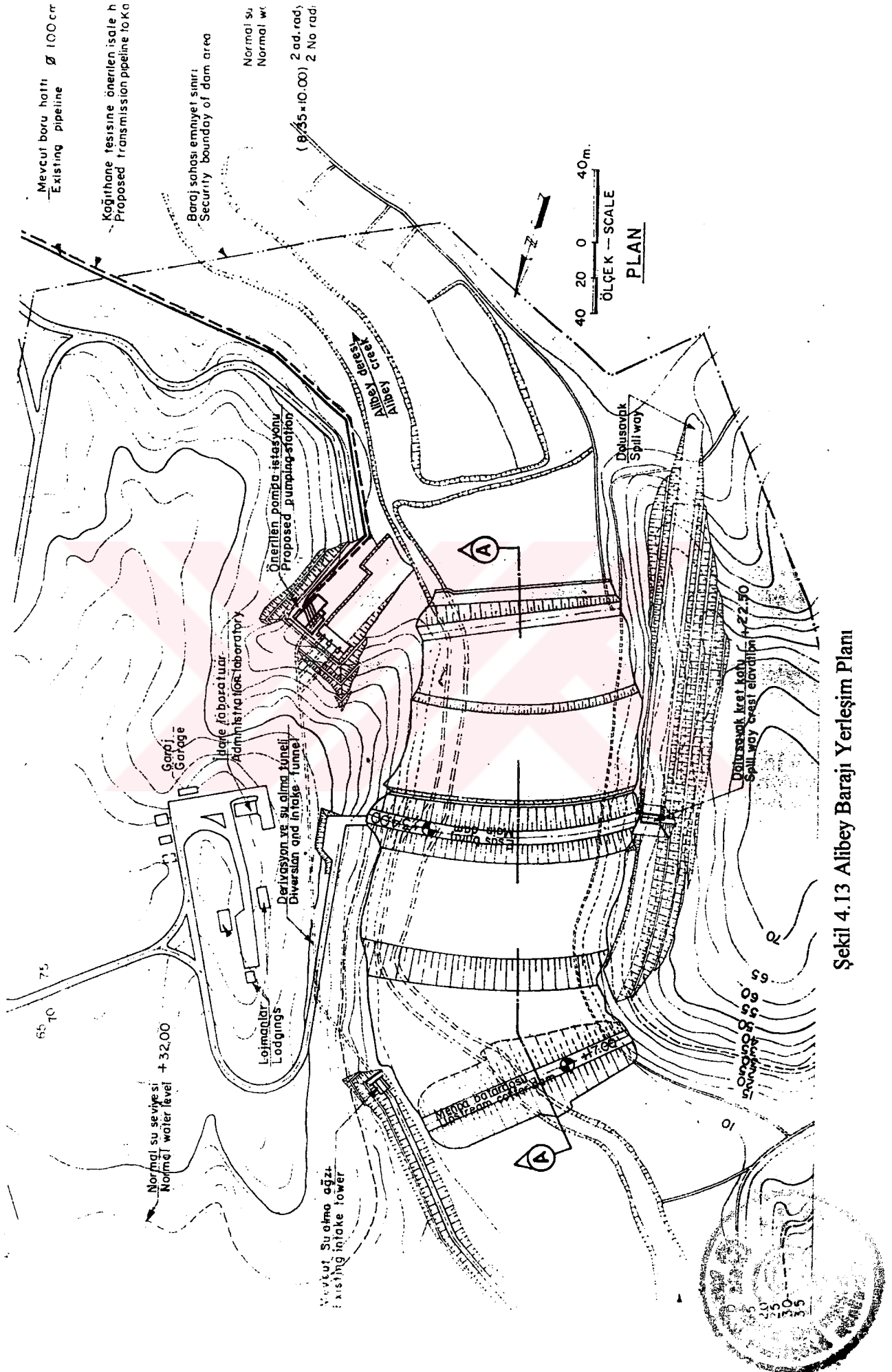
kullanılarak incelenmiş ve her yükleme kademesi sonunda konsolidasyon sonucu meydana gelen malzeme özelliklerindeki iyileşme dikkate alınmıştır.

4.5.1. Alibey Barajı Bünyesinde Yapılan Çalışmalar

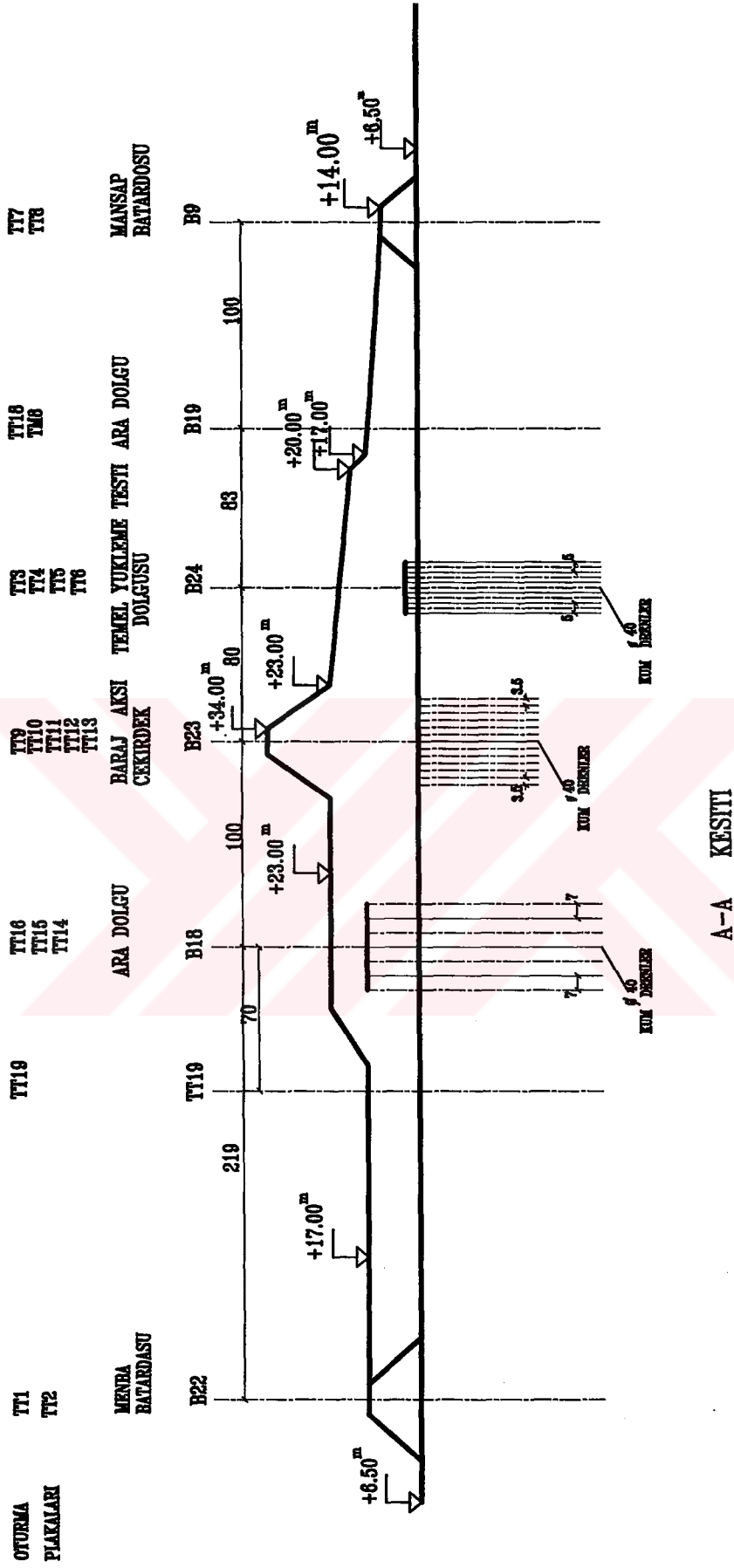
Şekil 4.13 ve Şekil 4.14 'te Yerleşim planı ve A-A kesiti görülen, Alibey Barajı 'nın inşasına başlanması için yapılan araştırmalar sonucu düşünülen baraj yeri temelinin yumuşak kil zemin olması zorunlu stabilite problemleri yaratmış, inşası sırasında ve sonrasında yapılan çalışmalarla temel zemininde meydana gelen deformasyonlar incelenmiştir.

Alibey Barajı menba batardosu toprak dolgusu altındaki yumuşak kohezyonlu zeminin gerilme analizi Soydemir (1970) tarafından gerçekleştirilmiştir. Dolgu yapılması sırasında oluşan yüklemekten dolayı tek boyutlu ve drenajsız yükleme oturmalarının hesabında sonlu elemanlar tekniğini kullanan bir bilgisayar programı kullanmıştır. Bu analizde üç metrelik dolgu yüksekliği altındaki zeminin içsel bir bölgesinin drenajsız kayma mukavemetini aştığı ve bir anlamda zemininde elastik bir çevreye sahip lokal bir plastikleşme meydana geldiği gözlenmiştir. Lokal plastik bölgelerin çok büyüdüğü yükleme kademelerinde, boşluk suyu basınçlarının belirlenmesinde kullanılan teorik-amprik yöntemlerin uygulanabilmesi için gerekli gerilme artış değerleri, hesaplanırken elasto-plastik analiz çözümünün klasik elastik çözümden daha gerçeğe yakın sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Bir yüklemekten dolayı, zeminde drenajsız kayma mukavemetini (elastik akma sınırı paralelinde) aşp, içsel "lokal plastikleşme" durumu gösteren bölgelerin bir oturma veya stabilite analizinde bilinmesi gereken yatay gerilme artışlarına büyük etki ettiği açıklanmaktadır (Soydemir, 1970).





Şekil 4.13 Alibey Barajı Yerleşim Planı



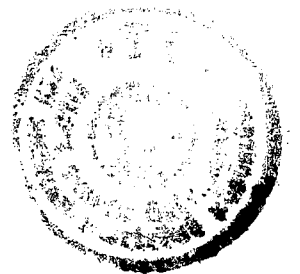
Şekil 4.14 Alibey Barajı Kesiti



Bir diğerk çalışma Öntuna (1976) tarafından Alibey Barajı inşaaası sırasında temel zemininde kum dren kullanılan ve kullanılmayan iki ayrı deneme dolgusu üzerinde gerçekleştirilen konsolidasyon analizleri sonucu kum dren kullanılan kesimlerde yumuşak kilde oluşan temel zeminin konsolidasyonun dren kullanılmayan kesimlere oranla daha hızlı geliştiğı gösterilmiştir.

Alibey Barajı Menba Batardosu altındaki yumuşak kohezyonlu zemin için Soydemir (1970) 'in gerçekleştirdiğı elasto-plastik analizde kullandığı zemin özellikleri ve kabulleri baz alarak Mercangöz (1996) 'ün yaptığı çalışma aynı parametreleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada öncelikle menba batardosu altında oluşan gerilme ve şekil değıştirme dağılımları için elastik ve elasto-plastik analiz sonuçları karşılaştırılmış arazi davranışları ile uyumu sağlanmıştır. İki boyutlu, drenajsız olarak gerçekleştirilen analizlerle doğrulanan zemin özellikleri kullanılarak inşaat programına uygun olarak bütün baraj kesiti için temel zemininde oluşan gerilme ve şekil değıştirmeler hesaplanmıştır. Gerçekleştirilen bütün analizlerde temel zeminin kademeli yükleme altında konsolidasyonu sonucu zemin özelliklerinde meydana gelen iyileşme dikkate alınmıştır. Ayrıca baraj altında bulunan yumuşak zeminin iyileştirilmesi için kullanılan düşey kum drenler, sonlu eleman hesabında zemin özelliklerinin iyileştirilmesi sırasında gözönüne alınmıştır.

Alibey Barajı Menba Batardosu analizleri için iki boyutlu sonlu eleman modeli geliştirilmiş ve analizler düzlem şekil değıştirme kabulüne dayandırılmıştır. Menba batardosu temel zemini önce simetrik yükleme altında incelenmiş olup, daha sonra inşaat programına uygun olarak yüklenmiş ve analiz uygulanmıştır. Temel zemini ilk olarak lineer elastik kabul edilmiş ve elde olunan gerilme sonuçlarına göre sonlu eleman modelin bazı düğüm noktalarında malzeme mukavemet değerklerinin aşıldığı gözlenmiştir. Bu sebepten dolayı hesaplar non-lineer elasto-plastik malzeme kabulüne göre yeniden analiz edilmiştir.



Non-lineer elasto-plastik hesaplarda Von-Mises akma kriteri esas alınmış ve malzemenin kinematik pekleşme gösterdiği kabul edilmiştir (Naylor et. al, 1981). Malzemenin akma değerine eriştikten sonraki deformasyon modülünün, başlangıç deformasyon modülü değerinin 1/100 'ü kadar olduğu kabul edilmiştir (Soydemir, 1970). Analizlerde kademeli yükleme sonucu kil tabakalarının konsolidasyonundan kaynaklanan iyileşme malzeme parametrelerine yansıtılmıştır.

İlk kademe yükleme, başlangıç değerlerine göre analiz edilmiştir. Her yükleme sonunda malzeme parametrelerinin (s_u , E_u) güncelleştirilmesinde Terzaghi tek boyutlu konsolidasyon teorisi kullanılıp arazi yükleme programı ile bekleme süreleri gözönüne alınmıştır.

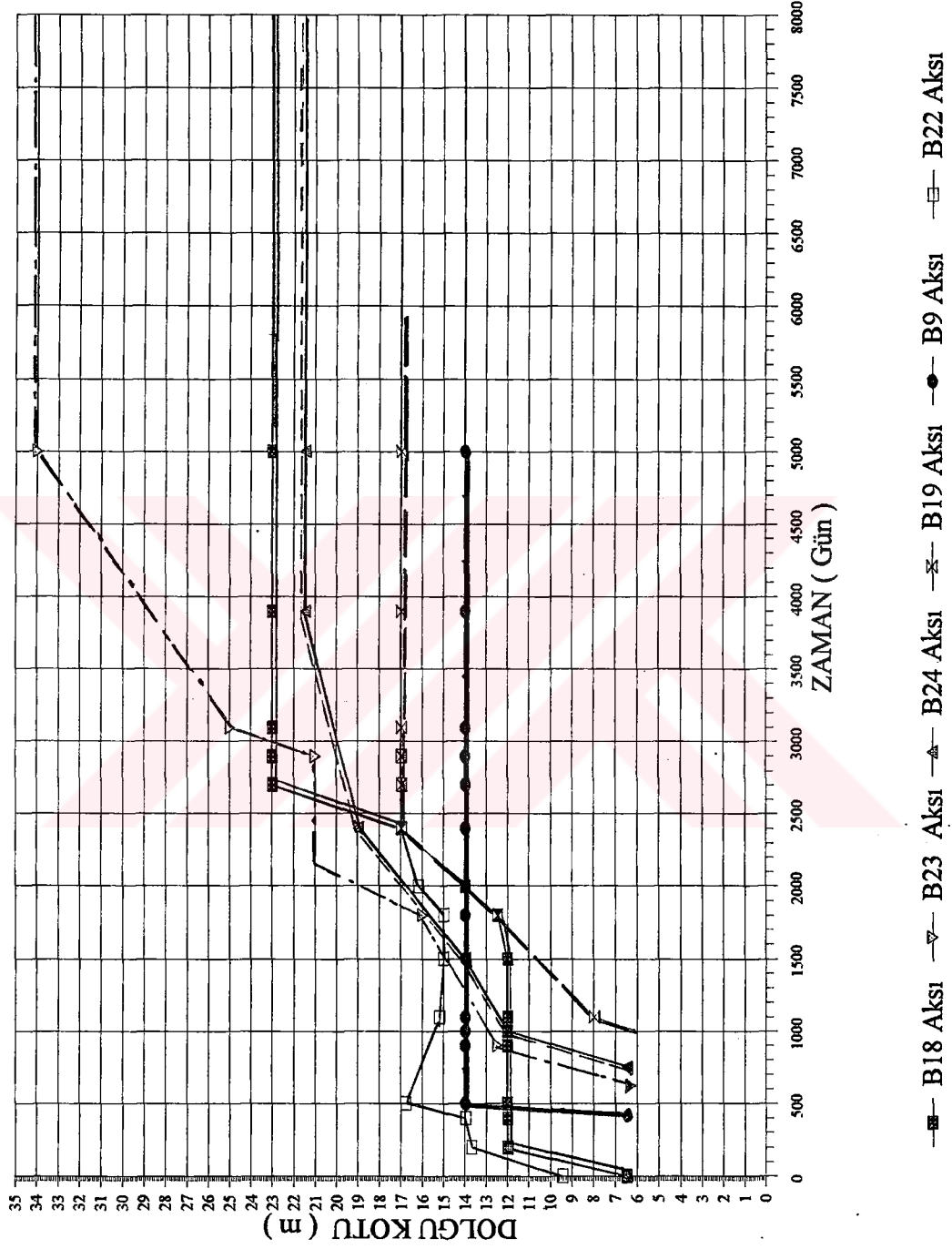
4.6. Alibey Barajının Oturma Hesapları

Alibey Barajı'nın değişik kesitleri altında, kademeli yükleme altında meydana gelecek oturmalar kademeli dolgu yükü altında meydana gelen gerilme artışları ile her yük kademesi altında bekleme süresi ve boşluk suyu basıncı sönümlenmesi dikkate alınarak hesaplanmıştır. Analizlerde dikkate alınan ve baraj dolgu yüksekliği ile temel zemini drenaj koşulları açısından farklılıklar gösteren beş tipik kesit ile ilgili özellikler aşağıda özetlenmiştir. Bütün kesitlerde düşey yönde çift taraflı drenaj kabul edilmiştir.

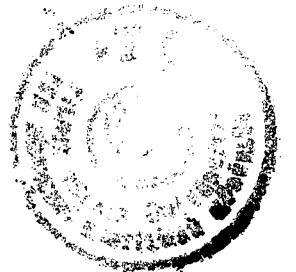
Bu kesitlerde, dolgu yüksekliğinin zamana bağlı değişimi (yükleme programı) Şekil 4.15a-j 'de gösterilmiştir.

Kademeli yükleme ve konsolidasyon sonucu temel zemininde drenajsız göçmeye karşı güvenlik katsayısı 1.40 ve daha büyük değerlere ulaştığı için, zeminin yanal akmasının oturmalara katkısının ihmal edilebileceği sonucuna varılmıştır (Mesri, vd., 1994).



