

154191

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ŞEV STABİLİTESİNİN DÜŞEY KAZIKLARLA İYİLEŞTİRİLMESİ

İnşaat Müh. Orhan ALBAYRAK

F.B.E İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Geoteknik Programında

Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Sönmez YILDIRIM

Prof. Dr. Gökhan Baykal
Gökhan Baykal

Prof. Dr. Kutay ÖZAYDIN
Kutay ÖZAYDIN

İSTANBUL, 2004

154191

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ŞEV STABİLİTESİNİN DÜŞEY KAZIKLARLA İYİLEŞTİRİLMESİ.....	i
SİMGE LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
ÖNSÖZ.....	ix
ÖZET.....	x
ABSTRACT.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Temel Reaksiyonu Yaklaşımı.....	2
1.2 Sonlu Elemanlar Yöntemi.....	6
1.3 Lineer Elastik Malzeme Varsayımına Dayalı Çözümler.....	8
1.4 İdeal Elastik-Plastik Malzeme Varsayımına Dayalı Çözümler.....	10
1.5 Visko-Plastik Akışkan Teorisi.....	11
1.6 De Beer ve Carpentier Yöntemi.....	12
1.7 Ito-Matsui Yöntemi.....	13
2. İYİLEŞTİRME KAZIKLARINA ETKİYEN YATAY KUVVETİN KURAMSAL ANALİZİ.....	14
2.1 Plastik Deformasyon Teorisi.....	15
2.1.1 Kohezyonsuz Zemin.....	19
2.1.2 Kohezyonlu Zemin.....	19
3. İYİLEŞTİRME KAZIKLARI İÇEREN ŞEVİN DURAYLILIK ANALİZİ.....	21
3.1 İyileştirme Kazıklarına Etkiyen Yatay Kuvvet.....	21
3.2 Kazık Duraylılığı Analizi.....	23
3.3 Şev Duraylılığı Analizi.....	25
3.4 Heyelanların İyileştirilmesinde Duraylılık Kazıklarının Etkisi.....	25
3.4.1 Kazıklar Arası Uzaklığın Etkisi.....	27
3.4.2 Kazık Başının Tutululuk Durumunun Etkisi.....	28
3.4.3 Kayan Yüzey Üstündeki Kazık Boyunun Etkisi.....	29
3.4.4 Kazık Çapının Etkisi.....	30
3.4.5 Boru Kazığının Kalınlığının Etkisi.....	32
3.4.6 Kazık Rijitliğinin Arttırılmasının Etkisi.....	33
3.5 Heyelanlara Karşı Duraylılık Kazıkları İçin Tasarım Yöntemi.....	34
3.5.1 Tasarım Yöntemi.....	35
3.5.2 Tasarım Örneği.....	38
4. ÇOK SIRALI İYİLEŞTİRME KAZIKLARI İÇEREN ŞEVİN DURAYLILIK	

ANALİZİNDE TEMEL YÖNTEM.....	40
4.1 Duraylılık Analizlerinde Kullanılan Yatay Kuvvet.....	40
4.2 Dağınık ve Yoğunlaştırılmış Yatay Kuvvetler Etkisindeki Kazık Davranışlarının Karşılaştırılması.....	41
4.3 Heyelana Karşı İki Sıralı İyileştirme Kazığının Etkisi.....	44
4.4 Yatay Kuvvetin Mobilizasyon Sayısının Etkisi.....	45
4.5 İki Dizi Stabilizasyon Kazıklarının Etkisi.....	47
4.6 Büyük Heyelanlara Karşı Çok Sıralı Duraylılık Kazıkları Kullanımı İçin Tasarım Yöntemi.....	49
4.7 Çok Sıralı Duraylılık Kazıkları İçin Tasarım Örneği.....	52
5. KAZIK DURAYLILIK ANALİZİ İÇİN TEMEL EŞİTLİKLER.....	61
5.1 Dönmesi ve Deplasmanı Serbest Kazık Başı Durumunda Çözüm.....	63
5.2 Dönmesiz Deplasmanlı Kazık Başı Durumunda Çözüm.....	64
5.3 Deplasmansız Dönmeli Kazık Başı Durumunda Çözüm.....	65
5.4 Dönmesi ve Deplasmanı Tutulu Kazık Başı Durumunda Çözüm.....	67
6. ÖNERİLEN YÖNTEMİN BİR UYGULAMASI.....	69
6.1 Sorunun Tanımı.....	69
6.2 Arazinin Topoğrafyası ve Morfolojik Durumu.....	69
6.3 Yol Güzergahı Zemin Kesiti.....	69
6.4 Yer Üstü ve Yer Altı Suyu Durumu.....	69
6.5 Heyelan Durumu.....	70
6.6 Sondaj Çalışmaları Sonucu.....	70
6.7 Laboratuvar Deneyleri.....	72
6.7.1 Kıvam Limiti Deneyleri.....	72
6.7.2 Zemin Kayma Mukavemetine İlişkin Deneyler.....	72
6.7.2.1 Konsolidasyonlu Drenajsız Üç Eksenli Basınç Deneyi Sonuçları.....	72
6.7.2.2 Direkt Kesme Deneyi Sonuçları.....	73
6.8 Duraylılık Araştırması.....	74
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	76
KAYNAKLAR.....	78
EKLER.....	80
Ek 1. Sondaj Logu 1.....	82
Ek 2. Sondaj Logu 2.....	84
Ek 3. Sondaj Logu 3.....	86
Ek 4. Sondaj Logu 4.....	88
Ek 5. Sondaj Logu 5.....	90
Ek 6. Sondaj Logu 6.....	91
Ek 7. Sondaj Logu 7.....	92
Ek 8. Davutpaşa Heyelan Bölgesine Ait Endeks Özellikler.....	93
Ek 9.1 Doğal Su Kapsamının Derinlikle Değişimi.....	94
Ek 9.2 Likit Limit Değerlerinin Derinlikle Değişimi.....	95
Ek 9.3 Plastik Limit Değerlerinin Derinlikle Değişimi.....	96
Ek 9.4 Plastisite İndeksi Değerlerinin Derinlikle Değişimi.....	97

Ek 10.1 Konsolidasyonlu-Drenajsız (CU)Üç Eksenli Basınç Deneyi (SK-2 UD-2).....	98
Ek 10.2 Drenajsız Yükleme Aşamasında Ölçülen Boşluk Suyu Basıncı Değerleri (SK-2 UD-2).....	99
Ek 11.1 Konsolidasyonlu-Drenajsız (CU) Üç Eksenli Basınç Deneyi (SK-3 UD-2).....	100
Ek 11.2 Drenajsız Yükleme Aşamasında Ölçülen Boşluk Suyu Basıncı Değerleri (SK-3 UD-2).....	101
Ek 12.1 Konsolidasyonlu-Drenajsız (CU)Üç Eksenli Basınç Deneyi (SK-3 UD-3).....	102
Ek 12.2 Drenajsız Yükleme Aşamasında Ölçülen Boşluk Suyu Basıncı Değerleri (SK-3 UD-3).....	103
Ek 13.1 Konsolidasyonlu-Drenajsız (CU) Üç Eksenli Basınç Deneylerinden Elde Edilen Mohr Gerilme Daireleri	104
Ek 13.2 Konsolidasyonlu-Drenajsız (CU) Üç Eksenli Basınç Deneylerinden Elde Edilen Mohr Gerilme Daireleri	105
Ek 14.1 Konsolidasyonlu-Drenajlı Kesme Kutusu Deneyi (SK-5 UD-1)	106
Ek 14.2 Normal Gerilme ile Kayma Gerilmesi Arasındaki İlişki (SK-5 UD-1)	107
Ek 15.1 Konsolidasyonlu-Drenajlı Kesme Kutusu Deneyi (SK-3 UD-3)	108
Ek 15.2 Normal Gerilme ile Kayma Gerilmesi Arasındaki İlişki (SK-5 UD-3)	109
Ek 16. Heyelan Şevinde Güvenlik Sayısı Analizi	110
Ek 17 Şev Duraylılığı İçin Gerekli Ek Direnç Kuvvetinin Analizi	114
Ek 18. Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Yerleşim Birimi Eğitim Haritası	118
Ek 19. Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Yerleşim Birimi Jeoloji Haritası (Ayrıntılı Jeoteknik Etüd Gerektiren Alan)	119
Ek 20. Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Yerleşim Birimi Mühendislik Jeolojisi Haritası (Ayrıntılı Jeoteknik Etüd Gerektiren Alan).....	120
Ek 21. Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Yerleşim Birimi İnceleme Alanı Zemin Kesiti	121
Ek 22. Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Yerleşim Birimi İnceleme Alanı Zemin Kesitleri	122
Ek 23. Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Yerleşim Birimi 6-3 Aksı Zemin Kesiti.....	123
Ek 24. Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Yerleşim Birimi İnceleme Alanı Mühendislik Jeolojisi Haritası (Sondaj Yerleri Planı)	124
Ek 25. Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Yerleşim Birimi Yerleşime Uygunluk Haritası	125
ÖZGEÇMİŞ	126

SİMGE LİSTESİ

E_p	Kazık malzemesinin elastisite modülü
I	Kazık kesitinin atalet momenti
u_p	z derinliğinde kazığın yatay deplasmanı
u_s	z derinliğinde kazık olmaması durumunda kazık bölgesindeki zemin deplasmanı
k	Eğilme kapasitesi
d	Kazık çapı
E_s	Zemin modülü
ω	Kazığın birim boyuna etkiyen yanal kuvvet
D_1	Kazıklar arası merkezden merkeze mesafe
D_2	Kazıklar arası temiz açıklık
c	Zemin kohezyonu
ϕ	Zeminin içsel sürtünme açısı
γ	Zeminin birim ağırlığı
z	Yer yüzeyinden derinlik
L_p	Kazık boyu
z_p	Kazık başından derinlik
F_r	Direnç kuvveti
F_d	Kaydırıcı kuvvet
F_{rs}	Kayma direnci
F_{rp}	Kazıkların reaksiyon kuvveti
(D_2/D_1) allow	İzin Verilebilir Açıklık Oranı
$E_p I_p$	Kazığın eğilme rijitliği
t	Kazık et kalınlığı
α_m	Kazık Mobilizasyon faktörü
H	Yer yüzünden kayan yüzeye derinlik
H'	Kazık başından kayan yüzeye uzunluk
y_1	Kayan yüzey üstündeki kazık deplasmanı
y_2	Kayan yüzey altındaki kazık deplasmanı
$p(\bar{z})$	Uyarılmış yatay yük

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Rijit Kazık İçin Göçme Biçimleri	5
Şekil 1.2 Plastik Mafsai Durumunda Göçme Biçimleri	6
Şekil 1.3 Sonlu Elemanlar Yöntemine Örnek	7
Şekil 1.4 Begemann-De Leeuw Yöntemi	9
Şekil 1.5 Derinlik Etkisinin Yanal Kuvvet Hesaplamasına Katkısı	12
Şekil 2.1 Plastik Deformasyon Yapan Zemine Yerleştirilmiş Kazık Dizisi	14
Şekil 2.2 Kazıklar Etrafındaki Zeminde Plastik Deformasyon Durumu	15
Şekil 2.3 Plastik Deformasyon Yapan Zeminin Küçük Elemanı	16
Şekil 2.4 Plastik Deformasyon Yapan Zeminin Küçük Elemanı	17
Şekil 3.1: İyileştirme Kazıkları İçeren Şevin Duraylılık Analizi	21
Şekil 3.2 Deplasman Kesme Kuvveti ve Eğilme Momentinin Değişim Grafikleri	23
Şekil 3.3: Heyelan Şevinin Kesiti	25
Şekil 3.4: Kazık Güvenlik Sayısı $(F_s)_{kazık}$ ve Şev Güvenlik Sayısı $(F_s)_{şev}$ ile Açıklık oranı D_2/D_1 Arasındaki İlişki	27
Şekil 3.5 Kazık Başının Tututluluk Durumunun Etkisi	28
Şekil 3.6: Kayan Yüzey Üzerindeki Kazık Boyu H' 'nin Etkisi	29
Şekil 3.7 Kayan Yüzey Üzerindeki Kazık Boyu H' ile İzin Verilebilir Açıklık Oranı $(D_2/D_1)_{izin verilen}$ Arasındaki İlişki	30
Şekil 3.8: Kazık Çapı d 'nin Etkisi	31
Şekil 3.9 İzin Verilebilir Açıklık Oranı $(D_2/D_1)_{izin verilen}$ ve Kazık Çapı d Arasındaki İlişki	31
Şekil 3.10: Çelik Boru Kazığın Et Kalınlığı t 'nin Etkisi	32
Şekil 3.11: Kazık Rijitliğinin Çelik Boru Kazık (a) ve H Tipi (b) Kazık ile Arttırılmasının Etkisi (Dönmesiz Deplasmanlı $H = 5 M$, $H' = 3 M$)	33
Şekil 3.12: İzin Verilebilir Açıklık Oranı $(D_2/D_1)_{izin verilen}$ ile Eğilme Rijitliği $E_p I_p$ Arasındaki İlişki	34
Şekil 3.13: Stabilizasyon Kazıklarının Tasarımı İçin Şematik Diyagram	36
Şekil 3.14: İzin Verilebilir Açıklık Oranı $(D_2/D_1)_{izin verilen}$ Kazık Et Kalınlığı t , Kazık Çapı d İçin Şematik Diyagram	37
Şekil 3.15: Tasarım Bölümü II İçin Örnek	38
Şekil 3.16: İzin Verilebilir Açıklık Oranı $(D_2/D_1)_{izin verilen}$, Kazık Çapı d ve Kazık Et Kalınlığı t Arasındaki İlişki	39
Şekil 4.1: Tek Dizili Stabilizasyon Kazıkları İçin Örnek	41
Şekil 4.2: Yoğunlaştırılmış ve Dağıtılmış Yatay Kuvvetlerin Kıyaslanması	42
Şekil 4.3: Heyelan Şevi Enkesiti	44
Şekil 4.4: Yatay Kuvvet Mobilizasyon Sayısının Etkisi	45
Şekil 4.5: İzin Verilebilir Açıklık Oranı $(D_2/D_1)_{izin verilen}$ ile Yatay Kuvvet Mobilizasyon Sayısı α_m Arasındaki İlişki	46
Şekil 4.6 İki Kazık Sırasının Etkisi	48
Şekil 4.7 Yatay Mobilizasyon Kuvvetini Seçmek İçin Şematik Diyagram	51
Şekil 4.8 Kazık Çapı d , İzin Verilebilir Açıklık Oranı $(D_2/D_1)_{izin verilen}$, ve Kazık Rijitliği t yi Seçmek için Şematik Diyagram	52
Şekil 4.9 Shiranozawa Heyelan Şevinin Enkesiti	53
Şekil 4.10 (a), (b) ve (c) Yatay Kuvvetin Mobilizasyon Sayısı α_m Parametre Alınarak D_2/D_1 Açıklık Oranı ile, Birim Kalmılık İçin Yatay Kuvvet Reaksiyonu P/D_1 Değerlerini Gösterir	54
Şekil 4.11 Tüm Kazıkların Direnç Kuvveti F_{rp} ve Yatay Kuvvetin Mobilizasyon Sayısı α_m Arasındaki İlişki	55
Şekil 4.12 İzin Verilebilir Açıklık Oranı $(D_2/D_1)_{izin verilen}$, Kazık Çapı d , Kazık Rijitliği Arasındaki İlişki ($\alpha_m = 0.35$)	57

Şekil 4.13 İzin Verilebilir Açıklık Oranı (D_2/D_1) _{izin verilen} , Kazık Çapı d , Kazık Rijitliği Arasındaki İlişki ($\alpha_m = 0.44$)	58
Şekil 4.14 İzin Verilebilir Açıklık Oranı (D_2/D_1) _{izin verilen} , Kazık Çapı d , Kazık Rijitliği Arasındaki İlişki ($\alpha_m = 0.44$)	59



ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1 Kazık Duraylılığında Güvenlik Sayısı	24
Çizelge 3.2 Heyelanlara Karşı Stabilizasyon Kazıkları İçin Tasarım Yöntemi	35
Çizelge 4.1 Kazık Duraylılığı İçin Güvenlik Sayısı	43
Çizelge 4.2 Çok Sıralı Kazık Durumunda Tasarım Yöntemi	49
Çizelge 4.3 Sekiz Sıralı Duraylılık Kazıkları için Tasarım Örneği	53
Çizelge 4.4 Sekiz Sıralı Duraylılık Kazıkları için Tasarım Örneği	60
Çizelge 6.1 Sondaj Verileri	71
Çizelge 6.2 Standart Penetrasyon Deneyi	71
Çizelge 6.3 Konsolidasyonlu Drenajsız Üç Eksenli Basınç Deneyi Sonuçları	72
Çizelge 6.4 Kayma Mukavemeti Parametreleri	73
Çizelge 6.5 Kesme Deneyi Sonuçları	73
Çizelge 6.6 Zemin Parametreleri	73

ÖNSÖZ

Çalışmalarım sırasında bilimsel katkıları, ilgi ve hoşgörüsünü esirgemeyerek bu tezi tamamlamada büyük katkıları olan kıymetli Hocam Sayın Prof. Dr. Sönmez Yıldırım'a; hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.



ÖZET

Şev duraylılığının iyileştirilmesi geoteknik mühendisliğinin temel problemleri arasındadır. Yaşam alanlarının giderek yoğunlaşması nedeni ile varolan arazilerden en fazla yarar sağlamanın ön plana çıktığı son dönemlerde şevlerin iyileştirilmesi ayrıca önem kazanmıştır.

Bu çalışmada şevlerin düşey kazıklarla iyileştirilmesine ilişkin çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan yaklaşımlar incelenmiş ve genelde kabul gören bir yaklaşım olması ve pratik oluşu sebebi ile Ito-Matsui tarafından önerilen yaklaşım ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Kayan şevlerin kazıklarla iyileştirilmesinde temel unsurların kazıklar arası açıklık, kazık çapı, kayan yüzey üzerindeki kazık boyu, kazık başını tutululuk durumu olduğu görülmüştür.

Yukarıda belirtilen dört temel unsurların değişiminin duraylılığa etkisi tezin çeşitli bölümlerinde verilmiştir.

Ito-Matsui tarafından önerilen yöntemle elle çözüm yapılabilmesine karşın XSTABLE isimli bir paket program yardımı ile gerekli ek direnç kuvveti saptanmıştır.

Uygulama kısmında daha önce yapılan bir çalışmaya ait zemin verilerinden yararlanılarak şevlerin düşey kazıklarla iyileştirilmesine ilişkin başarılı bir uygulama yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Pasif Kazık, Heyelan, Şev Stabilizasyonu, Stabilizasyon Kazıkları

ABSTRACT

Slope stabilization is one of the basic problem of the geotechnical engineering. Nowadays due to increase of intensity in living zones stabilization of slopes has become very important topic.

In this study, approaches about slope stabilization with stabilization piles which made by several authors are investigated and approach made by Ito-Matsui has been studied in detail because of the general consent.

It is seen that basic factors of slope stabilization by piles are interval between piles, pile diameter, pile length above the sliding surface and fixity condition of pile head.

The effect of variation of four basic factor that given above are given in chapters of this thesis.

Although solution of stabilization piles can performed by hand using an approach given by Ito-Matsui, in this thesis computer programme named XSTABLE is used to find additional resisting force.

In the last chapter an applied work was given in which data taken from a case study.

Keywords: Passive Pile, Landslide, Slope Stabilization, Stabilization Pile

1. GİRİŞ

Heyelan yada toprak kayması yerçekimi etkisi ile şevlerde meydana gelen akmlar veya göçmelerdir. Bu göçmeler büyük çapta maddi hasarlar ve can kayıpları ile sonuçlanabilir. Bu sebeple gerek doğal, gerekse suni şevlerin duraylılığı geoteknik mühendisliğinin temel problemleri arasındadır.

Heyelanların oluşumunda boşluk suyu basıncının artması, şev geometrisinin zorlanması gibi bir veya birçok tetikleyici etken olabilir. Burada temel yaklaşım şev kaymasına yol açabilecek etkenlerin azaltılması ve kaymalara karşı direnç oluşturacak yapıların tesis edilmesidir. Bunlar; drenaj, istinat yapıları, şev profilinde düzeltmeler ve zemin iyileştirmesi gibi uygulamalar olabilir.

Pasif kazıklar da heyelan ve şev iyileştirilmesinde geniş bir uygulama alanı bulmuş etkili ve oldukça yaygın bir yöntemdir. Bu yöntemde mevcut veya olası heyelan genişliği ve bundan tesis edilecek yapıya aktarılabilecek kuvvetin büyüklüğü yapının kesit ve maliyetini dolayısıyla uygulanabilirliğini gösteren temel etkindir.

Şev duraylılığının artırılmasında pasif kazıkların kullanımı; büyük çapta kazı gerektirmemesi dolayısı ile zaten sınırda olan dengeyi etkilememesi; yeraltı suyunun drenajına engel teşkil etmemesi; zeminde meydana getirdiği kemerlenme nedeni ile sürekli perde halinde teşkiline gerek olmaması; derin heyelanlarda dahi uygulanabilmesi gibi çok çeşitli ve önemli avantajları dolayısıyla oldukça tercih edilen bir yöntemdir.

Şev duraylılığının iyileştirilmesinde kullanılan kazıklar durağan olmayan akan zeminden geçerek kayma yüzeyinin altındaki sağlam zemine yeterli derinlikte yerleştirilirler. Böyle bir ortamda tesis edilmiş pasif kazıklar etrafındaki zemin kütlesinin hareketi ile kazık-zemin etkileşiminden doğan yatay kuvvet etkisinde kalırlar. Bu yük kazık shaftında toplanarak kayan yüzey altındaki kazık bölgesince altta sağlam zemine aktarılır. Böylece kaymaya karşı ek bir direnç kuvveti sağlanmış olur.

Şevlerin iyileştirilmesi hakkında çeşitli yaklaşımlar yapılmıştır; De Beer Wallays(1970), Esu ve D' Elia(1974), Sommer (1977), Fırat (1998), Ito ve Matsui (1975,1978), Snedker (1985), Nalçakan (1999), Poulos (1973), Viggiani (1981), Winter (1983), v.b.

Şevlerin pasif kazıklarla iyileştirilmesi çok yaygın bir yöntem olması ve yukarıda da bazıları belirtilen birçok araştırmacının ilgisi çekmesine karşın, zemin-kazık etkileşiminde bir çok değişken parametrenin etkin olması nedeni ile bu karmaşık problem için fikir birliğine

varılmış bir çözüm yöntemine henüz ulaşamamıştır.

Bu çalışmada şevlerin pasif kazıklarla duraylılığı için çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilen yaklaşımlar sunulmuş ve genelde kabul gören bir yöntem olması sebebi ile Ito-Matsui tarafından önerilen yöntem ayrıntılı olarak verilmiştir.

1.1 Temel Reaksiyonu Yaklaşımı

Kazık kesiti kazık boyuna göre çok küçük olduğundan, kazık elastik temel üzerine oturmuş bir kiriş olarak ele alınabilir ve denge denklemi aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$E_p I \frac{d^4 u_p}{dz^4} = K_h (u_p - u_s) \quad (1.1)$$

Burada;

E_p = Kazık malzemesinin elastisite modülü

I = Kazık kesitinin atalet momenti

u_p = z derinliğinde kazığın yatay deplasmanı

u_s = z derinliğinde kazık olmaması durumunda kazık bölgesindeki zemin deplasmanı

$K_h = F(z, u_p - u_s)$

K_h boyutu kg/cm^2

Bu yöntemde çözüme ulaşabilmek için aşağıda sıralanan maddelere özen göstermek gerekir;

- Kazık başında gerçekçi bir sınır koşulu varsayımı
- Deformasyon modülünün uygun seçimi
- Kazık olmaması durumunda kazık bölgesindeki zemin deplasmanı $u_s = f(z)$ bilinmesi

Eşitlik 1.1 çözümü için bilgisayar programları vardır (Baguelin, 1976). Burada asıl problem u_s in belirlenmesidir. u_s in ölçülen değerleri alındığında deneysel değerlerle bir uyum yakalanır (Marche (1973), Heyman (1961)). u_s in kuramsal değerleri alındığında gerçekte zıt bir durum oluşur.

Baguelin pasif kazık yükleme problemlerinde kendi bilgisayar programının uygulanabilirliğinin şüpheli olduğunu belirtir, zira kazık grubunun yapacağı bariyer etkisi başlangıçta hesaplamalarda alınan zemin deformasyon eğrisinin değişmesine neden olmaktadır.

Fukuoka (1977) heyelan karşısında kazıkların yatay direncini hesaplamak için bu yöntemi kullanmıştır. Onun yönteminde kripi durumundaki şevde zemin kazık etkileşimi Winkler modeli anlamında analiz edilmektedir. Kripi doğuran dengelenmemiş kuvvet kripi oluşturan kütlenin derecesinin fonksiyonu kabul edilmektedir. Bu derecenin belirlenmesi ve dengelenmemiş kuvvetin bulunması için kazık boyunca ölçümlere gerek vardır. Kazıklar tarafından tesis edilen reaksiyon kuvvetinin dengelenmemiş kuvvete eşit yada büyük olması durumunda heyelan durdurulabilir. Fukuoka kazık sisteminin aşağıda belirtilen durumlarda göçeceğini belirtmektedir.

- Kazık boyunca kesme
- Destek etkisinde bükülme katlanma
- Kazığın etrafında yada gerisinde zemin kesmesi
- Kazığın altında temel göçmesi

Fukuoka kazığın deplasman eğrisi, eğilme momenti ve yatay reaksiyonların hesabı için eşitlikler geliştirmiştir. Ölçülen kazık deformasyonu değerlerinden zeminin yatay reaksiyon modülü değeri çıkarılabilir (K_s değeri Eşitlik 1.1). Genellikle limiti belirleyen etkenin kazıklar tarafından karşılanabilen maximum moment olduğu Fukuoka tarafından belirtilmektedir.

Viggiani (1981) bu yöntemi kayan zemin ile kazıklar arasındaki etkileşimi analiz etmek için kullanmıştır. Viggiani'nin yaklaşımı tahmini deformasyon modülü katsayısını kullanarak yatay yük etkisindeki kazığın nihai kapasitesini tahmini için (aktif kazık) Broms tarafından geliştirilen yöntemeye dayanır. Viggiani kazığın kayan zemin kütlesinden alıp altta sağlam zemin tabakasına aktarabildiği maximum kesme kuvvetini problemin geometrisi, kazık kesitinin eğilme momenti, durağan ve durağan olmayan zemin boyutuna dayanan altı göçme mekanizmasını analiz ederek değerlendirir. Ayrıca kohezyonlu zeminlerde kazıklar için yatay yük eşitliğini aşağıdaki şekilde belirtir.

$$p = k.c_u.d \quad (1.2)$$

Burada;

k eğilme kapasitesi sayısı

c_u kohezyon

d kazık çapı

Viggiani hareketsiz zemine yerleştirilen kazık (aktif kazık) ve kayan zemine yerleştirilen kazık (pasif kazık) durumunda k değerlerinin farklı olacağını belirtmiştir. Aktif kazıkta k için . Broms (1964), Brinc Hansen (1961), De Beer (1977), Randolph ve Houlsby (1984) tarafından önerilen değerler aşağıda belirtilmiştir:

$$k_{aktif} = 6.3 : 12.6$$

arasındadır.

Pasif kazık için Viggiani (1981) (Smoltczyk (1973), Carpentier (1977)), Ito ve Matsui (1975) , De Beer (1977), Magueri ve motta (1992) tarafından önerilen k değerleri:

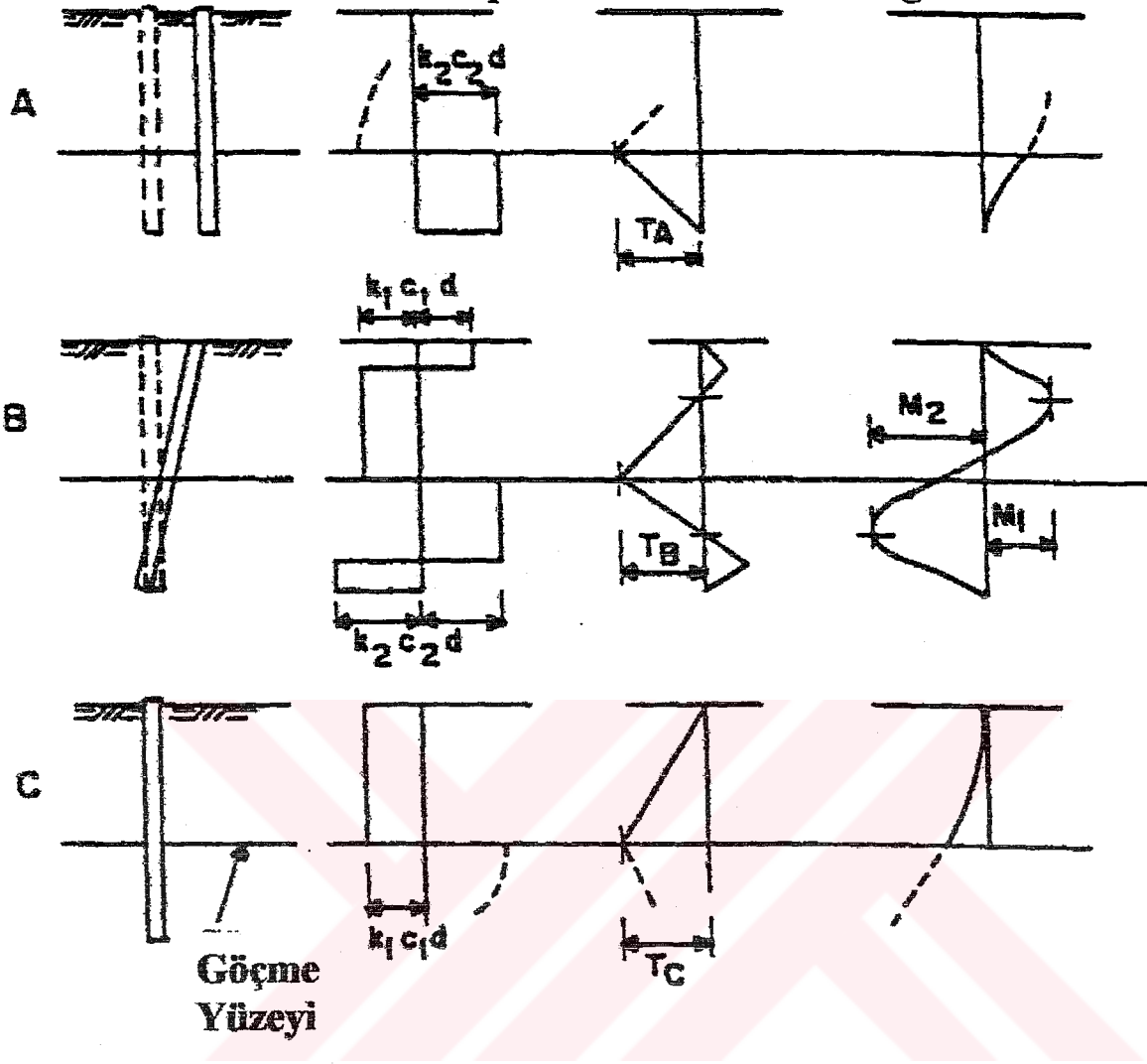
$$k_{pasif} = 2.8 : 4.0$$

arasındadır.

Viggiani uygulamada en sık oluşan göçme biçiminin Şekil 1.2 de gösterilen b_2 göçme biçimi olduğunu belirtmektedir.

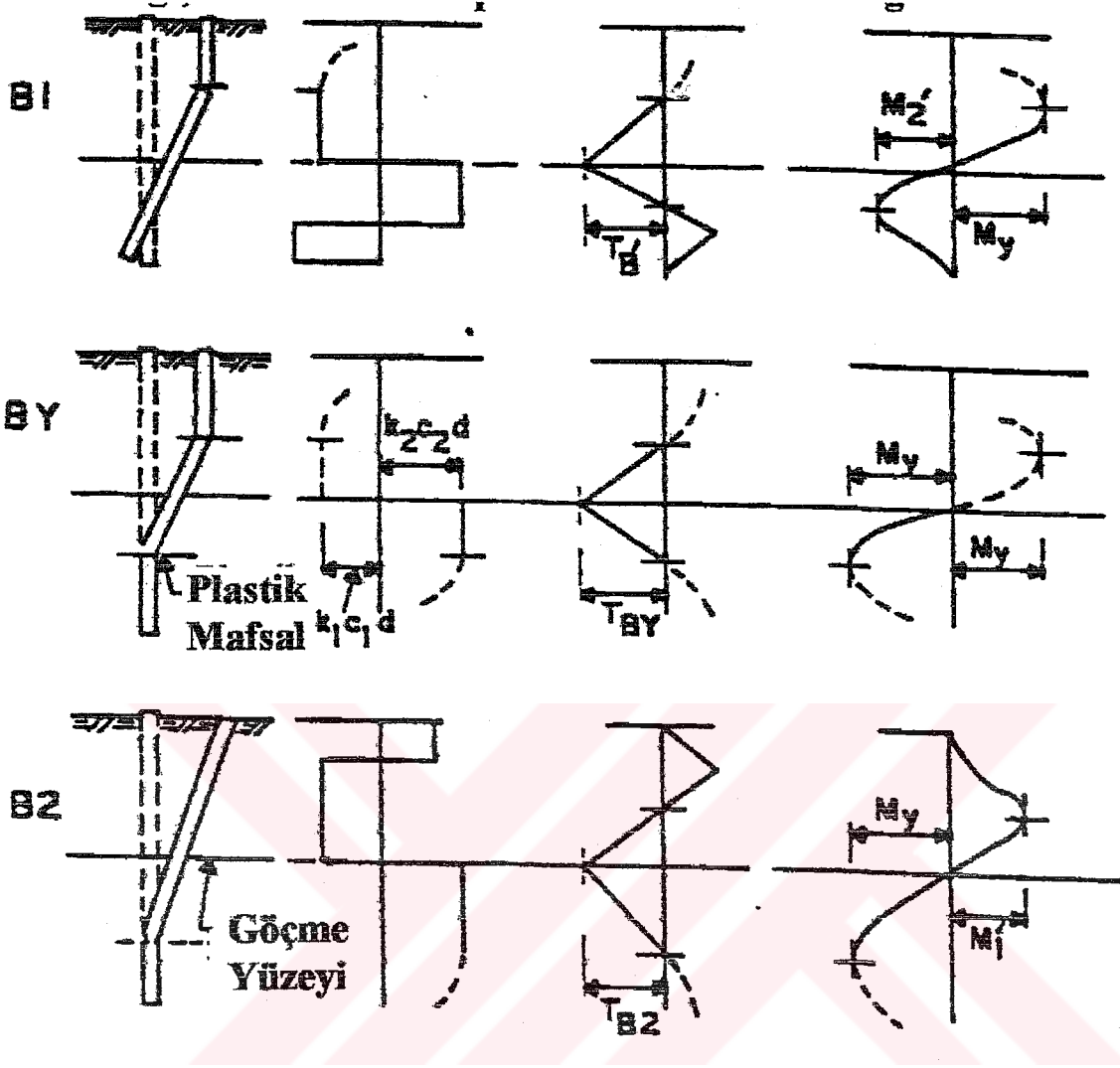
Bu kuram kazıkların nihai basınç durumunda tasarımında kullanılmaktadır.

Yerdeğiştirme Zemin Tepkisi Kesme Kuvveti Eğilme Momenti



Şekil 1.1 Rijit Kazık İçin Göçme Biçimleri

Yerdeğiştirme Zemin Tepkisi Kesme Kuvveti EğilmeMomenti



Şekil 1.2 Plastik Mafsal Durumunda Göçme Biçimleri

1.2 Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi bütünü ile karışık problemlerin çözümünde kullanılır. Bu yöntemde zeminin gerçek gerilme-zorlanma ilişkisi çoklu doğrusal veya hiperbolik yaklaşımla örneklenebilir. Genellikle kazığı verilen bir saha deplasmanında ele almak uygun olmayabilir. Çünkü kazık yapısının sahaya etkisinden girilen veriler değişmiş olur. Bu bakımdan problemi nicelik bakımından çözmek için kazık kümesi ve yumuşak tabakalar olmak üzere tüm yüklemelerin göz önüne alınması gerekir. Bu da genellikle bilgisayar programlarını çok karmaşık hale getirir.

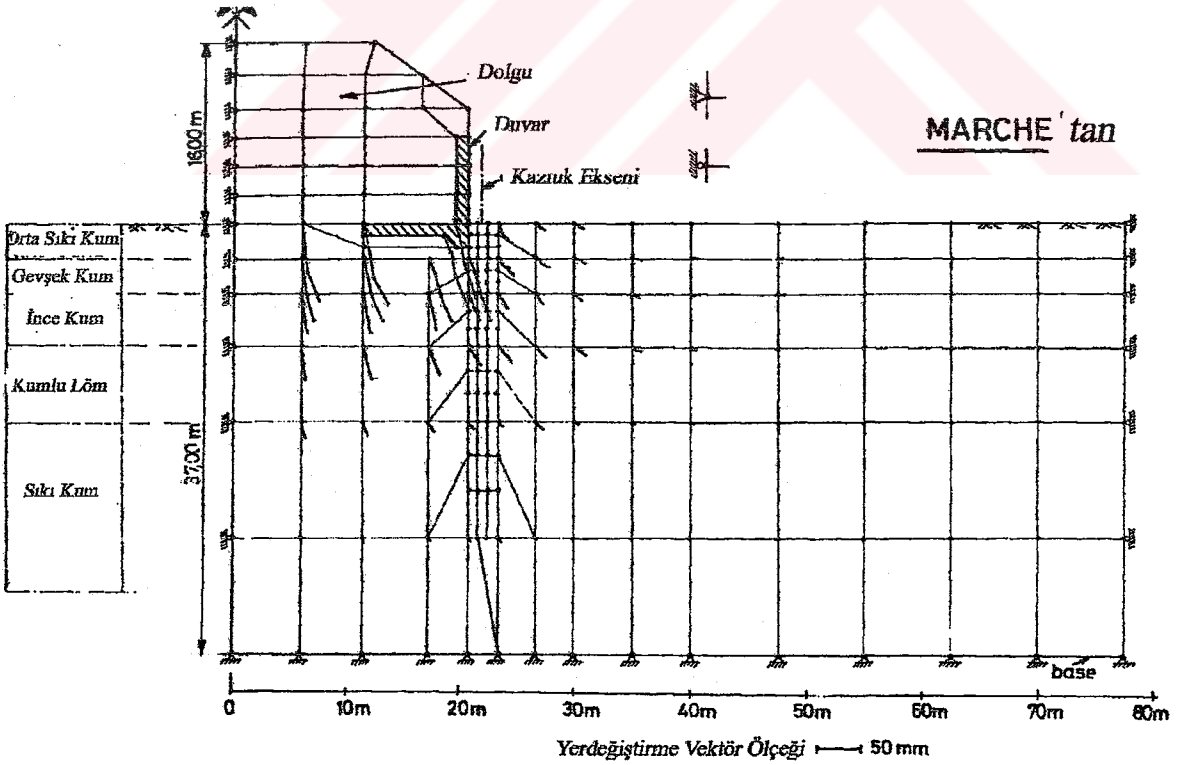
Bu yaklaşımda saha deplasmanları bilindiğinde doğru değerler elde edilebilir. Ancak genel

durum böyle olmayabilir. Örneğin Belçika'da Marche (1973) özel bir kazık deney programı ile ölçülen değerleri düzeltmeye çalışmıştır. Duncan (1970) tarafından yayınlanan programın kullanıldığı bu çalışmada sisteme hesaplanan deplasman verileri girildiğinde deneysel veriler sağlanamamıştır. Buna karşın ölçülen deplasman değerleri girildiğinde hesaplamalarla deneysel değerler arasında iyi bir uyum yakalanmıştır.

Deplasman yapan sahada verilen kazık kümesinin sonlu elemanlar yöntemi ile analizi bazı özel parametrelerin etkisi hakkında niteleyici ve ilgi çekici bilgiler verebilir, Moser (1973).

Yatay deplasman özellikle heterojenlik ve anizotropi olmak üzere birçok parametrenin hassas bir fonksiyonudur. Pasif kazıklar da deplasmanın hassas bir fonksiyonudur. Buna karşın verilerin olabildiğince doğru girilmesi durumunda sonlu elemanlar yöntemi ile analiz niteleyici bilgiler verebilir. Bununla birlikte sonlu elemanlar yöntemi yatay yüklerin tamamını ve kazık kümesini içermelidir. Bilindiği gibi çoğu problem üç boyutludur. Bunun için çok karmaşık çözümler gerekmektedir. Bu tür çözümler özel durumlarda uygulanabilir.

Ayrıca Fukuoka (1977) şevlerin iyileştirilmesinde kullanılan kazıkların tasarımında sonlu elemanlar yönteminin kullanımında zorlukları ve limitleri vurgulamıştır.



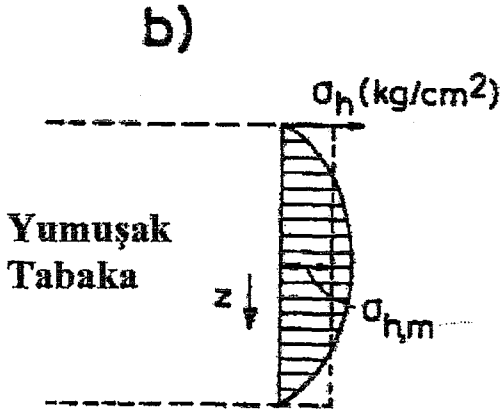
Şekil 1.3 Sonlu Elemanlar Yöntemine Örnek

1.3 Lineer Elastik Malzeme Varsayımına Dayalı Çözümler

Oteo (1977) makalesinde Begemann- De Leeuw (1972) tarafından uygulanan yöntemi önermektedir. Bu yöntemde zemin sabit elastisite modüllü ve $\nu=1/2$ olan lineer-elastik malzeme olarak ele alınmaktadır.

Kazık olmaması durumunda verilen yüklerden doğan gerilme ve yer değiştirmeler Boussinesq gerilme dağılışı varsayımına göre hesaplanır. Sonsuz uzunluktaki rijit ve tutulu başlıklı kazığa etkiyen gerilmenin Boussinesq değerlerinin iki katı olması gerektiği kabul edilir.

Kazık boyunca zemin-kazık etkileşiminin uniform olduğu kabul edilir. Kazık eğilmesi ile zemin maximum deplasmanı eşitlendiğinde kazık zemin etkileşim değeri bulunur.

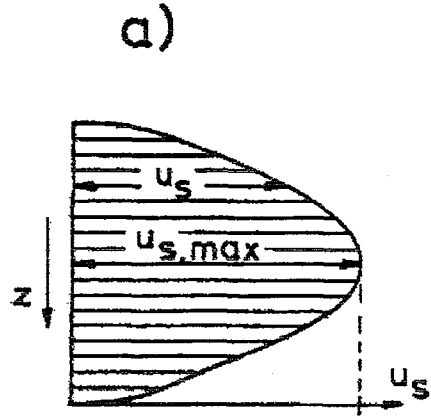


z = Zemin Yüzeyinden Derinlik

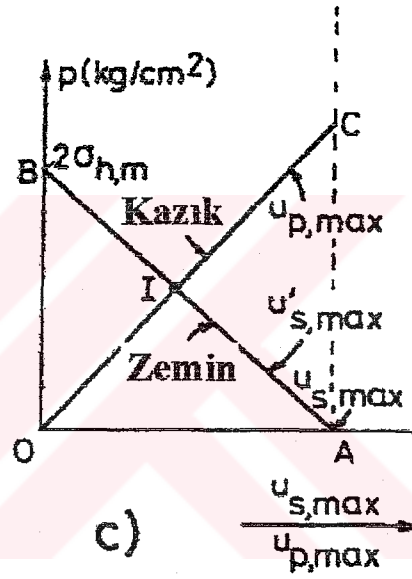
ρ = Kazığa Düzgün Zemin Etkisi

σ_h = Kazık Olmaması Durumunda Kazık Düşeyinde Zemin Gerilmesi

$\sigma_{h,m}$ = Düşeyde Kazık Boyunca Gerilmelerin Değeri



Kazık Olmaması Durumunda Kazık Düşeyinde Zemin Deplasmanı



Çizgi AB: $p = f(u_{s,max}) \rightarrow u_{s,max} = \text{Maximum Zemin Deplasmanı}$

Çizgi OC: $p = f(u_{p,max}) \rightarrow u_{p,max} = \text{Kazık Eğilmesi}$

Şekil 1.4 Begemann-De Leeuw Yöntemi

Bu kuramdaki bazı sınırlamalar aşağıda verilmiştir:

- 1- Lineer elastik malzeme varsayılmıştır.
- 2- Boussinesq kuramı tarafından verilen gerilme ve deplasman değerleri kullanılmaktadır. Bu da gerçekten çok farklı olabilir.(Perloff-Harry)

Ayrıca bu yöntemin gerçekten farklı değerler verebilen şüpheli bir yöntem olduğu De Beer tarafından da belirtilmektedir.

