

47069

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAZIKLI TEMELLER VE DÜŞEY
YÜKLER ALTINDA KAZIKLI TEMEL
SİSTEMLERİNİN HESAP VE ANALİZ
YÖNTEMLERİNİN RASYONELLEŞTİRİLMESİ**

İnş. Müh. Oğuzhan ODBAY

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez danışmanı : Prof. Dr. İ.Kutay ÖZAYDIN

İSTANBUL, 1995

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEKÖĞRETİM HURDUBAN
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
SEMBOL LİSTESİ.....	VII
ŞEKİL LİSTESİ	XIV
ÇİZELGE LİSTESİ.....	XXVI
KISALTMALAR LİSTESİ.....	XXXI
TEŞEKKÜR.....	XXXII
TÜRKÇE ÖZET	XXXIII
YABANCI DİLDE ÖZET.....	XXXV
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. KAZIKLARIN FONKSİYONLARI VE KULLANILDIĞI YERLER	3
2.1. Kazıkların Fonksiyonları	3
2.2. Kazıkların Kullanım Amaçları	3
2.3. Kazıkların Kullanıldığı Yerler	4
BÖLÜM 3. KAZIKLARIN SINIFLANDIRILMASI	7
3.1. Zemine Yük Aktarma Mekanizmasına Göre.....	7
3.2. İmal Edildiği Malzemenin Cinsine Göre	10
3.3. Yapım Şekillerine Göre	22
3.4. Zemine Yerleşim Özelliklerine Göre	28
BÖLÜM 4. KAZIK TÜRÜNÜN SEÇİM KRİTERLERİ VE ÇEŞİTLİ KAZIK TÜRLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI	35
BÖLÜM 5. KAZIKLARIN ZEMİNE YERLEŞTİRİLMESİ	41
5.1. Çakma Kazıkların Zemine Yerleştirilmesi	41

5.1.1. Ahşap Kazıkların Yerleştirilmesi	41
5.1.2. Öngermeli Prefabrike Beton Kazıkların Yerleştirilmesi	42
5.1.3 Çelik Kazıkların Yerleştirilmesi	43
5.2. Sondaj Kazıklarının Zemine Yerleştirilmesi	47
BÖLÜM 6. KAZIKYAPIMINDA KULLANILAN EKİPMANLAR.....	50
6.1. Çakma Kazıkların Yerleştirilmesinde Kullanılan Ekipmanlar	50
6.1.1. Mekânik Donanım	50
6.1.2. Çekiçler	52
6.1.3. Diğer Çakma Kazık Ekipmanları	60
6.2. Yerine Dökme Kazıkların Yerleştirilmesinde Kullanılan Ekipmanlar.....	61
6.2.1. Sondaj donanımı	61
6.2.2. Diğer Sondaj Ekipmanları	63
BÖLÜM 7. KAZIKLARIN ZEMİNE YÜK AKTARMA MEKANİZMASI.....	68
BÖLÜM 8. NEGATİF ÇEVRE SÜRTÜNMESİNE MARUZ KAZIKLAR.....	70
BÖLÜM 9. DÜŞEY YÜKLER ALTINDA KAZIK TAŞIMA GÜCÜ HESABI.....	74
BÖLÜM 10. STATİK YÖNTEMLERLE KAZIK TAŞIMA GÜCÜ HESABI.....	75
10.1. Kohezyonsuz Zeminlerde Kazık Taşıma Gücü.....	82
10.1.1. Birim Uç Mukavemeti.....	83

10.1.2. Birim Çevre Sürtünmesi	101
10.2. Kohezyonlu Zeminlerde Kazık Taşıma Gücü	115
10.2.1. Birim Uç Mukavemeti.....	117
10.2.2. Birim Çevre Sürtünmesi	121

**BÖLÜM 11. ARAZİ DENEYLERİNİN SONUÇLARINDAN
YARARLANARAK KAZIK TAŞIMA GÜCÜNÜN
HESAPLANMASI..... 148**

11.1. Standart Penetrasyon Deneyi - [SPT]	148
11.1.1. Kazık Taşıma Gücü ile Korelasyonlar	150
11.1.1.1. Kohezyonsuz Zeminlerde.....	150
11.1.1.2. Kohezyonlu Zeminlerde.....	156
11.2. Koni Penetrasyon Deneyi - [CPT].....	158
11.2.1. Kazık Taşıma Gücü ile Korelasyonlar	159
11.2.1.1. Kohezyonsuz Zeminlerde.....	159
11.2.1.2. Kohezyonlu Zeminlerde.....	168
11.3. Pressiometre Deneyi - [MPT].....	171
11.3.1. Pressiometre Deney Sonuçlarının Çeşitli Zemin Koşullarında Değerlendirilmesi	175
11.3.2. Kazık Taşıma Gücü ile Korelasyonlar	179
11.3.2.1. Kohezyonsuz Zeminlerde.....	179
11.3.2.2. Kohezyonlu Zeminlerde.....	182

**BÖLÜM 12. DİNAMİK YÖNTEMLERLE KAZIK TAŞIMA
GÜCÜ HESABI.....184**

12.1. Kazık Çakma Formülleri	185
------------------------------------	-----

12.2. Pratik Çakma Formülleri	188
12.3. Gerilme Dalgası Teorisine Dayalı Kazık Çakma Formülleri (Dalga Denklemleri)	193

**BÖLÜM 13. KAZIK YÜKLEME DENEYLERİ VE DENEY
SONUÇLARININ KAZIK TAŞIMA GÜCÜNÜN
BELİRLENMESİNDE KULLANILMASI 197**

13.1. Statik Kazık Yükleme Deneyleri	198
13.1.1. Yük Yükleme Düzenekleri	198
13.1.2. Düşey Yöndeki Hareketleri Ölçen Alet ve Ekipmanlar	199
13.2. Kazık Yükleme Deney Yöntemleri	205
13.2.1. Yavaş Adımlı Yükleme Deneyleri	205
13.2.2. Hızlı Adımlı Yükleme Deneyleri	206
13.2.3. Sabit Giriş Hızlı Yükleme Deneyleri	207
13.2.4. Çevrimli Yükleme Deneyleri	207
13.3. Kazık Yükleme Deney Sonuçlarının Sunuluşu	208
13.4. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve Yorumu	209
13.5. Yük-Oturma Eğrilerinden Göçme Yükünün Saptanması	212
13.6. Yük-Oturma Eğrisinin Yorumuna Dayalı Yöntemler	213
13.6.1. Yük-Toplam Oturma Eğrisini Gözönüne Alarak Yapılan Değerlendirmeler	213
13.6.2. Yük-Kalıcı Oturma Eğrisini Gözönüne Alarak Yapılan Değerlendirmeler	216
13.6.3. Kalıcı ve Elastik Oturmaları Birlikte Gözönüne Alarak Yapılan Değerlendirmeler.....	216

BÖLÜM 14. DÜŞEY YÜKLER ALTINDA KAZIKLARDA

OTURMA HESABI 225

14.1. Kohezyonsuz Zeminlerde Tek Kazığın Oturması225

14.1.1. Yarı Amprik Yöntemler 225

14.1.2. Amprik Yöntemler 235

14.2. Kohezyonlu Zeminlerde Tek Kazığın Oturması236

BÖLÜM 15. DÜŞEY YÜKLER ALTINDA KAZIK

GRUPLARININ DAVRANIŞI 239

15.1. Kohezyonsuz Zeminlerde Kazık Grubunun Taşıma Gücü 240

15.2. Kohezyonlu Zeminlerde Kazık Grubunun Taşıma Gücü 243

15.3. Kohezyonsuz Zeminlerde Kazık Grubunun Oturması245

15.4. Kohezyonlu Zeminlerde Kazık Grubunun Oturması253

BÖLÜM 16. KAZIKLARIN YATAY YÜK ETKİSİ

ALTINDAKİ DAVRANIŞLARI 257

16.1. Yatay Yöndeki Nihai Dayanımın Belirlenmesi 258

16.1.1. Brinch-Hansen Yöntemi 258

16.1.2. Broms Yöntemi258

16.2. İşletmedeki Yatay Yüklerin Etkisi Altında Kabul

Edilebilir Deplasmanların Hesaplandığı Yöntemler259

16.2.1. Yatak Katsayısı Yaklaşımı259

16.2.2. Elastik Süreklilik Yaklaşımı 260

16.3. Nihai Yatay Direnim Hesabı260

16.3.1. Brinch-Hansen Yöntemi 261

16.3.2. Broms Yöntemi262

16.4. İşletmedeki Yatay Yükler Altında İzin Verilebilir	
Deplasmanların Hesaplanması	266
16.4.1. Yatak Katsayısı Yaklaşımı ile İzin Verilebilir	
Deplasmanların Hesabı	266
16.4.2. Elastik Süreklilik Yaklaşımı ile İzin Verilebilir	
Deplasmanların Hesabı	267
BÖLÜM 17. KAZIK TAŞIMA GÜCÜNE ZAMANIN ETKİSİ	269
17.1. Kohezyonsuz Zeminlerde Zamanın Etkisi	269
17.2. Kohezyonlu Zeminlerle Zamanın Etkisi	273
BÖLÜM 18. LRTS İSTANBUL HAFİF METRO PROJESİ II.	
AŞAMASINDA YAPILAN KAZIK YÜKLEME	
DENEYLERİ VE SONUÇLARININ TAŞIMA	
GÜCÜ VE OTURMALAR AÇISINDAN	
DEĞERLENDİRİLMESİ	275
18.1. Kazık Yükleme Deneylerinin Esasları.....	275
18.2. Kazık Deplasmanlarının Ölçme Sisteminin Özellikleri.....	281
18.3. Kazık Yükleme Deneylerinde Uygulanan Deney Programı.....	281
18.4. Deney Lokasyonlarının Geoteknik Yapısı.....	282
18.5. Yükleme Deneyleri ve Ölçme Sistemi.....	283
18.6. Kazık Yükleme Deneylerinin Yapıldığı Test	
Kazıklarında Göçme Yükünün Saptanması.....	283
18.7. Düşey Yükler Altında Test Kazıklarında Oturma Hesabı.....	307
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	317
KAYNAKLAR	321
EKLER	
ÖZGEÇMİŞ	

SEMBOL LİSTESİ

- A : Kazık enkesit alanı
- A_p : Kazık uç bölgesinin kesit alanı
- A_s : Kazık yüzey alanı
- B_g : Kazık grubunun toplam genişliği, fiktif temelin genişliği
- C_c : Sıkışma indeksi
- C_p : Oturma hesabında kullanılan kazık ve zemin türüne bağlı bir amprik faktör
- C_s : Oturma hesabında kullanılan kazık ve zemin türüne bağlı bir amprik faktör
- C_N : SPT sonuçları için deney yapılan derinlikteki efektif düşey gerilmeye bağlı boyutsuz düzeltme katsayısı
- C_1 : Kazığın başındaki darbe takozu ve yastığının kısalması
- C_2 : Kazığın elastik kısalması
- C_3 : Zeminin elastik kısalması
- c : Zeminin kohezyonu
- c_a : Zeminin adezyonu
- c_c : Koni penetrasyon direnci hesabında killer için düzeltme katsayısı
- c_r : Yoğnulmuş zeminin kayma direnci
- c_s : Koni penetrasyon direnci hesabında kumlar için düzeltme katsayısı
- c_u : Zeminin drenajsız koşullardaki kohezyonu
- c_{us} : Kazık shaftı boyunca herhangi bir derinlikteki drenajsız kohezyon
- c_{up} : Kazık uç bölgesindeki drenajsız kohezyon
- D : Kazık çapı
- D_r : Relatif sıklık

- d : Kazık grubunda ardışık iki kazık arasındaki mesafe
- E_M : Menard pressiometrik elastisite modülü, deformasyon modülü
- E_p : Kazık malzemesinin elastisite modülü
- E_s : Şaft boyunca zeminin elastisite modülü
- E_{sl} : Kazık ucunun bulunduğu zonda zeminin elastisite modülü
- E_{so} : Kazık üst ucu bölgesindeki zonda zeminin elastisite modülü
- E_1 : Çakma işlemleri sırasında kazığa aktarılan enerji
- E_2 : Darbeden sonraki net enerji
- e_f : Etkili düşüş oranı
- e_i : Kazıklı temel imalatından sonra zeminin "i"nci tabakasındaki boşluk oranı
- e_{iv} : Etkili darbe oranı
- e_o : Kazıklı temel imalatından önce zeminin "j"nci tabakasındaki boşluk oranı
- F_n : Negatif çevre sürtünmesi yükü
- F_p : Pozitif çevre sürtünmesi yükü
- f_s : Kazığın birim çevre sürtünmesi direnci
- f_c : CPT deneylerinde sürtünme kolu ile ölçülen sürtünme direnci
- g : Yerçekimi ivmesi
- G_M : Pressiometrik kayma modülü
- G_s : Kayma modülü
- H : Tokmağın serbest düşüm yüksekliği
- H_i : Zemin formasyonunda "i"nci tabakanın kalınlığı
- I : Kazık enkesitinin atalet momenti
- I_p : Poulos (1990) yaklaşımında kullanılan etki faktörü
- I_r : Rijitlik faktörü

- I_r : Azaltılmış rijitlik faktörü
- I_w : Temel geometrisi düzeltme faktörü
- I_{wp} : Oturma hesabında kullanılan kazık ucundaki etki faktörü
- I_{ws} : Oturma hesabında kullanılan kazık çevresindeki etki faktörü
- K : Yatay toprak basıncı katsayısı
- K_b : Relatif kazık sıklığı
- K_c : Zeminin içsel sürtünme açısı ve " x/D " oranının fonksiyonu olarak, değişen bir amprik faktör.
- K_o : Sükunet halindeki yatay toprak basıncı katsayısı
- K_p : Kazık ucu bölgesindeki yatay toprak basıncı katsayısı
- K_s : Kazık shaftı boyunca herhangi bir derinlikteki toprak basıncı katsayısı
- K_q : Zeminin içsel sürtünme açısı ve " x/D " oranının fonksiyonu olarak değişen bir amprik faktör
- k : Pressiometrik taşıma gücü faktörü; kazık aralığının kazık çapına oranı
- k_h : Zeminin yatak katsayısı
- L : Kazık uzunluğu
- L_g : Fiktif temelin uzunluğu
- L_p : Kazığın zemine penetre edilen uzunluğu
- M : Kazık üst ucundan uygulanan moment
- N' : SPT deneylerinden elde edilen darbe sayısı
- N : Düzeltilmiş SPT darbe sayısı
- N : Kazık shaftı boyunca, kazığın çevresindeki tabakaların ortalama SPT darbe sayısı
- N_c : Taşıma kapasitesi faktörü

- N_o : Düşey efektif gerilmedeki azalmayı ifade eden negatif çevre sürtünmesi katsayısı
- N_q : Taşıma kapasitesi faktörü
- N_γ : Taşıma kapasitesi faktörü
- N_σ : Modifiye edilmiş " N_q " taşıma kapasitesi faktörü
- n : Gruptaki kazık sayısı; kazık çakma işleminde elastik geri dönüş katsayısı
- P : Kazığın enkesit çevresi
- P_g : $L_g \times B_g \times L$ boyutlarındaki fiktif bloğun enkesit çevresi
- p_f : MPT deneyinde kriş basıncı
- p_l : MPT deneyinde pressiometrik limit basınç
- p_o : MPT deneyinin yapıldığı derinlikte toplam gerilmelere göre sukunetteki yatay toprak basıncı
- p_l^* : MPT deneyinde pressiometrik net limit basınç
- Q_a : İzin verilebilir kazık taşıma gücü
- Q_d : Kazık tasarım yükü, kazığın dinamik yük taşıma kapasitesi
- Q_{gu} : Kazık grubunun nihai taşıma gücü
- Q_{ha} : Kazığa üst ucundan uygulanan yatay yük
- Q_p : Kazığın uç direnci ile taşıdığı nihai yük
- Q_s : Kazığın çevre sürtünmesi direnci ile taşıdığı nihai yük
- Q_t : Toplam yapısal yük
- Q_u : Kazığın nihai taşıma gücü
- Q_{va} : Kazığa uygulanan düşey yük
- Q_{wp} : Çalışma yükü altında kazık ucunda taşınan yük
- Q_{ws} : Çalışma yükü altında shaft boyunca taşınan yük

- Q_z : "z" derinliğinde kazık shaftı tarafından taşınan yük
- q_c : Koni uç direnci
- q_{lg} : Gevşek kum için saptanacak taşıma gücü sınır değeri
- q_{ls} : Sıkı kum için saptanacak taşıma gücü sınır değeri
- q_o : MPT deneyinde kazık ucu seviyesindeki toplam düşey jeolojik basınç
- q_p : Kazığın birim uç direnci
- q_{wp} : Çalışma yükü altında kazık ucunda birim alanda taşınan gerilme
- q_{ws} : Çalışma yükü altında kazık shaftı boyunca birim alanda taşınan gerilme
- R_A : Kazık kesit alanının brüt kesit alanına oranı
- R_f : Azaltma faktörü
- R_g : Grup azaltma faktörü
- R_s : Grup - oturma oranı
- r : Kazık grubunda bir sıradaki kazık sayısı
- S : Kazığın ölçülen ya da çeşitli yöntemlerle tahmin edilen toplam oturması
- S_g : Her bir kazığın eşit yük aldığı kabul edilen kazık grubunun oturması
- S_u : Göçme anında kazığın yapacağı toplam oturma
- S_1 : Kazık malzemesinin shaft boyunca elastik kısalması; grup içindeki tek kazığın oturması
- S_2 : Kazık ucuna aktarılan yük nedeniyle oluşan oturma
- S_3 : Kazık shaftı boyunca aktarılan yük nedeniyle oluşan oturma
- S : Kazığın kesit geometrisine bağlı bir şekil faktörü
- u : Kazık çakma işleminde darbeden sonra çekicinin hızı; MPT deneyinde prob seviyesindeki boşluk suyu basıncı
- u_p : Kazık çakma işleminde darbeden sonra kazığın hızı

- v : Kazık çakma işleminde darbeden önce çekicinin hızı
- v_p : Kazık çakma işleminde darbeden sonra kazığın hızı
- v_c : MPT deneyinde ölçüm hücresinin boş hacmi
- v_f : MPT deneyinde krip basıncının olduğu evredeki basınç
- v_o : MPT deneyinde elastik evrenin başlangıç noktasındaki hacim
- w_p : Kazık ağırlığı
- w : Kazık çakma işleminde kullanılan tokmağın ağırlığı
- x_T : Dönme noktasının derinliği
- z : Derinlik
- α : Zemin cinsine ve yapısına bağlı amprik adhezyon faktörü
- β : Zeminin plastisite özelliklerine ve yapısına bağlı bir faktör
- γ_d : Zeminin suya doymuş birim hacim ağırlığı
- γ_n : Zeminin tabii birim hacim ağırlığı
- γ_w : Suyun birim hacim ağırlığı
- ξ : Sondaj çamurunun kullanımını içeren bir faktör, birim çevre sürtünmesinin kazık boyunca dağılımını ifade eden katsayı
- λ : Kazık boyuna bağlı boyutsuz sürtünme katsayısı
- λ_c : Eşdeğer radye temel için "[L/B]" oranına bağlı şekil faktörü
- λ_d : Eşdeğer radye temel için "[L/B]" oranına bağlı şekil faktörü
- σ_n : Şaft boyunca kazık yüzeyine etkiyen normal gerilme
- σ_v : Kazık boyunca herhangi bir derinlikteki düşey jeolojik basınç
- σ'_v : Kazık boyunca herhangi bir derinlikteki efektif düşey jeolojik basınç
- σ_{vL} : Kazık uç bölgesine etkileyen düşey basınç
- σ'_{vL} : Kazık uç bölgesine etkiyen efektif düşey basınç

- σ_h : Kazık boyunca herhangi bir derinlikteki yatay jeolojik basınç
- σ_{vl} : Modifiye edilmiş efektif düşey basınç
- τ_a : Şaft boyunca kazığa etkiyen kayma gerilmesi
- μ_s : Zeminin poisson oranı
- η : Grup taşıma gücü hesabında grup etkisi; zemin elastisite modüllerinin oranı
- η' : Kazık ucu bölgesinde teşkil olan göçme yüzeyinin biçimine bağlı bir katsayı
- \emptyset : Zeminin içsel sürtünme açısı
- \emptyset' : Zeminin efektif içsel sürtünme açısı
- \emptyset_a : Kazıkla zemin arasında kalan zonun sürtünme açısı
- \emptyset'_a : Kazıkla zemin arasında kalan zonun efektif sürtünme açısı
- \emptyset_{cv} : Kumun kritik boşluk oranına ulaştığı durumdaki sürtünme açısı
- $\emptyset_{c\mu}$: Kumun kayma sürtünmesi açısı
- w : Oturma hesaplarında kullanılan bir amprik faktör
- ν : Zeminin poisson sayısı
- Δ : Kazık ucu altında yeralan plastik zonun ortalama gerilme potansiyeli
- ΔS_{ep} : Kazığın elastik deformasyonu
- ΔS_{es} : Zeminin elastik deformasyonu
- ΔS_{pp} : Kazığın plastik deformasyonu
- ΔV : MPT deneyinde delikteki hacim değişimi
- ΔP : MPT deneyinde delikteki basınç değişimi
- ΔQ_z : z derinlik değişimi için kazık şaftı tarafından taşınan yükteki değişim.
- Λ : Zemin ve çekic darbe yastığının elastik sıkışmasını içeren bir faktör.

ŞEKİL LİSTESİ

Sekil No

Sayfa No

BÖLÜM 2

- Şekil 2.1. Kullanılma amaçına uygun olarak kazıkların uygulama sahalarından bazı örnekler..... 6

BÖLÜM 3

- Şekil 3.1. Zemine yük aktarma mekanizmasına göre kazıkların sınıflandırılması..... 11
- Şekil 3.2. Ahşap kazıklar ve bağlanması 13
- Şekil 3.3. Prekast beton kazıklar 15
- Şekil 3.4. Yerinde dökme beton kazıklar 18
- Şekil 3.5. Çelik kazıklar ve bağlanması..... 21
- Şekil 3.6. Yaygın olarak kullanılan bazı çakma kazıklar 25
- Şekil 3.7. Sondaj kazıklarına ait tipik bir prensip şeması 29
- Şekil 3.8. Zemine yerleşim özelliklerine göre kazıklar..... 34

BÖLÜM 5

- Şekil 5.1. Öngerilmeli prefabrike beton kazıklar için pratik çalışma koşullarında kullanılan bazı bağlantı detayları 44
- Şekil 5.2. H kesitli çelik kazıklar için yaygın olarak kullanılan bazı birleşim elemanları 46
- Şekil 5.3. Boru kesitli çelik kazıklar için yaygın olarak kullanılan bazı birleşim elemanları 46
- Şekil 5.4. Sondaj kazıklarının geometrik profilleri 47

Şekil No

Sayfa No

BÖLÜM 6

Şekil 6.1.	Çakma kazık yapımında kullanılan tipik bir mekanik donanımın kesiti.....	51
Şekil 6.2.	Çakma kazık operasyonlarında kullanılan tipik bir mekanik donanımın çeşitli elemanları	51
Şekil 6.3.	Kazık çakma operasyonunu gerçekleştiren bir mekanik donanımın detayları	53
Şekil 6.4.	Çakma kazık yapımında kullanılan mekanik donanımlı çekiçlerin çalışma prensipleri	55
Şekil 6.5.	Çakma kazık yapımında kullanılan bazı mekanik donanımlı çekiç türleri	57
Şekil 6.6.	Çeşitli sondaj donanım ekipmanları	64
Şekil 6.7.	Burgu ile foraj çukurunun açılması	65
Şekil 6.8.	Genişletici ile tabanı amaca uygun değişik açılarda genişletilmiş kazıklar.	66
Şekil 6.9.	Sondaj kovaları	66

BÖLÜM 7

Şekil 7.1.	Kazıklarda yük aktarma mekanizması	69
------------	--	----

BÖLÜM 8

Şekil 8.1.	Negatif çevre sürtünmesinin oluşumuna tipik bir örnek.....	71
Şekil 8.2.	Negatif çevre sürtünmesinin oluşum mekanizması	71
Şekil 8.3.	Negatif çevre sürtünmesi etkisi altında öteleme yapan kazıklarda tarafsız noktanın bulunması	73

Sekil No

Sayfa No

BÖLÜM 10

Şekil 10.1.	Çeşitli kazık türlerinde uç mukavemeti ve çevre sürtünmesi ile kazık yerdeğiştirmesi arasındaki ilişkiler	78
Şekil 10.2.	Bir kazığın üzerinde göçme yüküne kadar artan "yük-orturma" eğrisi.....	79
Şekil 10.3.	Kazık başından şaftına yükün iletilmesi.....	80
Şekil 10.4.	Uç direncinin derinlikle değişmi	84
Şekil 10.5.	Çevre sürtünmesinin derinlikle değişimi	84
Şekil 10.6.	$[q_p / f_s]$ oransal büyüklüğünün zeminin içsel sürtünme açısı ile değişimi	85
Şekil 10.7.	Efektif düşey gerilmenin kazık şaftı boyunca derinlikle değişimi	85
Şekil 10.8.	Kazıklı bir temelin altındaki zonda değişik yaklaşımlara göre göçme şekilleri	85
Şekil 10.9.	Taşıma kapasitesi faktörleri	88
Şekil 10.10.	Meyerhof (1976) yaklaşımına göre kohezyonsuz zeminlerde kazık uç direnci ile $[L_p / D]$ oranının değişimi ve kritik derinlik büyüklüğü.....	90
Şekil 10.11.	Meyerhof (1976) yaklaşımına göre " $[L_p / D]_{kr}$ " oransal büyüklüğünün zeminin içsel sürtünme açısı ile değişimi	91
Şekil 10.12.	Meyerhof (1976) yaklaşımına göre " N_q " ve " N_c " faktörlerinin maksimum değerlerinin içsel sürtünme açısı ile değişimi	92
Şekil 10.13.	" N_q " faktörünün içsel sürtünme açısı ve zemine penetrasyon oranına bağlı olarak değişimi	95