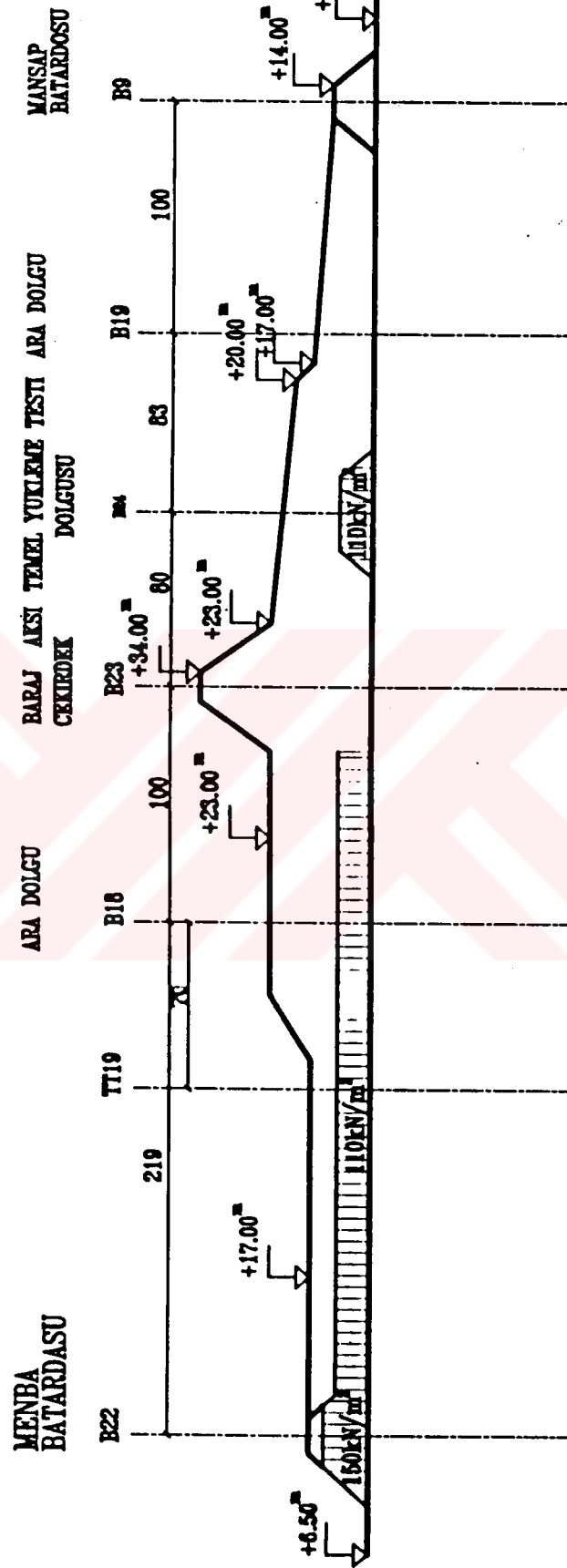


Şekil 4.15a. Alibey Barajı Dolgu İnşaa Programı



YUKLEME NO:1

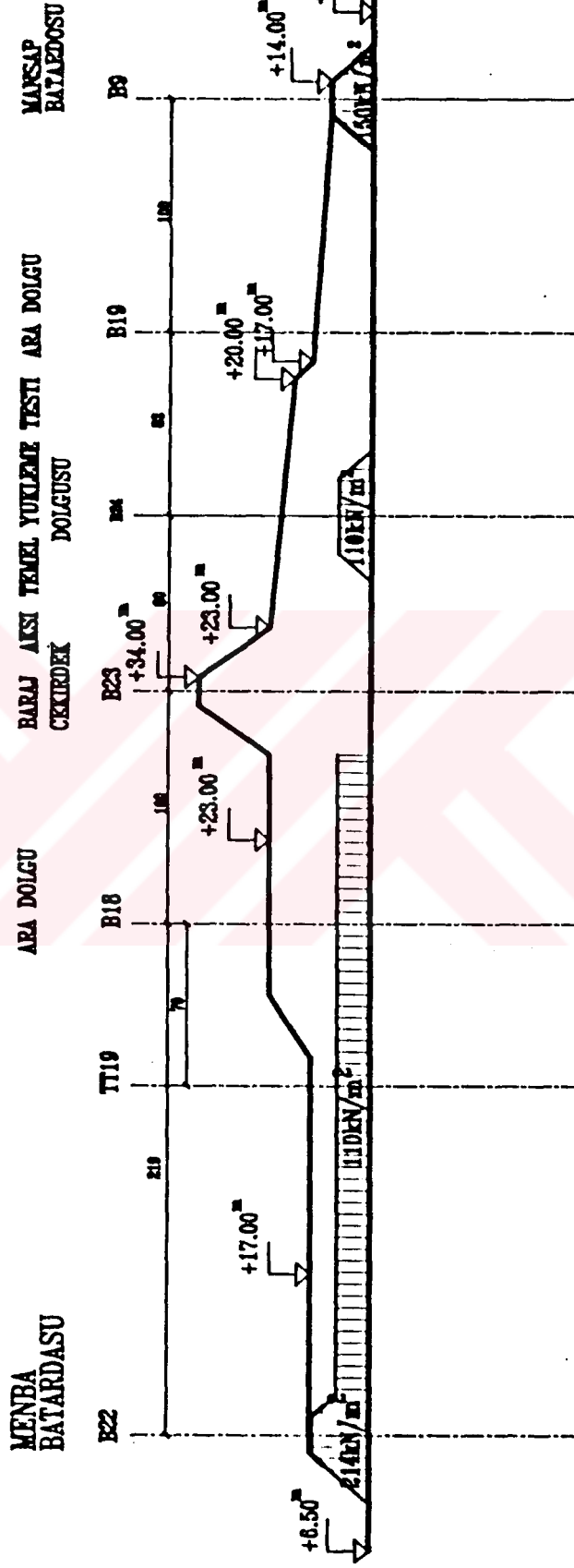
t=0-200 gun



Şekil 4;15b. Alibey Barajı Dolgu İnşaa Programı



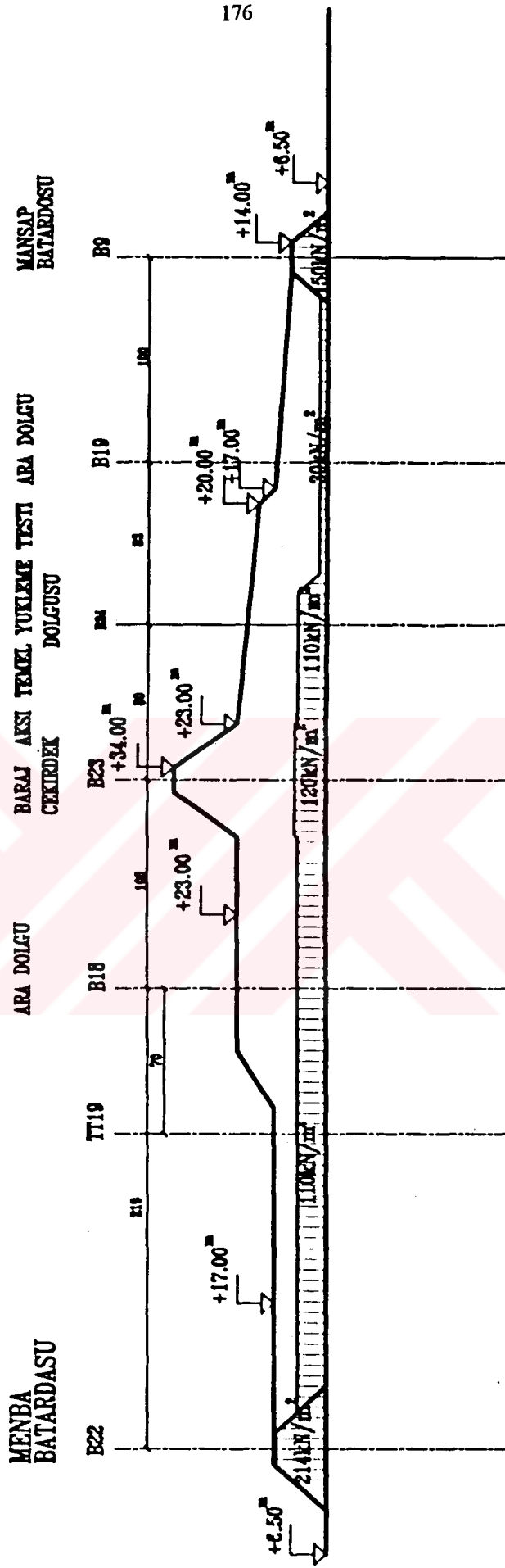
YUKLEME NO:2
t=200-400 gun



Şekil 4.15c. Alibey Barajı Dolgu İnşaa Programı



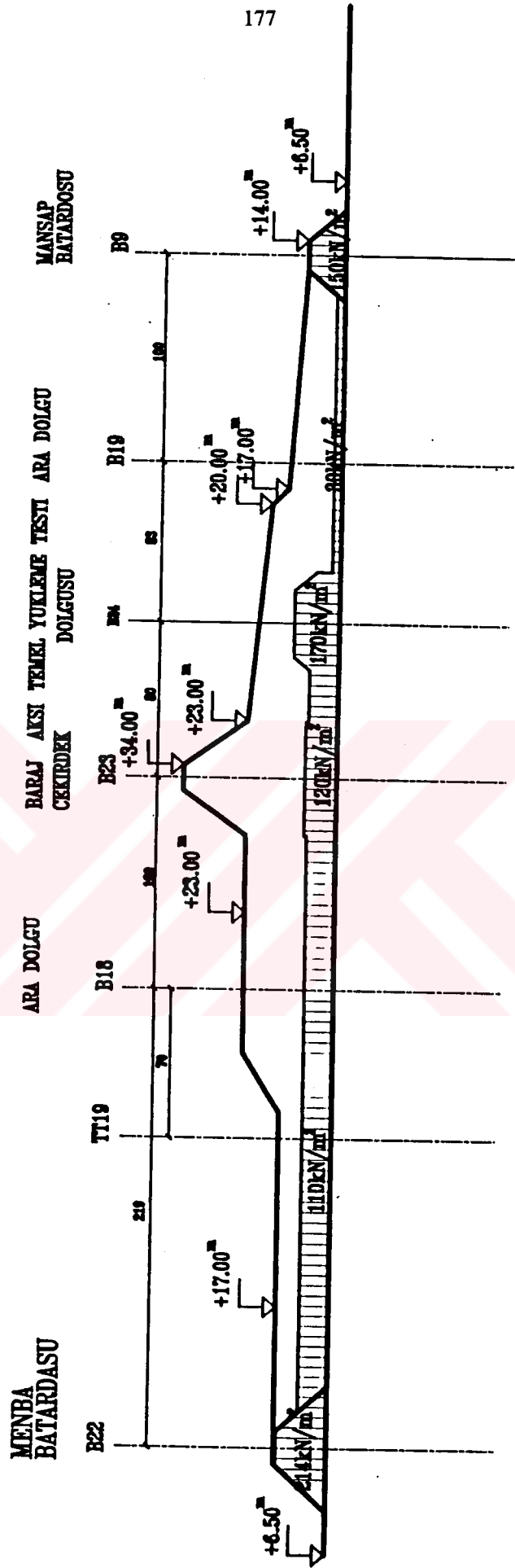
YUKLEME NO:3
t=400-1000 gun



Şekil 4.15d. Alibey Barajı Dolgu İnşaa Programı



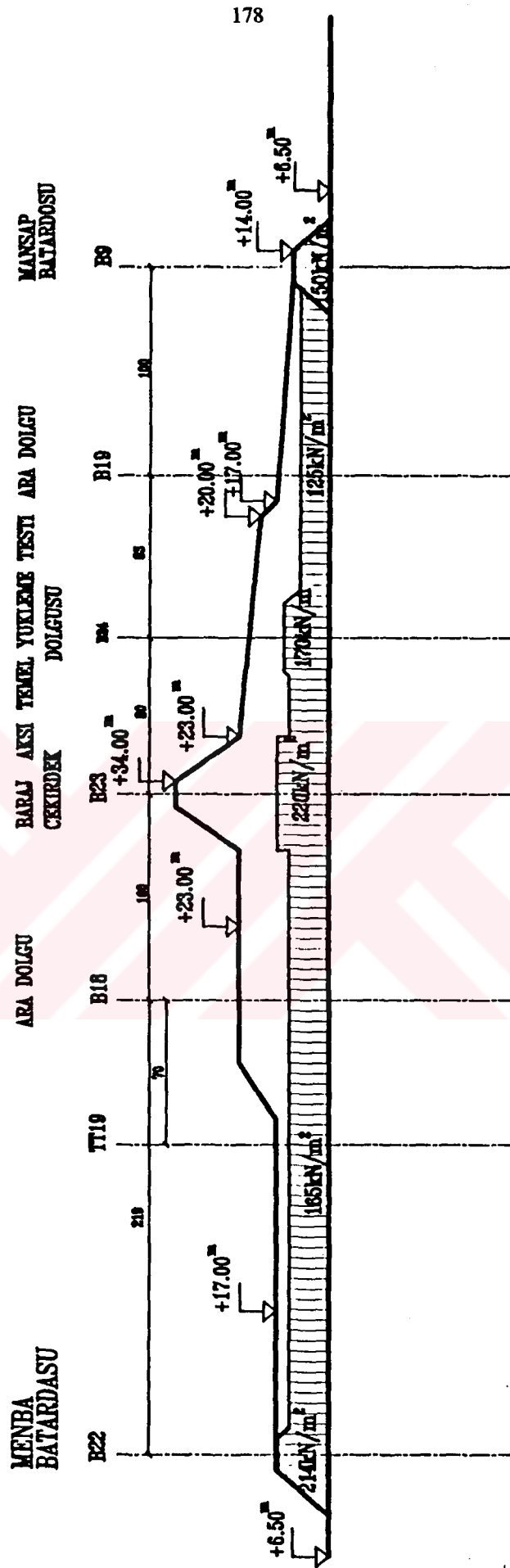
YUKLEME NO:4
t=1000-1500 gun



Şekil 4.15e. Alibey Barajı Dolgu İnşaa Programı



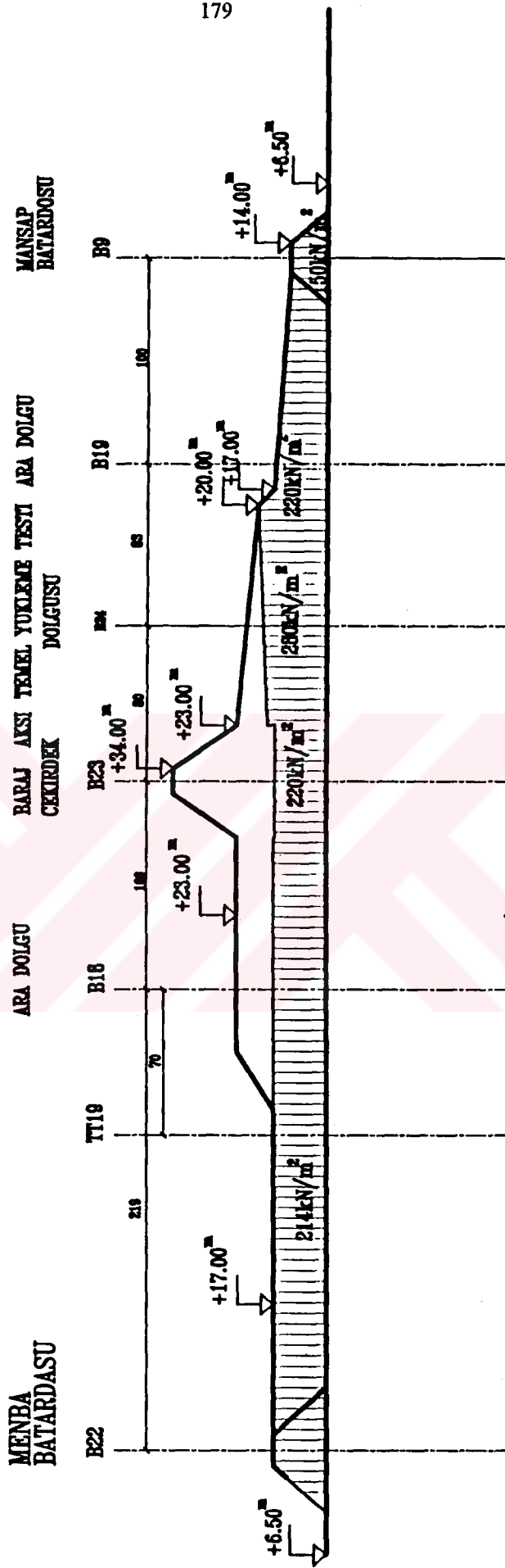
YUKLEME NO:5
t=1500-2000 gun



Şekil 4.15f. Alibey Barajı Dolgu İnşaa Programı



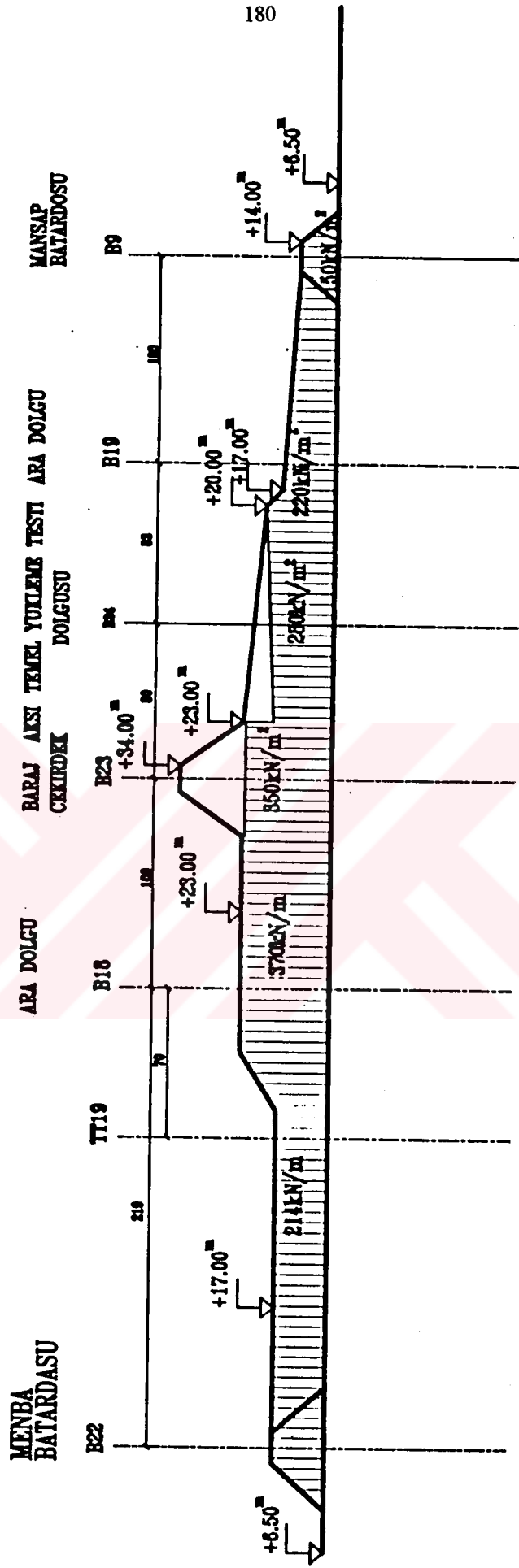
YUKLEME NO:6
t=2000-2400 gun



Şekil 4.15g. Alibey Barajı Dolgu İnşaa Programı



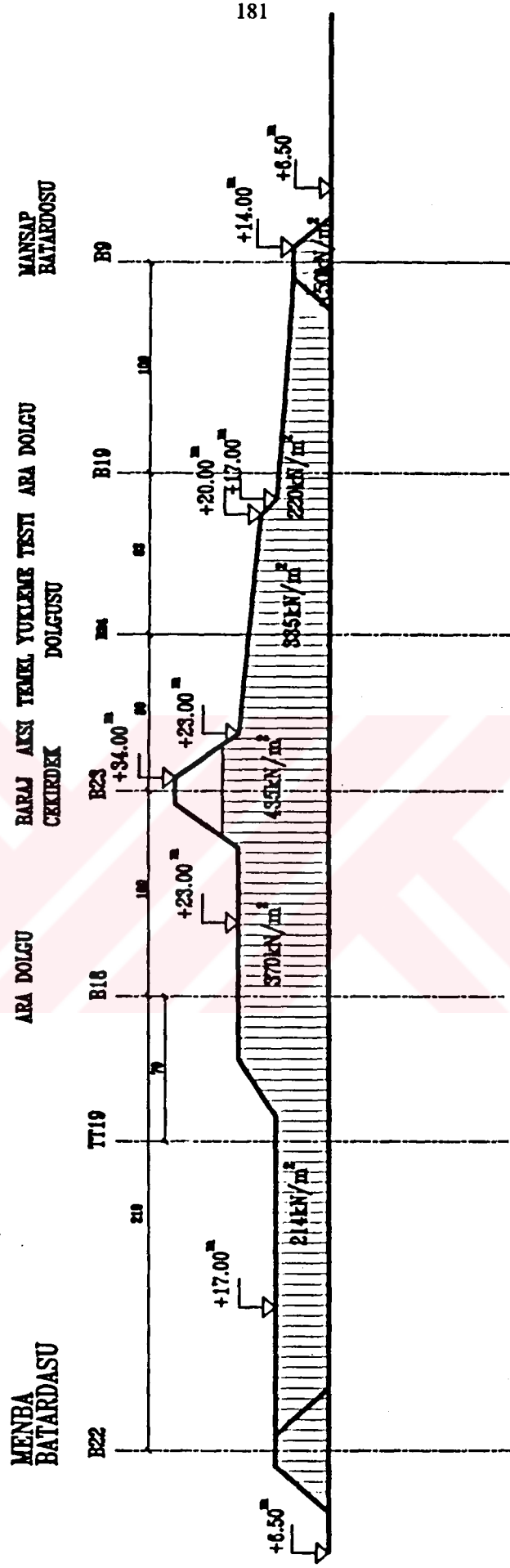
YUKLEME NO:7
t=2400-2900 gun



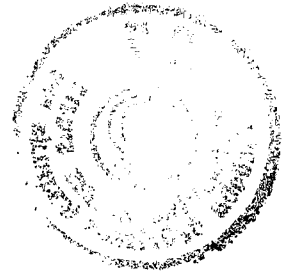
Şekil 4.15h. Alibey Barajı Dolgu İnşaa Programı



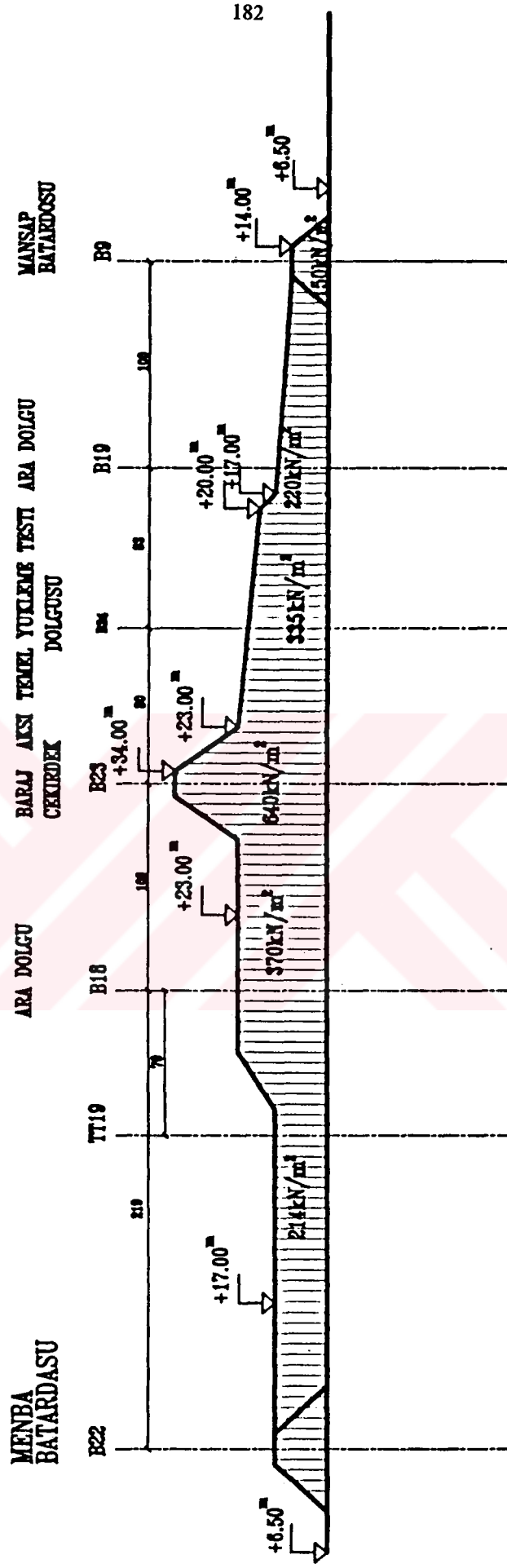
YUKLEME NO:8
t=2900-3100 gun



Şekil 4.15i. Alibey Barajı Dolgu İnşaa Programı



YUKLEME NO:9
t=3100-5000 gun



Şekil 4.15j. Alibey Barajı Dolgu İnşaa Programı



Tablo 4.1. Alibey Barajı altındaki kum drenlerin yeri ve özellikleri

Kesit No	Konumu	Dolgu Üst Kotu	Temel Zemini Drenaj Koşulları
B-23	Kret	+34.0	$\phi=40$ cm kum drenler, temel zemini 2/3 derinliğine kadar, merkezden merkeze 3.5 m aralıklı
B-18	Menba Dolgusu	+23.0	$\phi=40$ cm kum drenler, tüm temel zemini derinliği boyunca, merkezden merkeze 7.0 m aralıklı
B-24	Mansap Dolgusu	+23.0	$\phi=40$ cm kum drenler, tüm temel zemini derinliği boyunca, merkezden merkeze 5.0 m aralıklı
B-22	Menba Batardosu	+17.0	Kum dren yok
B- 9	Mansap Dolgusu	+14.0	Kum dren yok

Toplam oturmalar (ρ), ani oturma (ρ_i), ve konsolidasyon oturmasının (ρ_c) toplamı olarak

$$\rho = \rho_i + \rho_c \quad (4.47)$$

şeklinde hesaplanmıştır. Ani oturmalar elasto-plastik sonlu elemanlar analizi sonuçlarından elde olunmuş, konsolidasyon oturmaları ise Terzaghi konsolidasyon teorisinden

$$\rho_c = H \left(\frac{C_s}{1+e} \right) \log \left(\frac{\sigma'_p}{\sigma'_{vo}} \right) + H \left(\frac{C_c}{1+e} \right) \log \left(\frac{\sigma'_{vo} + \Delta\sigma'_v}{\sigma'_p} \right) \quad (4.48)$$



bağıntısından yararlanılarak hesaplanmıştır. Yüklemeden kaynaklanan efektif gerilme artışlarının hesaplanmasında, boşluk suyu basıncı artışları

$$\Delta u = \Delta \sigma_3 + A(\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3) \quad (4.49)$$

bağıntısı kullanılarak ve asal gerilme artışları sonlu elemanlar gerilme analizinden, A-parametresinin değeri ise gerilme analizleri sonuçları ve Şekil 4.16 'da (A ile AKO grafiği) gösterilen eğriler kullanılarak seçilmiştir.

Kademeli yükleme altında oturma hesapları yapılırken, bir önceki yük kademesi altında meydana gelen boşluk suyu basıncı artışlarının derinlik boyunca sönümlenmesi dikkate alınmış ve her noktadaki sönümlenmemiş (kalan) boşluk suyu basıncının bir sonraki kademedeki sönümlenmeye devam edeceği dikkate alınmıştır. Böylece, herhangi bir (i) yük kademesindeki nihai konsolidasyon oturması

$$\rho_{ci} = H \left(\frac{C_c}{1+e} \right) \log \left(\frac{\sigma'_{vo} + \Delta \sigma_{vi}}{\sigma'_{vo} + (\Delta \sigma_{vi-1} - u_{i-1})} \right) \quad (4.50)$$

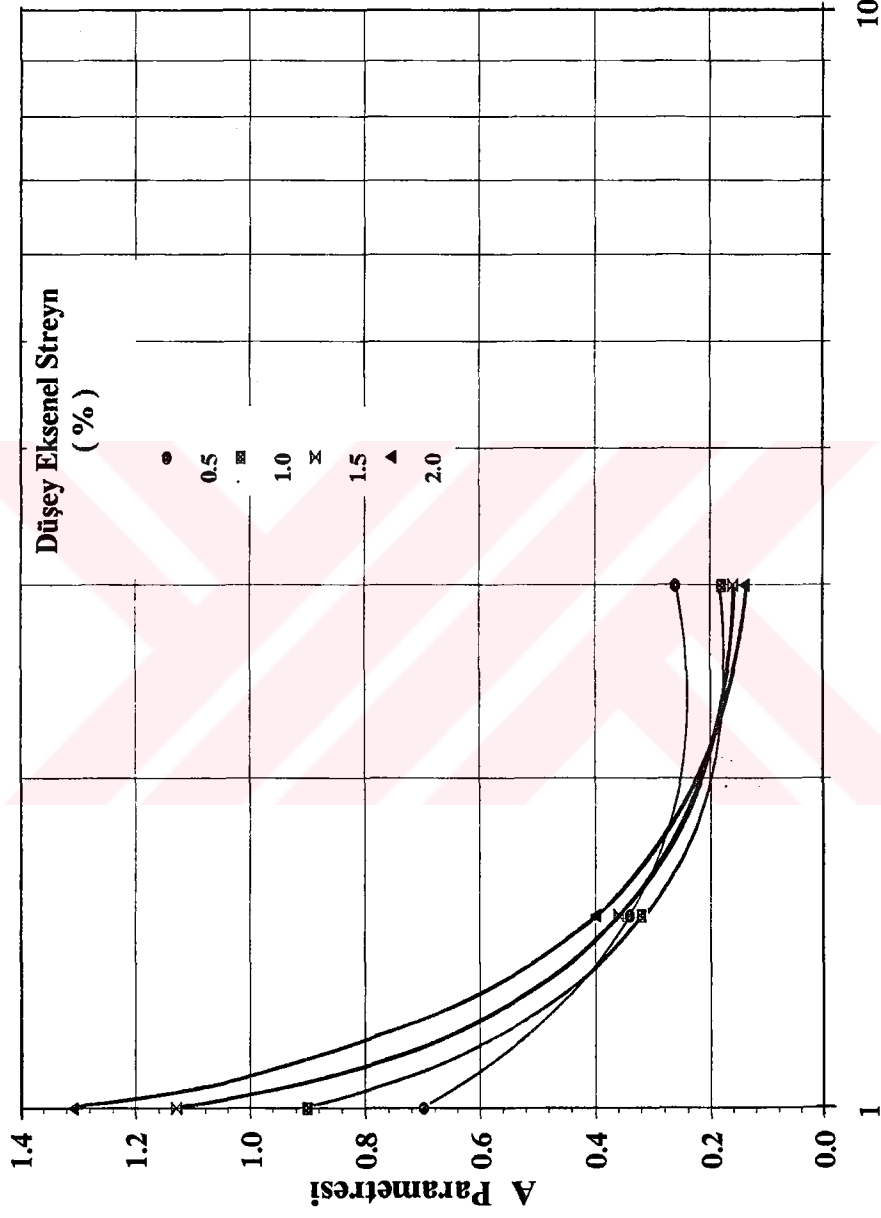
ifadeleri kullanılarak hesaplanmıştır. Herhangi bir yük kademesindeki oturma-zaman davranışı ise

$$\rho = \rho_c * U_{(t)} \quad U(t) = t\text{- zamanında ortalama konsolidasyon yüzdesi} \quad (4.51)$$

bağıntısı kullanılarak hesaplanmıştır (Şekil 4.17).

Kum drenlerin yer aldığı kesitlerde, düşey ve radyal konsolidasyonun birlikte gerçekleştiği dikkate alınarak ortalama konsolidasyon yüzdesinin hesaplanmasında (Carrillo,1942)

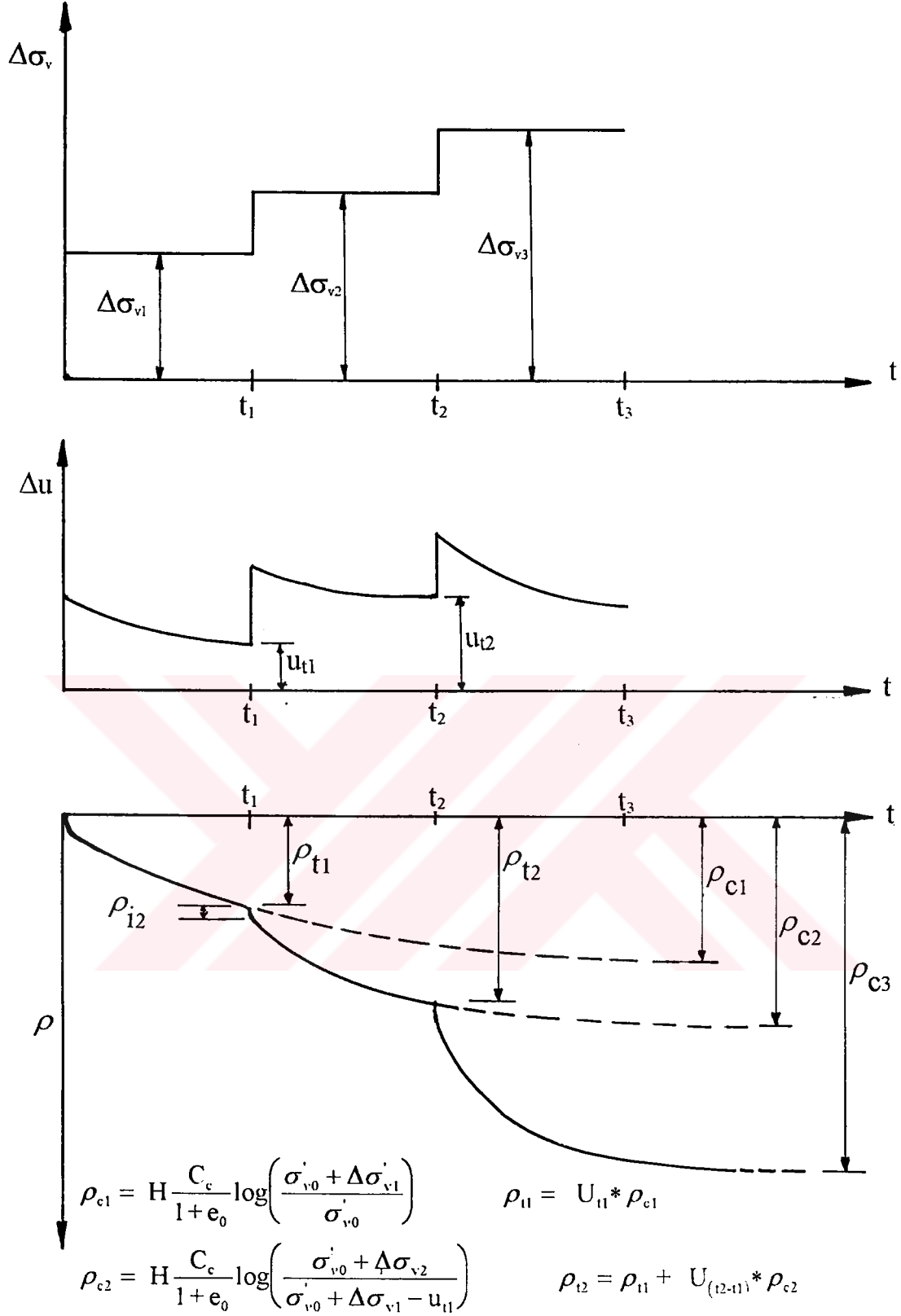




A.K.O.

Şekil 4.16 Boşluk Suyu Basıncı Katsayısı A'nın Değişimi





Şekil 4.17 Kademeli Yükleme Altında Konsolidasyon Oturmalarının Hesaplanması



$$U_{v,r} = 1 - (1 - U_r)(1 - U_v) \quad (4.52)$$

ifadesi kullanılmıştır. Burada U_v düşey konsolidasyon için ortalama konsolidasyon yüzdesini, U_r ise radyal konsolidasyon için ortalama konsolidasyon yüzdesini

$$U_r = 1 - \exp\left(-\frac{8T_r}{m}\right) \quad (4.53)$$

ifade etmekte olup, T_r radyal konsolidasyon zaman faktörünü (Baron, 1948), boyutsuz m katsayısı ise kum drenlerin geometrik yerleşimini göstermektedir.

$$m = \left(\frac{n^2}{n^2 - 1}\right) \ln(n) - \frac{3n^2 - 1}{4n^2}, \quad n = \frac{r_e}{z r_w}, \quad T_r = \frac{c_{vr} t}{r_e^2} \quad (4.54)$$

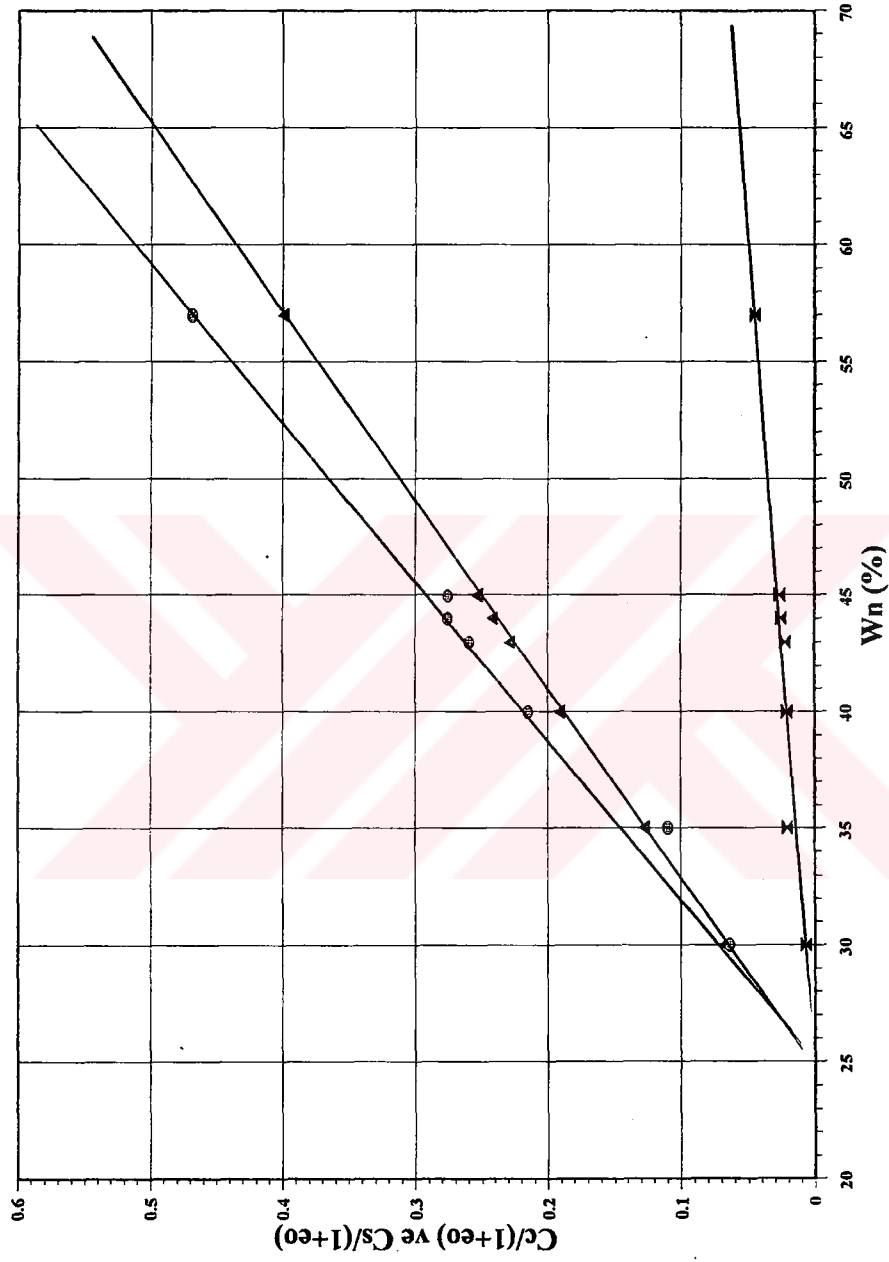
r_e = Kum dren efektif tesir çapı, r_w = Kum dren çapı, c_{vr} = Yatay konsolidasyon katsayısı

Arazi okumaları ile karşılaştırmalar, ortalama yatay (radyal) konsolidasyon katsayısı değerinin ortalama düşey konsolidasyon katsayısına eşit alınabileceğini göstermiştir.