1.4 İdeal Elastik-Plastik Malzeme Varsayımına Dayalı Çözümler

Poulos (1977) bu yöntemi sınırlı değişikliklerle deformasyon modülü E_s ve kabul edilen gerilmesi (z derinliği ile değişebilen) σ_{kabul} olan ideal elastik-plastik zemin içindeki tek kazık probleminin çözümünde kullanmıştır. Poulos un bu yönteminde aşağıdaki verileri bilmek gerekir.

- 1- Zemin modülü E_s değeri
- 2- Kabul edilen zemin basıncı p_{kabul}
- 3- Kazık olmaması durumunda zemin hareketi

Burada en kritik etki kazık olmaması durumunda zemin hareketi u_s belirlenmesidir (De Beer 1977). Poulos (1967) çalışmasında rijit temele oturan deformasyon modülü E_s sabit olan belirli kalınlıktaki elastik tabakada, gerilme ve yer değiştirmelerin kolayca tahmini için tablolar ve diyagramlar vermiştir. L.canizo ve M. Merino (1977) çalışmasında yarı sonsuz lineer elastik ortamda karakteristik uzunluk B ye bağlı olarak çeşitli düşey yükleme durumlarında yatay yer değiştirme $u_s = (x/B, z/B)$ belirlenmesi için tablolar verilmiştir. Bu veriler gerçek zeminin homojen, izotrop ve lineer elastik olması durumunda pratik önemli olabilir. Bu da seyrek karşılaşılan durumdur.(De Beer 1977)

Poulos (1967) kuramsal sonuçlardan güvenli değerler çıkarılsa da yanal hareketlerin anizotropi ve homojen olmama durumuna oturmalarından daha hassas olduğunu belirterek sonuçların şüphe içerdiğine işaret etmektedir.

1.5 Visko-Plastik Akışkan Teorisi

Fırat (1998) tarafından tek bir kazık veya grup kazıklar için önerilen visko-plastik akışkan teorisi aşağıdaki varsayımları içermektedir.

- Visko-plastik akışkan iki boyutlu ve derinlik boyunca üniformdur.
- Kazığı geçen akışkan aynı seviyede, sabit ve simetriktir.
- Akışkan sıkıştırılmaz
- Tümüyle viskoz akışkan modeli kullanılmıştır.
- Zemin tabakası, akma gerilmesi τ_p ve plastik viskozite η_p ile birlikte Bringham plastik model yaklaşımı ile örneklenmiştir.
- Kazığa etkiyen kuvvet kazık gövdesine dik olarak etkimektedir.

Kazığın birim boyuna etkiyen yanal basınç, visko-plastik akışkan teorisi ile aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir.

$$F = \frac{2}{Re} \int_0^{\pi} \left(\eta \omega - \frac{\partial}{\partial \xi} (\eta \omega) \right) \sin \theta d\theta \quad (1.3)$$

Bilindiği gibi zemin tabakası derinliği arttıkça kazığa etkiyen yanal kuvvet de artmaktadır. Bu durum aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanmıştır.

$$\omega = \gamma dz \quad (1.4)$$

Burada η plastik viskozite, ω kazığın birim boyuna etkiyen yanal kuvvet, γ zemin tabakasının birim ağırlığı, d kazık çapı, z ise derinliktir.



Şekil 1.5 Derinlik Etkisinin Yanal Kuvvet Hesaplamasına Katkısı

1.6 De Beer ve Carpentier Yöntemi

Plastik deformasyon kuramı ilk kez Ito-Matsui (1975) tarafından önerilmiştir. Bu kuram daha sonra De Beer ve Carpentier tarafından (1977) değiştirilerek plastik deformasyon kuramı ile diğer bir yanal basınç hesaplama yöntemi geliştirmiştir. Bu yöntem ile kazığın her birim boyuna etkiyen yanal toprak basıncı aşağıdaki eşitlik ile bulunabilir;

$$p = \frac{\gamma z}{N_\phi} \left(1 + \frac{\sin \phi}{2} N_\phi \right) \left[D_1 \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^{F_1(\phi)} e^{\frac{D_1 - D_2}{D_2} F_2(\phi)} - D_2 \right] + c \cdot \cot g \phi$$

$$\left[D_1 \frac{(D_1 / D_2)^{F_1(\phi)}}{N_\phi} \left(1 + \frac{\sin \phi}{2} N_\phi \right) e^{\frac{D_1 - D_2}{D_2} F_2(\phi)} - D_1 - D_2 \frac{1 + \frac{\sin \phi}{2} N_\phi}{N_\phi} + D_2 \right] \quad (1.5)$$

Burada:

$$F_1(\phi) = \frac{N_\phi}{\tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right)} (1 - \sin \phi) \tan \phi + N_\phi (1 - \sin \phi) - 1$$

$$F_2(\phi) = \frac{1 - \sin^2 \phi}{1 + \sin^2 \phi} \tan \phi \tan\left(\frac{\pi}{8} + \frac{\phi}{4}\right)$$

$$N_\phi = \tan^2(\pi/4 + \phi/2)$$

D_1 =Kazıklar arası merkezden merkeze uzaklık

D_2 =Kazıklar arası net açıklık

c =Zemin kohezyonu

ϕ =Zeminin içsel sürtünme açısı

γ =Zeminin birim hacim ağırlığı

z =Yer yüzeyinden derinlik

Kazıklara etkiyen yanal toprak basıncı p , zemin tabakası boyunca Eşitlik 1.5 in integrasyonu ile elde edilir. Eşitlik 1.5 kohezyonsuz zeminler için ($c=0$);

$$p = \frac{\gamma z}{N_\phi} \left(1 + \frac{\sin \phi}{2} N_\phi\right) \times \left[D_1 \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^{F_1(\phi)} e^{\frac{D_1 - D_2}{D_2} F_2(\phi)} - D_2 \right] \quad (1.6)$$

biçimine dönüşür.

Kohezyonlu zeminler için ($\phi=0$);

$$p = c \left[D_1 \left(2 \ln \frac{D_1}{D_2} + \frac{D_1 - D_2}{D_2} \tan \frac{\pi}{8} \right) - \frac{3}{2} (D_1 - D_2) \right] + (D_1 - D_2) \gamma z \quad (1.7)$$

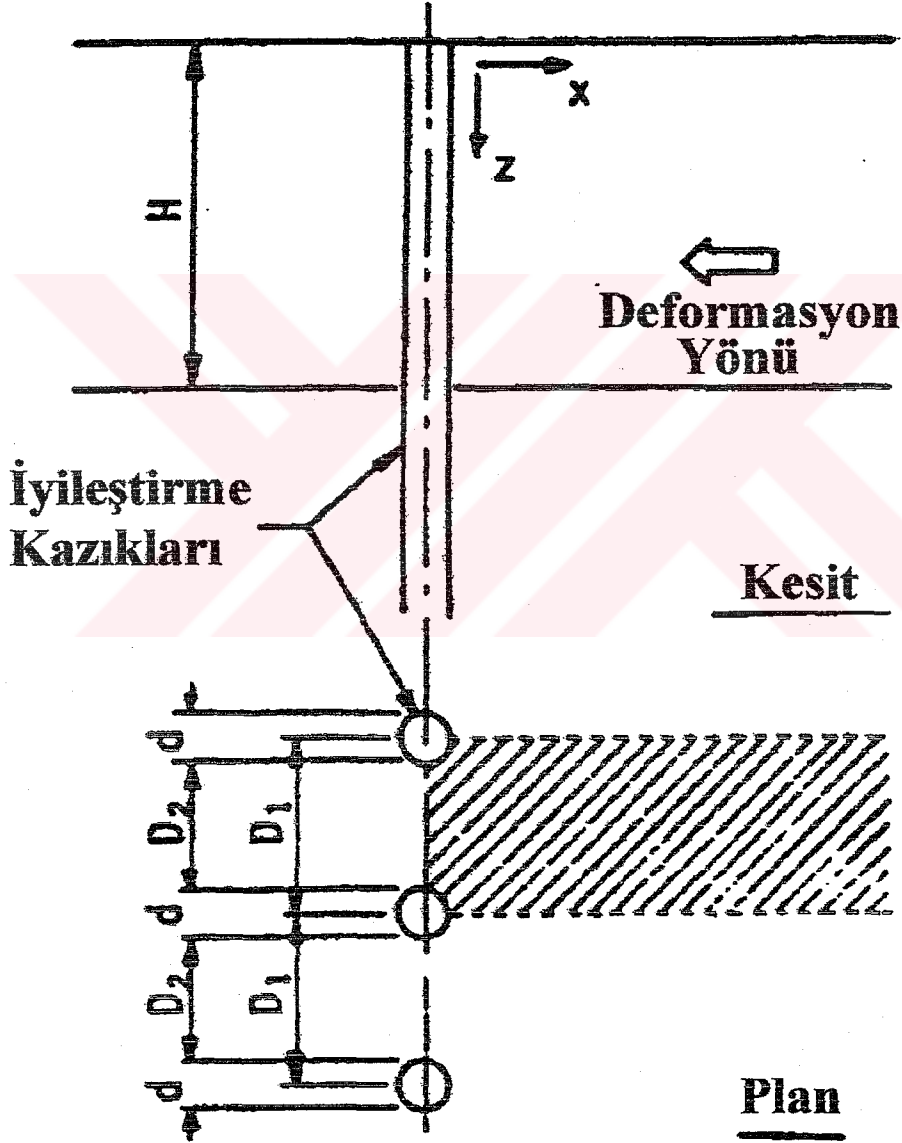
biçimine dönüşür.

1.7 Ito-Matsui Yöntemi

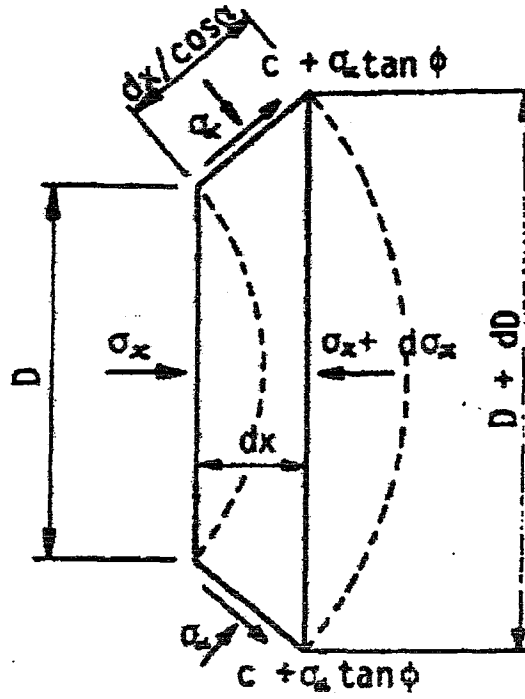
Ito-Matsui tarafından yapılan yaklaşımlar ileriki bölümlerde ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

2. İYİLEŞTİRME KAZIKLARINA ETKİYEN YATAY KUVVETİN KURAMSAL ANALİZİ

Şekil 2.1 de görüldüğü gibi d çaplı kazıklar, plastik deformasyon yapan zemin boyunca D_1 aralıkla dizi halinde yerleştirilmiştir. H kalınlığındaki zemin tabakasında kazık dizisine dik olarak yatay deformasyon oluştuğunda, zemin tabakası ile kazık dizisi arasındaki etkileşimden kazıklara yatay kuvvet etki eder. Analizlerde Şekil 2.1 de taralı olarak gösterilen iki kazık arasındaki zemin tabakasının alınması durumunda plastik deformasyon teorisine dayanan analiz yapılmış olur.



Şekil 2.1 Plastik Deformasyon Yapan Zemine Yerleştirilmiş Kazık Dizisi
(İto ve Matsui, 1975)



Şekil 2.3 Plastik Deformasyon Yapan Zeminin Küçük Elemanı (İto ve Matsui, 1975)

Öncelikle $EBB'E'$ bölgesinde küçük zemin kütesine etkiyen kuvvetin dengesi Şekil 2.3 te gösterildiği gibi x yönünde göz önüne alınacaktır.

$$-Dd\sigma_x - \sigma_x dD + 2dx \left\{ \sigma_\alpha \tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right) + \sigma_\alpha \tan \phi + c \right\} = 0 \quad (2.1)$$

$EB(B'E')$ yüzeyindeki normal gerilme yukarıda sıralanan varsayımların d- maddesine bağlı olarak asal gerilme σ_x 'i yaklaşık olarak karşılayabilir. Aşağıdaki eşitlikler varsayım b- ye bağlı olarak verilmiştir.

$$\sigma_\alpha = \sigma_x N_\phi + 2c \sqrt{N_\phi} \quad (2.2)$$

burada $N_\phi = \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right)$ dir. Geometrik koşullardan;

$$dx = \frac{d \left(\frac{D}{2} \right)}{\tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right)} \quad (2.3)$$

eşitliği elde edilir.

Eşitlik 2.2 ve Eşitlik 2.3, Eşitlik 2.1 de yerine koyulursa aşağıdaki eşitlik elde edilir.

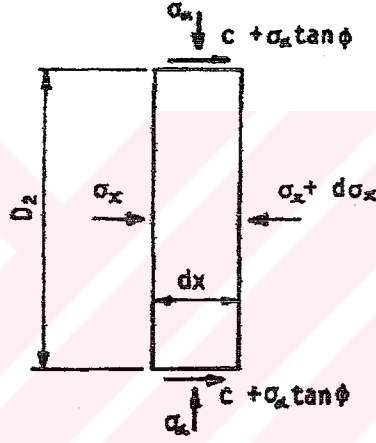
$$Dd\sigma_x = dD * \left\{ \left(N_\phi^{1/2} \tan \phi + N_\phi - 1 \right) \sigma_x + c \left(2 \tan \phi + 2N_\phi^{1/2} + N_\phi^{-1/2} \right) \right\} \quad (2.4)$$

Eşitlik 2.4 ayrılabilir değişkenlerle diferansiyel eşitlik olduğu için integrali alınabilir. Böylece;

$$\sigma_x = \frac{(C_1 D)^{\left(N_\phi^{1/2} \tan \phi + N_\phi - 1 \right)} - c \left(2 \tan \phi + 2N_\phi^{1/2} + N_\phi^{-1/2} \right)}{N_\phi^{1/2} \tan \phi + N_\phi - 1} \quad (1.5)$$

eşitliği elde edilir.

Burada C_1 integral sabitidir.



Şekil 2.4 Plastik Deformasyon Yapan Zeminin Küçük Elemanı (İto ve Matsui, 1975)

Bundan sonra $AEE'A'$ bölgesinde küçük zemin elemanına etkiyen kuvvetlerin dengesi Şekil 2. 4 te gösterildiği gibi x yönünde ele alınacaktır.

$$D_2 d\sigma_x = (\sigma_v \tan \phi + c) dx \quad (2.6)$$

Eşitlik 2.2 Eşitlik 2.6 da yerine konur ve integrali alınırsa;

$$\sigma_x = \frac{C_2 \exp \left(\frac{2N_\phi \tan \phi}{D_2} X \right) - c \left(2N_\phi^{1/2} \tan \phi + 1 \right)}{N_\phi \tan \phi} \quad (2.7)$$

eşitliği elde edilir.

Burada C_2 integral sabitidir.

Diğer taraftan aktif toprak basıncı Şekil 2.2 de AA' düzleminde etkidiği kabul edilirse, AA' düzlemindeki normal gerilme örnekteki gibi $x=0$ düzlemidir ve aşağıdaki eşitlikle gösterilir.

$$|\sigma_x|_{x=0} = \gamma z N_\varphi^{-1} - 2N_\varphi^{-1/2} \quad (2.8)$$

Burada z zemin yüzeyinden alınan derinlik ve γ zeminin birim hacim ağırlığıdır. Eşitlik 2.7 deki sabit C_2 Eşitlik 1.8 sınır koşulu varsayılarak bulunabilir. Böylece;

$$C_2 = \gamma z \tan \varphi + c \quad (2.9)$$

eşitliği elde edilir.

Eşitlik 2.7 ve 2.9 kullanılarak Şekil 2.2 deki EE' düzlenme etkileyen normal gerilme aşağıdaki eşitlik ile bulunabilir.

$$|\sigma_x|_{x=\{(D_1-D_2)/2\} \tan(\pi/8+\varphi/4)} = \frac{1}{N_\varphi \tan \varphi} \left\{ (\gamma z \tan \varphi + c) \exp\left(\frac{D_1-D_2}{D_2}\right) \right. \\ \left. * N_\varphi \tan \varphi \tan\left(\frac{\pi}{8} + \frac{\varphi}{4}\right) - c(2N_\varphi^{1/2} \tan \varphi + 1) \right\} \quad (2.10)$$

$EBB'E'$ bölgesi gözönüne alındığında EE' düzleminde (burada $D=D_2$) Eşitlik 2.10 sınır koşulu olarak ele alındığında Eşitlik 2.5 teki sabit C_1 aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$(C_1 D_2)^{(N_\varphi^{1/2} \tan \varphi + N_\varphi - 1)} = \frac{(N_\varphi^{1/2} \tan \varphi + N_\varphi - 1)}{N_\varphi \tan \varphi} \left\{ (\gamma z \tan \varphi + c) \exp\left(\frac{D_1-D_2}{D_2} N_\varphi \tan \varphi \right) \right. \\ \left. * \tan\left(\frac{\pi}{8} + \frac{\varphi}{4}\right) - c(2N_\varphi^{1/2} \tan \varphi + 1) \right\} + c(2 \tan \varphi + 2N_\varphi^{1/2} + N_\varphi^{-1/2}) \quad (2.11)$$

Eşitlik 2.5 ve 2.11 kullanılarak BB' düzleminde birim tabaka kalınlığı için x aksı doğrultusunda yatay kuvvet $p_{BB'}$ aşağıdaki şekilde bulunur.

$$p_{BB'} = D_1 \{\sigma_x\}_{D=D_1} = D_1 \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^{(N_\varphi^{1/2} \tan \varphi + N_\varphi - 1)} \left[\frac{1}{N_\varphi \tan \varphi} \left\{ (\gamma z \tan \varphi + c) \right. \right. \\ \left. \left. * \exp\left(\frac{D_1-D_2}{D_2} N_\varphi \tan \varphi \tan\left(\frac{\pi}{8} + \frac{\varphi}{4}\right)\right) - c(2N_\varphi^{1/2} \tan \varphi + 1) \right\} \right]$$

$$+c \frac{2 \tan \varphi + 2N_{\varphi}^{1/2} + 2N_{\varphi}^{-1/2}}{N_{\varphi}^{1/2} \tan \varphi + N_{\varphi} - 1} \Bigg] - cD_1 \frac{2 \tan \varphi + 2N_{\varphi}^{1/2} + 2N_{\varphi}^{-1/2}}{N_{\varphi}^{1/2} \tan \varphi + N_{\varphi} - 1} \quad (2.12)$$

Buna karşın plastik deformasyon yapan zemin tabakası durumunda duraylılık kazığında meydana gelen toplam yatay kuvvet zemin tabakası derinliği boyunca Eşitlik 2.13 ün integrali alınarak bulunabilir.

2.1.1 Kohezyonsuz Zemin

Kohezyonsuz zemin durumunda kohezyon sıfır olarak alınacaktır. Eşitlik 2.13 te kohezyon c yerine sıfır koyulursa yatay kuvvet p aşağıdaki gibi bulunur.

$$p = \frac{\gamma z}{N_{\varphi}} \left\{ D_1 \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^{(N_{\varphi}^{1/2} \tan \varphi + N_{\varphi} - 1)} \exp \left(\frac{D_1 - D_2}{D_2} N_{\varphi} \tan \varphi \tan \left(\frac{\pi}{8} + \frac{\varphi}{4} \right) \right) - D_2 \right\} \quad (2.14)$$

2.1.2 Kohezyonlu Zemin

Kohezyonlu zemin durumunda içsel sürtünme açısı drenajsız koşullar için toplam gerilmeler cinsinden gözardı edilebilir. İçsel sürtünme açısı yerine sıfır konarak eşitlik daha önce tanımlandığı gibi çıkarılabilir. Eşitlik 2.4 te içsel sürtünme açısı sıfır olsun.

$$\frac{dD}{D} = \frac{d\sigma_x}{3c} \quad (2.15)$$

Eşitlik 2.15 in integrali alınır,

$$\sigma_x = 3c \log D + C_3 \quad (2.16)$$

eşitliği elde edilir.

Burada C_3 integral sabitidir. Eşitlik 2.2 Eşitlik 2.6 da yerine konursa ve içsel sürtünme sıfıra giderse,

$$\frac{d\sigma_x}{c} = \frac{2}{D_2} dx \quad (2.17)$$

eşitliği elde edilir.

Eşitlik 2.17 nin integrali alınır,

$$\sigma_x = \frac{2c}{D_2} x + C_4 \quad (2.18)$$

eşitliği elde edilir.

Burada C_4 integral sabitidir.

Diğer taraftan Şekil 2.2 de aktif toprak basıncının AA' düzleminde etkidiği varsayılırsa, AA' düzlemindeki normal gerilme Eşitlik 2.8 e dayanarak aşağıdaki şekilde verilebilir.

$$|\sigma_x|_{x=0} = \gamma z - 2c \quad (2.19)$$

Eşitlik 2.18 deki integral sabiti C_4 Eşitlik 2.19 sınır koşulu olarak ele alındığında bulunabilir.

Böylece Şekil 2.2 de EE' düzleminde etkiyen normal gerilme aşağıdaki gibi bulunur.

$$|\sigma_x|_{x=\{(D_1-D_2)/2\}\tan(\pi/8)} = c \left(\frac{D_1-D_2}{D_2} \tan \frac{\pi}{8} - 2 \right) + \gamma z \quad (2.20)$$

$EBB'E'$ bölgesinde Eşitlik 1.20 sınır koşulu olarak ele alınırsa Eşitlik 2.16 da ki sabit C_3 aşağıdaki şekilde bulunur.

$$C_3 = c \left(\frac{D_1-D_2}{D_2} \tan \frac{\pi}{8} - 3 \log D_2 - 2 \right) + \gamma z \quad (2.21)$$

Eşitlik 2.16 ve 2.21 kullanılarak x aksı doğrultusunda BB' düzleminde birim tabakaya etkiyen yatay kuvvet $p_{BB'}$ aşağıdaki gibi bulunur.

$$\begin{aligned} p_{BB'} &= D_1 \{ \sigma_x \}_{D=D_1} \\ &= D_1 \left\{ c \left(3 \log \frac{D_1}{D_2} + \frac{D_1-D_2}{D_2} \tan \frac{\pi}{8} - 2 \right) + \gamma z \right\} \end{aligned} \quad (2.22)$$

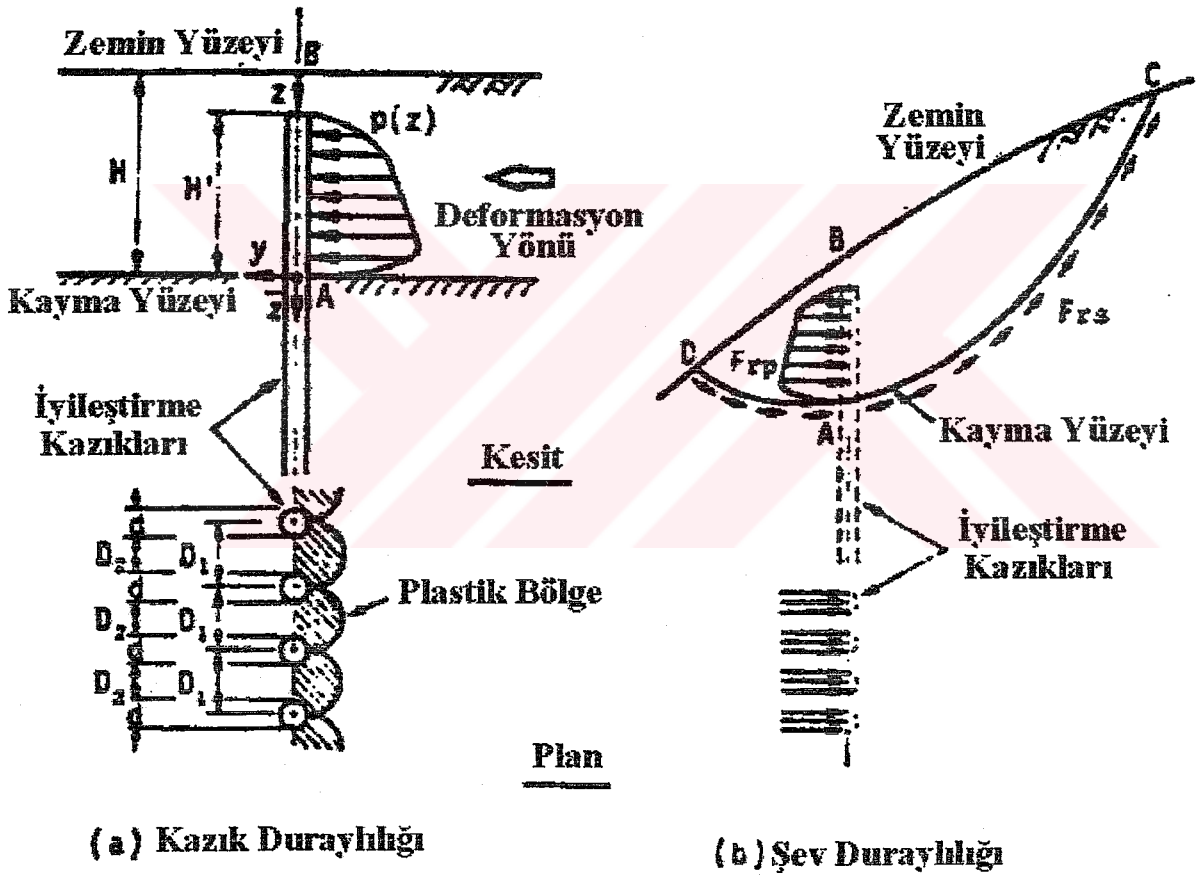
Böylece kohezyonlu zemin için x aksı doğrultusunda birim kalınlıkta zemin tabakası için kazığa etkiyen yatay kuvvet aşağıdaki şekilde bulunur.

$$\begin{aligned} P &= p_{BB'} - D_2 \{ \sigma_x \}_{x=0} \\ &= c \left\{ D_1 \left(3 \log \frac{D_1}{D_2} + \frac{D_1-D_2}{D_2} \tan \frac{\pi}{8} \right) - 2(D_1-D_2) \right\} + \gamma z (D_1-D_2) \end{aligned}$$

3. İYİLEŞTİRME KAZIKLARI İÇEREN ŞEVİN DURAYLILIK ANALİZİ

İyileştirme kazığı içeren şevde duraylılığı bulmak için Şekil 3.1'de gösterildiği gibi hem şev hem de kazık duraylılığı olmak üzere iki analiz yapılmalıdır. Eğer iyileştirme kazıklarına etkiyen yatay kuvvet (heyelan kütleline karşı reaksiyon kuvveti) biliniyorsa, iyileştirme kazıklarının tasarımı ilerde gösterilen yöntemle yapılabilir.

Duraylılık analizinde yatay kuvvetin doğru tahmini önemli bir kilit noktasıdır; çünkü yatay kuvvetin etkisi kazık ve şev duraylılığına zıttır. Bu durumda yatay kuvvetin fazla tahmini kazık duraylılığını tutucu, ancak şev duraylılığını yetersiz sonuca götürür. Yatay kuvvetin az tahmininde ise tersi söz konusudur.



Şekil 3.1: İyileştirme Kazıkları İçeren Şevin Duraylılık Analizi (İto vd., 1981)

3.1 İyileştirme Kazıklarına Etkiyen Yatay Kuvvet

Burada yatay kuvvet kazığın her iki tarafına etkiyen toprak basıncındaki değişimi gösterir. Genelde yatay kuvvet heyelan kütleline hareket olmaması durumunda sıfırdan, kazık etrafındaki zeminin pasif göçmesi durumunda (büyük hareketlerde) nihai değere kadar geniş

bir bölgede değer alabilir. İyileştirme kazıklarının tasarımında heyelan kütlelerinin hareketiyle kayan yüzey boyunca kayma direncinin hemen hemen azalmaya başladığı durumdaki yatay kuvveti kullanmak daha doğrudur. Böylece tüm şevin dengesi değişmeden yatay kuvveti tahmin etmek için, Mohr-Coulomb kriterini sağlayan plastik dengenin yalnızca Şekil 3.1(a)'da ki taraflı parçada oluştuğu varsayılır. Birinci bölümde ayrıntıları açıklanmakla birlikte kazığa etkiyen yatay kuvvet için eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned}
 p(z) = & cD_1 \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^{\left(N_\phi^{1/2} \tan \phi + N_\phi - 1 \right)} \left[\frac{1}{N_\phi \tan \phi} \left\{ \exp \left(\frac{D_1 - D_2}{D_2} N_\phi \tan \phi \tan \left(\frac{\pi}{8} + \frac{\phi}{4} \right) \right) - 2N_\phi^{1/2} \tan \phi - 1 \right\} \right. \\
 & + \left. \frac{2 \tan \phi + 2N_\phi^{1/2} + N_\phi^{-1/2}}{N_\phi^{1/2} \tan \phi + N_\phi - 1} \right] - c \left\{ D_1 \frac{2 \tan \phi + 2N_\phi^{1/2} + N_\phi^{-1/2}}{N_\phi^{1/2} \tan \phi + N_\phi - 1} - 2D_2 N_\phi^{-1/2} \right\} \\
 & + \frac{\gamma z}{N_\phi} \left\{ D_1 \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^{\left(N_\phi^{1/2} \tan \phi + N_\phi - 1 \right)} \exp \left(\frac{D_1 - D_2}{D_2} N_\phi \tan \phi \tan \left(\frac{\pi}{8} + \frac{\phi}{4} \right) \right) - D_2 \right\} \quad (3.1)
 \end{aligned}$$

Burada $N_\phi = \tan^2(\pi/4 + \phi/2)$

D_1 = Kazıklar arası merkezden merkeze uzaklık

D_2 = Kazıklar arası net açıklık

c = Zemin kohezyonu

ϕ = Zeminin içsel sürtünme açısı

γ = Zeminin birim hacim ağırlığı

z = Yer yüzeyinden derinlik

Eğer zemin kohezyonsuzsa yatay kuvvet, Eşitlik 3.1'de c yerine sıfır konarak bulunabilir.

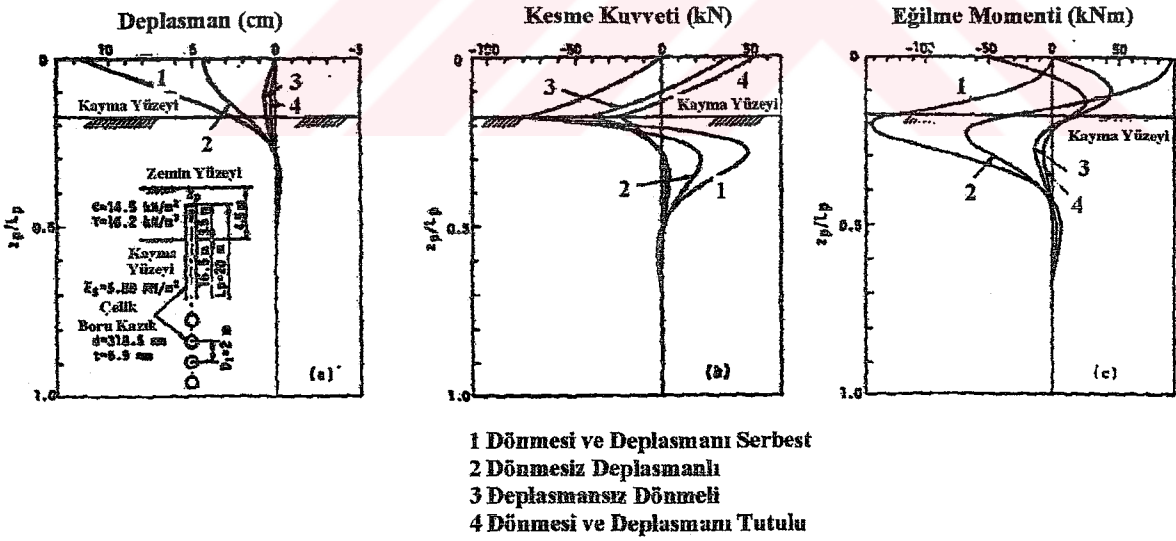
Kohezyonlu zemin ($\phi=0$) durumunda ise yatay kuvvet $p(z)$ aşağıdaki eşitlikle bulunur.

$$p(z) = c \left\{ D_1 \left(3 \log \frac{D_1}{D_2} + \frac{D_1 - D_2}{D_2} \tan \frac{\pi}{8} \right) - 2(D_1 - D) \right\} + \gamma z (D_1 - D) \quad (3.2)$$

Eşitlik 3.1 ve Eşitlik 3.2 rijit kazıklar için geçerli olmakla birlikte, bu eşitliklerin elastik kazıklara uygulanması da yapılabilir. Zira yukarıda tanımlanan zemininde kazık etrafındaki zemin deformasyonu küçüktür ve buna dayanarak kazık deformasyonu etkisi gözardı edilebilir. Ayrıca kuramsal değerlerle, heyelana karşı duraylılık kazıklarından bulunarak gözönüne alınan değerler karşılaştırıldığında; dönmesi ve deplasmanı serbest başlı kazık durumunda bile kuramsal değerler gözönüne alınan değerleri doğrular. Özellikle kazık başının tutulu olması durumunda bu kuram ile dizideki kazıklara etkiyen yatay kuvvet iyi bir doğruluk ile belirlenebilir. (Ito-Matsui 1975)

3.2 Kazık Duraylılığı Analizi

Kazık duraylılığı analizi için kazıkların Şekil 3.1(a)'da gösterildiği gibi; kayan yüzey üzerindeki zemin kütesinden yatay kuvvet etkisinde kaldığı düşünülür ve yatay kuvvet etkisindeki bu aktif kazıklar için analitik bir yöntem uygulanabilir. Ancak pasif kazıklar için Eşitlik 3.1 ve Eşitlik 3.2'de sunulduğu gibi yatay kuvvetler uyarılandır. Kazık duraylılık analizi için temel eşitlikler ve kazık başının tutululuk durumuna göre bunlarının çözümleri 5. bölümde sunulmuştur.



Şekil 3.2 Deplasman Kesme Kuvveti ve Eğilme Momentinin Değişim Grafikleri
(İto vd., 1981)

Şekil 3.2 çelik boru kazık için ekte sunulan eşitlikler kullanılarak bulunan eğilme momenti, kesme kuvveti ve deplasman için örnek olarak verilmiştir. Burada L_p kazık boyu, z_p ise kazık

başından derinliktir. Kazık başı için dört tutululuk durumu göz önüne alınmıştır. Bunlar: dönmesi ve deplasmanı serbest kazık başı, dönmesiz deplasmanlı kazık başı, deplasmansız dönmeli kazık başı, dönmesi ve deplasmanı tutulu kazık başı. Kazık duraylılığı için güvenlik sayısı, izin verilebilir eğilme ve kesme gerilmeleri sırası ile $1,57 \times 10^5$ kN/m² ve $0,98 \times 10^5$ kN/m² varsayılarak Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Kazık Duraylılığında Güvenlik Sayısı (İto vd., 1981)

Kazık başının tutululuk durumu	Kazık duraylılığında güvenlik sayısı	
	Eğilme gerilmesi	Kesme gerilmesi
Dönmesi ve deplasmanı serbest	0.58	8.52
Dönmesiz deplasmanlı	0.91	8.52
Deplasmansız dönmeli	1.84	8.52
Dönmesi ve deplasmanı tutulu	1.52	12.44

Çizelge 3.1'de görüldüğü gibi eğilme momenti için güvenlik sayısı kesme kuvvetinin güvenlik sayısına göre oldukça küçüktür. Bu durum zemin rijitliğinin, kazık rijitliğinden daha büyük olduğu kaya kaymaları dışında genellikle doğrudur. Bununla birlikte kazık duraylılığı için güvenlik sayısı $(F_s)_{\text{kazık}}$ aşağıda gösterildiği gibi izin verilebilir eğilme gerilmesi $\sigma_{\text{izin verilen}}$ kabul alınan maksimum eğilme gerilmesi σ_{max} 'la karşılaştırılarak bulunabilir.

$$(F_s)_{\text{kazık}} = (\sigma_{\text{izin verilen}}) / (\sigma_{\text{max}}) \quad (3.3)$$

Kazığın kesme göçmesi olması durumunda kazığın maksimum kesme gerilmesi gözönüne alınmalıdır. Eğer Eşitlik 3.3'te bulunan güvenlik sayısı birden büyük ise kazık duraylılığı sağlanmış olur.

Çizelge 1'den kazık başında küçük deplasman olması durumunda kazık duraylılığında daha büyük güvenlik etkisi olduğu görülmektedir. Buna bağlı olarak kazık etkisinden daha iyi yararlanmak için, kazık başındaki deplasman ve/veya dönmenin etkin bir şekilde engellenmesi gerektiği söylenebilir.

3.3 Şev Duraylılığı Analizi

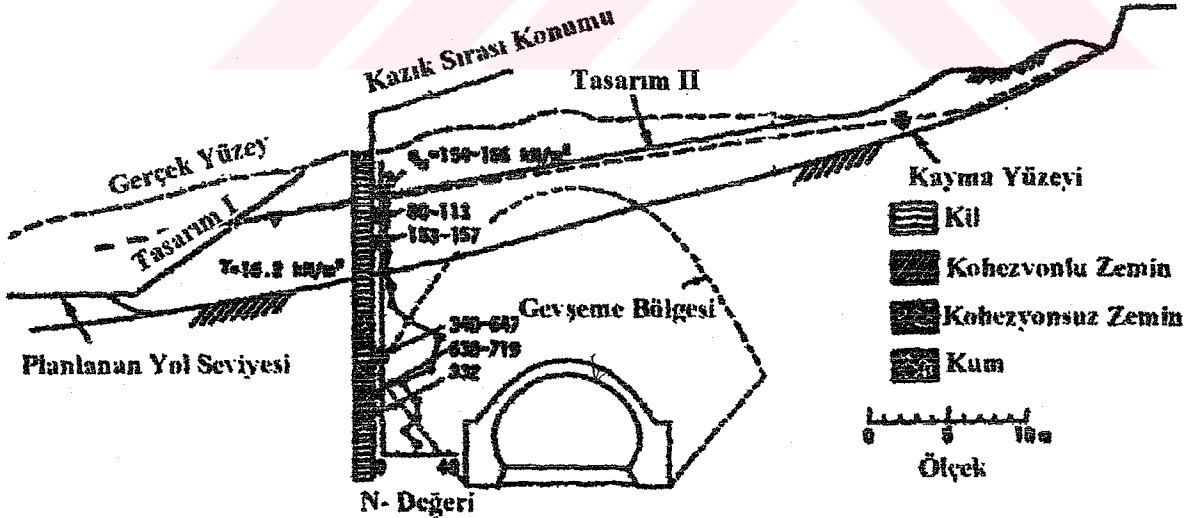
Şev duraylılık analizi, Şekil 3.1(b)'de gösterildiği gibi kayan yüzey üzerindeki CADBC zemin kütlelerine etkiyen direnç kuvveti F_r , kaydırıcı kuvvet F_d ile karşılaştırılarak yapılabilir. Direnç kuvveti F_r kayan yüzey CAD boyunca kayma direnci F_{rs} ve AB planındaki kazık dizisindeki kazıkların reaksiyon kuvveti F_{rp} toplanarak bulunabilir. Kazık yerinin zemin kütlelerinin örnekte gösterildiği gibi olması durumunda, kayan yüzey AD boyunca kayma direncinin direnç kuvvetlerinin bir parçası olarak alınması fazla yanlış içermez.

Böylece şev duraylılığında güvenlik sayısı $(F_s)_{şev}$ kazık direnci de göz önüne alındığında aşağıdaki şekilde gösterilebilir.

$$(F_s)_{şev} = (F_r) / (F_d) = (F_{rs} + F_{rp}) / (F_d) \quad (3.4)$$

F_{rs} ve F_d şev duraylılık analizlerindeki sıradan dilim yöntemleri kullanılarak bulunabilir. Diğer taraftan F_{rp} , kazığın reaksiyon kuvveti dizideki kazıklar arası merkezden merkeze aralık D_i 'e bölünerek bulunabilir. Kazığın kesme göçmesi oluşması durumunda F_{rp} kayan yüzeydeki kazık kesme direncinden bulunmalıdır. Eğer Eşitlik 3.4'teki güvenlik sayısı gerek duyulandan büyük ise şev duraylılığı sağlanmış olur.

3.4 Heyelanların İyileştirilmesinde Duraylılık Kazıklarının Etkisi



Şekil 3.3: Heyelan Şevinin Kesiti (İto vd., 1981)

Duraylılık kazıklarının etkisini araştırmak için Şekil 3.3'te gösterilen heyelan şevi örnek olarak benimsenmiştir. Şev kesitinde sondaj logu, standart penetrasyon testinin N değerleri,

ve koni uç direnci q_u verilmiştir. Bu heyelan şevi 65 m uzunluğunda ve 95 m genişliğindedir. Kayan yüzey üzerindeki zeminin birim hacim ağırlığı $\gamma=16,2 \text{ kN/ m}^3$ 'tür. Kohezyon c ve içsel sürtünme açısı $\phi, c-\phi$ yöntemiinden bulunarak sırası ile kayan yüzey boyunca $9,8 \text{ kN/m}^2$ ve 5° 'dir.

Şekil 3.3'te gösterilen 1 nci tasarım bölümünde, şev için güvenlik sayısı dilim yöntemi ile 0,78'dir. Eğer şev duraylılığı için gerekli güvenlik sayısı 1,2 ise şev güvensizdir. Diğer taraftan 2 nci tasarım bölümünde güvenlik sayısı 0,92 bulunmuştur. Ancak duraylılık sağlanamamıştır. Bu gibi durağan olmayan şev durumunda şev duraylılığı için güvenlik sayısı, heyelana karşı kazık etkisi göz önüne alınarak gerek duyulan değer aşılabılır. Şevin duraylılığı, bir önceki bölümde tasarlanan şev ve kazık duraylılık analizleri yapılarak incelenebilir.

Kazıklar arası açıklık, kazık başının tululuk durumu, kayan yüzey üzerindeki kazık boyu, kazık çapı ve çelik boru kazığın rijitliğinin heyelana karşı iyileştirme kazığı üzerindeki etkisi göz önüne alınmıştır. Böylece yukarıda söylenen beş etken 2 nci tasarım bölümü için sırası ile araştırılmıştır. Öncelikle Şekil 3.3'te noktalı çizgilerle gösterilen tünel reaksiyon bölgesi dışında düzenlenen kazık pozisyonunda, kayan yüzey üzerindeki kazık boyu 3 m olan 711,2 mm çaplı 22 mm kalınlıklı çelik boru kazıklar göz önüne alınarak kazıklar arası uzaklığın etkisi araştırılmıştır. Bundan sonra kazıklar arası açıklık değerlendirilerek diğer dört etken de sırası ile araştırılmıştır. Ayrıca çelik boru kazığın rijitliğinin desteklenmesinin etkisinde araştırılmıştır.

Bu araştırmada aşağıdaki varsayımlar yapılmıştır.

1-)Çelik kazığın elastisite modülü $E_p=2.06 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$ 'dir.

2-)Çelik kazığın izin verilebilir eğilme ve kesme gerilmeleri sırası ile $1,57 \times 10^5 \text{ kN/m}^2$ ve $0,98 \times 10^5 \text{ kN/m}^2$ 'dir.