<u>Şekil No</u>		<u>Sayfa No</u>
Şekil 10.14.	Kazığın zemine penetrasyon oranı ve içsel sürtünme açısına bağlı olarak " N_q " faktörünün değişimi	96
Şekil 10.15.	Maksimum uç direncinin " \emptyset " açısı ile değişimi.....	97
Şekil 10.16.	$q_p = f(\emptyset)$ ilintisi	98
Şekil 10.17.	Kazıkların yumuşak bir kil tabakasından geçirilip altta bulunan ince ve yüksek taşıma kapasiteli sıkı bir tabakaya çakılması	99
Şekil 10.18.	Şekil 10.17 ile tariflenen durumda kazık çevresinde oluşan göçme yüzeyleri	99
Şekil 10.19.	Berezantsev tarafından derin dairesel temeller için önerilen $N_q = f(\emptyset)$ ilişkisi	100
Şekil 10.20.	Nordlund (1965) yönteminde çakma kazıklar için önerilen hacimsel deformasyon - $f(\emptyset_a / \emptyset)$ bağıntısı	103
Şekil 10.21.	Yanal toprak basıncı katsayısı değerleri	103
Şekil 10.22.	Düzeltilmiş " K_s " değerleri	103
Şekil 10.23.	Kohezyonsuz zeminlerde çakma kazıklar için birim çevre sürtünmesi - relatif sıklık ilişkisi	106
Şekil 10.24.	$K \tan \emptyset_a$ için Poulos ve Davis (1980)'in getirdiği öneri	109
Şekil 10.25.	Kazığın zemine penetrasyon oranı ve içsel sürtünme açısına bağlı olarak " K " katsayısının alabileceği değerler	110
Şekil 10.26.	Yatay toprak basıncı katsayısı ile içsel sürtünme açısı arasındaki ilişki	111
Şekil 10.27.	Relatif derinliğin fonksiyonu olarak birim çevre sürtünmesinin bulunması	112
Şekil 10.28.	Birim çevre sürtünmesi - içsel sürtünme açısı ilişkisi	114

<u>Şekil No</u>		<u>Sayfa No</u>
Şekil 10.29.	Kazıklar üzerindeki basınç yükleri altında oluşan göçme yüzeyleri	120
Şekil 10.30.	Çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen $[c_a / c_u] = f(c_u)$ korelasyon bağıntıları.....	122
Şekil 10.31a.	Kum ya da kumlu formasyonları içeren katı kohezyonlu zeminlerde adhezyon faktörü	124
Şekil 10.31b.	Katı kohezyonlu formasyonlarda adhezyon faktörü	124
Şekil 10.32.	Killi zeminlerde kazık yüzeyine yapışarak aşağı taşınan zemin tabakası	127
Şekil 10.33.	Killi zeminlere çakılan kazıklarda adhezyon faktörü için tasarım eğrileri	128
Şekil 10.34.	Kohezyonlu killi zeminlerde değişik penetrasyon uzunlukları için " λ " katsayılarının değişimi.....	130
Şekil 10.35.	Efektif gerilmenin tayin edilmesi	130
Şekil 10.36.	Tabakalı formasyonlarda " c_u " ve " ϕ " büyüklüklerinin belirlenmesi	131
Şekil 10.37.	Kazık yükleme deneyi sonuçlarından derlenmiş drenajsız adhezyon faktörü değerlerinin drenajsız kohezyonla değişimi	132
Şekil 10.38 .	ASCE (1993) raporunda önerilen $\alpha = f(C_u)$ ilişkisi	133
Şekil 10.39.	Killerde sürtünme kazıklarının adhezyonu	134
Şekil 10.40.	Endley et al., (1989) kaynağında önerilen adhezyon faktörü - drenajsız kayma direnci ilişkisi.....	135
Şekil 10.41.	Adhezyon faktörünün mukavemet oranı ile değişimi	135
Şekil 10.42.	Kazığın zemine yerleştirilmesinden önce ve sonra kazığa bitişik bir zemin elemanındaki gerilme durumu	139

<u>Şekil No</u>		<u>Sayfa No</u>
Şekil 10.43.	Yumuşak ve normal konsolide killerde " β " faktörünün penetrasyon uzunluğu ile değişimi	140
Şekil 10.44.	Yumuşak killerde ortalama çevre sürtünmesinin kazık uzunluğu ve " β " amprik faktörü ile değişimi.....	141
Şekil 10.45a.	Kazık yüzeyi ile temas halindeki kil zeminin negatif çevre sürtünmesi nedeniyle distorsiyonu	142
Şekil 10.45b.	Kazıktan killi zemine yük aktarımı	142
Şekil 10.46a.	Çakma kazıklar için aşırı konsolide killerde $\beta = f(c_u, K_p)$ ilintisi	143
Şekil 10.46b	Sondaj kazıkları için şırı konsolide killerde $\beta = f(c_u, K_p)$ ilintisi	143
BÖLÜM 11		
Şekil 11.1.	"SPT" deneyi için " C_N " düzeltme sayısı değerleri	149
Şekil 11.2.	Kohezyonsuz zeminlerde $q_p = f(N)$ ilişkisi	151
Şekil 11.3.	Kohezyonsuz zeminlerde kazık birim uç direnci ve koni uç direncinin, SPT sayısına ve koni uç direncine oranının ortalama dane çapı ile değişimi	152
Şekil 11.4.	Taşıma gücü faktörleri ve içsürtünme açısı ile "SPT - N" sayısı arasındaki korelasyonlar	154
Şekil 11.5.	Kohezyonsuz zeminlerde $f_s = f(N)$ ilişkisi	155
Şekil 11.6.	Kohezyonlu zeminlerde $[C_u / N] = f(PI)$ ilintisi	157
Şekil 11.7.	Kazık uç direncinin saptanmasında koni penetrasyon deneyi sonuçlarının yorumlanması	161

<u>Sekil No</u>		<u>Sayfa No</u>
Şekil 11.8.	Kazık birim uç direncini verecek koni verilerinin ortalamasının alınması	162
Şekil 11.9.	Van der Veen's yöntemi ile Kohezyonsuz zeminlere çakılmış kazıkların uç direncinin statik koni direncinden yararlanarak tahmin edilmesi	163
Şekil 11.10.	Koni Penetrasyon direncinin taşıyıcı tabaka içinde derinlikle değişimi.....	165
Şekil 11.11.	Begeman tarafından önerilen kum zeminlerdeki kazıklar için Hollanda Koni Penetrometre deneyinden elde edilen sürtünme kolu direnci " f_c " ile çevre sürtünmesi " f_s " arasındaki ilişki.....	166
Şekil 11.12.	Koni Penetrasyon deneyi için önerilen düzeltme katsayıları	168
Şekil 11.13.	Begeman tarafından önerilen Hollanda Koni Penetrometre deneyinde uç ve çevre sürtünmesi dirençleri arasındaki ilişki	169
Şekil 11.14.	Birim çevre sürtünmesi için tasarım değerleri	170
Şekil 11.15.	Pressiometre deneyinin ana ilkeleri	173
Şekil 11.16.	Menard E-GC ve GB Pressiometrelerinin Karşılaştırılması	173
Şekil 11.17.	Düzeltilmemiş Pressiometre deney eğrisi	174
Şekil 11.18.	Düzeltilmiş Pressiometre deney eğrisi	174
Şekil 11.19.	"N" ve " p_1 " arasında karşılaştırma	178
Şekil 11.20.	Kazık yerleşim yönteminin "k" faktörüne etkisi	180
Şekil 11.21.	Kohezyonsuz zeminlerde çakma kazıklar için "k" değerleri.....	180
Şekil 11.22.	"Uzunluk / Çap" oranının fonksiyonu olarak pressiometrik taşıma gücü faktörünün değişimi	181
Şekil 11.23.	Kazık shaftına etkileyen birim çevre sürtünmesi.....	182

<u>Şekil No</u>		<u>Sayfa No</u>
Şekil 11.24.	Çakma kazıklar için kilve siltli zeminlerde taşıma kapasitesi faktörleri	183
BÖLÜM 12		
Şekil 12.1.	Dinamik yöntemde kazık için kabul edilen "yük-oturma" eğrisi.....	186
Şekil 12.2.	Her çekiç darbesi için kazığın zemine giriş miktarı ve enerjinin transferi	187
Şekil 12.3.	Kazık ve zeminin elastik kısalmaları	190
Şekil 12.4.	Statik ve dinamik kuvvetler için gerilme - şekil değiştirme ilişkisi.....	192
Şekil 12.5.	Smith gösterimi	195
Şekil 12.6.	Zemin direncinin modelize edilmesi	195
Şekil 12.7.	Nihai dinamik direncin darbe sayısı ile değişimi	196
BÖLÜM 13		
Şekil 13.1a.	Kazığa düşey yönde basınç yükü uygulayan tipik bir deney düzeneği	200
Şekil 13.1b.	Bir kazık grubunun yüklenmesine tipik bir örnek	200
Şekil 13.2.	Ahşap tomruk ve blok kesimli taş kütlelerinin kullanıldığı kazık yükleme deney düzeneğine tipik bir örnek.....	202
Şekil 13.3a.	Mikromere sistemi ile düşey yöndeki hareketin ölçümü	202
Şekil 13.3b	Çelik halat - ayna - cetvel sistemi ve topografik ölçüm sistemi ile düşey yöndeki hareketin ölçümü.....	202
Şekil 13.4.	Kazık uzunluğu boyunca oluşan deformasyonları ölçen sistemler	204

Şekil No

Sayfa No

Şekil 13.5.	Değişik kazık yükleme deney metodları için total deney sürelerinin karşılaştırılması	210
Şekil 13.6.	Değişik kazık yükleme deney metodları için "yük-deplasman" davranışının karşılaştırılması.....	210
Şekil 13.7.	Yükleme deneyi sonuçlarına ölçek etkisi.....	211
Şekil 13.8.	Kazık yükleme deneyi sonuçlarına göre toplam, kalıcı ve elastik oturma	212
Şekil 13.9a.	"Yük - oturma" eğrisinde, oturmaya bağlı sınırlamalara göre öne sürülen değerlendirmeler	215
Şekil 13.9b.	"Yük-oturma" eğrisinin şekline göre yapılan değerlendirmeler.....	215
Şekil 13.10.	"Yük-kalıcı oturma " eğrisinde verilen sınırlamalara göre yapılan değerlendirmeler.....	217
Şekil 13.11.	Kalıcı ve elastik oturmaları birlikte gözönüne alarak yapılan değerlendirmeler.....	217
Şekil 13.12.	"Yük-oturma" eğrilerini dikkate alarak göçme yükünün bulunması için bazı araştırmacılar tarafından geliştirilen analitik yaklaşımlar	223

BÖLÜM 14

Şekil 14.1.	Birim çevre sürtünmesinin şaft boyunca dağılım biçimlerine bağlı olarak "ξ" katsayısı değerleri.....	227
Şekil 14.2.	"I _{wp} " teriminin tayin edilmesi.....	228
Şekil 14.3.	Killi zeminlerde çakma kazıkların oturma hesabı için tasarım diyagramı.....	231
Şekil 14.4.	Kumlu zeminlerde çakma kazıkların oturma hesabı için tasarım diyagramı	231

Şekil No

Sayfa No

Şekil 14.5.	Killi zeminlerde sondaj kazıklarının oturma hesabı için tasarım diyagramı	232
Şekil 14.6.	Kumlu zeminlerde sondaj kazıklarının oturma hesabı için tasarım diyagramı	232
Şekil 14.7.	Kazık tipine bağlı olarak zemin elastisite modülünün derinlikle değişimi	234
Şekil 14.8.	Sürtünme kazıklarında "[L / D]=25" için etki faktörünün " K_b " ve " η "ya bağlı olarak değişimi.....	235
Şekil 14.9.	Sürtünme kazıklarında "[L / D]=50" için etki faktörünün " K_b " ve " η "ya bağlı olarak değişimi	235
Şekil 14.10.	Sürtünme kazıklarında "[L / D]=100" için etki faktörünün " K_b " ve " η "ya bağlı olarak değişimi	235
Şekil 14.11.	Uç kazıklarında "[L / D]=25" için etki faktörünün " K_b " ve " η "ya bağlı olarak değişimi	237
Şekil 14.12.	Uç kazıklarında "[L / D]=50" için etki faktörünün " K_b " ve " η "ya bağlı olarak değişimi	237
Şekil 14.13.	Uç kazıklarında "[L / D]=100" için etki faktörünün " K_b " ve " η "ya bağlı olarak değişimi	237
Şekil 14.14.	Tabakalı formasyonlarda elastisite modülünün tayin edilebilmesi için yapılan idealleştirme.....	238

BÖLÜM 15

Şekil 15.1.	Kazık grupları	241
Şekil 15.2.	Sıkı kumlarda grup kazıkları için yapılan model deneylerinin sonuçları	243
Şekil 15.3.	Bir kazık grubu ve tek kazığın etki alanı ve etki derinlikleri	245

<u>Şekil No</u>		<u>Sayfa No</u>
Şekil 15.4.	"Menard-Rousseau" metoduna göre oturma hesabında kullanılan fiktif temel yaklaşımı.....	248
Şekil 15.5.	Kazık grubunun genişliğine bağlı olarak "Skempton-Yassin-Gibson" yöntemindeki "k" amprik faktörünün kazık grubunun genişliği ile değişimi	250
Şekil 15.6.	Çakma kazık gruplarında grup oturma oranının belirlenmesinde rol oynayan "w" amprik faktörünün belirlenmesi.....	252
Şekil 15.7.	Fore kazık gruplarında grup oturma oranının belirlenmesinde rol oynayan "w" amprik faktörünün belirlenmesi.....	252
Şekil 15.8.	Kohezyonlu zeminlerde kazık gruplarının konsolidasyon oturması	255
BÖLÜM 16		
Şekil 16.1.	Pratik uygulamalarda sıkça karşımıza çıkan bazı yatay yükleme ve deformasyon durumları	257
Şekil 16.2.	Üst ucu serbest davranış gösteren rijit bir kazığa yük uygulanması durumunda şaft boyunca oluşan yatay direnimin yayılışı	261
Şekil 16.3.	Brinch-Hansen (1961) yöntemi'nde " \emptyset " ve " x/B " parametrelerine bağlı olarak " K_q " ve " K_c " faktörlerinin bulunması	262
Şekil 16.4.	Yatay yüklere maruz kısa kazıklar için nihai zemin direnimine bağlı olarak dönme ve ötelenme hareketleri	265
Şekil 16.5.	Yatay yüklere maruz uzun kazıklar için nihai zemin direnimine bağlı olarak dönme ve ötelenme hareketleri	266
Şekil 16.6.	"Yatak katsayısı" yaklaşımına göre yatay yüklü kazıkların davranışı	267

Şekil No

Sayfa No

Şekil 16.7. "Elastik süreklilik" yaklaşımı'nda kazık ve zemin arasındaki yük iletişimleri 268

BÖLÜM 17

Şekil 17.1. Killi zeminde bir çakma kazık etrafındaki zemin deformasyonu 269

Şekil 17.2. Killi zeminde bir çakma kazık çevresinde meydana gelen örselenme 270

Şekil 17.3. Kazık çakımı nedeniyle zeminde olası problemler271

Şekil 17.4. Kohezyonlu zeminlerde kazık çakımının neden olduğu kabarma ..272

Şekil 17.5. Katı bir kile çakılmış bir kazıkta kazık çukurunun üst kısmındaki zeminin örselenmesi273

Şekil 17.6. Kohezyonsuz zeminlerde çakılan bir kazık çevresinde oluşan kompaksiyon 274

Şekil 18.1. İstanbul Hızlı Tramvay Sistemi II. Aşama Güzergah Planı..... 276

Şekil 18.2. Test kazığı ve ankraj kazığı bağlantıları (Enkesit)..... 279

Şekil 18.3. Test kazığı ve ankraj kazığı bağlantıları (Plan)..... 280

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge No</u>	<u>Sayfa No</u>
BÖLÜM 3	
Çizelge 3.1. ABD'de yaygın olarak kullanılan beton kazıkların geometrik ve mekanik bazı özellikleri	16
Çizelge 3.2. ABD'de yaygın olarak kullanılan "H" kesitli çelik kazıkların bazı kesit ve mekanik büyüklükleri	20
Çizelge 3.3. Kazıklı temel uygulamalarında sıkça kullanılan seçkin bazı kazık tiplerinin özellikleri ve karşılaştırılması	23
Çizelge 3.4. Çakma kazıkların tipik özellikleri ve uygulamaları	26
Çizelge 3.5. Değişik kesit çaplarına sahip bazı çakma kazıkların uygulamada taşıyabildikleri işletme yükleri	27
BÖLÜM 4	
Çizelge 4.1. Değişik kazık türleri için karakteristik tipik boyutlar ve izin verilebilir yükler	36
BÖLÜM 10	
Çizelge 10.1. Değişik yükleme koşulları için güvenlik sayıları	82
Çizelge 10.2. Çeşitli zeminlerde "I" faktörünün aldığı değerler	93
Çizelge 10.3. Çeşitli içsel sürtünme açıları için "N _q " faktörleri	95
Çizelge 10.4. Kohezyonsuz zeminlerde sürtünme kazıkları için "K _o " yanal toprak basıncı katsayısı	104
Çizelge 10.5. Kazık malzemesine bağlı olarak "Ø _a " sürtünme açısının aldığı değerler	105

<u>Çizelge No</u>		<u>Sayfa No</u>
Çizelge 10.6.	Kazıkların zemine yerleşim özelliklerine göre "K" katsayıları	108
Çizelge 10.7.	Kazık türüne bağlı olarak "K" katsayıları	108
Çizelge 10.8.	"K Tan θ_a " büyüklüğü için Poulos ve Davis (1980)'in getirdiği öneri	110
Çizelge 10.9.	Tomlinson tarafından önerilen çevre sürtünmesi değerleri	113
Çizelge 10.10.	Weele tarafından önerilen çevre sürtünmesi değerleri	113
Çizelge 10.11.	Terzaghi ve Peck tarafından önerilen çevre sürtünmesi değerleri	113
Çizelge 10.12.	Çeşitli araştırmacılar tarafından benimsenen "N _c " faktörleri	119
Çizelge 10.13	Çakma kazıklar için kilin yapısı ve kazığın zemine penetrasyon oranına bağlı olarak Tomlinson tarafından önerilen " α " adhezyon faktörleri	123
Çizelge 10.14.	Killi zeminlerde sondaj kazıkları için " α " adhezyon faktörünün aldığı değerler	125
Çizelge 10.15.	Fore kazıklarda adhezyon faktörünün seçimi için NAVFAC önerisi	133
Çizelge 10.16.	$c_u \leq 50\text{kN/m}^2$ olduğunda killerdeki çakma kazıklar için önerilen adhezyon değerleri	134
Çizelge 10.17.	Çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen "K _s " " θ_a " ve "c _u " parametreleri.....	147
BÖLÜM 11		
Çizelge 11.1.	Meyerhof (1976) çalışmasına göre çakma kazıklar ve sondaj kazıkları için "birim uç mukavemeti" değerleri	150

<u>Çizelge No</u>		<u>Sayfa No</u>
Çizelge 11.2.	Kazık birim uç mukavemeti ile "SPT" darbe sayıları arasındaki ilişkiler	152
Çizelge 11.3.	Meyerhof (1976) çalışmasına göre kohezyonsuz zeminlerde çakma ve sondaj kazıkları için "birim çevre sürtünmesi" değerleri.....	153
Çizelge 11.4.	Kazık birim çevre sürtünmesi ile "SPT - N" sayıları arasındaki ilişkiler	155
Çizelge 11.5.	Kazık birim uç direnci ile "SPT - N" sayıları arasındaki ilişkiler	157
Çizelge 11.6.	Çeşitli araştırmacılar tarafından koni uç direncinin hesabında kullanılması önerilen penetrason değerleri	161
Çizelge 11.7.	Kazık çakımının neden olduğu koni direncindeki artımlar.....	164
Çizelge 11.8.	Birim çevre sürtünmesi için CPT değerlerinin kullanılması	166
Çizelge 11.9.	Şekil 11.14'te yer alan kazık tiplerinin sınıflandırılması	171
Çizelge 11.10.	" p_1^* " değerine bağlı olarak zemin koşulları	177
Çizelge 11.11.	" E_M / p_1 " oranına bağlı olarak zemin koşulları.....	177
Çizelge 11.12.	Zemin durumuna bağlı olarak " q_c^* / p_1^* " oranları	178
Çizelge 11.13.	Bazı zemin türleri için kazık tipine göre pressiometrik taşıma gücü faktörlerinin aldığı değerler	181
Çizelge 11.14.	Zemin ve kazık türüne göre bazı pressiometrik limit basınç değerlerinin alabileceği maksimum değerler	183
BÖLÜM 12		
Çizelge 12.1.	Pratikte kullanılan bazı dinamik kazık formülleri	189
Çizelge 12.2.	Tokmağın "etkili düşüş oranı" faktörleri	190

<u>Çizelge No</u>		<u>Sayfa No</u>
Çizelge 12.3.	Hiley formülündeki " C_1 ", " C_2 " ve " C_3 " parametreleri	191
Çizelge 12.4.	Çarpma sayısının temsili değerleri	191
BÖLÜM 14		
Çizelge 14.1.	Çeşitli zemin türleri için "poisson oranı" değerleri	228
Çizelge 14.2.	Zemin ve kazık türüne bağlı olarak " C_p " amprik faktörünün aldığı değerler	229
BÖLÜM 15		
Çizelge 15.1.	Zemin cinsine bağlı olarak tipik elastisite modülü değerleri	248
Çizelge 15.2.	Temel geometrisi düzeltme faktörü " I_w "nın temel şekline göre aldığı değerler	248
Çizelge 15.3.	Zemin yapısına bağlı olarak " α " şekil faktörleri	249
Çizelge 15.4.	Temel geometrisine bağlı olarak " λ_c " ve " λ_d " şekil faktörleri	250
BÖLÜM 18		
Çizelge 18.1.	Kazık yükleme deneylerinin yapıldığı kazıklarla ilgili bazı bilgiler.....	278
Çizelge 18.2.	Kazık yükleme deneyi yapılan test kazıklarına ait bazı geometrik büyüklükler.....	285
Çizelge 18.3.	Bazı araştırmacıların [$\phi = 28^\circ$] için önerdikleri [N_q] değerleri.....	287
Çizelge 18.4.	Bazı araştırmacılar tarafından önerilen [N_c] değerleri.....	288
Çizelge 18.5.	Bazı araştırmacılar tarafından önerilen [K_s] değerleri.....	289
Çizelge 18.6.	Bazı araştırmacılar tarafından önerilen [ϕ_a] değerleri.....	289

<u>Çizelge No</u>		<u>Sayfa No</u>
Çizelge 18.7.	Bazı araştırmacıların önerdiği [$\alpha = c_a / c_u$] değerleri.....	290
Çizelge 18.8.	Statik yöntemle nihai taşıma gücü hesabı yapılırken seçilen mukavemet parametreleri.....	291
Çizelge 18.9.	Test kazıkları için statik yöntemle hesaplanan "nihai taşıma gücü" ve "izin verilebilir taşıma gücü" değerleri.....	293
Çizelge 18.10.	Siltli Kil formasyonu için birim uç mukavemeti değerleri.....	295
Çizelge 18.11.	Siltli Kil formasyonu için birim uç mukavemeti değerleri.....	295
Çizelge 18.12.	Siltli Kil formasyonu için birim çevre sürtünmesi değerleri.....	296
Çizelge 18.13.	Siltli Kil formasyonu için birim çevre sürtünmesi değerleri.....	296
Çizelge 18.14.	Bazı araştırmacıların kumlu zeminlere oturan fore kazıklar için önerdiği "k" faktörleri.....	297
Çizelge 18.15.	Bazı araştırmacıların killi zeminlere oturan fore kazıklar için önerdiği "k" faktörleri.....	298
Çizelge 18.16.	Test kazıkları için arazi deneylerinin sonuçlarına dayalı amprik yöntemler kullanılarak yapılan kazık taşıma gücü hesabı.....	305
Çizelge 18.17.	Çeşitli grafiksel / yarıamprik yöntemler kullanılarak tayin edilen göçme yükleri.....	307
Çizelge 18.18.	Test kazıkları için değişik metodlar kullanılarak hesaplanan nihai taşıma gücü büyüklüğü değerleri.....	308
Çizelge 18.19.	Test kazıkları için (14.1) (14.9) ve (14.10) bağıntısı ile verilen "toplam oturma" hesabı yapılırken kullanılan geometrik geoteknik ve amprik parametreler.....	315
Çizelge 18.20.	Test kazıkları için yarıamprik ve amprik yöntemler kullanılarak yapılan hesaplar sonucunda elde edilen toplam oturma büyüklükleri.....	316

KISALTMALAR LİSTESİ

AASHTO	ABD Eyalet Karayolları ve Ulaştırma Örgütleri Konfederasyonu
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ACI	Amerika Beton Enstitüsü
AKO	Aşırı Konsolidasyon Oranı
API	ABD Petrol Enstitüsü
ASCE	ABD İnşaat Mühendisleri Cemiyeti
ASTM	ABD Deneysel Standartları El Kitabı
BS I	Britanya Standartlar Enstitüsü
CFEM	Kanada Temel Mühendisliği El Kitabı
CGS	Kanada Geoteknik Cemiyeti
CPT	Koni Penetrasyon Testi
CRP	Sabit Giriş Hızlı Yükleme Testi
DIN	Almanya Standartlar Enstitüsü
DNV	Norveç Araştırma Bürosu
FS	Güvenlik (Emniyet) Sayısı
MPT	Menard Pressiometre Testi
NAVFAC	ABD Deniz Kuvvetleri Mühendislik Eğitim Dairesi
QM	Hızlı Adımlı Yükleme Testi
SC	Çevrimli Yükleme Testi
SM	Yavaş Adımlı Yükleme Testi
SPT	Standart Penetrasyon Testi
TS	Türk Standartları

TEŞEKKÜR

Yaklaşık iki yıl süren yüksek lisans eğitim programım boyunca gerek ders içi faaliyetler gerekse de tez çalışmalarım çerçevesinde; maksimum düzeyde ilgi ve bilgiyi benden esirgemeyen tez danışmanım Sn. Prof. Dr. Müh. İ. Kutay ÖZAYDIN'a, teorik kapsamlı literatür çalışması yapabilmem ve "İstanbul Hafif Raylı Sistem Projesi II. Aşaması" bünyesinde yeralan bazı kazıklı temel sistemleri üzerinde uygulanan kazık yükleme deneyleri'nin sonuçlarını pratik amaçla kullanabilmem için gerekli tüm olanakları seferber eden "Yapı Merkezi İnş ve San. A.Ş." Yönetim Kurulu Başkanı Sn. Dr. Müh. Ersin ARIOĞLU, Teknik Bölüm Koordinatörü Sn. Dr. Müh. Ahmet ÇİVİ ve AR-GE Bölümü Koordinatörü Sn. Prof. Dr. Müh. Ergin ARIOĞLU'na en derin saygılarımı sunar, ayrıca halen çalışmakta olduğum "STFA Kalite Expertiz ve Gözetim Hizmetleri LTD. ŞTİ." Genel Müdürü Sn. Yük. Müh. Necat CİLASON ve Yapı Malzemeleri Bölüm Müdürü Sn. Yük. Mimar Turgut GENÇOĞLU'na huzurlu ve verimli bir çalışma rejimi sağladıkları için teşekkür ederim. Yine yapmış olduğum tez çalışmasının bilgisayar ortamında yazılmasını sağlayan Dost Ajans LTD. ŞTİ'nin değerli çalışanlarına ve çalışmada yeralan çeşitli şekil ve grafiklerin çizilmesinde ciddi ölçüde emeği geçen Teknik Ressam Metin KOÇARSLAN, İsmail ŞAHAN ve Jeoloji Müh. Yaşar ŞANLI'ya da burada teşekkürü bir borç bilirim.