4.7. Arazi Ölçümleri İle Karşılaştırmalar

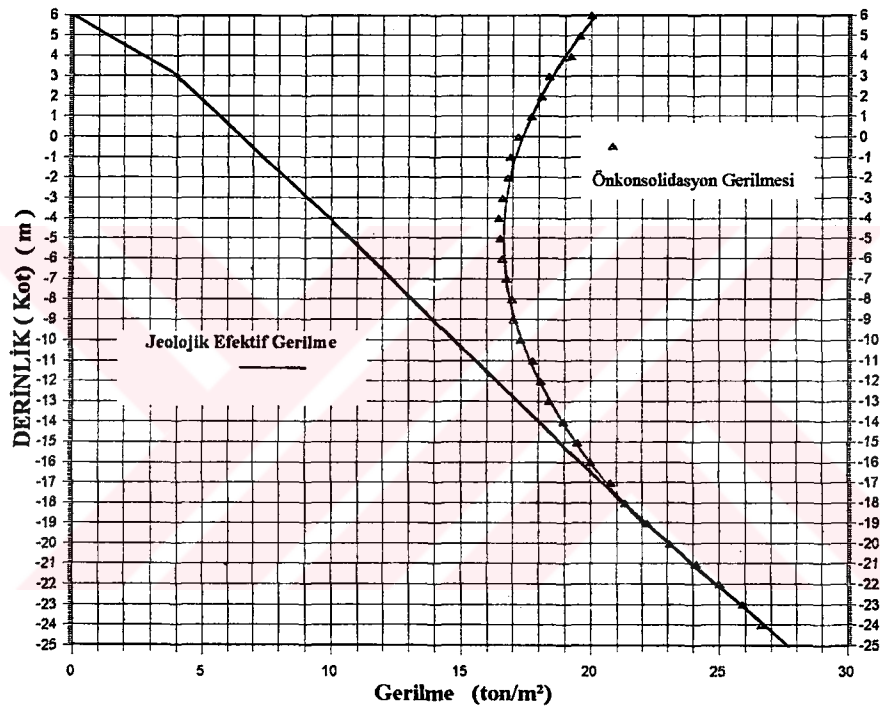
Oturma hesapları öncelikle Menba Batardosu (B-22 kesiti) için yapılmış ve hesaplanan değerler ile arazi okumaları karşılaştırılmıştır. Menba Batardosu hesaplamaları ve seçilen zemin özellikleri Tablo 4.2 'de verilmiştir. Temel zeminini oluşturan tabakaların sıkışma özellikleri (C_c ve C_s) arazi su muhtevalarına göre Şekil 4.18 'den ve önkonsolidasyon basıncı profili Şekil 4.19 'den seçilerek yapılan hesaplamalarla bulunan oturma değerlerinin, arazi ölçümleri ile uyumlu olduğu saptanmıştır. Oturma-Zaman davranışı açısından kritik olan arazideki tabakaların ortalama konsolidasyon katsayısı değerinin, laboratuvar deney sonuçlarından bulunan değerlerden çok daha büyük olduğu, arazi boşluk suyu basıncı sönümlmeleri ve oturma okumalarından geri analiz (back-analysis)





▲ $Cc/(1+eo)$ (Terzaghi) x $Cs/(1+eo)$ ● $Cc/(1+eo)$ (schm.)
 Şekil 4.18 Sıkışma İndisi ve Tekrar Sıkışma İndisinin Su muhtevası ile Değişimi





Şekil 4.19 Arazi Ön konsolidasyon Basıncı Profili



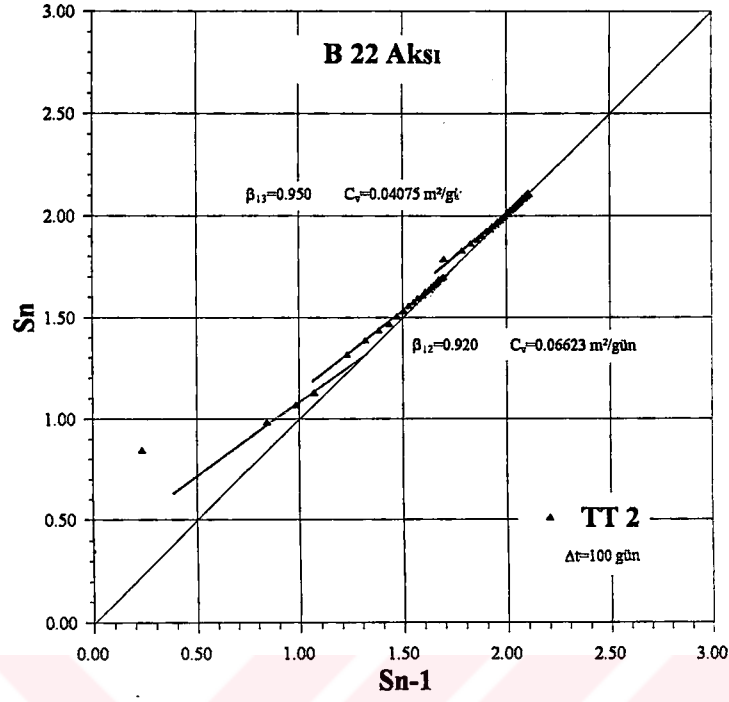
ile bulunan değerin daha gerçekçi olduğu gözlenmiştir. Arazide alüvyal çökellerin yer alması ve killi zeminler içinde kum merccekleri ve bantlarının bulunması nedeniyle laboratuvar deney sonuçlarının fazla güvenilir olmamasının tabii karşılanması gerektiği düşünülmektedir. Konsolidasyon katsayısının arazi oturma okumalarından belirlenmesinde Asoaka (1978) yönteminin iyi sonuç verdiği gözlenmiştir. şekil 4.20 'de Menba Batardosu oturma okumalarına Asoaka yönteminin uygulanması, şekil 4.21 'de ise Menba Batardosu için hesaplanan ve arazide ölçülen oturma okumalarının karşılaştırılması gösterilmektedir.

Oturma-zaman davranışında hesaplanan ve ölçülen değerler arasında sağlanan uyum ile seçilen konsolidasyon parametrelerinin doğrulanması sağlandıktan sonra, barajın diğer kesitleri altındaki oturmalar hesaplanmış ve ölçülen değerler ile karşılaştırılmıştır. Bütün kesitler için, temel zemini tabakalaşmasının n konsolidasyon basıncıları ve sıkışma indisleri (C_c ve C_s) şekil 4.19 ve şekil 4.18 'den seçilmiş, ortalama konsolidasyon katsayıları ise Asoaka yöntemi kullanılarak belirlenmiştir.

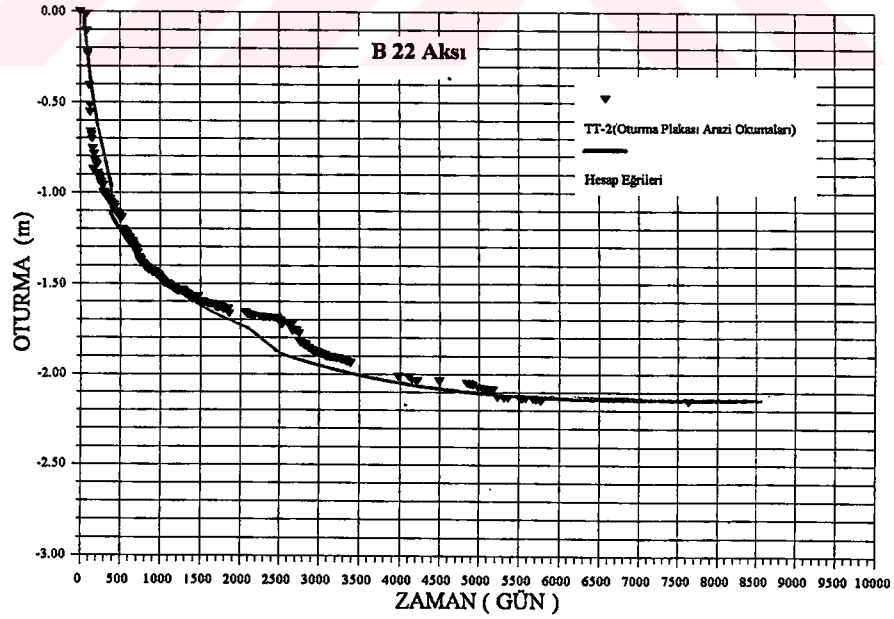
Barajın diğer kesitleri için şekil 4.22, şekil 4.24, şekil 4.26 ve şekil 4.28'de oturma okumalarına Asoaka yönteminin uygulanması; şekil 4.23, şekil 4.25, şekil 4.27 ve şekil 4.29'da ise hesaplanan ve arazide ölçülen oturma okumalarının karşılaştırılması gösterilmektedir. Baraj gövde aksı üzerinde yapılan konsolidasyon oturma hesapları Tablo 4.3a-i, boşluk suyu basıncıları ve konsolidasyon yüzdesi hesapları Tablo 4.4a-i 'de verilmiştir. Bu hesaplamalarda 4.47-4.54 eşitlikleri kullanılmıştır. Zemin zelliklerinin seçiminde, yapılmış olan eski sondajlar ve bu çalışma kapsamı içinde planlanan sondajların verilerine göre hazırlanan şekil 2.1 'de gösterilen kesitten yararlanılmıştır. Bu kesitten de görüleceği gibi menba batardosu altındaki temel zemini tipik kesitine tabakaların benzer olduğu ve aralarda yer yer kum mercceklerinin varlığı görülmektedir.

Menba batardosu dışındaki akslarda oturma hesapları ve arazi okumalarının verdiği sonuçların yakınlığı grlmştir.



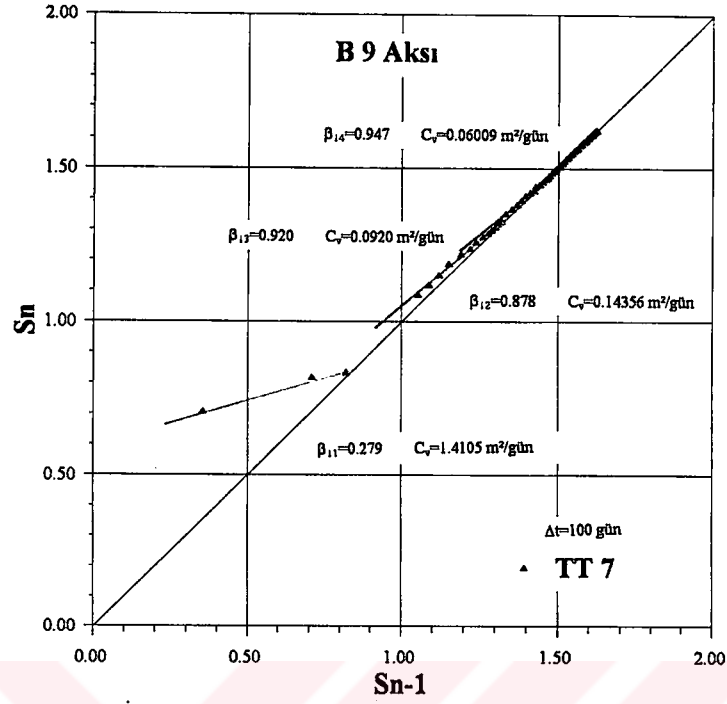


Şekil 4.20. Menba batardosu oturma okumalarına Asoka Yönteminin uygulanması

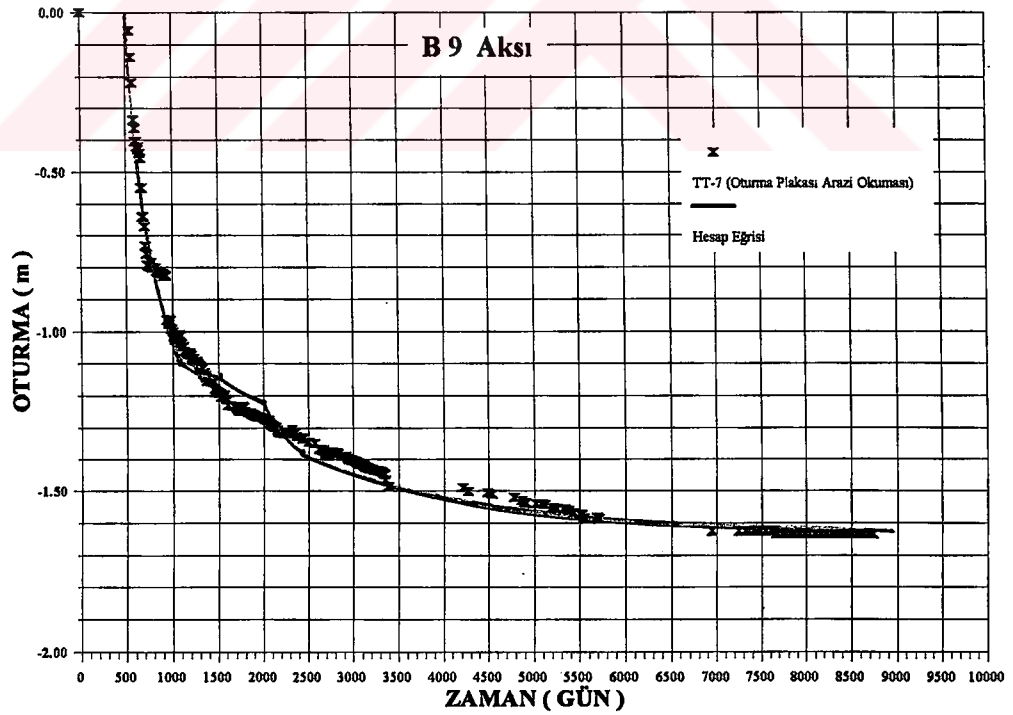


Şekil 4.21. Menba batardosu altında ölçülen ve hesaplanan oturma okumaları



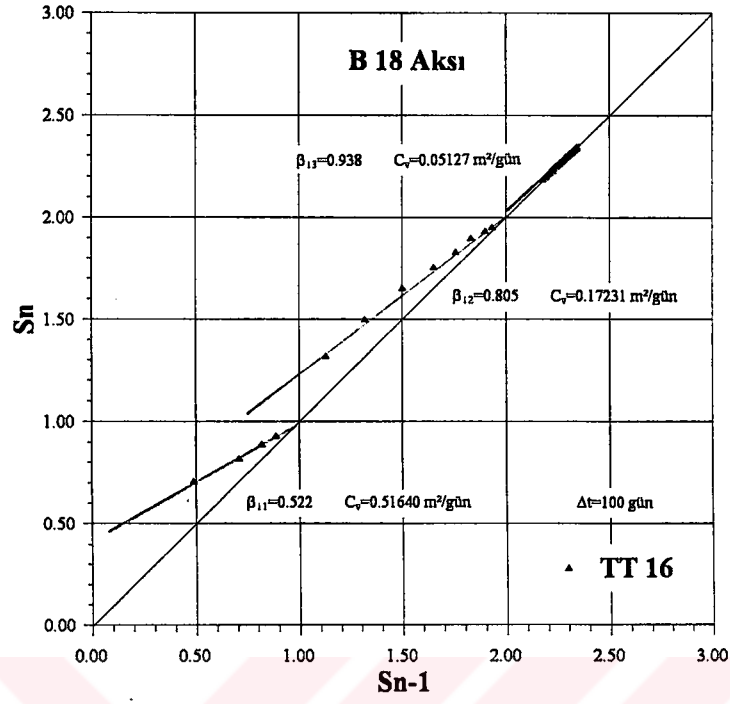


Şekil 4.22. Mansap batardosu oturma okumalarına Asaoka Yönteminin uygulanması

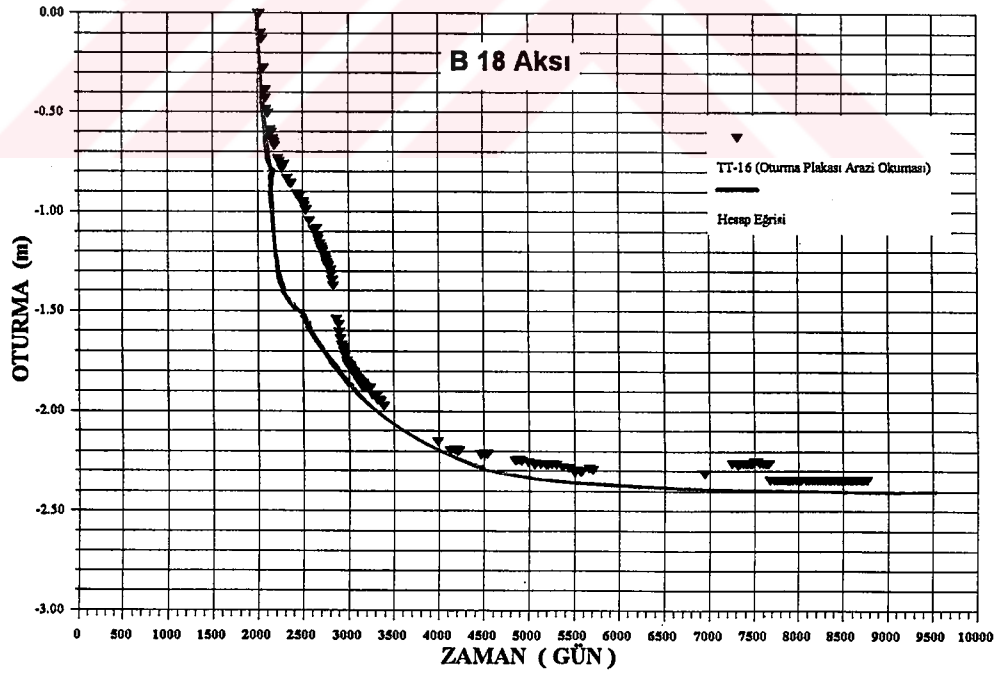


Şekil 4.23. Mansap batardosu altında ölçülen ve hesaplanan oturma okumaları



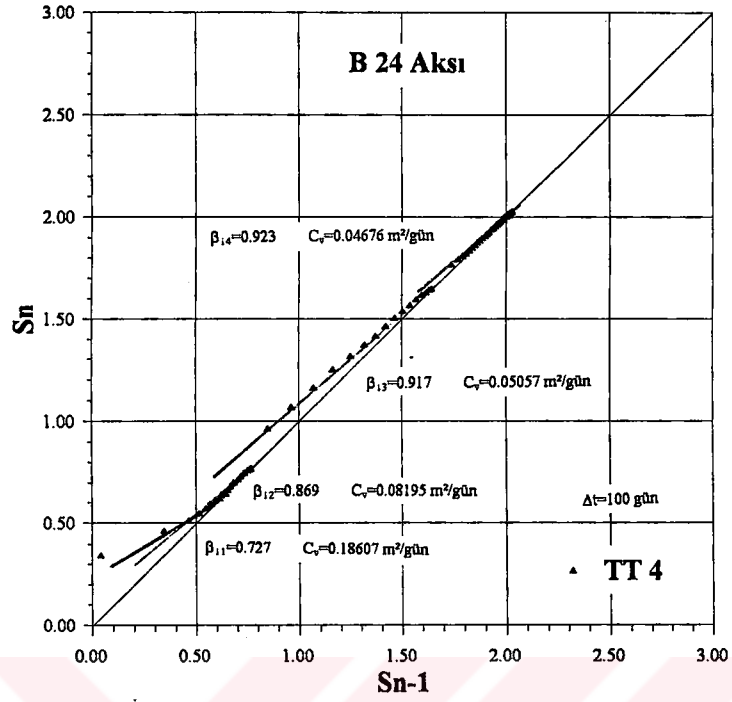


Şekil 4.24. Ara dolgu oturma okumalarına Asoka Yönteminin uygulanması

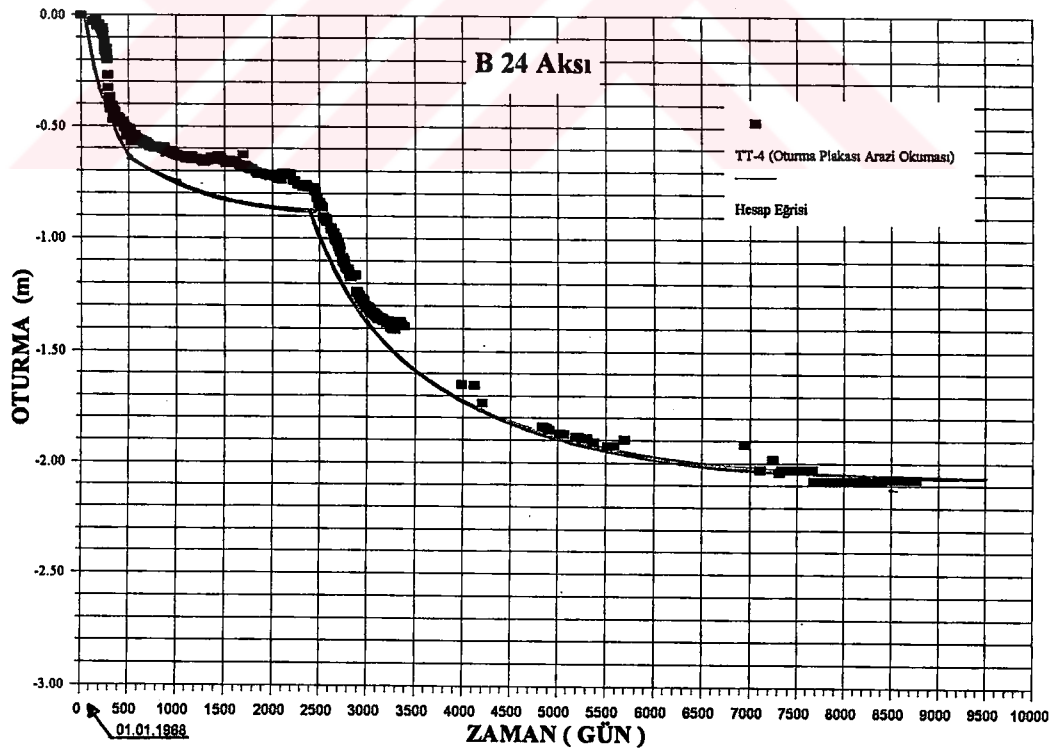


Şekil 4.25. Ara dolgu altında ölçülen ve hesaplanan oturma okumaları



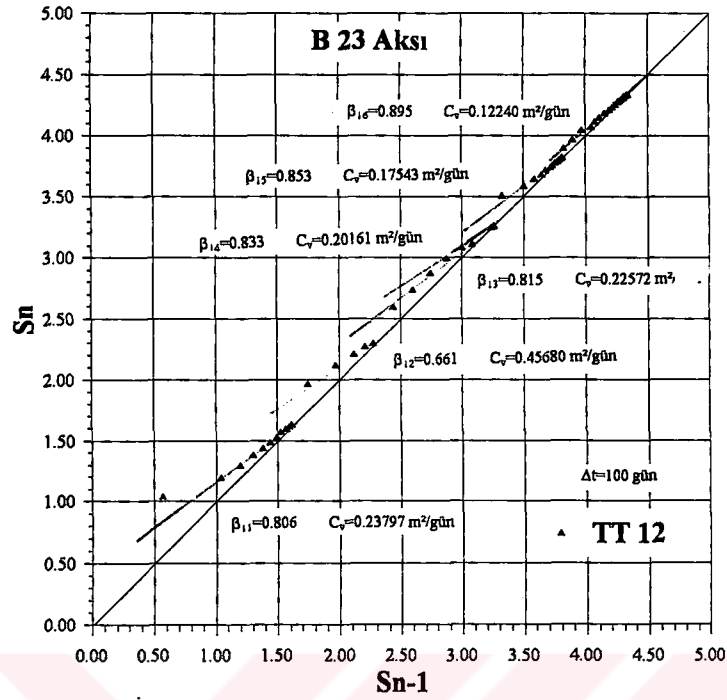


Şekil 4.26. Baraj aksı dolgusu oturma okumalarına Asaoka Yönteminin uygulanması

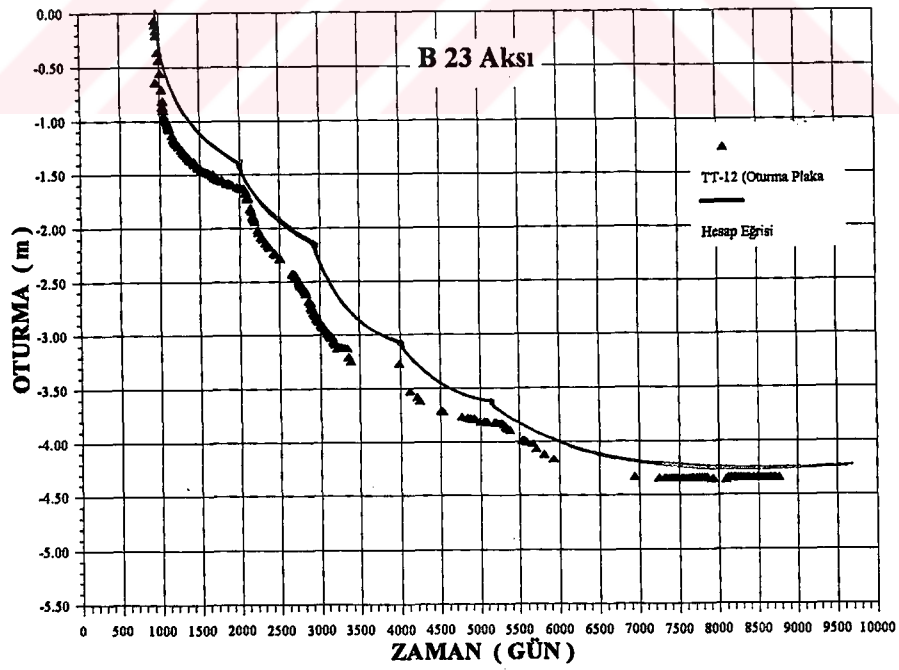


Şekil 4.27. Baraj aksı dolgusu altında ölçülen ve hesaplanan oturma okumaları





Şekil 4.28. Temel yükleme testi dolgusu oturma okumalarına Asaoka Yönteminin uygulanması



Şekil 4.29. Temel yükleme testi dolgusu altında ölçülen ve hesaplanan oturma okumaları



Tablo 4.3a. B24 Aksı için Konsolidasyon Analizi (Yükleme 1) Tablosu

YÜKLEME No 1
AKS No B 24

Konsolidasyon Analizi :

Zemin Parametreleri ve Düşey Gerilmeler

Nöde No	Derinlik (m)	Kot (m)	Tabaka Kalınlığı (m)	ANSYS			Terzaghi C ϕ (1+e) (kN/m ²)	Schm. C ϕ (1+e)	Jeolojik Yük		Ortalama Jeolojik Yük S ϕ ' (kN/m ²)	Ön Konsolidasyon Basıncı		Ortalama Ön Konsolidasyon Basıncı S ϕ m' (kN/m ²)	1 nok. yöntemle doğu yıldı		Ortalama 1 nok. yöntemle doğu yıldı S ϕ ' = S1(örneç)+S ϕ ' (kN/m ²)
				S1 (kN/m ²)	S2 (kN/m ²)	S3 (kN/m ²)			Wn (%)	9		10	11		12	13	
286	0.00	+8.00	1.00	100.840	96.592	96.268	30.00	0.068	0.007	0.064	0.000	9.610	198.200	194.037	111.340	121.840	136.998
298	1.00	+2.00	3.00	102.220	78.625	89.455	30.00	0.068	0.007	0.064	19.620	32.864	191.874	184.659	121.640	121.640	136.998
314	4.00	+1.00	3.00	106.050	73.005	55.821	35.00	0.128	0.021	0.110	48.107	171.443	171.443	171.875	152.157	182.801	182.801
305	7.00	-1.00	3.00	100.850	64.595	44.378	30.00	0.068	0.007	0.064	72.594	82.895	165.907	163.739	173.444	180.708	180.708
348	10.00	-4.00	3.00	94.776	53.621	31.401	44.00	0.242	0.026	0.276	83.195	103.498	161.571	163.018	187.971	185.184	185.184
347	13.00	-7.00	3.00	88.801	47.040	25.237	49.00	0.303	0.043	0.349	113.796	124.097	164.465	166.265	202.397	210.265	210.265
346	16.00	-10.00	2.00	83.735	41.191	19.835	60.00	0.438	0.062	0.511	134.397	141.262	168.065	172.584	218.132	223.134	223.134
345	18.00	-12.00	2.00	80.005	35.345	15.568	46.00	0.266	0.038	0.306	148.131	154.988	177.443	181.593	228.136	232.565	232.565
324	20.00	-14.00	2.00	75.168	32.289	17.115	40.00	0.192	0.022	0.215	161.665	170.894	185.742	190.871	237.033	243.456	243.456
360	22.00	-16.00	2.00	70.355	32.593	22.768	35.00	0.128	0.018	0.110	179.523	188.352	196.200	202.690	249.878	257.368	257.368
361	24.00	-18.00	2.00	67.712	38.091	35.406	30.00	0.068	0.007	0.064	197.181	198.352	209.179	202.690	284.893	284.893	284.893