3-)Kayan yüzey altındaki zemin elastisite modülü $E_s=4 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$ 'dir.(N değerlerine dayanarak)

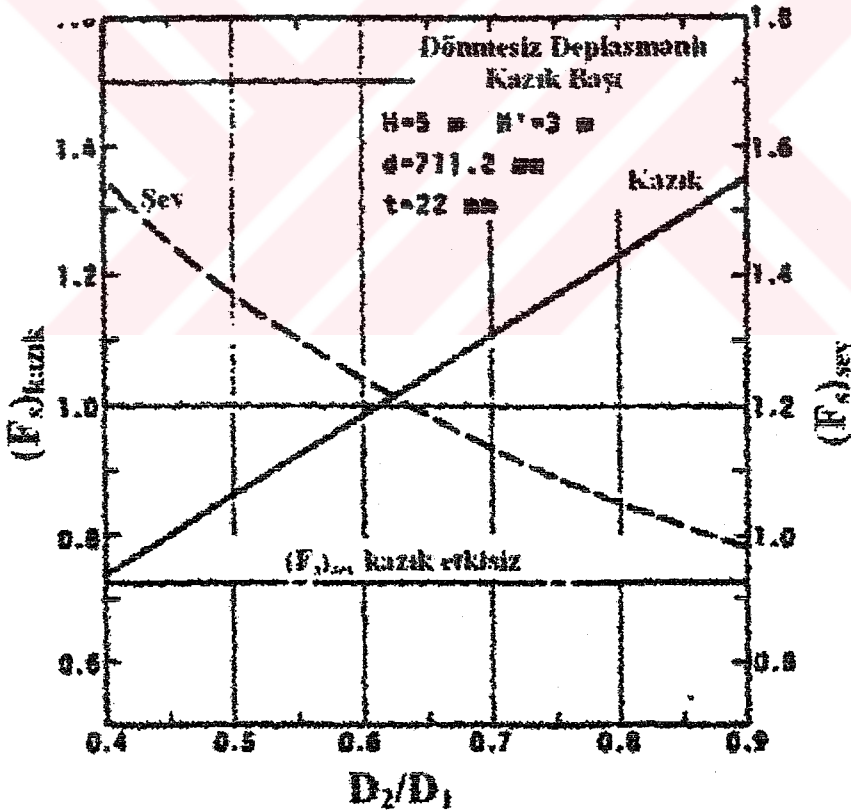
4-)Kazık boyu sonsuzdur.

5-) Kazık ve şev duraylılığı için gerek duyulan güvenlik sayıları sırası ile 1.0 ve 1.2'dir.

3.4.1 Kazıklar Arası Uzaklığın Etkisi

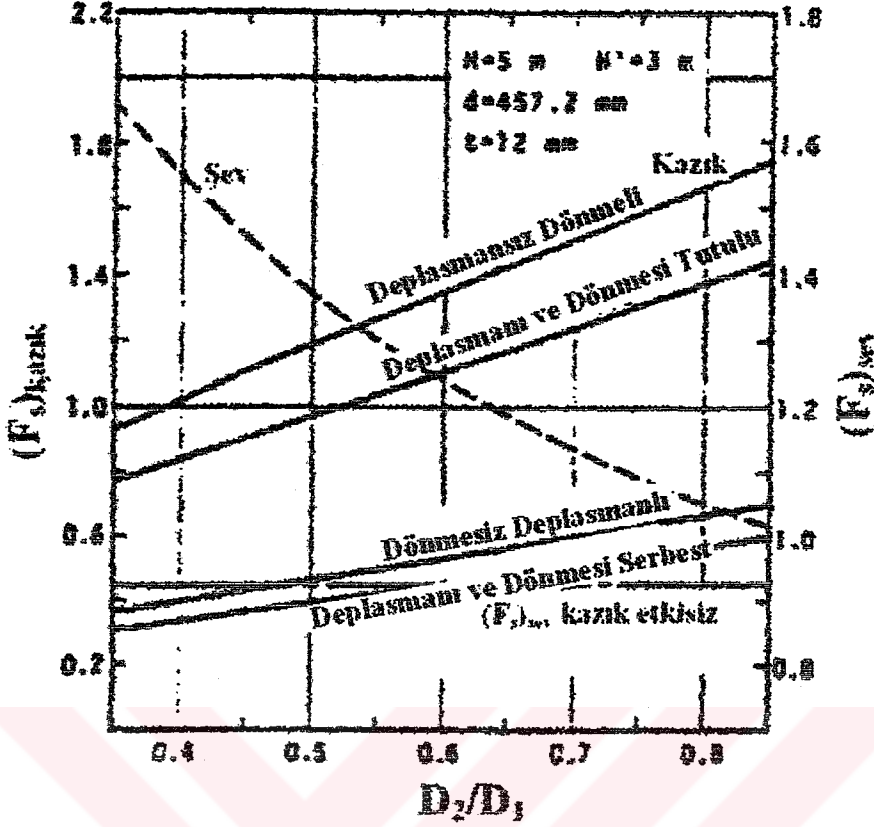
Şekil 3.4 D_2/D_1 açıklık oranına bağlı olarak, kazıklar arası açıklık ile kazık ve şev duraylılığı için güvenlik sayısı arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Bu şekilde dolu çizgi D_2/D_1 ' e bağlı olarak güvenlik sayısı $(F_s)_{kazık}$ değerlerini göstermektedir. Burada eğik kesikli çizgi ve yatay nokta çizgi sırası ile kazık etkisinin göz önüne alınması ve alınmaması durumunda şev güvenlik sayısı $(F_s)_{şev}$ ' i göstermektedir. Böylece kazık etkisi bu iki çizgi arasındaki farkla tanımlanmakla birlikte, kazık duraylılığının sağlanması durumunda güvenlik sayısı hakkında bilgi verir.

Bu şekilden görüldüğü gibi kazıklar arası açıklığın heyelanlara karşı iyileştirme kazıklarının etkisi üzerinde büyük etkisi vardır. Çünkü kazık duraylılığı için güvenlik sayısı, açıklık oranı D_2/D_1 'nin artmasıyla aşamalı olarak artar, ancak şev stabilitesi için güvenlik sayısı aşamalı olarak azalır. Bu durumda kazıklar arası açıklığın artmasıyla kazığa etkiyen yatay kuvvetin (yatay kuvvet reaksiyonunun) azalması söz konusudur.



Şekil 3.4: Kazık Güvenlik Sayısı $(F_s)_{kazık}$ ve Şev Güvenlik Sayısı $(F_s)_{şev}$ ile Açıklık oranı D_2/D_1 Arasındaki İlişki (İto vd., 1981)

3.4.2 Kazık Başının Tutululuk Durumunun Etkisi



Şekil 3.5 Kazık Başının Tutululuk Durumunun Etkisi (İto vd., 1981)

Şekil 3.5 457,2 mm çaplı, 12 mm et kalınlıklı çelik boru kazık için, kazık başının tutululuk durumu değişken parametre alınarak hem kazık hem de şev duraylılığı için güvenlik sayısını göstermektedir. Kazık başı tutululuk durumu için daha önce tanımlanan dört durum göz önüne alınmıştır.

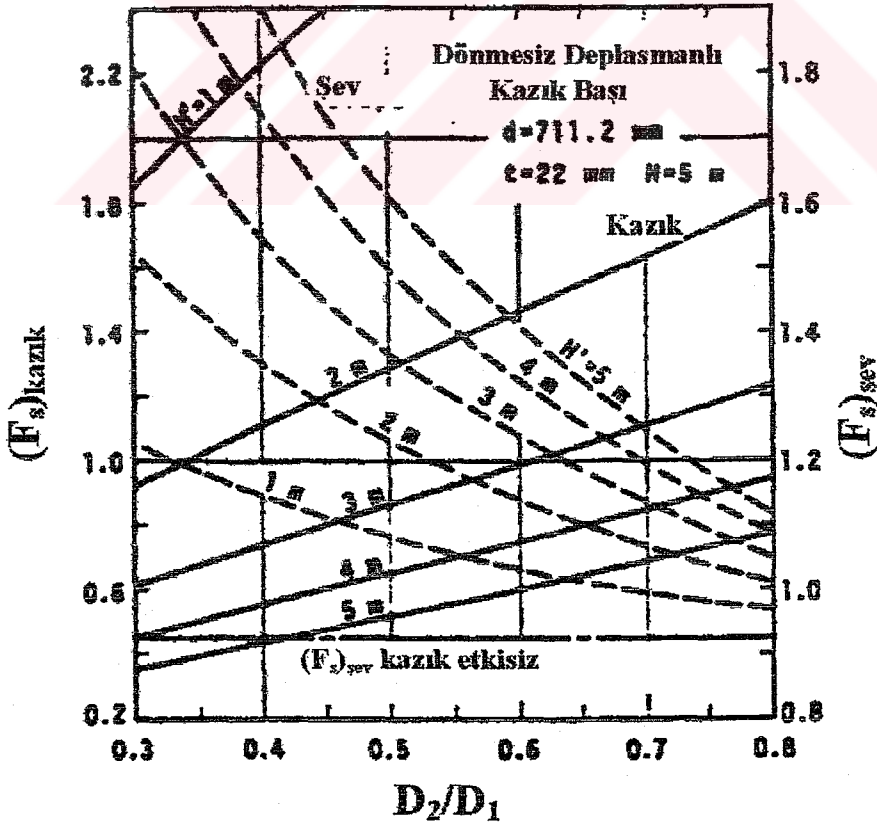
Bu şekilden görüldüğü gibi sırası ile dönmesi ve deplasmanı serbest kazık başı, dönmesiz deplasmanlı kazık başı, deplasmanlı ve dönmesi tutulu kazık başı, dönmesi ve deplasmanı tutulu kazık başı durumuna göre kazık duraylılığı için güvenlik sayısı değerleri oldukça artmaktadır. Bu durumda kazık duraylılığı deplasmanlı ve dönmesi tutulu kazık başı ve dönmesi ve deplasmanı tutulu kazık başı durumunda bulunur. Buna karşın daha önce belirtildiği gibi kazık başında deplasmanın daha etkin şekilde engellenmesi durumu daha etkilidir. Bu kazık başı tutululuk durumu kazık başlarının gerilme ankrajları ile karışık yatay kirişlerle kazık başlarının tutturulması ile sağlanabilir. Tünel varlığı nedeni ile bu durumda kazık başının tutululuk durumu yetersiz kalabilir. Buna karşın dönmesiz deplasmanlı kazık başı durumu daha uygun olabilir.

3.4.3 Kayan Yüzey Üstündeki Kazık Boyunun Etkisi

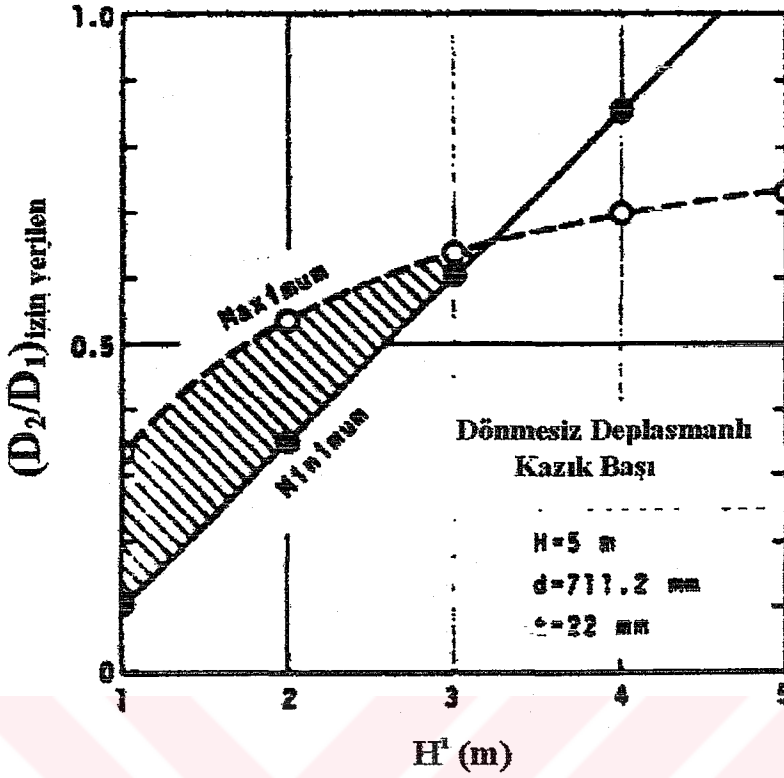
Şekil 3.6 H^1 değişken parametresine bağlı olarak kayan yüzey üzerindeki kazık boyunun etkisini göstermektedir. Diğer parametreler Şekil 3.4 ile aynı olmakla birlikte kayan yüzey üzerindeki kazık boyu için 1 m'den-5 m'ye değişen beş değer göz önüne alınmıştır.

Şekil 3.6'da görüldüğü gibi kayan yüzey üzerindeki kazık boyunun artmasıyla kazık duraylılığı için güvenlik sayısı azalmakta ancak şev duraylılığı için güvenlik sayısı artmaktadır. Bu, kayan yüzey üzerindeki kazık boyunun artmasının kazığa etkileyen yatay kuvveti (yatay kuvvet reaksiyonunun) arttırması nedeniyledir.

Şekil 3.6'nın sonuçlarına dayanarak Şekil 3.7'de izin verilebilir açıklık oranı D_2/D_1 ile, kayan yüzey üzerindeki kazık boyu H^1 arasındaki ilişki gösterilmiştir. Bu şekilde dolu çizgi kazık duraylılığını sağlamak için minimum açıklık oranını, kesikli çizgi ise şev duraylılığını sağlamak için maksimum açıklık oranını göstermektedir. Buna karşın Şekil 3.7'deki taralı parça kazık ve şev duraylılığının sağlandığı bölgeyi göstermektedir. H^1 nün 3 m'den küçük olması durumunda kayan yüzey üzerindeki kazık boyunun artması ile izin verilebilir açıklık oranının arttığı görülmektedir.



Şekil 3.6: Kayan Yüzey Üstündeki Kazık Boyu H^1 'nün Etkisi (İto vd., 1981)



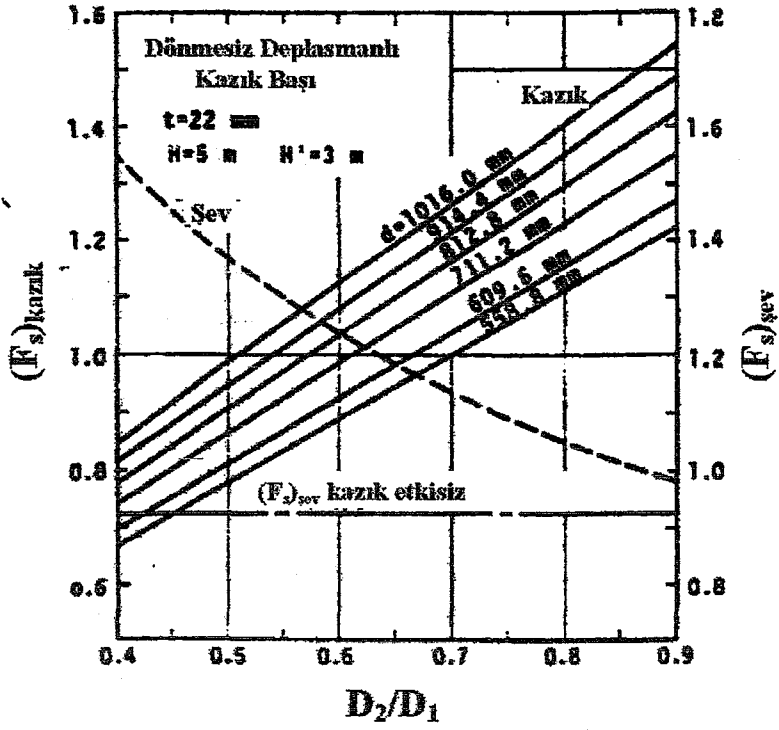
Şekil 3.7 Kayan Yüzey Üzerindeki Kazık Boyu H' ile İzin Verilebilir Açıklık Oranı $(D_2/D_1)_{\text{izin verilen}}$ Arasındaki İlişki (İto vd., 1981)

3.4.4 Kazık Çapının Etkisi

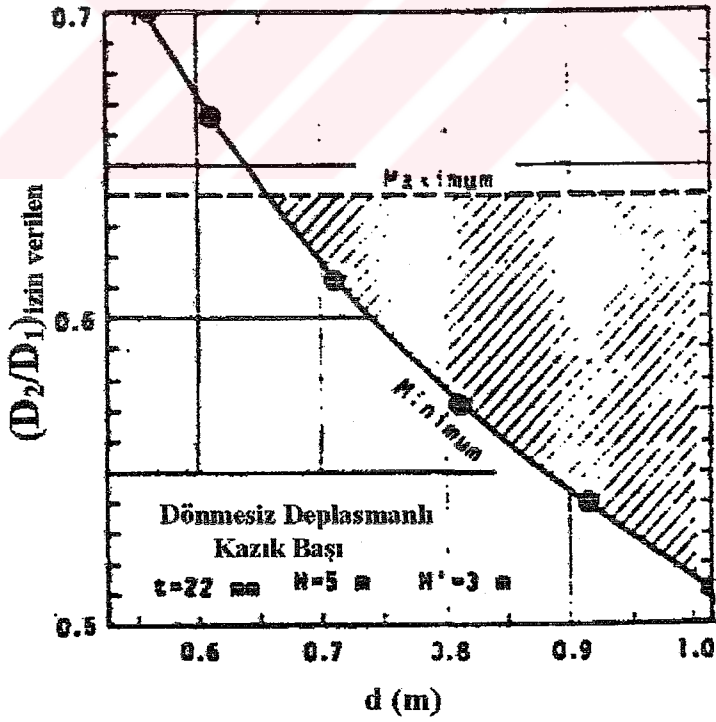
Şekil 3.8 $d(=D_1 - D_2)$ değişken parametre seçilmesi durumunda kazık çapının etkisini göstermektedir. Diğer koşullar Şekil 3.4 ile aynı olmakla birlikte kazık çapı için 558.8 mm'den 1016.0 mm'ye kadar altı değer gözönüne alınmıştır.

Şekil 3.8' de görüldüğü gibi kazık çapının artmasıyla kazık duraylılığı için güvenlik sayısı artmaktadır.. Şev duraylılığı için güvenlik sayısı ve açıklık oranı D_2/D_1 arasında ilişki, kazık çapı önemsenmeden tasarlanır. Bu, birim genişlik için yatay kuvvet reaksiyonu $p(z)/D_1$ 'in Eşitlik 3.1 ve 3.2'de görüldüğü gibi D_2/D_1 açıklık oranının fonksiyonu olmasından kaynaklanmaktadır.

Böylece Şekil 3.9'da görülen taralı parça hem kazık hem de şev duraylılığının sağlandığı bölgeyi temsil etmektedir. 22 mm kalınlıkta 558.8 ve 609.6 mm çaplı kazıklarda kazık rijitliğinin artırılması gerekmektedir.



Şekil 3.8:Kazık Çapı d 'nin Etkisi (İto vd., 1981)

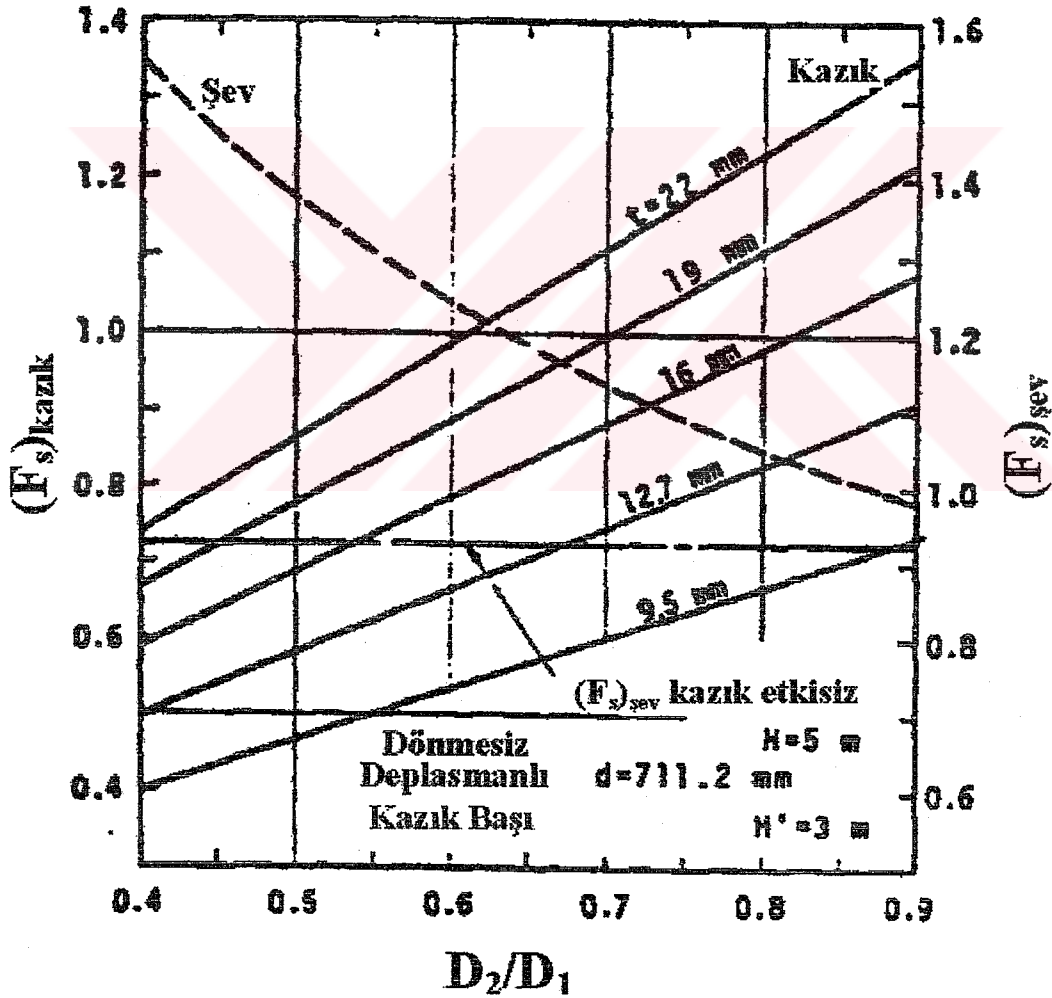


Şekil 3.9 İzin Verilebilir Açıklık Oranı $(D_2/D_1)_{\text{izin verilen}}$ ve Kazık Çapı d Arasındaki İlişki (İto vd., 1981)

3.4.5 Boru Kazığın Kalınlığının Etkisi

Şekil 3.10 değişken seçilen çelik boru kazığın et kalınlığı t' nin şev ve kazık duraylılığına etkisini göstermektedir. Diğer koşullar Şekil 2.4 ile aynı olmakla birlikte kalınlığı 9.5 mm'den 22 mm'ye kadar beş değer gözönüne alınmıştır. Şev duraylılığı için güvenlik sayısı ve açıklık oranı, çelik boru kazığın et kalınlığı gözardı edilerek tasarlanmıştır. Çünkü kazık çapı ve açıklık oranı değişmemiştir.

Şekil 3.10'da görüldüğü gibi kazık duraylılığı için güvenlik sayısı çelik boru kazığın et kalınlığının artması ile artmaktadır. Kazık duraylılığı et kalınlığı 16 mm'den 22 mm'ye kadar 3 çeşit kazık için sağlansa da tüm duraylılık yalnız 22 mm et kalınlıklı kazıklar için sağlanmaktadır.



Şekil 3.10: Çelik Boru Kazığın Et Kalınlığı t' nin Etkisi (İto vd., 1981)

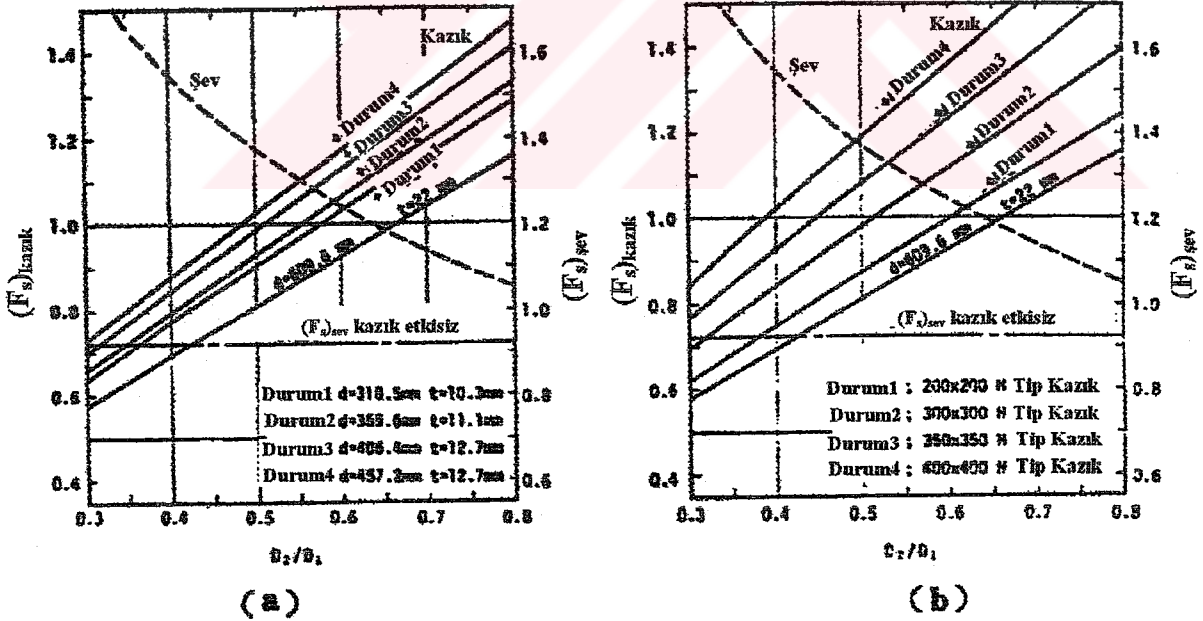
3.4.6 Kazık Rijitliğinin Arttırılmasının Etkisi

Kazık duraylılığının maksimum kalınlıkta sağlanamaması durumunda boru kazığının içine başka bir çelik kazık (çelik boru kazık veya H tipi kazık) yerleştirilip içi betonla doldurulabilir. Böylece kazık rijitliği arttırılmış olur.

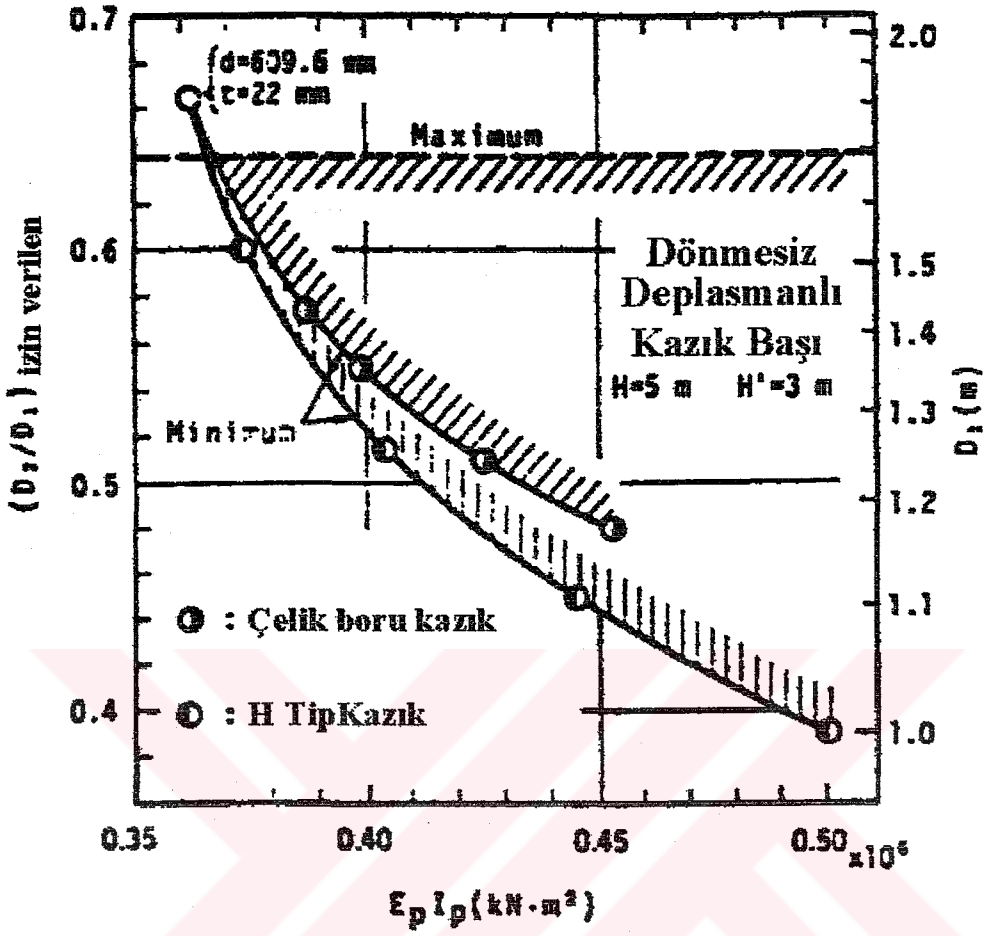
Şekil 3.11(a) ve (b) kazığın eğilme rijitliğinin sırası ile çelik boru kazık ve H tipi kazık ile arttırılmasının etkisini göstermektedir. Diğer koşullar Şekil 3.4 ile aynı olmakla birlikte Şekil 3.11 (a) ve (b)'de gösterildiği gibi her tip kazık için dört çeşit rijitliği arttırılmış kazık göz önüne alınmıştır.

Şekil 3.11'de görüldüğü gibi kazık rijitliğinin arttığı boru kazıklarla birlikte kazık duraylılığı için güvenlik sayısı de artmakta ve kazık duraylılığı için minimum izin verilebilir açıklık oranı azalmaktadır. Böylece hem kazık hem de şev duraylılığı 609.6 mm çaplı ve 22 mm kalınlıklı kazıklar için de sağlanmaktadır.

Şekil 3.12 , Şekil 3.11'in sonuçları temel alınması durumunda izin verilebilir açıklık oranı (D_2/D_1) izin verilebilir ve kazığın eğilme rijitliği $E_p I_p$ arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Şekil 3.12'de gösterilen taralı parça kazık ve şev duraylılığının sağlandığı bölgeyi göstermektedir.



Şekil 3.11: Kazık Rijitliğinin Çelik Boru Kazık (a) ve H Tipi (b) Kazık ile Arttırılmasının Etkisi (Dönmesiz Deplasmanlı $H = 5 \text{ M}$, $H^1 = 3 \text{ M}$) (İto vd., 1981)



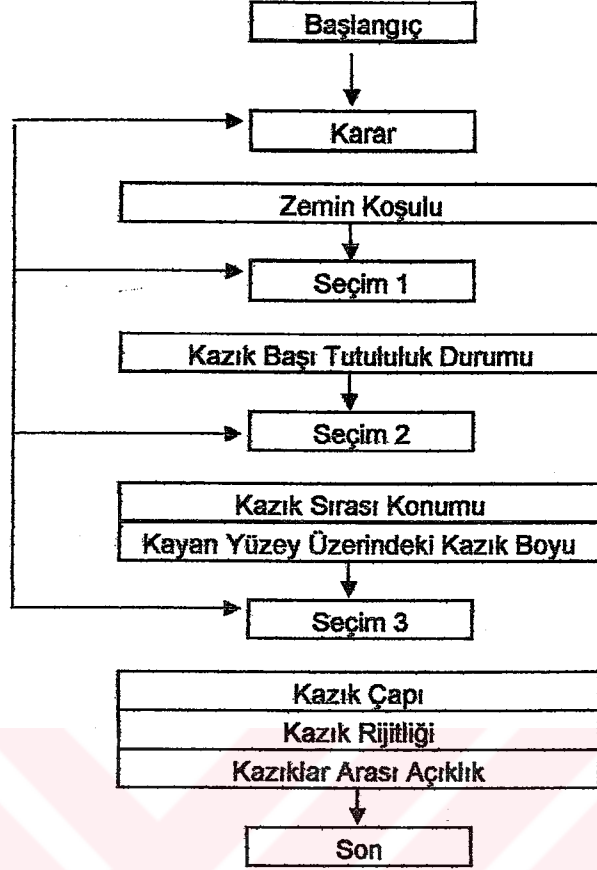
Şekil 3.12: İzin Verilebilir Açıklık Oranı $(D_2/D_1)_{\text{izin verilen}}$ ile Eğilme Rijitliği $E_p I_p$ Arasındaki İlişki (İto vd., 1981)

3.5 Heyelanlara Karşı Duraylılık Kazıkları İçin Tasarım Yöntemi

Önceki bölümlerde gösterildiği gibi kazıklar arası açıklık, kazık başının tutululuk durumu, kayan yüzey üzerindeki kazık boyu, kazık çapı ve boru kazığın rijitliği duraylılık kazıklarının tasarımında önemli etkenlerdir.

Bu bölümde yukarıda belirtilen etkenler göz önüne alınarak tek kazık dizisi için şematik tasarım yöntemi amaçlanmıştır.

3.5.1 Tasarım Yöntemi



Çizelge 3.2 : Heyelanlara Karşı Stabilizasyon Kazıkları İçin Tasarım Yöntemi

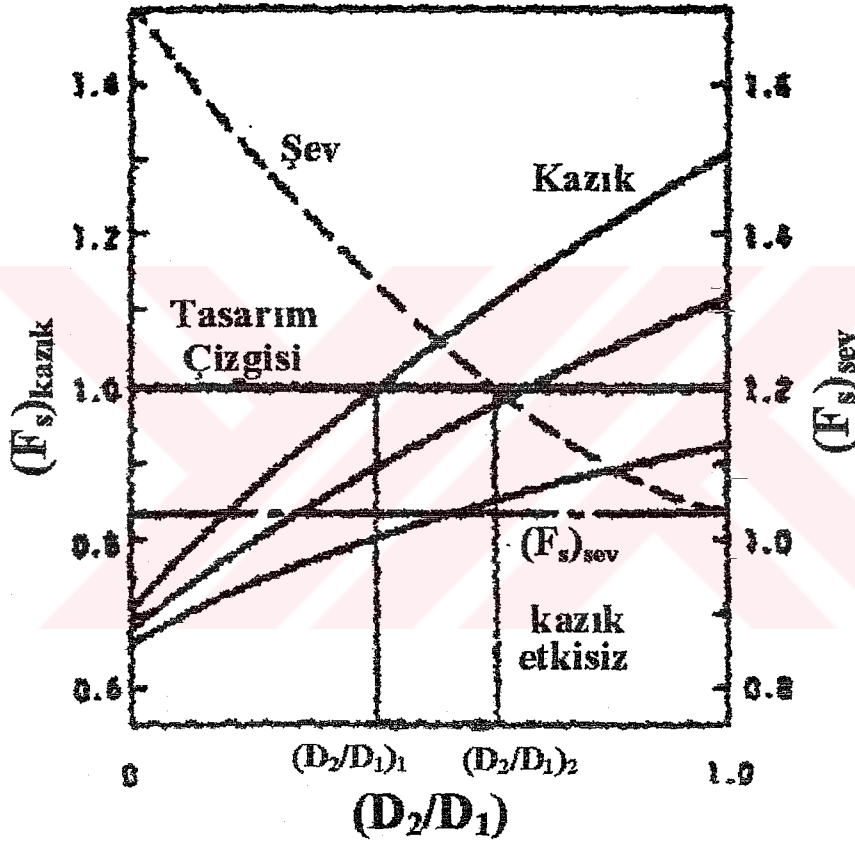
Duraylılık kazıkları için tasarım yöntemi Çizelge 3.2’te blok çizelge halinde gösterilmiştir.

Öncelikle zeminin coğrafi koşulları, jeolojik ve geoteknik özellikler, yer altı su seviyesi, heyelan derecesi, kayan yüzeyin yeri saha ve laboratuvar araştırmaları ve deneyleri ile saptanmalıdır. Şev duraylılığında gerekli güvenlik sayısı için ve izin verilebilir kazık gerilmesi de bu tasarımda yer almalıdır.

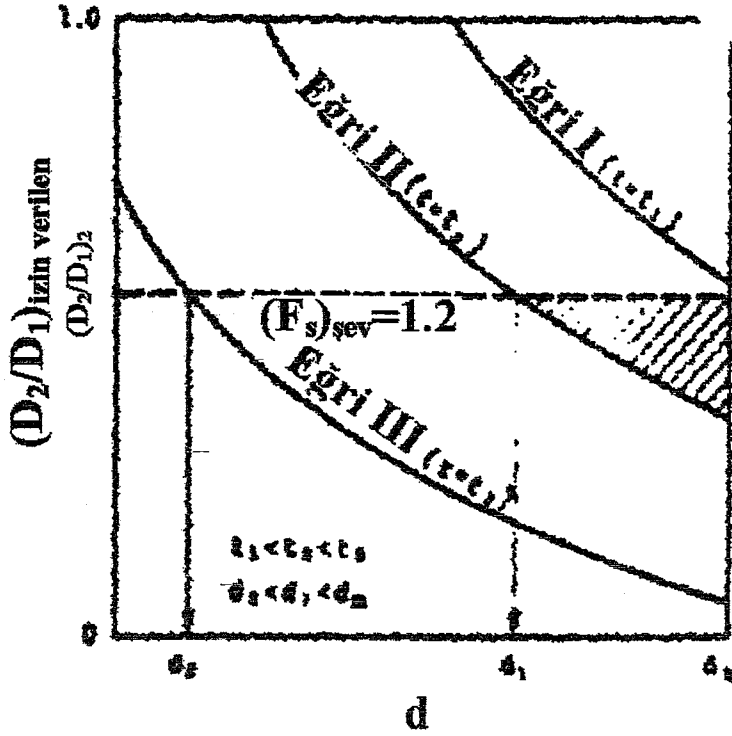
Bundan sonra kazık başının tutululuk durumu seçilmelidir. Şekil 3.5 ‘ ten de görüldüğü gibi kazık başında deplasman ve/veya dönmenin tutulması durumunda etki daha fazladır. Ancak bu seçim yapılırken çalışma koşulları da göz önüne alınmalıdır.

Daha sonra varolan ve olası kayma yüzeyi için şev duraylılığının belirlenebilmesi için kazık dizisinin konumu ve kayan yüzey üstündeki kazık boyu seçilmelidir. En uygun kazık konumunu seçmek kolay değildir. Seçilen kazık konumunun yetersiz kalması durumunda daha etkili bir kazık konumu seçmek için Çizelge 3.2’de geri besleme çizgisi kullanılabilir.

Son olarak kazık ve şev duraylılığını bulabilmek için kazık çapı, çelik boru kazığın rijitliği ve kazıklar arası uzaklık seçilmelidir. Bu etkenlerin daha önce bulunan özelliklerinden hareketle, kazık ve şev duraylılığı için güvenlik sayısı ile izin verilebilir açıklık oranı arasındaki ilişkiyi gösteren Şekil 3.13' teki şematik diyagram kullanılarak izin verilebilir açıklık oranı seçimi yapılabilir. Burada kalın ve dolu çizgi, kazık ve şev duraylılığı için gerek duyulan güvenlik sayılarının sırası ile 1.0 ve 1.2 olması durumundaki tasarım çizgisini temsil etmektedir. Buna karşın kazık ve şevde stabiliteyi sağlamak için Şekil 3.13' te $(D_2/D_1)_1$ ve $(D_2/D_1)_2$ arasındaki açıklık oranına sahip kazıkları kullanmak gerekmektedir.



Şekil 3.13: Stabilizasyon Kazıklarının Tasarımı İçin Şematik Diyagram (İto vd., 1981)



Şekil 3.14: İzin Verilebilir Açıklık Oranı $(D_2/D_1)_{\text{izin verilen}}$ Kazık Et Kalınlığı t , Kazık Çapı d İçin Şematik Diyagram (İto vd., 1981)

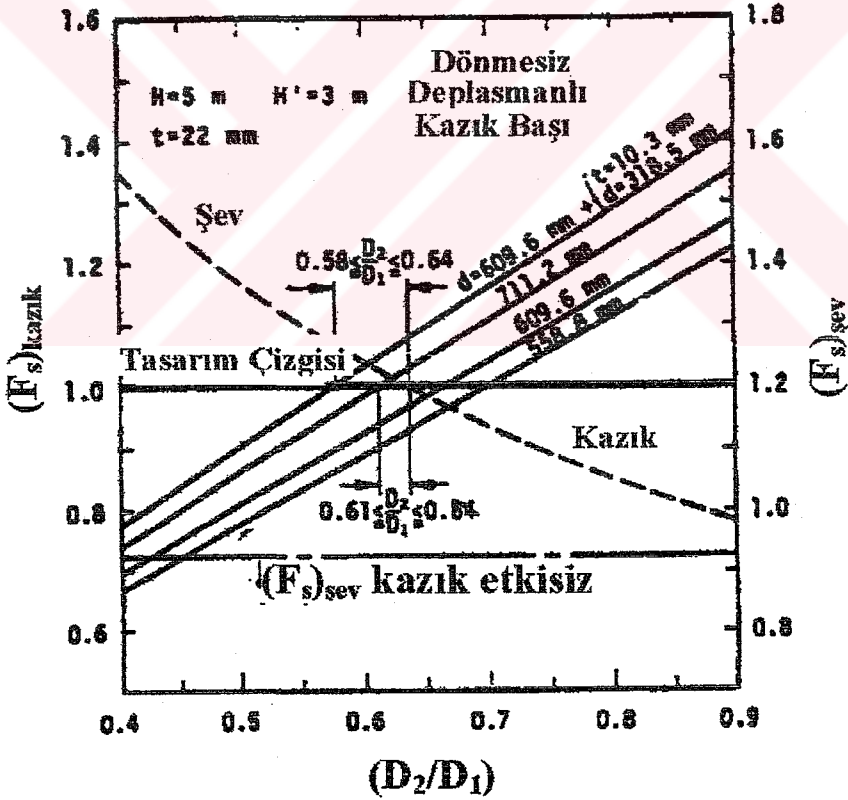
Seçim III' teki üç etkeni eş zamanlı seçmek için Şekil 3.13' ün sonuçlarına dayanarak Şekil 3.14' deki şematik diyagramı kullanmak uygun olacaktır. Şekil 3.14 te dolu ve eğri çizgiler minimum ve maksimum izin verilebilir aralık oranı değerlerini kazık çapına bağlı olarak göstermektedir. Bu şekilde d_m maksimum kullanılabilir kazık çapını, eğri-I ise t_1 et kalınlıklı kazıklar için minimum izin verilebilir açıklık oranı değerlerini göstermektedir. Bu durumda kazıklar arası açıklık için uygun bir değer yoktur, zira eğri-I her zaman kesikli çizginin üstünde yer almaktadır. Eğri-II t_1 den daha et büyük kalınlığı olan t_2 et kalınlıklı kazıkları temsil etmektedir. Hem şev hem de kazık duraylılığını sağlamak için Şekil 3.14' deki taralı bölgedeki kazıklar kullanılabilir. Eğri-III t_2 den daha büyük t_3 et kalınlıklı kazıkları temsil etmektedir. Bu seçimde d_1 den daha küçük d_2 çaplı kazıklar da kullanılabilir. Ancak ekonomik noktadan hareketle bu durumda daha büyük açıklık oranı $(D_2/D_1)_2$ yi tercih etmek uygun olacaktır.

Yukarıda tanımlanan yöntemle uygun bir sonuç bulunamazsa Çizelge 3.2' den geri besleme ile kazık konumunun ve kayan yüzey üzerindeki kazık boyunun seçimine geri dönülebilir. Aynı zamanda Çizelge 3.2' ten geri besleme ile kazık başının tutululuk durumu ve heyelan kesiti değiştirilerek de zemin koşulları değiştirilebilir.

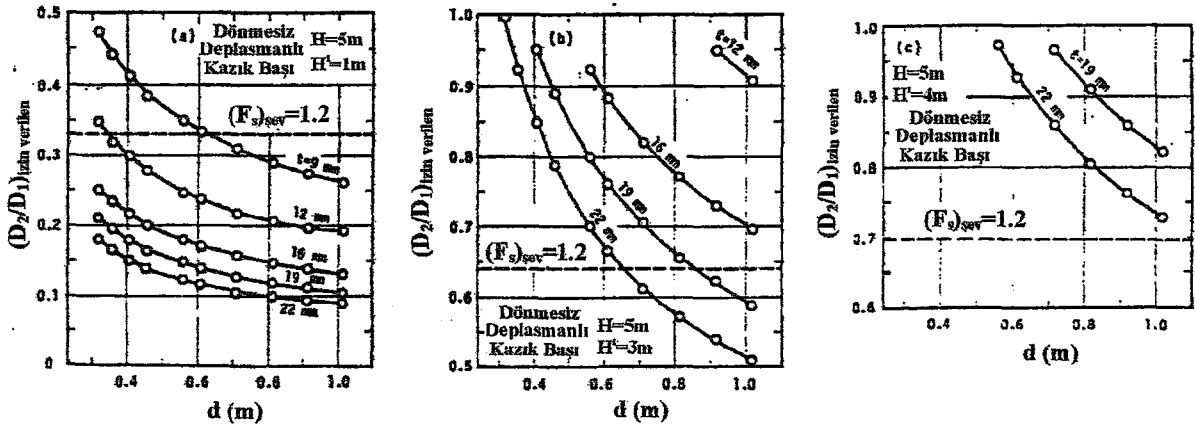
3.5.2 Tasarım Örneği

Şekil 3.3' teki heyelan şev tasarım bölümü II için ele alınmış ve kazık başının tutululuk durumu için dönmesi engellenmiş kazık başı seçilmiştir.