ÖZET

Kazıklı temeller esasen, arazide mevcut zemin koşullarının güvenli ve ekonomik bir yüzeysel temelin teşkiline olanak vermediği durumlarda uygulanması tercih edilen bir derin temel çeşididir. Bir kazıklı temel sisteminin tasarımı yapılırken, sözkonusu sistemi çevreleyen temel zemini özelliklerinin önceden belirlenmiş olması ve eğer varsa diğer alternatif çözümlerin fizibilitelerinin geoteknik ve ekonomik açılardan yeteri kadar etüd edilmiş olması gerekmektedir. Gelişen teknoloji imkanlarının kazıklı temel imalat koşullarını olumlu yönde etkilemesi sonucunda, kazıklar uygulamada yaygın olarak kullanılır hale gelmişlerdir.

Kazıklı temellerin projelendirilmesinde tasarım mühendislerinin karşılaştığı en önemli sorunlar, çeşitli arazi deneyleri ile belirlenen çevresel zemin profili için kazığın emniyetle taşıyabileceği maksimum yükün (izin verilebilir taşıma gücünün) ve düşey yükler altında göçme olmaksızın yapabileceği maksimum düşey deplasmanın (oturmanın) tesbit edilmesidir. Bu parametrelerin tayin edilmesinde zemin mekânîği ilkelerinin uygulanabilmesinin büyük önemi olmakla beraber, şantiye ve arazi koşullarında edinilen tecrübelerle dayalı pratik bilgilerden de yararlanılmaktadır.

Düşey yüklere maruz kazıklı temel sistemlerinde "taşıma gücü" ve "oturma" parametrelerinin hesap ve analiz yöntemlerinin rasyonelleştirilmesini konu alan bu çalışmada; öncelikle kazıkların uygulamada sağladığı avantajlara uygun olarak taşıdığı fonksiyonlar, geoteknik ve ekonomik profilin getirdiği sınır şartlarına bağlı olarak kazıklı temel imalatını - projede ulaşılması hedeflenen amaca göre zorunlu kılan haller ve kazıklı temel sistemlerinin kullanıldığı yerler kısaca açıklanmıştır. Daha sonra çeşitli kriterlere göre sınıflandırılması yapılan kazıklı temellerin sınıf bazında birbirilerine karşı avantajlı ve dezavantajlı olduğu durumlar özetlenerek kazıkların fiilen zemine yerleştirilmesi ve bu amaçla kullanılan ekipman donanımlarının temel unsurları belirli bir ayrıntı içinde tariflenmiştir. Kazıkların zemine yük aktarma mekanizması ve negatif çevre sürtünmesinin-oluşum mekanizmasına bağlı olarak- temel sistemi üzerindeki etkilerinin kısaca anlatıldığı bölümden sonra, düşey işletme yüklerinin etkisi altında kazıklı temel sistemlerinin "taşıma gücü" parametresinin kohezyonsuz ve kohezyonlu zeminlerde sırası ile "statik esaslı analiz", "arazi deneylerinin sonuçlarına dayalı amprik/yarıamprik esaslı analiz", "dinamik esaslı analiz" ve "birebir işletme yüklerinin uygulandığı yükleme deneyi sonuçlarının grafiksel biçimde yorumlanmasına dayalı analiz metodları" üzerinde ayrıntılı olarak durulmuştur. Çalışmanın diğer bölümlerinde ise yine düşey yükler altında kohezyonsuz ve kohezyonlu zeminlere oturan kazıklarda tek kazık ve grup

kazıkları için ayrı ayrı taşıma gücü ve oturma büyüklüklerinin çeşitli yöntemler vasıtasıyla nasıl belirlenebileceği açıklanmaktadır. Yatay yük etkisi altında kazık - zemin davranışını ele alan ve kazık imalatı nedeniyle zemin özelliklerinin yerinde değişimi ve önceki bölümlerde verilen yöntemlerde hesaplara yansıtılmayan kazık taşıma gücüne zamanın etkisini irdeleyen konular ayrı bölümler halinde tezin son kısmında yer almaktadır. Çalışmanın son bölümünde ise daha önceki bölümlerde ayrıntılı olarak incelenen kazık taşıma gücü ve oturma hesabının nümerik yolla saptanmasına kapsamlı bir örnek teşkil eden LRTS İstanbul Hafif Metro Projesi II. Aşaması'nda yapılan kazık yükleme deneylerinin neticeleri taşıma gücü ve oturmalar açısından etraflıca incelenerek elde edilen sonuçlar pratik olarak yorumlanmıştır.



ABSTRACT

Pile foundations are preferred when the foundation design becomes unsafe and expensive with the shallow foundation alternative. Before the design of a pile foundation system, the subsoil has to be sufficiently characterized and the possibility of other technically and economically feasible foundation alternatives has to be investigated. Pile foundations have found wider application with the technological advances in the manufacture and installation of pile systems.

Estimation of the allowable pile capacity and the vertical displacement (settlement) of the pile without causing any bearing capacity failure, have been the major challenges for the geotechnical engineer. In order to estimate the ultimate and the allowable pile capacity, the site experience acquired from past field examples have been very helpful in addition to the theoretical concepts of soil mechanics that form the basis of the analysis.

In this study, the analysis methods to evaluate the load capacity and the settlement of pile foundation systems have been rationalized. Initially the advantages and the applications of pile systems in practice along with the conditions that cause pile systems to be the only technically and economically feasible alternative have been discussed. Pile systems have been classified with respect to several criteria and the relative advantage and disadvantage of each system has been summarized. Construction and installation equipment of piles have also been discussed. After a brief discussion of load transfer mechanism and the negative skin friction phenomenon in piles, different analyses types of pile foundations have been discussed. The bearing capacity of piles under vertical loading on cohesive and granular soils have been discussed using, theoretical bearing capacity equations, empirical and semi-empirical equations based on field tests, dynamic analysis, and the graphical analysis based on pile load tests. The analysis of pile groups for settlement and bearing capacity have also been discussed. The soil-pile interaction under horizontal loading have been explained. The effect of cast-in-place piling and the time factor on pile capacity have been discussed at the end of the thesis. Analyses of pile capacity and settlement with a numerical method has been presented at the end. The results of the numerical method have been compared and analyzed with a comprehensive pile load test conducted for the LRTS Project of Istanbul.

1. GİRİŞ

Üst yapı yüklerini kısmen ya da tamamen zemin yüzeyinden daha derinlerdeki tabakalara aktaran "temel derinliği / temel genişliği" oranı en az 5 ve daha büyük olan sistemler "Derin Temeller" olarak tariflenmektedir. Derin temeller arasında "kazıklı temeller", "ayak / keson" temeller ve derin kazılar içine yerleştirilen yapı temelleri düşünülebilir.

Kazıklar çelik, beton ve/veya ahşaptan imal edilen bir tür yapı elemanı olarak tanımlanabilirler. Kazıklar yapımı yüzeysel temellere kıyasla daha pahalı olan derin-kazıklı temel inşaatı uygulamalarında kullanılırlar. Yüzeysel temel sistemlerine göre daha pahalı olmalarına karşın çeşitli nedenlerle kullanılmaları oldukça gerekli ve hatta avantajlı olabilmektedir.

Kazıklar, zemin yüzeyine yakın tabakaların üst yapı yüklerini göçmeden veya üst yapıda hasara neden olacak şekilde fazla oturmadan taşıyabileceği bir yüzeysel temelin teşkiline uygun olmadığı hallerde, üst yapı yüklerini zemin profilinin derinliklerinde yer alan taşıyıcılık özelliği yüksek tabakalara aktarmak amacıyla kullanılan ahşap, beton, çelik veya kompozit yapı elemanlarıdır.

Kazıklar çoğunlukla düşey basınç yüklerini taşırlar. Bununla birlikte kazıkların, rüzgâr, deprem ve dalga kuvvetleri gibi yatay kuvvetlere, suyun kaldırma etkisi gibi çekme kuvvetlerine ya da üst yapıya gelen yanıl kuvvetler nedeniyle döndürme momenti etkisine maruz kaldığı kullanım alanları da vardır. Üst yapı yüklerinin zemine emniyetli bir şekilde aktarılabilmesi için pratikte en az 3 ya da 4 kazıktan oluşan kazı grupları teşkil edilir.

Bir kazıklı temelin tasarımında, zemin profilinin yapılan sondajlarla hassas olarak belirlenmesi ve zemin profilindeki çeşitli tabakaların mühendislik karakteristiklerinin bilinmesi ve böylelikle genel hatları ile zemine yük aktarma mekânizmasına göre kullanılacak kazığın tipine karar verilmelidir. Kestirilen zemin profili ve kazık tipine bağlı olarak, tek kazığın veya kazık gruplarının emniyetle taşıyabileceği yükler hesaplanmalıdır. Ancak bir kazık grubunun taşıma kapasitesinin belirlenmesi amacıyla yapılacak yükleme deneyleri çok fazla yük gerektirdiği ve pahalı olduğu için, uygulamada çoğu kez tek bir kazığın taşıma kapasitesi belirlenerek, kazık grubunun taşıma kapasitesinin tahmin edilmesine çalışılır. Sözkonusu tahminlerde gerilme alanlarının girişim

yapması nedeniyle bir kazık grubunun taşıma kapasitesi bulunurken, tek bir kazığın taşıma kapasitesi ile gruptaki kazık sayısının çarpımı sonucunda elde edilen değer anılan girişim etkisini ortaya koyan bir grup faktörü ile çarpılmaktadır.

Kazıklı temellerin projelendirilmesinde, oturmalar genellikle önemli bir proje kriteri olarak gözönünde tutulmaz. Bununla birlikte, göçmeye karşı güvenliğin bulunduğu yanısıra, servis yüklerinin meydana getireceği oturmaların izin verilebilir sınırları aşmadığı gösterilmelidir.

Bu tez çalışmasında yukarıda adı geçen derin temeller içinde kazıklı temellerin çeşitli yönleriyle tanıtımı yapılmış, zemin ve yükleme koşullarına da bağlı olarak boyutlandırma, tasarım kriterlerinin uygunluğu, taşıma kapasiteleri, yükleme deneyleri v.b. gibi esas kavramlar açıklanarak, özellikle "düşey yükler" altında kazık davranışlarını ortaya koyan hesap yöntemlerinin değerlendirilmesi sonucunda, düşey yükler için rasyonel hesap ilkelerinin tartışılarak irdelenmesine çalışılmıştır. Rasyonel hesap ilkeleri belirlenirken "İstanbul Hafif Metro" Projesi I. ve II. Aşaması'nda yer alan viyadük ve köprü yaklaşım ayakları'nın temellerini teşkil eden kazıklar üzerinde yapılan "Yükleme Deney Sonuçları"ndan ve lokasyonlarla ilgili geoteknik raporlardan yararlanılmıştır.

2. KAZIKLARIN FONKSİYONLARI VE KULLANILDIĞI YERLER

2.1. Kazıkların Fonksiyonları

Kazıkların ana fonksiyonu yapı temelinden zemine intikal eden yükleri gevşek ve yumuşak zemin tabakalarının altında yeralan taşıma gücü yüksek, sıkışabilirliği az sağlam zemin tabakalarına aktarmaktır. Ancak kazıklar petrol platformu v.b. deniz yapılarında ve yatay yük etkisine maruz yapılarda doğrudan üst yapı yüklerini taşımak amacıyla da kullanılabilirler. Düşey yüklere maruz kalan bir kazığın nihai taşıma gücü, kısmen kazık ucunda oluşan noktasal direncin kısmen de kazık şaftı ile temas halinde olan zemin yüzeyi ile kazık yüzeyi arasında gelişen aderansla ilintilendirilen yüzeysel sürtünme direniminin bileşkesi olmaktadır (Poulos, 1980). Ortam koşullarına bağlı olarak "uç taşıma" ve "yüzeysel sürtünme" kuvvetlerinin nihai taşıma gücü içindeki payları değişkendir. Bu değişkenliği kontrol eden faktörler, kazığın içine yerleştirildiği jeolojik ortamın geoteknik özellikleri, kazığın geometrik koşulları (çap-boy), narinliği ve uygulanan yüklerin büyüklüğüdür.

Düşey yüklere maruz kazıklarla yatay yük etkisinde kalan kazıkları karşılaştırırken zemin yüzeyinin yakınlarında ortaya çıkan değişimleri de dikkate almak gerekir. Zemin yüzeyine yakın bölümlerde etkili olan mevsimsel nem farklılıkları kazık davranışında önemli değişikliklere yol açabilmektedir. Bu yüzden kazıkların yatay yük etkisindeki davranışlarının tahmin edilmesi, düşey yük etkisindeki davranışlarının tahmin edilmesinden pratik olarak daha zordur (Meyerhof, 1977).

Kazıklar, üst yapı yüklerini çoğu kez aksel basınçla taşımakla birlikte, açık deniz platformları, rıhtım, şev ve iksa yapıları gibi mühendislik uygulamalarında ortaya çıkan deprem, dalga, darbe kaldırma, yanal toprak itkisi ve çekme türü kuvvetlerin karşılanması gibi görevleri de gerektiğinde üstlenebilmektedir.

2.2. Kazıkların Kullanım Amaçları

Kazıklar aşağıda belirtilen başlıca amaçlara hizmet etmek üzere inşa edilmektedirler: (Teng, 1982)

1. Üstyapı yüklerinin zemin yüzeyinden derinlerde bulunan ve taşıma karakteristikleri yüksek olan sağlam tabakalara güvenilir biçimde aktarılabilmesi. (Bu nedenle inşa edilen kazıklar uygulamada genellikle "uç kazıkları" olarak adlandırılırlar.)

2. Üst yapı yüklerinin kısmen yumuşak ve gevşek kalın zemin tabakalarına, sürtünme reaksiyonlarının yardımıyla güvenilir biçimde aktarılması. (Bu şekilde inşa edilen kazıklarda, üst yapı yükü kazık uzunluğu boyunca çepeçevre kazık yüzeyi ile kazık cidarları arasında oluşan sürtünme gerilmeleri ile taşınır. Bu kazıklara "**sürtünme kazığı**" adı verilmektedir.)

3. Gevşek-Granüler zeminlerin taşıma kapasitesini artırmak gayesi ile kompaksiyon sağlamak üzere adı geçen zeminlere kazık çakılması. (Bu kazıklar uygulamada "**kompaksiyon kazıkları**" olarak adlandırılır.)

4. İleri derecede hidrostatik basınca veya döndürme momentine maruz yapıların stabilitesini artırmak ve bu nedenle doğabilecek yapı hasarlarının önüne geçmek amacıyla kazıkların uygun eğimlerde zemine çakılması. (Uygulamada çekme gerilmelerine maruz kalan bu kazıklara "**çekme kazıkları**" adı verilmektedir.)

5. Erozyona maruz zeminlerde (köprü, kenar ve orta ayakları v.b.) üst yapı yükünün erozyondan etkilenmeyen derinliklerdeki tabakalara taşıtılması.

6. Sahile yakın yapıların gemi v.b. diğer yüzen cisimlerin darbelerine karşı bu darbeleri söndürülendirerek korumak amacıyla "**tampon kazıklar**" sık yerleşimde inşa edilebilmektedir.

7. Çeşitli nedenlerle üst yapıdan zemine aktarılan çekme karakterli yüklerin taşınması amacıyla zeminde çekme yüküne maruz bölümlerde "**ankraj kazıkları**" tesis edilebilir.

8. Büyük hacimli yatay veya eğik kuvvetlerin zemine güvenilir biçimde aktarılmasını temin etmek amacıyla "**eğik kazıklar**" inşa edilebilir.

9. Kuleler deniz platformu gibi deniz yapıları ve yeraltı suyu altında kalan radye temellerin maruz kaldığı kaldırma kuvvetlerinin etkisini karşılamak amacıyla "**uzun kazıklar**" teşkil edilebilir.

2.3. Kazıkların Kullanıldığı Yerler

Kazıklı temel sistemlerinin kullanımını zorunlu kılan durumlar da göz önünde tutularak kazıkların uygulamada kullanıldığı başlıca yerler maddeler halinde aşağıda sıralanmıştır (Das, 1990).

1. Zemin strüktürünün yüzeye yakın tabakalarını oluşturan üst katmanlar, üst yapı yüklerinin yüzeysel temel sistemleri ile güvenilir bir şekilde zemine aktarılmasına elverişli geoteknik koşullara sahip değilse, daha açık bir anlatımla taşıma güçleri zayıf, sıkışabilme nitelikleri de fazla ise; yüklerin taşıyıcılık özelliği yüksek olan ve zemin profilinde zemin yüzeyinden daha derinlerde yer alan daha sağlam zemin ya da kayalarla aktarılması zorunluluğunu ortaya çıkaran koşullarda, sözkonusu edilen üst yapı yükleri çeşitli kazıklı temel sistemleri kullanılarak taşıyıcı zemin katmanlara dağıtılabilir.

2. Suyla temas edince kabarma ya da ani çökme gösteren zeminlerde üst yapı yüklerinin aktif zon diye tariflenen bölgenin dışına kazıklar aracılığıyla aktarılması en iyi çözümdür.

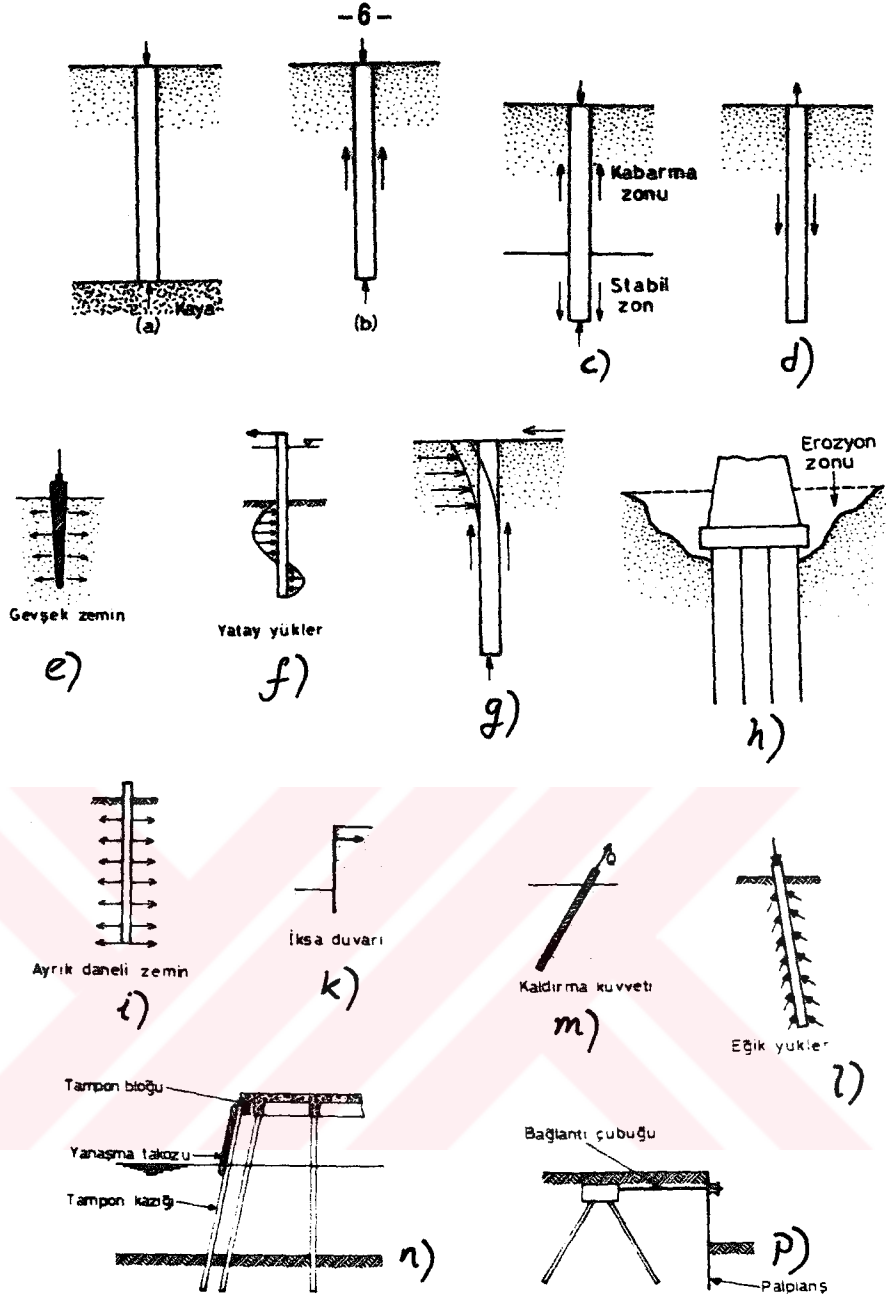
3. Erozyon hareketleri sonucunda köprü ve viyadük ayaklarında temel altının oyulmasına engel olmak için adı geçen elemanlar kazıklı olarak tasarlanıp düzenlenebilir.

4. Açık deniz petrol platformları, kuleler, rıhtım payandaları gibi deniz yapılarında, hava meydanlarında yer alan irtibat kulelerinde sürekli ya da aralıklı iksa duvarları ve şev stabilitesi gibi bazı mühendislik uygulamalarında dalga, deprem ve suyun kaldırma kuvvetleri ile yanal toprak basınçlarının karşılanmasında kazıklar geniş kullanım potansiyeline sahiptir.

5. Nehir ve göl çevrelerindeki yumuşak dokulu gevşek ve hassas zeminlerin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesi ve sağlamlaştırılmasında kazıklar kullanılabilirler.

6. Sıvılaşma potansiyeli bulunan bölgelerde üst yapı yüklerinin sıvılaşma zonu altında kalan tabakalara emniyetle aktarılabilmesi gerekliliği sözkonusu olduğunda yine kazıklardan yararlanılmaktadır.

Yukarıda başlıcaları kısaca tariflenen amaçlara uygun olarak adlandırılan kazıkların kullanıldıkları yerlerin bazıları Şekil 2.1'de şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Kullanılma amacına uygun olarak kazıkların uygulama sahalarından bazı örnekler

(a) Düşey yüklerin sağlam ve taşıyıcı zemin tabakalarına aktarılması amacıyla uç kazığı olarak kullanım, (b) Kazıkların sürtünme kazığı olarak kullanımı, (c) Kabarma ya da çökme olan zeminlerde kazıkların kullanımı, (d) Kaldırma kuvvetlerini karşılamak amacıyla kazıkların kullanımı, (e) Kazıkların kompaksiyon amacı ile kullanımı, (f) ve (g) Kazıkların çeşitli yatay yüklerin karşılanması amacıyla kullanımı, (h) Köprü ve viyadük gibi yapıların altındaki zeminin erozyon nedeniyle oyulma tehlikesinin olduğu durumlarda kazıkların kullanımı, (i) Kazıkların gevşek zeminlerin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla kullanılmaları, (k) Sürekli ya da kesikli (aralıklı) iksa duvarları olarak kazıkların kullanımı, (l) Kazıkların eğik yüklerin karşılanması amacıyla kullanılmaları, (m) Kazıkların pratik ankraj maksatları ile kullanılmaları, (n) Kazıkların tampon amaçlı kullanılmaları, (p) Kazıkların çekme ve iksa amaçları için kullanılmaları

3. KAZIKLARIN SINIFLANDIRILMASI

Günümüz literatüründe kazıkların çeşitli kriterlere göre sınıflandırılmalarının yapılması mümkündür. Yaygın olarak kazıklar aşağıdaki gibi dört gruba ayrılarak sınıflandırılabilmektedirler.