Toplam= 24.00

Hesaplanmış Konsolidasyon Oturumları

Sm ³ /Sv ³	(Cr/Ca) ³ Log(Sm ³ /Sv ³)	Log(Sr ² /Sm ²)	Sr ² /Sm ²	Toplam	H ⁺ (Ca ² +eo)	B24 Aksı TT-4		t Gün	Ani Oturma			Ufı (%)	Sc (m)	Toplam Oturma
						Yükleme No	Si (m)		Sc (m)	Ufı (%)				
18	19	20	21	22	23	24	1	0	0.1096	0.535	0.9990	0.845		
11.350	0.109	0.574	-0.241	0.109	0.064	0.007	2	400	0.0640	0.074	0.9999	0.719		
4.169	0.064	0.742	-0.130	0.064	0.192	0.012	3	1000	0.0588	0.085	0.9990	0.804		
2.893	0.076	0.948	-0.023	0.076	0.329	0.025	4	1500	0.1032	0.427	0.9999	1.230		
1.975	0.030	1.104	0.043	0.073	0.192	0.014	5	2000	0.0796	0.036	0.9991	1.266		
1.575	0.021	1.197	0.078	0.099	0.827	0.062	6	2400	0.1263	0.636	0.9990	1.919		
1.340	0.018	1.265	0.102	0.120	1.048	0.126	7	2900	0.0901	0.008	0.9990	1.927		
1.223	0.012	1.292	0.111	0.124	1.023	0.126	8	3400	0.1112	0.255	0.9990	2.182		
1.172	0.010	1.281	0.107	0.117	0.611	0.072	9	5000	0.0970	0.013	1.0000	2.195		
1.119	0.006	1.275	0.105	0.111	0.431	0.048	10	9000						
1.076	0.005	1.270	0.108	0.108	0.219	0.024								

Oturma (m) = 0.535



Tablo 4.3b. B24 Aksı için Konsolidasyon Analizi (Yüklem 2) Tablosu

YÜKLEME No
AKS No2
B24

Konsolidasyon Analizi :

Zemin Parametreleri ve Düşey Gerilmeler

Nokta No	Derinlik (m)	Kot (m)	ANSYS 'den elde			ANSYS 'den elde			Wn (%)	Terzaghi Cc(1+eo)	Schm. Cc(1+eo)	Yüklemenden gelen boş. suyu bas.		Yüklemenden gelen boş. suyu bas.		Gelen Arızık Boş. Suyu Bas.		t = 200 gün so. yald boşluk suyu basıncı		Gelen Toplam Boş. Suyu Bas. t = 200 gün sonradı	
			S1 (kN/m²)	S2 (kN/m²)	S3 (kN/m²)	S1 (kN/m²)	S2 (kN/m²)	dU1 (kN/m²)				dU2 (kN/m²)	dU1+dU2 (kN/m²)	dU1 (kN/m²)	dU2 (kN/m²)	dU1+dU2 (kN/m²)	dU1 (kN/m²)	dU2 (kN/m²)			
296	0.00	+6.00	102.370	101.210	99.765	30.00	0.068	0.007	0.064	97.472	100.435	2.963	0.097	3.061							
298	1.00	+5.00	105.820	84.931	78.411	30.00	0.098	0.007	0.064	77.234	85.937	8.303	0.077	8.381							
314	4.00	+2.00	109.890	69.231	51.117	35.00	0.128	0.021	0.110	66.881	66.395	-2.485	0.069	-2.418							
305	7.00	-1.00	109.050	55.632	31.899	30.00	0.068	0.007	0.064	59.625	52.730	-6.896	0.060	-6.836							
348	10.00	-4.00	104.420	41.642	14.557	44.00	0.242	0.026	0.276	49.146	42.415	-6.731	0.049	-6.682							
347	13.00	-7.00	98.136	39.191	13.838	49.00	0.303	0.043	0.349	49.949	43.342	-6.607	0.050	-6.557							
346	16.00	-10.00	94.598	38.075	14.189	60.00	0.438	0.062	0.511	54.980	48.765	-6.215	0.055	-6.160							
345	18.00	-12.00	89.693	37.005	16.035	46.00	0.266	0.038	0.306	54.882	55.810	0.929	0.055	0.984							
324	20.00	-14.00	82.787	36.268	20.835	40.00	0.192	0.022	0.215	50.786	54.909	4.123	0.051	4.174							
360	22.00	-16.00	77.695	36.406	26.322	35.00	0.128	0.018	0.110	50.844	56.632	5.788	0.061	5.839							
351	24.00	-18.00	75.041	39.543	37.937	30.00	0.068	0.007	0.064	56.082	61.684	5.602	0.000	5.602							

Hesaplanmış Konsolidasyon Oturmaları

$$S_c, I = [C_c \cdot H \cdot (1+e_0)] \log \left(\frac{S_v}{S_v - S_c} \right)$$

$$S_c, II = [C_c \cdot H \cdot (1+e_0)] \log \left(\frac{S_v}{S_v - S_c} \right) \log \left(\frac{S_v}{S_v - S_c} \right)$$

$$S_c, III = [C_c \cdot H \cdot (1+e_0)] \log \left(\frac{S_v}{S_v - S_c} \right)$$

Tablolar	Jeolojik Yük		Ön Konsolidasyon		Ön Konsolidasyon		2 Nolu		Ortalama		1 Nolu		Ortalama		Toplam
	Sv' (kN/m ²)	Sv' (kN/m ²)	Basıncı	Basıncı	Yüklemenden	Doğu Yüklü	Yüklemenden	Doğu Yüklü	Sv' = Sv' + S1,2 (ansys) (kN/m ²)	Sv' = Sv' + S1,2 (ansys) (kN/m ²)	Sv' = Sv' + S1,1 (ansys) (kN/m ²)	Sv' = Sv' + S1,1 (ansys) (kN/m ²)	Sv' = Sv' + S1,1 (ansys) (kN/m ²)		
16	18	18	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
1.00	0.000	9.810	186.200	184.037	102.370	113.905	100.743	111.253	0.0007	0.0000	0.0000	0.0007	0.0007	0.0007	
3.00	19.620	32.884	191.874	184.659	126.440	140.714	121.783	138.925	0.0025	0.0000	0.0000	0.0025	0.0025	0.0025	
3.00	48.107	59.351	177.443	171.875	155.887	168.816	152.086	162.736	0.00100	0.0000	0.0000	0.00100	0.00100	0.00100	
3.00	72.584	82.895	165.907	163.739	161.644	169.930	173.384	160.653	0.00000	0.00000	0.00000	0.00430	0.00430	0.00430	
3.00	93.185	103.486	161.571	163.018	167.815	204.774	187.922	195.134	0.00000	0.00000	0.00000	0.01522	0.01522	0.01522	
3.00	113.796	124.097	164.485	166.285	202.347	220.484	202.347	210.212	0.00000	0.00000	0.00000	0.01878	0.01878	0.01878	
2.00	134.397	141.264	168.065	172.754	226.985	233.410	218.077	223.079	0.00000	0.00000	0.00000	0.01720	0.01720	0.01720	
2.00	148.131	154.888	177.443	181.593	237.824	241.238	228.081	232.532	0.00000	0.00000	0.00000	0.00948	0.00948	0.00948	
2.00	161.895	170.694	185.742	190.971	244.952	250.835	238.982	243.405	0.00000	0.00000	0.00000	0.00507	0.00507	0.00507	
2.00	178.523	188.352	198.200	202.680	257.218	264.720	249.827	257.380	0.00000	0.00000	0.00000	0.00313	0.00313	0.00313	
24.00	187.181		209.179	202.680	272.222		264.893							0.0735	

24.00

Oturma (m) = 0.0735



Tablo 4.3c. B24 Aksı için Konsolidasyon Analizi (Yüklem 3) Tablosu

YÜKLEM No 3
AKS No B24

Konsolidasyon Analizi :

Zemin Parametreleri ve Dışey Gerilmeler

Notla No	Derinlik (m)	Kot (m)	ANSYS 'den elde				Wh (%)	Terzaghi Cd(1+eo)	Schm. Cd(1+eo)	2Nolu Yüklem gelen boş. suyu bas. dU2 (kN/m²)		3Nolu Yüklem gelen boş. suyu bas. dU3 (kN/m²)		2 ve 3 nolu Yüklem Gelen Arık Boş. Suyu Bas. (dU2+dU3) (kN/m²)		1 ve 2 Nolu Yüklem t = 600 gün sonradı boşaltmış boşalt suyu basıncı dU2 (kN/m²)		2 ve 3 nolu Yüklem t = 600 gün sonradı dU2+dU3 (kN/m²)	
			S1	S2	S3	S4													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15					
296	0.00	+8.00	107.010	104.010	103.400	30.00	0.068	0.007	0.064	100.435	104.339	3.904	0.001	3.904		0.001	0.001	3.904	
298	1.00	+5.00	108.270	90.779	88.459	30.00	0.068	0.007	0.064	85.537	93.610	8.073	0.001	8.073		0.001	0.001	8.073	
314	4.00	+2.00	109.610	77.834	71.198	35.00	0.128	0.021	0.110	66.395	81.237	14.842	-0.001	14.841		-0.001	-0.001	14.841	
305	7.00	-1.00	109.540	65.337	56.588	30.00	0.068	0.007	0.064	52.730	70.884	18.154	-0.007	18.147		-0.007	-0.007	18.147	
348	10.00	-4.00	107.770	52.841	42.634	44.00	0.242	0.028	0.276	42.415	62.828	20.412	-0.001	20.411		-0.001	-0.001	20.411	
347	13.00	-7.00	105.410	51.653	42.184	49.00	0.303	0.043	0.349	43.342	64.300	20.958	-0.001	20.957		-0.001	-0.001	20.957	
346	16.00	-10.00	105.600	51.590	41.713	60.00	0.438	0.062	0.511	48.765	68.184	20.420	-0.001	20.419		-0.001	-0.001	20.419	
345	18.00	-12.00	104.600	50.868	40.732	48.00	0.288	0.038	0.308	55.810	75.221	18.410	0.000	18.410		0.000	0.000	18.410	
324	20.00	-14.00	101.950	50.375	41.973	40.00	0.192	0.022	0.215	54.909	74.960	20.052	0.000	20.052		0.000	0.000	20.052	
350	22.00	-16.00	101.200	50.475	43.016	35.00	0.128	0.018	0.110	58.632	77.345	20.712	0.001	20.712		0.001	0.001	20.712	
351	24.00	-18.00	101.120	51.575	48.242	30.00	0.068	0.007	0.064	81.684	81.384	19.680	0.000	19.680		0.000	0.000	19.680	

$$S_{c,1} = [C \cdot H / (1 + e_0)] \log (S_v / S_v')$$

$$S_{c,1H} = [C \cdot H / (1 + e_0)] \log (S_v / S_v') \log (S_v / S_v')$$

$$S_{c,1H} = [C \cdot H / (1 + e_0)] \log (S_v / S_v')$$

Hesaplanmış Konsolidasyon Ölçümleri

Tablolu Kalınlığı (m)	Jeolojik Yık Svo' (kN/m²)	Ön Konsolidasyon Basıncı Svm' (kN/m²)	Ön Konsolidasyon Basıncı Svm' (kN/m²)	Ön Konsolidasyon Basıncı Svm' (kN/m²)	3 Nolu Yüklem Doğu Yık Sv' = Svo' + S1,3 (emeyi) (kN/m²)	3 Nolu Yüklem Doğu Yık Sv' = Svo' + S1,3 (emeyi) (kN/m²)	3 Nolu Yüklem Doğu Yık Sv' = Svo' + S1,3 (emeyi) (kN/m²)	2 Nolu Yüklem Doğu Yık Sv' = Svo' + S1,2 (emeyi) (kN/m²)	2 Nolu Yüklem Doğu Yık Sv' = Svo' + S1,2 (emeyi) (kN/m²)	2 Nolu Yüklem Doğu Yık Sv' = Svo' + S1,2 (emeyi) (kN/m²)	2 Nolu Yüklem Doğu Yık Sv' = Svo' + S1,2 (emeyi) (kN/m²)	2 Nolu Yüklem Doğu Yık Sv' = Svo' + S1,2 (emeyi) (kN/m²)	2 Nolu Yüklem Doğu Yık Sv' = Svo' + S1,2 (emeyi) (kN/m²)	2 Nolu Yüklem Doğu Yık Sv' = Svo' + S1,2 (emeyi) (kN/m²)	2 Nolu Yüklem Doğu Yık Sv' = Svo' + S1,2 (emeyi) (kN/m²)	2 Nolu Yüklem Doğu Yık Sv' = Svo' + S1,2 (emeyi) (kN/m²)	2 Nolu Yüklem Doğu Yık Sv' = Svo' + S1,2 (emeyi) (kN/m²)	2 Nolu Yüklem Doğu Yık Sv' = Svo' + S1,2 (emeyi) (kN/m²)	2 Nolu Yüklem Doğu Yık Sv' = Svo' + S1,2 (emeyi) (kN/m²)
1.00	0.000	19.820	198.200	198.200	184.037	184.037	184.037	184.037	184.037	184.037	184.037	184.037	184.037	184.037	184.037	184.037	184.037	184.037	184.037
3.00	19.620	65.727	191.874	191.874	184.689	184.689	184.689	184.689	184.689	184.689	184.689	184.689	184.689	184.689	184.689	184.689	184.689	184.689	184.689
3.00	46.107	118.701	177.443	177.443	171.678	171.678	171.678	171.678	171.678	171.678	171.678	171.678	171.678	171.678	171.678	171.678	171.678	171.678	171.678
3.00	72.864	165.788	165.507	165.507	163.738	163.738	163.738	163.738	163.738	163.738	163.738	163.738	163.738	163.738	163.738	163.738	163.738	163.738	163.738
3.00	83.185	206.891	161.571	161.571	163.018	163.018	163.018	163.018	163.018	163.018	163.018	163.018	163.018	163.018	163.018	163.018	163.018	163.018	163.018
3.00	113.788	248.183	184.685	184.685	186.265	186.265	186.265	186.265	186.265	186.265	186.265	186.265	186.265	186.265	186.265	186.265	186.265	186.265	186.265
2.00	134.397	282.528	188.085	188.085	172.754	172.754	172.754	172.754	172.754	172.754	172.754	172.754	172.754	172.754	172.754	172.754	172.754	172.754	172.754
2.00	148.151	300.986	177.443	177.443	181.893	181.893	181.893	181.893	181.893	181.893	181.893	181.893	181.893	181.893	181.893	181.893	181.893	181.893	181.893
2.00	181.885	341.388	165.742	165.742	190.871	190.871	190.871	190.871	190.871	190.871	190.871	190.871	190.871	190.871	190.871	190.871	190.871	190.871	190.871
2.00	179.523	378.704	188.200	188.200	202.880	202.880	202.880	202.880	202.880	202.880	202.880	202.880	202.880	202.880	202.880	202.880	202.880	202.880	202.880
24.00	187.181		208.178	208.178	288.301	288.301	288.301	288.301	288.301	288.301	288.301	288.301	288.301	288.301	288.301	288.301	288.301	288.301	288.301

24.00

Ölçüm (m) = 0.0850



Tablo 4.3d. B24 Aksı için Konsolidasyon Analizi (Yükleme 4) Tablosu

YÜKLEME No 4
AKS No B24

Konsolidasyon Analizi :

Zemin Parametreleri ve Dışarı Gerilmeler

Nokta No	Derinlik (m)	Kot (m)	ANSYS ANSYS ANSYS				Wn (%)	Terzaghi $Cc(1+eo) Ccr(1+eo)$	Schm. $Cc(1+eo)$	3 Nolu		4 Nolu		3 ve 4 nolu		3 Nolu		3 ve 4 nolu	
			S1	S2	S3	S4				Yüklemelerden gelen boş. suyu bas. $dU3$ (kN/m ²)	Yüklemelerden gelen boş. suyu bas. $dU4$ (kN/m ²)	Yüklemelerden gelen boş. suyu bas. $dU3$ (kN/m ²)	Yüklemelerden gelen boş. suyu bas. $dU4$ (kN/m ²)	Yüklemelerden gelen boş. suyu bas. $dU3+dU4$ (kN/m ²)	Yüklemelerden gelen boş. suyu bas. $dU3+dU4$ (kN/m ²)	Yüklemelerden gelen boş. suyu bas. $dU3$ (kN/m ²)	Yüklemelerden gelen boş. suyu bas. $dU3$ (kN/m ²)	Yüklemelerden gelen boş. suyu bas. $dU3+dU4$ (kN/m ²)	Yüklemelerden gelen boş. suyu bas. $dU3+dU4$ (kN/m ²)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
296	0.00	+6.00	171.980	157.420	149.280	30.00	0.068	0.007	0.064	104.339	155.182	50.843	0.004	50.847	50.847	0.004	0.004	50.847	50.847
298	1.00	+5.00	170.270	139.830	132.690	30.00	0.068	0.007	0.064	93.810	142.481	48.851	0.008	48.859	48.859	0.008	0.008	48.859	48.859
314	4.00	+2.00	168.750	119.800	106.380	35.00	0.128	0.021	0.110	81.237	122.586	41.359	0.015	41.374	41.374	0.015	0.015	41.374	41.374
305	7.00	-1.00	168.140	105.660	91.026	30.00	0.068	0.007	0.064	70.894	112.117	41.233	0.018	41.251	41.251	0.018	0.018	41.251	41.251
348	10.00	-4.00	168.320	95.355	79.586	44.00	0.242	0.028	0.216	62.826	106.206	43.380	0.020	43.400	43.400	0.020	0.020	43.400	43.400
347	13.00	-7.00	165.920	94.357	76.728	49.00	0.303	0.043	0.349	64.300	116.972	51.672	0.021	51.693	51.693	0.021	0.021	51.693	51.693
346	16.00	-10.00	163.720	94.323	73.459	60.00	0.438	0.062	0.511	69.184	130.323	61.139	0.020	61.159	61.159	0.020	0.020	61.159	61.159
345	18.00	-12.00	160.600	90.847	71.070	46.00	0.266	0.038	0.306	75.221	136.532	60.311	0.019	60.330	60.330	0.019	0.019	60.330	60.330
324	20.00	-14.00	156.650	79.697	65.319	40.00	0.192	0.022	0.215	74.960	115.551	40.591	0.020	40.611	40.611	0.020	0.020	40.611	40.611
360	22.00	-16.00	153.290	77.797	68.985	35.00	0.128	0.018	0.110	77.345	118.725	41.380	0.021	41.401	41.401	0.021	0.021	41.401	41.401
351	24.00	-18.00	151.840	80.899	79.297	30.00	0.068	0.007	0.064	81.364	125.725	44.381	0.000	44.381	44.381	0.000	0.000	44.381	44.381

$$Se_{.I} = [C_c \cdot H(1+eo)] / \log(Sr/Sr') \\ Se_{.II} = [C_c \cdot H(1+eo)] / [\log(Sr/Sr') + \log(Sr'/Sr'')] \\ Se_{.III} = [C_c \cdot H(1+eo)] / \log(Sr/Sr'')$$

Hesaplanmış Konsolidasyon Oturmaları

Tabloların Kalınlığı (m)	Jeo. Yık. Sr' (kN/m ²)	Jeo. Yık. Sr'' (kN/m ²)	Örnek		Örnek		Örnek		Örnek		Örnek		Örnek		Örnek		Örnek		Örnek	
			Ön Konsolidasyon	Ön Konsolidasyon	Ön Konsolidasyon	Ön Konsolidasyon	Ön Konsolidasyon	Ön Konsolidasyon	Ön Konsolidasyon	Ön Konsolidasyon	Ön Konsolidasyon	Ön Konsolidasyon	Ön Konsolidasyon	Ön Konsolidasyon	Ön Konsolidasyon	Ön Konsolidasyon	Ön Konsolidasyon	Ön Konsolidasyon	Ön Konsolidasyon	Ön Konsolidasyon
1.00	0.000	8.810	198.200	194.037	171.980	185.880	185.880	185.880	185.880	185.880	185.880	185.880	185.880	185.880	185.880	185.880	185.880	185.880	185.880	185.880
3.00	19.820	32.864	181.874	184.659	214.857	214.857	214.857	214.857	214.857	214.857	214.857	214.857	214.857	214.857	214.857	214.857	214.857	214.857	214.857	214.857
3.00	46.107	59.351	177.443	171.875	241.734	241.734	241.734	241.734	241.734	241.734	241.734	241.734	241.734	241.734	241.734	241.734	241.734	241.734	241.734	241.734
3.00	83.185	103.488	161.571	163.018	261.815	261.815	261.815	261.815	261.815	261.815	261.815	261.815	261.815	261.815	261.815	261.815	261.815	261.815	261.815	261.815
3.00	113.798	124.097	164.485	168.285	278.718	278.718	278.718	278.718	278.718	278.718	278.718	278.718	278.718	278.718	278.718	278.718	278.718	278.718	278.718	278.718
2.00	134.397	141.264	168.065	172.754	288.117	288.117	288.117	288.117	288.117	288.117	288.117	288.117	288.117	288.117	288.117	288.117	288.117	288.117	288.117	288.117
2.00	148.131	154.888	177.443	181.593	308.731	308.731	308.731	308.731	308.731	308.731	308.731	308.731	308.731	308.731	308.731	308.731	308.731	308.731	308.731	308.731
2.00	161.885	170.894	185.742	191.871	319.515	319.515	319.515	319.515	319.515	319.515	319.515	319.515	319.515	319.515	319.515	319.515	319.515	319.515	319.515	319.515
2.00	176.523	188.352	196.200	202.890	332.813	332.813	332.813	332.813	332.813	332.813	332.813	332.813	332.813	332.813	332.813	332.813	332.813	332.813	332.813	332.813
24.00	197.181		208.178		349.021	349.021	349.021	349.021	349.021	349.021	349.021	349.021	349.021	349.021	349.021	349.021	349.021	349.021	349.021	349.021
																			0.4288	0.4288



Tablo 4.3e. B24 Aksı için Konsolidasyon Analizi (Yüklem 5) Tablosu

YÜKLEME No 5
AKS No B24

Konsolidasyon Analizi :

Zemin Parametreleri ve Düşey Gerilmeler

Nokta No	Derinlik (m)	Kot (m)	ANSYS 'den elde			Wn (%)	Terzaghi Cc/(1+eo)	Schm. Cc/(1+eo)	4 Nolu Yüklemeden gelen boş. suyu bas.		5 Nolu Yüklemeden gelen boş. suyu bas.		4 ve 5 nolu Yüklemeden Gelen Artık Boş. Suyu Bas.		4 Nolu Yüklemeden gelen boş. suyu bas. dUJ4 (kNm ²)	4 ve 5 nolu Yüklemeden Gelen Toplam Boş. Suyu Bas. t = 500 gün sonraki dUJ4+(dUJ5-dUJ4) (kNm ²)
			S1 (kN/m ²)	S2 (kN/m ²)	S3 (kN/m ²)				dUJ4 (kNm ²)	dUJ5 (kNm ²)	(dUJ5-dUJ4) (kNm ²)					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
296	0.00	+6.00	170.360	163.250	162.810	30.00	0.068	0.007	0.064	155.182	164.773	9.591	0.005	9.596		
298	1.00	+5.00	169.770	145.530	145.430	30.00	0.068	0.007	0.064	142.461	151.758	9.298	0.005	9.302		
314	4.00	+2.00	169.120	127.180	126.650	35.00	0.128	0.021	0.110	122.596	137.692	15.096	0.004	15.100		
305	7.00	-1.00	168.980	108.330	106.960	30.00	0.068	0.007	0.064	112.117	123.632	11.516	0.004	11.520		
348	10.00	-4.00	168.680	88.502	87.143	44.00	0.242	0.026	0.276	106.206	110.760	4.554	0.004	4.558		
347	13.00	-7.00	167.940	88.978	86.279	49.00	0.303	0.043	0.349	115.972	114.044	-1.929	0.005	-1.924		
346	16.00	-10.00	170.850	89.318	84.347	60.00	0.438	0.062	0.511	130.323	124.138	-6.185	0.006	-6.179		
345	18.00	-12.00	170.600	89.016	83.736	46.00	0.266	0.038	0.306	135.532	130.643	-4.889	0.006	-4.883		
324	20.00	-14.00	167.000	88.484	85.751	40.00	0.192	0.022	0.215	115.551	130.438	14.887	0.004	14.891		
360	22.00	-16.00	166.680	88.716	86.787	35.00	0.128	0.018	0.110	118.725	133.924	15.199	0.004	15.203		
351	24.00	-18.00	166.540	88.210	83.344	30.00	0.068	0.007	0.064	125.725	138.389	12.665	0.000	12.665		

Hesaplanmış Konsolidasyon Ökürmaları

$$S_{c,i} = [C_c \cdot H_i (1+e_0)] \log (S_{vf}/S_{vi})$$

$$S_{c,ii} = [C_c \cdot H_i (1+e_0)] \log (S_{vf}/S_{vi}) \log (S_{vf}/S_{vi})$$

$$S_{c,iii} = [C_c \cdot H_i (1+e_0)] \log (S_{vf}/S_{vi})$$

Tablolu Kalınlık (m)	Jeolojik Yükl. Svo' (kN/m²)	Ortalama Jeolojik Yükl. Svo' (kN/m²)	Ön Konsolidasyon Basıncı Svm' (kN/m²)	Ön Konsolidasyon Basıncı Svm' (kN/m²)	5 Nolu Yüklemeden Dolgu Yükl. Svf = Svo' + S1,5 (anays) (kN/m²)	5 Nolu Yüklemeden Dolgu Yükl. Svf = Svo' + S1,5 (anays) (kN/m²)	4 Nolu Yüklemeden Dolgu Yükl. Svf = Svo' + S1,4 (anays) - dUJ4 (kN/m²)	4 Nolu Yüklemeden Dolgu Yükl. Svf = Svo' + S1,4 (anays) - dUJ4 (kN/m²)	Ortalama 4 Nolu Yüklemeden Dolgu Yükl. Svf = Svo' + S1,4 (anays) - dUJ4 (kN/m²)	I Svf < Svm' Svf > Svm' Sc ,i Sc ,ii	II Svf < Svm' Svf > Svm' Sc ,i Sc ,ii	III Svf < Svm' Svf > Svm' Sc ,i Sc ,ii	Toplam Sc (m)
16	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1.00	0.000	9.81	189.200	184.04	170.360	178.875	171.875	180.830	180.830	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
3.00	19.020	32.85	181.874	184.68	189.390	202.308	189.885	202.389	202.389	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
3.00	48.107	58.35	177.443	171.88	215.227	228.401	214.853	228.281	228.281	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
3.00	72.594	82.89	165.907	163.74	241.574	251.874	241.730	251.920	251.920	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
3.00	93.185	103.50	161.571	163.02	261.775	271.758	261.511	270.611	270.611	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
3.00	113.766	124.10	164.485	166.27	281.738	293.482	278.711	288.911	288.911	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2.00	134.397	141.28	168.095	172.75	305.247	311.889	288.111	303.418	303.418	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2.00	148.131	155.00	177.443	181.59	318.731	323.788	308.725	313.818	313.818	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2.00	161.685	170.69	185.742	190.97	329.685	337.534	319.511	325.990	325.990	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2.00	178.523	188.35	196.200	202.69	346.203	354.882	332.868	340.815	340.815	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
24.00	187.181		208.179	363.721			349.021						0.0389

24.00

Ökürma (m) =



Tablo 4.3f. B24 Aksı için Konsolidasyon Analizi (Yükleme 6) Tablosu

YÜKLEME No 6
AKS No B24

Konsolidasyon Analizi:

Zemin Parametreleri ve Düşey Gerilmeler

Nokta No	Derinlik (m)	Kot (m)	ANSYS 'den elde			ANSYS 'den elde			ANSYS 'den elde			Terzaghi	Schm.		5 Nolu Yüklemeden gelen boş. suyu bas. dU5 (kN/m ²)		6 Nolu Yüklemeden gelen boş. suyu bas. dU6 (kN/m ²)		5 ve 6 Nolu Yüklemeden Gelen Artık Boş. Suyu Bas. dU5 + dU6 - dU5 (kN/m ²)		5 Nolu Yüklemeden gelen boş. suyu bas dU5 (kN/m ²)	5 ve 6 Nolu Yüklemeden Gelen Toplam Boş. Suyu Bas. t = 400 gün sonraki dU5+(dU6-dU5) (kN/m ²)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
296	0.00	+6.00	279.870	261.660	253.910	30.00	0.068	0.007	0.064	164.773	257.544	92.771	0.010	92.781								
298	1.00	+5.00	279.870	234.150	227.600	30.00	0.068	0.007	0.064	151.758	236.973	85.214	0.009	85.224								
314	4.00	+2.00	279.230	206.480	200.950	35.00	0.128	0.021	0.110	137.692	221.303	83.611	0.015	83.626								
305	7.00	-1.00	279.010	190.340	185.750	30.00	0.068	0.007	0.064	123.632	202.537	78.904	0.012	78.916								
348	10.00	-4.00	278.610	172.990	169.650	44.00	0.242	0.026	0.276	110.760	201.248	90.489	0.005	90.493								
347	13.00	-7.00	278.060	172.540	169.010	49.00	0.303	0.043	0.349	114.044	215.902	101.858	-0.002	101.856								
346	16.00	-10.00	278.590	176.020	166.930	60.00	0.438	0.062	0.511	124.138	237.276	113.137	-0.008	113.131								
345	18.00	-12.00	278.050	174.910	166.930	46.00	0.268	0.038	0.306	130.643	246.936	116.294	-0.005	116.289								
324	20.00	-14.00	276.510	167.040	166.930	40.00	0.192	0.022	0.215	130.438	234.718	104.280	0.015	104.295								
360	22.00	-16.00	276.270	164.470	163.720	35.00	0.128	0.018	0.110	133.924	230.125	96.201	0.015	96.216								
351	24.00	-18.00	276.350	164.450	163.870	30.00	0.068	0.007	0.064	138.389	235.857	97.468	0.000	97.468								

$$S_{c, I} = [Cc \cdot H(1+eo)] \log \left(\frac{S_{vf}}{S_{vf'}} \right)$$

$$S_{c, II} = [Cc \cdot H(1+eo)] \log \left(\frac{S_{vf}}{S_{vf'}} \right) \log \left(\frac{S_{vf}}{S_{vf'}} \right)$$

$$S_{c, III} = [Cc \cdot H(1+eo)] \log \left(\frac{S_{vf}}{S_{vf'}} \right)$$

Hesaplanmış Konsolidasyon Örneği

Tebliğ Kutuluğu (m)	Jeolojik Yık Sıc (kN/m ²)	Özellik Yık Sıc (kN/m ²)	Özellik Yık Sıc (kN/m ²)	Özellik Yık Sıc (kN/m ²)	Özellik Yık Sıc (kN/m ²)	Özellik Yık Sıc (kN/m ²)	Özellik Yık Sıc (kN/m ²)	Özellik Yık Sıc (kN/m ²)	Özellik Yık Sıc (kN/m ²)	Özellik Yık Sıc (kN/m ²)	Özellik Yık Sıc (kN/m ²)	Özellik Yık Sıc (kN/m ²)	Özellik Yık Sıc (kN/m ²)	Özellik Yık Sıc (kN/m ²)
18	18	18	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1.00	0.000	9.81	188.200	184.04	278.870	268.580	170.350	178.868	0.00000	0.01206	0.00000	0.00000	0.01206	0.01206
3.00	19.520	32.88	191.874	184.08	279.280	272.212	189.381	202.286	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
3.00	46.107	59.35	177.443	171.06	328.337	339.471	215.212	228.387	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
3.00	72.594	87.89	165.907	163.74	351.604	361.705	241.562	251.688	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
3.00	83.195	103.50	161.571	163.02	371.805	381.831	261.770	271.764	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
3.00	113.798	124.10	164.485	168.27	391.858	402.422	281.738	293.498	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2.00	134.397	141.28	168.085	172.75	412.897	419.594	305.253	311.995	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2.00	146.151	155.00	177.443	181.58	428.161	432.278	318.736	323.793	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2.00	161.895	170.89	185.742	190.87	439.376	447.084	328.850	337.519	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2.00	178.523	189.35	198.200	202.86	455.793	464.862	348.188	354.854	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2.00	187.181	198.35	208.178	209.87	473.531	483.721	363.721	370.371	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

24.00

Coursa (m) = 0.5352



YÜKLEME No	8
AKS No	B24

Konsolidasyon Analizi :

Zemin Parametreleri ve Düşey Gerilmeler

Nokta No	Derinlik (m)	Kot (m)	ANSYS			Wn (%)	Tertazgih C _c (1+ε ₀)	Schm. C _c (1+ε ₀)	7 Nolu		8 Nolu		7 ve 8 Nolu		Yüklemeden Gelen Artık Boş. Suyu Bas. gelen boş. suyu bas. dU ₈ (kN/m ²)	7 Nolu Yüklemeden Gelen Toplam Boş. Suyu Bas. t = 500 gün sonraki dU _{7+4(dU₈+dU₇)} (kN/m ²)
			'den elde S1 (kN/m ²)	'den elde S2 (kN/m ²)	'den elde S3 (kN/m ²)				dU ₇ (kN/m ²)	dU ₈ (kN/m ²)	(dU ₈ +dU ₇) (kN/m ²)	13	14	15		
296	0,00	+6,00	334,920	321,050	320,290	30,00	0,068	0,007	0,064	272,125	322,631	50,506	0,015	50,521		
298	1,00	+5,00	334,650	296,540	286,010	30,00	0,058	0,007	0,064	250,593	294,765	44,172	0,014	44,186		
314	4,00	+2,00	334,420	251,590	250,470	35,00	0,128	0,021	0,110	228,857	272,297	43,440	0,008	43,448		
305	7,00	-1,00	334,460	220,760	219,580	30,00	0,088	0,007	0,064	207,391	249,449	42,058	0,005	42,063		
348	10,00	-4,00	334,230	189,730	188,490	44,00	0,242	0,026	0,276	183,762	230,765	46,992	-0,017	46,975		
347	13,00	-7,00	334,060	190,050	187,820	49,00	0,303	0,043	0,349	200,090	252,168	52,075	-0,016	52,060		
346	16,00	-10,00	334,580	192,850	186,360	60,00	0,438	0,062	0,511	219,710	281,295	61,575	-0,017	61,567		
345	18,00	-12,00	334,910	193,350	186,370	46,00	0,266	0,038	0,306	228,888	317,085	88,197	-0,018	88,179		
324	20,00	-14,00	334,680	199,590	196,380	40,00	0,192	0,022	0,215	222,575	291,467	96,891	-0,012	96,879		
360	22,00	-16,00	335,000	207,960	205,330	35,00	0,128	0,018	0,110	225,875	280,539	54,664	-0,004	54,660		
351	24,00	-18,00	335,200	208,250	205,410	30,00	0,098	0,007	0,064	233,435	288,476	55,041	0,000	55,041		

Hesaplanmış Konsolidasyon Oturmaları[illegible]

24.00

YÜKLEME No 9
AKS No B24

Konsolidasyon Analizi :

Zemin Parametreleri ve Düşey Gerilmeler

Nokta No	Derinlik (m)	Kot (m)	S1 (kN/m ²)	S2 (kN/m ²)	S3 (kN/m ²)	Wn (%)	Terzaghi Cc(1+eo)	Schm. Cc(1+eo)	8 Nolu Yüklemeden gelen boş. suyu bas. dUB (kN/m ²)	9 Nolu Yüklemeden gelen boş. suyu bas. dUB (kN/m ²)	8 ve 9 Nolu Yüklemeden Gelen Arlık Boş. Suyu Bas. dUB+dUB-dUB (kN/m ²)	8 Nolu Yüklemeden gelen boş. suyu ba dUB (kN/m ²)	Yerinden t=1600 gün sonraki dUB+dUB-dUB (kN/m ²)	8 ve 9 Nolu Yüklemeden Gelen Toplam Boş. Suyu Bas.
296	0.00	+6.00	343.620	334.400	332.230	30.00	0.068	0.007	0.064	322.631	12.561	0.051	12.611	
298	1.00	+5.00	334.700	305.920	295.800	30.00	0.068	0.007	0.064	294.765	11.149	0.044	11.193	
314	4.00	+2.00	334.880	267.380	258.970	35.00	0.128	0.021	0.110	272.297	6.410	0.043	6.453	
305	7.00	-1.00	335.100	230.590	222.030	30.00	0.068	0.007	0.064	249.449	4.241	0.042	4.283	
348	10.00	-4.00	335.270	193.670	185.130	44.00	0.242	0.026	0.276	230.755	-2.084	0.047	-2.037	
347	13.00	-7.00	335.880	191.330	184.530	49.00	0.303	0.043	0.349	252.166	-1.037	0.052	-0.985	
346	16.00	-10.00	338.180	187.400	183.950	60.00	0.438	0.062	0.511	281.285	-6.339	0.062	-6.278	
345	18.00	-12.00	339.500	184.120	183.270	46.00	0.266	0.038	0.306	317.085	-19.767	0.088	-19.679	
324	20.00	-14.00	339.570	195.510	194.450	40.00	0.192	0.022	0.215	319.467	-45.201	0.097	-45.104	
360	22.00	-16.00	340.840	209.510	205.540	35.00	0.128	0.018	0.110	280.539	4.828	0.056	4.883	
351	24.00	-18.00	341.490	210.910	205.430	30.00	0.068	0.007	0.064	288.476	4.033	0.000	4.033	

24.00

Tablo 4.4b. B24 Aksı için Boşluk Suyu Basıncı Artışları ve Konsolidasyon

YÜKLEME No		2		Yüzdesi Hesabı (Yüklemeye 2) Tablosu																					
AKS No	B24	Yüklemeye No 2 'den Gelen Doğru Yüklü Altında Oluşan Skempton - Bjerrum Metoduna Göre Hesaplanmış Boşluk Suyu Basıncı Artışları																							
		2 Nolu						2 Nolu Yüklemeden Gelen						1 Nolu Yüklemeden Gelen						1 Nolu Yüklemeden t=600 Gün Sonradan					
Nokta No	Derinlik (m)	Kat (m)	Tabaka Kalınlığı (m)	O.C.R.	Sıvı (%)	A	Doğru Yüklü dS1 (kN/m²)	dS3 (kN/m²)	A*(dS1-dS3) (kN/m²)	dU1 (kN/m²)	dU2-dS3-A*(dS1-dS3) (kN/m²)	dU1 (kN/m²)	dU2 - dU1 (kN/m²)	Sonradan artmış BSB dU1+(dU2 - dU1) (kN/m²)	1 - Uv/2 (%)	600 Gün Uv/2 (%)	1 - Uv/2 (%)	1 ve 2 Nolu Yüklemeden Gelen ve t= 600 Gün sonradan [dU1+(dU2 - dU1)]/(1-Uv/2) deşaraj Uv/2 (kN/m²)							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18								
286	0.00	+6.00	1.00		0.012	0.260	102.370	98.755	2.615	0.860	100.435	97.472	2.863	3.061	0.9999	0.000	0.000	0.000							
288	1.00	+5.00	3.00		9.78	0.119	0.260	105.520	78.411	27.409	7.128	85.537	8.393	8.393	0.9999	0.000	0.000	0.001							
314	4.00	+2.00	3.00		3.85	0.245	0.260	109.880	51.117	58.763	15.278	86.393	86.881	-2.418	0.9999	0.000	0.000	-0.000							
305	7.00	-1.00	3.00		2.29	0.280	0.270	109.050	31.899	77.151	20.831	52.730	59.625	-8.898	0.9999	0.001	0.9999	-0.007							
348	10.00	-4.00	3.00		1.73	0.298	0.310	104.420	14.557	89.863	42.415	48.148	-8.731	-8.682	0.9999	0.000	0.9999	-0.001							
347	13.00	-7.00	3.00		1.45	0.278	0.350	98.138	13.838	84.298	28.504	43.342	-8.607	-8.507	0.9999	0.000	0.9999	-0.001							
346	16.00	-10.00	2.00		1.25	0.268	0.430	94.598	14.189	80.409	34.578	48.765	-8.215	-8.160	0.9999	0.000	0.9999	-0.001							
345	18.00	-12.00	2.00		1.20	0.248	0.540	89.693	18.035	73.658	36.775	55.810	0.929	0.984	0.9999	0.000	0.9999	0.000							
324	20.00	-14.00	2.00		1.15	0.189	0.590	82.787	20.835	61.952	34.074	54.908	4.123	4.174	0.9999	0.000	0.9999	0.000							
360	22.00	-16.00	2.00		1.09	0.157	0.590	77.685	26.322	51.373	30.310	56.632	5.788	5.839	0.9999	0.000	0.9999	0.001							
351	24.00	-18.00	2.00		1.06	0.135	0.640	75.041	37.937	37.104	23.747	61.894	5.802	5.802	1.0000	0.000	0.000	0.000							

YÜKLEME No 2
AKS No B24 Konsolidasyon Yüzdesi Hesabı

Nokta No	Derinlik (m)	Kat (m)	Tabaka Kalınlığı (m)	1 Nolu Yüklemeden				2 Nolu Yüklemeden				U2			
				t= 400 Gün sonradı		Ortalama		t= 600 Gün		Ortalama		(A1+A2)		A1/(1+A2)	
1	2	3	4	dU1	dU2	dU1	dU2	dU1	dU2	dU1	dU2	A1	A2	A1/(1+A2)	
298	1.00	+5.00	3.00	8.381	5.7	4.190	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	5.721	0.000	5.720	1.000
314	4.00	+2.00	3.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	12.571	0.000	12.570	1.000
305	7.00	-1.00	3.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
348	10.00	-4.00	3.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
347	13.00	-7.00	3.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
346	16.00	-10.00	2.00	0.000	0.000	0.492	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.984	0.000	0.984	1.000
345	18.00	-12.00	2.00	0.984	0.000	2.579	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.157	0.000	5.157	1.000
324	20.00	-14.00	2.00	4.174	0.000	5.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	10.011	0.000	10.011	1.000
360	22.00	-16.00	2.00	5.839	0.001	5.720	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	11.440	0.000	11.440	1.000
351	24.00	-18.00	2.00	5.802	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Toplam= 24.00

45.885

0.004

45.881

0.9999



Tablo 4.4d. B24 Aksı için Boşluk Suyu Basıncı Artışları ve Konsolidasyon

Yüzdesi Hesabı (Yüklem 4) Tablosu

YÜKLEM No AKS No	4 B24	Yüklem No 4 'den Gelen Dolgu Yüklü Altında Oluşan Sırtlam - Bjernum Metoduyla Göre Hesaplanmış Boşluk Suyu Basıncı Artışları										3 Nolu Yüklemeden Gelen					3 Nolu Yüklemeden İ= 500 Gün Sonradan anlık BSB dU3+4 (dU4 - dU3)					3 ve 4 Nolu Yüklemeden Gelen ve İ= 500 Gün sonradan (dU2+4 (dU4 - dU3))(1-Uv/2) değiş Uv/2)									
		4 Nolu Yüklemeden					4 Nolu Yüklemeden					Yüklemeden					Yüklemeden					Yüklemeden									
Nakla No	Derinlik (m)	Kot (m)	Tabaka Kalınlığı (m)	O.C.R.	Sırtlam (%)	A	Dolgu Yüklü					dS3					(dU4 - dU3)					İ= 500 Gün Uv/2					1 - Uv/2)				
							dS1 (kN/m²)	dS2 (kN/m²)	dS3 (kN/m²)	dS4 (kN/m²)	dS5 (kN/m²)	dS1+dS2 (kN/m²)	dS1+dS3 (kN/m²)	dS1+dS4 (kN/m²)	dS1+dS5 (kN/m²)	dS2+dS3 (kN/m²)	dS2+dS4 (kN/m²)	dS2+dS5 (kN/m²)	dS3+dS4 (kN/m²)	dS3+dS5 (kN/m²)	dS4+dS5 (kN/m²)	Uv/2	(%)	Uv/2	(%)	Uv/2	(%)	Uv/2	(%)		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18														
298	0,00	-8,00	1,00	0,083	0,280	171,980	146,280	22,700	5,902	155,182	104,378	50,843	50,847	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001														
298	1,00	-5,00	3,00	0,187	0,280	170,270	132,680	37,580	8,771	142,481	83,810	48,851	48,859	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001														
314	4,00	-2,00	3,00	0,280	0,280	168,750	108,380	62,370	16,216	122,568	81,237	41,359	41,374	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001														
305	7,00	-1,00	3,00	0,280	0,280	168,750	108,380	62,370	16,216	122,568	81,237	41,359	41,374	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001														
348	10,00	-4,00	3,00	0,447	0,300	168,320	79,598	88,734	28,820	106,208	82,828	43,380	43,400	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001														
347	13,00	-7,00	3,00	0,456	0,440	165,920	78,728	88,192	39,244	115,972	84,300	51,872	51,893	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001														
346	16,00	-10,00	2,00	0,484	0,630	163,720	73,459	90,261	56,884	130,323	88,184	61,139	61,159	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001														
345	18,00	-12,00	2,00	0,455	0,720	160,600	71,070	89,530	84,482	135,532	75,221	60,311	60,330	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001														
324	20,00	-14,00	2,00	0,340	0,550	158,650	65,319	91,331	50,232	115,551	74,980	40,591	40,611	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001														
380	22,00	-16,00	2,00	0,278	0,580	153,280	68,985	84,305	48,740	118,725	77,345	41,380	41,401	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001														
351	24,00	-18,00	2,00	0,259	0,640	151,840	70,297	81,543	48,428	125,725	81,384	44,381	44,381	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001														

YÜKLEM No 4
AKS No B24

Konsolidasyon Yüzdesi Hesabı

Noda No	Derinlik (m)	Kot (m)	Tabaka Kalınlığı (m)	3 nolu Yüklemeden												U14	
				Tabaka			Ortalama			Ortalama			(A1+A2)			A1	A1/(A1+A2)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
298	0,00	-8,00	1,00	50,847	49,853	0,005	0,005	49,853	0,005	49,848	1,000	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
298	1,00	-5,00	3,00	48,859	45,116	0,005	0,005	135,349	0,014	135,338	1,000	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
314	4,00	-2,00	3,00	41,374	41,313	0,004	0,004	123,838	0,012	123,828	1,000	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
305	7,00	-1,00	3,00	41,251	42,328	0,004	0,004	126,978	0,013	126,965	1,000	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
348	10,00	-4,00	3,00	43,400	47,547	0,004	0,004	142,641	0,014	142,628	1,000	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
347	13,00	-7,00	3,00	51,893	56,428	0,005	0,005	169,279	0,017	169,262	1,000	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
348	16,00	-10,00	2,00	61,159	60,745	0,006	0,006	121,480	0,012	121,478	1,000	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
345	18,00	-12,00	2,00	60,330	50,471	0,006	0,006	100,941	0,010	100,931	1,000	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
374	20,00	-14,00	2,00	40,611	41,008	0,004	0,004	82,012	0,008	82,004	1,000	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
380	22,00	-16,00	2,00	41,401	42,881	0,004	0,004	85,782	0,004	85,758	1,000	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
351	24,00	-18,00	2,00	44,381	44,381	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Toplam= 24,00

1138,242 0,109 1138,133 0,9999

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANLASYON MERKEZİ

Tablo 4.4f. B24 Aksı için Boşluk Suyu Basıncı Artışları ve Konsolidasyon

Yüzdesi Hesabı (Yüklemeler 6) Tablosu

YÜKLEME No AKS No	6 B24	Yüklemeler 6 'den Gelen Doğru Yüklü Altında Oluşan Skempton - Bjerrum Metoduna Göre Hesaplanmış Boşluk Suyu Basıncı Artışları										5 Nolu Yüklemeden Gelen			5 Nolu Yüklemeden t= 500 Gün Sonradan artmış BSB			5 ve 6 Nolu Yüklemeden Gelen ve t= 400 Gün sonradan (d _{U5} + (d _{U6} - d _{U5})) / (1 - U _{v,f}) d _{U5} + (d _{U6} - d _{U5}) d _{U5} + (d _{U6} - d _{U5}) (%)		
		6 Nolu Yüklemeden										5 Nolu Yüklemeden			5 Nolu Yüklemeden			5 ve 6 Nolu Yüklemeden		
Nokta No	Derinlik (m)	Kot (m)	Tabaka Kalınlığı (m)	O.C.R. (%)	A (%)	Sıvı (%)	Yüklemeler 6 Nolu					Yüklemeler 6 Nolu			Yüklemeler 6 Nolu			Yüklemeler 6 Nolu		
							Doğru Yüklü	d _{U1}	d _{U2}	d _{U3}	d _{U4}	d _{U5}	d _{U6}	d _{U7}	d _{U8}	d _{U9}	d _{U10}	d _{U11}	d _{U12}	d _{U13}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
288	0.00	-6.00	1.00	0.088	0.140	0.088	278.870	253.910	25.960	3.834	257.544	164.773	82.771	92.781	0.888	0.001	0.083			
289	1.00	-5.00	3.00	0.78	0.205	0.180	278.870	227.850	52.070	9.373	236.873	151.758	85.214	85.224	0.888	0.001	0.083			
314	4.00	-2.00	3.00	3.85	0.341	0.280	278.230	200.950	78.280	20.353	221.303	137.892	83.811	83.828	0.888	0.001	0.084			
305	7.00	-1.00	3.00	2.28	0.427	0.180	278.010	185.750	93.260	16.787	202.637	123.632	78.904	78.918	0.888	0.001	0.079			
348	10.00	-4.00	3.00	1.73	0.508	0.280	278.610	168.650	108.960	31.588	201.248	110.760	80.486	80.493	0.888	0.001	0.090			
347	13.00	-7.00	3.00	1.45	0.508	0.430	278.060	169.010	108.050	48.882	215.802	114.044	101.858	101.858	0.888	0.001	0.102			
348	16.00	-10.00	2.00	1.25	0.542	0.630	278.580	168.530	111.050	70.346	237.278	124.138	113.137	113.131	0.888	0.001	0.113			
345	18.00	-12.00	2.00	1.20	0.534	0.720	278.050	168.530	111.120	80.008	246.838	130.843	118.284	118.289	0.888	0.001	0.116			
324	20.00	-14.00	2.00	1.15	0.474	0.820	278.510	168.530	108.880	88.188	234.718	130.438	104.280	104.285	0.888	0.001	0.104			
360	22.00	-16.00	2.00	1.09	0.542	0.980	278.270	163.720	112.950	86.404	230.125	133.924	98.201	98.216	0.888	0.001	0.098			
351	24.00	-18.00	2.00	1.05	0.453	0.840	278.350	163.870	112.480	71.887	235.857	138.388	97.488	97.488	1.000	0.000	0.000			

YÜKLEME No 6
AKS No B24
Konsolidasyon Yüzdesi Hesabı

Nokta No	Derinlik (m)	Kot (m)	Tabaka Kalınlığı (m)	5 nolu Yüklemeden Ortalama t= 400 Gün Ortalama (A1+A2)										A1	A1/(A1+A2)	U _{U6}
				d _{U1}	d _{U2}	d _{U3}	d _{U4}	d _{U5}	d _{U6}	d _{U7}	d _{U8}	d _{U9}	d _{U10}			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
296	0.00	-3.00	1.00	92.781	89.002	0.093	0.089	89.002	0.089	0.089	0.089	0.089	0.089	88.913	0.999	
298	1.00	-5.00	3.00	85.224	84.425	0.085	0.084	253.274	0.253	253.274	0.253	253.274	0.253	253.021	0.999	
314	4.00	-2.00	3.00	83.826	81.271	0.084	0.081	243.812	0.244	243.812	0.244	243.812	0.244	243.569	0.999	
305	7.00	-1.00	3.00	78.916	84.705	0.079	0.085	254.114	0.254	254.114	0.254	254.114	0.254	253.860	0.999	
348	10.00	-4.00	3.00	90.493	96.175	0.090	0.096	288.524	0.289	288.524	0.289	288.524	0.289	288.235	0.999	
347	13.00	-7.00	3.00	101.856	107.494	0.102	0.107	322.481	0.322	322.481	0.322	322.481	0.322	322.158	0.999	
346	16.00	-10.00	2.00	113.131	114.710	0.113	0.115	229.420	0.229	229.420	0.229	229.420	0.229	229.191	0.999	
345	18.00	-12.00	2.00	116.289	110.292	0.116	0.110	220.583	0.221	220.583	0.221	220.583	0.221	220.363	0.999	
324	20.00	-14.00	2.00	104.295	100.255	0.104	0.100	200.510	0.201	200.510	0.201	200.510	0.201	200.310	0.999	
360	22.00	-16.00	2.00	96.216	96.842	0.096	0.048	193.684	0.096	193.684	0.096	193.684	0.096	193.587	1.000	
351	24.00	-18.00	2.00	97.488	97.488	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Toplam=															2293.206	0.9990



Tablo 4.4g. B24 Aksı için Boşluk Suyu Basıncı Artışları ve Konsolidasyon

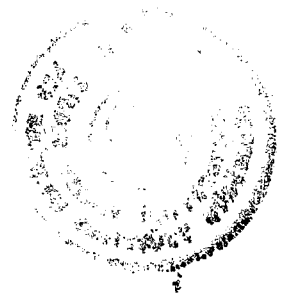
Yüzdesi Hesabı (Yüklemeye 7)Tablosu																	
YÜKLEME No		Yüklemeye No 7 'den Gelen Doğru Yüklü Alınmış Olmayan															
AKS No		Stokton - Bjerrum Metoduna Göre Hesaplanmış Boşluk Suyu Basıncı Artışları															
7		7 Nolu															
B24		Yüklemeye'deki															
		Doğru Yüklü															
		Yüklemeye'den															
		Gelen															
		6 Nolu															
		8 Nolu															
		6 ve 7 Nolu															
		Gelen ve t= 500 Gün sonraki															
		(dU6+ (dU7 - dU8))(t=1-2g)															
		delta U(v,r,t)															
		(kN/m ²)															
		1 - Uv(t)															
		Uv,r															
		(%)															
		t= 500 Gün															
		Sonradan artı BBS															
		dU8+ (dU7 - dU8)															
		(dU7 - dU8)															
		13															
		14															
		15															
		16															
		17															
		18															
		0.015															
		0.014															
		0.008															
		0.005															
		-0.017															
		-0.018															
		-0.017															
		-0.018															
		-0.012															
		-0.004															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															
		0.000															

YÜKLEME No 7
AKS No B24 Konsolidasyon Yüzdesi Hesabı

Nokta No	Derinlik (m)	Kot (m)	Tabaka Kalınlığı (m)	6 nolu Yüklemeye'den		Ortalama		500 Gün		Ortalama		(A1+A2)		U16	
				dU1 (kN/m ²)	dU2 (kN/m ²)	dU1 (kN/m ²)	dU2 (kN/m ²)	dU1 (kN/m ²)	dU2 (kN/m ²)	dU1 (kN/m ²)	dU2 (kN/m ²)	dU1*Tabaka Kal. (kN/m ²)	dU2*Tabaka Kal. (kN/m ²)	A1	A1/(A1+A2)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
296	0.00	+8.00	1.00	14.673	14.188	0.015	0.014	14.188	0.014	0.014	0.014	14.175	0.989	0.989	0.989
298	1.00	+5.00	3.00	13.705	10.672	0.014	0.011	32.015	0.032	0.032	0.032	31.983	0.989	0.989	0.989
314	4.00	+2.00	3.00	7.638	6.285	0.008	0.006	18.856	0.019	0.019	0.019	18.837	0.989	0.989	0.989
305	7.00	-1.00	3.00	4.933	2.467	0.005	0.002	7.400	0.007	0.007	0.007	7.392	0.989	0.989	0.989
348	10.00	-4.00	3.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
347	13.00	-7.00	3.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
346	16.00	-10.00	2.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
345	18.00	-12.00	2.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
324	20.00	-14.00	2.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
360	22.00	-16.00	2.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
351	24.00	-18.00	2.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Toplam= 24.00

72.460 0.072 72.388 0.9990



Tablo 4.4h. B24 Aksı için Boşluk Suyu Basıncı Artışları ve Konsolidasyon

Yüzdesi Hesabı (Yükleme 8) Tablosu

Yüzdesi Hesabı (Yükleme 8)Tablosu																	
YÜKLEME No		Yükleme No 8 'den Gelen Doğru Yüklü Alanda Oluşan Skempton - Bjerrum Metoduyla Göre Hesaplanmış Boşluk Suyu Basıncı Artışları										7 Nolu Yüklemeden		7 ve 8 Nolu Yüklemeden			
AKS No	B24	8 Nolu Yüklemeden					7 Nolu Yüklemeden					7 Nolu Yüklemeden		7 ve 8 Nolu Yüklemeden			
Nokta No	Derinlik (m)	Kot (m)	Tabaka Kalınlığı (m)	O.C.R.	Sıyım (%)	A	Yüklemede					Gelen	dL7 (dL8 - dL7)	U _{vr} (%)	1 - U _{vr} (%)	7 ve 8 Nolu Yüklemeden Gelen ve t= 1600 Gün sonraki [dL7-(dL8 - dL7) / (1-U _{vr})] data U _{vr} (%)	
							Doğu Yüklü	GS1 (kN/m ²)	GS2 (kN/m ²)	GS3 (kN/m ²)	A*(GS1+GS2+GS3) (kN/m ²)						dL7
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
296	0.00	+8.00	1.00	0.041	0.160	334.920	320.260	14.630	322.631	272.125	50.508	50.521	0.998	0.001	0.001	0.001	0.001
298	1.00	+5.00	3.00	0.78	0.182	0.180	334.690	298.010	46.640	8.755	294.765	250.593	44.172	44.186	0.999	0.001	0.001
314	4.00	+2.00	3.00	0.85	0.265	0.260	334.420	250.470	83.950	21.927	272.287	228.057	43.440	43.448	0.999	0.001	0.001
305	7.00	-1.00	3.00	2.29	0.352	0.280	334.450	219.950	114.880	28.899	249.449	207.361	42.059	42.063	0.999	0.001	0.001
348	10.00	-4.00	3.00	1.73	0.418	0.290	334.230	188.480	145.740	42.265	230.755	183.782	46.992	46.975	0.999	0.001	0.001
347	13.00	-7.00	3.00	1.45	0.421	0.440	334.060	187.820	149.240	64.346	252.168	200.080	52.075	52.060	0.999	0.001	0.001
346	16.00	-10.00	2.00	1.25	0.434	0.640	334.680	186.360	148.320	94.925	281.285	218.710	61.575	61.557	0.999	0.001	0.001
345	18.00	-12.00	2.00	1.20	0.435	0.860	334.810	186.370	148.540	130.715	317.085	228.888	88.187	88.178	0.999	0.001	0.001
324	20.00	-14.00	2.00	1.15	0.459	0.890	334.690	186.380	139.390	123.097	319.467	222.576	96.891	96.878	0.999	0.001	0.001
380	22.00	-16.00	2.00	1.09	0.485	0.590	335.000	205.330	128.870	75.209	280.539	226.875	54.884	54.860	0.999	0.001	0.001
351	24.00	-18.00		1.08	0.495	0.640	335.200	205.410	128.790	83.068	288.478	233.435	55.041	55.041	1.000	0.000	0.000