Şekil 3.15 iyileştirme kazıkları için tasarım diyagramını göstermektedir. Burada kayan yüzey üzerindeki kazık boyu 3m ve kazık dizisinin konumu Şekil 3.3' teki gibidir. Şekil 3.15' te dört çeşit kazık göz önüne alınmıştır. Bu şekilden görüldüğü gibi 558.8 mm ve 609.6 mm çaplı, 22 mm kalınlıklı kazıklar için uygun bir kazıklar arası açıklık yoktur. Şekil 3.16' da görüldüğü gibi 711,2 mm çaplı ve rijitliği arttırılmış 609,6 mm çaplı destekli kazıklar için D_2/D_1 açıklık oranını 0.64 seçmek uygundur. Ayrıca 711,2 mm çaplı ve rijitliği arttırılmış 609,6 mm çaplı destekli kazıklar için kazıklar arası açıklık sırası ile 1.98 m ve 1.69 m seçilebilir.



Şekil 3.15: Tasarım Bölümü II İçin Örnek (İto vd., 1981)



Şekil 3.16: İzin Verilebilir Açıklık Oranı $(D_2/D_1)_{\text{izin verilen}}$, Kazık Çapı d ve Kazık Et Kalınlığı t Arasındaki İlişki (İto vd., 1981)

Şekil 3.16 (a),(b) ve (c) Şekil 3.14'ü karşılayan diyagramlar olmakla birlikte kayan yüzey üzerindeki kazık boyu 1 m, 3 m ve 4 m için bulunmuştur. Şekil.16' da gösterilen açık daireler Japon Endüstri Standartları'na göre kullanılabilir çelik boru kazıklarını temsil etmektedir.

Şekil 3.16(a)'dan görüldüğü gibi kayan yüzey üzerindeki kazık boyunun 1m olması durumunda kazık ve şevde duraylılığı sağlamak için 9 mm den 22 mm ye tüm kazıklar kullanılabilir. Ancak kazık sırasıyla kesilmeyen yeni kayma yüzeyleri oluşabileceğinden bu tercih edilmeyebilir. Kayan yüzey üzerindeki kazık boyu 3m olduğunda Şekil 3.16(b)'de görüldüğü gibi 19mm ve 22 mm kalınlıklı kazıklar kullanılabilir. Kayan yüzey üzerindeki kazık boyunun 4 m olması durumunda ise Şekil 3.16 (c)'de görüldüğü gibi 1016 mm çaplı 22 mm kalınlıklı kazıklar için dahi izin verilebilir açıklık oranı oluşmamaktadır.

Sonuç olarak tasarım kazıkların yerleştirilmesinden sonra da oluşabilecek kayma yüzeyleri için de şev ve kazık duraylılığı sağlanmalıdır.

4. ÇOK SIRALI İYİLEŞTİRME KAZIKLARI İÇEREN ŞEVİN DURAYLILIK ANALİZİNDE TEMEL YÖNTEM

Daha önce gösterildiği gibi bir kazık sırası içeren şevlerde iki çeşit analiz yapılır. Bunlar şev duraylılık analizi ve kazık duraylılık analizidir.(Ito ve Matsui 1977; Ito Matsui 1979) Ayrıca kazığa etkiyen yatay kuvvet veya heyelana karşı yatay reaksiyon kuvveti bilinmesi durumunda bir kazık dizisi içeren şev için stabilite analizi daha önce verilmiştir.(Ito Matsui ve Hong 1981)

Heyelanı engelle desteklemek için çok kazık sırası uygulandığında her kazık sırası için duraylılık analizi ile birlikte bütün kazık dizilerini gözönüne alarak şevin duraylılık analizi de yapılmalıdır. Çok sıralı kazıkların analizini kolaylaştırmak için önceki bölümde sunulan temel yöntem yatay kuvvet mobilizasyon sayısının tanımlanmasıyla değiştirilmiştir. Bu değişim tek kazık sırasına da uygulanabilecek şekilde tanımlanmıştır. Eğer her kazık sırasına etkiyen yatay kuvvet biliniyorsa yatay kuvvetler etkisinde duraylılık kazıkları için analitik bir yöntem uyarlanabilir. Şev duraylılığı geleneksel yöntemlerle bütün kazıkların yatay kuvvet reaksiyonlarının eklenmiş olduğu direnç kuvveti kayma/kesme gerilmesi ile karşılaştırılarak belirlenebilir. Bu yaklaşımda her kazık sırası yakın komşularından uzak tutularak aralarındaki etkileşim gözardı edilebilir. Stabilite analizlerinin detayı araştırmalar tarafından daha önce verilmiştir.(1981)

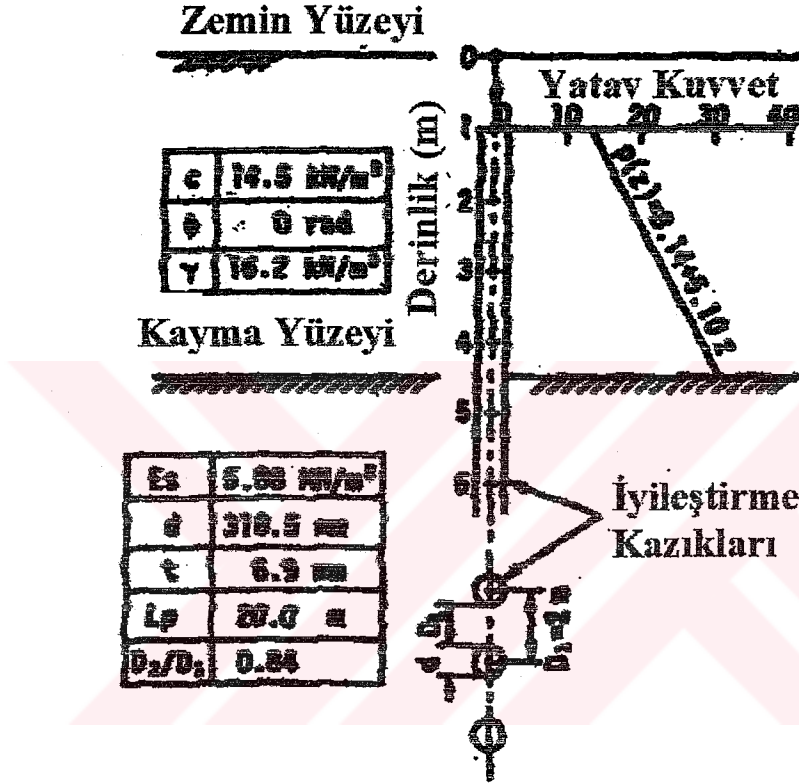
4.1 Duraylılık Analizlerinde Kullanılan Yatay Kuvvet

Yatay kuvvet heyelan kütlelerinin hareketsiz olması durumunda sıfırdan, heyelan kütlelerinin büyük hareketlerinde pasif göçme durumunda en üst değerlere ulaşabilir. Bu durumda duraylılık kazıklarının etkili tasarımında uygulanabilir yatay kuvvete karar vermek gerekir. Duraylılık kazıklarının tasarımında heyelanın ilerlemesi ve ani yumuşama/gevşeme ile kayan yüzeydeki kesme/kayma direncinin azaldığı durumdaki değerini almak gerekir. Yukarıda tasarlanan koşullarda yatay kuvveti tahmin etmek için, kazıklar arası açıklığı temel alan, Mohr-Coulomb plastik koşulunun yalnızca kazık etrafında olduğunu kabul eden teorik eşitlik düzenlenmiştir.(Ito ve Matsui 1975, 77, 78) Bu varsayımın önemli bir noktası kazıklara etkiyen yatay kuvvetin tüm şevin yersel dengesi gözardı edilerek bulunabilmesidir. Böylece mobilize yatay kuvvet kritik değer sıfırdan bire kadar değişen katsayı ile çarpılarak gösterilebilir. Bu katsayı yatay kuvvetin, mobilizasyon sayısı α_m olarak tanımlanır. Pasif kazıkların tasarımında mobilizasyon sayısı iki değer ile değerlendirilebilir. Bunlar kazık duraylılığının bulunduğu maximum yatay kuvvet ve heyelanı önlemek için gerekli minimum

yatay kuvvettir.

4.2 Dağınık ve Yoğunlaştırılmış Yatay Kuvvetler Etkisindeki Kazık Davranışlarının Karşılaştırılması

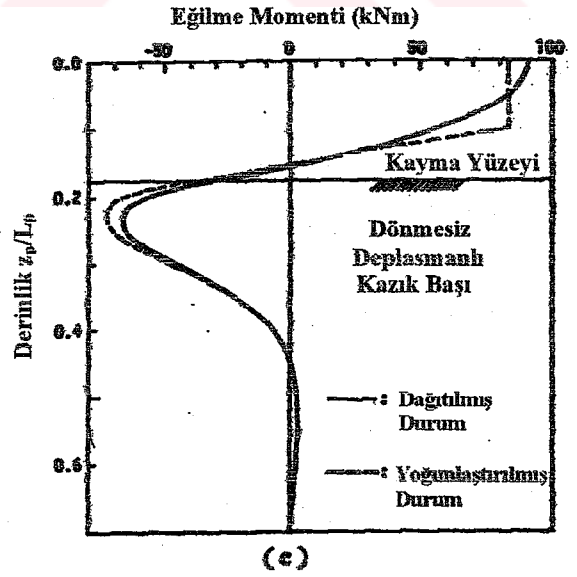
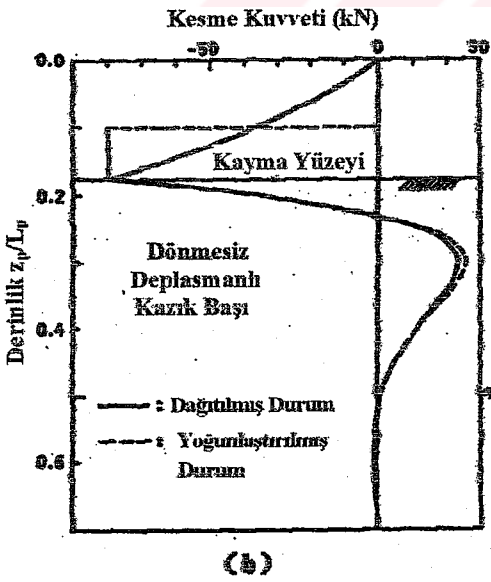
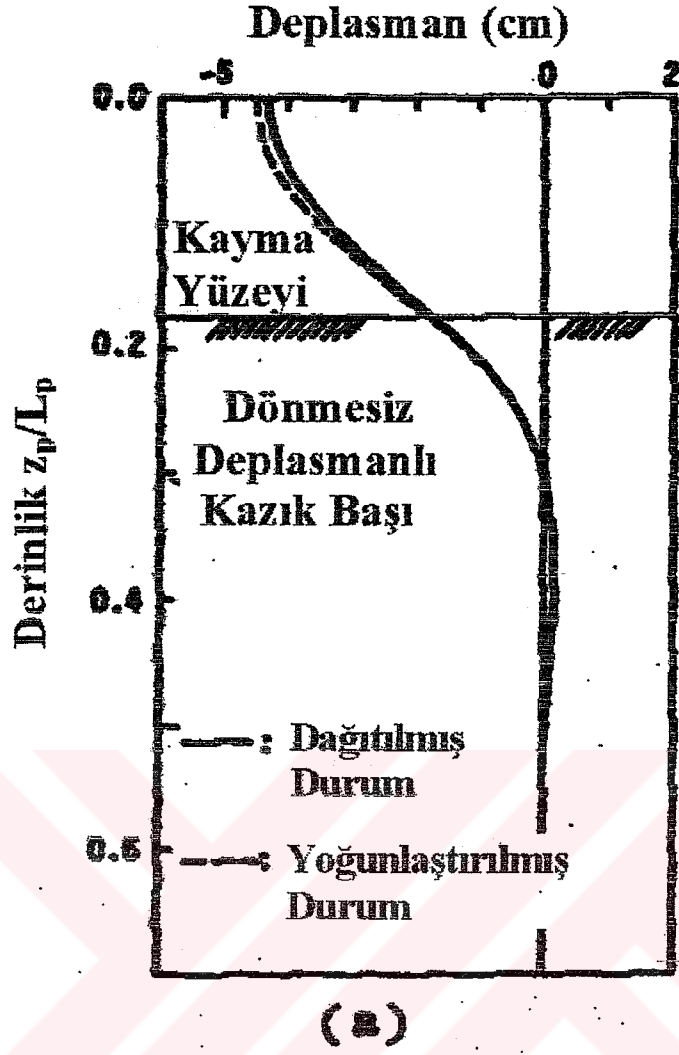
Pasif kazıklara etkiyen yatay kuvvet dağınık olmasına karşın, bu kuvvet işlemleri kolaylaştırmak için yaklaşık olarak yoğunlaştırılır. Burada bu yaklaşımın geçerliliği tartışılmaktadır.



Şekil 4.1: Tek Dizili Stabilizasyon Kazıkları İçin Örnek (İto vd., 1982)

Şekil 4.1 zemin parametreleri, kazık ölçüleri ve planı, kesit görünüşü ile bir örnek olarak verilmiştir. Bu örnekte mobilizasyon sayısı α_m bir varsayılarak kazığa etkiyen yatay kuvvet de gösterilmiştir.

Şekil 4.2'de, Şekil 4.1'de gösterilen kazık için hesaplanan ötelenme/deplasman, kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri belirtilmektedir. Burada L_p kazık boyu, Z_p kazık başından derinliktir ve dönmesiz deplasmanlı kazık başı durumu göz önüne alınmıştır. Şekil 4.2'de dolu çizgiler dağınık yatay kuvvet etkisindeki kazık için analitik sonuçları, kesikli çizgiler ise dağınık yatay kuvvet durumuna yakın şekilde yoğunlaştırılmış yatay kuvvet durumunu temsil etmektedir.



Şekil 4.2: Yoğunlaştırılmış ve Dağıtılmış Yatay Kuvvetlerin Kıyaslanması (İto vd., 1982)

Şekil 4.2'den görüldüğü gibi kazık başındaki öteleme/deplasman yoğunlaştırılmış durumda dağınık durumdan az daha büyüktür. Ancak kayan yüzey üzerindeki kazık kesiminde kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri iki koşulda birbirinden çok farklıdır. Kesme kuvvetinin maximum değeri iki koşulda da kayan yüzeyde çakışmaktadır. Ancak eğilme momentinin maximum değeri dağıtılmış durumda yoğunlaştırılmış durumdan az daha büyüktür.

İzin verilebilir eğilme ve kesme gerilmeleri sırasıyla $1,57 \cdot 10^5$ kN/m² ve $0,98 \cdot 10^5$ kN/m² varsayımına göre Çizelge 4.1 dört kazık başı durumunda kazık duraylılığı için güvenlik sayısını vermektedir. Bu çizelgeden görüldüğü gibi eğilme gerilmeleri için güvenlik sayısı kesme gerilmesi için güvenlik sayısına kıyasla çok küçüktür ve kazık başının en güçlü tutululuk durumunda maximum güvenlik sayısı oluşmaktadır. Yalnızca dönmesi ve deplasmanı serbest kazık başı durumunda eğilme ve kesme gerilmeleri için güvenlik sayısı dağınık ve yoğunlaştırılmış durumda çakışmakta olduğu görülmektedir.

Hem dağıtılmış hem de yoğunlaştırılmış koşulda kesme gerilmesi için güvenlik sayısı her kazık başı koşulu için hemen hemen aynıdır. Diğer bir taraftan eğilme gerilmesi için güvenlik sayısı dönmeksiz deplasmanlı kazık başı durumu için yoğunlaştırılmış durumda dağıtılmış durumdan %9 daha büyük, ancak deplasmanlı dönmeli kazık başı ve dönmesi ve deplasmanı tutulu kazık başı durumu için sırası ile %40 ve %19 küçüktür.

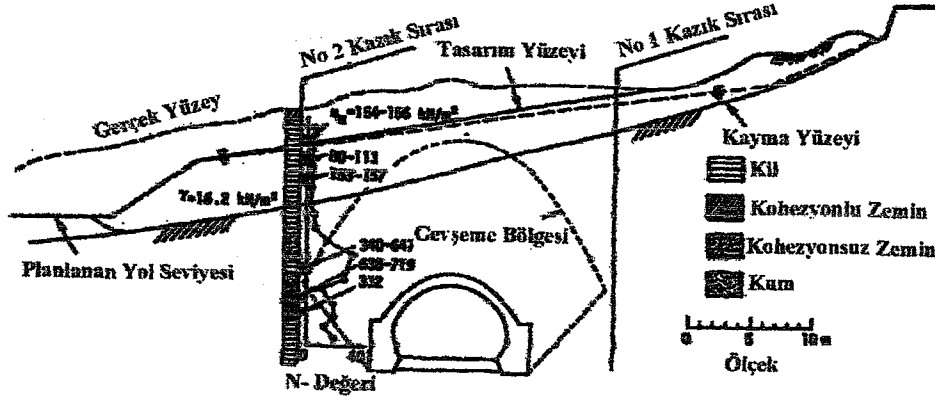
Sonuç olarak kaya kayması durumu dışında kazık duraylılığı eğilme gerilmesi ile denenmelidir. Kazık başının tutulu olması durumunda yoğunlaştırılmış yatay kuvvet yaklaşımı dağınık yatay kuvvet yaklaşımına kıyasla büyük yanlış içermektedir. Bu nedenle dönmesi ve deplasmanı serbest kazık başı durumu ve diğer kazık başı tutululuk durumunda kaba taslak tahminler hariç yoğunlaştırılmış yatay kuvvet yaklaşımı kullanılmamalıdır.

Çizelge 4.1: Kazık Duraylılığı İçin Güvenlik Sayısı (İto vd., 1982)

Kazık Başı Tutululuk Durumu	Kazık Güvenlik Sayısı			
	Eğilme Gerilmesi		Kesme Gerilmesi	
	Dağıtılmış	Yoğunlaştırılmış	Dağıtılmış	Yoğunlaştırılmış
Dönmesi ve Deplasmanı Serbest	0.58	0.58	8.52	8.52
Dönmesiz Deplasmanlı	0.91	0.99	8.52	8.52
Deplasmanlı Dönmeli	1.84	1.09	16.93	16.36
Dönmesi ve Deplasmanı Tutulu	1.52	1.23	12.44	11.96

4.3 Heyelana Karşı İki Sıralı İyileştirme Kazığının Etkisi

Heyelanların durdurulmasında iki sıra iyileştirme kazığı uygulanması durumunda sadece her kazık sırası için kazık duraylılığı değil, şev duraylılığı için de iki kazık dizisinin birleşik etkisi eş zamanlı olarak sağlanmalıdır.



Şekil 4.3: Heyelan Şevi Enkesiti (İto vd., 1982)

Şekil 4.3'te planlanmış bir yolda oluşan heyelan kesiti gösterilmiştir. Şekil 4.3'te N değerleri sondaj-loğu ve zemin parametreleri de gösterilmiştir. Bu tasarlanan şevde kayma yüzeyi boyunca dilim yöntemi ile güvenlik sayısı 0,92'dir.

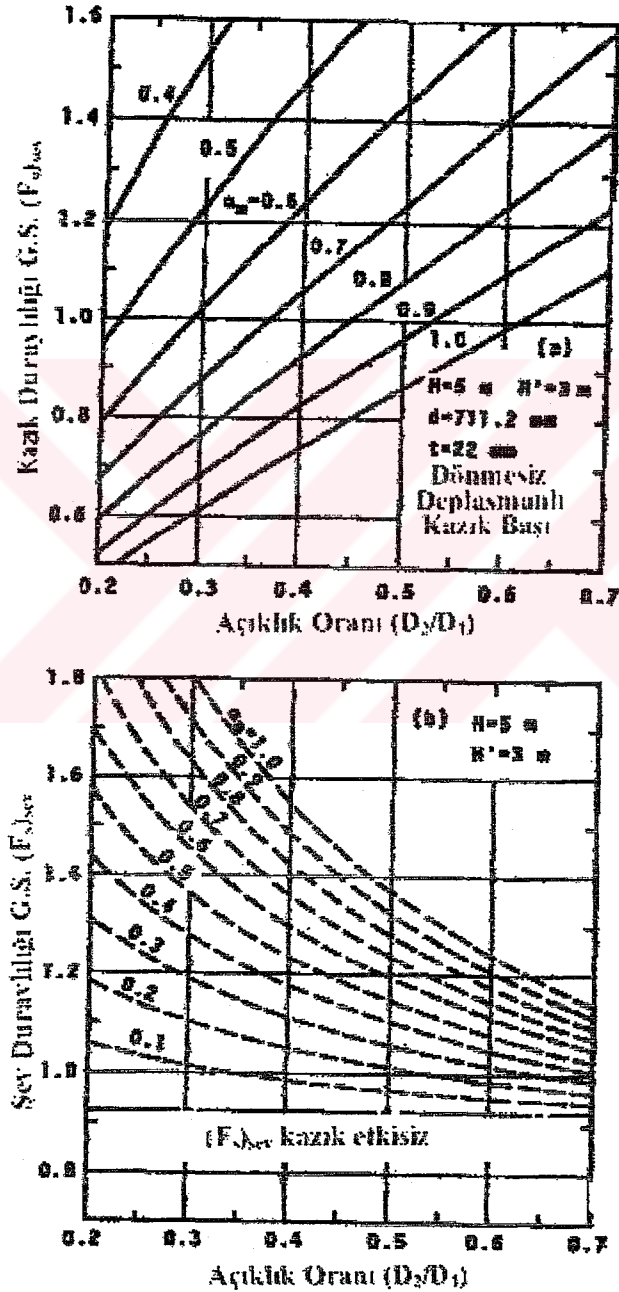
Olası heyelan hareketine karşın bu şekilde gösterildiği gibi iki sıra iyileştirme kazığı uygulanabilir. No 1 ve no 2 kazık sıralarının her ikisi de kesikli çizgi ile gösterilen tünelin gevşeme bölgesinin dışına yerleştirilmiştir. Bu bölümde bir önceki bölümde tanımlanan yöntemle iki kazık sırasının iyileştirici etkisi denenmiştir.

Bu çalışmada aşağıdaki varsayımlar yapılmıştır.

- 1) Çelik kazığın elastisite modülü $E_p = 2,06 \cdot 10^8 \text{ kN/m}^2$ dir.
- 2) Çelik kazık için izin verilebilir eğilme ve kesme gerilmeleri sırası ile $1,57 \cdot 10^5 \text{ kN/m}^2$ ve $0,98 \cdot 10^5 \text{ kN/m}^2$ dir.
- 3) Kayan yüzey üzerindeki zemin için elastisite modülü N değerlerine dayanarak $E_s = 4 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2$ dir.
- 4) Kazık boyu sonsuzdur.
- 5) Kazık ve şev duraylılığı için gerek duyulan güvenlik sayıları sırası ile 1,0 ve 1,2'dir.

4.4 Yatay Kuvvetin Mobilizasyon Sayısının Etkisi

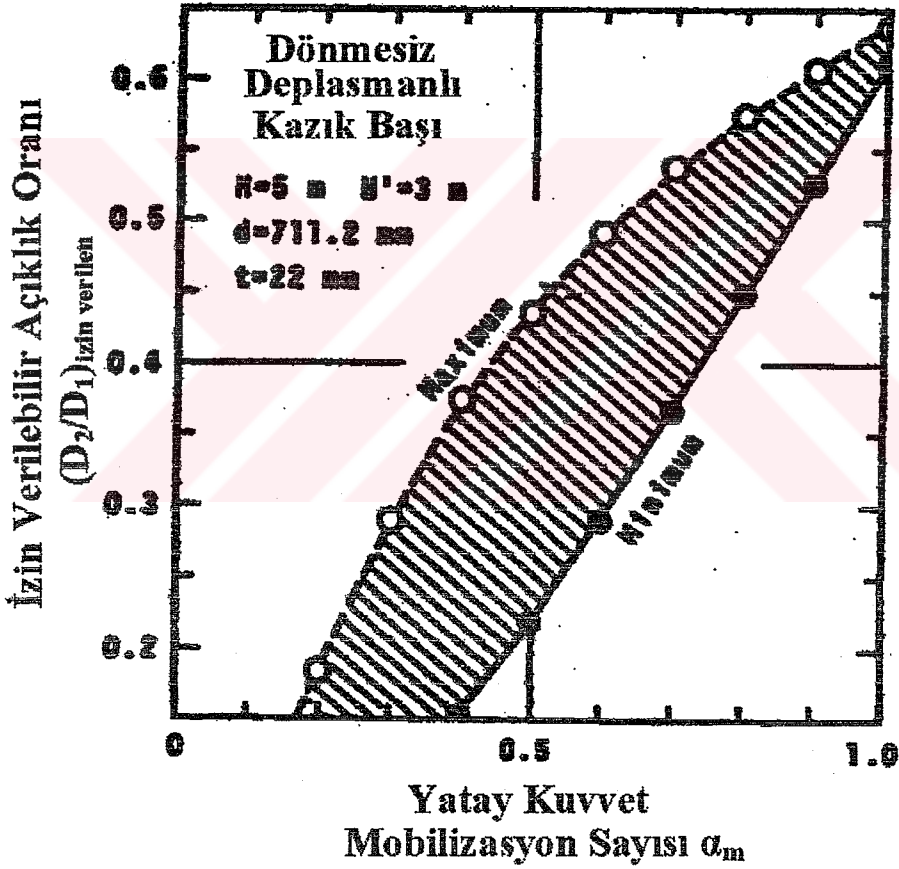
Şekil 4.3'te gösterilen No 2 kazık dizisinde 711.2 çaplı, 22mm et kalınlıklı, kayan yüzey üzerindeki kazık boyu 3m ve dönmüş deplasmanlı kazık başı durumunda olan çelik boru kazıklar için yatay kuvvet mobilizasyon sayısı α_m 'nin sırası ile kazık ve şev duraylılığına etkisi Şekil 4.4(a) ve (b) de gösterilmektedir. Bu durumda kazıklara etkileyen yatay kuvvetin (yada heyelana karşı yatay kuvvet reaksiyonu) bir önceki bölümde tanımlanan mobilizasyon sayısının kuramsal eşitlikle çarpılması ile bulunabildiği varsayılabilir.



Şekil 4.4: Yatay Kuvvet Mobilizasyon Sayısının Etkisi (İto vd., 1982)

Şekil 4.4(a)'daki dolu çizgiler α_m 'in değişken varsayılması durumunda D_2/D_1 açıklık oranına bağlı olarak kazık duraylılığı için güvenlik sayısı F_{sp} değerlerini göstermektedir. Şekil 4.4(b)'deki eğik çizgiler ve kesikli noktalı çizgi sırası ile kazık etkisi göz önüne alınması ve alınmaması durumunda şev duraylılığı için güvenlik sayısı F_{ss} değerlerini göstermektedir. Kazık stabilitesi sağlanması durumunda kazık etkisi eğik çizgiler ile kesikli noktalı çizgiler arasındaki değişimden hesaplanabilmektedir.

Şekil 4.4(a) ve (b)'den görüldüğü gibi yatay kuvvet mobilizasyon sayısının artmasıyla kazık duraylılığı için güvenlik sayısı kademeli olarak azalmaktadır. Buna karşın açıklık oranı D_2/D_1 sabit tutulduğunda şev stabilitesi için güvenlik sayısı artmaktadır. Buradan yatay kuvvet mobilizasyon sayısının kazık ve şev duraylılığına kendi içinde ters etki yaptığı söylenebilir.



Şekil 4.5: İzin Verilebilir Açıklık Oranı $(D_2/D_1)_{\text{izin verilen}}$ ile Yatay Kuvvet Mobilizasyon Sayısı α_m Arasındaki İlişki (İto vd., 1982)

Şekil 4.4'ün sonucuna bağlı olarak izin verilebilir açıklık oranı (D_2/D_1) ile mobilizasyon sayısı α_m arasındaki ilişki Şekil 4.5'te görüldüğü gibi bulunabilir. Bu şekilde dolu çizgilerin üstü kazık duraylılığının sağlandığı maksimum açıklık oranını, kesikli çizgilerin altı ise şev

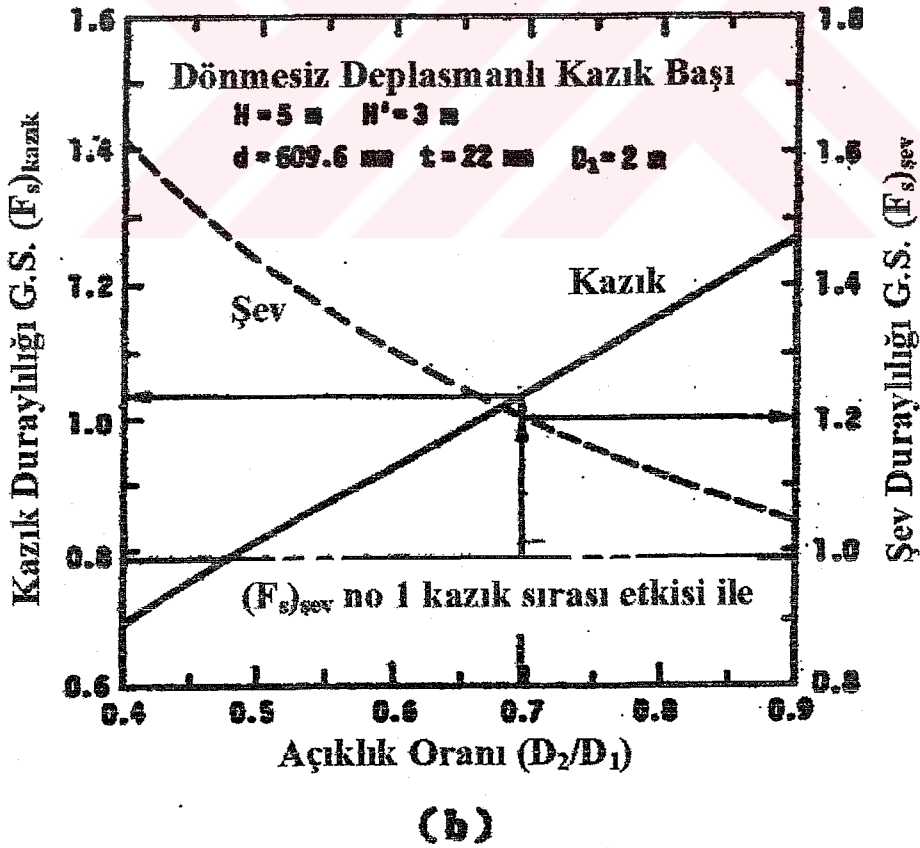
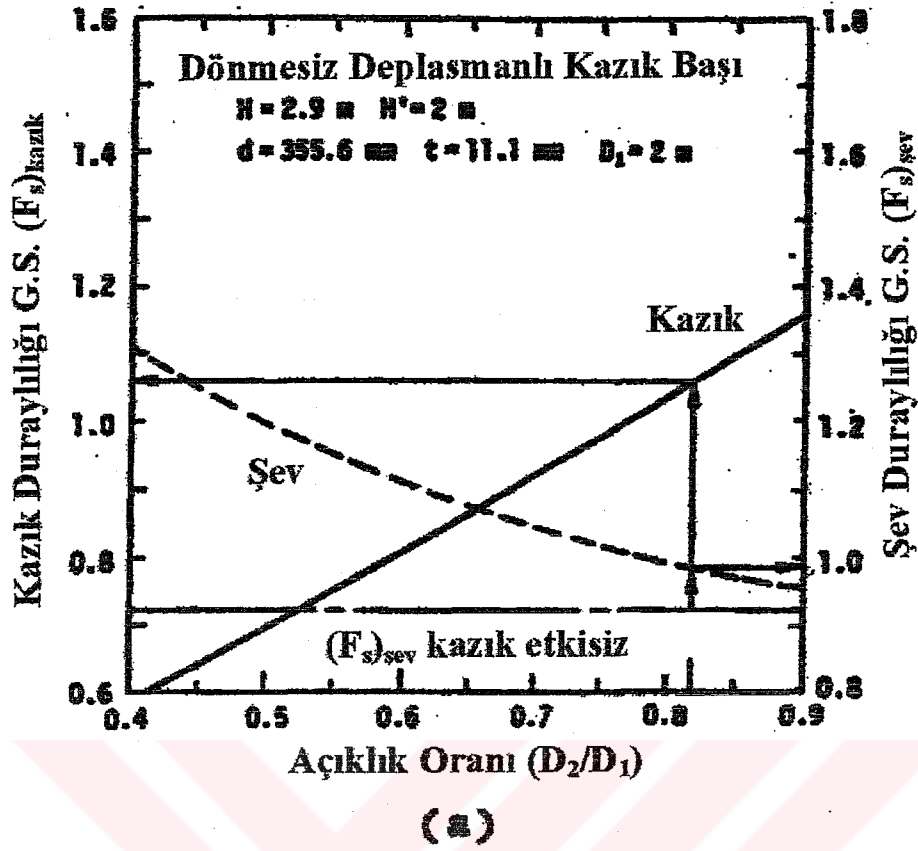
duraylılığının sağlandığı maksimum açıklık oranını göstermektedir. Böylece Şekil 4.5'teki taralı parça iyileştirme kazıkları içeren şevin duraylılığını temsil etmektedir. Ayrıca mobilizasyon sayısının artmasıysa izin verilebilir açıklık oranının arttığı bu şekilden görülmektedir.

4.5 İki Dizi Stabilizasyon Kazıklarının Etkisi

Şekil 4.6, Şekil 4.3'te gösterilen konuma göre yerleştirilmiş olan iki kazık sırası için analitik sonuçları göstermektedir. Bu kazık konumlarında yer yüzeyinden kayan yüzeye uzaklık no 1 ve no 2 kazık sıraları için sırası ile 2,9 ve 5m'dir. No 1 konumundaki 355,6mm çaplı ve 11,1mm et kalınlıklı çelik boru kazıklar kayan yüzey üzerindeki kazık boyu 2m olacak şekilde 2m aralıklarla yerleştirilmiştir.. No 2 konumundaki 609,6mm çaplı 22mm et kalınlıklı çelik boru kazıklar ise kayan yüzey üzerindeki kazık boyu 3m olacak şekilde 2m aralıklarla yerleştirilmiştir. Kazık başı tutululuk durumu dönmesiz deplasmanlı, yatay kuvvetin mobilizasyon sayısı isel varsayılmıştır.

Şekil 4.6 (a) no 1 konumundaki kazık sırası için hem kazık hem de şev duraylılığı güvenlik sayısı ile kazık açıklık oranı arasındaki ilişkiyi için göstermektedir. Kazıklar arası D_1 açıklığı 2m olduğundan kazıklar arası açıklık oranı D_2/D_1 0,822 olmaktadır. Şekil 4.6 (a)'dan görüldüğü gibi 0,822 kazıklar arası açıklık oranında kazık duraylılığı sağlanmakta ve şev duraylılığı için güvenlik sayısı 0,92'den 0,99'a yükselmektedir. Bunun sonucunda sadece no 1 konumundaki kazık sırası ile kazık ve şev duraylılığının eş zamanlı olarak sağlanamadığı görülmektedir.

Şekil 4.6 (b) no 2 konumundaki kazık sırasının etkisini göstermektedir. Bu şekilde iki noktalı çizgi yukarıda tanımlanan no 1 konumundaki kazık sırası etkisinin göz önüne alınması durumunda şev duraylılığı için güvenlik sayısını temsil etmektedir. Kazıklar arası D_1 açıklığı 2m olduğunda kazıklar arası açıklık oranı D_2/D_1 0,695 olmaktadır. Şekil 4.6 (b)'den görüldüğü gibi 0,695 kazıklar arası açıklık oranında kazık duraylılığı 1.03 olmakta, şev duraylılığı için güvenlik sayısı ise 0,99'dan 1.20'ye yükselmektedir. Bunun sonucunda kazık ve şev duraylılığı bu iki kazık sırası ile eş zamanlı olarak sağlanmaktadır



Şekil 4.6 İki Kazık Sırasının Etkisi (İto vd., 1982)

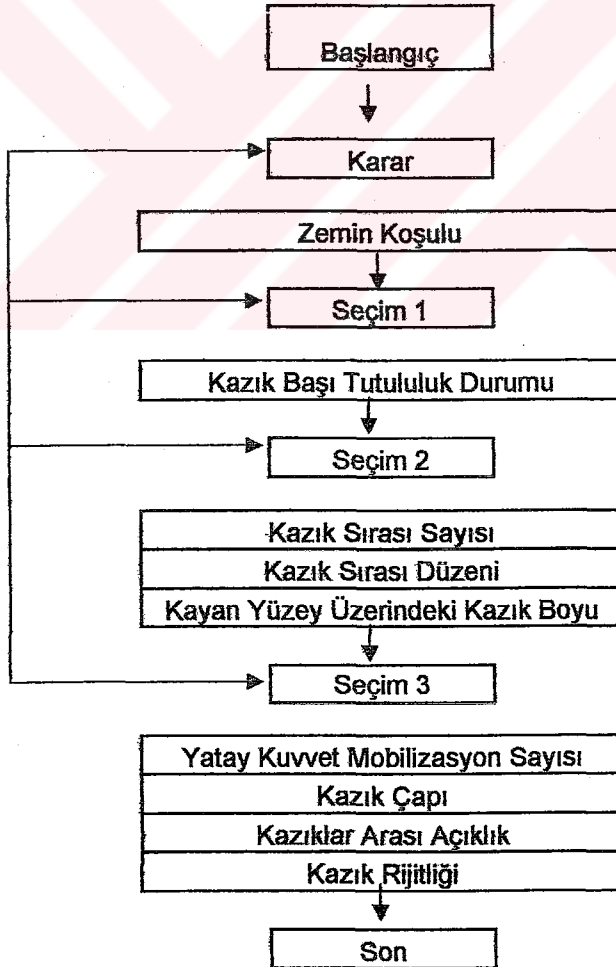
4.6 Büyük Heyelanlara Karşı Çok Sıralı Duraylılık Kazıkları Kullanımı İçin Tasarım Yöntemi

Bir önceki bölümde tek kazık sırası için kazıklar arası açıklık, kazık başının tutululuk durumu, kayan yüzey üzerindeki kazık boyu, kazık çapı ve kazık sertliği gibi etkenlere bağlı yeni tasarım yöntemi verilmişti.(Ito-Matsui 1981) Bu bölümde geçen bölüme dayanarak geniş heyelanları önlemek için çok sıralı kazıklar için tasarım yöntemi incelenmektedir.

Heyelanlara karşı çok sıralı kazık tasarımı her kazık sırasının duraylılığını sağlamakla birlikte tüm kazık sıralarının toplam etkisinin gözönüne alınması durumunda şev duraylılığını da sağlamalıdır.

Çok sıralı kazıkların tasarım yöntemi Çizelge 4.2’de blok pano halinde verilmiştir. Öncelikle şev duraylılığı için gerek duyulan güvenlik sayısını ve izin verilebilir kazık gerilmesini belirleyebilmek için arazi ve laboratuvar deneyleri ile zemin koşulları tespit edilmelidir.

Çizelge 4.2 Çok Sıralı Kazık Durumunda Tasarım Yöntemi



Kazık başında ötelenme ve dönmenin engellendiği kazık başı tutululuk durumunu seçmek daha etkilidir. Ancak kazık başı tutululuk durumu tasarımında yapım koşulları gözönüne alınmalıdır.

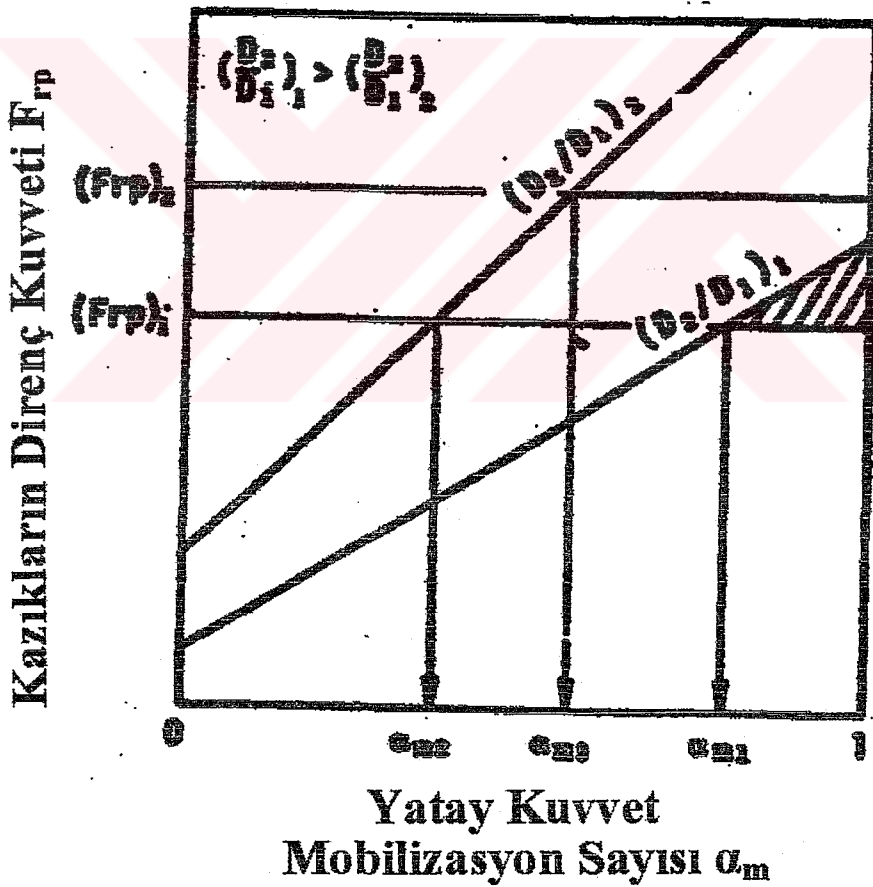
Daha sonra kazık sırası sayısı, bunların konumu ve kayan yüzey üzerindeki kazık boyu kararlaştırılmalıdır. Seçilen kazık sırasının konumu yalnızca varolan şev duraylılığını değil, bunun yanında kazık yerleşiminden sonraki olası kayma yüzeyleri için de duraylılığı sağlamalıdır. Kayan yüzey üzerindeki kazık boyu seçimi duraylılık kazıklarının yapım koşulları göz önüne alınarak seçilmelidir.

Son olarak hem her kazığın duraylılığını hem de tüm şevin duraylılığını sağlamak için yatay kuvvetin mobilizasyon sayısı, kazık çapı, kazıklar arası açıklık oranı ve kazık rijitliği seçilmelidir. Çizelge 4.2'de gösterilen bu dört etkeni seçmek için Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'da belirtilen şematik diyagramları kullanmak uygun olmaktadır. Yatay kuvvet mobilizasyon sayısı seçimi için yatay kuvvetin mobilizasyon sayısı α_m ile birim genişlik için tüm kazıların toplam direnci F_{rp} arasındaki ilişkiyi gösteren Şekil 4.7 kullanmak uygun olmaktadır. Kazıklar arası açıklık oranının $(D_2/D_1)_1$ 'e eşit olması durumunda, direnç kuvveti $(F_{rp})_1$ 'i bulmak için Şekil 4.7'de taralı bölgeden görüldüğü gibi yatay kuvvetin mobilizasyon sayısı için α_{m1} 'den daha büyük değerleri seçmek mümkündür. Kazıklar arası açıklık oranı için $(D_2/D_1)_1$ 'den daha küçük $(D_2/D_1)_2$ açıklık oranının seçilmesi durumunda α_{m2} 'den daha büyük mobilizasyon sayısı seçilmelidir. Ekonomik açıdan bakıldığında kazıklar arası açıklık oranının $(D_2/D_1)_1$ olması durumundaki α_{m1} değeri ile kazıklar arası açıklık oranının $(D_2/D_1)_2$ durumundaki α_{m2} değeri arasından küçüğünü seçmek uygun olacaktır. Eğer heyelanı önlemek için gerek duyulan minimum direnç kuvveti $(F_{rp})_2$ ise, kazıklar arası açıklık oranı $(D_2/D_1)_1$ için uygun bir yatay kuvvet mobilizasyon sayısı değeri yoktur. Bununla birlikte Şekil 4.7'den görüldüğü gibi kazıklar arası açıklık oranının $(D_2/D_1)_2$ olması durumunda yatay kuvvet mobilizasyon sayısını α_{m3} 'ten büyük seçmek mümkündür.