1. Zemine Yük Aktarma Mekanizmasına Göre Kazıklar
2. İmal Edildiği Malzemenin Cinsine Göre Kazıklar
3. Yapım Şekillerine Göre Kazıklar
4. Zemine Yerleşim Özelliklerine Göre Kazıklar

Aşağıda, anahatlarıyla yukarıda görüldüğü gibi sınıflandırılabilen gruplar kendi içinde kategorize edilerek temel özellikleriyle açıklanmaktadır.

3.1. Zemine Yük Aktarma Mekanizmasına Göre Kazıklar

Zemine yük aktarma mekanizmasına göre kazıklar altı gruba ayrılabilirler.

1. Uç kazıkları
2. Sürtünme kazıkları
3. Çekme kazıkları
4. Ankraj kazıkları
5. Kompaksiyon kazıkları
6. Eğik kazıklar

3.1.1. Uç Kazıkları

Eğer anakaya ya da çok sıkı ve sert zemin tabakaları arazide önceden yapılan sondajlar sırasında tutulan kayıtlara dayanarak teknik ve ekonomik açılardan makul derinlikler içinde kalıyorsa (makul derinliklerde yerleşik vaziyette ise) kazıklar tercihen her zaman adı geçen taşıma gücü yüksek ve sıkışabilirliği az olan bu formasyonlara oturtulurlar (Şekil 3.1a). Bu durumda kazığın nihai taşıma gücü, kazığın ucunun üstüne veya içine yerleştirildiği sağlam zeminin fonksiyonu olarak tanımlanırlar. Bu uygulama hallerinin çoğunda gerekli kazık uzunluğu oldukça gerçekçi olarak tesbit edilebilir (Das, 1990).

Eğer yukarıda ifade edilen makul derinlikler içinde ana kaya kütleleri yerine sıkı ve sert zemin tabakaları yer alıyorsa zemine yerleştirilecek kazık sıkı tabakanın içine birkaç metre sokularak yerleştirilir (Şekil 3.1b). Eğer kazık çarıklı olarak tesis edilecekse (uç kesiti çeşitli yöntemlerle artırılacaksa) sıkı tabakanın içinde zemine yerleştirilir.

3.1.2. Sürtünme Kazıkları

Eğer verilen arazide teknik ve ekonomik açılardan makul derinliklerde taşıma gücü yüksek ve sıkışabilirliği az olan sağlam formasyonlar bulunmuyorsa, uç kazıklarının uzunluğu çok fazla olacağından bu kazıklar ekonomik olmazlar. Bu çeşit yeraltı koşullarında, kazıklar daha yumuşak ve gevşek zemin kütleleri içinde belirli ve yeterli derinliklere kadar yerleştirilirler. Bu kazıklarda taşıma gücünün büyük bir bölümü zeminle kazık yan cidarları arasında ortaya çıkan kayma direnimleri ile karşılandığından bu kazıklara sürtünme kazığı adı verilmektedir (Şekil 3.1c).

Sürtünme kazıklarının uzunluğu zeminin kayma direncine, uygulanan yüke ve kazık boyutlarına bağlıdır. Gerekli kazık uzunluğunun belirlenmesi için geçekli zeminle kazık yanal yüzeyleri arasındaki etkileşimin sağlıklı olarak saptanmasında yakın civardaki benzer kazıklı yapılara ait tecrübelerden ve kazık yükleme deneyleri sonuçlarından yararlanılır (Das, 1990).

3.1.3. Çekme Kazıkları

Çekme kazıkları çoğu hallerde uzun ve yüksek yapılara etkiyen rüzgâr ve deprem yüklerinin karşılanması durumunda reaksiyon oluşturulması, petrol ve açık deniz sondaj platformlarına ve ayrıca yeraltı su seviyesinin altında kalan geniş alanlı yapılara etkiyen suyun kaldırma kuvvetinin karşılanması amacıyla çekme etkisinin yeterince sönmüleneceği derinliğe kadar bu kazıklar yerleştirilir (Tirant 1992). Yine rıhtım ve kıyı liman yapılarının tasarımında dalga ve gemi yüklerinin sönmülendirilmesi için de çekme kazıkları kullanılabilir (Şekil 3.1d ve e).

3.1.4. Ankraj Kazıkları

Ankraj kazıkları özellikle kayma mukavemeti parametreleri zayıf olan boşluklu ve granüler zeminlerde üst yapıya etkiyen yatay yükleri, yanal toprak basıncı ve kaldırma kuvveti itkilerini yüzeyleri boyunca oluşan kayma gerilmeleri ile derinlerdeki kaya

formasyonlarına aktarabilmektedirler. Ankraj kazıklarının kesit geometrisi üst yapı yüklerine, zemin ve taban kayasının gerilme ve deformasyon özelliklerine bağlı olarak belirlenir. Ankraj kazıkları teşkil edilirken ankraj çubuklarının içine yerleştirileceği bir çukur açılır. Eğer ankraj çubuğunun gerilme transferi yapacağı taban kayası sağlam ve geçirimsiz ise kazığın ucu kaya civatalarına benzer olarak bir sürtünme kaması ya da genişleme mansonu ile emniyete alınabilir. Yumuşak ve çatlaklı kaya zonlarında çukurun stabilitesi çimento şerbeti ya da hızlı priz alarak plastikleşebilen bir malzeme enjekte edilerek sağlanabilir. Ankraj kazıklarının taşıma kapasiteleri çubuklara etkiyen çekme gerilmeleri ve kaya kütesinden gelen sürtünme gerilmelerinin etkisi altında belirlenebilir. Sağlam kayalarda 2000 kN/m^2 , yumuşak kayalarda ise 200 kN/m^2 düzeyine ulaşabilen kayma gerilmeleri zemin ve kazığı çevreleyen serbet arasındaki sürtünmeyle taşınabilmektedir. Kayaca iletilecek yüklerin büyüklüğü arttıkça ankraj kazığının çapı onu çevreleyen şerbetin yüzey alanına bağlı olarak artacaktır (Şekil 3.1f)

3.1.5. Kompaksiyon Kazıkları

Belirli koşullar altında granüler zeminlerin öncelikle permeabilite ve relatif sıkılık gibi yerinde mühendislik özelliklerini iyileştirmek için kazıklar zemin yüzeyinden uygun şekillerde tatbik edilen çakma yöntemleri ile zemine yerleştirilirler. Bu tip kazıklara kompaksiyon kazıkları adı verilir (Vesic 1977). Kompaksiyon kazıklarının aralıkları ve uzunluklarının belirlenmesin de etken olan parametreler zeminin kompaksiyondan önceki ve kompaksiyon sonrasında sağlanması gereken relatif sıkılığı ve kompaksiyonun uygulanacağı derinliktir. Kompaksiyon kazıkları genellikle kısa ve değişken geometride inşa edilirler. Bununla beraber kazı arazi deneylerinin yapımına müsait olması açısından uygun derinliklerde dizayn edilirler (Şekil 3.1g).

Kompaksiyon kazıkları jeolojik koşullara bağlı olarak bir çok hallerde hem zemine yer değiştirme yaptıran hem de yerdeğiştirme yaptırmayan kazıkların sınıfına da dahil edilebilir. Özellikle kumlu ve çakıllı granüler zeminlerin arazi koşullarındaki mühendislik özelliklerini iyileştirmek amacıyla uygulanmaktadırlar.

3.1.6. Eğik Kazıklar

Eğer bir kazık ya da kazık grubu düşeyle belli bir açı altında zemine yerleştiriliyorsa eğik kazık adını alır. Eğik kazıklar çoğu kez yüksek istinat yapılarına etkiyen aktif toprak itkisinin karşılanmasında istinat yapısının altına yerleştirilerek ya da heyelan tehli-

kesi bulunan ve kaymakta olan şev yapılarında kayma dairesinin önüne bir set halinde şevin geometrik, zeminin geoteknik koşullarına uygun derinliklere yerleştirilerek tampon etkisi oluştururlar. Yine iskele ve liman inşaatlarında yüklerin zemine homogen ve emniyetli bir halde aktarılmasını temin etmek ve köprü ayaklarına, gemilerin imalat ve bakımlarının yapıldığı dok yapılarına etkiyen yatay veya eğik kuvvetlerin güvenle karşılanması gibi amaçlarla da eğik kazıklar tesis edilebilir (Şekil, 3.1h ve i).

3.2. İmal Edildiği Malzemenin Cinsine Göre Kazıklar

İmalatında kullanılan hammaddenin cinsine bağlı olarak kazıkları ahşap, beton, çelik ve kompozit (karışık) olmak üzere dört ana gruba ayırarak inceleyebiliriz (Vesic, 1977).

3.2.1. Ahşap Kazıklar

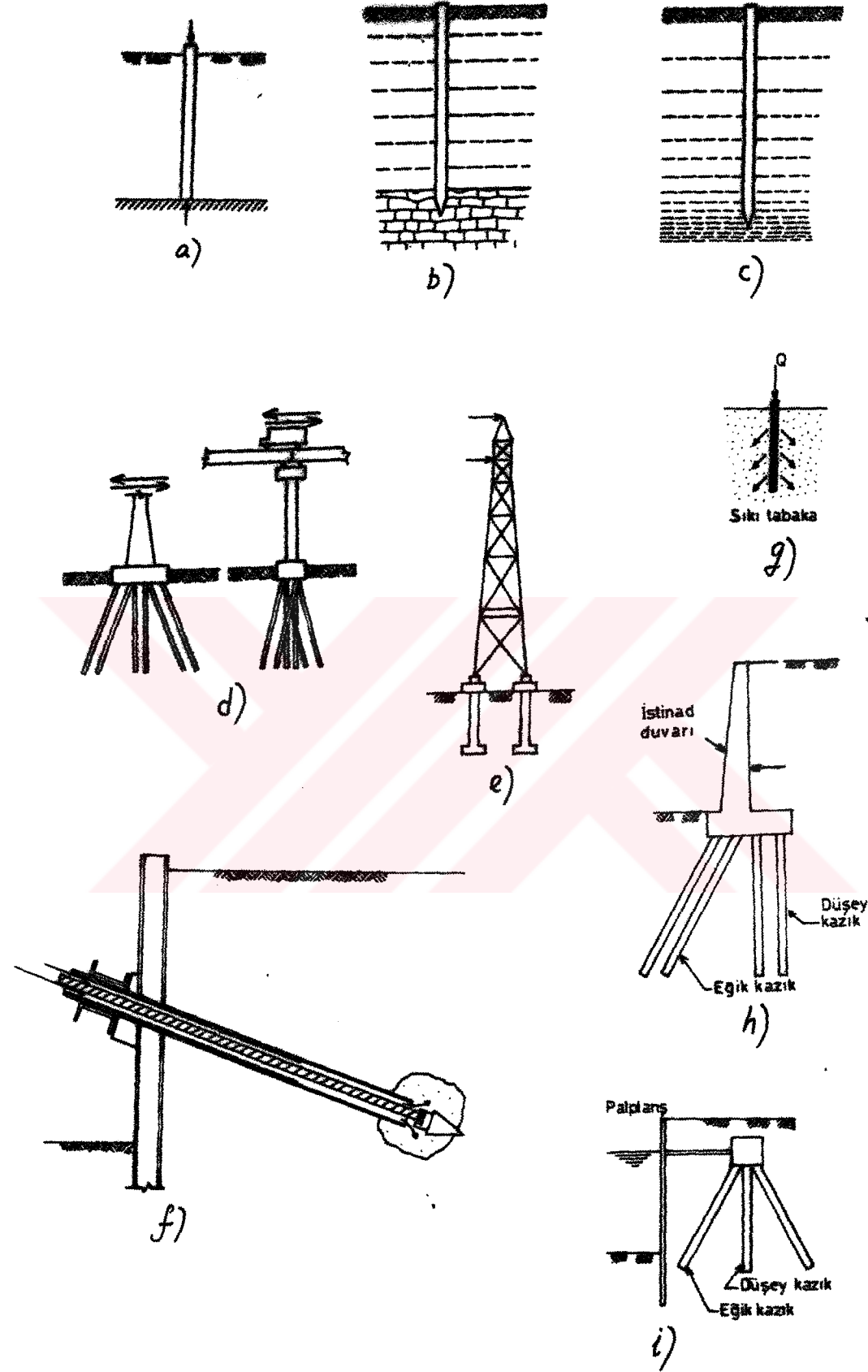
Ahşap kazıklar nitelikli bazı ağaçların gövdesi ve kollarının üzerindeki kabuklar sıyrılarak hazırlanan kerestelerden oluşturulurlar. Ahşap kazıkların bir çoğunun boyu (uzunluğu) çoğu uygulamalarda [10 - 20] m. arasında değişir. Kazık olarak kullanılacak niteliğe sahip olabilmeleri için kerestelerin düzgün, sert, darbelere dayanıklı ve kusursuz olmaları gerekmektedir. Ahşap kazıklar şaft boyunca zeminle ahşap arasında oluşan sürtünme gerilmeleri ile üst yapı yükünü zemine aktaran ve çakılarak yerleştirilmeleri sırasında zemine yerdeğiştirme hareketi yaptıran kazıklar olup kumlu zeminlerde ve yumuşak ya da sert killerde daha çok kullanılmaktadırlar.

ACI Manual of Concrete Practice No.17 (1959). Ahşap kazıkları üç karakteristik sınıfta toplamaktadır

I. A TİPİ AHŞAP KAZIKLAR: Bu kazıklar ağır yükleri taşırlar. Minimum uç çapı 350 mm. dir.

II. B TİPİ AHŞAP KAZIKLAR: Bu kazıklar orta ağırlıktaki yükleri taşırlar. Minimum uc çapı 325 mm. dir.

III. C TİPİ AHŞAP KAZIKLAR: Geçici inşaat yüklerinin taşınması için kullanılırlar. Kazık tümüyle yeraltı su seviyesinin altında olduğu zaman yapılarda sürekli olarak üst yapı yüklerini taşımak amacıyla da kullanılabilirler. Minimum uç çapları 300 mm. düzeyindedir.



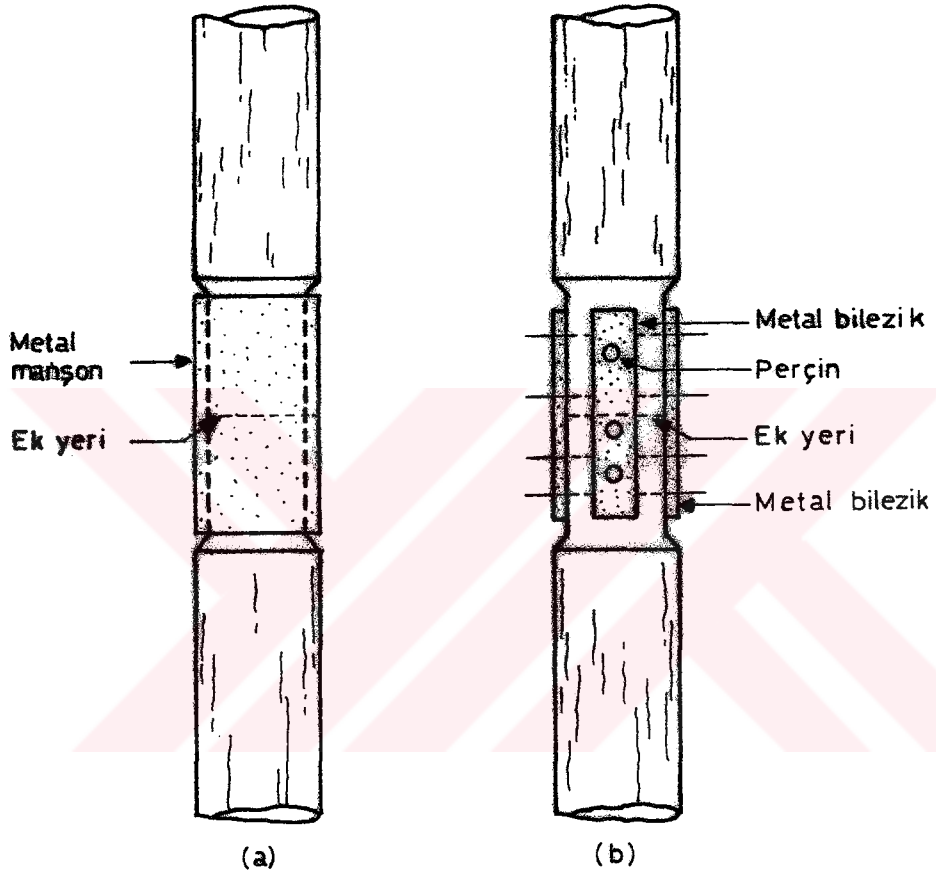
Şekil 3.1. Zemine yük aktarma mekanizmasına göre kazıkların sınıflandırılması
(a) ve (b) uç kazıkları, (c) sürtünme kazıkları, (d) ve (e) çekme kazıkları,
(f) ankraj kazıkları, (g) kompaksiyon kazıkları, (h) ve (i) eğik kazıklar

Kazık tipi ne olursa olsun minimum uç çapı 150 mm. nin altına hiçbir zaman düşmemeli. 400 mm'nin üstüne de pek çıkmamalıdır. Günümüzde özellikle Kuzey Amerika ülkelerinde 30 - 40 m. uzunluğunda ahşap kazıklar çakılabilmektedir.

Ahşap kazıklar ağır yüklere karşı pek dayanıklı değildirler. Bu yüzden ahşap kazık kapasitesi çoğunlukla 25 - 30 ton civarında sınırlanmaktadır. Zemine çakılırken uç (ayak) kısmına çelikten bir "çarık" giydirilerek çakma sırasına ahşabın hasar görmesi önlenmeye çalışılır. Kazığın kafa kısmı (üst ucu) çakma işlemleri sırasında hasar görebilir. Ağaç liflerin çekiç darbeleri nedeniyle süpürge telleri gibi ezilip paramparça olma tehlikesi vardır. Bu hasarı engellemek için de kazığın kafasına yerleştirilmek üzere metal bir band ya da kafes kullanılması tavsiye edilir.

Ahşap kazıkların birbirine bağlantı kurarak boylarını uzatmaktan kaçınmak gerekir. Özel hallerde çekme basıncı ya da yatay yük etkisi beklendiği zaman bağlama yapılabilir. Bununla birlikte eğer bağlama yapmak kaçınılmaz şart ise bu bağlantı metal manşonlarla yapılabilir (Şekil 3.2a) veya metal band (kayış) lar da bağlantı elemanı olarak kullanılabilirler. Manşonların uzunluğunun kazık çapının 5 mislinden daha az olması önerilir (Şekil 3.2b). Kazığın ayak kısmının ucu (tabanı) kare enkesite sahip olacak şekilde kesilirse hem zemine tam temas kurabilir, hem de daha uzun ömürlü olur. Kazıkların birbirine ucuca bağlanacağı bölümler metal manşon veya kayışların yüzeylerine iyice kontak kurabilsin diye özenle düzenlenmelidir.

Ahşap kazıkların satüre olmuş (suya doygun) zeminler tarafından çevrelenmeleri sözkonusu olduğunda (çevresinde suya doygun zeminler bulunursa) hasara uğramadan kalmaları belirsizlik taşımaktadır. Bununla beraber deniz suyunun çevresel etkisine maruz ahşap kazıklar değişik mikroorganizmaların faaliyetleri sonucunda birkaç ay gibi çok kısa bir sürede geniş hasara uğradıkları tesbit edilmiştir. Ahşap kazıklar su seviyesinin üstünde kalan zonlarda yereldikleri zaman da çeşitli asalak ve böceklerin saldırısına uğrayabilmektedir. Yine uzun süreli ve yüksek ısı yayan reaksiyonlar kimyasal aşınmaya yol açabilmektedir. Tüm bu hasarların önüne geçebilmek için ahşap kalıplar çepeçevre bir çelik zırh yada ince bir beton tabakasıyla mekanikve fiziksel hasarlara karşı kaplanabilirler. Yine kreozot yağı gibi nitelikli bazı kimyasal solüsyonların yüzeylerine sürülmesi veya yüksek vakumlu hava yardımıyla ahsabın bünyesindeki gözeneklerde yeralan nemin tamamı emilmek suretiyle ahşap kurutulularak (emprenye ahşap uygulaması) kimyasal ve fiziksel korunma sağlanabilmektedir (Hunt, 1986).



Şekil 3.2 Ahşap kazıklar ve bağlanması (Das, 1990)
(a) Metal halka yada manşonlarla bağlama
(b) Metal bilezikler ve kayışlarla bağlama

3.2.2. Beton Kazıklar

Beton kazıklar başlıca iki temel grupta incelenebilmektedirler (Das, 1990) :

- a) Ön dökümlü (prekast) beton kazıklar
- b) Yerinde dökülen beton kazıklar

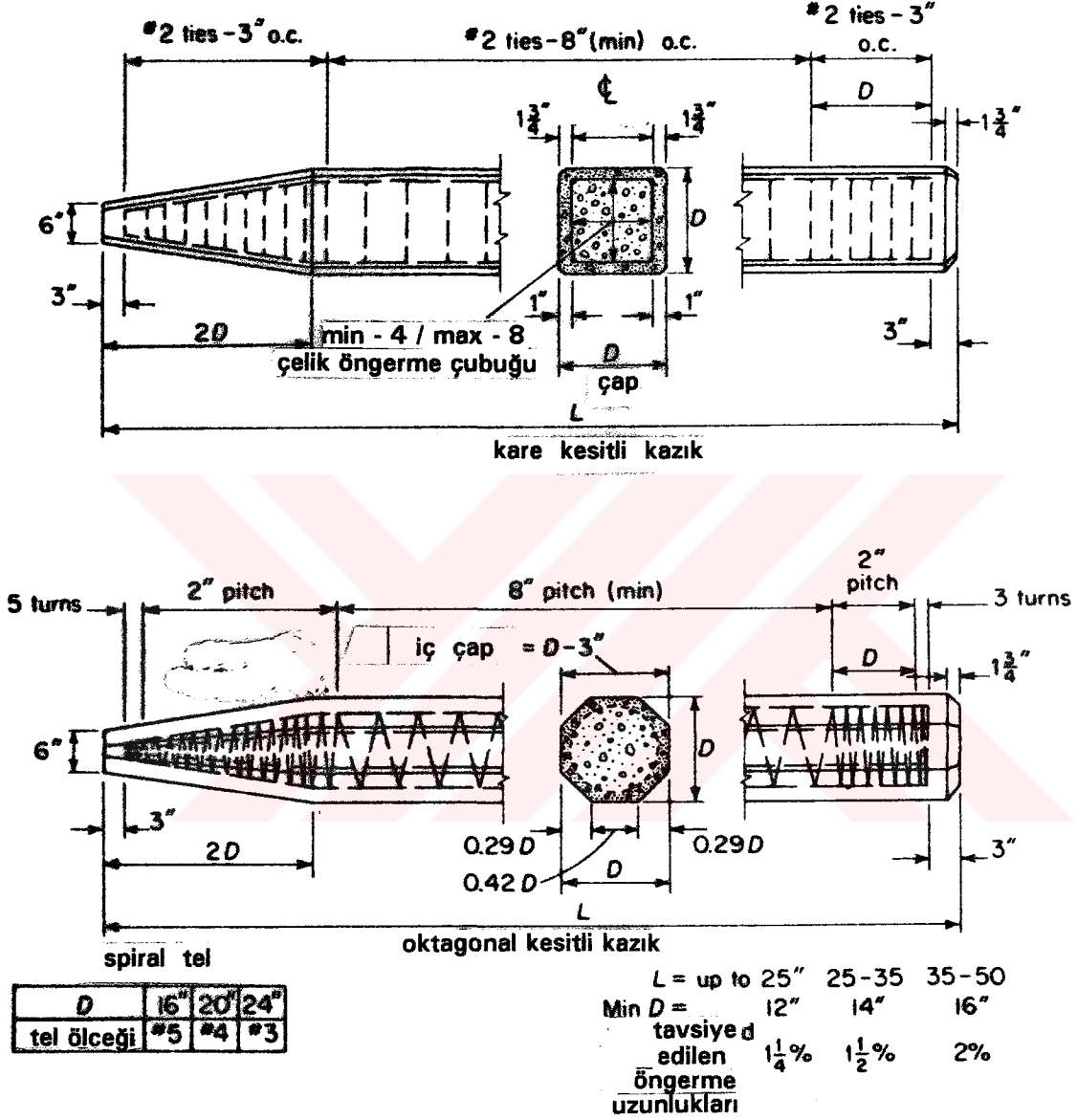
a) Ön Dökümlü (Prekast) Beton Kazıklar

Prekast kazıklar yeterli görülen bir "öngerme" uygulanarak hazırlanabilirler ve genelde kare, dairesel yada oktagon (sekizgen) en kesite sahiptirler (Şekil 3.3). Kazıkların yerden kaldırılması, taşınması ve yere konulması gibi zorunlu fiziksel hareketler sırasında oluşan eğilme momentlerine de karşı kazığın gerekli direnci göstermesini sağlayacak kadar bir öngerme uygulanabilir. Kazıklar prefabrikasyon tesislerinde istenen uzunluklarda döküldükten sonra şantiyeye taşınmadan önce mutlaka kürünü tamamlamış olmalı bir başka deyişle transfer problemleri olmaması için gerekli minimum süre içinde kür edilmelidirler.