YÜKLEME No 8
AKS No B24

Konsolidasyon Yüzdesi Hesabı

Nokta No	Derinlik (m)	Kot (m)	Tabaka Kalınlığı (m)	dU ₁ (kN/m ²)	dU ₂ (kN/m ²)	dU ₃ (kN/m ²)	Ortalama dU ₁ (A1+A2) (kN/m ²)	Ortalama dU ₂ (A1+A2) (kN/m ²)	Ortalama dU ₃ (A1+A2) (kN/m ²)	U _{f8} A1/(A1+A2)	U _{f8} A1/(A1+A2)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
296	0.00	+8.00	1.00	50.521	47.353	0.051	0.047	47.353	0.047	47.306	0.999
298	1.00	+5.00	3.00	44.186	43.817	0.044	0.044	131.451	0.131	131.319	0.999
314	4.00	+2.00	3.00	43.448	42.755	0.043	0.043	128.266	0.128	128.137	0.999
305	7.00	-1.00	3.00	42.063	44.519	0.042	0.045	133.556	0.134	133.423	0.999
348	10.00	-4.00	3.00	46.975	49.517	0.047	0.050	148.552	0.149	148.403	0.999
347	13.00	-7.00	3.00	52.060	56.808	0.052	0.057	170.425	0.170	170.255	0.999
346	16.00	-10.00	2.00	61.557	74.868	0.062	0.075	149.736	0.150	149.586	0.999
345	19.00	-12.00	2.00	88.179	92.529	0.088	0.093	185.057	0.185	184.872	0.999
324	20.00	-14.00	2.00	96.879	75.769	0.097	0.076	151.538	0.152	151.367	0.999
360	22.00	-16.00	2.00	54.680	54.850	0.055	0.027	109.700	0.055	109.646	1.000
351	24.00	-18.00		55.041		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Toplam=										1355.635	1.301
										1354.335	0.9990



Tablo 4.4i. B24 Aksı için Boşluk Suyu Basıncı Artışları ve Konsolidasyon

YÜKLEME No 9		Yüzdesi Hesabı (Yüklem 9) Tablosu									
AKS No B24		Yüklem No 9 'den Gelen Doğru Yüce Alınma Olupun									
		Stempton - Bjerrum Metoduyla Güne Hesaplanmış Boşluk Suyu Basıncı Artışları									
Nokta No	Derinlik (m)	Tabaka Kalınlığı (m)	O.C.R.	Sıyın (%)	A	9 Nolu Yüklemeden					8 ve 9 Nolu Yüklemeden Gelen ve t= 1000 Gün sonraki (dUB-dUB) (kN/m²)
						Doğu Yüce dS1 (kN/m²)	dS1 (kN/m²)	dS1-dS3 (kN/m²)	A*(dS1-dS3) (kN/m²)	dUB-dUB (kN/m²)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
298	0.00	+8.00	1.00	0.006	0.280	0.280	343.820	332.230	11.390	2.981	335.191
298	1.00	+5.00	3.00	9.78	0.120	0.280	334.700	295.800	38.900	10.114	305.914
314	4.00	+2.00	3.00	3.85	0.236	0.280	334.880	258.970	75.910	19.737	278.707
305	7.00	-1.00	3.00	2.29	0.297	0.280	335.100	222.050	113.070	31.060	253.990
348	10.00	-4.00	3.00	1.73	0.358	0.280	335.270	185.130	150.140	43.541	228.871
347	13.00	-7.00	3.00	1.45	0.359	0.440	335.890	184.530	151.360	88.598	251.128
346	16.00	-10.00	2.00	1.25	0.384	0.590	338.180	183.950	154.230	90.998	274.948
345	18.00	-12.00	2.00	1.20	0.387	0.730	339.500	183.270	156.230	114.048	287.318
324	20.00	-14.00	2.00	1.15	0.418	0.590	339.570	184.450	145.120	78.816	278.298
340	22.00	-16.00	2.00	1.09	0.475	0.590	340.840	205.540	135.300	78.827	285.387
351	24.00	-18.00		1.08	0.480	0.640	341.490	205.430	136.060	87.078	292.508

YÜKLEME No 9
AKS No B24
Konsolidasyon Yüzdesi Hesabı

Nokta No	Derinlik (m)	Tabaka Kalınlığı (m)	Kot (m)	8 nolu Yüklemeden Ortalama t= 1600 Gün Ortalama (A1+A2)								U19 A1/(A1+A2)
				dU1 (kN/m²)	dU2 (kN/m²)	dU3 (kN/m²)	dU4 (kN/m²)	dU5 (kN/m²)	dU6 (kN/m²)	dU7 (kN/m²)	dU8 (kN/m²)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
298	0.00	+6.00	1.00	12.611	11.902	0.000	0.000	11.902	0.000	11.902	1.000	
298	1.00	+5.00	3.00	11.193	8.823	0.000	0.000	26.469	0.000	26.469	1.000	
314	4.00	+2.00	3.00	6.453	5.368	0.000	0.000	16.104	0.000	16.104	1.000	
305	7.00	-1.00	3.00	4.283	2.141	0.000	0.000	6.424	0.000	6.424	1.000	
348	10.00	-4.00	3.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
347	13.00	-7.00	3.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
346	16.00	-10.00	2.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
345	18.00	-12.00	2.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
324	20.00	-14.00	2.00	0.000	2.442	0.000	0.000	4.883	0.000	4.883	1.000	
360	22.00	-16.00	2.00	4.883	4.458	0.000	0.000	8.916	0.000	8.916	1.000	
351	24.00	-18.00		4.033		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Toplam=				24.00				74.638	0.000	74.638	1.000	



BÖLÜM 5.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. GİRİŞ

Yumuşak zeminler üzerine inşa edilen dolguların tasarımında stabilitenin korunması ve deformasyonların oluşum, yön, miktar, gidiş ve şekillerinin belirlenmesi birincil öneme sahip ölçütlerdir.

Dolgu altındaki yumuşak zeminde oluşan deformasyonlar, oturmalar ve yanal deplasmanlar şeklinde iki tipte genellenebilir. Yanal deplasmanlarla oturmalar doğrudan ilişkilidir ve ayrı yanal deplasmanlar stabilitenin dolaylı göstergeleridir.

Aşamalı olarak inşa edilen dolguların, birbirini takip eden yükleme ve konsolidasyon aşamalarında oluşan oturmalar, tip ve oluşum sebepleri bakımından farklılık gösterirler ve bu farklılıktan yararlanılarak değişik oturma bileşenlerinin miktarları tayin edilebilir.

Yükleme devrelerinde oluşan oturmaların bileşenleri, ani oturmalar, konsolidasyon oturmaları ve krip oturmaları olabilir. Bunlardan ani oturmalar zeminde oluşan drenajsız kayma hareketlerini neticesidir. Yükleme devrelerinde kaçınılmaz olarak bir miktar konsolidasyonun gelişmesi sebebi ile konsolidasyon oturmaları oluşur ve yükleme süresi yeterli uzunluktaysa drenajsız krip hareketleri de etkili olabilir, fakat hesapları daha fazla zorlaştırmamak amacıyla yükleme devrelerindeki krip etkisi genellikle ihmal edilir. Konsolidasyon devrelerinde ise oturmalar konsolidasyon ve krip etkisiyle oluşurlar. Dolgu yükleme devrelerinde oluşan kayma davranışının etkisi, hem oturmaları hem de yanal akmaya arttırıcı yöndedir. Krip etkisi de oturmaları ve özellikle yanal deformasyonları arttırıcı niteliktedir. Diğer taraftan doygun normal konsolide zeminde konsolidasyon her yönde sıkışmayı sağlar, böylece oturmalar artar, fakat yanal akma azalır.



Loganathan et al. , (1993) 'ün önerdiği Arazi Deformasyon Analizi oturma ve yanal akma için arazide yapılan ölçüm sonuçlarından yararlanarak oturma bileşenlerini aşamalı dolgu inşa programına uyan bir sistemle hesaplama olanağı getirmiştir. Söz konusu yöntem, değişik aşamalarda yapılan ölçümler ile oturma bileşenleri arasında doğrusal bağıntılar geliştirmeye dayalıdır ve bu özelliği sebebiyle teorik sakıncalar vardır. Ayrıca bu yöntemle bulunan oturma bileşenleri ile tasarıma ait yükleme ve gerilme parametreleri arasında bağıntı kurmaya yönelik araçlar bu yöntemde mevcut değildir.

Arazi ölçüm sonuçlarının, dolgu tasarımının arazide kontrol edilmesine ve yeni şartlara uyarlanmasına olanak verecek bir biçimde yorumlanmasına ve analizinin yapılmasını sağlayabilecek yöntemlere gereksinim duyulmaktadır. Böyle bir yöntemin deformasyon bileşenleri için uygun yorum getirebilmesi, yöntemin gerçek zemin davranışını yansıtmaya derecesine bağlıdır.

Alibey Barajı örneğinde olduğu gibi kalın yumuşak zemin tabakaları üzerinde inşa olunan toprak dolgularda, temel zemininin davranışının önceden öngörülebilmesi büyük önem taşımaktadır. İnşa olunacak dolgudan aktarılabilecek yükler altında temel zemininde oluşacak gerilmelerin ve zemin hareketlerinin gerçeğe yakın olarak tahmin edilebilmesi projelendirme ve inşaat programının belirlenmesi için mutlaka gerekli olmaktadır. Bunun sağlıklı olarak yapılabilmesi için teorik hesaplamalarla birlikte ölçüm ve gözlemlerinin yapılması ve öngörülen davranış ile arazide ortaya çıkan davranış arasındaki benzerlik veya farklılıkların dikkate alınması sıkça başvurulan bir yöntem olmaktadır.

5.2. Sonuçların Değerlendirilmesi

Bu tez çalışmasında, İstanbul Haliç yöresinde 35 m 'ye varan kalınlıkta yumuşak alüvyon kil tabakaları üzerinde inşa edilen Alibey Barajı bir vaka analizi olarak incelenmiştir. Bu barajın planlama ve projelendirme aşamalarında, değişik alternatifler incelendikten sonra (temel zemininin değiştirilmesi veya iyileştirilmesi gibi) barajın oldukça olağan dışı bir



kesite sahip olacak şekilde 15 yıla yayılan kademli dolgu inşaat yöntemi ile inşa edilmesine karar verilmiştir. Toprak dolgu inşaatı sırasında temel zemininde drenajsız göçmeye karşı yeterli güvenliğin sağlanması ve zemin hareketlerinin kontrol altında tutulabilmesi için geniş kapsamlı arazi ölçümleri yapılması kararlaştırılmıştır. Çok sayıda oturma plakası, boşluk suyu basıncı ölçer (piezometre) ve yanal deplasman ölçer (inklinometre) temel zemini içine yerleştirilerek oluşturulan bu monitoring sistemi ile uygulanan dolgu yükleri altında temel zemini davranışı sürekli olarak izlenmiştir. Baraj kesitinin farklı noktaları altında değişik uygulamalar ile (farklı uzunlukta kum drenler kullanarak veya kum drensiz) önce menba batardosu dolgusu ve test dolgusu altında zemin davranışı gözlenmiş, arazi davranışı ile uyumlu yükleme ve dolgu inşa programı oluşturularak barajın güvenli bir şekilde tamamlanması sağlanmıştır. Baraj inşaat bittikten sonrada arazi ölçümlerine uzun yıllar devam edilmiş ve geoteknik bilimi için çok önemli bir bilgi birikimi sağlanmıştır.

Bu tez çalışmasında öncelikle 25 yıl süre ile (1968-1983 yılları arası) kaydı tutulan çok geniş hacimli arazi ölçümleri DSİ yetkililerinden temin edilmiş, bunlar bilgisayar ortamında depolanmış ve tasnif edilmiştir. Bu çalışmalar sırasında en düzgün kayıtların oturma plakası okumaları olduğu gözlenmiştir. Piezometre ölçüm kayıtlarının ilk yıllara ait olanları (1968-1973) maalesef bulunamamış ve bu aletlerin önemli bir kısmının zaman içinde işlerliğini yitirdiği tesbit edilmiştir. Çalışmanın esas amacının temel zemini oturmalarının analizi olarak belirlenmesi nedeni ile inklinometre okumaları ayrıntılı değerlendirme kapsam dışında tutulmakla birlikte, bu kayıtların incelenmesinden baraj temel zemininde büyük çaplı yanal akımların ortaya çıkmasına izin verilmediği ve oturmaların tek boyutlu konsolidasyon teorisi ile açıklanabilmesi olanağı bulunduğu tesbit edilmiştir.

5.2.1. Gerilme Analizi Sonuçları

Alibey Barajı temel zemininde kademli dolgu inşaatından kaynaklanan gerilme artışları ve yer değiştirmelerin hesaplanması için sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır.

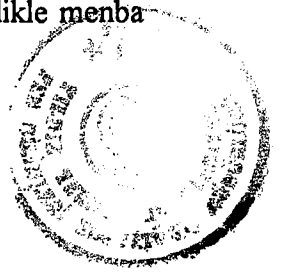


Analizlerde arazi kayıtlarının çok dikkatle incelenmesi sonucu çıkarılan ve basitleştirilmiş dokuz yükleme adımından oluşan bir yükleme (dolgu) programı kullanılmış, zeminin elasto-plastik davranışı dikkate alınmıştır. Kullanılan sonlu eleman paket programı gerilme-deformasyon analizi için geliştirilmiş olup konsolidasyon davranışını modellemek için uygun değildir. Drenajsız yükleme sırasında her yükleme kademesi için temel zemininde meydana gelen gerilme artışları ve yer değiştirmeler hesaplanmış ve plastikleşme bölgeleri belirlenmiştir. Yükleme kademelerinin (inşaat adımlarının) programlanmasının temel zemininde aşırı plastikleşmeye ve akmaya yolaçmayacak şekilde seçildiği tesbit edilmiştir. Yükleme kademeleri sırasında bekleme sürelerinde temel zemininin konsolidasyonu Terzaghi konsolidasyon teorisi ile modellenmiş ve her kademe sonunda temel zemininde meydana gelen iyileşme bir sonraki yük kademesi altında gerilme-deformasyon analizi yaparken dikkate alınmıştır.

5.2.2. Oturma Analizi Sonuçları ve Arazi Okumaları İle Karşılaştırılması

Bu çalışmada, baraj temel zemininde meydana gelen oturmalar hesaplanarak ölçülen değerler ile karşılaştırılmıştır. Temel zemini tabakalarının sıkışma özellikleri ve arazi önkonsolidasyon basıncı profilinin ayrıntılı arazi etüdları ve laboratuvar araştırmaları ile belirlendiği bu projede, kademeli yükleme altında zemin tabakalarında konsolidasyon sonucu yeterli mukavemet artışı sağlanması ve taşıma gücü açısından yeterli güvenlik sayılarına ulaşılması ile baraj inşaatının güvenli bir şekilde tamamlanması mümkün olmuştur. Bu koşullar altında baraj temel zemininde meydana gelen oturma-zaman davranışının Terzaghi konsolidasyon teorisi ile hesaplanabileceği arazi ölçümleri ile karşılaştırılarak gösterilmiştir.

Alibey Barajı temel zemininde meydana gelen oturmaların analizi için Terzaghi konsolidasyon teorisi kullanılmıştır. Kum drenlerin mevcut olduğu kesitler altında radyal konsolidasyon dikkate alınmış diğer kesitlerde tek-boyutlu konsolidasyon analizi yapılmıştır. Zemin özelliklerinin seçilmesinde baraj etüdları aşamasında gerçekleştirilen laboratuvar deney sonuçlarının yanında inşaat programına uygun olarak, öncelikle menba



batardosu altında meydana gelen oturmalar analiz edilmiş ve arazi davranışı ile uyum sağladıktan sonra, elde edilen parametreler diğer kesitlerin analizinde kullanılmıştır. Arazi okumalarının değerlendirilmesi ve bundan geri-analiz yolu ile konsolidasyon parametrelerinin belirlenmesinde Asaoka (1978) yönteminin güvenilir sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Özellikle, oturma-zaman davranışının modellenmesinde büyük önem taşıyan konsolidasyon katsayısının Asaoka (1978) yöntemi ile belirlenmesinin laboratuvar sonuçlarına göre çok daha gerçekçi olduğu sonucuna varılmıştır. Her yük kademesi için elasto-plastik gerilme-deformasyon analizi ile belirlenen ani (drenajsız) oturma miktarı ve konsolidasyon teorisi ile belirlenen oturmalar birlikte dikkate alınarak, baraj kesitinin değişik noktaları altındaki oturma-zaman ilişkileri hesaplanmıştır. Kullanılan hesap yöntemleri ve hesap düzenini gösteren tablolar Bölüm 4 'de verilmiştir(Tablo 4.3a-j).

Bu araştırmayı oluşturan kesitler menba batardosu(B22), mansap batardosu (B9), temel yükleme testi dolgusu (B24), ara dolgu (B18) ve kum drenler üzerine yükleme testi dolgusu (baraj gövdesi, B23) olarak isimlendirilmiş kesitlerdir.

Şekil 4.21, Şekil 4.23, Şekil 4.25, Şekil 4.27 ve Şekil 4.29 'da hesaplanan oturma-zaman eğrileri ile arazi ölçümleri birlikte gösterilmiştir. Hesaplanan değerler ile ölçülen oturmalar arasında oldukça iyi bir uyum olduğu gözlenmekle birlikte, bazı farklılıklarda göze çarpmaktadır.

Baraj taban zemini içine yerleştirilmiş oturma plakalarının akslara göre dağılımı ve ölçülen oturma miktarları Tablo 5.1 'de verilmiştir. Tez çalışmasında değerlendirilen tüm akslar üzerindeki oturma plakalarının arazi ölçümleri ile Asaoka (1978) metodunun uygulanması sonucunda bulunan farklı yükleme kademelerindeki konsolidasyon katsayılarının değerleri Şekil 4.20, Şekil 4.22, Şekil 4.24, Şekil 4.26 ve Şekil 4.28 'deki grafikler üzerinde gösterilmiştir.



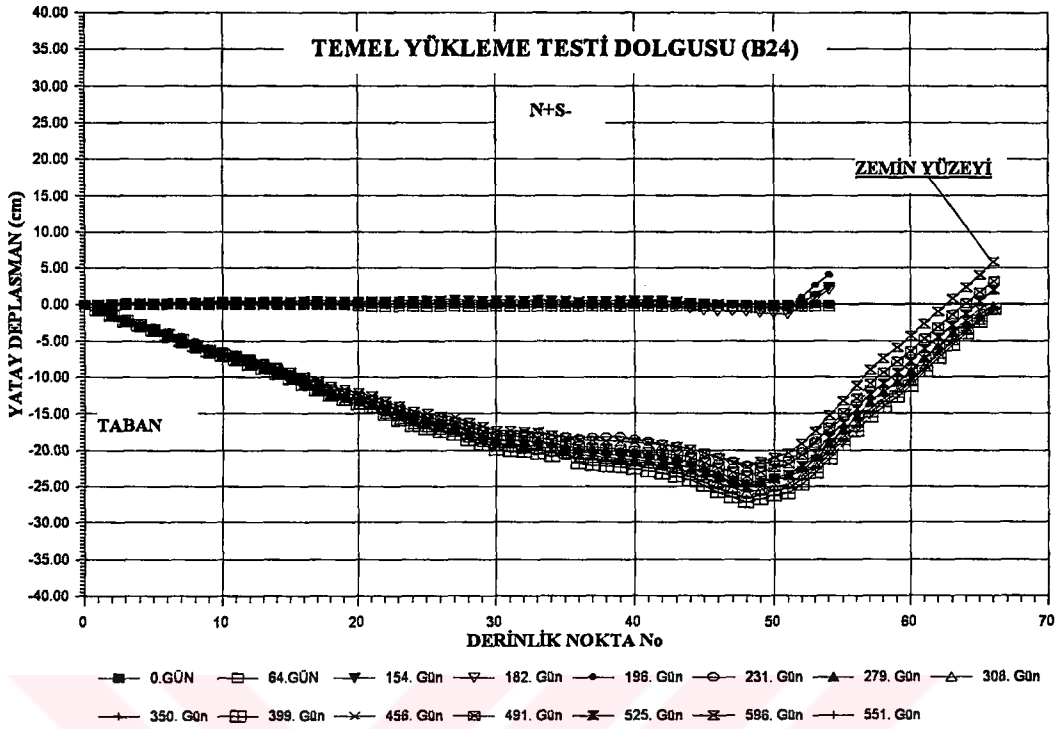
Tablo 5.1 Oturma plakalarının baraj akslarına göre yerlerinin dağılımı

Aks No	Oturma Plaka No	Oturma Plakası Yerleştirme Kotu (m)	Tabii Zemin Üst Kotu (m)	Kaya Üst Kotu (m)	Dolgu Üst Kotu (m)	Dolgu Kalınlığı (m)	Tabii Zemin Kalınlığı (m)	Oturmaya Maruz Kalan Tabaka Kalınlığı (m)	Ölçülen Toplam Oturma (m)
B23	TT-9	6.206	6.50	-8.50	34.00	27.50	15.00	14.71	1.396
B23	TT-10	5.904	6.50	-16.00	34.00	27.50	22.50	21.90	3.300
B23	TT-11	6.055	6.50	-25.00	34.00	27.50	31.50	31.06	4.872
B23	TT-12	5.928	6.50	-27.00	34.00	27.50	33.50	32.93	4.338
B23	TT-13	6.329	6.50	-27.50	34.00	27.50	34.00	33.83	3.424
B24	TT-3	5.322	7.00	-4.50	22.00	15.00	11.50	9.82	1.307
B24	TT-4	4.892	7.00	-19.00	22.00	15.00	26.00	23.89	2.072
B24	TT-5	4.753	7.00	-26.00	22.00	15.00	33.00	30.75	3.263
B24	TT-6	4.913	7.00	-26.25	22.00	15.00	33.25	31.16	3.533
B18	TT-14	11.876	6.50	-19.00	23.00	16.50	25.50	30.88	2.396
B18	TT-15	11.643	6.50	-27.00	23.00	16.50	33.50	38.64	2.713
B18	TT-16	11.564	6.50	-16.50	23.00	16.50	23.00	28.06	2.344
B9	TT-7	6.484	6.50	-27.00	14.00	7.50	33.50	33.12	1.634
B9	TT-8	6.123	6.50	-20.00	14.00	7.50	26.50	26.48	1.323
B19	TM-8	10.746	6.50	-27.50	17.00	10.50	34.00	38.25	1.876
B19	TT-18	11.698	6.50	-14.00	17.00	10.50	20.50	25.70	0.812
B22	TT-1	5.464	6.50		17.00				2.008
B22	TT-2	5.000	6.50		17.00				2.442

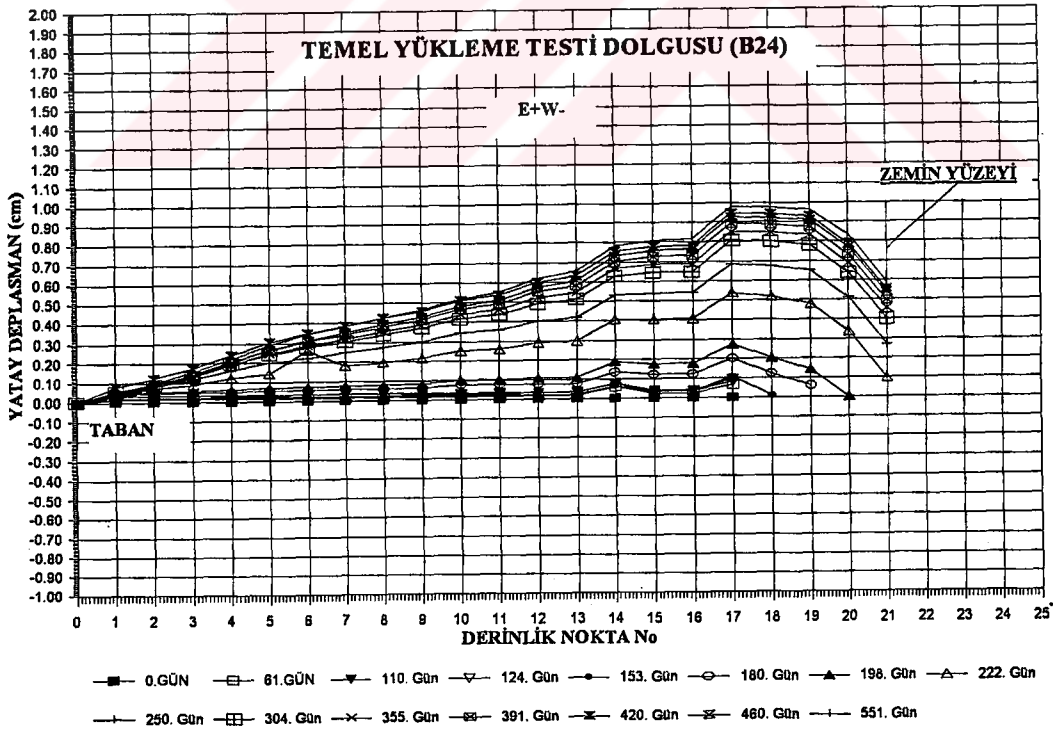
5.2.3. Arazi Yatay Yerdeğiştirme Ölçümlerinin Değerlendirilmesi

Alibey barajı altında temel zemininde yanal deformasyonların kontrolü için dolgu inşaatı öncesi test dolgusu altına anakaya 'ya kadar inen inklinometreler yerleştirilmiştir. Yerleştirilen bu entrümantasyon ile yapılan zemin hareketi ölçümleri günlük okumalarla yükleme öncesi ve sonrasında tesbit edilmiştir. Bu ölçümlerden yararlanılarak yüklemenin yanal akmaya sebep olup olmadığı güvenlik sınırları içinde belirlenmiştir. Yükleme programının devamına düşey oturma ve yatay deplasman ölçümleri ile kontrollü olarak karar verilmiştir. İnşaat öncesi yapılmış olan geoteknik etüdlerin ve test dolgusunun arazi ölçümleri ile belirlenen inşaa programı 15 yıllık bir süre ortaya koymuştur. Test dolgusu altında ve dolgu sevi dışına beş adet inklinometre yerleştirilmiştir. Inklinometre okumalarının değerlendirildiği grafik Şekil 5.1a ve Şekil 5.1b 'de verilmiştir. Inklinometre okumaları N-S ve E-W yönlerinde alınmıştır. Baraj inşaatı süresince meydana gelen





Şekil 5.1a. Test dolgusu altındaki yatay yerdeğiştirmelerin Kuzey-Güney doğrultusunda derinlikle değişimi



Şekil 5.1b Test dolgusu altındaki yatay yerdeğiştirmelerin Doğu-Batı doğrultusunda derinlikle değişimi



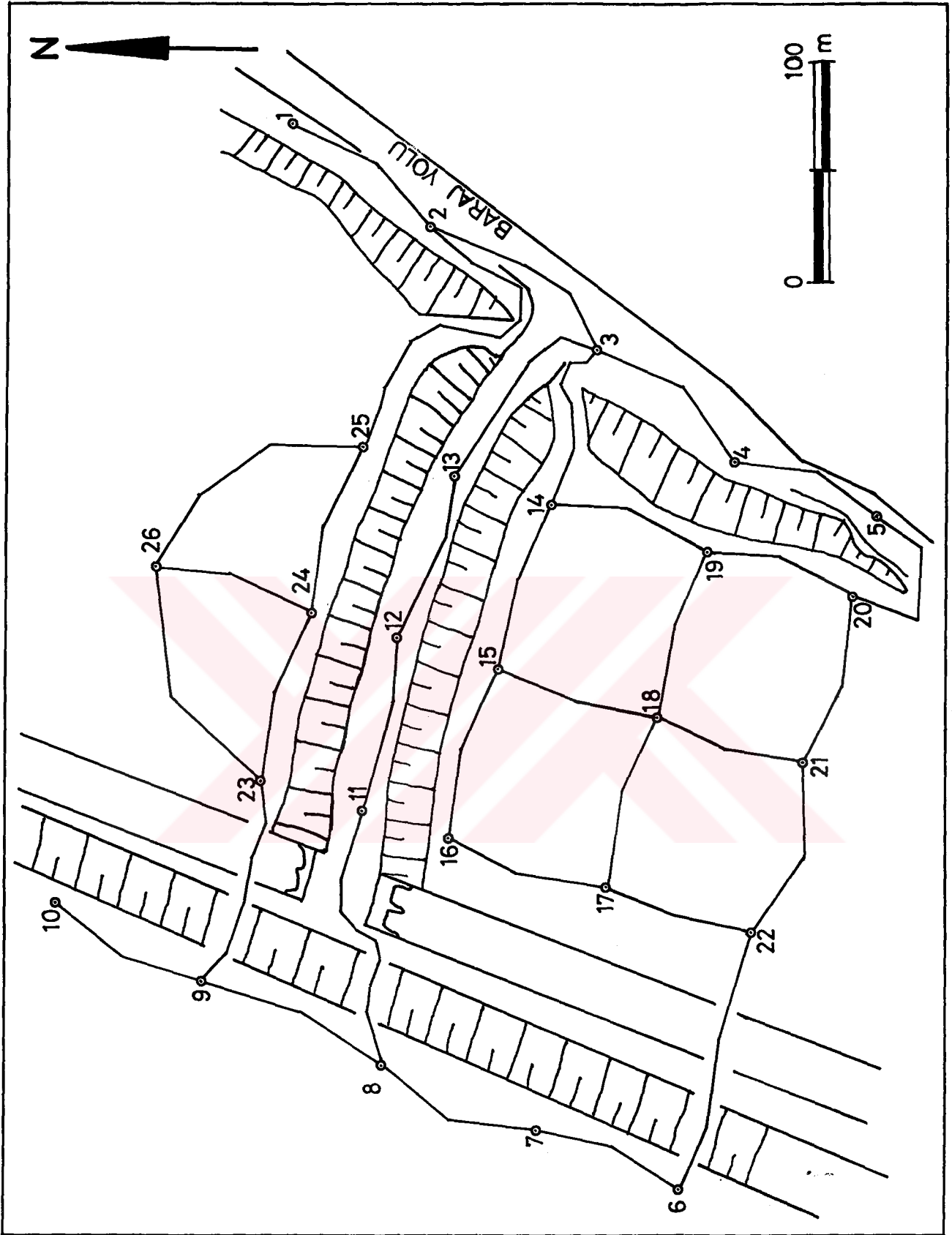
düşey ve yatay zemin hareketlerinin yerleştirilmiş olan entrümantasyonlar ile ölçülmesi dışında, jeodezik ölçümlerden yararlanarak ve sabit röper noktaları teşkil edilerek baraj gövdesinin ve diğer dolguların yatay ve düşey hareketleride ölçülmüştür. Bu ölçümlerin vektörel olarak çizilmiş grafiği Şekil 5.2b, Şekil 5.2c, Şekil 5.2d ve Şekil 5.2e'de verilmiştir. Bu ölçümler önceleri DSİ ekipleri tarafından yapılmış, daha sonra üniversitelerin Jeodezi bölümleri tarafından yapılmıştır. Bu ölçümlerin sonuçlarından baraj gövdesi ve diğer dolguların halen çok küçükte olsa bir hareketinin mevcut olduğu belirlenmiştir. İnklinometreler üzerinde yapılan okuma çalışmaları altı yıl kadar verimli olarak devam etmiştir. Dolgu sıkıştırmaları sırasında yerleştirilmiş olan bazı aletler hasar görmüş ve yerlerine yenileri takılmıştır.