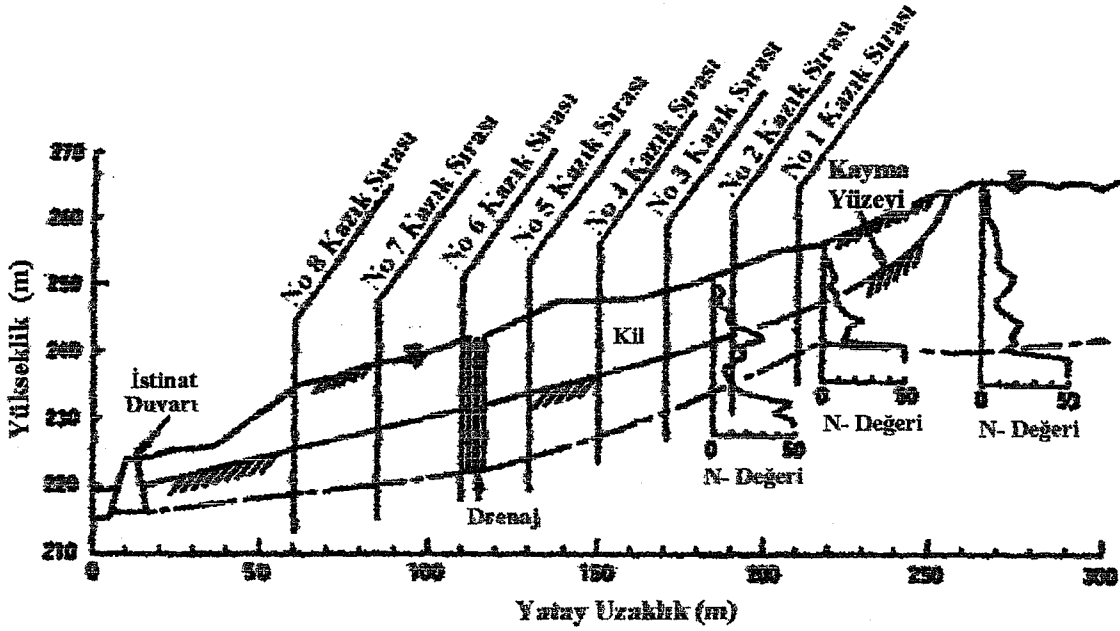
Şekil 4.8 yatay kuvvet mobilizasyon sayısı ve kazıklar arası açıklık oranının sırası ile α_{m1} ve $(D_2/D_1)_1$ olması durumunda, her kazık sırasında kazık sertliğini seçmek için tasarlanmış bir diyagramdır. Bu şekil kazık et kalınlığının değişken seçilmesi durumunda, kazıklar arası izin verilebilir açıklık oranı $(D_2/D_1)_{\text{izin verilen}}$ ile kazık çapı d arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Burada izin verilebilir açıklık oranı kazık duraylılığının bulunduğu minimum açıklık oranını temsil etmektedir. Şekil 4.8'deki kesikli çizgiler şev duraylılığı için maximum izin verilebilir açıklık oranı $(D_2/D_1)_1$ 'i temsil etmektedir. Bu şekilde eğri I , t_1 et kalınlığı durumunda izin

verilebilir açıklık oranı ile birlikte kazık çapı d_1 değerleri değişimini göstermektedir. Bu durumda kesikli çizgi ve kesikli çizgi ile maximum izin verilen kazık çapı d_m arasındaki taralı bölgenin üstünde yerleşmiş olan eğri 1 değerleri için uygun kazık sertliği bulunmamaktadır. Eğri II t_1 'den daha büyük t_2 et kalınlıklı kazıkları temsil etmektedir. Ayrıca eğri II durumunda Şekil 4.8'deki taralı bölgedeki kazık değerlerini kullanmak uygun olmaktadır. Ekonomik açıdan bakıldığında kazık çapı için küçük değer seçmek uygun olmaktadır. Eğer d_1 'den daha küçük d_2 çaplı kazıklar kullanılırsa, Şekil 4.8'de eğri 3'te görüldüğü gibi kazık et kalınlığı daha büyük t_3 değeri kullanılarak artırılmalıdır.

Eğer yukarıda tanımlanan yöntemle uygun sonuç bulunamaz ise Çizelge 4.2'deki geri besleme çizgisine dayanarak kazık sayısı, kazık konumu ve kayan yüzey üzerindeki kazık boyu tekrar seçilebilir. Ayrıca kazık başının tutululuk durumunun yeniden seçmesi veya heyelan kesitinin değiştirilmesi ile de zemin koşullarının değiştirilmesi mümkündür.



Şekil 4.7 Yatay Mobilizasyon Kuvvetini Seçmek İçin Şematik Diyagram (İto vd., 1982)



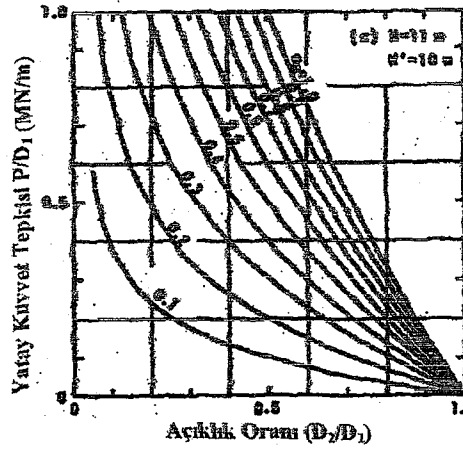
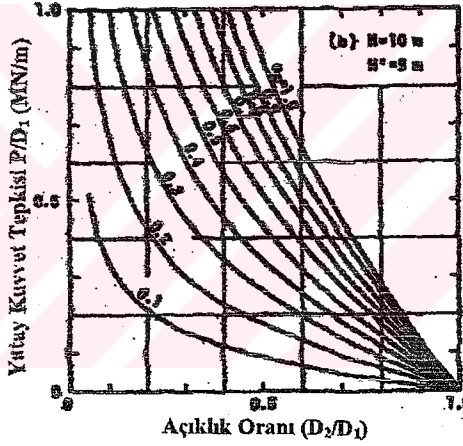
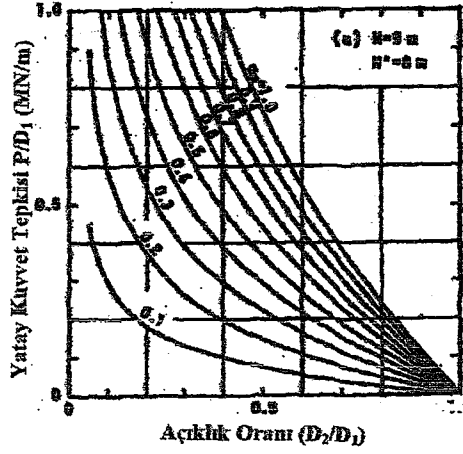
Şekil 4.9 Shiranozawa Heyelan Şevinin Enkesiti (İto vd., 1982)

Çizelge 4.3 Sekiz Sıralı Duraylılık Kazıkları için Tasarım Örneği (İto vd., 1982)

Sıra No	H (m)	H' (m)	Tasarım I			Tasarım II		
			d (mm)	D_1 (m)	t (mm)	d (mm)	D_1 (m)	Kazık Rijitliği
1	10	9	1016	2.5	19	812.8	2.0	$t=19$ mm 300×300 H tip kazık
2	10	9	1016	2.5	19	812.8	2.0	
3	10	9	1016	2.5	19	812.8	2.0	
4	11	10	1016	2.5	22	812.8	2.0	
5	11	10	1016	2.5	22	812.8	2.0	$t=19$ mm
6	10	9	1016	2.5	19	812.8	2.0	
7	10	9	1016	2.5	19	812.8	2.0	$t=16$ mm
8	9	8	1016	2.5	16	812.8	2.0	

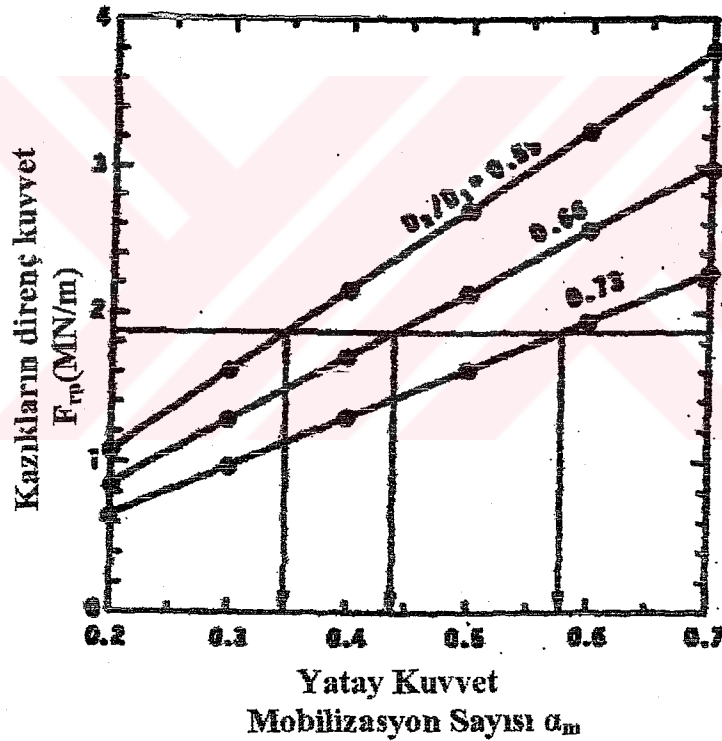
Şekil 4.9'da bu şevin kesiti ve N değerleri görülmektedir. (Fukumoto 1977) Bu heyelan 250m boyunda 50m genişliğinde olup uzun süredir yavaşça hareket etmektedir. Zemin mukavemet parametreleri c ve ϕ (kayan yüzey boyunca) sırası ile $9,8 \text{ kN/m}^2$ ve 7 derecedir. Kayan yüzey üzerindeki zemin için konu uç direnci q_u ve birim hacim ağırlık γ sırası ile $64,7 \text{ kN/m}^2$ ve $17,7 \text{ kN/m}^3$ bulunmuştur. Yeraltı su seviyesi zemin yüzeyindedir. Şekil 4.9'da da görülen şevin kayan yüzey boyunca güvenlik sayısı dilim yöntemi ile $0,78$ bulunmuştur. Eğer gerek duyulan güvenlik faktörü $1,1$ ise bu şevin duraylılığı sağlanmamış demektir. Genel noktaları bir önceki bölümde belirtilen varsayımların uygulandığı bu tasarımda kazık başı tutululuk durumu dönmeksiz deplasmanlı kabul edilmiştir.

Bu şeve Şekil 4.9'da da görüldüğü gibi çeşitli konumdaki sekiz kazık sırası yerleştirilmiştir. Tablo 4.2'de görüldüğü gibi zemin yüzeyinden kayan yüzeye kadar olan H derinlikleri 9m, 10m ve 11m'dir. Kayan yüzey üzerindeki kazık boyu H' ise, kazık başı zemin yüzeyinin 1m altında seçilerek 3 değişik uzunlukta gözönüne alınmıştır.



Şekil 4.10 (a), (b) ve (c) Yatay Kuvvetin Mobilizasyon Sayısı α_m Parametre Alınarak D_2/D_1 Açıklık Oranı İle, Birim Kalınlık İçin Yatay Kuvvet Reaksiyonu P/D_1 Değerlerini Gösterir. (İto vd., 1982)

Şekil 4.10 (a), (b) ve (c) yatay kuvvetin mobilizasyon sayısı α_m 'in değişken seçilmesi durumunda kazıklar arası açıklık oranı D_2/D_1 'e bağlı olarak birim kalınlık için yatay kuvvet reaksiyonu P/D_1 değişimini göstermektedir. Şekil 4.10 (a), (b) ve (c)'ye dayanarak Şekil 4.7'de örneklenmiş olan diyagram kazıklar arası açıklık oranları 0.59, 0.66 ve 0.73 için Şekil 4.11 de görüldüğü gibi bulunmuştur. Şekil 4.11 birim genişlik için tüm kazık sıralarının toplam direnç kuvveti F_{rp} ile yatay kuvvet mobilizasyon sayısı α_m arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Şev duraylılığını sağlamak için gerekli ek direnç kuvveti geri hesap yapılarak 1,87 MN/m bulunmuştur. Bundan dolayı minimum izin verilebilir mobilizasyon sayısı değeri kazıklar açıklık oranının 0.59, 0.66 veya 0.73 olması durumunda sırası ile 0.35, 0.44 ve 0.58 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.11 Tüm Kazıkların Direnç Kuvveti F_{rp} ve Yatay Kuvvetin Mobilizasyon Sayısı α_m Arasındaki İlişki (İto vd., 1982)

Şekil 4.12 (a), (b) ve (c)'de, Şekil 4.8'de örneklenmiş diyagramda yatay kuvvet mobilizasyon sayısının 0.35 kazıklar arası açıklık oranının ise 0.59 olması durumunda, üç çeşit kazık için oluşan diyagramlar görünmektedir. Şekil 4.13 ve 4.14 sırası ile yatay kuvvet mobilizasyon sayısının 0.44 ve 0.58, kazıklar arası açıklık oranının ise 0.66 ve 0.73 olması durumundaki

diyagramları göstermektedir. Burada içi boş daireler Japon standartlarında bulunan çelik boru kazıkları göstermektedir. Ayrıca her şekilde kesikli çizginin altındaki noktalar kazık duraylılığının sağlandığı noktalardır.

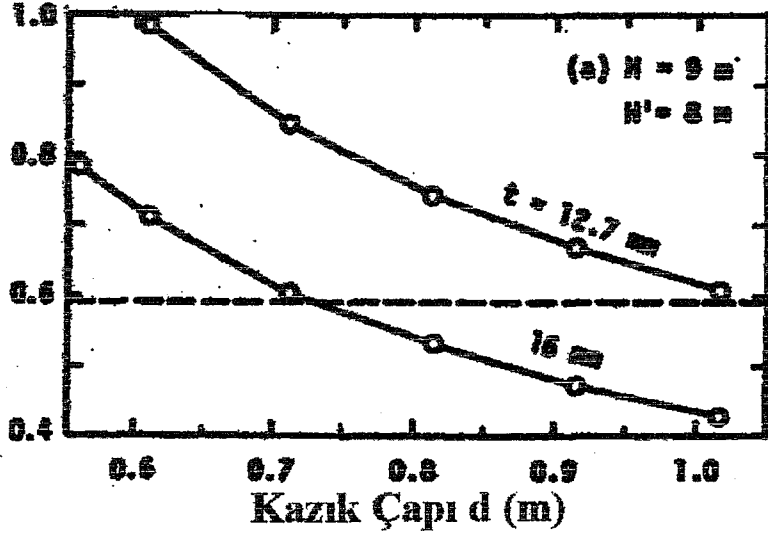
Yukarıda belirtilen diyagramlar kullanılarak duraylılık kazıklarının tasarımı kolaylıkla yapılabilir. Örneğin tasarım I için kazık çapı 1016mm, kazıklar arası açıklık oranı ise 0.59 seçilirse kazıklar arası uzaklık 2.5m olmaktadır. Yer yüzeyinden kayan yüzeye derinlik H 9m, 10m ve 11m olursa Şekil 4.12'de görüldüğü gibi sırası ile et kalınlığı 16mm, 19mm ve 22mm olan kazıklar kullanılabilir.

Tasarım II için kazık çapı 812.8mm kazıklar arası açıklık oranı ise 0.59 seçilirse kazıklar arası uzaklık 2m olmaktadır. Yer yüzeyinden kayan yüzeye derinlik H 9m ve 10m olursa Şekil 4.12 (a) ve (b)'de görüldüğü gibi sırası ile et kalınlığı 16mm ve 19mm olan kazıklar kullanılabilir. Ancak yer yüzeyinden kayan yüzeye derinlik H 11m seçilirse Şekil 4.12 (c)'de görüldüğü gibi 22mm et kalınlıklı 300*300 H tip kazıkla takviyeli kazık kullanmak gerekmektedir. Çizelge 4.3 kazıklar arası açıklık oranının 0.59 olması durumunda tasarım I ve tasarım II için kazık çeşitlerini özetlemektedir.

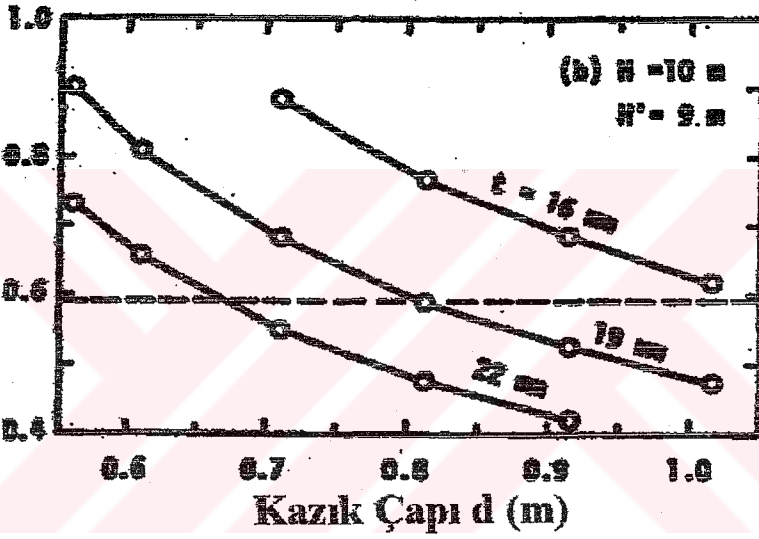
Daha sonra tasarım III için kazıklar arası açıklık oranı 0.66 olan 1016mm çaplı kazıklar, tasarım IV için ise kazıklar arası açıklık oranı 0.73 olan 812.8mm çaplı kazıklar seçilirse, her iki durumda da kazıklar arası uzaklık 3m olmaktadır. Çizelge 4.4 tasarım III ve tasarım IV için, sırası ile Şekil 4.13 ve 4.14'ten bulunan kazık çeşitlerini özetlemektedir.

Çizelge 4.3 ile Çizelge 4.4 karşılaştırılırsa kazıklar arası uzaklığın kazık çapı değiştirilmeden artırılması durumunda kazık rijitliğinin artırılması gerektiği görülmektedir.

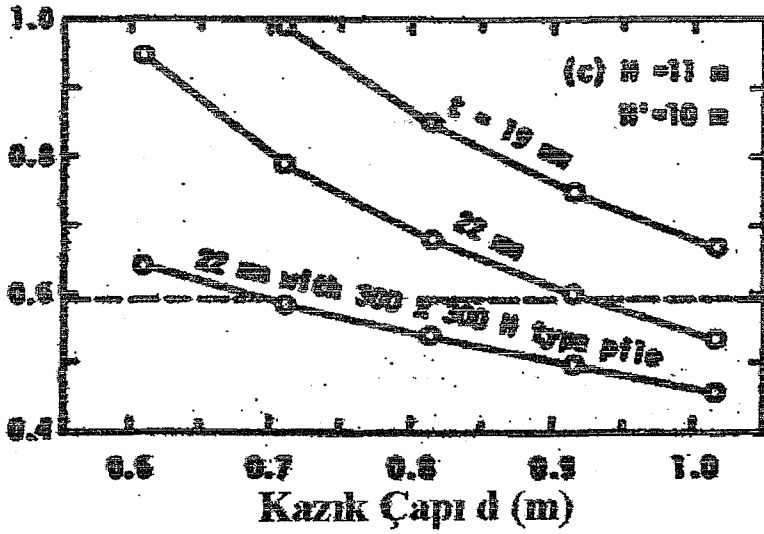
İzin Verilebilir Açıklık Oranı

 $(D_2/D_1)_{\text{izin verilen}}$ 

İzin Verilebilir Açıklık Oranı

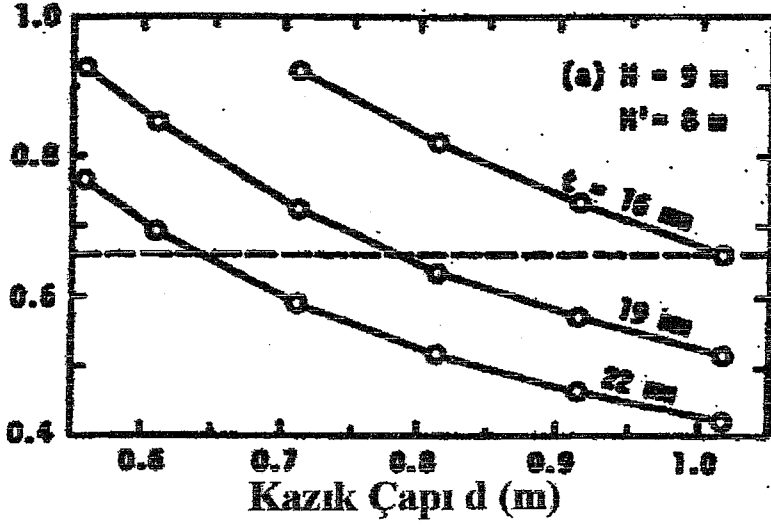
 $(D_2/D_1)_{\text{izin verilen}}$ 

İzin Verilebilir Açıklık Oranı

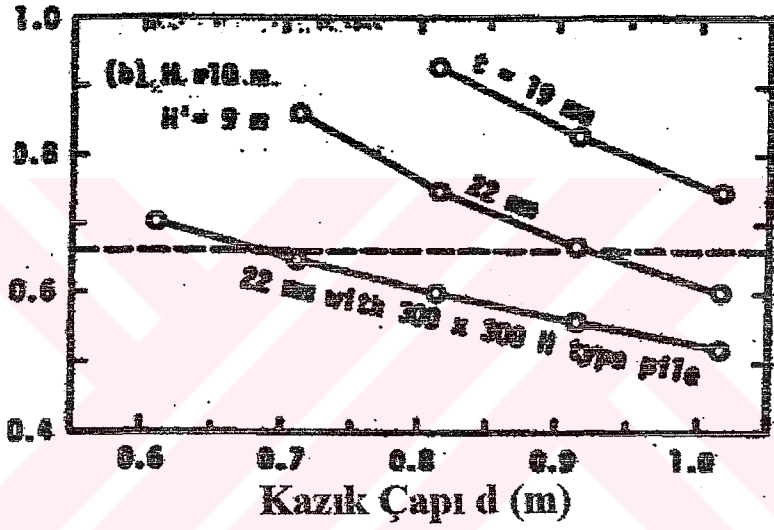
 $(D_2/D_1)_{\text{izin verilen}}$ 

Şekil 4.12 İzin Verilebilir Açıklık Oranı $(D_2/D_1)_{\text{izin verilen}}$, Kazık Çapı d , Kazık Rijitliği Arasındaki İlişki ($\alpha_m = 0.35$) (İto vd., 1982)

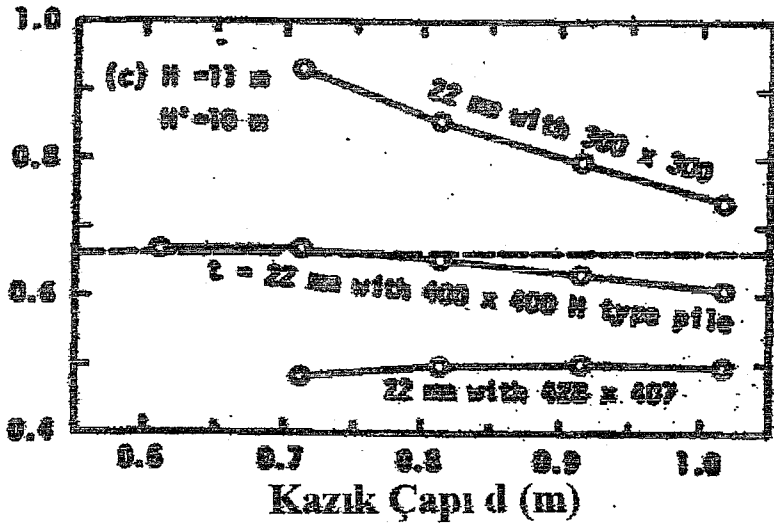
İzin Verilebilir Açıklık Oranı

 (D_2/D_1) izin verilen

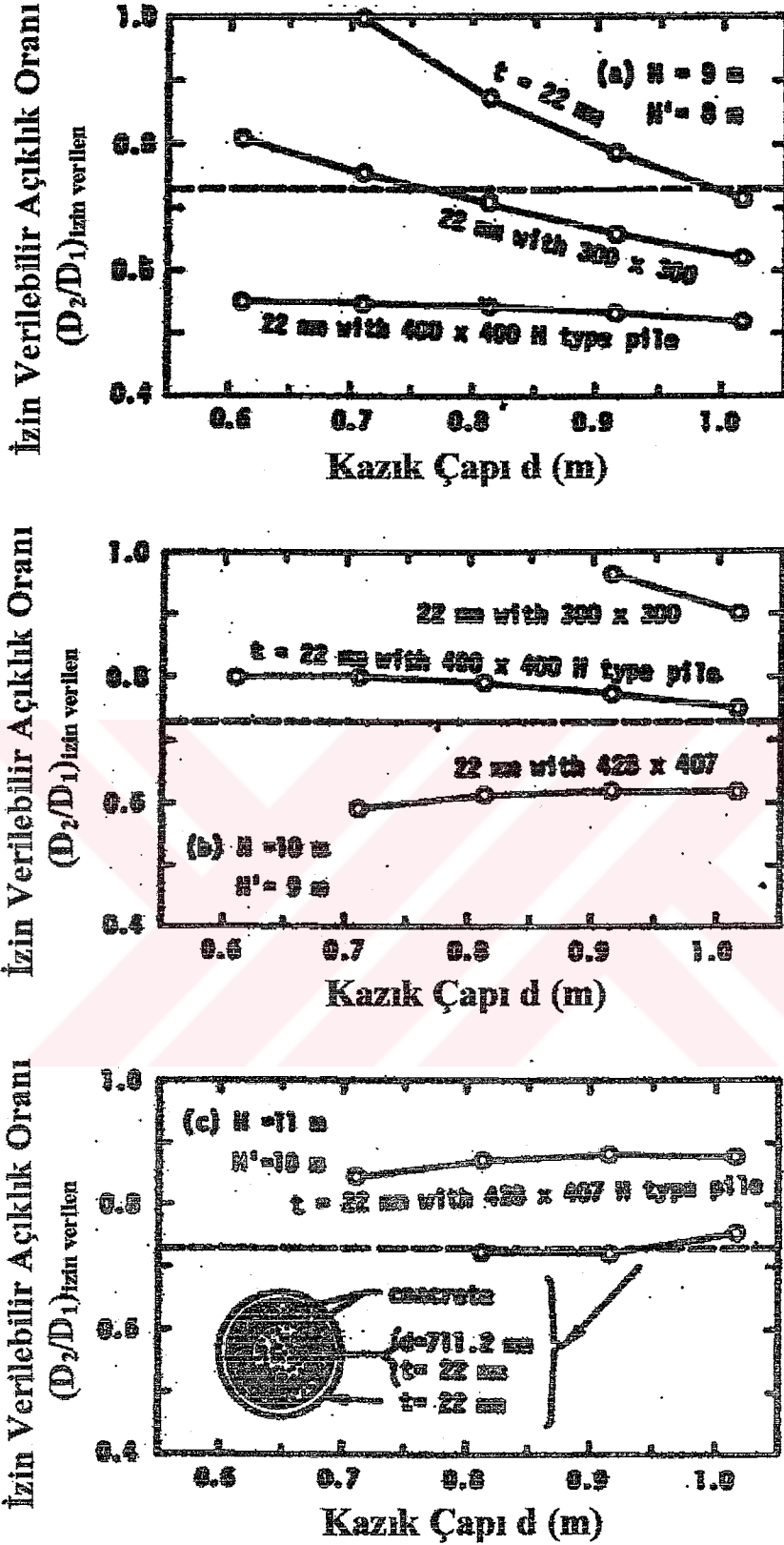
İzin Verilebilir Açıklık Oranı

 (D_2/D_1) izin verilen

İzin Verilebilir Açıklık Oranı

 (D_2/D_1) izin verilen

Şekil 4.13 İzin Verilebilir Açıklık Oranı (D_2/D_1) izin verilen, Kazık Çapı d , Kazık Rijitliği Arasındaki İlişki ($\alpha_m = 0.44$) (İto vd., 1982)



Şekil 4.14 İzin Verilebilir Açıklık Oranı (D_2/D_1) izin verilen, Kazık Çapı d, Kazık Rijitliği Arasındaki İlişki ($\alpha_m = 0.44$) (İto vd., 1982)

Çizelge 4.4 Sekiz Sıralı Duraylılık Kazıkları için Tasarım Örneği (İto vd., 1982)

Sıra No	Tasarım III			Tasarım IV		
	$d(\text{mm})$	$D_1(\text{m})$	Kazık Rijitliği	$d(\text{mm})$	$D_1(\text{m})$	Kazık Rijitliği
1	1016	3.0	$t=22\text{ mm}$	812.8	3.0	$t=22\text{ mm}$ ve 428x407 H tip kazık
2	1016	3.0		812.8	3.0	
3	1016	3.0		812.8	3.0	
4	1016	3.0	$t=22\text{ mm}$ ve	812.8	3.0	$t=22\text{ mm}$ ve boru kazık
5	1016	3.0	400x400 H tip kazık	812.8	3.0	($d=711.2\text{ mm}$, $t=22\text{ mm}$)
6	1016	3.0	$t=22\text{ mm}$	812.8	3.0	$t=22\text{ mm}$ ve
7	1016	3.0		812.8	3.0	428x407 H tip kazık
8	1016	3.0	$t=16\text{ mm}$	812.8	3.0	$t=22\text{ mm}$ ve 300x300 H tip kazık

5. KAZIK DURAYLILIK ANALİZİ İÇİN TEMEL EŞİTLİKLER

Kayan yüzeyin altında kazıklardaki yatay kuvvet reaksiyonlarının kazık deplasmanı ile orantılı olduğu varsayılarak temel eşitlikler aşağıdaki şekilde bulunabilir (Ito vd., 1981).

$$\begin{aligned} E_p I_p \frac{d^4 y_1}{d\bar{z}^4} &= p(\bar{z}) & (-H' \leq \bar{z} \leq 0) \\ E_p I_p \frac{d^4 y_2}{d\bar{z}^4} &= -E_s y_2 & (\bar{z} \geq 0) \end{aligned} \quad (5.1)$$

Burada $\bar{z} = (z - h)$

H yer yüzünden kayan yüzeye derinlik

H' kazık başından kayan yüzeye uzunluk

y_1 kayan yüzey üstündeki kazık deplasmanı

y_2 kayan yüzey altındaki kazık deplasmanı

$p(\bar{z})$ uyarılmış yatay yük

$E_p I_p$ kazığın eğilme rijitliği

E_s zemin elastisite modülü

(5.1) eşitliği $y_2 = 0$ durumunda $z \rightarrow \infty$ çözülürse kazık deplasmanının genel çözümü aşağıdaki şekilde bulunur.

$$\begin{aligned} y_1 &= a_0 + a_1 \bar{z} + a_2 \bar{z}^2 + a_3 \bar{z}^3 + f(\bar{z}) \\ y_2 &= e^{-\beta \bar{z}} (A \cos \beta \bar{z} + B \sin \beta \bar{z}) \end{aligned} \quad (5.2)$$

Burada a_0, a_1, a_2, a_3, A ve B kazık başının tutululuk durumu ve kayan yüzeyde kazığın sürekliliğinden kararlaştırılan integral sabitleridir.

$f(\bar{z})$ $p(\bar{z})/E_p I_p$ nin dördüncü dereceden belirsiz integralinde a_0, a_1, a_2, a_3 integral sabitleri dışında kalandır.

$$\beta = \sqrt[4]{E_s / 4E_p I_p} \text{ dir.}$$

(A-1) eşitliğindeki $p(\bar{z})$ aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$p(\bar{z}) = f_1 + f_2 \bar{z} \quad (5.3)$$

Burada f_1 ve f_2 , 1 veya 2 eşitliklerinden bulunabilecek sabitlerdir. Böylece (5.2) eşitliğinin ilk eşitliği aşağıdaki duruma dönüşür.

$$y_1 = a_0 + a_1 \bar{z} + a_2 \bar{z}^2 + a_3 \bar{z}^3 + \frac{f_1}{24E_p I_p} \bar{z}^4 + \frac{f_2}{120E_p I_p} \bar{z}^5 \quad (5.4)$$

(5.4) eşitliğinin $\bar{z}$ ne göre diferansiyeli alınırsa,

$$\left. \begin{aligned} \frac{dy_1}{d\bar{z}} &= a_1 + 2a_2 \bar{z} + 3a_3 \bar{z}^2 + \frac{f_1}{6E_p I_p} \bar{z}^3 + \frac{f_2}{24E_p I_p} \bar{z}^4 \\ \frac{d^2 y_1}{d\bar{z}^2} &= +2a_2 + 6a_3 \bar{z} + \frac{f_1}{2E_p I_p} \bar{z}^2 + \frac{f_2}{6E_p I_p} \bar{z}^3 \\ \frac{d^3 y_1}{d\bar{z}^3} &= +6a_3 + \frac{f_1}{E_p I_p} \bar{z} + \frac{f_2}{2E_p I_p} \bar{z}^2 \end{aligned} \right\} \quad (5.5)$$

(5.2) eşitliğindeki ikinci denklemin $\bar{z}$ e göre diferansiyeli alınırsa,

$$\left. \begin{aligned} \frac{dy_2}{d\bar{z}} &= -\beta e^{-\beta \bar{z}} \{ (A-B) \cos \beta \bar{z} + (A+B) \sin \beta \bar{z} \} \\ \frac{d^2 y_2}{d\bar{z}^2} &= 2\beta^2 e^{-\beta \bar{z}} (A \sin \beta \bar{z} - B \cos \beta \bar{z}) \\ \frac{d^3 y_2}{d\bar{z}^3} &= 2\beta^3 e^{-\beta \bar{z}} \{ (A+B) \cos \beta \bar{z} - (A-B) \sin \beta \bar{z} \} \end{aligned} \right\} \quad (5.6)$$

Kayan yüzeyde kazığın süreklilik koşulları,

$$\left. \begin{aligned} [y]_{\bar{z}=0} &= [y_1]_{\bar{z}=0} = [y_2]_{\bar{z}=0} \\ [\theta]_{\bar{z}=0} &= \left[\frac{dy_1}{d\bar{z}} \right]_{\bar{z}=0} = \left[\frac{dy_2}{d\bar{z}} \right]_{\bar{z}=0} \\ [M]_{\bar{z}=0} &= \left[\frac{d^2 y_1}{d\bar{z}^2} \right]_{\bar{z}=0} = \left[\frac{d^2 y_2}{d\bar{z}^2} \right]_{\bar{z}=0} \\ [S]_{\bar{z}=0} &= \left[\frac{d^3 y_1}{d\bar{z}^3} \right]_{\bar{z}=0} = \left[\frac{d^3 y_2}{d\bar{z}^3} \right]_{\bar{z}=0} \end{aligned} \right\} \quad (5.7)$$

Burada y kazık deplasmanı, θ kazığın dönme açısı, M kazığın eğilme momenti, S kazığın

kesme kuvvetidir.

Eşitlik (5.5) ve (5.6) Eşitlik (5.7) de yerine koyulursa;

$$\left. \begin{aligned} a_0 &= A \\ a_1 &= -\beta(A-B) \\ a_2 &= -\beta^2 B \\ 3a_3 &= \beta^3(A+B) \end{aligned} \right\} \quad (5.8)$$

elde edilir.

5.1 Dönmesi ve Deplasmanı Serbest Kazık Başı Durumunda Çözüm

Eğilme momenti ve kazık başında ($\bar{z} = -H'$) eğilme kuvveti sıfır olduğunda,

$$\left. \begin{aligned} [M]_{\bar{z}=-H'} &= -E_p I_p \left[\frac{d^2 y_1}{d\bar{z}^2} \right]_{\bar{z}=-H'} = 0 \\ [S]_{\bar{z}=-H'} &= -E_p I_p \left[\frac{d^3 y_1}{d\bar{z}^3} \right]_{\bar{z}=-H'} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (5.9)$$

(5.8) ve (5.9) eşitliklerinde kazığın altı koşulu kullanıldığında (5.2) integralindeki sabitler aşağıdaki şekilde bulunur.

$$\left. \begin{aligned} a_0 &= \frac{H'}{12E_p I_p \beta^3} \{3(2 + \beta H') f_1 - H'(3 + 2\beta H') f_2\} \\ a_1 &= \frac{-H'}{12E_p I_p \beta^2} \{6(1 + \beta H') f_1 - H'(3 + 4\beta H') f_2\} \\ a_2 &= \frac{(H')^2}{12E_p I_p} (3f_1 - 2H' f_2) \\ a_3 &= \frac{H'}{12E_p I_p} (2f_1 - H' f_2) \\ A &= \frac{-H'}{12E_p I_p \beta^3} \{3(2 + \beta H') f_1 - H'(3 + 2\beta H') f_2\} \\ B &= \frac{-(H')^2}{12E_p I_p \beta^2} (3f_1 - 2H' f_2) \end{aligned} \right\} \quad (5.10)$$

Maximum eğilme momenti $M_{1,\max}$ kayan yüzey üzerinde kazık başında aşağıdaki şekilde oluşur.

$$\left[M_{1,\max} \right]_{\bar{z}=0} = -E_p I_p \left[\frac{d^2 y_1}{d\bar{z}^2} \right]_{\bar{z}=0} = -2E_p I_p a_2 \quad (-H \leq \bar{z} \leq 0) \quad (5.11)$$

Kayan yüzey altında maximum eğilme momenti $M_{2,\max}$ kesme kuvvetinin sıfır olduğu $\bar{z}_2$ derinliğinde oluşur. Bu da:

$$\begin{aligned} [S]_{\bar{z}=\bar{z}_2} &= -E_p I_p \left[\frac{d^3 y_2}{d\bar{z}^3} \right]_{\bar{z}=\bar{z}_2} = 0 \\ \bar{z}_2 &= \frac{1}{\beta} \tan^{-1} \frac{A+B}{A-B} \end{aligned} \quad (5.12)$$

Böylece:

$$\left[M_{2,\max} \right]_{\bar{z}=\bar{z}_2} = -E_p I_p \left[\frac{d^2 y_2}{d\bar{z}^2} \right]_{\bar{z}=\bar{z}_2} = -2E_p I_p \beta^2 e^{-\beta \bar{z}_2} (A \sin \beta \bar{z}_2 - B \cos \beta \bar{z}_2) \quad (\bar{z} \geq 0) \quad (5.13)$$

bulunur.

5.2 Dönmesiz Deplasmanlı Kazık Başı Durumunda Çözüm

Kazığın deplasman açısı ve kazık başındaki kesme kuvveti sıfır olduğu zaman

$$\left. \begin{aligned} [\theta]_{\bar{z}=-H'} &= -E_p I_p \left[\frac{dy_1}{d\bar{z}} \right]_{\bar{z}=-H'} = 0 \\ [S]_{\bar{z}=-H'} &= -E_p I_p \left[\frac{d^3 y_1}{d\bar{z}^3} \right]_{\bar{z}=-H'} = 0 \end{aligned} \right\} \quad \text{FF} \quad (5.14)$$

dır.

Kazığın altı durumunda (A-8) ve (A-14) Eşitlikleri kullanılırsa (A-2) Eşitliğindeki integral sabitleri aşağıdaki şekilde bulunur.

$$\left. \begin{aligned}
 a_0 &= \frac{H'}{48E_p I_p \beta^3 (1 + \beta H')} \left\{ 4(2\beta^2 (H')^2 + 6\beta H' + 3)f_1 - H'(5\beta^2 (H')^2 + 12\beta H' + 6)f_2 \right\} \\
 a_1 &= \frac{(-H')^2}{24E_p I_p \beta (1 + \beta H')} \left\{ 4(3 + 2\beta H')f_1 - H'(6 + 5\beta H')f_2 \right\} \\
 a_2 &= \frac{H'}{48E_p I_p} (2f_1 - H'f_2) \\
 a_3 &= \frac{H'}{12E_p I_p} (2f_1 - H'f_2) \\
 A &= \frac{H'}{48E_p I_p \beta^3 (1 + \beta H')} \left\{ 4(2\beta^2 (H')^2 + 6\beta H' + 3)f_1 - H'(5\beta^2 (H')^2 + 12\beta H' + 6)f_2 \right\} \\
 B &= \frac{-H'}{48E_p I_p \beta^3 (1 + \beta H')} \left\{ 4(2\beta^2 (H')^2 - 3)f_1 - H'(5\beta^2 (H')^2 - 6)f_2 \right\}
 \end{aligned} \right\} \quad (5.15)$$

Maximum eğilme momentleri $M_{1,\max}$ ve $M_{2,\max}$ aşağıdaki şekilde verilmiştir.

$$\left. \begin{aligned}
 [M_{1,\max}]_{\bar{z}=-H'} &= -E_p I_p \left(2a_2 - 6a_3 H' + \frac{f_1}{2E_p I_p} (H')^2 - \frac{f_2}{6E_p I_p} (H')^3 \right) \quad (-H' \leq \bar{z} \leq 0) \\
 [M_{2,\max}]_{\bar{z}=\bar{z}_2} &= -2E_p I_p \beta^2 e^{-\beta \bar{z}_2} (A \sin \beta \bar{z}_2 - B \cos \beta \bar{z}_2) \quad \bar{z} \geq 0
 \end{aligned} \right\} \quad (5.16)$$

Burada (5.12) eşitliğindeki gibi

$$\bar{z}_2 = \frac{1}{\beta} \tan^{-1} \frac{A+B}{A-B}$$

dır.

5.3 Deplasmansız Dönmeli Kazık Başı Durumunda Çözüm

Kazık başında deplasman ve eğilme momenti sıfır olduğu zaman:

$$\left. \begin{aligned}
 [y]_{\bar{z}=-H'} &= [y_1]_{\bar{z}=-H'} = 0 \\
 [M]_{\bar{z}=-H'} &= -E_p I_p \left[\frac{d^2 y_1}{d\bar{z}^2} \right]_{\bar{z}=-H'} = 0
 \end{aligned} \right\} \quad (5.17)$$

dır.

Kazığın altı durumunda (5.8) ve (5.14) eşitlikleri kullanılırsa (5.2) eşitliğindeki integral sabitleri aşağıdaki şekilde bulunur.

$$\begin{aligned}
a_0 &= \frac{(H')^3}{120E_p I_p \beta \{1 + 2(1 + \beta H')^3\}} \\
&\times \{15(2 + \beta H')(3 + \beta H')f_1 - H'(7\beta^2(H')^2 + 27\beta H' + 30)f_2\} \\
a_1 &= \frac{(-H')^2}{120E_p I_p \beta \{1 + 2(1 + \beta H')^3\}} \\
&\times \{15(2\beta^3(H')^3 + 5\beta^2(H')^2 - 6)f_1 - H'(14\beta^3(H')^3 + 27\beta^2(H')^2 - 30)f_2\} \\
a_2 &= \frac{(H')^2}{120E_p I_p \{1 + 2(1 + \beta H')^3\}} \\
&\times \{15(\beta^3(H')^3 - \beta H' - 6)f_1 - H'(7\beta^3(H')^3 - 30\beta H' - 30)f_2\} \\
a_3 &= \frac{\beta(H')^2}{120E_p I_p \{1 + 2(1 + \beta H')^3\}} \\
&\times \{5(5\beta^2(H')^2 - 12\beta H' + 6)f_1 - H'(9\beta^2(H')^2 + 20\beta H' + 10)f_2\} \\
A &= \frac{(H')^3}{120E_p I_p \beta \{1 + 2(1 + \beta H')^3\}} \\
&\times \{15(2 + \beta H')(3 + \beta H')f_1 - H'(7\beta^2(H')^2 - 27\beta H' + 30)f_2\} \\
B &= \frac{-(H')^2}{120E_p I_p \beta^2 \{1 + 2(1 + \beta H')^3\}} \\
&\times \{15(\beta^3(H')^3 - 6\beta H' - 6)f_1 - H'(7\beta^3(H')^3 - 30\beta H' - 30)f_2\}
\end{aligned} \tag{5.18}$$

Maximum eğilme momentleri $M_{1,\max}$ ve $M_{2,\max}$ aşağıdaki şekilde verilmiştir.

$$\begin{aligned}
[M_{1,\max}]_{\bar{z}=\bar{z}_1} &= -E_p I_p \left(2a_2 + 6a_3 \bar{z}_1 + \frac{f_1}{2E_p I_p} (\bar{z}_1)^2 + \frac{f_2}{6E_p I_p} (\bar{z}_1)^3 \right) (-H' \leq \bar{z} \leq 0) \\
[M_{2,\max}]_{\bar{z}=0} &= -2B\beta^2 E_p I_p \quad \bar{z} \geq 0
\end{aligned} \tag{5.19}$$

burada $[S]_{\bar{z}=\bar{z}_1} = 0$ dan bulunmak üzere

$$z_1 = \frac{-f_1 \pm \sqrt{(f_1)^2 - 12E_p I_p a_3 f_2}}{f_2}$$

dir.