Prekast kazıklar yüksek dayanımlı çelik öngerme çubukları kullanılarak öngerilmeli hale getirilirler. Çelik çubukların nihai dayanımları $[1.8 \times 10^6]$ kN/m² düzeyindedir. Prekast kazıklar bir öngerme ünitesinde, çelik çubuklar (kablolar) $[0.9 \times 10^6 - 1.3 \times 10^6]$ kN/m² civarında bir yük ile gerilerek imal edilmektedirler. Çelik çubuklar (gergi kabloları) bu halde gerili iken çevreleri öngörülen kesit alanını dolduracak biçimde betonla doldurulmaktadır. Adı geçen betonun mix dizaynı özenle yapılmış olmalıdır. Hedeflenen küre ulaşıldıktan sonra çelik çubuklar kesilir ve beton kazık artık basınç yüklerini emniyetle taşımaya hazırdır. Şekil 3.3 kare yada oktagon kesitli beton kazıkları genel olarak resmetmektedir. Çizelge 3.1'de ABD'de yaygın uygulamalarda kullanılan tipik prekast kazıklara ait çeşitli geometrik ve mekanik teknik büyüklükler görülmektedir.

b) Yerinde Dökülen Beton Kazıklar

Yerinde dökülen beton kazıklar (Fore Kazıklar) önceden forajla zeminde açılan kuyuların içinde – donatı iskeleti önceden bağlanıp hazırlanarak kuyu içine büyük kapasiteli vinçler aracılığıyla yerleştirilip monte edildikten sonra kuyu haznesinin içine tamamıyla beton doldurulmak suretiyle – imal edilmektedirler. Günümüz inşaatlarında yaygın olarak kullanılan ve hemen hepsi yapımcıları tarafından patentli değişik yerinde dökümlü beton kazık yapım yöntemi mevcuttur. Bu kazıklar kabaca iki ana sınıfta gruplandırılabilirler.

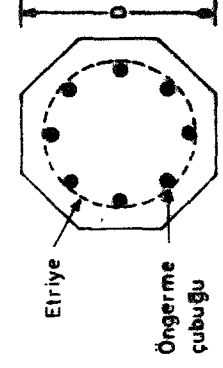
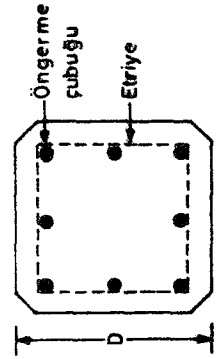


Şekil 3.3 Öndökümlü (prekast) beton kazıklar (Teng, 1962)

Çizelge 3.1 ABD'de yaygın olarak kullanılan beton kazıkların geometrik ve mekanik bazı özellikleri (Das, 1990)

Kazık şekli (*)	Çap (D) (mm)	Kazık en kesit alanı (cm ²)	Kazığın çevresi (mm)	Öngerme çubuk sayısı		Minimum efektif öngerme kuvveti (kN)	Kesit modülü (m ³ x10 ⁻³)	Tasarlanan taşıma kapasitesi	
				12.7 mm çap	11.1 mm çap			Beton dayanımı	41.4
S	254	645	1016	4	4	312	2.737	556	778
O	254	536	838	4	4	258	1.786	462	555
S	305	929	1219	5	6	449	4.719	801	962
O	305	768	1016	4	5	369	3.097	662	795
S	356	1265	1422	6	8	610	7.489	1091	1310
O	356	1045	1168	5	7	503	4.916	901	1082
S	406	1652	1626	8	11	796	11.192	1425	1710
O	406	1368	1346	7	9	658	7.341	1180	1416
S	457	2090	1829	10	13	1010	15.928	1803	2163
O	457	1729	1524	8	11	836	10.455	1491	1790
S	508	2581	2032	12	16	1245	21.844	2226	2672
O	508	2136	1677	10	14	1032	14.355	1842	2239
S	559	3123	2235	15	20	1508	29.087	2694	3232
O	559	2587	1854	12	16	1250	19.107	2231	2678
S	610	3658	2438	18	23	1793	37.756	3155	3786
O	610	3078	2032	15	19	1486	34.794	2655	3186

(*) S = Kare Kesitli , O = Oktagonal Kesitli



I. Kılıflı Yerinde Dökme Beton Kazıklar

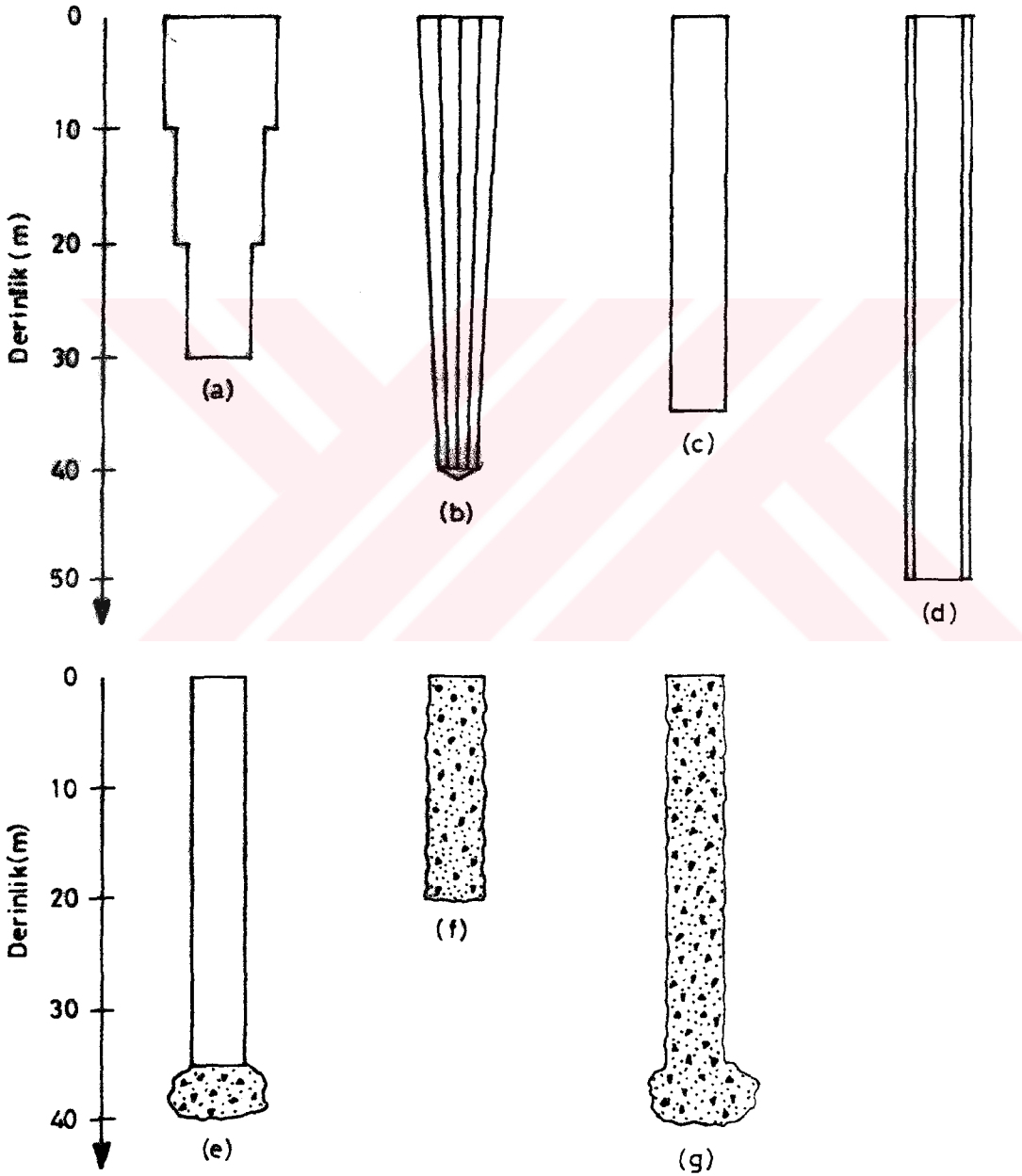
II. Kılıfsız Yerinde Dökme Beton Kazıklar

Her iki grupta da foraj çukurunun tabanında "pabuç bölgesi" adı verilen bir kaidede tesis edilmektedir.

Kılıflı yerinde dökme beton kazıklar titreşimli çekiçler (vibrohammer) yardımıyla üst uçlarından çekicin tokmağına sabitlenen çelik kılıfların önceden burgulu sondaj makineleri ile açılan foraj çukurlarının içine titreşimli yük etkisinde sokulması ile imal edilmeye başlanırlar. Kazık hedeflenen derinliğe ulaştığı zaman vibrohammer'in tornaları "casing borusu" olarak da adlandırılan çelik kılıfı bırakır ve casing borusunun içi artık donatıların yerleştirilmesine hazırdır. Paspayı çubukları takılan donatılar vinç yardımıyla casing borusunun (kılıfın) içine sokulduktan sonra "tremi" yöntemiyle mix dizaynı uygun beton tercihen süperplastikleştirici de kullanılarak kılıfın içine dökülür ve vibratörler aracılığıyla betonun homajen bir şekilde yayılması sağlanır. Kılıfların sağladığı en önemli avantajlar yumuşak, boşluklu ve kabarma tehlikesi bulunan zemin ortamlarında dökülen betonun zamanla yatay ve düşey yönde zemin boşluklarına kaçmasını önlemek, korozif etkilere karşı, don etkisine karşı betonarmeyi korumak ayrıca kabarma sırasında oluşan çevresel basınçları azaltmaktır. Bu avantajlardan yararlanmanın zorunlu olduğu hallerde casing borusu (kılıf) zemin içinde bırakılabilir. Fakat yukarıda değinilen etkenlerden mümkün olduğu kadar uzak bir zemin strüktüründe çalışıyorsak casing borusunu beton prizini tamamen almadan (titreşimlerin betonarmeyi olumsuz etkilememesi için) kısa bir süre önce yine vibrohammer yardımıyla yukarı çekerek diğer kazıklarda kullanılmak üzere temizleyip saklamakta mümkündür. Şekil 3.4a, b, c ve d'de altlıksız kılıflı beton kazıklara ait örnekler görülmektedir. Şekil 3.4e kılıflı yerinde dökme beton kazıklara bir örnek göstermektedir. Adı geçen ayaklar; kılıfın içine az bir miktar beton döküldükten hemen sonra vibrohammer yada vinç yardımıyla yeterli ağırlıktaki bir tokmağın taze betonun üstüne düşürülmesi ve böylece betonun yanlara doğru kabarıp genişleyerek yayılması sonucunda oluşturulmaktadır.

Şekil 3.4f ve g kılıfsız-ayaksız ve kılıfsız-ayaklı beton kazıklara ait iki tipik şematik kesiti ifade etmektedir. Şekil 3.4f'de kılıfsız yerinde dökme beton kazığın ayaksız, Şekil 3.4g ise kılıfsız yerinde dökme beton kazığın ayaklı olarak tesis edilmiş halini göstermektedir. Kılıfsız yerinde dökme beton kazıklar tıpkı kılıflı yerinde dökme

beton kazıklar gibi imal edilirler. Ancak yukarıda belirtildiği gibi casing borusu vibrohammer yardımıyla projede gereken derinliğe kadar yerleştirildikten sonra çukurun içi betonlanır ve beton prizini almadan kısa bir süre önce casing borusu yine vibrohammer (titreşimli çekiç) ile yukarı çekilir. Böylece kılıflı yerinde dökme beton kazık kılıfsız yerinde dökme beton kazık durumuna getirilebilir.



Şekil 3.4. Yerinde Dökme Beton Kazıklar (Das, 1990)
(a), (b), (c) ve (d) Altlıklı kılıflı beton kazıklar, (e) Kılıflı yerinde dökme beton kazıklar, (f) ve (g) Kılıfsız - ayaklı ve ayaklı beton kazıklar

3.2.3. Çelik Kazıklar

Çelik kazıklar genellikle ya çelik borular ya da "H" kesitli çelik profiller şeklinde kullanılırlar. Boru biçimindeki çelik kazıklar borunun alt ucu açık ya da kapalı olarak zemine sokulabilirler. "H" kesitli çelik kazıklarda profilin flanş genişliği ve kesitlerin eylemsizlik momentleri çelik kirişlerde olduğu gibi kullanılabilir. Bununla beraber "H" kesitli çelik kazıklar (profiller) çoğu kez putrel ayak ve flanş kalınlıkları aynı olduğu için tercih sebebidirler. Flanş genişliği, kesitin eylemsizlik momenti ve ayak kalınlığı flanşların kalınlığından daha küçüktür. Çizelge 3.2 çelik kazıkların en çok kullanıldığı ABD'de en çok kullanılan standart bazı H kesitli çelik kazıkların bazı boyutsal özelliklerini göstermektedir (Das, 1990).

Bir çok durumlarda boru şeklindeki çelik kazıkların içi, kazık zemine sokulduktan sonra betonla doldurulmaktadır.

Çelik kazıklar gerektiği zaman kaynak ya da perçin kullanılarak birbirine tutturulur. Böylelikle efektif kazık boyu artırılabilir. Şekil 3.5a bir "H" kesitli çelik profil kazığı için kaynakla yapılan bağlantının tipik koşullarını göstermektedir. Şekil 3.5b ise boru biçimindeki bir çelik kazığın kaynakla yapılan bağlantısına tipik bir örnek gösterimi ifade etmektedir. Şekil 3.5c ise yine "H" kesitli bir çelik kazık için perçinlenmek suretiyle yapılan bağlantıların biçimini ve detaylarını şematize etmektedir (Das, 1990).

Sıkı çakıl, şeyl ve yumuşak kaya zemin gibi zemin ortamı açısından zor kazı koşullarının beklentisi söz konusu olduğu zaman çelik kazıkların zemine sürülen uç kısmına Şekil 3.5d ve e'de gösterilen "çarıklar" takılır.

Çelik kazıklar korozyona karşı korunabilmelidir. Sözelimi bataklık, turba ve diğer organik zeminler korozyon tehlikesine çok açıktır. Zemin içindeki su ile oksijenin birlikte reaksiyonu sonucunda kazık cidarlarında metalhidroksit bileşimlerinin oluşması biçiminde kendini gösteren korozyonun gelişme ve ilerleme hızı tamamen zemin strüktürüne, kazı derinliğine ve tabii su muhtevasına bağlıdır.

Çelik kazıkların yerleşeceği zemin ortamının pH derecesi 7'den daha büyük olmalıdır. Korozyon etkisini azaltmak için alınabilecek belli başlı önlemler aşağıdaki gibi sıralanabilir (Fleming, Weltman, Randolph, 1985).

Çizelge 3.2 ABD'de yaygın olarak kullanılan H kesitli çelik kazıkların bazı geometrik ve mekanik büyüklükleri (Das, 1990)

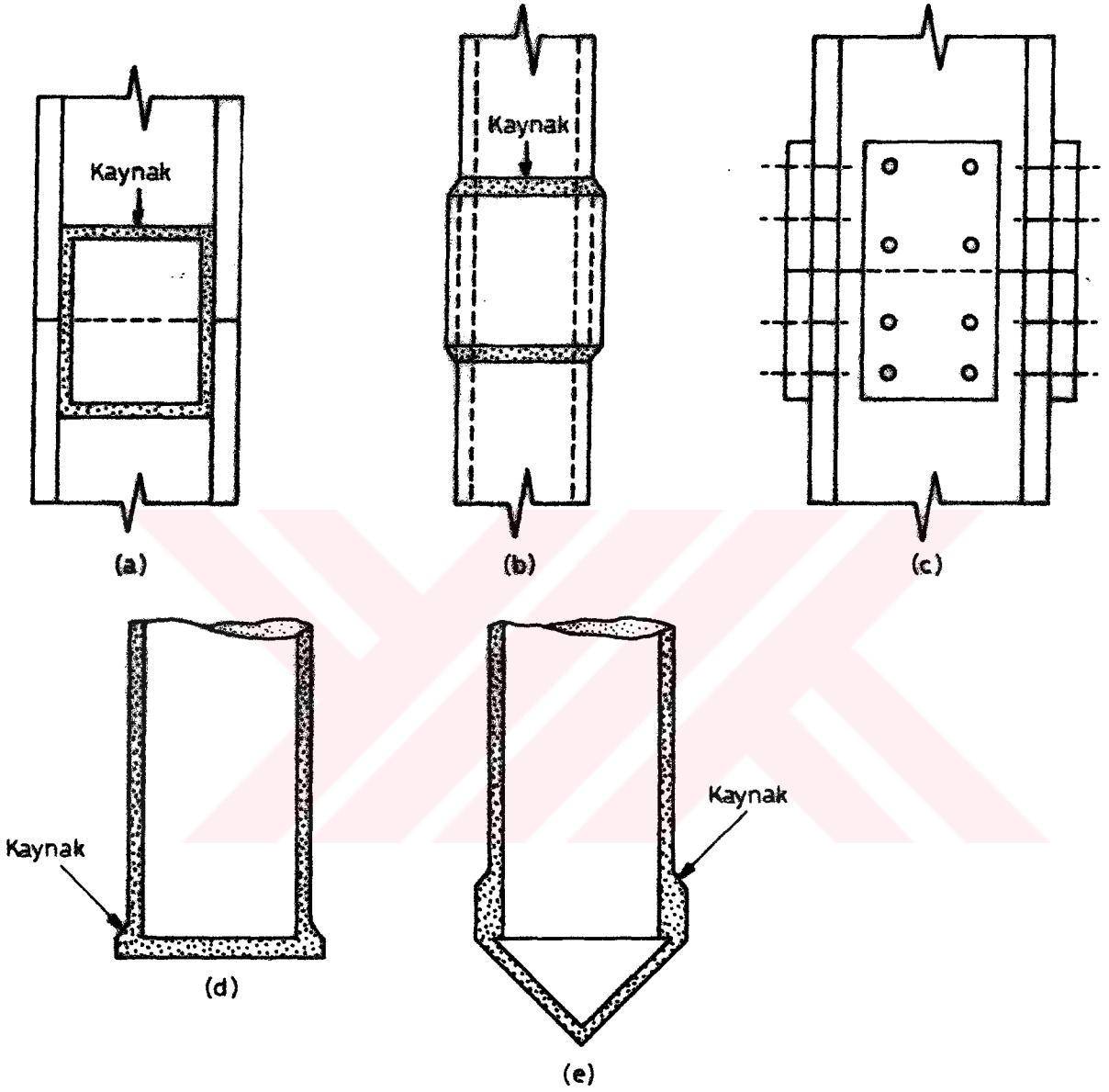
Tasarım, boyutları (mm) x ağırlık (kN/m)	Uzunluk [d ₁] (mm)	Kesiti alanı [x] (m ² x10 ⁻³)	Flanş ve baş- lık kalınlığı [w] (mm)	Flanş genişliği [d ₂] (mm)	Eylemsizlik momenti (m ⁴ x10 ⁻⁶)	
					[I _{xx}]	[I _{yy}]
HP200 x 0.52	204	6.84	11.3	207	49.5	16.8
HP250 x 0.834	254	10.8	14.4	260	123	42
x 0.608	246	8.0	10.6	256	87.5	24
HP310 x 1.226	312	15.9	17.5	312	271	89
x 1.079	308	14.1	15.49	310	237	77.5
x 0.912	303	11.9	13.1	308	197	63.7
x 0.775	299	10.0	11.05	306	164	62.9
HP330 x 1.462	334	19.0	19.45	335	370	123
x 1.264	329	16.5	16.9	333	314	104
x 1.069	324	13.9	14.5	330	263	86
x 0.873	319	11.3	11.7	328	210	69
HP360 x 1.707	361	22.2	20.45	378	508	184
x 1.491	356	19.4	17.91	376	437	158
x 1.295	351	16.8	15.62	373	374	136
x 1.060	346	13.8	12.82	371	303	109

1. Tasarımda öngörülen en kesit kalınlığının mekanik koşullar elverdiği sürece büyük seçilerek metal kazanımı sağlamak

2. Bir çok hallerde kazığın çalışan kesit alanlarının epoxy türevli reçinelerle kaplanması da korozyon etkisini engellemekte başarıyla uygulanabilmektedir. Bu kaplamalar kazık zemine sokulurken kolay kolay hasar görmezler.

3. Kazık gövdesine -kazık zemine sokulmadan önce- korozyona karşı antipas içeren bazı kimyasal bileşimleri içeren boyaların sürülmesi de koruyucu bir önlem olmaktadır.

4. Çelik kazıkların prefabrike beton bir kılıfın içine alınması da korozyon etkisini uzun yıllarca geciktirebilmektedir.



Şekil 3.5 Çelik kazıklar ve bağlanması (Das, 1990)

(a) H kesitli kazıkların kaynakla bağlanması, (b) Boru kesitli kazıkların kaynakla bağlanması, (c) H kesitli kazıkların perçinle bağlanması, (d) Yuvarlak-düz kesitle uc uca kaynaklanması, (e) Konik uçla yapılan kaynak bağlantısı

3.2.4. Kompozit Kazıklar

Kompozit kazıkların alt ve üst kısımları farklı özelliklerdeki malzemelerden yapılmıştır. Örnek olarak kompozit kazıklar çelik ve beton veyahut ahşap ve beton malzeme çiftleri kullanılarak imal edilebilirler. Çelik ve beton kullanılarak şekillendirilen kompozit kazıklarda alt kısım çelik üst kısım ise yerinde dökme yöntemle, betondan teşkil edilmektedir. Bu kullanım şekli genellikle yerinde dökme beton kazıkların taşıma güçleri yeterli olmayarak ilave taşıma gücü gerektiren durumlarda uygulanan yöntem olup, beton kazığın taşıma gücü çok yukarılara çekilebilmektedir. Ahşap ve betonun beraber kullanıldığı sistemlerde ise genellikle alt kısımda kalıcı (statik) su seviyesinin başladığı zondan (derinlikten) itibaren ahşap, su seviyesinin üstünde kalan üst zonde ise beton kullanılarak teşkil edilen bölüm vardır. Her iki sistemde de beton yukarıda kalmaktadır. Her iki sistemde de karşılaşılan en büyük zorluk birbirinden farklı özelliklere sahip iki malzemenin birleşim kesitlerindeki aderans-bağlantı zorluklarıdır. Bu nedenle kompozit kazıklar yaygın ve ticari değildirler. Zorunlu olmadığı sürece pek tercih edilmezler.

Çizelge 3.3 kazıklı temel uygulamalarında sıkça kullanılan seçkin bazı kazık tiplerinin bir listesini vermektedir.

3.3. Yapım Şekillerine Göre Kazıklar

Uygulamada kullanılan yapım teknolojileri dikkate alındığında, genel bakış açısıyla kazıklar yapım şekillerine göre başlıca iki grupta toplanabilmektedir. Bunlar sırasıyla zemine büyük ya da küçük ölçekte yer değiştirme hareketi yaptıran "çakma kazıklar" ile zemine yerdeğiştirme hareketi yaptırmayan "sondaj kazıkları" olarak adlandırılmaktadır. Aşağıda yapım şekillerine göre gruplandırılan sözkonusu kazıkların ana özellikleri kısaca anlatılmaktadır.