5.2.4. Boşluk Suyu Basıncı Ölçümlerinin Değerlendirilmesi

Alibey Barajı temel zeminine farklı noktalar altında değişik derinliklerde çok sayıda piezometre yerleştirilmiştir. Değişik tipte piezometreler kullanılarak ölçülen değerlerin güvenilirliği araştırılmıştır. Boşluk suyu basıncı ölçümlerinden özellikle inşaat sırasında temel zemininde stabilite sorunlarına yolaçacak seviyede boşluk suyu basınçları oluşmasına engel olmak ve inşaat programını buna göre ayarlamak için yararlanılmıştır. Fakat maalesef inşaatın ilk beş yılı süresince tutulan kayıtlar temin edilememiştir. Daha sonraları da bu piezometrelerin bir çoğunun işlerliğini kaybettiği gözlenmiştir. Mevcut boşluk suyu basıncı kayıtlarının değerlendirilmesinde, rezervuar su seviyesi (ve buna bağlı hidrostatik su seviyesi) değişimlerinin değerlendirilmelerde dikkate alınmasında güçlükler yaşanmıştır.

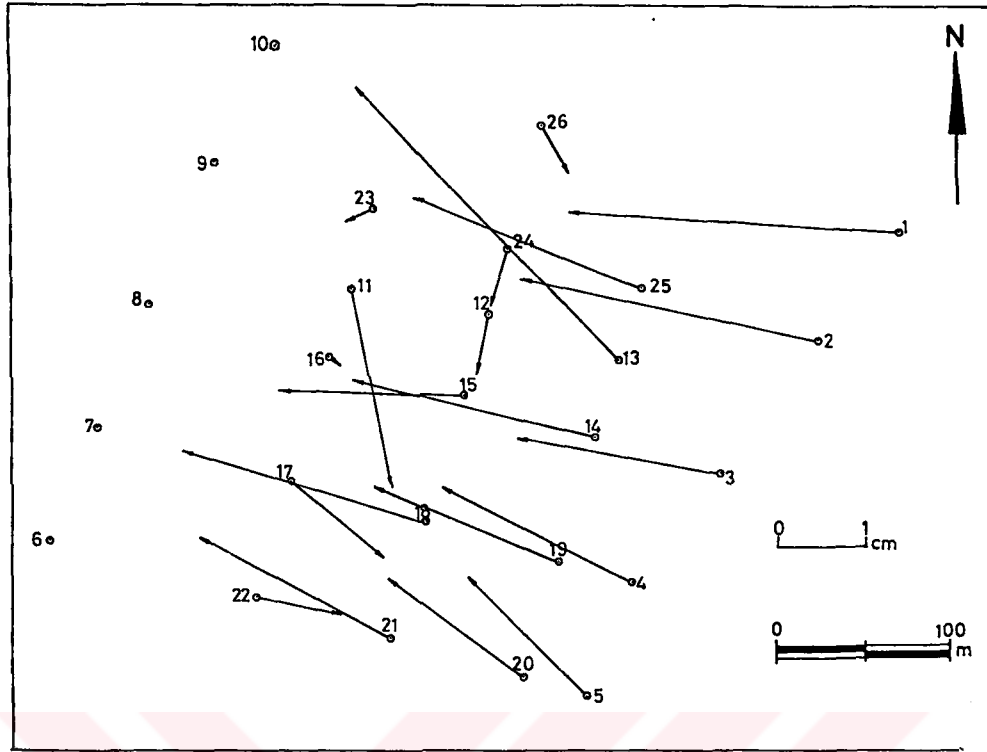
Baraj kesitindeki bir nokta altında (B24 kesiti) değişik derinliklerde ölçülen boşluk suyu basınçlarının zamanla değişimi Şekil 5.3a, Şekil 5.3b, Şekil 5.3c, Şekil 5.3d ve Şekil 5.3e 'de gösterilmiştir. Nihai yük kademesinden sonra temel zeminindeki artık boşluk suyu basınçlarının zamanla sönümlendiği gözlenmektedir. Bu kayıtlar, konsolidasyon analizinde kil tabakası ile taban kayası arasında bir çakıllı tabaka olmasından dolayı kabul edilen çift taraflı drenaj varsayımını doğrulamaktadır. Şekil 5.4 'de ise, bütün dolgu



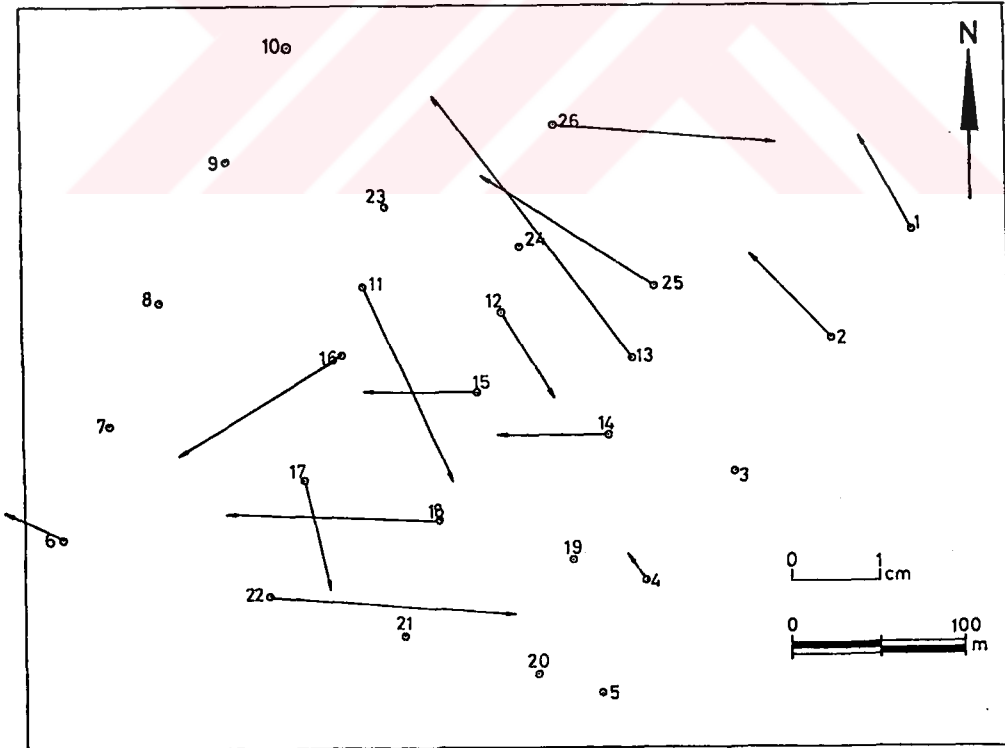


Şekil 5.2a. Yükseklik farkı ölçmelerinin planı



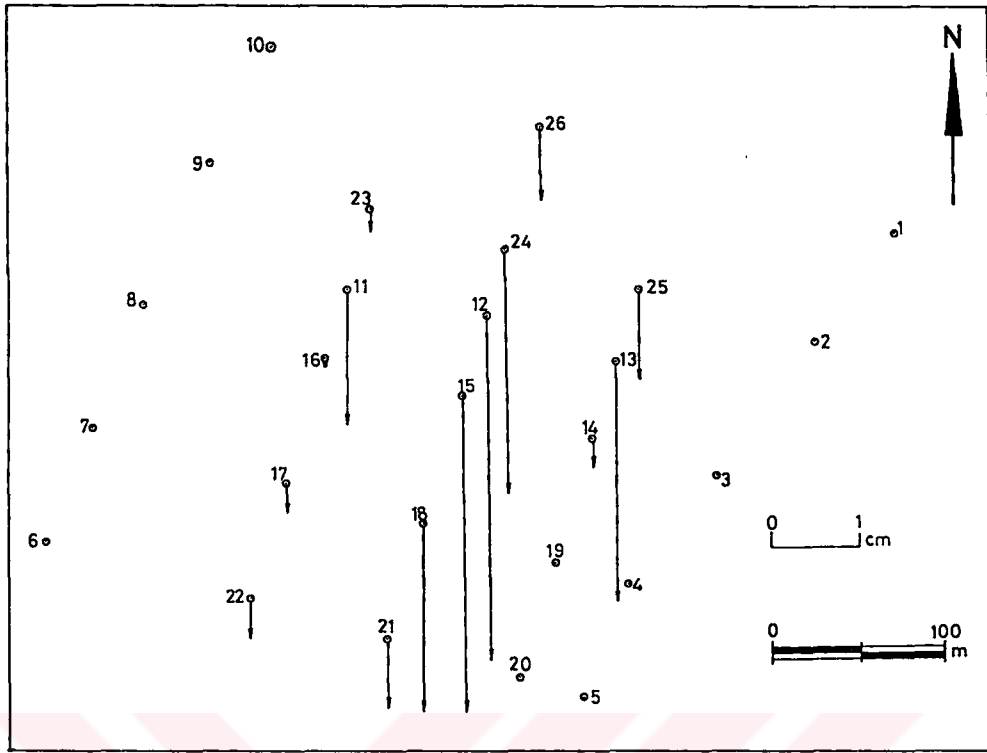


Şekil 5.2b. Yatay Hareket Vektörleri (1987-1991)

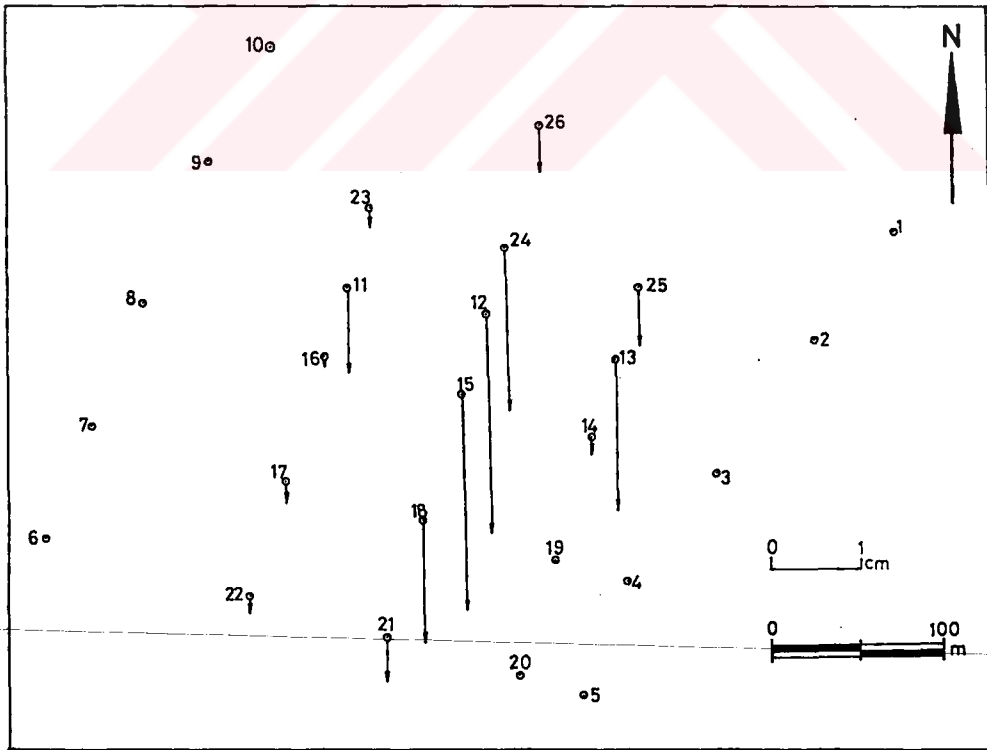


Şekil 5.2c. Yatay Hareket Vektörleri (1991-1996)



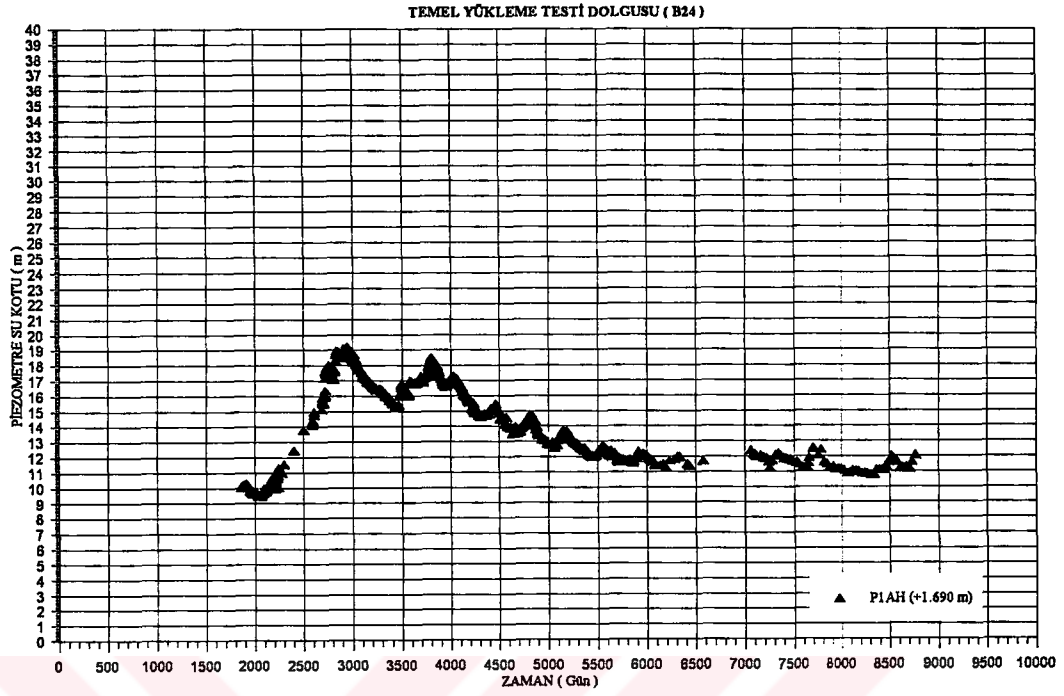


Şekil 5.2d. Düşey Hareket Vektörleri (1987-1994)

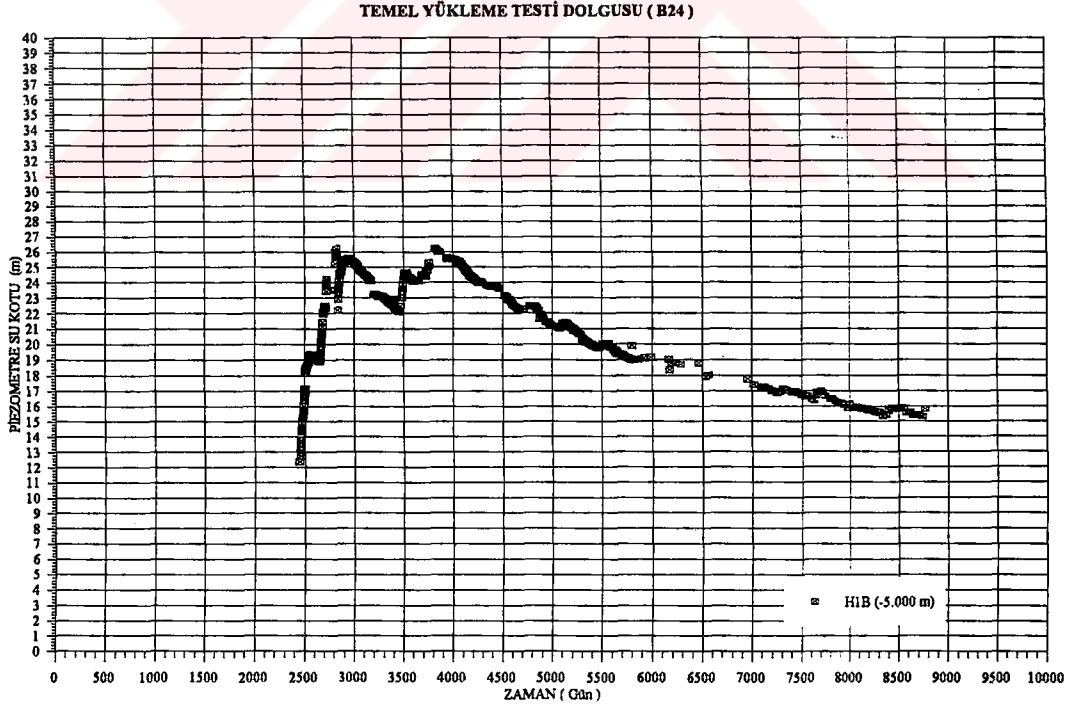


Şekil 5.2e. Düşey Hareket Vektörleri (1991-1994)



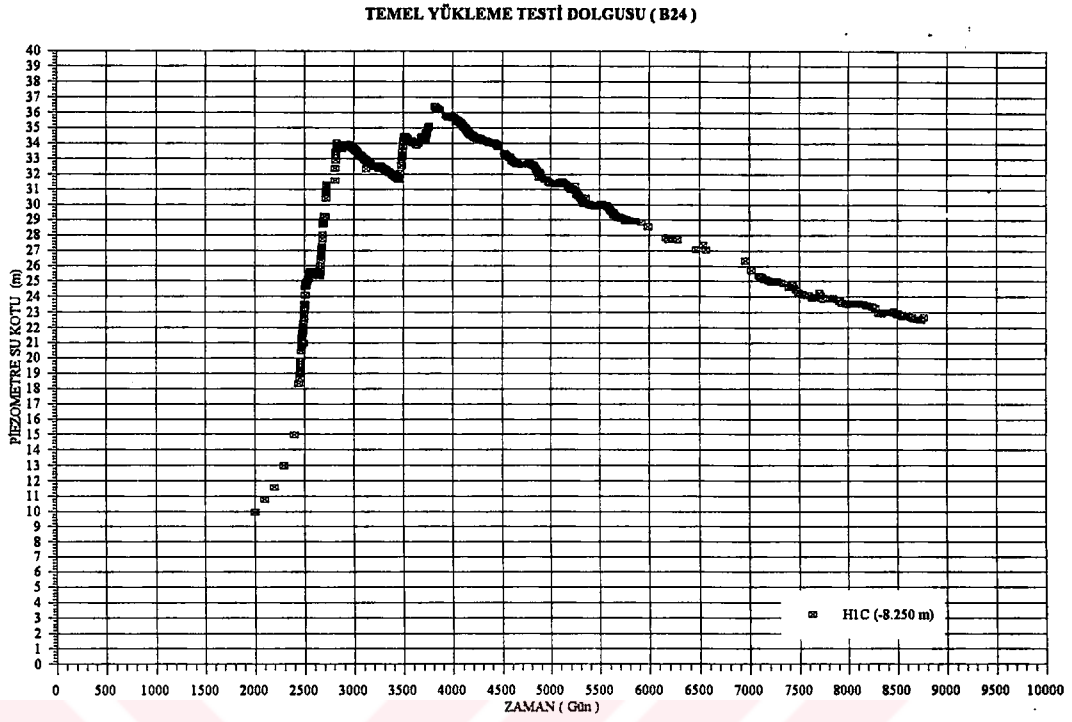


Şekil 5.3a. Boşluk suyu basınçlarının zamanla değişimi (+1.69m kotu)

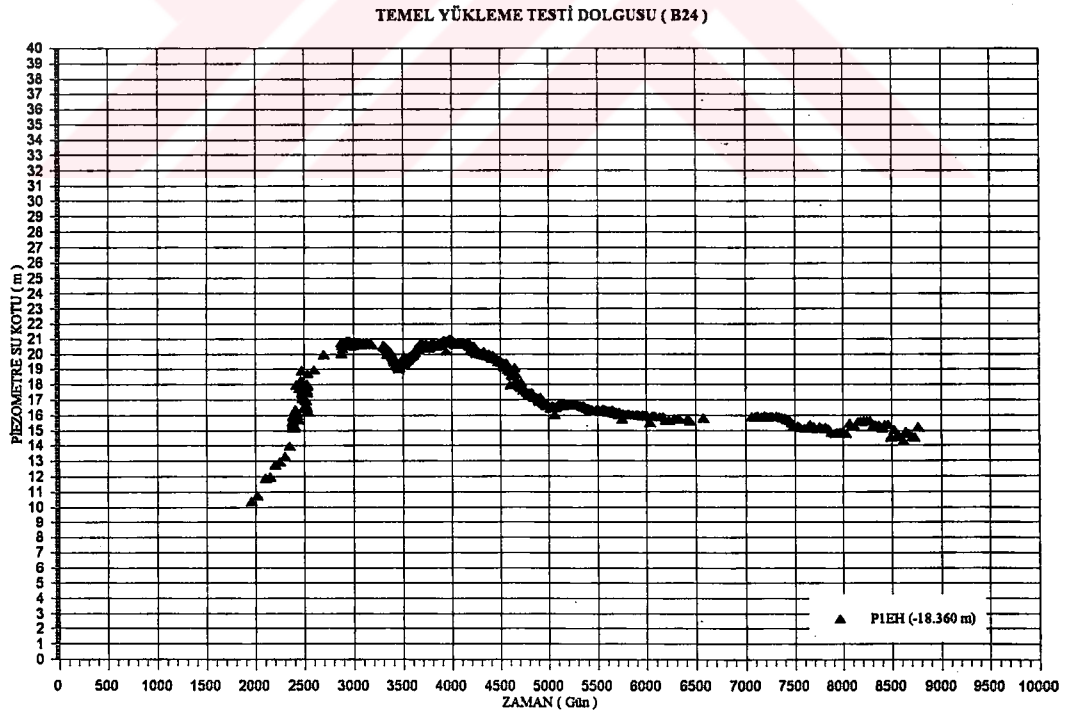


Şekil 5.3b. Boşluk suyu basınçlarının zamanla değişimi (-5.00m kotu)



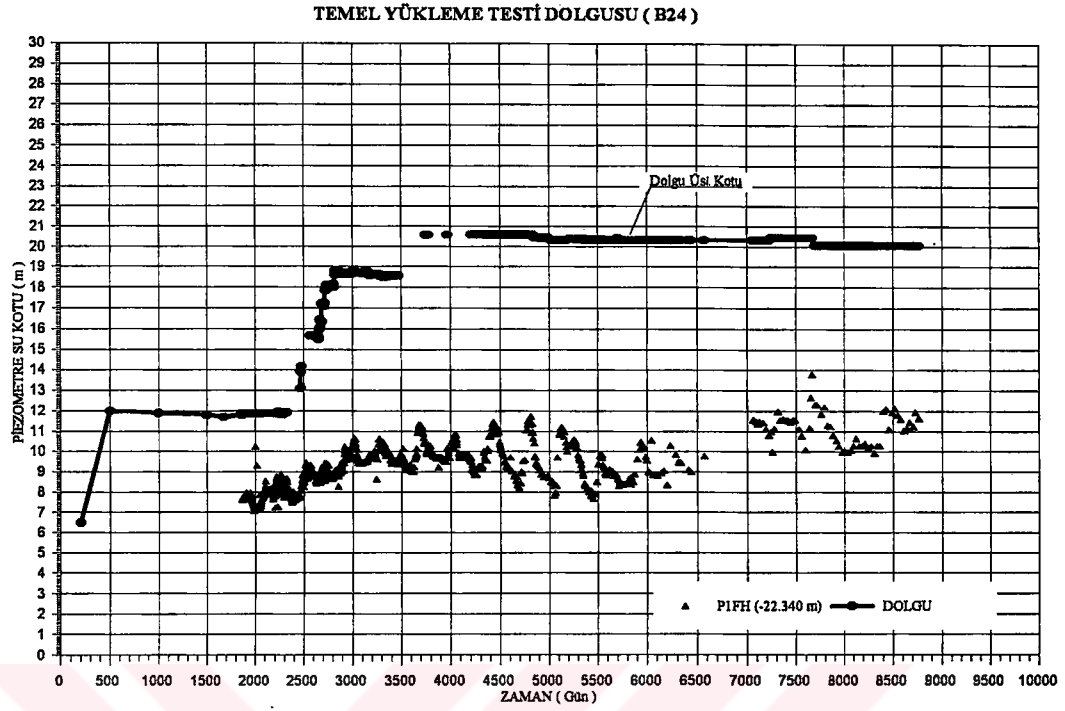


Şekil 5.3c. Boşluk suyu basınçlarının zamanla değişimi (-8.25m kotu)

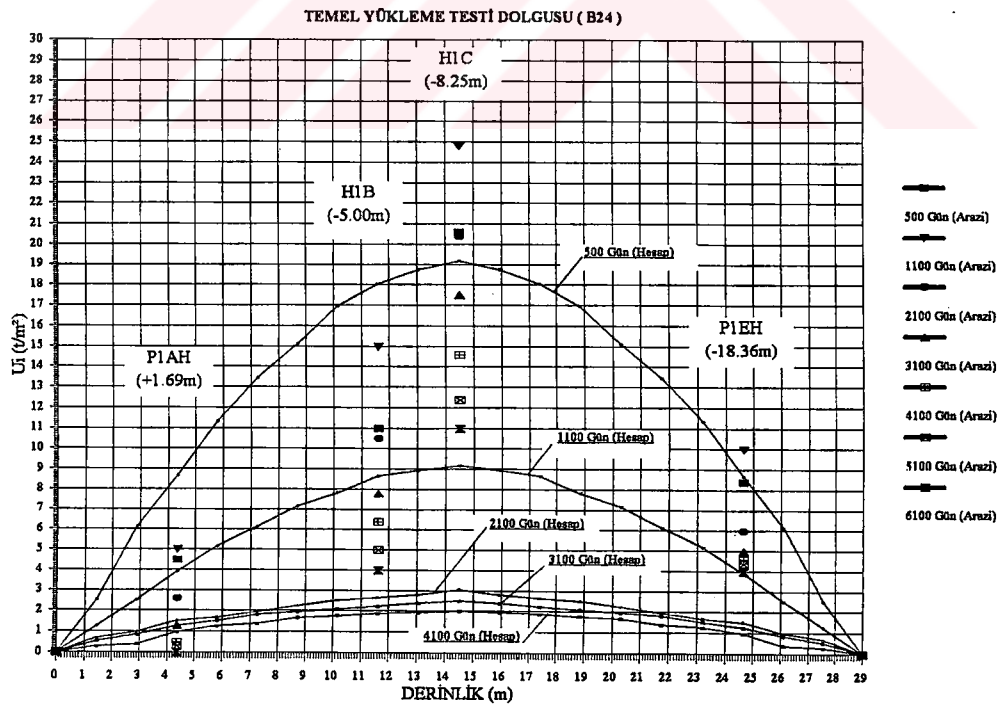


Şekil 5.3d. Boşluk suyu basınçlarının zamanla değişimi (-18.36m kotu)





Şekil 5.3e. Boşluk suyu basınçlarının ve dolgu üst kotunun zamanla değişimi (-22.34m kotu)



Şekil 5.4. Dolgu yükü altında artık boşluk suyu basıncının sönümlenme eğrileriyle arazi ölçümlerinin karşılaştırılması



yükünün aynı anda uygulanmış olması durumunda beklenen artık boşluk suyu basıncı sönümlenme eğrileri ile arazi ölçümlerinin karşılaştırılması görülmektedir. Beklenildiği üzere hesap eğrileri ile ölçülen değerler arasında bazı önemli farklılıklar olmakla birlikte genel davranış açısından uyumlu oldukları gözlenmektedir. Boşluk suyu basıncı-zaman eğrilerinde gözlenen bir diğer önemli husus, inşaatın bitiminden (bu kesitteki dolgu tamamlandıktan) 13-14 yıl sonra bile temel zemininin orta seviyelerinde artık boşluk suyu basınçlarının tamamen sönümlenmemiş olmasıdır. Oturma-zaman eğrileri ile uyumsuz gibi görünen bu hususun, zeminde bu kadar süre sonra dahi ikincil konsolidasyonun devam ettiği şeklinde yorumlanabileceği düşünülmektedir.