5.4 Dönmesi ve Deplasmanı Tutulu Kazık Başı Durumunda Çözüm

Kazık başında deplasman ve deplasman açısı sıfır olduğu zaman

$$\left. \begin{aligned} [y]_{\bar{z}=-H'} &= [y_1]_{\bar{z}=-H'} = 0 \\ [\theta]_{\bar{z}=-H'} &= -E_p I_p \left[\frac{d y_1}{d \bar{z}} \right]_{\bar{z}=-H'} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (5.20)$$

(5.8)ve(5.20)deşitliklerinde kazığın altı koşulu kullanılırsa (5.2) eşitliğindeki integral sabitleri aşağıdaki gibi bulunur.

$$\left. \begin{aligned} \alpha_0 &= \frac{(H')^4}{120E_p I_p (1+\beta H') \{2+(1+\beta H')^3\}} \\ &\times \{5(3+\beta H')^2 f_1 - H' (2\beta^2 (H')^2 + 9\beta H' + 12) f_2\} \\ \alpha_1 &= \frac{-(H')^3}{120E_p I_p (1+\beta H') \{2+(1+\beta H')^3\}} \\ &\times \{10(\beta^3 (H')^3 + 3\beta^2 (H')^2 - 6) f_1 - H' (4\beta^3 (H')^3 + 9\beta^2 (H')^2 - 15) f_2\} \\ \alpha_2 &= \frac{\beta (H')^3}{120E_p I_p (1+\beta H') \{2+(1+\beta H')^3\}} \\ &\times \{5(\beta^3 (H')^3 - 9\beta H' - 12) f_1 - H' (2\beta^3 (H')^3 - 12\beta H' - 15) f_2\} \\ \alpha_3 &= \frac{\beta^2 (H')^3}{120E_p I_p \{2+(1+\beta H')^3\}} \\ &\times \{10(2+\beta H') f_1 - H' (5+3\beta H') f_2\} \\ A &= \frac{(H')^4}{120E_p I_p (1+\beta H') \{2+(1+\beta H')^3\}} \\ &\times \{5(3+\beta H') f_1 - H' (2\beta^2 (H')^2 - 9\beta H' + 12) f_2\} \\ B &= \frac{-(H')^3}{120E_p I_p (1+\beta H') \{2+(1+\beta H')^3\}} \\ &\times \{5(\beta^3 (H')^3 - 9\beta H' - 12) f_1 - H' (2\beta^3 (H')^3 - 12\beta H' - 15) f_2\} \end{aligned} \right\} \quad (5.21)$$

Maximum eğilme momentleri $M_{1,\max}$ ve $M_{2,\max}$ aşağıdaki şekilde verilmiştir.

$$\begin{aligned}
 [M_{1,\max}]_{\bar{z}=-H'} &= -E_p I_p \left(2a_2 - 6a_3 H'_1 + \frac{f_1}{2E_p I_p} (H')^2 - \frac{f_2}{6E_p I_p} (H')^3 \right) \quad (-H' \leq \bar{z} \leq 0) \\
 [M_{2,\max}]_{\bar{z}=0} &= -2B\beta^2 E_p I_p \quad \bar{z} \geq 0
 \end{aligned} \tag{5.22}$$

6. ÖNERİLEN YÖNTEMİN BİR UYGULAMASI

6.1 Sorunun Tanımı

Güngören Eşref Bitlis Caddesi Yol ve Ortak Altyapı Eksiklerinin Tamamlanması İnşaatı'nda Km 0.00 1+914.43 arası anayol ile, bu yola bağlanan Km 0.00 - 0+321.79 arasında yer alan sıyrılmış yol kotunda güzergahın zemin özelliklerinin belirlenmesi ve yol güzergahında bir kesimde görülen heyelanın önlenmesi gerekmiştir. Arazide açılan 20 adet inceleme çukurunda yapılan incelemeler ve 7 adet zemin inceleme sondajı bulguları gözönüne alınarak zemin koşulları belirlenmiştir.

Bu çalışmada sınırları mühendislik jeolojisi haritasında belirtilen ve kesitleri verilmiş ayrıntılı geoteknik inceleme gerektiren heyelan alanında yapılan sondaj ve laboratuvar çalışmaları sonuçları ile duraylılığın iyileştirilmesine ilişkin gerekli önlem ve öneriler belirtilmektedir.

6.2 Arazinin Topoğrafyası ve Morfolojik Durumu

İstanbul ili, Güngören, Eşref Bitlis Caddesi Yolu, (Km 0.00 – 0+321.79 arası, $A-A'$ güzergahı) kuzey-güney doğrultuda, bu ana yola birleşen ikincil yol ise (Km 0.00 – 0+321,79 arası, $B-B'$ güzergahı) kuzeydoğu-güneybatı doğrultuda uzanmaktadır. Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Kışlası Kampusü'nün batısında ve batıya yaklaşık %13 ile %18 arasında eğimli araziden geçen anayol güzergahının çevresi de, herhangi bir morfolojik farklılık göstermemektedir. Yol güzergahı çoğunlukla batıya eğimli yamacın eteğinden, kısmen de tepe düzlüklerinden geçmektedir. Ana yola birleşen kuzeydoğu yönünde uzanan ikincil yol ise önce batıya düşük bir eğimi izleyerek yayvan tepe düzlüğünden geçmektedir.

6.3 Yol Güzergahı Zemin Kesiti

İnceleme alanını oluşturan yol güzergahı Güngören Eşref Bitlis Caddesi Yol ve Ortak Altyapı Eksiklerinin Tamamlanması İnşaatı'nda $A-A'$ güzergahını oluşturan Km 0.00 – 1-914.43 arası ana yol ile bu yola bağlanan $B-B'$ güzergahı Km 0.00 – 0+321.79 arasında yer almaktadır. Her iki güzergahta gerekli görülen yerlerde kazıcı ile derinlikleri 0.40m ile 3.50m arasında toplam 20 adet inceleme çukuru açılmış ve zemin incelenmiştir.

6.4 Yer Üstü ve Yer Altı Suyu Durumu

İnceleme alanında, aşırı yağışlarda yamaçtan gelebilecek yağmur suları, özellikle batıya eğimli arazide, $A-A'$ güzergahında Km 0+620 ile Km 1+120 arasında etkili olacaktır. Bu

yolun doğu yamacındaki dolgu ilerisinde aktif bir heyelan alanı gelişmiştir. Dolgudaki suların, yol kotuna yakın seviyelerde yapay dolgu ile geçirimsiz kil ara katmanlarında yer yer biriktiği açılan inceleme ukurlarındaki gözlemlerden anlaşılmaktadır. Stabiliteyi önemli derecede etkileyen zemin suyunun uzaklaştırılması için, bu güzergah boyunca heyelanın önlenmesi için önerilen istinat yapısının arkasında yola paralel drenaj sisteminin yanında, bu sisteme dik birleşen drenlerin yapılması gerekmektedir.

6.5 Heyelan Durumu

İnceleme alanı yol güzergahı, Davutpaşa Kışlası Kampusü'nün batı kenarında yer alıp, kampus alanı batı sınırlarını oluşturarak, yaklaşık güney-kuzey doğrultusunda uzanmaktadır.

A – A' güzergahında, Km 0.000 ile Km 0+620 arasında batıya çok düşük eğimli bir yamaçtan geçen yolun bu kesiminde yüzeylenen birimlerin Bakırköy Formasyonu kireçtaşlarından oluşması ve düşük eğim nedeniyle herhangi bir heyelan söz konusu değildir.

A – A' güzergahının Km 0+620 ile Km 1+120 arasında ve batıya yaklaşık %13 ile %18 arasında eğimli araziden geçen ana yol güzergahı doğusu kesiminde yer alan yamaçta aktif bir heyelan vardır. Bu heyelan, yamaçtaki yapay dolgu ve altındaki kil tabakaları içinde oluşmakta ve heyelan nedeniyle, yamaçtan akan ve kalınlığı 1m ile 3m arasında değişen kalınlıktaki heyelan malzemesi, yol güzergahının bu kısmını tamamen doldurmuştur. Yol inşaatının ilk planlamasından sonra geçen süre içerisinde bu aktif heyelan alanı ilerlemeye devam etmiş ve yol güzergahını kaplamıştır. Hali hazır durumda bu yolun inşa edilebilmesi için yapılması gereken kazı ile şev topuğundan malzeme kaldırılması durumunda aktif heyelanın daha geriye doğru ilerlemesi, halen Yıldız Teknik niversitesi' ne verilmiş olan şev üstündeki alanın ve tarihi Davutpaşa Kışla Binası'nın duraylılığının bozulma olasılığı bulunmaktadır. Belirtilen bu güzergah boyunca yamacın duraylı duruma getirilmesi için ayrıntılı bir çalışma yapılmıştır. Bu amaçla heyelan sahasında 7 adet zemin araştırma sondajı yapılmış, bir dizi laboratuvar deneyi gerçekleştirilmiş ve duraylılık analizi sonuçlarına göre, duraylılığın sağlanması için gerekli önlemler belirtilmiştir.

6.6 Sondaj alışmaları Sonucu

Yerleri ekteki paftada gösterilen 7 adet sondaj yapılmış olup, bunlara ilişkin zet bilgiler aşağıda verilmektedir.

Çizelge 6.1 : Sondaj Verileri

Sondaj No	Derinlik (m)	YASS (m)	Dolgu Kalınlığı (m)	Marn Derinliği (m)
SK1	20.00	6.20	5.10	10.10
SK2	20.00	6.90	5.80	11.50
SK3	20.00	9.70	4.10	15.80
SK4	20.00	8.20	3.10	14.10
SK5	15.00	1.00	1.40	12.90
SK6	15.00	1.60	1.30	11.10
SK7	15.00	1.30	1.40	13.70

Tüm sondajlarda başlıca üç birim ayırt edilmiştir. En üstte yerel zemin malzemesi ile az miktarda inşaat artıklarından oluşan dolgu bir örtü yer almakta olup, yukarıdaki tablodan işaret edildiği üzere kalınlığı 1.30m ile 5.80m arasında değişmektedir. Dolgu tabakasının altında kahve renkli yer yer kum-çakıl bantları içeren bir kil tabaka yüzeyden 10.10m-15.80m derinliklere kadar devam etmektedir. Sondajlarda bu kil tabakanın altında ise, kahverengi-sarımsı-grimsi renkli ardaşıklı yer alan bir marn tabaka yer almaktadır. Bu tabaka içerisinde yer yer kalker bantları yer almakta olup, marn ileri derecede ayrışarak kil görünümüne kavuşmuştur.

Sondajlar sırasında alışılmış biçimde Standart Penetrasyon Deneyleri yapılmış olup, her üç birimde elde edilen değer aralığı aşağıda verilmektedir.

Çizelge 6.2: Standart Penetrasyon Deneyi

Sondaj No	Dolgu'da(N)	Kil'de (N)	Marn'da (N)
SK1	6-10	11-23	26-49
SK2	7-8	15-24	28-R
SK3	6	8-26	32-45
SK4	7	10-29	33-43
SK5	15	8-25	34-40
SK6	-	16-31	32-39
SK7	-	15-36	42

Görüldüğü üzere SPT sayıları dolgunun orta katı kıvamda, altındaki kil tabakanın katı-çok katı kıvamda, marn tabakasının da çok katı-sert kıvamda olduğunu göstermektedir.

6.7 Laboratuvar Deneyleri

Sondajlar sırasında elde edilmiş örselenmiş ve örselenmemiş zemin örnekleri üzerinde bir dizi laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir.

6.7.1 Kıvam Limiti Deneyleri

Örselenmiş SPT örnekleri üzerinde yapılan doğal su içerikli, likit limit ve plastik limit deneyi sonuçları toplu halde Ek 8'de, bu değerlerin derinlikle değişimleri ise Ek 9.1, 9.2, 9.3 ve 9.4'de verilmektedir.

Doğal su içeriği dolgu altındaki kilde derinlikle belirgin bir şekilde azalmaktadır. Değerlerde büyük dağılım olmasına karşın, ortalama olarak 5m derinliklerde %35 civarında olan su içeriği 12m derinlikte %20 değerine düşmektedir. Alttaki marnda ise %15-30 arasında değişmektedir.

Likit limit değerlerinde özellikle kil tabakada dağılım oldukça geniş olup, değerler %40-100 arasında değişmektedir. Marn tabakada aralık %40-60 civarındadır. Plastik limit değerleri %22-40, marnda %21-28 aralığındadır.

6.7.2 Zemin Kayma Mukavemetine İlişkin Deneyler

duraylılık araştırmalarına veri oluşturmak amacıyla laboratuvarında konsolidasyonlu drenajsız üç eksenli basınç deneyleri (CU) ve drenajlı koşulda, direkt kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Direkt kesme deneylerinde pik kayma mukavemeti parametrelerinin elde edildiği ilk kesmeden sonra rezidüel (kalıcı) kayma mukavemeti parametrelerinin elde edilmesine yönelik olarak ileri geri kesme tekniği uygulanmıştır. aşağıda bu deney sonuçları özetlenmektedir.

6.7.2.1 Konsolidasyonlu Drenajsız Üç Eksenli Basınç Deneyi Sonuçları

Çizelge 6.3: Konsolidasyonlu Drenajsız Üç Eksenli Basınç Deneyi Sonuçları

	Derinlik (m)	Hücre Basıncı (kPa)	Deviatör Gerilme (kPa) (kırmada)	Kırmada Boşluk Suyu Basıncı (kPa)
SK-2	6.00-6.35	150	132	21
	6.00-6.35	250	240	63
SK-3	6.00-6.35	75	113	23
	6.00-6.35	150	220	27
SK-3	9.00-9.35	150	183	17
	9.00-9.35	200	320	11

Bu deneyler sırasında konsolidasyon sonrası drenajsız kesme aşamasında ölçülen deviatör gerilme ve boşluk suyu basıncının birim boy ile değişimi Ek 10.1, 10.2, 11.1, 11.2, 12.1 ve 12.2'de verilmektedir. Diğer yandan deney sonuçlarının Mohr Daireleri formunda gösterilişi Ek 13.1 ve 13.2 de verilmektedir. Bunlara göre elde edilen efektif gerilmeler cinsinden kayma mukavemeti parametreleri aşağıda özetlenmektedir.

Çizelge 6.4: Kayma Mukavemeti Parametreleri

Sondaj No	Derinlik (m)	Zemin Cinsi	c' (kPa)	ϕ' (°)
SK-2	6.00-6.35	Dolgu-Kahverengi Kil Sınırı	0	21
SK-3	6.00-6.35	Kahverengi Kil	7.5	27
SK-3	9.00-9.35	Kahverengi Kil	0	24

6.7.2.2 Direkt Kesme Deneyi Sonuçları

Bu deneylerde kesme aşamasında boşluk suyu basıncı doğurmayacak bir hızla kesme yapılmış olup, deneylere ilişkin özet bilgi aşağıdadır.

Çizelge 6.5: Kesme Deneyi Sonuçları

Sondaj No	Derinlik (m)	Konsolidasyon Basıncı (kPa)	Pik Kayma Gerilmesi(kPa)	Kalıcı Kayma Gerilmesi (kPa)
SK-5	3.00-3.35	50	38	25
		100	62	48
SK-3	9.00-9.35	120	85	58
		180	130	85

Deneylerde ölçülen pik ve kalıcı kayma gerilmelerinin birim boy ile değişimi Ek 14.2 ve 15.2'de verilmektedir. Sonuçlar aşağıda özetlenmektedir.

Çizelge 6.6: Zemin Parametreleri

Sondaj No	Derinlik (m)	Zemin Cinsi	c'_p (kPa)	ϕ'_p (°)	c'_r (kPa)	ϕ'_r (°)
SK-5	3.00-3.35	Dolgu	15	28	5	25
SK-3	9.00-9.35	Kahverengi kil	0	28	0	18

6.8 Duraylılık Araştırması

Yol güzergahında Km 0+720 ile Km 1+090 arasında aktif bir heyelan geliştiği görülmektedir. Bu zemin hareketinin duraylı hale getirilebilmesi için elde edilen deneysel sonuçlar kullanılarak bir dizi duraylılık araştırması yapılmıştır.

Heyelanın duraylı hale getirilebilmesi için kazı dolgu ile yol kenarındaki zeminin iyileştirilmesi ve yol kenarında donatılı bir dayanma yapısı düşünülmüştür. Böylece hem yol sınırları belirlenecek hem de drenajı sağlayacak bir topuk yapısı oluşacaktır.

Stabilite araştırmasında 'XSTABLE' isimli bir paket program yardımı ile çeşitli analizler yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda topuk yapısına karşın şev güvenlik faktörünün 0.85 gibi yetersiz bir değerde olduğu tespit edilmiştir.

Şev güvenliğinin iyileştirilebilmesi için yapılan analizlerde öngörülen şev güvenlik sayısının 1.25 olarak ele alınması durumunda 300 kN'luk ek bir direnç kuvvetine gerek olduğu saptanmıştır.

Gerekli ek direnç kuvvetinin sağlanabilmesi için kazıklı bir perde yapısı oluşturulması düşünülmüş ve bunun için Ito-Matsui tarafından geliştirilen yöntem kullanılarak gerekli analizler yapılmıştır.

Ito-Matsui'ye göre kazığa etkiyecek kuvvet:

$$p(z) = cD_1 \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^{N_\phi^{1/2} \tan \phi + N_\phi - 1} \left[\frac{1}{N_\phi \tan \phi} \left\{ \exp \left(\frac{D_1 - D_2}{D_2} N_\phi \tan \phi \tan \left(\frac{\pi}{8} + \frac{\phi}{4} \right) \right) - 2N_\phi^{1/2} \tan \phi - 1 \right\} \right. \\ \left. + \frac{2 \tan \phi + 2N_\phi^{1/2} + N_\phi^{-1/2}}{N_\phi^{1/2} \tan \phi + N_\phi - 1} \right] - c \left\{ D_1 \frac{2 \tan \phi + 2N_\phi^{1/2} + N_\phi^{-1/2}}{N_\phi^{1/2} \tan \phi + N_\phi - 1} - 2D_2 N_\phi^{-1/2} \right\} \\ + \frac{\gamma z}{N_\phi} \left\{ D_1 \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^{N_\phi^{1/2} \tan \phi + N_\phi - 1} \exp \left(\frac{D_1 - D_2}{D_2} N_\phi \tan \phi \tan \left(\frac{\pi}{8} + \frac{\phi}{4} \right) \right) - D_2 \right\}$$

Burada $N_\phi = \tan^2(\pi/4 + \phi/2)$

D_1 =Kazıklar arası merkezden merkeze mesafe

D_2 =Kazıklar arası net açıklık

C = Zemin kohezyonu

ϕ = Zeminin içsel sürtünme açısı

γ = Zeminin birim hacim ağırlığı

z = Yer yüzeyinden derinlik

$c'_r = 0$ ve $\phi'_r = 17^\circ$ alınır, $D_1 = 2.0\text{m}$ $D_2 = 1.2\text{m}$ $\gamma = 18\text{kN/m}^3$ seçilirse:

$$N\phi = \tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{17}{2}\right) = 1.83 \quad N_\phi^{0.5} = 1.35 \quad \tan 17 = 0.31$$

$$P(z) = \frac{17z}{1.83} \left\{ 2.0 \left(\frac{2}{1.2} \right)^{(1.35 \times 0.31 + 1.83 - 1)} \exp\left(\frac{2.0 - 1.2}{1.2} 1.83 \times 0.31 \times \tan\left(\frac{\pi}{8} + \frac{17}{4} \right) \right) - 1.2 \right\}$$

$$P(z) = 31.4 \times z$$

Kayma yüzeyi 8m derinlikte olduğunda:

$$P(8) = 251\text{kN/m}^2$$

Kazığa gelen toplam yük:

$$P = \frac{0 + 251}{2} \times 8 = 1004\text{kN}$$

Kazıkların etkinliği:

$$P_1 = \frac{1004}{2} = 502\text{kN}$$

$$M = \frac{8}{3} \times 502 = 1338\text{kN/m}$$

Gerek duyulan ek direnç kuvveti 300 kN

Yukarıdan görüleceği gibi 0.8m çaplı kazıkların 2.0m aralıklarla kullanılması durumunda heyelanın duraylı hale getirilebilmesi için gerekli ek direnç kuvveti oluşmaktadır.

Bu öneriler ışığında tek sıra kazık tasarımı yapılmış ve kazıklar yerinde uygulanmıştır. Aradan geçen dört yılda kazık sırası izlenmiş ve şevin tümüyle duraylı hale geldiği belirlenmiştir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

1. Şev duraylılığı çalışması için çeşitli yaklaşımlar olmasına karşın basit ve kolay anlaşılır olması nedeni ile Ito-Matsui tarafından geliştirilen yöntem daha sık kullanılmaktadır.
2. Ito-Matsui tarafından önerilen yöntem kullanılarak duraylılık kazıklarının şev duraylılığı üzerindeki etkisi şev duraylılığından bağımsız olarak bulunabilir.
3. Şev duraylılığı çalışmasının başarılı olabilmesi için inceleme bölgesinin topoğrafik ve jeolojik durumu detaylı olarak incelenmeli ve gerekli zemin verileri laboratuvar ve arazi çalışmaları sonucunda doğru olarak elde edilmelidir.
4. Duraylılık kazıklarının tasarımında başlıca etkenler kazıklar arası açıklık, kazık başının tutululuk durumu, kayan yüzey üzerindeki kazık boyu ve kazık çapıdır.
5. Duraylılık analizinde gereken yatay kuvvetin doğru tahmini kilit noktadır. Zira bu kuvvetin fazla tahmini kazık duraylılığında tutucu, şev duraylılığında ise yetersiz sonuca götürür.
6. Kullanılacak duraylılık kazığının cinsi, çapı, kazık aralığı çalışma koşulları gözönüne alınarak seçilmelidir.
7. Kazık başında ötelenme ve dönmenin engellenmesi durumunda daha etkin bir çözüm elde edilmektedir.
8. Gerek duyulan ek direnç kuvvetinin sağlanamaması durumunda kazık çapı ve kazık aralığı ile oynayarak uygun kazık yerleşimi elde edilebilir.
9. Heyelan sahasının çok geniş olması ve tek kazık dizisinin yetersiz kalması durumunda çok sıralı duraylılık kazığı uygulaması yapılabilir.
10. Bu çalışmada önerilen Ito-Matsui tarafından geliştirilen yöntemle kazıklara etkiyen kuvvet elle çözüm yapılarak bulunabilir. Bulunan bu kuvvetin tezin 6. bölümünde belirtildiği gibi XSTABLE vb. paket programlar yardımı ile hesaplanan şev duraylılığı için gerekli ek direnç kuvvetine eşit veya daha büyük olması durumunda şev duraylılığı sağlanmış olur.
11. Duraylılık kazıklarının göçme yüzeyinin çanak yaptığı noktaya yakın bir yere yerleştirilmesi uygun bir çözüm olarak görülmektedir.
12. Göçme yüzeyi arazi çalışmaları ile tespit edilebilmesine karşın 10. maddede de belirtilen XSTABLE v.b paket programlarda ileri geri analiz yapılarak ta bulunabilir.

13. Bölüm 6 da daha önce yapılan bir çalışma verileri ele alınarak başarılı bir uygulama yapılmıştır.

14. Yapılan uygulamada elde edilen zemin verileri ışığında XSTABLE programı kullanılarak şev analiz edildiğinde şev güvenliğinin 0.85 gibi yetersiz bir değerde olduğu görülmüştür.

15. XSTABLE programı kullanılarak şev güvenlik sayısını 1.25 değerine yükseltmek için gerekli ek direnç kuvvetinin 300kN olduğu saptanmıştır.

16 Ito-Matsui tarafından geliştirilen yöntem kullanılarak şevde 2.0m aralıklarla 0.80m çaplı kazıkların yerleştirilmesi durumunda gerek duyulan ek direnç kuvvetinin sağlanabileceği tespit edilmiştir.



KAYNAKLAR

- Fırat, S. ve Kutanis, M., (2000), 'Şev Duraylılığında Kullanılan Kazıkların Yanal Yüklerinin Hesaplanması Metodları', Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Sekizinci Ulusal Kongresi, 26-27 Ekim 2000, İTÜ, 213-222.
- Fukuoka, M., (1997), 'The Effects of Horizontal Loads on Piles Due to Landslides', Ninth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 14 July 1977, Tokyo, 27-42.
- Hassiotis, S., Chameu, J. L. ve Gunaratne, M., (1997), 'Desing Method for Stabilization of Slopes with Piles', Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 123(4):314-322.
- Ito, T. ve Matsui, T., (1975), 'Methods to Estimate Lateral Force Acting on Stabilizing Piles', Soils and Foundations, 15(4):43-59.
- Ito, T. ve Matsui, T., (1978), 'Methods to Estimate Lateral Force Acting on Stabilizing Piles', Soils and Foundations, 18(2):41-44.
- Ito, T., Matsui, T. ve Hong, W. P., (1981), 'Desing Method for Stabilizing Piles Against Landslide-One Row of Piles', Soils and Foundations, 21(1):21-37.
- Ito, T., Matsui, T. ve Hong, W. P., (1982), 'Extended Desing Method for Multi-Row of Stabilizing Piles Against Landslide', Soils and Foundations, 22(1):1-13.
- Ito, T., Matsui, T. ve Hong, W. P., (1982), 'Earth Pressures on Piles in a Row Due to Lateral Soil Movements', Soils and Foundations, 22(2):71-81.
- Ito, T. ve Matsui, T., (1997), 'The Effects of Piles in a Row on The Slope Stability', Ninth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 14 July 1977, Tokyo, 81-87.
- Jamiolkowski, M. ve Garassino, A., (1997), 'Soil Modulus for Laterally Loaded Piles', Ninth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 14 July 1977, Tokyo, 43-58.
- Kumbasar, V. ve Kip, F., (1999) 'Zemin Mekaniği Problemleri', Çağlayan Kitabevi, İstanbul.
- Nalçakan, M. S., (1999), 'Stabilization of Landslides by Pile in Cohesive Soils with Special Reference to Group Action Reduction', Doktora Tezi, ODTÜ.
- Ng, C. W. W., Zhang L. M. ve Ho K. K. S., (2001), 'Influence of Lateral Loaded Sleeved Piles and Pile Groups on Slope Stability', Canadian Geotechnical Journal, 38(3):553-566.
- Popescu, M. E., (1991), 'Landslide Control by Means of a Row of Piles', Slope Stability Engineering, Tomas Telford, 389-394, London.
- Poulos, H. G., (1995), 'Desing of Reinforcing Piles to Increase Slope Stability', Canadian Geotechnical Journal, 32(5):808-818.
- Poulos, H. G., Chen, L. T. ve Hull T. S., (1995), 'Model Tests on Single Piles Subjected Lateral Soil Movement', Soils and Foundations, 24(2):85-92.

Tan, O. ve Aksoy, İ., (1987), 'Şevlerin Stabilitésinin Kazıklarla Sağlanması', Yamaç ve Şevlerin Stabilitésini Dayanma Yapıları Semineri, 5-9 Mayıs 1987, Samsun, 6.1-6.11.

Utku, T., (1975), 'Teori ve Tatbikatta Heyelanlar', Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara.

Yıldırım, S., (2002) 'Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı', Birsan Yayınevi, İstanbul.

Yıldız Teknik Üniversitesi, (2000), 'İstanbul Büyükşehir Belediyesi Fen İşleri Daire Başkanlığı Altyapı Koordinasyon Müdürlüğü Güngören Eşref Bitlis Caddesi Yol ve Ortak Altyapı Eksiklerinin Tamamlanması İnşaatına İlişkin Geoteknik Rapor', İstanbul.

EKLER

Ek 1. Sondaj Logu 1

Ek 2. Sondaj Logu 2

Ek 3. Sondaj Logu 3

Ek 4. Sondaj Logu 4

Ek 5. Sondaj Logu 5

Ek 6. Sondaj Logu 6

Ek 7. Sondaj Logu 7

Ek 8. Davutpaşa Heyelan Bölgesine Ait Endeks Özellikler

Ek 9.1 Doğal Su Kapsamının Derinlikle Değişimi

Ek 9.2 Likit Limit Değerlerinin Derinlikle Değişimi

Ek 9.3 Plastik Limit Değerlerinin Derinlikle Değişimi

Ek 9.4 Plastisite İndeksi Değerlerinin Derinlikle Değişimi

Ek 10.1 Konsolidasyonlu-Drenajsız (CU)Üç Eksenli Basınç Deneyi (SK-2 UD-2)

Ek 10.2 Drenajsız Yükleme Aşamasında Ölçülen Boşluk Suyu Basıncı Değerleri(SK-2 UD-2)

Ek 11.1 Konsolidasyonlu-Drenajsız (CU) Üç Eksenli Basınç Deneyi (SK-3 UD-2)

Ek 11.2 Drenajsız Yükleme Aşamasında Ölçülen Boşluk Suyu Basıncı Değerleri(SK-2 UD-2)

Ek 12.1 Konsolidasyonlu-Drenajsız (CU)Üç Eksenli Basınç Deneyi (SK-3 UD-3)

Ek 12.2 Drenajsız Yükleme Aşamasında Ölçülen Boşluk Suyu Basıncı Değerleri(SK-3 UD-3)

Ek 13.1 Konsolidasyonlu-Drenajsız (CU) Üç Eksenli Basınç Deneylerinden Elde Edilen Mohr Gerilme Daireleri

Ek 13.2 Konsolidasyonlu-Drenajsız (CU) Üç Eksenli Basınç Deneylerinden Elde Edilen Mohr Gerilme Daireleri

Ek 14.1 Konsolidasyonlu-Drenajlı Kesme Kutusu Deneyi (SK-5 UD-1)

Ek 14.2 Normal Gerilme ile Kayma Gerilmesi Arasındaki İlişki (SK-5 UD-1)

Ek 15.1 Konsolidasyonlu-Drenajlı Kesme Kutusu Deneyi (SK-3 UD-3)

Ek 15.2 Normal Gerilme ile Kayma Gerilmesi Arasındaki İlişki (SK-5 UD-3)

- Ek 16. Heyelan Şevinde Güvenlik Sayısı Analizi
- Ek 17 Şev Duraylılığı İçin Gerekli Ek Direnç Kuvvetinin Analizi
- Ek 18. Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Yerleşim Birimi Eğitim Haritası
- Ek 19. Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Yerleşim Birimi Jeoloji Haritası (Ayrıntılı Jeoteknik Etüd Gerektiren Alan)
- Ek 20. Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Yerleşim Birimi Mühendislik Jeolojisi Haritası (Ayrıntılı Jeoteknik Etüd Gerektiren Alan)
- Ek 21. Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Yerleşim Birimi İnceleme Alanı Zemin Kesiti
- Ek 22. Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Yerleşim Birimi İnceleme Alanı Zemin Kesitleri
- Ek 23. Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Yerleşim Birimi 6-3 Aksı Zemin Kesiti
- Ek 24. Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Yerleşim Birimi İnceleme Alanı Mühendislik Jeolojisi Haritası (Sondaj Yerleri Planı)
- Ek 25. Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Yerleşim Birimi Yerleşime Uygunluk Haritası

Ek 1. Sondaj Logu 1

KARDEŞ SONDAJCILIK
LTD.ŞTİ.

SONDAJ LOGU / BORING LOG

Sondaj No / Boring No : SK-1
Sayfa No / Sheet No : 1

PROJE ADI / PROJECT NAME : Yıldız Üniversitesi, heyetler bldgesi
KOORDİNATLAR / COORDINATES : Zemin 450.00
SONDAJ KOTU / ELEVATION (m) : 54.85 m.
SONDAJ DERİNLİĞİ / BORING DEPTH (m) : 20.00 m.
YERALTISUYU / GROUNDWATER (m) : 8.20 m.

SONDAJ BAĞLIYIŞI / DRILLING REG : CRESALUS
SONDOR / FOREMAN : Mehmet KIRAZ
MÜHENDİS / ENGINEER : Cenk KIRAZ
BAŞLAMA TARİHİ / DATE STARTED : 11.10.2000
BİTİŞ TARİHİ / DATE COMPLETED : 12.10.2000

MURSAFAZA BORU / CASINO SIZE				DİŞ ÇAP / O.D. (mm)		İÇ ÇAP / I.D. (mm)		UZUNLUĞU / LENGTH (m)																																		
DERİNLİK DEPTH (m)	KAZI VE KESİMLER (CASE & RECOVERY)	R.O.D. NO.	NUMARASI (SAMPLE NO.)	NİMLE DERİNLİĞİ (SAMPLE DEPTH.)	ZEMİN TANIMLARI (SOIL DESCRIPTION)	ZEMİN PROFİLİ (SOIL PROFILE)	DAYANIKLILIK (STRENGTH)	AYRILMA (WEATHERING)	KURU / 30 GN (FINALS. 30 GN)	KURU AÇISI FINALS. ANGLE	SU KATMANI (WAT. LOSS)	STANDARD PENETRATION TEST STANDARD PENETRATION TEST																														
												Blow No. of Blows			N ₆₀	GRAPH GRAPH																										
												0-15	15-30	30-45		10	20	30	40	50																						
1				SPT-1 1.50-1.95	Doğu: Yarı tırtıl malzemesinden ve az miktarda inçast artıklardan oluşan, kırılgan görünümünde seviyedir.							2	3	3	6	1																										
2																																										
3				SPT-2 3.00-3.45								4	6	5	10																											
4				SPT-3 4.50-4.95								4	5	5	10																											
5					6.10m.																																					
6				SPT-4 6.00-6.45	KH: Kırılgan renkte, yer yer tabakalıdır. İnce ve 10' ar mm. kalınlığında ince-kil taneli kum-ince çakıl katmanları bulunmaktadır seviyedir.							3	5	5	11																											
7				SPT-5 7.50-7.95								8	10	10	20																											
8																																										
9				SPT-6 9.00-9.45								7	11	12	23																											
10					10.10m.							8	11	15	26																											
11					MH: Kırılgan - Sert ve gıcır renkte marmarın özelliğinden dolayı devamlıdır. Az miktarda kırılgan katmanları bulunmaktadır. Tamamen sıyrıkta durmakta olan bu katman sıyrıkla birlikte kırılgan katmanlarıdır.							11	15	18	33																											
12				SPT-8 12.00-12.45								10	14	16	30																											
13				SPT-9 13.50-13.95								13	17	20	37																											
14																																										
15				SPT-10 15.00-15.45																																						
REHBERLİK / GUIDANCE													SİGORTA / INSURANCE																													
N=0-2 Çok yumuşak V.Soft													N=0-4 Çok yumuşak V.Soft										0-10 % Puh az										1-1 Sigorta V.Soft (4)									
N=3-4 Yumuşak Soft													N=5-10 Yumuşak Lemce										10-20 % Puh az										2-2 Orta V.Soft (6)									
N=5-8 Orta Hec M.Hec													N=11-20 Orta Hec M.Hec										20-35 % Sekt										3-3 Orta V.Soft (8)									
N=9-15 Kaba Sekt													N=21-30 Kaba Sekt										35-55 % Uu										4-4 Orta V.Soft (10)									
N=16-20 Çıkırt V.Hec													N=31-50 Sekt M.Hec																				5-5 Orta V.Soft (12)									
N>20 Sekt Hard																																	6-6 Orta V.Soft (14)									
DAYANIKLILIK / STRENGTH													AYRILMA / WEATHERING										NAYLA KALINLIK / ROD										KESİMLER / CUTS									
I Çok zayıf Very weak													I Yumuşaktan ayrışmış Crap. weathered										0-25 % Çok zayıf Very poor										UD : Oranlanmazlıktan / Undersized Sample									
II Zayıf Weak													II Orta ayrışmış Highly weathered										25-50 % Zayıf Poor										D : Oranlanmazlıktan / Disturbed Sample									
III Orta zayıf Moderat													III Orta ayrışmış Mod. weathered										50-75 % Orta Fair										SPT : Standart Penetrasyon Deneyi / Standard Pen. Test									
IV Orta dayanıklı Matron													IV Az ayrışmış Slightly weathered										75-90 % İyi Good										VST : Vane Deneyi / Vane Test									
V Dayanıklı Strong													V Taze Fresh										90-100 % Çok iyi Excellent										P : Penetrasyon deneyi / Penetration Test									

KARDEŞ SONDAJCILIK LTD.ŞTİ.

Sondaç No / Boring No. : SK-4

Sayfa No / Sheet No. : 2

Proje / Project : Yıldız Üniversitesi, hayvanat bilgilere zemin etüdleri

DERİNLİK DEPTH (m)	KASOT ve N. d (CORE & RECOVERY)	R.O.D. %	NUMARALI NÖ. (SAMPLE NO.)	NEMANİ DERİNLİĞİ (SAMPLE DEPTH.) mm to	ZEMİN TANIMI / ARAZİ (SOIL DESCRIPTION)	ZEMİN PROFİLİ (SOIL PROFILE)	DAYANIKLILIK (STRENGTH)	AÇIKLIK (WEATHERING)	KURU / DOĞAL (FRICTION / NAT.)	KURU / DOĞAL (FRICTION / NAT.)	SU KAYBI % (WATER LOSS)	STANDARD PENETRASYON DENEMESİ STANDARD PENETRATION TEST										
												Deneme Sayısı No. of Blows				N ₆₀	GRAFIK GRAPH					
												0-15	15-30	30-45	45-60		10	20	30	40	50	
16					Mavi : Kalkareli - Sarımsı ve griimsi renkte morlana eriyen kumlar. Zeminde devam eden bitirildi. Arazinin tebessüf kumları bulunur. Tamamen dışında olan bir bütün aynı zamanda kıl görünümü kayanmıştır.								15	19	23	42						
17																						
18															17	21	26	47				
19																						
20													20	23	26	48						
21																						
22																						
23																						
24																						
25																						
26																						
27																						
28																						
29																						
30																						

İMZA

Ek 2. Sondaj Logu 2

KARDEŞ SONDAJCILIK LTD.ŞTİ.										Sondaj No / Boring No : SK-4									
SONDAJ LOGU / BORING LOG										Sayfa : No / Sheet No : 1									
PROJE ADI / PROJECT NAME : Yataz Ormanlılık, hayvanlar bölgesi										SONDAJ MAKİNASI / DRILLING RES : CREALUS									
KOORDİNATLAR / COORDINATES : zemin eteği										SONDOR / FOREMAN : Mehmet KIRAZ									
SONDAJ KOTU / ELEVATION (m) : 55.80 m.										MÜHENDİS / ENGINEER : Cenk KIRAN									
SONDAJ DERİNLİĞİ / BORING DEPTH (m) : 20.00 m.										BAŞLAMA TARİHİ / DATE STARTED : 13.10.2000									
YERALTISUYU / GROUNDWATER (m) : 8.90 m.										BİTİŞ TARİHİ / DATE COMPLETED : 14.10.2000									
BULUPAZA BORU / CASING SIZE : DİŞ ÇAP / O.D. (mm) :										İÇ ÇAP / I.D. (mm) :									
UZUNLUĞU / LENGTH (m) :										STANDARD PENETRATION DEPTH / STANDARD PENETRATION TEST									
DERİNLİK / DEPTH (m)	MARTİ ve % d / CORE % / RECOVERY	R.D. %	NUMARASI / (SAMPLE NO.)	NİHAİ DERİNLİK / (SAMPLE DEPTH) : from to	ZEMİN TANIMLAMASI / (SOIL DESCRIPTION)	ZEMİN PROFİLİ / (SOIL PROFILE)	DAYANIKLILIK / (STRENGTH)	AYRISMA / (WEATHERING)	KIRILMA / (FRACTURE)	KIRILMA AÇISI / (FRACTURE ANGLE)	SU YATAY % / (WAT. LOSS)	STANDARD PENETRATION DEPTH / STANDARD PENETRATION TEST							
												Düme Çarpması / No. of Blows				GRAPH			
												0-15	15-30	30-45	N ₆₀				
												10	20	30	40	50			
1				SPT-1	1.50-1.95	Doğu : Yeşil zemin malzemesinden ve az miktarda kum ve çakıllardan oluşmuş, orta gücünde sınırlıdır.							1	3	4	7			
2																			
3				UD-1	3.00-3.30														
4																			
5				SPT-2	4.50-4.95								3	3	5	8			
6				UD-2	6.00-6.25	Mavi : Kumsal çakıl, yer yer, binyüzünde kum ve 10'ar cm. katmanlarda kum - il taneli kum - toz püskürtme bulunduran sınırlıdır.													
7				SPT-3	7.50-7.95								5	7	8	15			
8																			
9				SPT-4	9.00-9.45								7	9	13	22			
10																			
11				SPT-5	10.50-10.95								8	11	13	24			
12				UD-3	12.00-12.35	11.50m. Mavi : Kumsal - Sıcak ve gresli kum malzemesi andaktarılmış, gresli kum olan bölgedir. Ara ara tabakalı kum ve çakıl bulunduran. Tamamen sınırlıdır. Ara ara kum ve çakıl bulunduran. Ara ara kum ve çakıl bulunduran. Ara ara kum ve çakıl bulunduran.							Çakılın alt kısmı						
13				SPT-6	13.50-13.95								9	14	14	28			
14																			
15				SPT-7	15.00-15.45								11	15	17	32			

SIVAMA DURUMU / STIFFNESS		DOKU / DENSITY		KURULUŞ / PROPORTIONS		KIRILMA / FRACTURE	
N = 0-2	Çok yumuşak / V.Gel	N = 0-4	Çok yumuşak / V.Gel	0-10 %	Çok az / Low	> 1	Çok az / Low
N = 3-4	Yumuşak / Soft	N = 5-10	Yumuşak / Loose	10-20 %	Az / Little	1-2	Orta / Moderate
N = 5-8	Orta / Medium	N = 11-20	Orta / Medium	20-35 %	Orta / Moderate	2-10	Orta / Moderate
N = 9-15	Katı / Hard	N = 31-60	Katı / Dense	35-50 %	Orta / Moderate	10-20	Çok az / Low
N = 16-20	Çok katı / Very Hard	N = 61-80	Çok katı / Very Hard	50-60 %	Orta / Moderate	> 20	Çok az / Low
N > 20	Sert / Hard	N > 80	Sert / Very Hard	60-100 %	Çok katı / Very Hard		Çok az / Low

DAYANIKLILIK / STRENGTH		AYRISMA / WEATHERING		KAYIYIŞ / RCD		RİSALTALAR	
I	Çok zayıf / Very weak	I	Tamamen ayrışmış / Completely weathered	0-25 %	Çok zayıf / Very poor	AD	Çok zayıf / Very poor
II	Zayıf / Weak	II	Çok ayrışmış / Highly weathered	25-50 %	% Zayıf / Weak	SD	Orta / Moderate
III	Orta zayıf / Medium weak	III	Orta ayrışmış / Moderately weathered	50-75 %	% Orta / Medium	SPT	Standard Penetration Test
IV	Orta dayanıklı / Medium strong	IV	Az ayrışmış / Slightly weathered	75-90 %	% İyi / Good	VST	Vane Deneyi / Vane Test
V	Dayanıklı / Strong	V	Taze / Fresh	90-100 %	% Çok iyi / Excellent	P	Presiyometre deneyi / Pressuremeter Test

**KARDEŞ SONDAJCILIK
LTD.ŞTİ.**
Sonda No / Boring No. : **SK-2**Sayfa No / Sheet No. : **2**

Proje / Project : Yıldız Üniversitesi, hayvan bölgesi zemin etüdüleri

DERİNLİK (DEPTH) (m)	KAROT no / # (CORE N. RECOVERY)	R.O.D. #	NUMARASI (SAMPLE NO.)	NUMARASI (SAMPLE NO.)	ZEMİN TANIMLARI (SOIL DESCRIPTION)	ZEMİN PROFİLİ (SOIL PROFILE)	DAYANIKLILIK (STRENGTH)	AYRISILMA (WEATHERING)	KIRIK (50 cm (FRAC. 50 cm.)	KIRIK AÇISI (FRAC. ANGLE)	SU KAYBI % (WATER LOSS)	STANDARD PENETRASYON DENEYİ STANDARD PENETRATION TEST																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
												Darbe Sayısı No. of Blows				N ₆₀	GRAFIK GRAPH																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
												0-15	15-30	30-45			10	20	30	40	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
16			SPT-5	16.50-16.95	Mavi : Kalkareli - Sarımsak gimsi renkte marmara sahipliklerinde olduğu devam eden birimdir. Ana ara tebakkıli kılcalı barben bulundurulur. Tavanın ayarın durumunda olan bu birim ayrışma nedeniyle ki görünümü kapalıdır.							15	22	25	47																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					</