3.3.1. Çakma Kazıklar

Günümüzde çeşitli projelerde uygulanma potansiyeli taşıyan bazı çakma kazık türleri Şekil 3.6'da şematik olarak görülmektedir. Çakma kazıklara ait kesit ve boyut geometrisi

Çizelge 3.3. Kazıklı temel uygulamalarında sıkça kullanılan kazık tiplerinin özellikleri ve karşılaştırılması

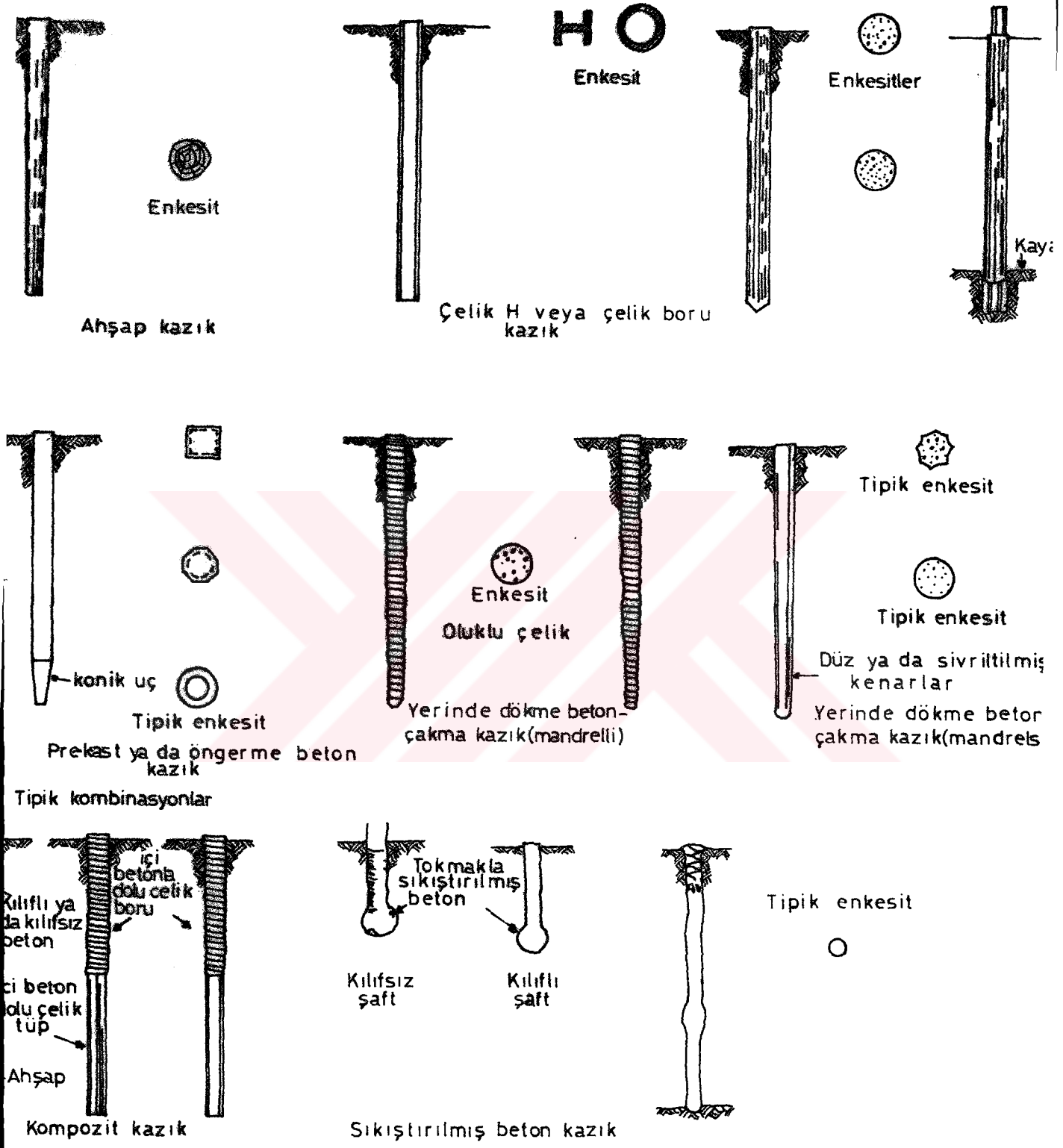
Kazık tipi	Kullanılan kazık uzunlukları	Kazığın maksimum uzunluğu	Usual load	Tahmin edilen maksimum yük	Düşünceler
Çelik	15-60 m	Pratik olarak sınırlanmıştır	300-1200 kN		<p>Avantajları :</p> <p>a. Kesilerek yada ek yapılarak boyları istenildiği gibi ayarlanabilir.</p> <p>b. Yüksek çöke basınçlarına karşı çok dirençlidir.</p> <p>c. Sıkı, sert zeminlerde ve yumuşak kayalarda ortama rahatça penetre olabilirler.</p> <p>d. Yüksek taşıma kapasitelerine sahiptirler.</p> <p>Dezavantajları :</p> <p>a. Göreceli olarak pahalıdır.</p> <p>b. Çakma işlemleri sırasında önemli ölçüde ses ve gürültü oluşur.</p> <p>c. Korozyon riski tümüyle ortadan kaldırılamaz.</p> <p>d. H kazıkları yüksek çakma basınçları etkisinde deforme olabilirler.</p> <p>Avantajları :</p> <p>a. Zor çakma koşullarında başarıyla uygulanabilirler.</p> <p>b. Korozyona karşı dirençlidirler.</p> <p>c. Dayanım ve dayanıklılık performansları ayarlanabilir.</p> <p>Dezavantajları :</p> <p>a. İmalattan sonra kazık boyunun değiştirilmesi zordur.</p> <p>b. Hasarsız ulaşım imkanları kısıtlıdır.</p> <p>Avantajları :</p> <p>a. Göreceli olarak ucuzdur.</p> <p>b. Beton dökümünden önce kalite kontrolü yapılabilir.</p> <p>c. Kazık boyunun uzatılması kolaydır.</p> <p>Dezavantajları :</p> <p>a. Betonlamadan sonra ek yapımı zordur.</p> <p>b. Kalınlığı ince kaplama boruları zemine çakılırken tahrip olabilmektedir.</p> <p>Avantajları :</p> <p>a. Oldukça ekonomiktirler.</p> <p>b. Beton aniden yükselmeye başlarsa işlem durdurulabilir.</p> <p>Dezavantajları :</p> <p>a. Beton hızlı dökülürse bünyede istenmeyen boşluklar oluşabilir.</p> <p>b. Betonlamadan sonra ek yapımı zordur.</p> <p>c. Yumuşak zeminlerde çukur yan yüzeylerinden çukura ve betona ufalanan ve akon malzemeler girişim yapar.</p> <p>Avantajları :</p> <p>a. Ekonomiktirler</p> <p>b. Transfer ve montajları kolaydır.</p> <p>c. Çeşitli hasarlara karşı önceden kalıcı tedbirler alınabilir.</p> <p>Dezavantajları :</p> <p>a. Yeraltı su seviyesinin altında kullanılmaları sakıncalıdır.</p> <p>b. Sert çakma koşullarında mekanik tahribata uğrarlar.</p> <p>c. Taşıma kapasiteleri sınırlıdır.</p> <p>d. Ek yapıldığı zaman çekme dayanımları düşer.</p>
Prekast beton	Prekast 10-15 m Öngerme 10-35 m	Prekast 30 m Öngerme 60 m	300-3000 kN	Prekast 800-900 kN Öngerme 7500-8500 kN	
Kıbfı yerinden dökme beton	5-15 m	15-40 m	200-500 kN	800 kN	
Kılıfsız yerinde dökme beton	5-15 m	30-40 m	300-500 kN	700 kN	
Ahşap	10-15 m	30 m	100-200 kN	270 kN	

ile ilgili bazı parametrik veriler ile hangi zeminlerde ve üst yapı yüklerini zemine aktarma biçimlerine dayalı olarak nasıl kullanıldıkları Çizelge 3.4'de özetlenmektedir. Çizelge 3.5'te ise değişik kesit çapları için taşıyabildikleri maksimum işletme yükleri gösterilmiştir (Hunt, 1986).

Çakma kazıklar serbest düşüm yapabilen mekanik bir çekicinin darbeleri ile veya titreşim yaratan bir mekanik donanım vasıtasıyla zemine çakılırlar. Bu kazıklar çakılmaları sırasında özellikle gevşek granüler zeminlerin bazı fiziksel özelliklerini artırıcı etki gösterirken, kohezyonlu zeminlerin kayma mukavemeti parametrelerini örselenmelerden dolayı geçici olarak azaltabilmektedirler. Kısmen yumuşak alüvyonlu tabakaların hafif ya da ağır yükler etkisi altında stabilitesini sağlamak için çok uygun olan bu kazıklar yük aktarma mekanizması açısından sürtünme kazıklarına daha fazla prim tanımaktadır (Hunt, 1986).

Çakma kazıkların yaygın boyları ahşap kazıklarda [15 - 20] m'den, açık deniz platformlarında kullanılan çelik kazıklarda [150 - 200], hatta 400 m'ye kadar ulaşabilmekte; taşıma kapasiteleri ise yine ahşap kazıklarda [25 - 30] ton'dan çelik kazıklarda [3500 - 4000] tona kadar çıkabilmektedir. Genel olarak çakma kazıkların zemine yerleştirilmesinde mekanik bir donanım ve bu donanıma bağlantılı olarak kazığın başlığına darbeler indiren bir çekiç kullanılır. Zeminin özelliklerine, proje yüklerine ve çevre şartlarına bağlı olarak tek etkili, çift etkili, dizel ve vibratörlü tipleri bulunan bu çekiçlerin her darbeye kazığa ve zemine aktardıkları enerji 13. bölümde daha ayrıntılı ele alınan formüllerle belirlenebilmektedir.

Çakma kazıkların yapımı sırasında ortaya çıkan gürültü ve titreşim etkileri, mali portresinin dışında bu kazıkların yapımına, özellikle yoğun yapılaşmanın bulunduğu ortamlarda izin vermemektedir. Çakma kazıkların mali portresi Çizelge 3.6'da belirtildiği gibi sondaj kazıklarına kıyasla oldukça pahalı olabilmekte, bununla beraber ağır ve şiddeti büyük yüklerin kısıtlı çalışma sahalarında zemin ortamına aktarılması kaçınılmaz olduğunda bu kazıkların uygulamada kullanılmaları pratik açılardan zorunlu olmaktadır.



Şekil 3.6 Yaygın olarak kullanılan bazı çakma kazıklar (NAVFAC, 1986)

Çizelge 3.4 Çakma kazıkların tipik özellikleri ve uygulamaları (Hunt, 1986)

Kazık Tipi	Yük Taşıma Kapasitesi (KN)	Uzunluk (m)	Uygulamalar
Ahşap kazıklar	100 - 500	10 - 20	Kumlu, siltli ve killi zeminlerde sürtünme kazığı olarak kullanılırlar
Çelik H kazıklar	400 - 2000	10 - 30*	Kayalarda ve sert zeminlerde uç kazığı, killerde ise sürtünme kazığı olarak kullanılırlar
Çelik boru kazıklar	400 - 1200	10 - 30*	Kayalarda ve sert zeminlerde uç kazığı, yumuşak zeminlerde ise sürtünme kazığı olarak kullanılırlar
Prekast beton kazıklar	200 - 2000	10 - 15	Kumlu ve çakıllı zeminlerde sürtünme kazığı, kayalarda ve sert zeminlerde uç kazığı olarak kullanılırlar
Öngermeli beton kazıklar	200 - 2000	20 - 30	Kumlu ve çakıllı zeminlerde sürtünme kazığı kayalarda ve sert zeminlerde uç kazığı olarak kullanılırlar
Yerinde dökme beton kazıklar	300 - 700	10 - 30	Kumlu ve siltli zeminlerde sürtünme kazığı olarak kullanılırlar
Kompozit kazıklar	300 - 800	20 - 40	Birleşim kompozisyonuna bağlı olarak sürtünme veya uç kazığı olarak kullanılırlar
Sıkıştırılmış beton kazıklar	600 - 1500	5 - 20	İri daneli, çakıllı granüler zeminlerde uç kazığı olarak kullanılırlar

(*) : Eksiz yekpare uzunluklardır. Gerektiğinde çeşitli bağlantı elemanları ile uzunlukları arttırılabilir.

Çizelge 3.5 Değişik kesit çaplarına sahip bazı çakma kazıkların uygulamada taşıyabildikleri işletme yükleri (Hunt, 1986)

Kazık Tipi	Yük (kN)
Ahşap kazık (uç çapı 20cm)	100 - 300
Prekast yada öngermeli beton kazık	
• 30 cm çaplı dairesel kesitli	200 - 600
• 50 cm çaplı kare kesitli	700 - 2000
Çelik-H kesitli kazık	
• HP 10x42	500 - 750
Çelik - boru kesitli kazık	
• İçi betonla dolu, mandrelsiz	
• 10 ^{3/4} x0.188 boru kesitli	300 - 500
• 10 ^{3/4} x0.250 boru kesitli	400 - 700
• 12 ^{3/4} x0.312 boru kesitli	500 - 800
• 14x0.312 boru kesitli	600 - 900
• 16x0.375 boru kesitli	1000 - 1200
• Monotüp	300 - 500

3.3.2. Sondaj Kazıkları

Sondaj kazıkları (fore kazıklar) sondaj karakterli bazı mekanik donanımların zeminde açtıkları foraj çukurlarının içine donatı aksamı yerleştirildikten sonra betonla doldurulması suretiyle imal edilirler. Foraj çukurunun açılmasında zeminin çalışma koşullarını zorlaştırıcı bir özelliği bulunmadığı sürece daha ekonomik olduğu için burgulu donanımlar tercih edilirler. Sondaj kazıklarında yapım tekniğine bağlı olarak yanal toprak basınçları karşılama özelliğinden dolayı shaft rezistansları çakma kazıklara kıyasla daha düşük olup çoğu uygulamalarda yük aktarma mekanizması açısından uç kazıklarına daha fazla prim tanınmaktadır (Hunt, 1986). Bununla beraber kısmen de olsa üst yapı yüklerini shaft boyunca oluşan sürtünme gerilmeleri ile de zemine aktarabilmektedir.

Sondaj kazıkları, yüksek taşıma kapasitesi ve kaldırma kuvvetlerine karşı stabilitenin sağlanmasını gerekli kılan durumlarda, sert kil zeminlerde ayrılmış kaya

zonlarının moloz ve granüler çakıllı ardalamaların hakim olduğu ve bu nedenle çakma kazık uygulanabilme şartlarının zorlaştığı zonlarda, çevre ve geoteknik ortam koşullarının limitlendirdiği gürültü ve titreşim parametrelerinin çakma kazıklar açısından önemli bir kısıt faktörü olduğu hallerde çakma kazıklara kıyasla tercih sebebidirler. Gerek mali portrelerinin çakma kazıklara kıyasla avantajlı olması gerekse de son yıllardaki teknolojik gelişmelere paralel olarak imal edilen yeni mekânîk donanımlar sayesinde saha içi işlem ve kazık yapım faaliyetlerinin çok kısa sürede tamamlanabilmesi nedeniyle günümüzde en az çakma kazıklar kadar uygulanabilme olanağı bulabilmektedirler.

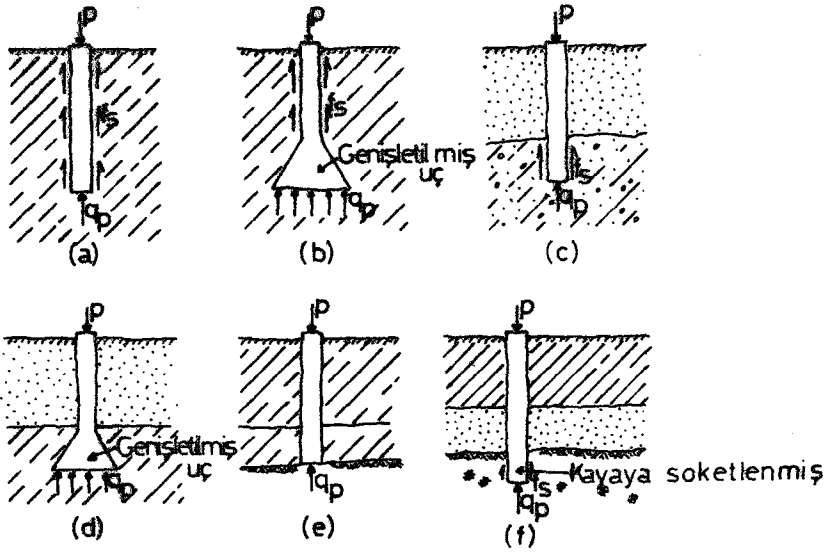
Sondaj kazıkları yapım teknikleri nedeniyle zeminde yerdeğiştirmeye yolaçmazlar. Zeminin yerinde fiziksel ve mekanik özelliklerine bağlı olarak açılan foraj çukurunun içine su gelimini ortadan kaldırmak ve ufalanan zemin daneciklerinin stabilitesini kaybederek çukur içine akışlarını önlemek amacıyla kuyu stabilitesini sağlayıcı ve arttırıcı yönde "kaplama" ya da "casing borusu" adı da verilen çelik kılıflardan yararlanılabilmektedir. Sondaj kazıklarında shaft çapı pek çok hallerde en az 60 cm. olmakta, su altında kalan uygulamalarda bu çap artırılabilmekte, uç taşıma gücünü artırabilmek için özel aletler kullanılarak "genişletilmiş uç" uygulamasına gidilebilmektedir.

Sert kohezyonlu zeminler sondaj kazıkları için çok elverişli olup, yeraltı su seviyesinin üzerindeki kuru zeminler, su taşıyan tabakalı zemin ortamlarda ve satüre olmuş kumlar ile yeraltı su seviyesinin altında kalan yumuşak kohezyonlu zeminlerde kullanılmaları tavsiye edilmemektedir. Yine taşıyıcı zemin katmanları çok derinlerde ise sondaj kazıklarının imalat şartları çok zordur. Şekil 3.7 'de tipik bir prensip şeması gösterilmiştir.

3.4. Zemine Yerleşim Özelliklerine Göre Kazıklar

Bazı yönetmelikler ve araştırmacılar kazıkların zemine yerleştirilmeleri sırasında zeminde oluşan yerdeğiştirme hareketlerinin düzeyine göre kazıkları üç sınıfta toplamaktadırlar (NAVFAC, 1986).

1. Büyük Yerdeğiştirme Kazıkları
2. Küçük Yerdeğiştirme Kazıkları
3. Zeminde Yerdeğiştirmeye Yolaçmayan Kazıklar



Şekil 3.7. Sondaj kazıklarına ait tipik bir prensip şeması (Hunter, 1986)

(a) ve (b) Kohezyonlu-sert zeminlerde, (c) ve (d) Kısmen yumuşak bir zeminden daha derinlerdeki sert ve sıkı zeminlerde, (e) ve (f) kaya zonlarında yükün ortama aktarılması.

Aşağıda sırasıyla bu üç sınıfın temel özellikleri ve davranış biçimleri anahatlarıyla ele alınmaktadır.

3.4.1. Büyük Yerdeğiştirme Kazıkları

Bunlar inşası sırasında zemini yanlara doğru iterek hatırı sayılır bir yerdeğiştirme hareketi yaptıran bütün çakma kazıklar ve uygulamada bir kısmı zemine çelik bir kılıf çakılarak oluşturulan boşluğun içinin beton ile doldurulduktan sonra çelik kılıfın yukarı çekilerek çıkarıldığı yerinde dökme kazık türleri bu gruba girmektedir.

Genellikle uygulamalarda zemine yerdeğiştirme yaptıran çakma kazıklar tercih edilirse "gürültü" ve "titreşim" etkileri önem kazanabilir. Bununla beraber meydana gelmesi kaçınılmaz olan gürültü ve titreşimlerin çevreye olan etkilerinin müsaade edilebilir sınırları aşıp aşmadığının devamlı ve sıkı kontrol altında tutulması gerekmektedir (Poulos, Davis, 1980). Etrafında gevşek kum ya da kısmen satüre olmuş gevşek silt yeralan tabakalara inşa edilen temellerin üzerine oturan yapıların bulunduğu çalışma koşullarında bu tür kazıkların çakılması sırasında oluşacak titreşimler, sözü edilen ko-

şullarda yeralan yapılarda kayma direncini yok eden momentlerin oluşmasına ve temellerde hasar meydana gelmesine sebep olacağı için tehlikeli olabilmektedir. Hatta gevşek kum ve siltli tabakalarda "ani oturma" hareketi gözlenebilmektedir. Zemine yerdeğiştirme hareketi yaptıran kazıklar inşa edilirken, işgal ettikleri hacmin zeminin yatay ve düşey yerdeğiştirme yapması nedeniyle zemin yüzeyinden yeteri kadar aşağıda kalması tavsiye edilir ki sözkonusu deplasmanlar yüzeyde olabildiğince az hissedilsin. Bunun sonucu olarak darbe ya da kompaksiyon yolu ile çakma işleminin yapılmasına yakın civarda birbirine yaklaşık bir yapılaşma modeli ve az katlı yapılar bulunduğu sürece müsaade edilmez.

Zemine yerdeğiştirme hareketi yaptıran kazıkların çoğu mekanik donanımlı bir çekiç yardımıyla zemine çakılarak yerleştirilirler. Fakat bir çok hallerde özellikle (kumlu-çakıllı zeminlerde) titreşimli metodlarla inşaat çalışma ve iş verimliliğinin artırılmasına imkân verdiği için-çevre ve ortam koşullarının da müsaade etmesi halinde tercih edilebilmektedir (Tomlinson, 1977).

Genel olarak bakıldığında çakma kazıkların tümü (ahşap kazıklar, prekast beton, öngermeli beton, alt ucu kapalı dairesel ya da kutu kesitli kazıklar ve su jeti ile zemine yerleştirilen kazıklar) bu gruba girmektedir. İçi boş-alt ucu kapalı veya içi dolu çelik kesitlerin zemine yukarıda da ifade edilen bir çekic aracılığıyla çakılıp yukarıda bırakılmaları ile oluşturulurlar. İçi dolu kesitler ahşap ya da normal donatılı veya öngermeli beton kazıkları oluşturmakta, içi boş kesitler ise çelik boru ile çelik kutu veya beton boru kazıklar olabilmektedir. Taban ya da gövde bölümünde projede öngörüleceği üzere isteğe bağlı olarak genişletilmiş bir zonun tesis edilmesinde tokmaklanan betonun zemini yanal olarak sıkıştırması nedeniyle "Franki" tipi kazıklar da bu grup içerisinde sayılmalıdır (Yıldırım, Özaydın, 1994)

3.4.2. Küçük Yerdeğiştirme Kazıkları

Bu grup, haddelenmiş çelik profil kesitler, (genellikle "H" tipi kesitler) önburgulu çakma kazıklar ile bir ucu (alt ucu) açık bırakılarak çakım esnasında zeminde kolaylıkla ilerleyebilen boru ya da kutu kesitli çelik hammaddeli çakma kazıkları içine almaktadır. Kesit tasarımında koşullara uygun davranılırsa zamana bağlı olarak gelişen korozyonun olumsuz etkileri azaltılabilmektedir. Bunun yerine korozyon etkisinin "epoxy reçina" esaslı kimyasal maddeler veyahut biraz pahalı olan "katodik koruma" ile minimize edilmesi günümüz şartlarında başarı ile uygulanabilmektedir.

H kesitli çelik profil kazıklar genelde kısmen derinlerde yeralan sıkı-sağlam taşıyıcı özellikteki tabakaların üzerinde bulunan gevşek kumlu zemin tabakalarının penetre edilerek sıkıştırılmasının gerektiği durumlarda çok kullanılırdılar. Ayrıca çekic darbelerinin çevre ve ortam koşulları tarafından sınırlandırıldığı durumlarda yine en çok "H" kesitli çelik profil kazıklar tercih edilmektedirler. "H" kesitli çelik profil kazıkların avantajlı olduğu bir diğer husus da zayıf kaya tabakalarının içinde "zımbalama etkisi" yaratması veya sıkı zemin tabakalarının arasında yeralan çok yumuşak katmanların sıkıştırılması için kullanılmalarıdır. H profilin kısa kenarı (kesitin kısa olan kenar uzunluğu) -uç noktasındaki taşıma gücüne çalışan kesiti büyütmek ve dolayısıyla taşıma gücünü artırmak için kazığın alt kısmından kaynaklanabilir ya da yatay yüklere karşı kesitin mukavemetini artırmak için- kazığın üst kısmından kaynaklanabilir. H kesitli çelik profil kazıkların dezavantajı çakma sırasında eksenden az bir miktar saporak eğilmeleridir. Çakma sırasında meydana gelen bu flambaj olayı kazığın taşıma kapasitesinde -özellikle eğrilik yarıçapının 400 m. ve üstü olduğu durumlarda- önemli ölçüde azalmaya neden olabilmektedir (Poulos, Davis, 1990).

Çelik boru kazıklar yaygın olarak hem deniz hem de kara uygulamalarında kullanılmaktadırlar. Dairesel kesite sahip olmaları bu kazıkları dikdörtgen kesitli çelik kutu veya "H" profili kesitli kazıklara göre dalga ve akıntılara (akımlara) karşı daha az dayanımlıdırlar. Geniş çaplı boru kazıklar tasarımıdaki zemin sıklığını muhafaza etmek için alt ucu kapalı olarak zemine çakılmalıdırlar. Bazı hallerde ise uç noktanın ötesini delme işlemini takiben çakma işlemi de gerçekleştirilebilir. Çakma işlemi sona erdikten sonra borunun içinde kalan boş kısım kazık boyunca betonla doldurulur. Böylelikle boru kesitli kazıklar için de nihai taşıma gücüne ulaşılabilir (Tirant, 1992).

Sonuç olarak "H" kesitli ucu açık boru ya da kutu şeklindeki çelik hammaddeli kazıklar çakma esnasında uçlarında bir tıkaç oluşmuyorsa zeminde çok az miktarda deplasmana neden olurlar. Çekme kuvvetine çalıştırılan bazı kazık türleri de bu gruba girmektedir. Şekil 3.6b ve c bu gruba giren kazıklara birer örnek teşkil etmektedir.

3.4.3. Zeminde Yerdeğiştirmeye Yolaçmayan Kazıklar

Bu gruba giren kazıklar mekanik burgu donanımlı, kovalı, burgulu ve darbeli sonadj aletleri gibi aletler kullanılarak zeminin içinde oluşturulan boşluğun (çukurun) içinin betonlanmasıyla oluşturulurlar. Bentonit çamuru ya da sondaj sıvısının kullanılması

çoğu kez yumuşak kil ve siltlerde yapılan uygulamalarda kuyu stabilitesinin sağlanmasında -kalıcı (sürekli) bir kılıf (casing borusu) kullanılarak yapılan gövde tahkimatına gerek kalmaksızın- faydalı olmaktadır. Kil zeminlerde taşıma gücünü artırmak için bu kazıkla istenen çap ve boylarda inşa edilebilirler. Fakat bu durum özellikle silt ve kum mercekleri içeren killi zeminlerde ve bazı kohezyonsuz zeminlerde risk taşımaktadır.

Bu grubun başlıca üyesi olan ve ülkemizde de yaygın olarak uygulanan "fore kazıklar"ın önceki bölümde bahsedilen "çakma kazıklar"a göre avantajlı olduğu durumlar aşağıda kısaca açıklanmaktadır :

1. Fore kazığın yapımı sırasında herhangi bir kabarma ya da çökme oluşmaz.
2. Fore kazıkların yapımı sırasında çevre ve geoteknik ortam koşullarının limitlendiği gürültü ve titreşim sınırları aşılmaz.
3. "Uzunluk" ve "çap" boyutları için standartlaşma olmayıp proje ve zemin koşullarına uygun olarak adı geçen boyutlar ayarlanabilir.
4. Geniş çaplı fore kazıkların betonlanmadan önce kontrol edilebilmeleri mümkün olabilmektedir.