Piezometre ölçümlerinden elde edilen boşluk suyu basıncı dağılımı baraj inşaatı süresinde yükleme programının uygulanması ve kontrolünde efektif gerilmeler ile çalışma imkanı vermiştir.

5.3. Gelecekteki Araştırmalar İçin Öneriler

Bu tez çalışmasında Alibey Barajı temel zemininin konsolidasyon davranışı Terzaghi konsolidasyon teorisi ile açıklanmaya çalışılmıştır. Konsolidasyona yolaçan gerilme artışları elasto-plastik gerilme-deformasyon analizi ile belirlenmiş bu analiz sırasında konsolidasyon davranışı dikkate alınmamıştır. Bu araştırmayı daha ileri bir aşamaya götürmek için gerilme-deformasyon analizi sırasında boşluk suyu basınçlarını ve konsolidasyon davranışını birlikte dikkate alan bir coupled-analiz yapılması yararlı olacaktır. İleri nümerik modelleme teknikleri gerektiren bu tür bir analiz sonucu elde olunacak toplam zemin yer değiştirmelerinin (düşey ve yatay) oturma plakası ve inklinometre okumaları ve hesaplanacak boşluk suyu basıncı değerlerinin piezometre okumaları ile karşılaştırılmasının çok ilginç sonuçlar verebileceği düşünülmektedir. Bu tür bir analizde zemin davranışını modellemek için Cam-Clay bünye denklemi kullanılabilir.

Oturmaların analizi için klasik Terzaghi konsolidasyon teorisi dışında efektif gerilme-şekil değiştirme-şekil değiştirme hızı arasındaki ilişkiyi ve krip etkilerini dikkate alan yeni



konsolidasyon teorilerinin kullanılması ve sonuçların arazi okumaları ve Terzaghi teorisi sonuçları ile karşılaştırılmasının gelecekteki araştırmalar için ilginç olacağı düşünülmektedir.

Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen türde araştırmaların devam etmesinin, geoteknik mühendisliğinin önemli bir konusunun (yumuşak zeminlerin yük altında davranışı) daha iyi anlaşılmasına yolaçacağı ve arazi uygulamaları için çok yararlı sonuçlar vereceğine inanılmaktadır.



KAYNAKLAR

Aboshi, H., 1969. "Soil Mechanics, Chap. 4, Tokyo, Gihido, pp. 464-465 (in Japanese).

Asaoka, A., 1978. "Observational Procedure of Settlement Prediction", Soils and Foundations, Vol. 18, No. 4, pp. 87-101.

Azzouz, A. S., R. J. Krizek, and R. B. Corotis, 1976. "Regression Analysis of Soil Compressibility", Soils Found., Tokyo, vol. 16, no. 2, pp. 19-29.

Barron, P., 1948. "Consolidation of Fine Grained Soils by Drain Wells", Trans. ASCE, Vol. 113, pp. 718-734.

Bjerrum, L., 1967. " Engineering Geology of Norwegian Normally Consolidated Marine Clays and Related to settlements of Buildings", Geotechnique, vol. 17, pp. 81-118.

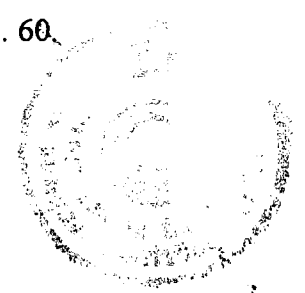
Bjerrum, L., 1972. " Embankments of Soft Ground", Proc. Specialty Conf. Perform. Earth and Earth-Supported Struct., ASCE, vol. 2, pp. 1-54.

Boussinesq, J., 1883. "Application des Potentials a L'Etude de L 'Equilibre et due Mouvement des Solides Elastiques", Gauthier-Villars, Paris.

Burmister, D. M., 1951 "The Application of Controlled Test methods in consolidation testing ", Symp. Consol. Test. Soils, ASTM Spec. Tech. Pub., vol. 126, pp. 83.

Carillo, N., 1942. "Simple Two and three Dimensional Cases in the Theory of Consolidation of Soils ", J. Math. Phys., Vol. 21, No. 1, pp. 1-5.

Casagrande, A., 1936. "The Determination of The Preconsolidation Load and Its Practical Significance", Proc. 1st Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., pp. 60.



Casagrande, A., and Fadum, R. E., 1940. "Notes on Soil Testing for Engineering Purposes", Harvard Univ. Graduate School of Engineering, Publication No. 8.

Crawford, C. B., and Sutherland, j. G., 1971. " The Empress Hotel, Victoria, British Columbia, Sixty-five Years of Foundation Settlements", Can. Geotech. J., vol. 8, no. 1 pp. 77-93.

Çinicioğlu, F. Ö., 1993. "Dolgu Altındaki Yumuşak Zeminde Düşey Drenlerin Etkisinin Analizi", Dolgu Barajlar Yönünden Zemin Mekaniği Problemleri Sempozyumu, DSİ Gn. Müd. Gümüşdör İzmir, pp. 67-79.

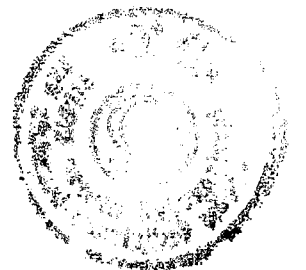
Çinicioğlu, F. Ö., Toğrol, E., 1994. "Yüklenmiş Yumuşak Zeminlerin Davranışı Üzerine", Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 5 'inci Ulusal Kongresi, ODTÜ, Ankara, pp. 36-46.

Güler, E., Erdinçliler, A., 1993. "Dolgu Barajların Stabilité Problemlerinin Sonlu Elemanlar Metodu ile İncelenmesi", Dolgu Barajlar Yönünden Zemin Mekaniği Problemleri Sempozyumu, DSİ Gn. Müd. Gümüşdör İzmir, pp. 37-45.

Henkel, D. J., 1960. "The Shear Strength of Saturated Remoulded Clay", Proc. Res. Conf. Shear Strength Cohesive Soils, ASCE, pp. 533-554.

Hoeg, K., 1972. "Finite Element Analysis of Strain-Softening Clay", J. Of the Soil Mech. And Foundation Eng. Div., ASCE, 98(SMI), pp. 43-58.

Horn, H. M., and Lambe, T. W., 1964. " Settlement of Buildings on the MIT Campus", J. Soil Mech. Found. Div., ASCE, vol. 90. no. SM5, pp. 181-195.



Indraratna, B., Balasubramaniam, A.S., and Ratnayake, P., 1994. "Performance of Embankment Stabilized with Vertical Drains on Soft Clay.", J. Geotech. Eng., ASCE, Vol. 120, pp. 257-273.

Johnson, S. J., 1970. " Precompression for Improving Foundation Soils", J. Soil Mech. Found. Div., ASCE, vol. 96. no. SM1, pp. 111-144.

Kenney, T. C., 1964. "Sea Level Movements and the Geologic Histories of the Post-Glacial Marine Soils at Boston, Nicolet, Ottawa and Oslo", Geotechnique, vol. 14, pp. 203-230.

Kobayashi, M., 1991. "Finite Element Analysis of the Effectiveness of Sand Drains", Proceedings International Conference on Geotechnical Engineering for Coastal Development, Yokohama, pp. 213-218.

Ladd, C.C., and Foot, R., 1972. "New Design Procedure for stability of soft clays", ASCE J. Geotech. Eng. Div., 100(GT7), pp. 763-786.

Lambe, T. W. , 1958. "The structure of compacted clay and the engineering behavior of compacted clay ", J. Soil Mech. Found. Div., ASCE, vol. 84, no. SM2, pp. 68.

La Rochelle, P., Trak, B., Tavenas, F., and Roy, M., 1974. "Failure of a Test Embankment on a Sensitive Champlain Clay Deposit", Canadian Geotechnical Journal, 11, pp. 142-164.

Leonards, G. A., and Ramiah, B. K., 1960. "Time effects in the consolidation of clays", ASTM Special Technical Publ. 254, pp. 116-130.

Leonards, G.A., and Altschaeffl, A. G., 1964. " compressibility of clay", J. Soil Mech. Found. Div., ASCE, vol. 90. no. SM5, pp. 133-156.



Leornards, G. A., 1976. "Estimating Consolidation Settlement of Shallow Foundations on Overconsolidated Clay", Transportation Research Board, Special Report 163, Washington, D.C., pp. 13-16.

Longanathan, N., Balasubramaniam, A.S., and Bergado, D.T., 1993. "Deformation Analysis of Embankments", J. Geotech. Eng., ASCE, Vol. 119, pp. 1185-1206.

Lowe, J. III., Jonas, E., and Obrician, V., 1969. " Controlled Gradient Consolidation Test", J. Soil Mech. Found. Div., ASCE, vol. 95. no. SM1, pp. 77-98.

Lowe, J., 1974. "New Concepts In Consolidation and Settlement Analysis", J. Geotech. Eng. Div., ASCE, vol.100, no. GT6, pp. 574-612.

Magnan, J.P., 1994. "Methods to Reduce the Settlement of Embankments on Soft Clay", A Review Vertical and Horizontal Deformations of Foundations and Embankments, Geotechnical Special Publication No. 40, Vol. 1, pp. 77-89.

Marsland, A., and Powell, J.J.M., 1977. "The Behaviour of a Trial Bank Constructed to Failure on Soft Alluvium of the River Thames", Proceedings of the International Symposium on Soft Clay, Bangkok, Thailand, pp. 505-526.

Mercangöz, B., 1996."Yumuşak Kohezyonlu Zeminlerin Kademeli Yükleme Altındaki Davranışının Nümerik Analizi", Y. Lisans Tezi, YTÜ, İstanbul.

Mesri, G., 1973. " Coefficient of Secondary Compression ", J. Soil Mech. Found. Div., ASCE, vol. 99. no. SM1, pp. 123-137.



Mesri, G., Lo, D.O.K., and Feng, T.W., 1994. "Settlement of Embankments on Soft Clay", Proc. Spec. Conf. on Vertical and Horizontal Deformations of Foundation and Embankments, ASCE, College Staion, Texas, Vol.1 pp.8-56.

Mesri, G., Choi, Y.K., 1985." The Uniqueness of the End-Of-Primary (EOP) Void Ratio-Effective Stress Relationship", Proceedings of the Eleventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, Vol. 2, pp. 587-590.

Mikasa, M., 1963. "Consolidation of Soft Clay", Tokyo, Kajima shuppan kai (in Japanese).

Nacci, V. A., M. C. Wang, and K. R. Demars, 1975 ."Engineering Behavior of Calcareous Soils", Proc. Civil Eng. Oceans III, ASCE, vol. 1, pp. 380-400.

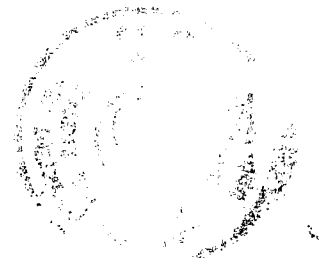
Naylor, D.J., and Pande, G.N., 1981."Finite Elements in Geotechnical Engineering, Pineridge Press, Swansea, U.K..

Ohta, H., 1991."Performance of Soft Clay Foundations under Constraction", Proc. 1st. Asian Young Geotechnical Engineering Conference, AIT, Bankok, Thailand, pp. 17-35.

Olson,R. E.,1977. " Consolidation Under Time-Dependent Loading", J. Geotech. Eng. Div., ASCE, vol.103, no. GT1, pp. 55-60

Öntuna, A.K., 1976."A case study on the soil problems encountered on Alibey Dam", A Master Thesis, METU, Ankara.

Özaydın, İ.K., Berilgen, M., ve Mercangöz, B., 1996. "Yumuşak Kohezyonlu Zeminlerin Kademeli Yükleme Altında Davranışının Nümerik Analizi" Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Altıncı Ulusal Kongresi, İzmir.



Pilot, G., 1972. "Study of Five Embankment Failures on Soft Soils", Proceedings of the ASCE Specialty Conf. On Performance of Earth and Earth-Supported Structures, Purdue University, West Lafayette, IN, Vol. 1, pp. 81-100.

Raju, A. A., 1956. "The preconsolidation pressure in clay soils", M.S. thesis, Purdue Univ.

Rendulic, L., 1935. "Der Hydrodynamische Spannungsungleich in Zentral Entwässerten Tonzylindern", Wasserwirtsch. Tech., vol. 2, pp. 250-253, 269-273.

Richart, F. E., 1959. "Review of the Theories for Sand Drains", Trans. ASCE, vol. 124, pp. 709-736.

Schmertman, J. H., 1953. "Undisturbed Laboratory Behavior of Clay", Trans. ASCE, vol. 120, pp. 1201.

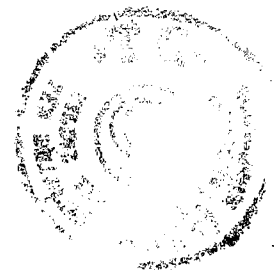
Scott, R.F., 1963. "Principles of Soil Mechanics", Addison-Wesley, Reading, Mass.

Sivaram, B., and Swamee, P., 1977. "A Computational Method for Consolidation Coefficient", Soils Found., Tokyo, Jpn., vol. 17, no. 2, pp. 48-52.

Skempton, A. W., 1954. "The Pore Pressure Coefficients A and B", Geotechnique, vol. 4, pp. 143-147.

Skempton, A. W., and Bjerrum, L., 1957. "A Contribution to Settlement Analysis of Foundations in Clay", Geotechnique, vol. 7, pp. 168.

Smith, R. E., and Wahls, H. E., 1969. "Consolidation Under Constant Rate of Strain", J. Soil Mech. Found. Div., ASCE, vol. 95, no. SM2, pp. 519-539.



Soydemir, Ç., 1970. "Alibey Toprak Barajı Menba Batardosu Oturma ve Stabilité Etüdü", İnşaat Mühendisleri Odası, V. Teknik Kongresi, Ankara.

Su, H. H., and Prysock, R. H., 1972. " Settlement Analysis of Two Highway Embankments", Proc. Specialty Conf. Perform. Earth and Earth Supported Struct., ASCE, vol. 1, pp. 465-488.

Su, H. L., 1958. "Procedure for Rapid Consolidation Test", J. Soil Mech. Found. Div., ASCE, vol. 95. Proc. Paper 1729.

Taylor, D. W., 1942. "Research on Consolidation of Clays", Massachusetts Institute of Technology, Publication No. 82.

Terzaghi, K., 1925. " Erdbaumechanik auf Boden-Physicalischen Grundlagen ", Deuticke, Vienna.

Terzaghi, K., 1943. "Theoretical Soil Mechanics ", Wiley, New York.

Terzaghi, K., and R. B. Peck, 1967. " Soil Mechanics in Engineering Practice ", 2d ed., Wiley, New York.

Thamm, B.R., 1979."Numerical Analyses of Embankments Over Soft Subsoils", Proc. 3rd. Int. Conf. On Numerical Methods in Geotechnical Eng., Aachen, pp. 725-731.

Termaat, R.J., Vermeer, P.A., and Verger, G.J.H., 1985." Failure by Large Plastic Deformations", Proceedings of the Eleventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, pp. 2045-2048.



Trak, B., LaRochelle, P., Tavenas, F., Leroueil, S., and Roy, M., 1980. "A new approach to the stability analysis of embankments on sensitive clays", Canadian Geotechnical Journal, vol. 17, pp. 526-544.

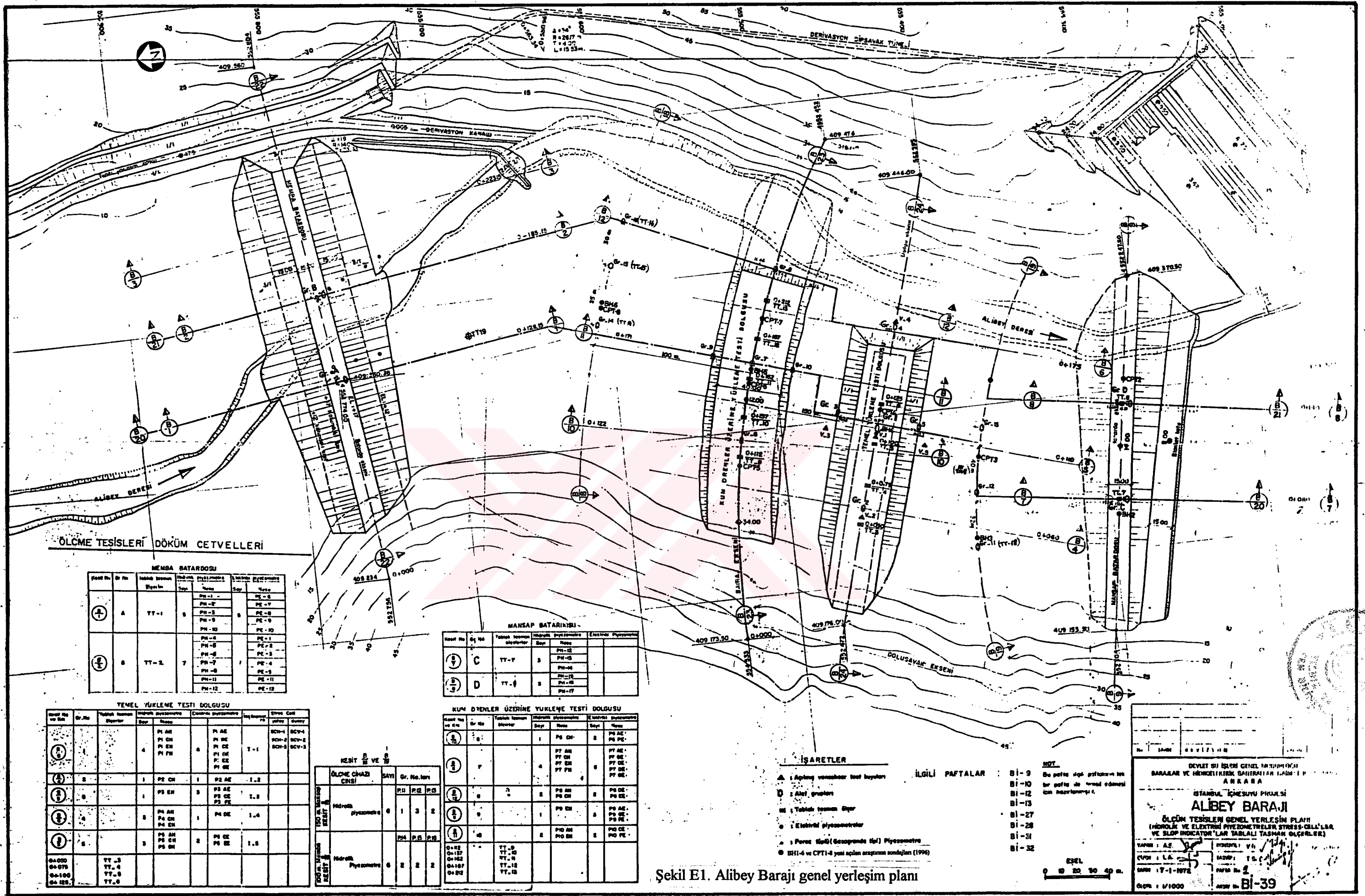
Yıldırım, M., Özaydın, İ.K., Erguvanlı, A., 1992." İstanbul Bogazı Güneyi ve Haliç 'in Jeolojik Yapısı ve Geoteknik Özellikleri", Jeoloji Mühendisliği TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayın Organı, Sayı 40, sayfa 5-14.

Zienkiewicz, O.C., 1977."The Finite Elements Method", McGraw Hill, 3rd.Edition



E K L E R





ÖLÇME TESİSLERİ DÖKÜM CETVELLERİ

MENBA BATARJISI					
Kanal No	Gr. No	Tahsis İsmi	Yer	Yer	Yer
1	A	TT-1	1	1	1
2	B	TT-2	7	7	7

MANSAP BATARJISI					
Kanal No	Gr. No	Tahsis İsmi	Yer	Yer	Yer
3	C	TT-3	3	3	3
4	D	TT-4	3	3	3

TEMEL YÜKLEME TESTİ DOLGUSU					
Kanal No	Gr. No	Tahsis İsmi	Yer	Yer	Yer
5	1	PE-1	1	1	1
6	2	PE-2	1	1	1
7	3	PE-3	1	1	1
8	4	PE-4	1	1	1
9	5	PE-5	1	1	1
10	6	PE-6	1	1	1
11	7	PE-7	1	1	1
12	8	PE-8	1	1	1
13	9	PE-9	1	1	1
14	10	PE-10	1	1	1
15	11	PE-11	1	1	1
16	12	PE-12	1	1	1

KUM DİYERLER ÜZERİNE YÜKLEME TESTİ DOLGUSU					
Kanal No	Gr. No	Tahsis İsmi	Yer	Yer	Yer
17	1	PE-13	1	1	1
18	2	PE-14	1	1	1
19	3	PE-15	1	1	1
20	4	PE-16	1	1	1
21	5	PE-17	1	1	1
22	6	PE-18	1	1	1
23	7	PE-19	1	1	1
24	8	PE-20	1	1	1
25	9	PE-21	1	1	1
26	10	PE-22	1	1	1
27	11	PE-23	1	1	1
28	12	PE-24	1	1	1

İŞARETLER

- ▲ Açıklayıcı işaretler test boyutları
- Akış yönleri
- Tahsis İsmi
- Elektrikli pizometreler
- Perce (Sığ) (Sığ) Pizometre
- BHI-4 ve CPT-4 yarı açılış anemometre (1990)

İLGİLİ PAFTALAR

- BI-9
- BI-10
- BI-12
- BI-13
- BI-27
- BI-28
- BI-31
- BI-32

NOT: Bu planın yapıldığı tarihten itibaren her türlü değişiklikler için sorumluluk kabul edilmez.

0 10 20 30 40 m.

Şekil E1. Alibey Barajı genel yerleşim planı

DEVLET SU İŞLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

BARAJLAR VE HİDROELEKTRİK SAĞIRIYAN LİSANSI

ANKARA

İSTANBUL İÇİŞİLERİ MÜHÜRÜ

ALIBEY BARAJI

ÖLÇÜM TESİSLERİ GENEL YERLEŞİM PLANI

(HİDROLİK VE ELEKTRİK PİZOMETRİK YERLEŞİM ÇİZİMLERİ)

YAPIM : A.S.

ÇİZİM : L.A.

TARİH : 17-1-1972

ÖLÇEK : 1/1000

İSTANBUL İÇİŞİLERİ MÜHÜRÜ

YAPIM : A.S.

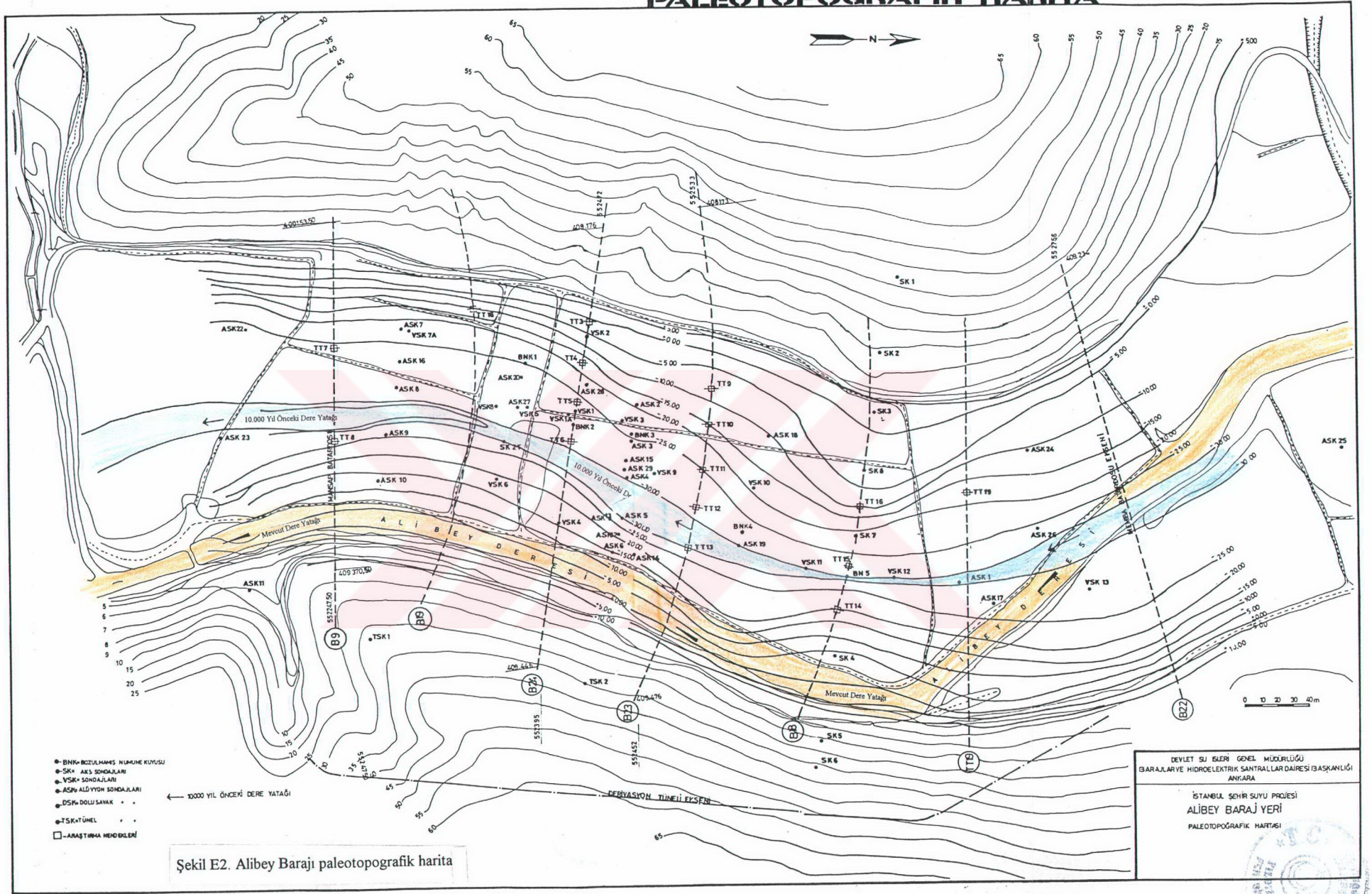
ÇİZİM : L.A.

TARİH : 17-1-1972

ÖLÇEK : 1/1000

PAFTA NO : BI-39

PALEOTOPOGRAFİK HARİTA



Şekil E2. Alibey Barajı paleotopografik harita

DEVLET SU İŞLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
BARAJLAR VE HİDROELEKTRİK SANTRALLER DAİRESİ BAŞKANLIĞI
ANKARA
İSTANBUL SEHİR SUYU PROJESİ
ALİBEY BARAJ YERİ
PALEOTOPOGRAFİK HARİTASI

ÖZGEÇMİŞ

Araştırmacı 1958 yılında Gaziantep 'de doğmuştur. İlk öğrenimini İstanbul, Üsküdar İcadiye İlkokulunda tamamlamış. Orta öğrenimini Üsküdar Cumhuriyet Ortaokulunda devam etmiş ve Öğreniminin lise kısmını İstanbul Haydarpaşa Erkek Lisesinde tamamlamıştır. 1979 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünde öğrenimine devam ederek 1984 yılı kış döneminde Mühendislik ünvanını almıştır. Aynı yıl sonbaharında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Anabilim Dalı, Geoteknik Programında yüksek lisans eğitime başlamıştır. Aynı Dönemde İTÜ. Yabancı Diller Yüksek okulunda bir yıl hazırlık okumuştur. 1988 yılında Yüksek Lisans eğitimini bitirerek Yüksek Mühendis ünvanını almıştır. 1986 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Geoteknik Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak göreve başlamış ve halen devam etmektedir. 1988 yılı aralık dönemin de askerlik görevine başlamış ve 1990 Nisanında Üniversitedeki görevine dönmüştür. 1990-1991 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Anabilim Dalı, Geoteknik Programında Doktora eğitime başlamıştır.

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