İMZA

Ek 3. Sondaj Logu 3

KARDEŞ SONDAJCILIK LTD.ŞTİ				Sondaj No / Boring No : SK-3						
				Sayfa No / Sheet No : 1						
SONDAJ LOGU / BORING LOG										
PROJE ADI / PROJECT NAME : Yıldız Üniversitesi, heyelan bölgesi zemin etütü				SONDAJ MAHDASI / DRILLING RG : CREALIUS						
KOORDİNATLAR / COORDINATES : 62.95 m.				SONDÖR / FOREMAN : Mehmet KURAZ						
SONDAJ KOTU / ELEVATION (m) : 25.65 m.				MÜHENDİS / ENGINEER : Celik KIRAN						
SONDAJ DERİNLİĞİ / BORING DEPTH (m) : 8.70 m.				BAŞLAMA TARİHİ / DATE STARTED : 14.10.2000						
YERALTISUYU / GROUNDWATER (m) : 8.70 m.				BİTİŞ TARİHİ / DATE COMPLETED : 15.10.2000						
BURUFAZA BORU / CASING SIZE		DİŞ ÇAP / O.D. (mm)		İÇ ÇAP / I.D. (mm)		UZUNLUĞU / LENGTH (m)				
Derinlik / Depth (m)	Maret ve S.A. / CORU % (RECOVERY)	R.O.D. %	MAMURE / DEĞERİ (SAMPLE DEPTH) from to	ZEMİN TANIMI / (SOIL DESCRIPTION)	ZEMİN PROFİLİ / (SOIL PROFILE)	DAYANILIRLIK / (STRENGTH)	STANDARD PENETRATION TEST			
							Standard Penetration Test		GRAPH	
						No. of Blows		GRAPH		
						0-15 15-30 30-45		10 20 30 40 50		
1			SPT-1 1.50-1.85	Düğü: Yarı-gömli malzemenin ve 22 miktarda inçat aralından çıkan, 800 gütümünde seviyedir.			2	3	3	6
2										
3			UD-1 3.00-3.30							
4				4.10m.						
5			SPT-2 4.50-4.85	Not: Kalıve tavine, yarı yer bığesinde kum ve 10-20 gr. cırı. kırılgıncık kırıcı-ki taneli kum-ince çakıl karışık bulunduran seviyedir.			2	4	4	8
6			UD-2 6.00-6.35							
7			SPT-3 7.50-7.85				4	8	8	16
8										
9			UD-3 9.00-9.35							
10			SPT-4 10.50-10.85				6	9	11	20
11										
12			SPT-5 12.00-12.45				7	9	13	22
13										
14			SPT-6 13.50-13.85				4	8	11	19
15			SPT-7 15.00-15.45				6	11	15	28

SONDAJ / BORE		SİKL / SCLTY		GİRİŞ / PROPTIV		GİRİŞ / SCLTY		
0-2	Çok yumuşak	V.Soft	0-2	Çok yumuşak	Weak	0-2	Seyrek	Weak
3-4	Yumuşak	Soft	3-4	Yumuşak	Loose	1-2	Orta	Medium
5-6	Orta Kalk	M.Soft	5-6	Orta Kalk	Medium	2-10	Sık	Close
7-8	Kalk	Stiff	7-8	Kalk	Dense	10-20	Çok sık	Extreme
9-10	Çok sık	V.Stiff	9-10	Çok sık	Very dense	20	Pompalı	Crushed
11-12	Sert	Hard	11-12	Sert	Very dense			

DAYANILIRLIK / STRENGTH		AYRISMA / WEATHERING		KAYA KALİTESİ TANI / RCD		KİSİLLİK / QUALITY		
I	Çok zayıf	Very weak	I	Kırılgan ayrışma	Comp. weathered	Q-25	% Çökme	Very poor
II	Zayıf	Weak	II	Çok zayıf ayrışma	Highly weathered	25-50	% Zayıf	Poor
III	Orta zayıf	Medium	III	Orta ayrışma	Mod. weathered	50-75	% Orta	Fair
IV	Orta dayanıklı	Medium	IV	Az ayrışma	Slightly weathered	75-90	% İyi	Good
V	Dayanıklı	Strong	V	Taze	Fresh	90-100	% Çok iyi	Excellent

KİSİLLİK / QUALITY		KİSİLLİK / QUALITY	
UD	Ortalaması Normal	/ Undisturbed Sample	
D	Ortalaması Normal	/ Disturbed Sample	
SPT	Standard Penetration Test	/ Standard Pen. Test	
VST	Vibrasyon Deneyi	/ Vibration Test	
P	Presiyonlu deney	/ Pressuremeter Test	

**KARDEŞ SONDAJCILIK
LTD.ŞTİ.**

Sondaç No / Boring No. : SK.2

Sayfa No / Sheet No. : 2

Proje / Project : Yıldız Üniversitesi, heyelan bölgesi zemin etüdleri

DERİNLİK DEPTH (m)	KAYIYI NO / NO (CORE NO. RECOVERY)	K.O.D. NO	NAMİNE NO. (SAMPLE NO.)	NAMİNE DERİNLİĞİ (SAMPLE DEPTH) from to	ZEMİN TANISALMASI (SOIL DESCRIPTION)	ZEMİN PROFİLİ (SOIL PROFILE)	DAYANIRLIK (STRENGTH)	AYRISMA (WEATHERING)	KIRIL / 30 cm (FRACTURE)	KIRIL AÇISI (FRAC. ANGLE)	SU KAYBI % (WATER LOSS)	STANDART PENETRASYON DENEYİ STANDARD PENETRATION TEST									
												Darbe Sayısı No. of Blows				N ₆₀	GRAFİK GRAPH				
												0-15	15-30	30-45	45-60		10	20	30	40	50
16					15.00m																
			SPT-3	16.50-18.05	Ham : Kalkareli - Çamur ve günlü katmanlar arasında bulunmaktadır. Tamamen ayrışmış. Güçlü bir ayrışma nedeniyle ki güçlüğü kazanmıştır.							11	16	18	32						
17																					
18			SPT-3	18.00-18.45								13	17	20	37						
19																					
20			SPT-10	20.00-20.45	20.00m							13	18	29	45						
21																					
22																					
23																					
24																					
25																					
26																					
27																					
28																					
29																					
30																					

M122

Sonda No / Boring No : SK-14
Sayfa No / Sheet No : 1

: CREAMS

: **Cork KIRAN**

: 15.10.2000

∴ 每位之收入

1999年12月11日 星期日

[illegible][illegible]

**KARDEŞ SONDAJÇILIK
LTD.ŞTİ.**

Sonda No / Boring No. : SK-4

Sayfa No / Sheet No. : 2

Proje / Project: Yıldız Üniversitesi, heyelan bölgesi zemin etütleri

DERİNLİK DEPTH (m)	KAROT NO. & İ (CORE NO. RECOVERY)	R.O.D. NO.	NAMANE NO. (SAMPLE NO.)	NAMANE DERİNLİĞİ (SAMPLE DEPTH.) m to m	ZEMİN TANIMLAMASI (SOIL DESCRIPTION)	ZEMİN PROFİLİ (SOIL PROFILE)	DAYANIKLILIK (STRENGTH)	AYRISMA (WEATHERING)	KIRIK / 50 mm (FINES / 20 mm)	KIRIK AÇISI (FRACT. ANGLE)	SU / NİSPE (WATER LOSS)	STANDART PENETRASYON DENEYİ STANDARD PENETRATION TEST									
												Çalma Sayısı No. of Blows				GRAFIK GRAPH					
												0-15	15-30	30-45	N ₆₀	10	20	30	40	50	
16					Mam : Kalkareol - Sarmal ve gimsel tortile marlaren edretilenmen qabında devam eden bürüde. Aza ara tuboçivi kalker barılan bulundur. Tamamen aygırmı dururda olan bu tıhın aygırma nedeçivle kıl görünürü kazarırmı.																
			SPT-9	16.50-16.95								11	15	18	33						
17																					
18			SPT-10	18.00-18.45								13	18	21	37						
19					22.00m																
20			SPT-11	20.00-20.45								15	19	24	43						
21																					
22																					
23																					
24																					
25																					
26																					
27																					
28																					
29																					
30																					

MİZA

Ek 6. Sondaj Logu 6

[illegible]

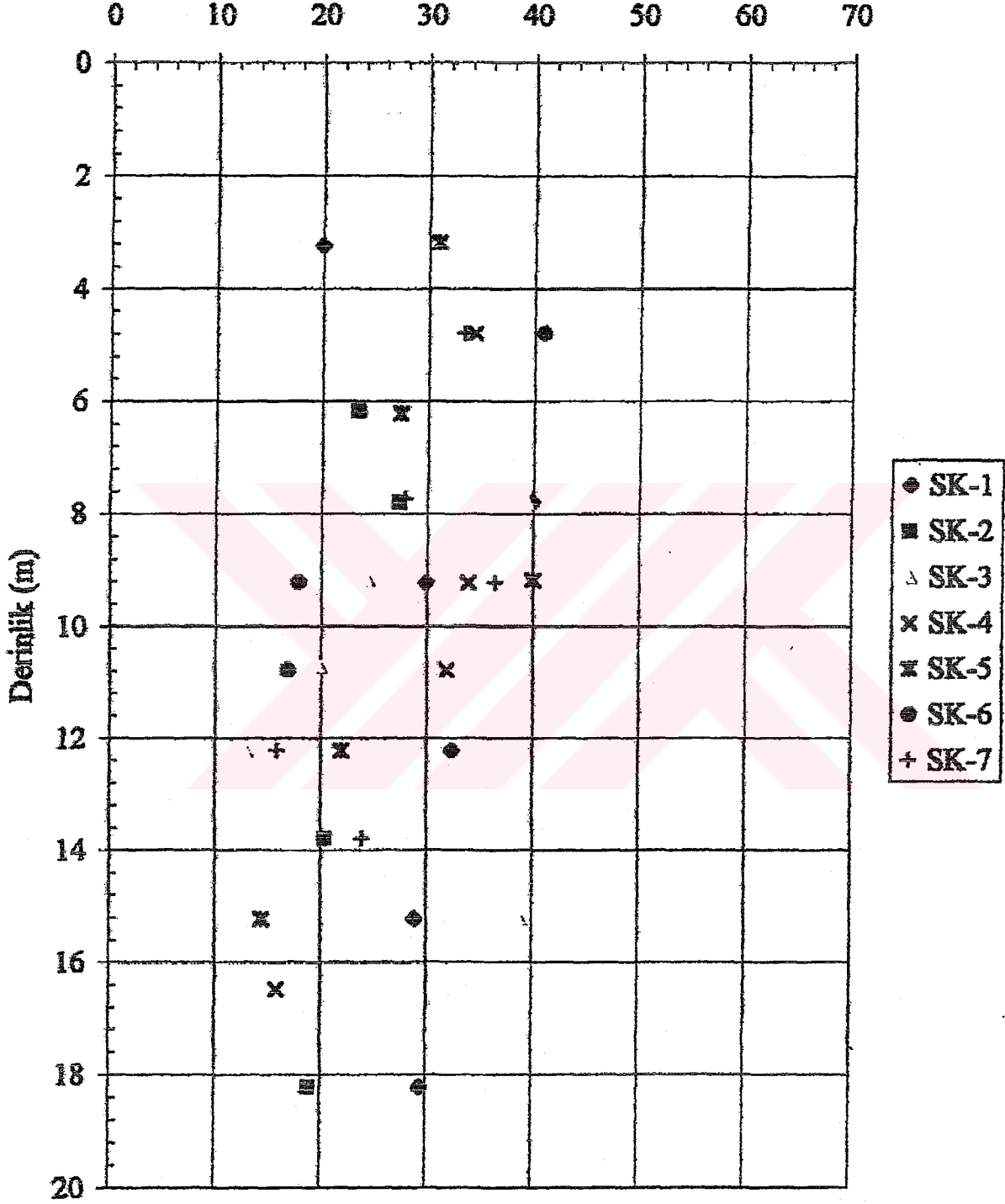
Ek 8. Davutpaşa Heyelan Bölgesine Ait Endeks Özellikler

Örnek Adı	Derinlik (m)	Tabii Su Muhtevanı (%)	Likit Limit (%)	Plastik Limit (%)	Plastisite İndeksi (%)
SK1-SPT2	3.00-3.45	20			
SK1-SPT6	9.50-9.45	30			
SK1-SPT10	15.00-15.45	29			
SK2-SPT12	18.00-18.45	19			
SK3-SPT7	10.50-10.95	20			
SK3-SPT10	15.00-15.45	39			
SK4-SPT6	9.00-9.45	34			
SK4-SPT11	16.00-16.95	16			
SK5-SPT10	15.00-15.45	14.5			
SK6-SPT6	9.00-9.45	18			
SK7-SPT5	7.00-7.95	28			
SK7-SPT8	12.00-12.45	16			
SK-2 UD-2	6.00-6.35	23.5			
SK-3 UD-2	6.00-6.35	25			
SK-3 UD-3	9.00-9.35	24.5			
SK-5 UD-1	3.00-3.35	31			
SK-5 UD-3	9.00-9.35	40			
SK1-SPT5	7.50-7.95	40	60	29	31
SK1-SPT8	12.00-12.45	32.5	39	21.5	17.5
SK1-SPT12	18.00-18.45	29.5	59	24	35
SK2-SPT5	7.50-7.95	27.5	48	22	26
SK2-SPT9	13.50-13.95	20.5	48	21	27
SK3-SPT5	7.50-7.95	39.5	79	32	47
SK3-SPT8	12.00-12.45	13	42	21	21
SK3-SPT12	18.00-18.45	17	47	23	24
SK4-SPT3	4.50-4.95	34.5	77	36	41
SK4-SPT7	10.50-10.95	32	103	39	64
SK5-SPT4	6.00-6.45	27.5	96	36	60
SK5-SPT8	12.00-12.45	22	52	22.5	29.5
SK6-SPT3	4.50-4.95	41	94	49.5	44.5
SK6-SPT7	10.50-10.95	17	41	21	20
SK7-SPT3	4.50-4.95	33.5	84	29	55
SK7-SPT6	9.00-9.45	36.5	102	40	62
SK7-SPT9	13.50-13.95	24	59	28	31

Ek 9.1 Doğal Su Kapsamının Derinlikle Değişimi

DAVUTPAŞA HEYELAN BÖLGESİ

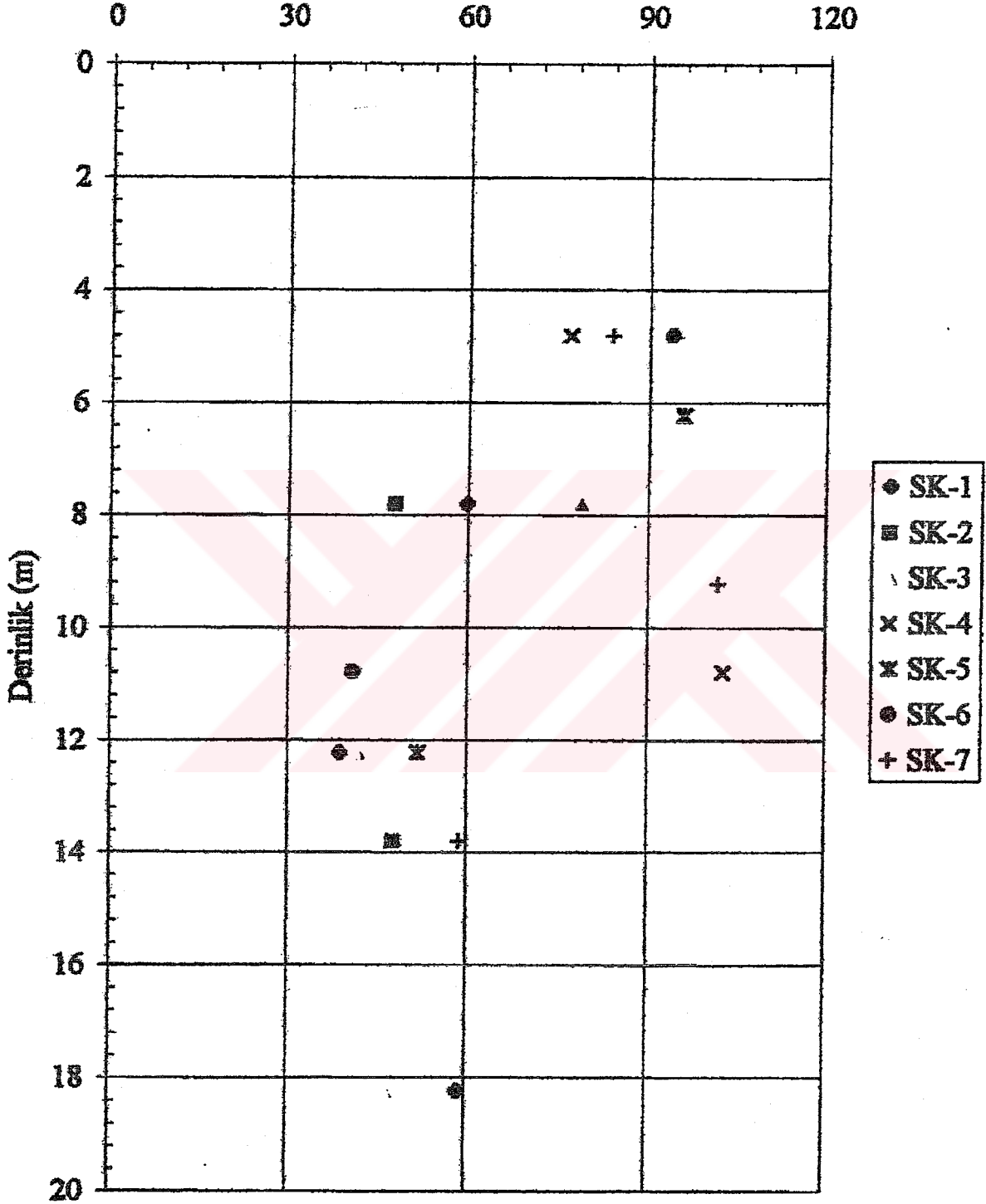
Doğal Su Kapsamı (%)



Ek 9.2 Likit Limit Değerlerinin Derinlikle Değişimi

DAVUTPAŞA HEYELAN BÖLGESİ

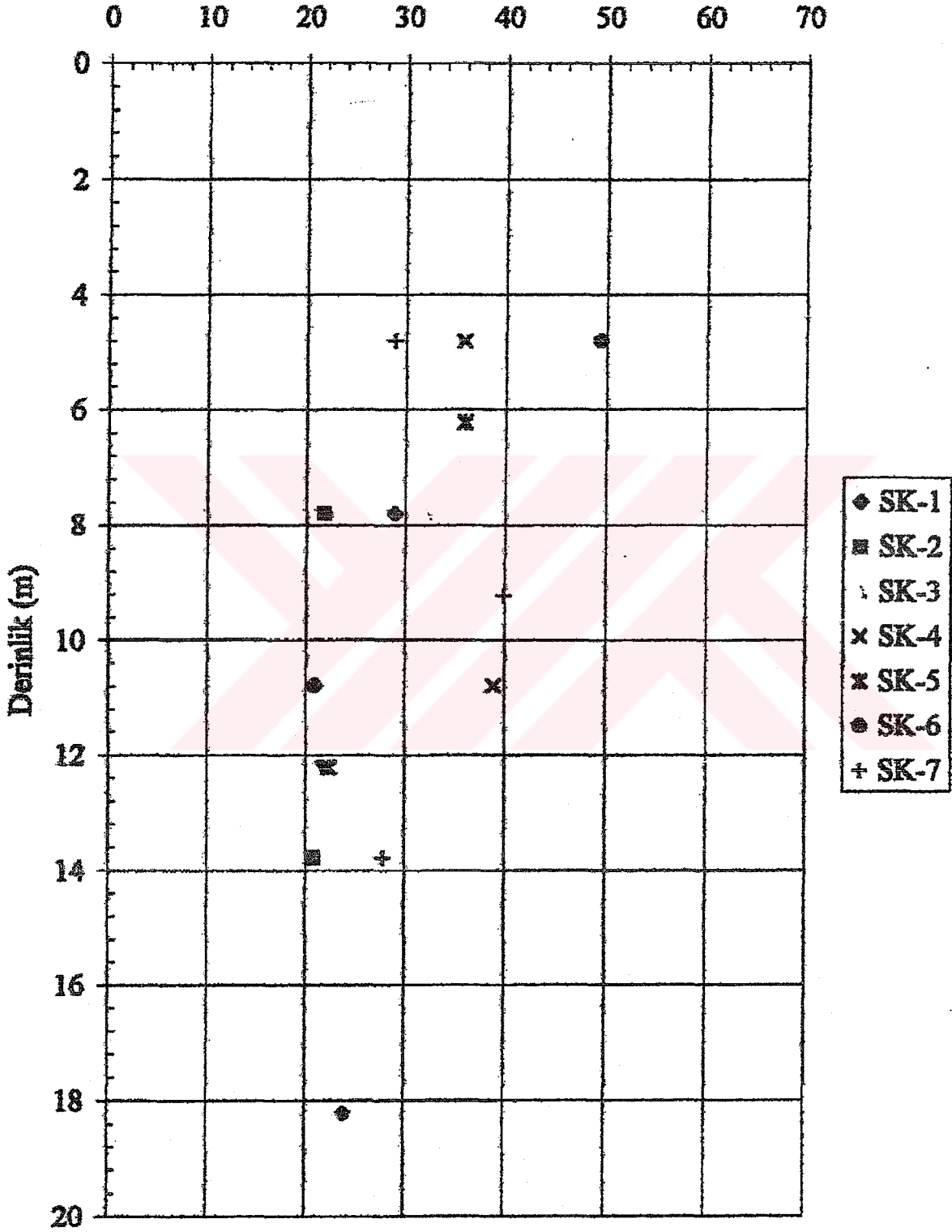
Likit Limit (%)



Ek 9.3 Plastik Limit Değerlerinin Derinlikle Değişimi

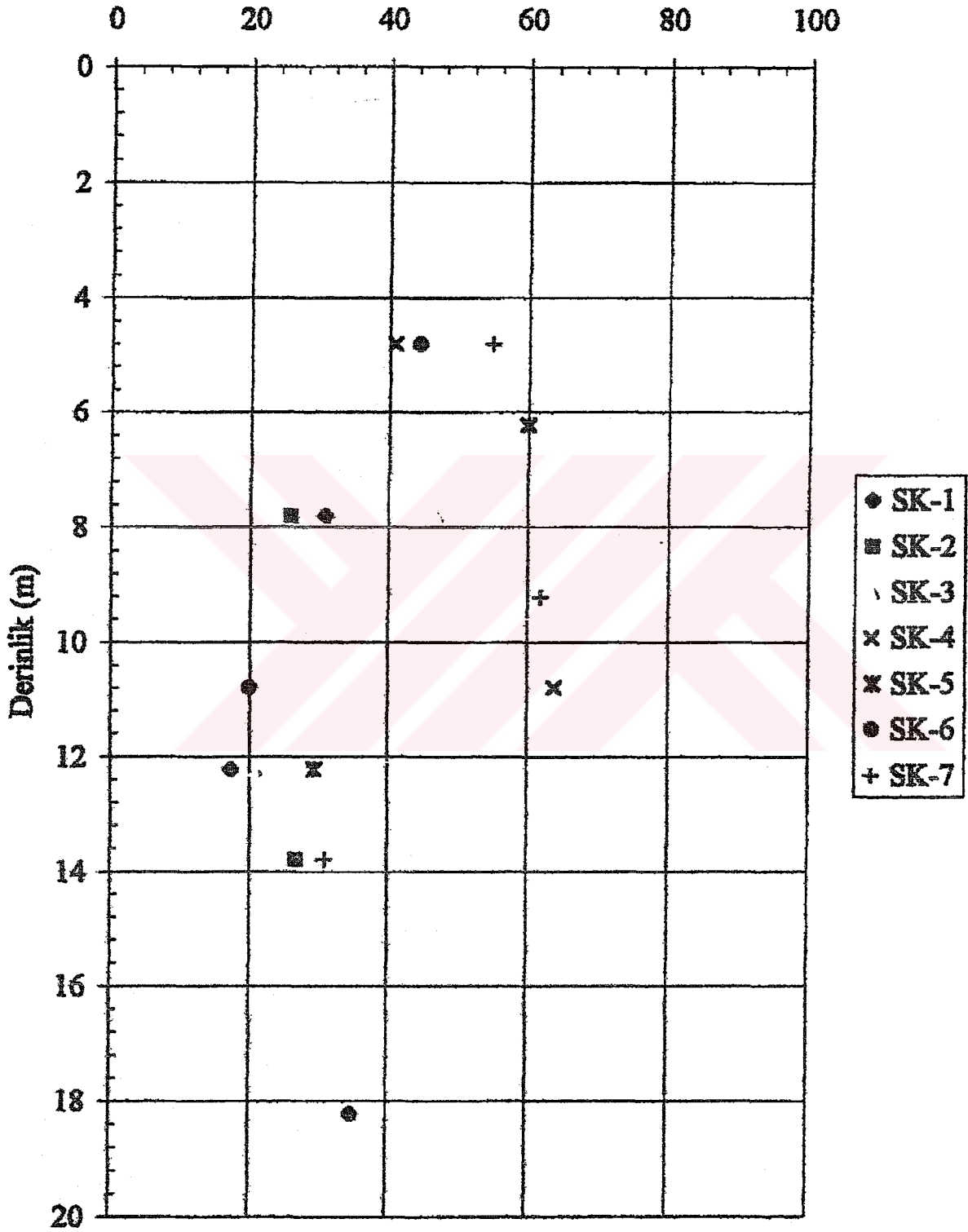
DAVUTPAŞA HEYELAN BÖLGESİ

Plastik Limit (%)



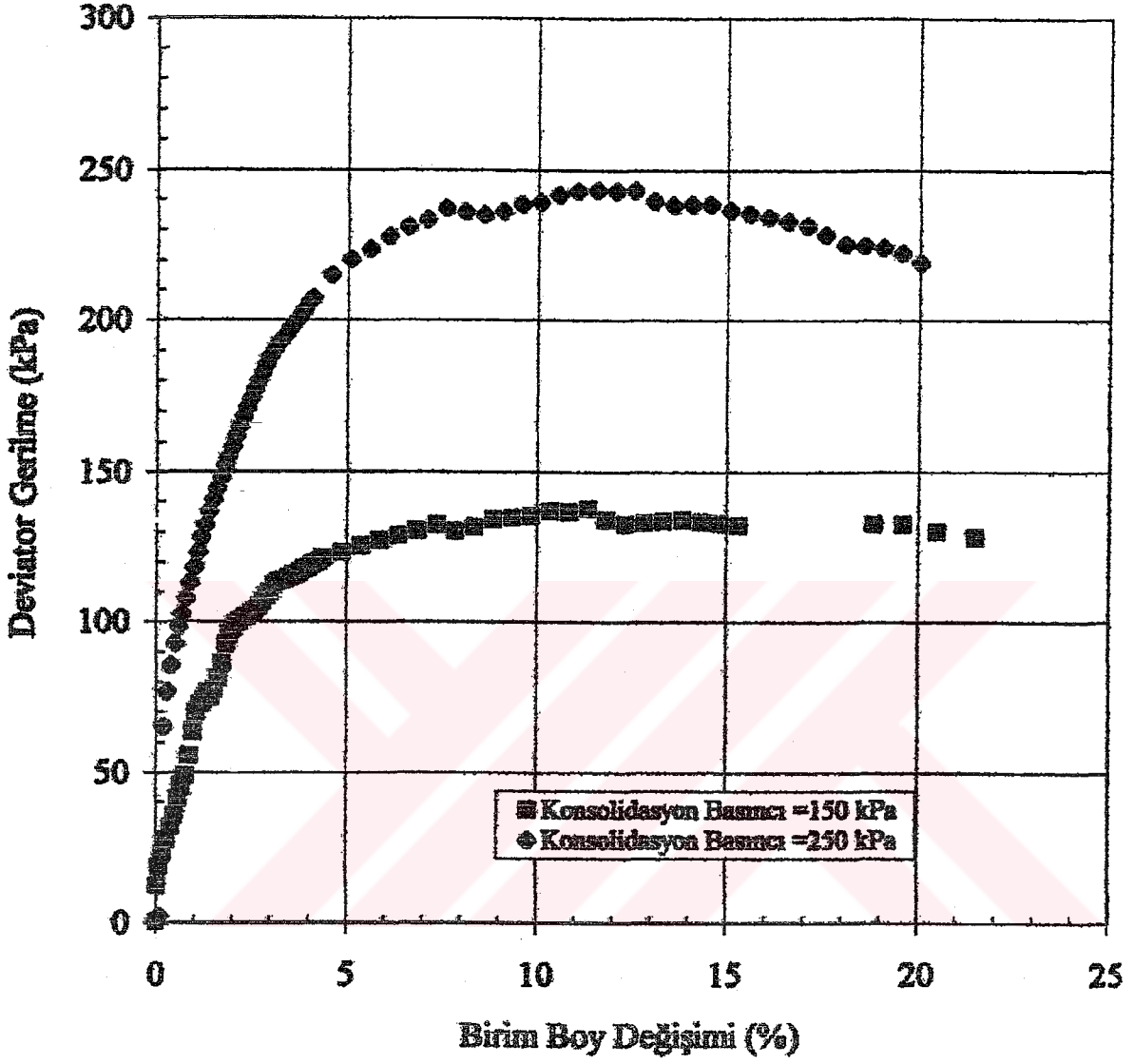
Ek 9.4 Plastisite İndeksi Değerlerinin Derinlikle Değişimi

DAVUTPAŞA HEYELAN BÖLGESİ
Plastisite İndeksi (%)



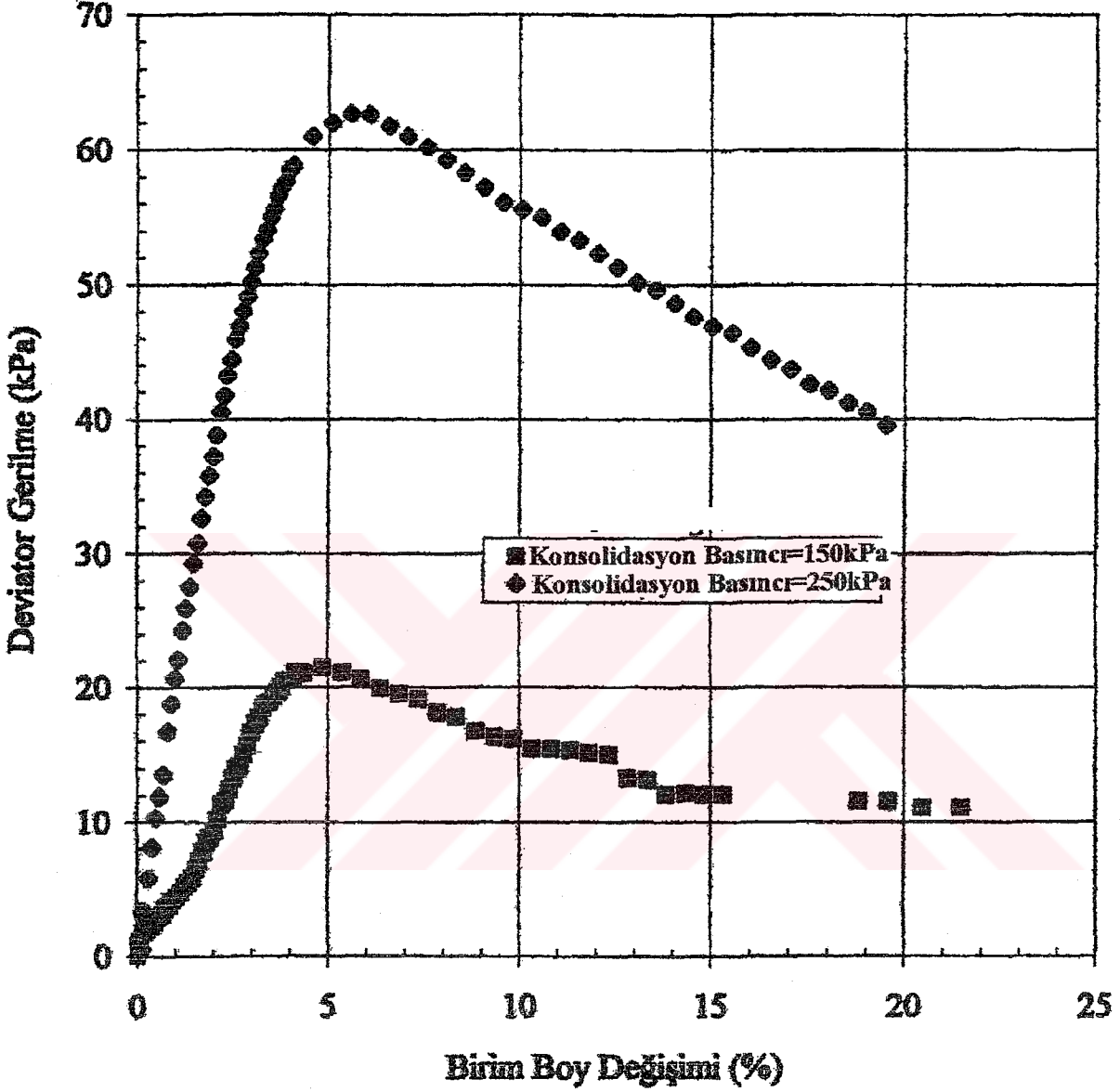
Ek 10.1 Konsolidasyonlu-Drenajsız (CU)Üç Eksenli Basınç Deneyi (SK-2 UD-2)

SK-2 UD-2 6.00 - 6.35 m



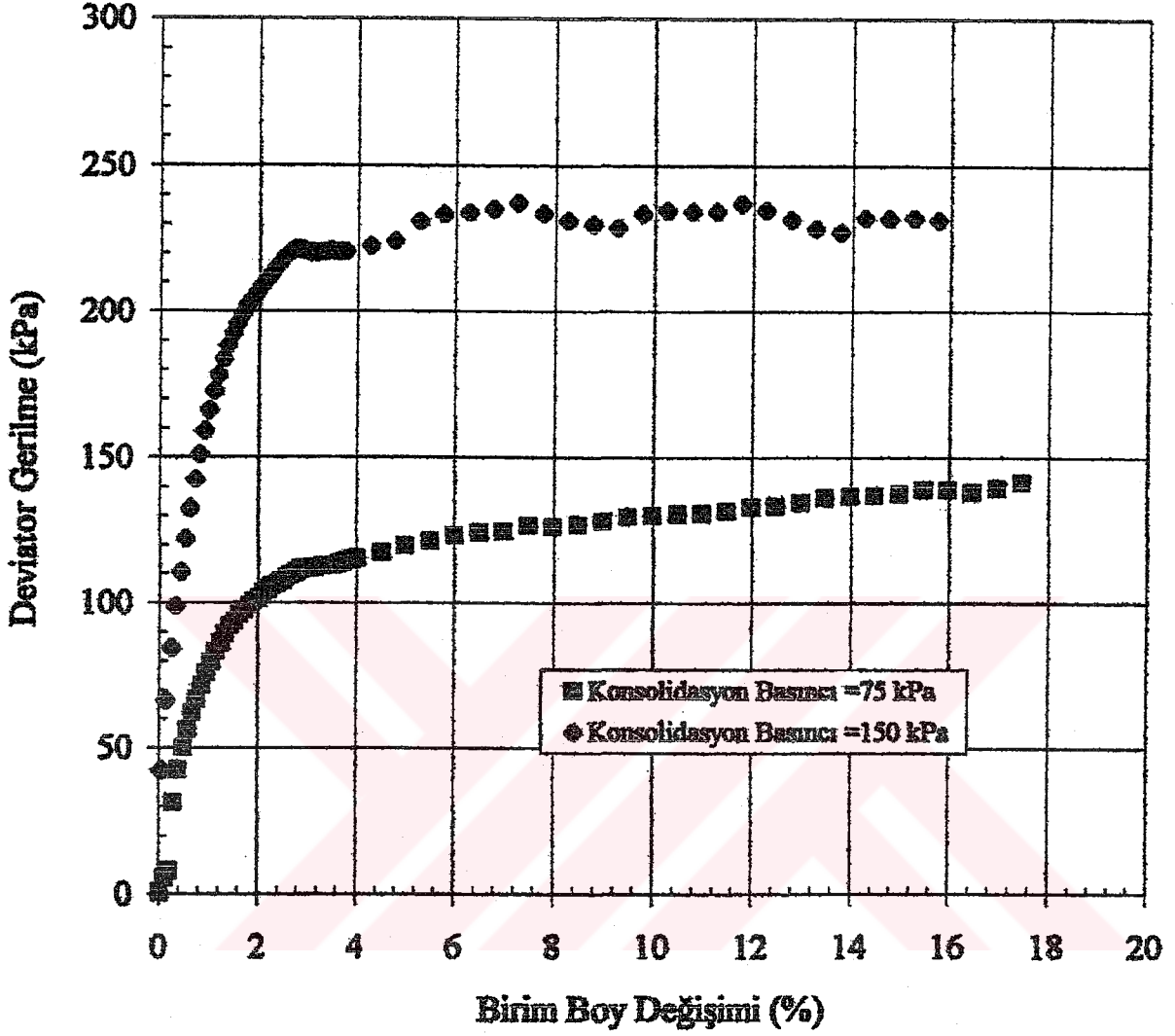
Ek 10.2 Drenajsız Yükleme Aşamasında Ölçülen Boşluk Suyu Basıncı Değerleri (SK-2 UD-2)

SK-2 UD-2 6.00 - 6.35 m

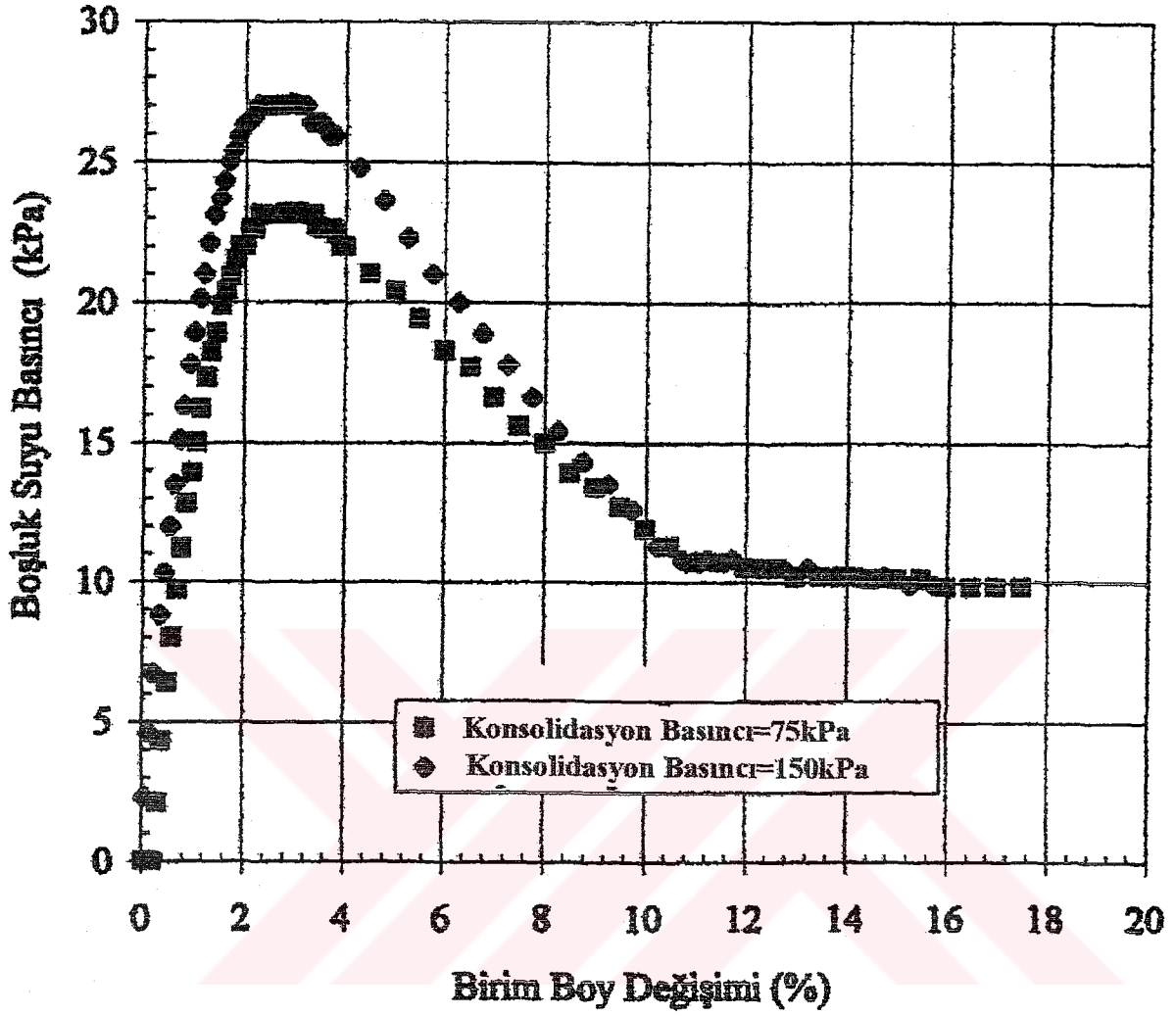


Ek 11.1 Konsolidasyonlu-Drenajsız (CU) Üç Eksenli Basınç Deneyi (SK-3 UD-2)

SK-3 UD-2 6.00 - 6.35 m

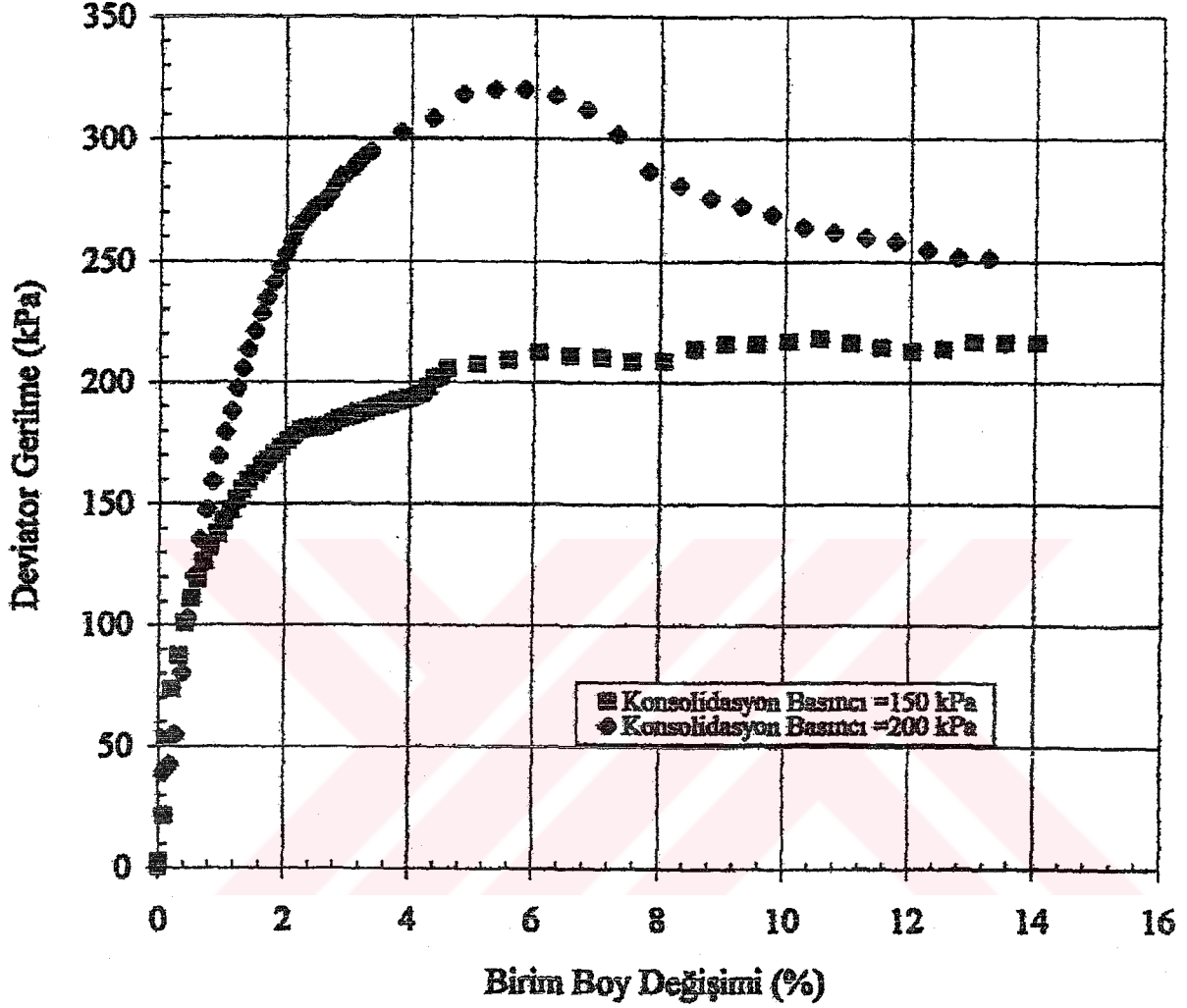


Ek 11.2 Drenajsız Yükleme Aşamasında Ölçülen Boşluk Suyu Basıncı Değerleri (SK-3 UD-2)