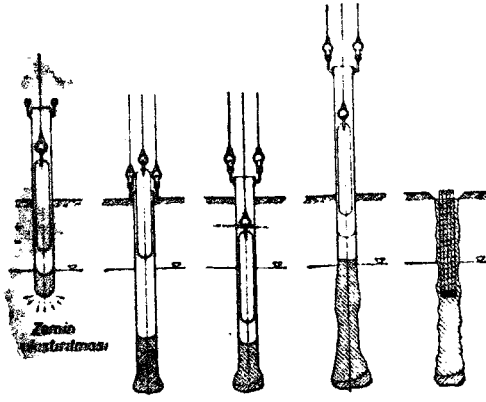
Diğer taraftan "fore kazıklar"ın çakma kazıklara kıyasla dezavantajlı olduğu bazı durumlar da aşağıda ifade edilmektedir :

1. Kohezyonsuz zeminlerin yerinde sıklıklarının yetersiz oluşu ya da foraj çukuru- nun açılması sırasında kohezyonlu zeminlerin yumuşayıp, gevşemesi
2. Yumuşak veya gevşek zeminlerde fore kazıkların imali sırasında büzülme ya da şişme reaksiyonlarının inşaatı zorlaştırması ve geciktirmesi
3. Fore kazığa (casing borusu yukarı çekildikten sonra) herhangi bir yolla su akışının sözkonusu olması durumunda betonun yüzeysel olarak tahrip olması ya da betonu sarmalayan zeminin yapısal özelliklerini değiştirmesi sonucunda kazığın çevresel sürtünme direniminin azalması
4. Ani kabarma ve şişme potansiyeli bulunan killi zeminlerde açılan foraj çukurlarında yeterli kemerlenmenin oluşmaması durumunda çukurun içi betonlandıktan sonra çukur cidarlarındaki zeminin şişerek betonla girişim yapabilmesi ya da beton prizini tam almadan şişen zeminin boşluklarına kaçabilmesi neticesinde betonun boğulmaya uğraması
5. Foraj çukurunun tabanının iyi temizlenmemesi durumunda kazık ucunda zamana bağlı olarak meydana gelen yumuşama ve örselenmelerin uç taşıma gücünü azaltması

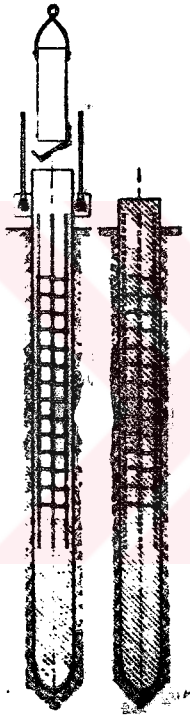
Zeminin yumuşama etkisi göstererek çalışma koşullarını zorlaştırmasını önlemek bakımından foraj çukuru tesis edildikten hemen sonra içi betonla doldurulmalıdır. Betonun çukurun içine dolarken yeterli işlenebilirliğe sahip olması için segregasyona (ayrışma) yolaçmayacak kadar süperakışkanlaştırıcının uygun dozajlarda kullanılması gerekebilir. Fore kazıkların imalinde genellikle yüksek işlenebilirlikli (slump) (12-20 cm.) ve yüksek dayanımlı betonlar (proje mukavemeti \geq BS35) tercih edilir ve kullanılırlar (Poulos ve Davis, 1980).

Zeminde yerdeğiştirmeye yolaçmayan kazıklar imal edilirken açılan foraj çukurunun yanal yüzeylerinin desteklenip desteklenmemesi, destekleniyorsa bu desteğin kalıcı mı yoksa geçici mi olduğu, geçici ise bir kılıf yardımıyla mı yoksa sondaj çamuru ile mi yapıldığına bağlı olarak değişik kazık türlerinden söz edilebilmektedir (Yıldırım, Özaydın, 1994).

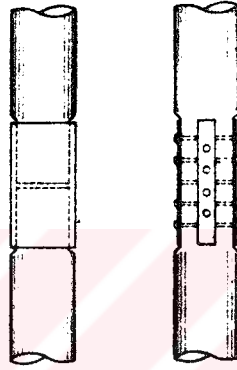
Zemine yerleştirilmeleri sırasında deplasman oluşturmayan bir fore kazığın genel görünüşü Şekil 3.8d'de görülmektedir.



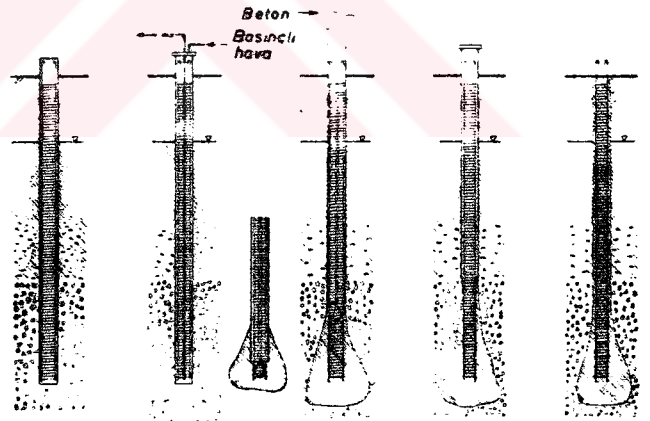
Franki Kazığı



Yerinde dökme çakma kazık



Ahşap Kazık



Zemine sokulmuş delme borusunun içine kazık teçhizatının yerleştirilmesi

Zemin suyunun dışarı atılması

Kazık ayağının basılması

Kazık gövdesinin basılması

Tamamlanmış basma beton kazık

Sondaj kazığı

Şekil 3.8. Zemine yerleşim özelliklerine göre kazıklar

- (a) Büyük Yerdeğiştirme Kazıkları, (b) ve (c) Küçük Yerdeğiştirme Kazıkları (d) Yerdeğiştirme Yaptırmayan Kazıklar

4. KAZIK TÜRÜNÜN SEÇİM KRİTERLERİ VE ÇEŞİTLİ KAZIK TÜRLEİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Uygulama projesi için teknik ve mali koşullar açısından en elverişli kazık cinsinin ve türünün seçimi, zemin ve yeraltı suyunun yerindeki koşullarını arzeden parametreler, şantiye arazisinin yeri topografik durumu ve yapının cinsi gibi belirli sayıda faktörlere bağlıdır. Kazık gövdesini oluşturan malzeme (çelik-beton-ahşap v.s.) kazık yapım yöntemini doğrudan sınırlamaktadır. Diğer bir deyişle herhangi bir kazığın yapım yöntemi o kazığın gövdesini oluşturan hammaddeyle yakından ilgilidir. Örneğin deniz uygulamaları için "çakma kazıklar" oldukça uygun olup çakma çelik kazıklar ya da çakma beton kazıklar, çakma ahşap kazıklara göre durabiliteleri daha yüksek ve uzun süre dayanıklı olmaları nedeniyle tercih edilirler (Tomlinson, 1978).

Çizelge 4.1 değişik kazık türleri için karakteristik tipik boyutları ve izin verilebilir yükleri ifade etmektedir. Bununla birlikte bazı uygulamalarda bu çizelgede verilenlerden önemli ölçüde büyük boyutlar ve yük taşıma kapasiteleri gerekli olabilir. Okyanuslardaki petrol ve gaz platformlarında 18 m. çapında 120 m. derinliğe yük aktaran ve yaklaşık 20000 kN yük taşıyabilen kazıkların imal edilmiş olması buna bir örnektir (Tirant, 1992)

Ülkemizden de bu ekstrem duruma Yeni Galata Köprüsü'nü verebiliriz. Yeni Galata Köprüsü'nde 2 m. çapında, 80 m. uzunluğunda, 20000 kN yük taşıyabilen kazıklar yer almaktadır.

Önceden belirlenmiş bir arazi ve önceden projelendirilmiş bir yapı sistemi için kazıklı temel uygulamasına karar verildikten sonra kazık tipinin seçiminde arazi özellikleri, yapısal koşullara uygunluk, yapımının olanakları gibi temel etkenler hangi kazıklı temel tipinin uygulanabilir olacağını avantajlı ve dezavantajlı yönleriyle ortaya koymaktadır. Uygulamada sağlıklı ve ekonomik kararlar verebilmek için aşağıdaki hususlar önemle göz önünde tutulmalı ve karşılaştırılmalıdır (NAVFAC, 1986).

a) Çakma Kazıklar

Ahşap, beton, ya da çelik malzemeden proje kriterlerine uygun geometride hazırlanan ve bir sonraki bölümde daha ayrıntılı olarak açıklanan ekipmanlar kullanılarak zemine az ya da çok ancak mutlaka deplasman yaptıran tokmaklar vasıtasıyla çakılarak

Çizelge 4.1. Değişik kazık türleri için izin verilebilir yükler (1 psi = 7 kN/m²)
(Prakash ve Sharma , 1990)

Kazık Tipi	New York Şehir Şartn (1948)	Boston Şehir Şartnamesi (1958)	AASHTO (1957)	API (1986)
	600 - 800 psi 20 ton - (D=6) " 25ton - (D=8) "	16 - 30 ton (kazıklara mesafelerine bağlıdır.)	18ton - (D=10") 20ton - (D=12") 24ton - (D=14") 28ton - (D=16")	≤ 1000 psi
Beton (*)	0.25 f _c ≤ 1000 psi	0.25 f _c ≤ 1000 psi	20ton - (D=10") 24ton - (D=12") 32ton - (D=16") 40ton - (D=20") 50ton - (D=24")	0.225 f _c
Çelik	9000 psi (kılıfsız) 12000 psi (kılıflı)	8000 psi (boru kesitli) 7000 psi (H profili)	6000 psi	≤ 9000 psi

(*) f_c = 28 günlük [15 x 30]cm boyutlarındaki standart küp numunenin dayamını yerleştirilen çakma kazıklardan, uygulama sahasına önceden hazırlanarak getirilen "Hazır Çakma Kazıklar" grubunun taşıdığı önemli avantajlar şöyle ifade edilebilir:

- Kazık malzemesi, kazık teşkilinden önce denetlenebilir (kalite kontrolü yapılabilir)
- Yumuşak-şişebilen zeminlerde shaft çapının daralma tehlikesi yoktur.
- Komşu kazıkların çakımı sırasında zemin genişlemesinden etkilenmezler.
- Yeraltı suyunun altında çakım işlemi gerçekleştirilebilir.
- İskele kazıklarında olduğu gibi kazığın bir bölümü zemin dışında bırakılabilir.
- Çakım uzunluğu istenildiği gibi seçilebilir.

Hazır Çakma Kazıklar'ın sahip olduğu dezavantajlar ise şöyledir :

- Çakma sırasında kazıkta gözle görülmeyen zararlar ortaya çıkabilir.
- Kazık uzunluğu karşılaşılan tabakalara göre kolayca değiştirilemez.
- Çakma sırasında çevrede gürültü ve yapısal hasarlar oluştururlar.
- Büyük çaplı (D>60 cm.) kazıkların çakılması zordur.
- "Genişletilmiş Uç" yapımı olanaksızdır.
- Bazı durumlarda ekonomik olmayabilirler.

Zemine projede verilen noktalarda bir sonraki bölümde de değinilen mekanik donanımlı çekiçler yardımıyla önceden yerleştirilen; burgu ve bailer v.s. ekipmanlarla içi boşaltılan kaplama borusunun stabilitesi sağlandıktan sonra oluşturulan boşluk kuru ya da ıslak metotla hazırlanan beton karışımı ile doldurularak tesis edilen "**Yerinde Dökme Çakma Kazıklar**"ın avantajlı ve dezavantajlı olduğu durumlar da aşağıda kısaca özetlenmektedir.

Avantajlı Yanları :

- Kaplama borusu ucu kapalı olarak zemine çakıldığından yeraltı suyu ile etkileşim sözkonusu değildir.
- Kazık uzunluğu sağlam tabakanın derinliğine uygun olarak ayarlanabilir.
- "Genişletilmiş Uç" yapımı mümkündür. Böylece taşıma gücü arttırılabilir.
- Gürültü ve titreşim dolayısıyla yapısal hasar açısından taşınan risk azaltılabilir.

Dezavantajlı Yanları:

- Dökümden sonra betonun durumu incelenemez ve kontrol edilemez
- Betonlama sırasında dikkatli olunmazsa zeminin itkisi ile "boğulma" olabilir.
- Artezyen durumu varsa beton şaft sağlam ve dayanıklı olmaz.
- Kazık boyu yer yer kısıtlı olabilir.
- Çakma sırasında komşu kazıklar etkilenir.
- Gürültü, titreşim ve zemin kabarması çevreye zarar verebilir.
- Kazık çapı sınırlıdır.
- "Genişletilmiş Uç" çok büyük yapılamaz.

b) Sondaj Kazıkları [Fore Kazıklar]

Üst yapının cinsine (şekline), jeolojik ve geoteknik ortam koşullarına ve yapım metodunun çevredeki yapıları ve bu yapıların altındaki zemin tabakalarının mühendislik özelliklerini olumsuz yönde etkileyebileceği durumlar; öte yandan gürültü ve titreşim faktörlerinin kısıtlayıcı faktör olarak yüklenicinin karşısına çıktığı durumlarda özellikle mali yönden de önemli dengesizlikler ağır basıyorsa, sonraki bölümde ayrıntılarıyla ele alınan bir mekanik donanım kullanılarak zemine yerleştirilen sondaj kazıkları yukarıda değinilen çekme kazıklara göre teknik ve ekonomik açılarından üstünlük kazan-

maktadır. Bununla beraber sondaj kazıklarının kullanılmasını gerekli ve avantajlı kılan öğeler ile sakıncalı dolayısıyla da dezavantajlı kılan unsurlar aşağıdaki gibi özetlenmektedir.

Avantajlı Yanları:

- İnşa sırasında gürültü, sarsıntı, çökme ve zemin kabarması en az düzeydedir.
- Değişen zemin koşullarına göre boyları ayarlanabilir.
- Kazık çapı istendiği kadar büyük olabilir (3 m. kadar)
- İstenilen uzunlukta yapılabilirler.
- "Çok geniş uç" teşkil edilebilir.
- Foraj çukuru kazılırken önceden sondajlar aracılığıyla kestirilen zemin koşulları bizzat yerinde tahkik edilebilmektedir.
- Foraj çukuru betonla doldurulmadan önce yerleştirilecek armatürlerin (donatıların) taşınma ve montaj koşullarından bağımsız olmaları dikkat çekicidir.
- Küçük imalat sahalarında kullanım manevraları geniştir.

Dezavantajlı Yanları :

- Küçük çaplı kazıkların su altında dökülmesi zordur.
- Akıcı özelliği bulunan zeminlerde kesitin daralması riski mevcuttur.
- Yapımdan sonra betonun yerinde kontrolü yapılamaz.
- Artezyen durumunda veya muhafaza borusu çıkarılan kazıklarda betonun dışarı çekilmesi olasılığı vardır.
- Su yapılarında kazık boyu zemin dışına uzatılamaz.
- Kohezyonsuz zeminlerde "genişletilmiş uç" yapılamaz.
- Sondaj çalışmaları sırasında zeminde gevşeme olabilir.
- Kohezyonsuz zeminlerde, grup kazıklarda yerinde sıkılık yeterli olmadığı için çevrenin oturması tehlikesi vardır.
- Yumuşak ya da gevşek zeminlerde üretim sırasında büzülme ya da şişme riski bulunmaktadır.

- Yumuşak ve boşluklu zeminlerde özellikle "casing borusu" olmaksızın yapılan üretimlerde boğulma tehlikesinin bulunmaktadır.
- Su altındaki üretimlerde beton döküm ve priz zorlukları ciddi boyutlardadır.

Yukarıda bölüm 3.3.'de ele alınan ve yapım şekillerine göre sınıflandırılan Çakma ve Sondaj kazıklarının avantajlı ve dezavantajlı oldukları durumlar ana hatlarıyla açıklanmıştır. Aşağıda ise bölüm 3.2'de tariflenen ve "imal edildiği malzemenin cinsine göre" sınıflandırmaya tabi tutulan ahşap, çelik ve beton kazıkların kullanılmasını avantajlı ve dezavantajlı kılan bazı haller sıralanmaktadır.

c) Ahşap Kazıklar

Avantajlı Yanları :

- Taşınması yerleştirilmesi ve kesilmesi kolaydır.
- Göreceli olarak ekonomiktirler.

Dezavantajlı Yanları:

- Taşıma kapasiteleri sınırlıdır.
- Yeraltı suyunda kalan kazıkların çürüme tehlikesi vardır.
- Mekanik aşınma, yangın, böcek veya kurtların tahribatı nedeniyle hasara uğrayabilirler.
- Çakılmaları sırasında kazık ucu hasara uğrayabilmektedir.
- Ek yapılarak boylarının artırımı sırasında çeşitli zorluklar vardır.

d) Çelik Kazıklar

Avantajlı Yanları:

- Taşınmaları ve çakılmaları kolaydır.
- İstenilen uzunluk ve kesit geometrisinde teşkil edilebilmektedir.
- Sıkı zemin tabakalarına rahatlıkla çakılabilirler.
- Çakma sırasında meydana gelebilen yanal zemin yerdeğiştirmesi küçüktür. Ekleme yapılması için değişik varyanslar vardır.

Dezavantajlı Yanları :

- Çakma sırasında kazık ucu aşınarak tahrip olabilir.
- Örselenmiş ya da dolgu zeminlerinde korozyon tehlikesi büyüktür.
- Çakma sırasında kolaylıkla eksenden saprak egzantrisite kazanabilirler.
- Ülkemiz koşullarında paladırlar.

e) Prefabrike Beton Kazıklar

Avantajlı Yanları :

- Aşınma veya çürüme tehlikesi yoktur.
- Ekleme yapımı kolaydır.
- Çakma öncesinde beton kalitesi kontrol edilebilmektedir.
- Yeraltı suyu koşullarından etkilenmezler.
- İşçilik, yerleşim hızı gibi faktörler gözönünde tutulduğunda nisbeten ekonomik ve ucuzdurlar.

Dezavantajlı Yanları :

- Kesilerek boylarının ayarlanması zor ve risklidir.
- Çakılmaları sırasında dikkat ve özen gösterilmezse istenmeyen ve düzeltilemeyen hasarlar oluşabilmektedir.
- Çakma sırasında zeminde yerdeğiştirmeler meydana gelmektedir.
- Gürültü ve vibrasyon sorunlar yaratabilmektedir.

Genel olarak bakıldığında kazık tipinin seçimi, üst yapının şekline, jeolojik lokasyona, zemin strüktüründeki değişken ortam koşullarına, durabilitenin sağlanabilmesi ve korunabilmesi için gerekli şartlara, kazık yapım metodunun yakın civardaki yapılara ve bu yapıların altında yer alan zeminlerin geoteknik özelliklerinde meydana geleceği değişikliklere ve özelliği bulunan bazı zemin koşullarının uygun ve kısıtlayıcı gördüğü faktörlere ve göreceli maliyetlere hassas olarak bağlıdır. Elbette ki tasarımcının yukarıda sayılan faktörlerin süperpozisyonu altında ekonomik bir çözüm arayışına gitmesi sözkonusu olacaktır (Tirant, 1992).

5. KAZIKLARIN ZEMİNE YERLEŞTİRİLMESİ

5.1. Çakma Kazıkların Zemine Yerleştirilmesi

Çakma kazıklar ya bir sonraki bölümde kısaca değinilen amaca uygun herhangi bir çekicinin darbeleri ile ya da vibratörlü donanımların titreşim etkileri altında zemine yerleştirilirler. Çekiç darbeleri ile zemine çakılan kazıklar için yerleştirme kriteri ya dalga eşitlik analizleri esasına ya da klasik çakma formülleri'ne dayalı olarak belirlenebilen (kestirilebilen) belirli bir penetrasyon direnci üzerine kurulmuştur. Bu kriterlerde kestirilen kazık uzunluğu arazinin taşıma gücü özellikleri hakkındaki bilgilere ve zemin profili için yapılacak statik analiz sonuçlarına bağlıdır. Her iki kriterde de -yeterli bir penetrasyon direnci ve arzu edilen kazık kapasitesine ulaşmak için tahmin edilen kazık uzunluğu- tasarım yaklaşımlarının gerçek yerleştirme operasyonu sırasında gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilir. Eğer tahmin edilen (kestirilen) kazık uzunluğu ve gerekli penetrasyon direnci gerçek operasyonlar sırasında gözlenenlerden oldukça farklı ise ortaya çıkan durum tasarım mühendisi tarafından yeniden ve etraflıca irdelenmeli ve tahkik edilmelidir.

Titreşimli ekiler ile yerleştirilen kazıklar için şartnameler genel olarak bir çakma kriteri ve buna uygun yeterli bir kazık uzunluğu'nu ön planda tutarlar. Yeterli (gerekli) kazık uzunluğu temel yeraltı verilerine ve pratik uygulamalarda sık kullanılan klasik taşıma kapasitesi formüllerine bağlı olarak saptanabilir. Çakma kriteri normal olarak iki faktörün bileşimidir. Birincisi belirli bir dinamik kuvvet ve operasyon frekansı için kazığın minimum penetrasyon hızı; ikincisi ise çekicinin darbeleri ile kontrol edilebilen, kazığın gerek duyulan nihai penetrasyon direncidir. Benzer hallerde çekiçle uygulanan darbe enerjisi için minimum penetrasyon direncine ulaşılabilir.

Aşağıda ahşap, öngörmeli prefabrik beton, elik "akma kazıklar"ın yerleştirilmeleri kısaca açıklanmaktadır (Prakash, Sharma, 1990).

5.1.1. Ahşap Kazıkların Yerleştirilmesi (akılması)

Ahşap kazıkların taşınmaları sırasında oluşan gerilmelere karşı özel bir dikkat ve önlem alınması çok gerekli değildir. Bununla birlikte ahşap kazığın alt ve üst uçlarında zemine yerleştirilmeleri sırasında ortaya çıkan gerilmelere bağlı olarak oluşabilecek hasarlara karşı bazı tedbirlerin önceden alınması gerekir. Bu hasarlar kazığın zemine

çakılarak yerleştirilmeleri sırasında meydana gelen kırılmalar ya da uçların yerleştirme sırasında çatlaması ve yarılması nedeniyle ön plana çıkar. Kazığın ucu ve gövdesi zor çakma koşullarının bulunması durumunda mutlaka çelik başlık ya da çelik kuşaklarla korunmaya alınmalıdır. Düşük frekanslı (hızlı) çekiç darbeleri ahşap kazıkların zemine çakılarak yerleştirilmeleri için elverişli olabilmektedir. Böyle bir çekicinin nominal çakma enerjisi cm başına 3000 darbeyi aşmamalıdır.

5.1.2. Öngermeli Prefabrik Beton Kazıkların Yerleştirilmesi (Çakılması)

Öngermeli prefabrik kazıkların taşınması sırasında oluşan gerilmeler yüksek hasar potansiyeline sahip olduğu için dikkatli davranılması ve muhakkak önlem alınması gerekmektedir. Bu yüzden bu çeşit kazıkların kullanılmasında belirli bir boy sınırlaması olmaktadır. Buna karşın, öngermeli prefabrik kazıklar üretim aşamasında genellikle daha küçük uzunlukta parçalar halinde kesilerek çeşitli bağlantı elemanlarıyla birbirlerine uc uca eklenerek istenen boya (uzunluğa) getirilebilir. Günümüzde zemin ve çalışma koşullarına uygun çok çeşitli bağlantı elemanları kazık çakma sanayinde kullanılmaktadır (Şekil 5.1) Buna ilave olarak, bağlantı, birleşen iki kazık kesiti arasındaki max. gevşeme 0.5 mm. den daha az olacak şekilde tasarlanmalıdır. Bu özellik çakma enerjisindeki kayıpları minimize etmesi açısından önemlidir.

Bağlantının kısa kazık kesitlerinde kullanılması kazığa yeterli hareket imkânını sağlamaktadır. Bu durum öngermeli prefabrik beton kazığın taşınabilir uzunluk ve ağırlığının azalmasına ve böylelikle de taşıma basınçları ve uzun kazıkların yerleştirilmeleri ile ilintili olan diğer uygulama problemlerine bağlı olarak gelişen çatlama ve kırılma olasılığını da aşağı çekmektedir. Uygun bağlantı metodlarından birinin seçilmesiyle önceden hesapla belirlenmiş net kazık uzunluğunun ve gerekli olduğunda müsaade edilen kesit uzamalarının arazide temin edilmesi şartı da elimine edilmiş olur. Günümüzde öngermeli prefabrik kazıkların yerleştirilmeleri sırasında sıkça kullanılan bağlantı elemanları yapılan araştırmalar sonucunda aşağıda sıralandığı gibi kategorize edilmektedirler.