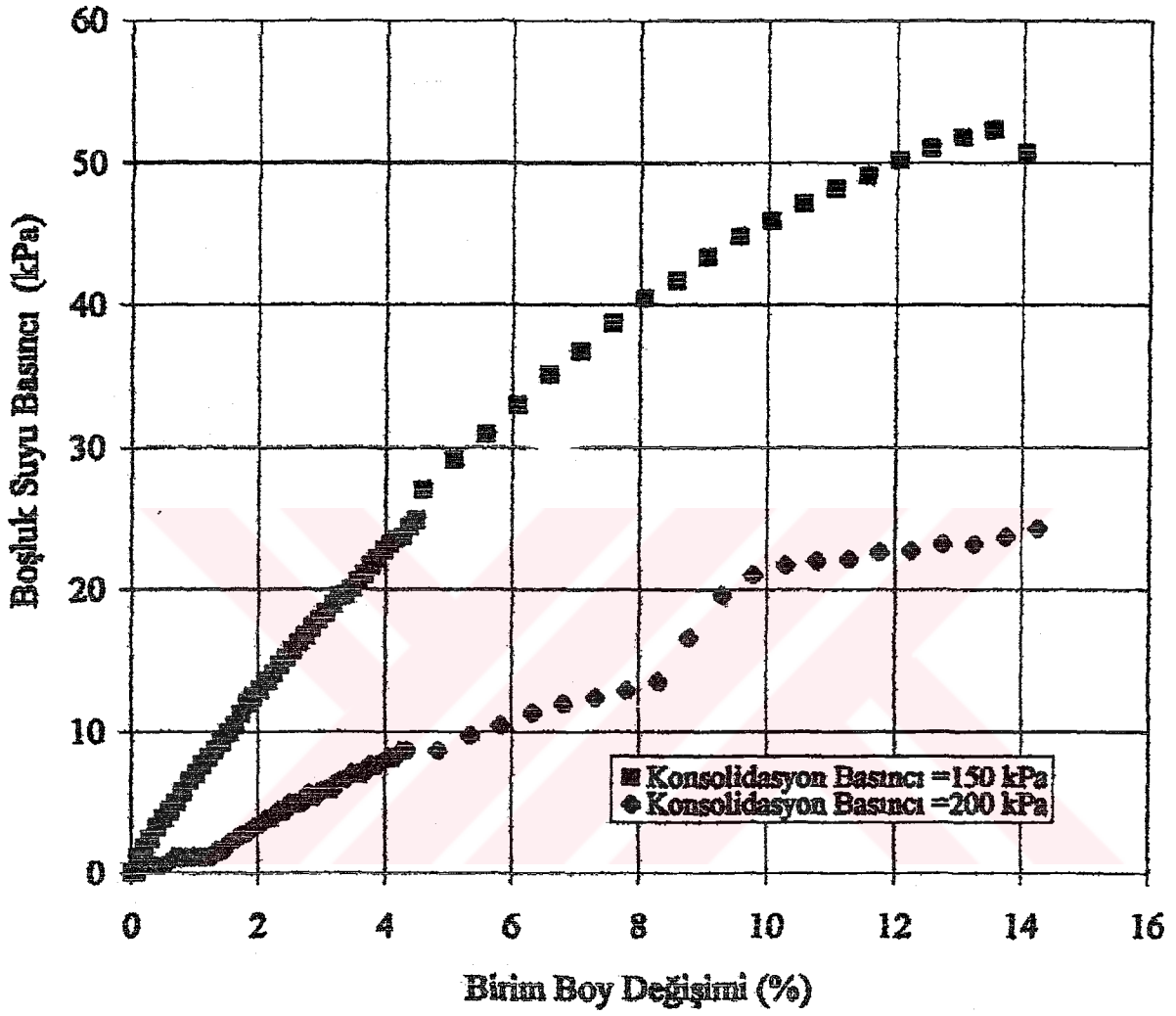
Ek 12.1 Konsolidasyonlu-Drenajsız (CU)Üç Eksenli Basınç Deneyi (SK-3 UD-3)

SK-3 UD-3 9.00 - 9.35 m

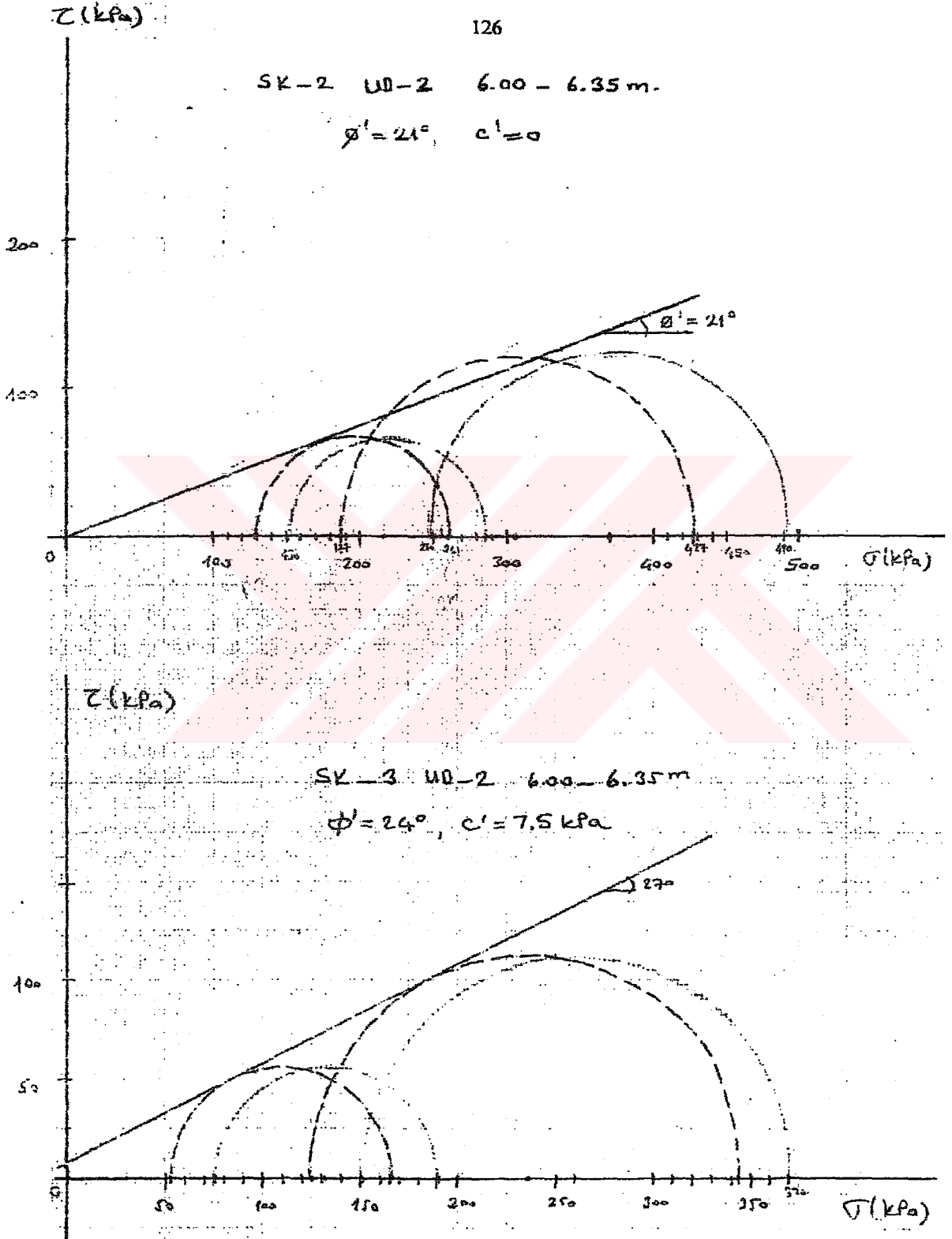


Ek 12.2 Drenajsız Yükleme Aşamasında Ölçülen Boşluk Suyu Basıncı Değerleri (SK-3 UD-3)

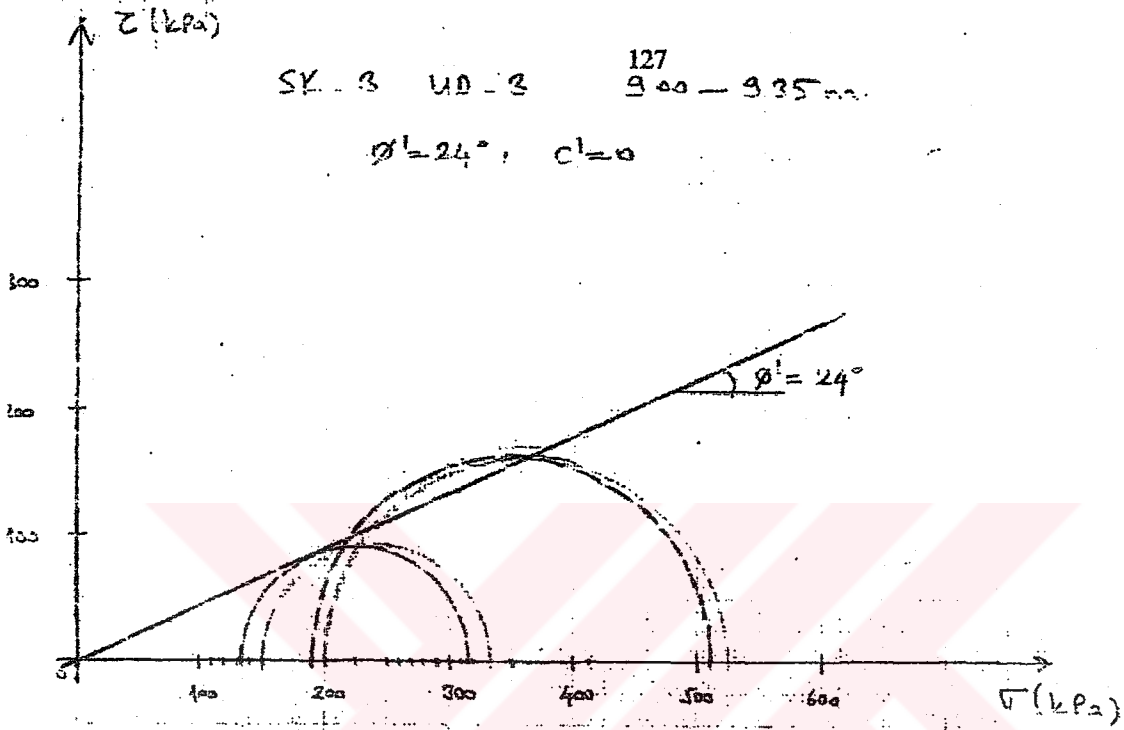
SK-3 UD-3 9.00 - 9.35 m



Ek 13.1 Konsolidasyonlu-Drenajsız (CU) Üç Eksenli Basınç Deneylerinden Elde Edilen Mohr Gerilme Daireleri

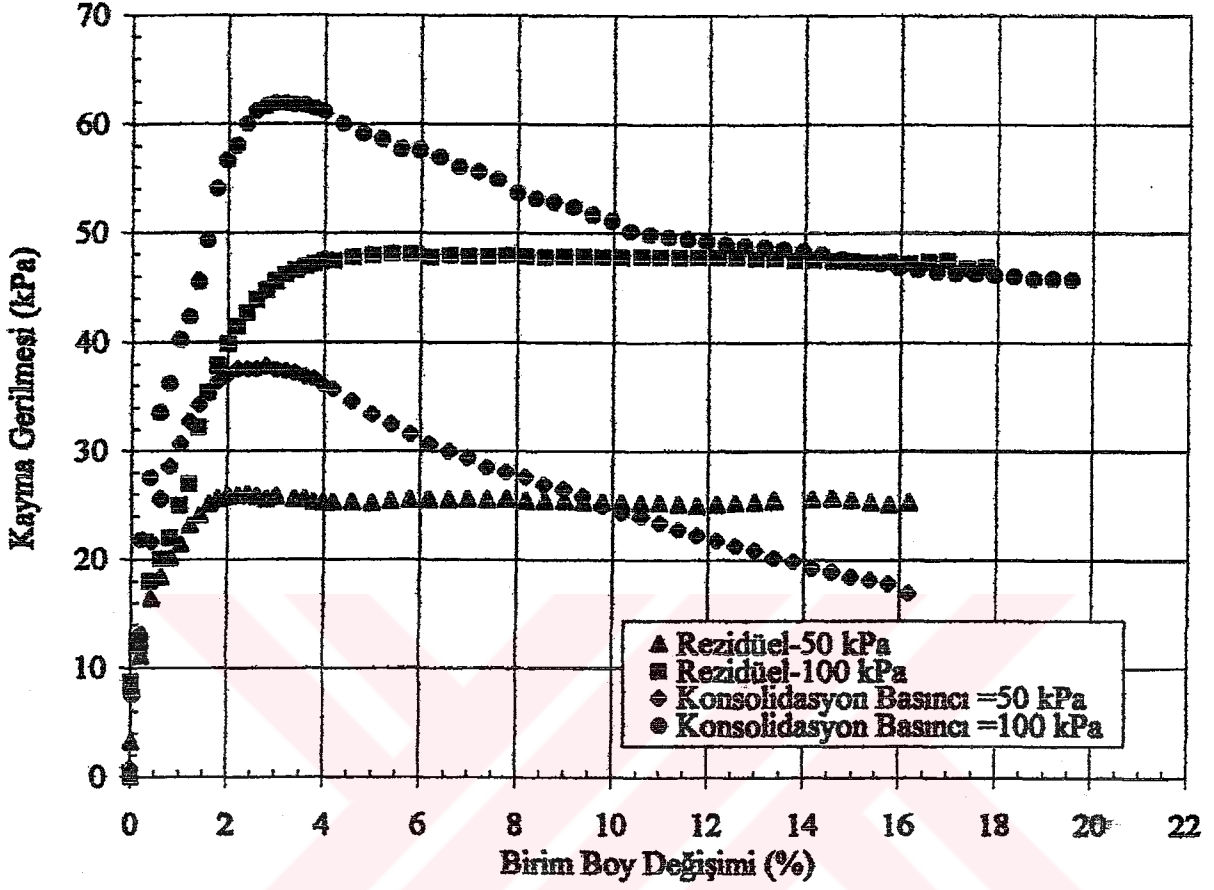


Ek 13.2 Konsolidasyonlu-Drenajsız (CU) Üç Eksenli Basınç Deneylerinden Elde Edilen Mohr Gerilme Daireleri



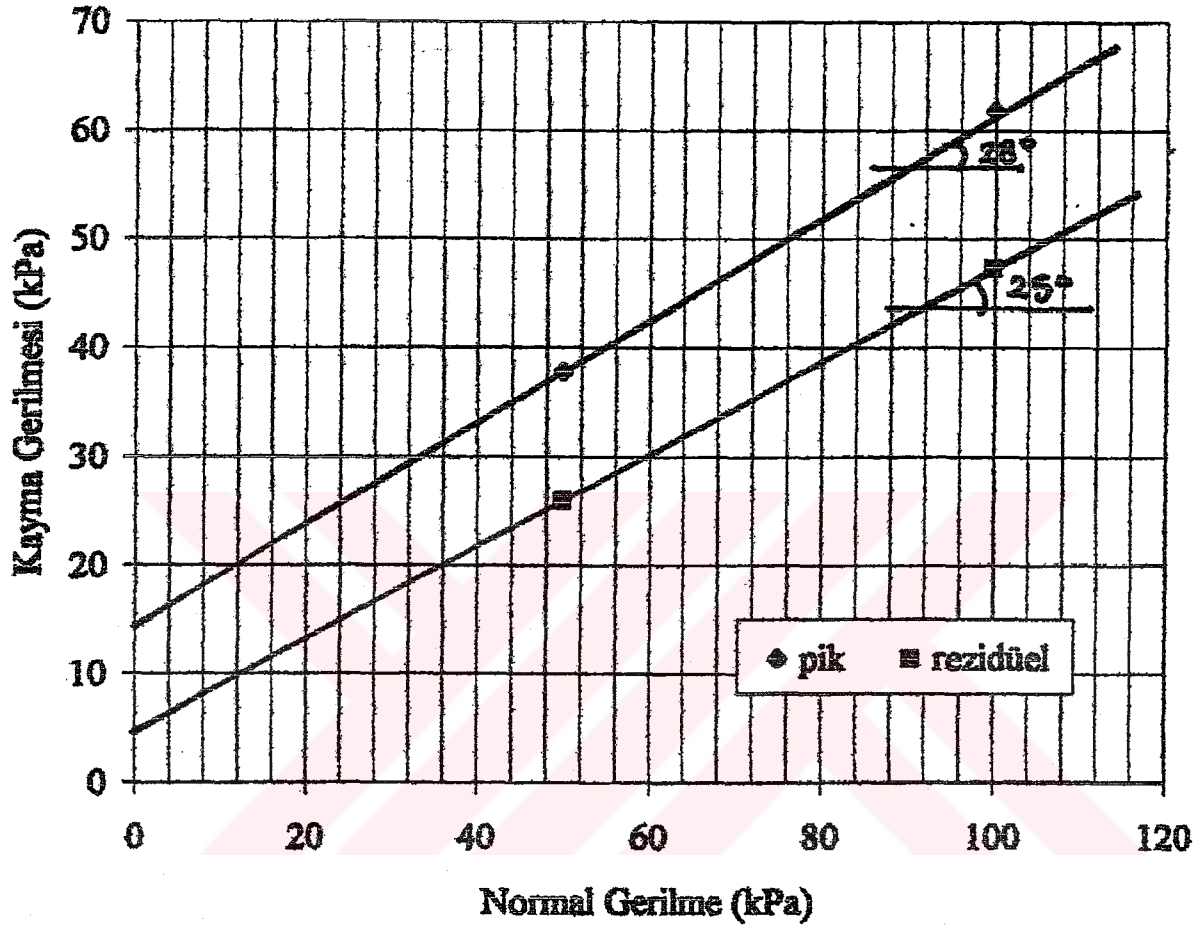
Ek 14.1 Konsolidasyonlu-Drenajlı Kesme Kutusu Deneyi (SK-5 UD-1)

SK-5 UD-1 3.00 - 3.35 m

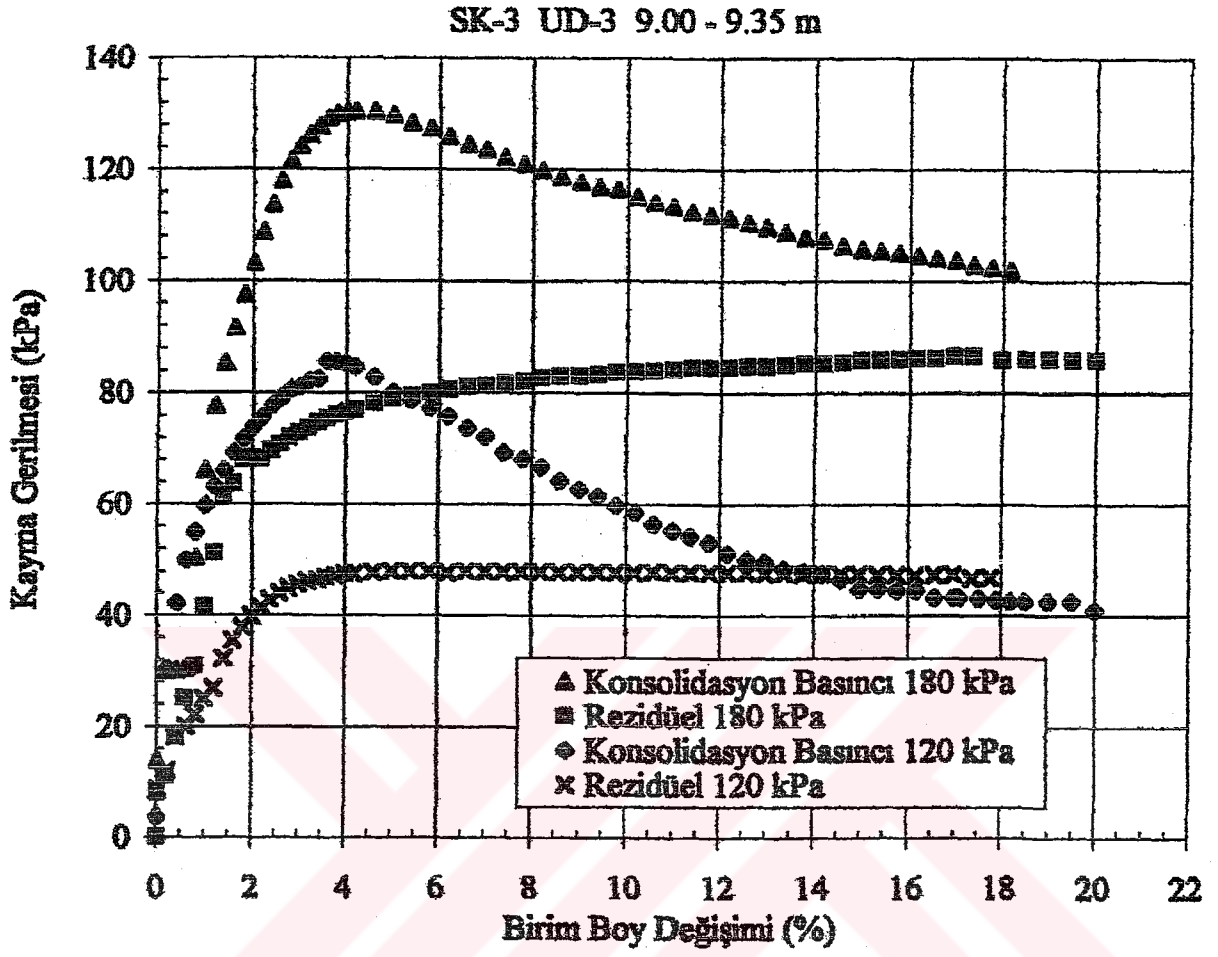


Ek 14.2 Normal Gerilme ile Kayma Gerilmesi Arasındaki İlişki (SK-5 UD-1)

KONSOLIDASYONLU-DRENAJLI KESME KUTUSU DENEYİ
SK-5 UD-1 3.00-3.35 m

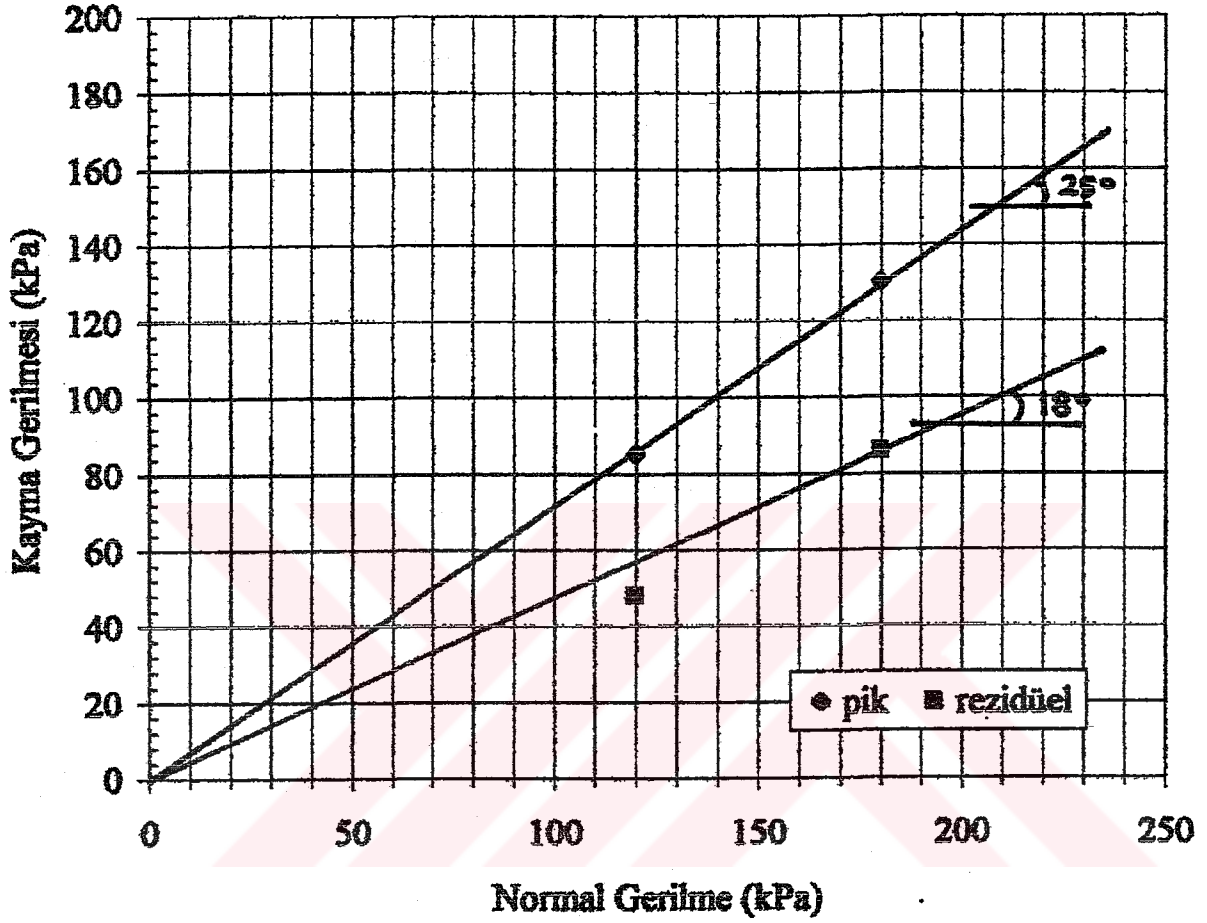


Ek 15.1 Konsolidasyonlu-Drenajlı Kesme Kutusu Deneyi (SK-3 UD-3)



Ek 15.2 Normal Gerilme ile Kayma Gerilmesi Arasındaki İlişki (SK-5 UD-3)

KONSOLIDASYONLU-DRENAJLI KESME KUTUSU DENEYİ
SK-5 UD-3 9.00-9.35 m



Ek 16. Heyelan Şevinde Güvenlik Sayısı Analizi

XSTABL File: DAVUTPAŞA

```

*****
*               X S T A B L               *
*               *                           *
*      Slope Stability Analysis             *
*               *                           *
*      using the                           *
*               *                           *
*      Method of Slices                     *
*               *                           *
*      Copyright (C) 1992 Å 96              *
*      Interactive Software Designs, Inc.   *
*      Moscow, ID 83843, U.S.A.           *
*               *                           *
*      All Rights Reserved                  *
*               *                           *
*      Ver. 5.105a                          95 Å 1387
*****

```

Problem Description : DAVUTPAŞA (ŞEV GÜVENLİK SAYISI)

SEGMENT BOUNDARY COORDINATES

16 SURFACE boundary segments

Segment No.	x-left (m)	y-left (m)	x-right (m)	y-right (m)	Soil Unit Below Segment
1	.0	45.7	31.9	45.7	1
2	31.9	45.7	32.0	48.0	4
3	32.0	48.0	40.0	48.0	4
4	40.0	48.0	100.0	56.0	1
5	100.0	56.0	110.0	59.1	1
6	110.0	59.1	120.0	61.2	1
7	120.0	61.2	200.0	65.1	1
8	200.0	65.1	210.0	65.4	1
9	210.0	65.4	220.0	66.5	1
10	220.0	66.5	230.0	69.2	1
11	230.0	69.2	240.0	73.2	1
12	240.0	73.2	250.0	74.8	1
13	250.0	74.8	260.0	75.5	1
14	260.0	75.5	270.0	75.8	1
15	270.0	75.8	275.5	76.1	1
16	275.5	76.1	300.0	76.1	3

11 SUBSURFACE boundary segments

Segment No.	x-left (m)	y-left (m)	x-right (m)	y-right (m)	Soil Unit Below Segment
1	31.9	45.7	32.0	44.5	2
2	32.0	44.5	39.9	44.5	2
3	39.9	44.5	40.0	45.5	2
4	40.0	45.5	40.1	48.0	1
5	40.1	48.0	60.0	45.6	2
6	60.0	45.6	90.0	48.4	2
7	90.0	48.4	154.0	57.8	2
8	154.0	57.8	200.0	61.0	2
9	200.0	61.0	275.5	76.1	3
10	275.5	76.1	300.0	76.1	3
11	200.0	61.0	300.0	61.0	2

ISOTROPIC Soil Parameters

4 Soil unit(s) specified

Soil Unit No.	Unit Weight Moist (kN/m ³)	Unit Weight Sat. (kN/m ³)	Cohesion Intercept (kPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Parameter Ru	Pore Pressure Constant (kPa)	Water Surface No.
1	18.0	18.0	.0	17.00	.500	.0	0
2	19.0	19.0	3.0	24.00	.500	.0	0
3	20.0	20.0	15.0	32.00	.500	.0	0
4	22.0	22.0	.0	40.00	.000	.0	0

A critical failure surface searching method, using a random technique for generating CIRCULAR surfaces has been specified.

400 trial surfaces will be generated and analyzed.

20 Surfaces initiate from each of 20 points equally spaced along the ground surface between x = 10.0 m and x = 60.0 m

Each surface terminates between x = 60.0 m and x = 240.0 m

Unless further limitations were imposed, the minimum elevation at which a surface extends is y = .0 m

2.5 m line segments define each trial failure surface.

ANGULAR RESTRICTIONS :

The first segment of each failure surface will be inclined within the angular range defined by :

Lower angular limit := -5.5 degrees
Upper angular limit := (slope angle - 5.0) degrees

Factors of safety have been calculated by the :

* * * * * SIMPLIFIED BISHOP METHOD * * * * *

The most critical circular failure surface is specified by 27 coordinate points

Point No.	x-surf (m)	y-surf (m)
1	60.00	50.67
2	62.50	50.60
3	65.00	50.58
4	67.50	50.59
5	70.00	50.64
6	72.50	50.73
7	74.99	50.86
8	77.49	51.03
9	79.98	51.24
10	82.47	51.48
11	84.95	51.77
12	87.43	52.09
13	89.90	52.45
14	92.37	52.85
15	94.83	53.29

16	97.29	53.76
17	99.73	54.27
18	102.17	54.83
19	104.60	55.42
20	107.02	56.04
21	109.43	56.71
22	111.83	57.41
23	114.22	58.15
24	116.60	58.92
25	118.96	59.73
26	121.31	60.58
27	123.38	61.36

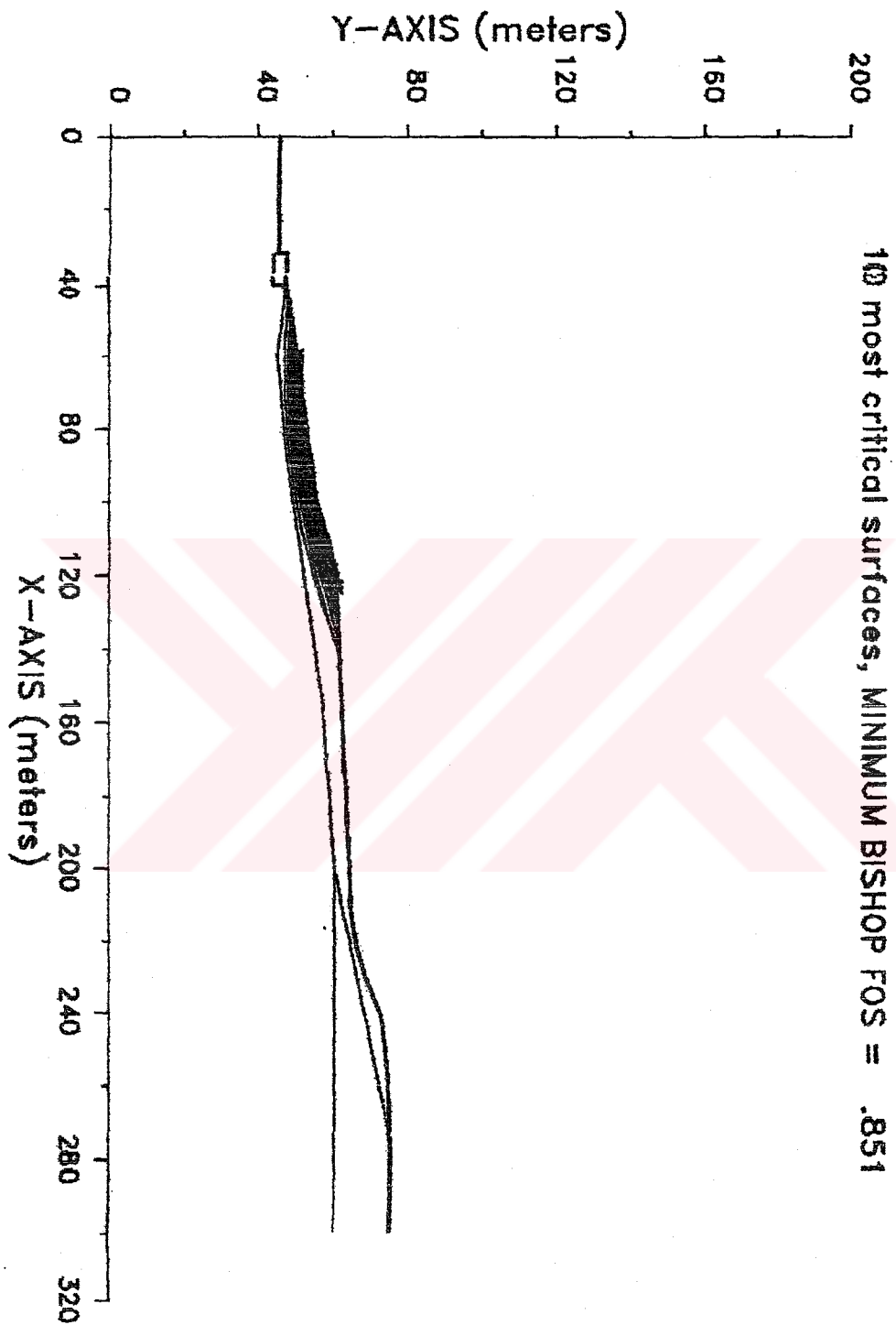
**** Simplified BISHOP FOS = .851 ****

The following is a summary of the TEN most critical surfaces

Problem Description : ORHAN8

	FOS (BISHOP)	Circle Center x-coord (m)	Circle Center y-coord (m)	Radius (m)	Initial x-coord (m)	Terminal x-coord (m)	Resisting Moment (kN-m)
1.	.851	65.41	211.75	161.17	60.00	123.38	4.511E+04
2.	.884	57.02	253.73	204.17	52.11	125.79	7.539E+04
3.	.886	67.65	194.27	144.88	54.74	125.57	7.175E+04
4.	.890	67.37	217.98	168.49	54.74	130.35	9.584E+04
5.	.902	67.60	200.31	151.49	52.11	128.52	9.643E+04
6.	.921	66.08	220.74	172.28	49.47	132.57	1.315E+05
7.	.926	50.00	362.90	313.30	52.11	137.41	1.559E+05
8.	.929	54.36	242.95	193.35	52.11	120.37	4.634E+04
9.	.960	62.41	301.31	251.90	52.11	141.87	1.902E+05
10.	.971	63.74	256.41	208.76	44.21	140.29	2.207E+05

* * * END OF FILE * * *



Ek 17 Şev Duraylılığı İçin Gerekli Ek Direnç Kuvvetinin Analizi

XSTABL File: DAVUTPAŞA

```

*****
*               X S T A B L               *
*               *                           *
*      Slope Stability Analysis             *
*      using the                           *
*      Method of Slices                     *
*               *                           *
*      Copyright (C) 1992 Å 96              *
*      Interactive Software Designs, Inc.   *
*      Moscow, ID 83843, U.S.A.           *
*               *                           *
*      All Rights Reserved                  *
*               *                           *
*      Ver. 5.105a                          95 Å 1387 *
*****

```

Problem Description : DAVUTPAŞA (FS=1.25 İÇİN GEREKLİ EK DİRENÇ KUVVETİ)

SEGMENT BOUNDARY COORDINATES

16 SURFACE boundary segments

Segment No.	x-left (m)	y-left (m)	x-right (m)	y-right (m)	Soil Unit Below Segment
1	.0	45.7	31.9	45.7	1
2	31.9	45.7	32.0	48.0	4
3	32.0	48.0	40.0	48.0	4
4	40.0	48.0	100.0	56.0	1
5	100.0	56.0	110.0	59.1	1
6	110.0	59.1	120.0	61.2	1
7	120.0	61.2	200.0	65.1	1
8	200.0	65.1	210.0	65.4	1
9	210.0	65.4	220.0	66.5	1
10	220.0	66.5	230.0	69.2	1
11	230.0	69.2	240.0	73.2	1
12	240.0	73.2	250.0	74.8	1
13	250.0	74.8	260.0	75.5	1
14	260.0	75.5	270.0	75.8	1
15	270.0	75.8	275.5	76.1	1
16	275.5	76.1	300.0	76.1	3

11 SUBSURFACE boundary segments

Segment No.	x-left (m)	y-left (m)	x-right (m)	y-right (m)	Soil Unit Below Segment
1	31.9	45.7	32.0	44.5	2
2	32.0	44.5	39.9	44.5	2
3	39.9	44.5	40.0	45.5	2
4	40.0	45.5	40.1	48.0	1
5	40.1	48.0	60.0	45.6	2
6	60.0	45.6	90.0	48.4	2
7	90.0	48.4	154.0	57.8	2
8	154.0	57.8	200.0	61.0	2
9	200.0	61.0	275.5	76.1	3
10	275.5	76.1	300.0	76.1	3
11	200.0	61.0	300.0	61.0	2

ISOTROPIC Soil Parameters

4 Soil unit(s) specified

Soil Unit No.	Unit Weight Moist (kN/m3)	Cohesion Sat. Intercept (kPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Parameter Ru	Constant (kPa)	Water Surface No.
1	18.0	18.0	.0	17.00	.500	.0
2	19.0	19.0	3.0	24.00	.500	.0
3	20.0	20.0	15.0	32.00	.500	.0
4	22.0	22.0	.0	40.00	.000	.0

 REINFORCED SLOPE ANALYSIS

The analysis will be performed to determine the critical surface that requires the largest amount of reinforcing force to satisfy:

Minimum (required) FOS = 1.250
 Resultant at Elevation = 48.85 meters

A critical failure surface searching method, using a random technique for generating CIRCULAR surfaces has been specified.

400 trial surfaces will be generated and analyzed.

20 Surfaces initiate from each of 20 points equally spaced along the ground surface between $x = 10.0$ m
 and $x = 60.0$ m

Each surface terminates between $x = 60.0$ m
 and $x = 240.0$ m

Unless further limitations were imposed, the minimum elevation at which a surface extends is $y = 10.0$ m

2.5 m line segments define each trial failure surface.

ANGULAR RESTRICTIONS :

The first segment of each failure surface will be inclined within the angular range defined by :

Lower angular limit := -5.5 degrees
 Upper angular limit := (slope angle - 5.0) degrees

Factors of safety have been calculated by the :

* * * * * SIMPLIFIED BISHOP METHOD * * * * *

The most critical circular failure surface is specified by 44 coordinate points

Point No.	x-surf (m)	y-surf (m)
1	38.95	48.00

2	41.44	47.76
3	43.93	47.55
4	46.42	47.36
5	48.92	47.21
6	51.41	47.08
7	53.91	46.98
8	56.41	46.91
9	58.91	46.87
10	61.41	46.85
11	63.91	46.86
12	66.41	46.90
13	68.91	46.97
14	71.41	47.06
15	73.90	47.19
16	76.40	47.34
17	78.89	47.52
18	81.38	47.73
19	83.87	47.96
20	86.36	48.23
21	88.84	48.52
22	91.32	48.84
23	93.80	49.18
24	96.27	49.56
25	98.74	49.96
26	101.20	50.39
27	103.66	50.85
28	106.11	51.33
29	108.56	51.84
30	111.00	52.38
31	113.43	52.95
32	115.86	53.54
33	118.28	54.16
34	120.70	54.81
35	123.10	55.49
36	125.50	56.19
37	127.89	56.92
38	130.28	57.67
39	132.65	58.46
40	135.02	59.26
41	137.37	60.10
42	139.72	60.96
43	142.06	61.85
44	143.30	62.34

 ** Maximum Required Reinforcement Force = 2.9968E+02 (kN) **
 ** Simplified BISHOP FOS = 1.250 (for above reinforcement) **

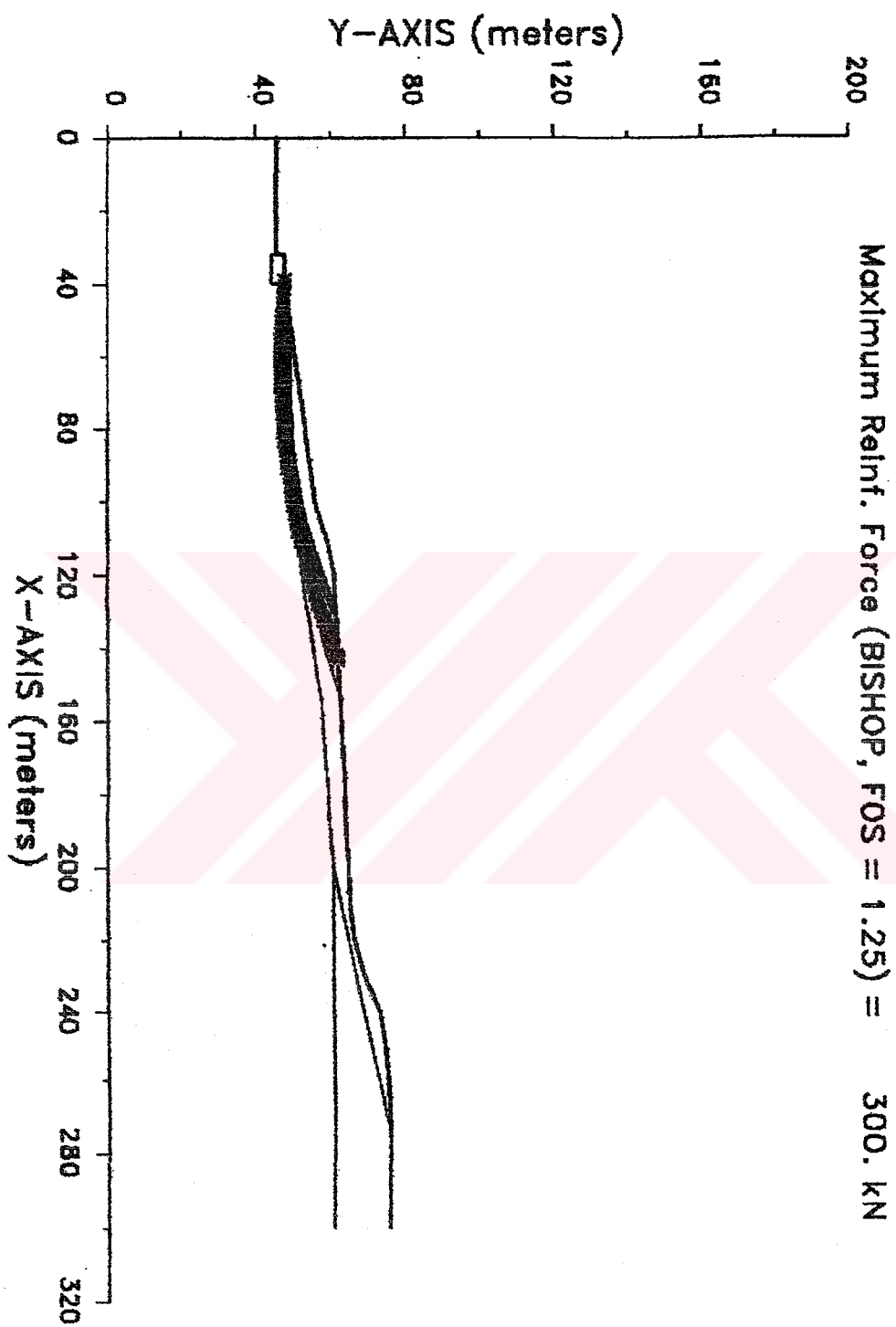
The following is a summary of the TEN most critical surfaces

Problem Description : ORHAN9

REINFORCING FORCES calculated for minimum FOS = 1.250 and
 reinforcing force resultant at elevation = 48.85 meters

	Reinf. Force (kN)	Circle Center x-coord (m)	y-coord (m)	Radius (m)	Initial x-coord (m)	Terminal x-coord (m)	Resisting Moment (kN-m)
1.	300.	61.59	270.19	223.3	38.9	143.3	3.549E+05
2.	295.	63.74	256.41	208.8	44.2	140.3	2.842E+05
3.	290.	59.24	254.45	207.4	38.9	136.7	2.823E+05
4.	271.	68.13	259.72	211.3	49.5	143.5	2.759E+05
5.	263.	66.08	220.74	172.3	49.5	132.6	1.784E+05
6.	236.	67.60	200.31	151.5	52.1	128.5	1.337E+05
7.	224.	59.60	353.64	305.5	44.2	153.0	4.352E+05
8.	220.	67.37	217.98	168.5	54.7	130.4	1.346E+05
9.	219.	62.41	301.31	251.9	52.1	141.9	2.476E+05
10.	211.	55.32	238.14	191.1	36.3	128.5	2.028E+05

* * * END OF FILE * * *



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	14.04.1978	
Doğum yeri	Aybastı/ORDU	
Lise	1992-1995	Bakırköy Lisesi
Lisans	1996-2000	Yıldız Üniversitesi İnşaat Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2000-	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Geoteknik Programı
Çalıştığı kurum	2000-Devam E.	İSKİ