- a. Kaynaklı
- b. Sürgülü (civatalı)
- c. Mekanik kilitli
- d. Bağlayıcı halkalı (bilezikli)

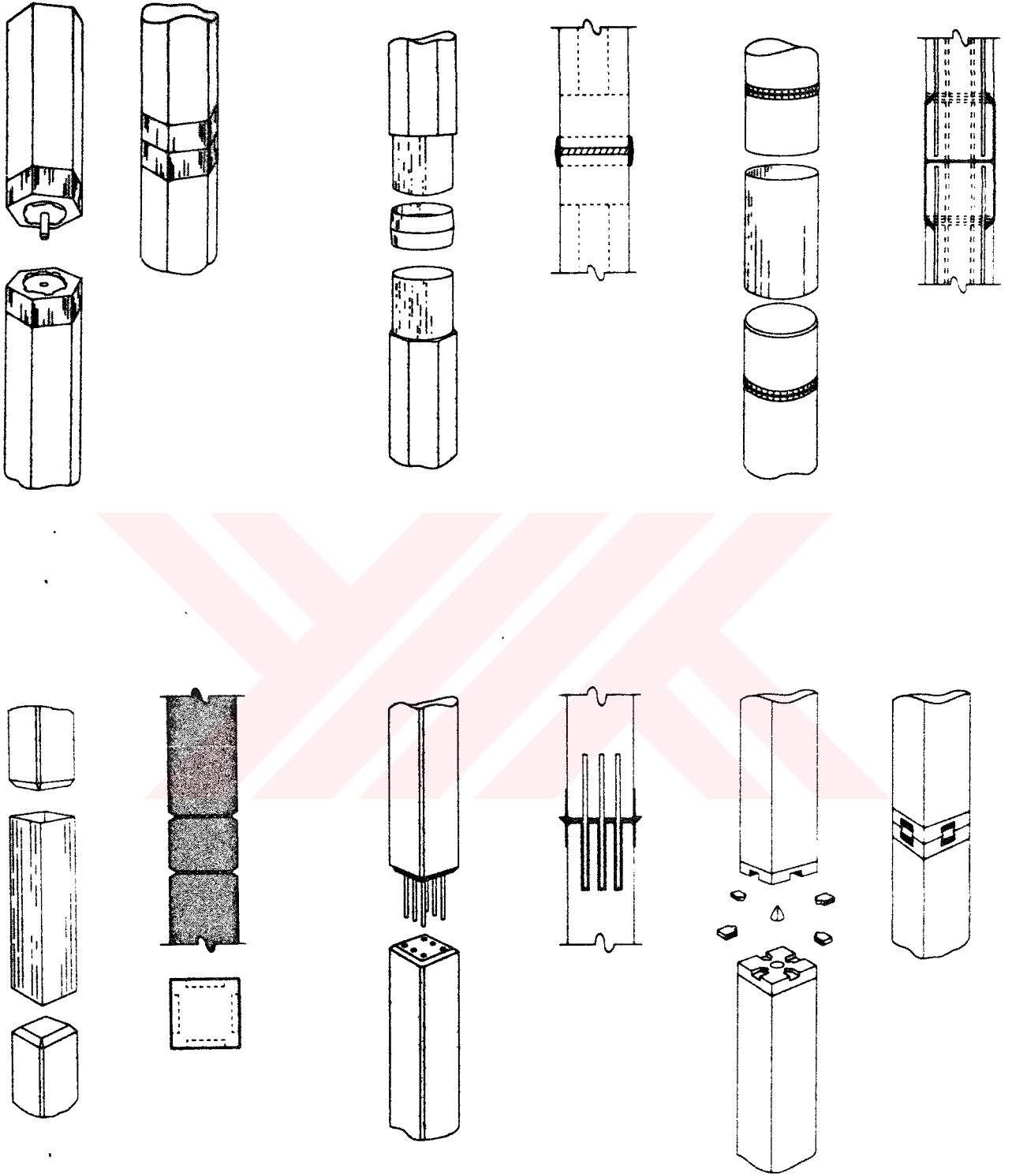
- e. Kamalı
- f. Manşonlu
- g. Pimli
- h. Ard çekmeli

Şantiyedeki sorumlu mühendis ve geoteknik çalışmalardan sorumlu uzmanlar enerji kaybı, işlem hızı, mekanik davranış, emniyet ve esneklik kabiliyeti açısından yukarıda kategorize edilen bağlantı elemanları üzerinde imalatçı kuruluşlar nezdinde kapsamlı araştırma yaparak mümkünse deney tecrübesi sağlamalı ve buna göre en uygun ve pratik bağlantı türünü seçmelidir.

Günümüzde öngermeli prefabrik beton kazıkların zemine çakılmaları sırasında tek etkili ve çift etkili (buhar ve gaz basınçlı) çekiçler de kullanılabilirdiği gibi, darbeli (pnömatik) ve dizel çekiçler de bu kazıkların zemine yerleştirilmeleri için çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Bir önbilgi olarak buhar ya da hava basıncı ile tahrik olan çekiçlerin kullanıldığı uygulamalarda kazık kütlelerinin çekiç tokmağı'nın külesine olan oranı 2/1'i aşmamalı, dizel tipi çekiçlerin kullanıldığı uygulamalarda ise aynı oranın 4/1'i geçmemesi tavsiye edilmektedir. Çok yüksek darbe hızlarının ve kabul edilemez mertebelerdeki çakma enerjilerinin minimize edilmesi için darbeli çekiçlerin tokmakları için serbest düşüm yüksekliği 75 mm. yi aşmamalıdır. Çakma enerjisi zemine giren her santimetre başına [2.4] darbe arttığı zaman çakma işlemi kontrollü olarak durdurulabilir.

5.1.3. Çelik Kazıkların Yerleştirilmesi (Çakılması)

H kesitli çelik kazıkların zemine çakılarak yerleştirilmeleri sırasında çok sıkı çakıl ya da ayrılmış kaya parçalarına rastlanıncaya kadar ciddi zorluklarla karşılaşılmaz. Ancak ortamın sıkı yerleşmiş çakıl ya da ayrılmış kaya parçalarından oluşması kazığa hasar verebilir. Bu hasarlardan kaçınmak için, kazığın alt ucunda dökme demirden imal edilen çelik levhalar kaynaklanmak suretiyle çarık denilen suni bir koruyucu oluşturularak takviye sağlanır. kazıkta çakma nedeniyle oluşan gerilmeler, daha önce benzer



Şekil 5.1. Öngermeli Prefabrike Beton Kazıklar için Pratik çalışma koşullarında kullanılan bazı bağlantı detayları (Prakash, Sharma, 1990)

özelliğindeki projelerden elde edilen lokal deneyimler kabul edilebilir ölçekte değilse; en gerçekçi yoldan "dalga eşitliği" analizleri yapılarak kestirilebilmektedir.

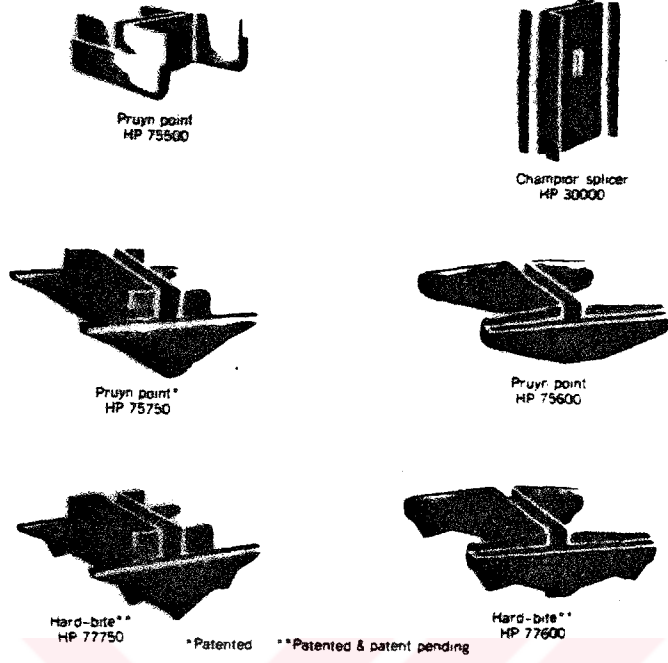
H profili kesitli çelik kazıkların uc uca eklenerek birleştirilmeleri için perçin, bulon ve kaynak gibi çeşitli birleşim yöntemleri kullanılabilir Yaygın uygulamalarda kazıkların tam kesit kaynaklı bağlantı yöntemi ile birleştirilmeleri tercih edilir(Şekil 5.2)

Ucu açık boru kesitli çelik kazıkların çakılması ucu kapalı boru kesitli kazıkların çakılmasından daha kolaydır. Eğer boru kesitli çelik kazıklar çok sıkı bir malzeme ya da sert bir strüktürün yer aldığı oluşumlar içinde çakılıyorsa uç kısımları yer yer zedelenir. Ucu açık boru kesitli çelik kazıkların uğrayacakları hasarları elimine edebilmek için açık olan uca dökme demir çelikten yapılmış çarık adı verilen koruyucular ekseriyetle sıkı çakılı-siltli ve ayrılmış kaya ihtiva eden ortamlarda mutlaka kullanılırlar. Bu arada baştan sona kontrollü ve sağlıklı ve az hasarlı bir çakma-yerleştirme prosesi izlemek için çakma enerjisi kontrollü ölçme cihazları ile kaydedilir ve mevcut strüktür şartlarına göre daima ayarlanabilir.

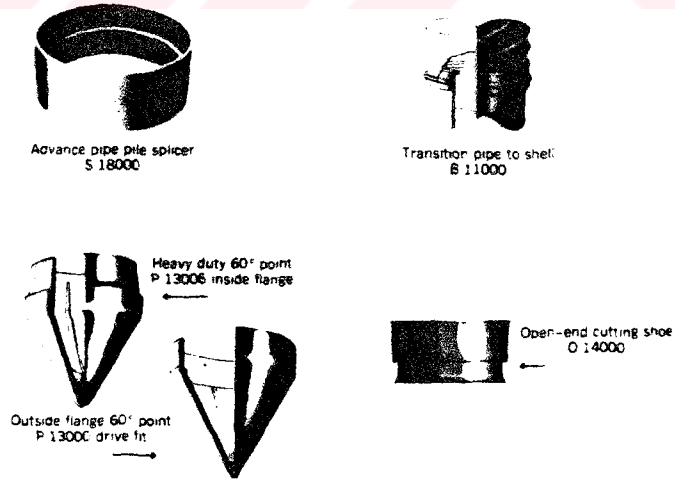
Ucu açık boru kesitli kazıklar zemine yerdeğiştirme yaptırmadan yerleştirileceği zaman, bu kazıkların çakma sırasında açık olan alt ucu bir tapa ile kapatılarak zeminin içeri girmesi ve böylece hareket etmesi önlenmelidir. Bu kazıkların gerekli penetrasyonu sağlayacak bir su jeti ile yıkanarak ya da kazılarak periyodik olarak temizlenmeleri gereklidir. Daha sonra borunun su jeti içine günümüzde çok yaygın olan "tremie" v.b. yöntemlerle beton dökülerek işlem bitirilir. Bununla beraber az önce bahsedilen temizleme prosesleri sırasında kazık ucunun zeminin içinde yer değiştirmemesi muhakkak sağlanmalıdır.

Ucu kapalı boru kesitli kazıkların altucunda çoğu kez [12.5 - 19.0] mm. kalınlığında çelik plakalar monte edilmiştir. Bu tip kazıklar masif kaya ya da ayrılmış kaya parçalarının yer aldığı zemin koşullarında koni ve benzeri sivri kesitli çarıklardan yararlanılır. Gerek boru kesitli, gerekse H profili kesitli çelik kazıkların çakılarak yerleştirilmeleri sırasında mekanik donanımlı çekiçtarafından verilen darbe enerjisi 630 J/cm^2 ile sınırlandırılmıştır. Çakma operasyonu, çakma direnci her cm. başına [4 - 6] darbeye eriştiği zaman olası hasarlara karşı durdurulmalıdır.

Tipik deniz platformlarında 62.5 mm. kalınlığındaki yüksek vasıflı çelik plakalar boru şeklinde haddelenerek boyuna kaynaklanır. Bu boru biçiminde haddelenen



Şekil 5.2. H Kesitli Çelik Kazıklar için yaygın olarak kullanılan bazı birleşim elemanları (Prakash ve Sharma, 1990)

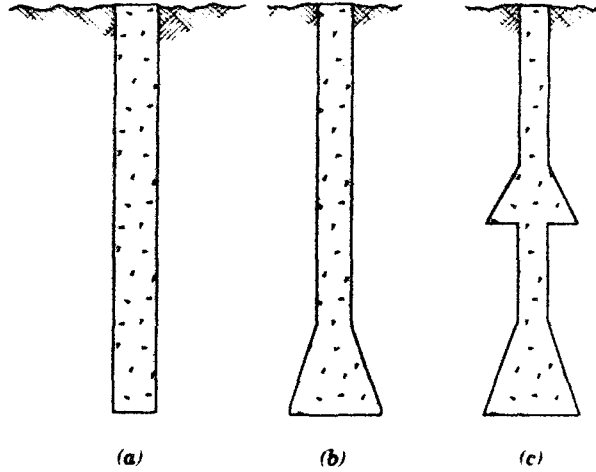


Şekil 5.3 Boru Kesitli Çelik Kazıklar için yaygın olarak kullanılan bazı birleşim elemanları (Prakash ve Sharma, 1990)

kesitler, daha sonra uc uca kaynaklanıp birleştirilir. İnşaat sırasında uç uca kaynaklamaya yeterli olacak miktarda plakayı üretim koşullarında hazır tutmak gerekir. Kaynaklanarak yekpare hale getirilen kazığın boyu 400 m. derinliklere kadar indirilecektir. Şekil 5.3 boru kesitli çelik kazıkların bağlantı elemanlarından tipik örnekler göstermektedir.

5.2. Sondaj Kazıklarının (Fore Kazıkların) Yerleştirilmesi

Fore kazıkların yerleştirilmesinde başlıca önemli iki aşama vardır: Foraj çukurunun açılması ve kazılan çukurun içinin betonla doldurulması. Foraj ya da çukur kazma yönteminin seçimi zemin ve yeraltı suyunun yerinde koşullarına bağlıdır. Zemin yumuşak olduğu zaman ve/veya yeraltı su seviyesine taşıyıcı zemin tabakalarının üstünde rastlanıyorsa çukurun kazılması (açılması) esnasında geçici maksatlı "casing" borularının kullanılması gerekli olabilir. Şekil 5.4'de görüldüğü gibi fore kazıklar düzgün bir forma sahip olabildikleri gibi taban kesiti ya da hem tabanı hem gövde kesiti genişleticilerle büyütülmüş forma da sahip olabilirler. Genişletme (özellikle taban kesitini genişletme) yük taşıma kapasitesini artırmak için; gövde kesitinin genişletilmesi ise özellikle mobilize sürtünme direnimleri potansiyelinin artırılması amacıyla yapılmaktadır. Zemin ve yeraltı su koşullarına uygun ve göçük oluşturma riski taşımayan bir burgunun -foraj çukurunun açılması için- kullanılması çok önemlidir.



Şekil 5.4 Sondaj kazıklarının Geometrik Profilleri (Hunt, 1986)

- (a) Şaftı düzgün sondaj kazıkları, (b) Tabanı genişletilmiş sondaj kazıkları, (c) Hem tabanı hem gövdesi genişletilmiş sondaj kazıkları

Ancak sıkı ve aşırı konsolde killerde kesidi genişletilmiş, böylelikle uç taşıma ve çevresel sürtünme direnimlerinde potansiyel artışlar sağlanmış fore kazık uygulamaları sonucunda ortaya çıkacak efektif maliyetler çok yüksektir (Sharma, 1983).

Yumuşak çok sıkı uniform zeminler için "kesici kanatlı" burguların kullanılması foraj çukurunun kazım şartlarını kolaylaştırmaktadır. Çok sert-sıkı, taşlaşmış ve çimentolanmış zeminler için "dişli" burgular kazı yönünden daha avantajlı olmaktadır. Bununla beraber burgular kazı sırasında ayrık kaya parçalarına rastlandığında ilerleme sağlayamayacağı ve bozulabileceği için çalışma durdurulmalı ve bu tür kayaları parçalayarak kıran aletlerin devreye sokulması gerekmektedir. İri ayrık kaya parçalarına rastlandığında bunların ilk önce kırılması ve sonra yukarı alınması uygun olur (Hunt, 1986).

Fore kazık imalatı için açılan çukur kuruduktan – kurutulduktan ve kendini kemerledikten ve donatı yerleştirildikten sonra konveyörler, boşaltma boruları ya da Tremie(*) tekniği ile çukurun içine segregasyona izin verilmeksizin uygun bir hızda proje normlarına uygun beton boşaltılarak kazık uçtan yukarıya doğru betonlanır. Betonun serbest durum sırasında kazandığı ivme ile kompaksiyonsuz olarak yerleştirilmesi için serbest durum yüksekliğinin 1.5-2.0 m. yi geçmemesi tavsiye olunur.

Bazı uygulamalarda açılan foraj çukurunun çeperinde bulunan zemin ya da bir kısım yumuşak gevşek zemin tabakaları yeterince kemerlenemeyerek çukur boşluğuna akabilir ve çukurun stabilitesini bozabilirler. Bu bakımdan kazı sırasında ve sonrasında "casing" borularının varlığı önem kazanmakta; eğer geçici amaçlar için casing boruları kullanılıyorsa çukur içine beton doldurulacağı zaman adı geçen boruların (kontrollü olarak) yukarı çekilmeleri sırasında özen ve dikkat gösterilmelidir. Uygulamada beton yerleştirme faaliyetlerinde casing borusunun alt ucunun çukur içini doldurmakta olan betonun üst kotuna en az 1.5 m. uzak bulunması esas alınmaktadır. Geçici maksatlar için kullanılan casing borularının yeraltı su seviyesinin altına inmesi sağlandığı zaman beton tarafından çukur cidarlarına uygulanan basınç, yeraltı suyu tarafından uygulanan basıncı dengeleyinceye kadar boruların çekilmemesi önerilmektedir. Foraj çukurunun içine su akışı daima kontrol edilemez. "Tremie" metodu ile çukurun içini betonla doldurmadan önce çukurun içindeki suyun mutlaka dışarı atılarak çukurun temizlenmesi

(*) : Özel beton iletim boruları ve boşaltma hunusu bir beton döküm ve iletim yöntemi

ve kurutulması gerekmektedir. Benzer koşullar altında beton boşaltım işlemleri sırasında da su gelirinin pratik olarak sıfır olması lazımdır. Eğer beton boşaltım çalışmaları sırasında çukura yine su geliyorsa bu betonu sulandıracağı için hem slump değerini yükselterek prizini geciktirir hem de projede öngörülen dayanım düzeyinin çok altında kalınmasına yol açar. Öte yandan söz konusu su geliri segregasyonu ve dolayısıyla mukavemet azalmalarını körükler. Alt kısmında bir kapak bulunan bazı "tremie" türleri açılan foraj çukurunun tabanına yerleştirilir ve böylelikle de suyun bu bölgede betona nüfuz etmesi diğer bir deyişle betonun sulanması engellenmiş olur. Adı geçen kapağın yukarıda da ifade edildiği gibi beton tarafından çukur cidarlarına uygulanan basıncın yeraltı suyunun uyguladığı basıncı dengeleyebilmesi için çukura boşaltılan beton belirli bir düzeye yükselinceye kadar açılması ısrarla tavsiye edilmektedir.



6. KAZIK YAPIMINDA KULLANILAN EKİPMANLAR

6.1. Çakma Kazıkların Yapımında Kullanılan Ekipmanlar

Çakma kazık yapımından sorumlu mühendislerin üretim sırasında kullanacağı aletlerin temel fonksiyonlarını iyi bilmesi ve tanınması önemlidir. Sorumlu mühendis aynı zamanda iyi bir gözlemci olmak ve kazık çakımı sırasında kullanılan mobilize araçların mekanik ayrıntılarına ve bunları denetleyen unsurlara yeterince hakim olabilmelidir. Bu husus sadece verimli bir inşaat hızı elde edilmesi için değil, aynı zamanda çakma kazık imalatının uygunluk kriterlerine yeterliliğini yerinde izlemek bakımından da önem taşımaktadır.

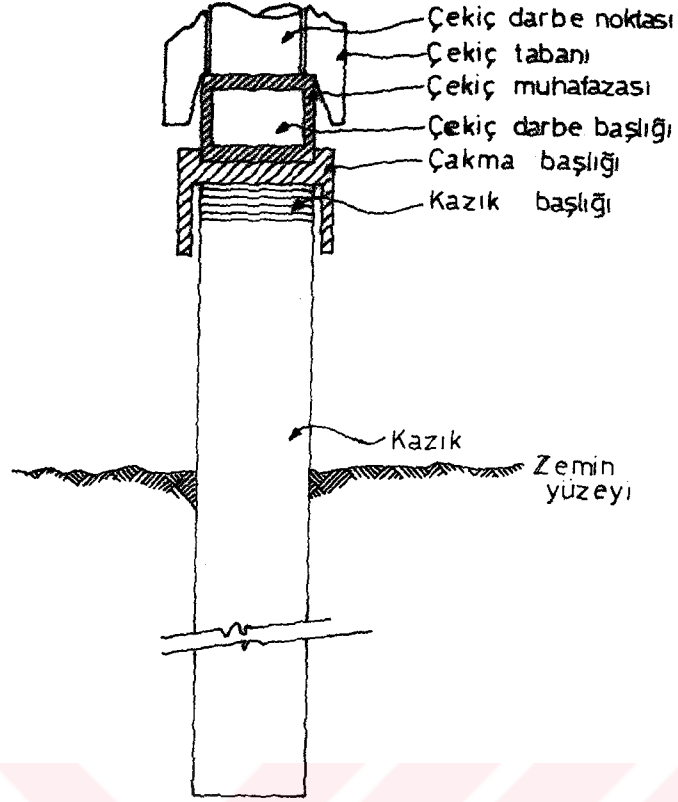
Çakma kazık yapımında rol oynayan iki anahtar kavram kazık ve çekiştir. Çekiştir hem operasyonu gerçekleştiren hem de ana donanıma kılavuzluk yapan aksamdır. Mobilize olabilen mekanik donanımların çakma kazık sanayii'nde kabul görmüş değişik çeşitli modelleri vardır. Bununla birlikte bu donanımların ana elemanları birbirine çok benzer çakma kazık imalinde kullanılan tipik bir mekanik donanımın çeşitli elemanları Şekil 6.1'de görülmektedir (Prakash ve Sharma, 1990).

Aşağıda çakma kazık üretiminde kullanılan ana ekipmanların kısaca tanıtımı yapılmaktadır.

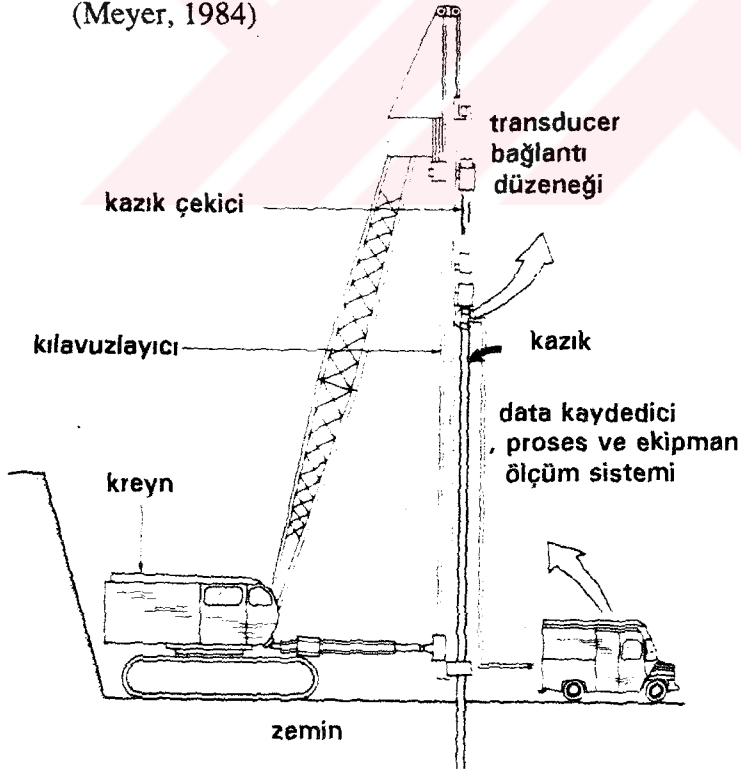
6.1.1. Mekânîk Donanım

Şekil 6.2'de çakma kazık operasyonlarında kullanılan tipik bir mekanik donanımın çeşitli elemanları gösterilmiştir. Düşey kafes sistemler kazık çakma işleminin başından sonuna kadar kazıkların projede verilen yer ve aks doğrultusunda kılavuzlanarak zemine çakılmalarını temin ettikleri gibi, kazık çakım operasyonunu gerçekleştiren çekice muhafaza ve kılavuzluk sağlama görevini de üstlenirler.

Bu koşulların sağlanması için de anılan kafes donanımın (iskeletin) çakılacak kazığı çakım pozisyonunda sıkca tutabilmesine ve çekiştirle aynı paralellikte olmasına imkân verecek kadar rijit olmasına dikkat edilmelidir. Normal olarak kafes donanım üst uçtan bom'a sabitlenmiştir. Alt uçtan ise hareket imkanı kısıtlanmamıştır. Alt uçta hareketi kontrol eden bir "yer bulucu-kılavuzlayıcı" yer almaktadır. Şekil 6.3'de de görüldüğü gibi kılavuzlayıcı mekanik donanımın ana gövdesine kafes donanımın alt kısmından bağlanan yatay bir mildir. Kılavuzlayıcının boyu belli bir uzunlukta sabit



Şekil 6.1 Çakma kazık yapımında kullanılan tipik bir mekânîk donanımın kesiti (Meyer, 1984)



Şekil 6.2 Çakma kazık operasyonlarında kullanılan tipik bir mekanik donanımın çeşitli elemanları (Tomlinson, 1977).

tutulabileceği gibi özellikle teleskopik modellerde kazık çakma operasyonunun büyüklüğüne bağlı olarak boyları ayarlanabilir.

Kazık çakımı kılavuzlayıcının ucuna monte edilen düzgün veya eğri kesitli çelik kirişler kullanılarak gerçekleştirilir. Şekil 6.3'de görüldüğü gibi kafes donanımının altı çelik krişe sıkıca bağlanmıştır. Bu bağlantı kafes donanımının alt ucunun yatay yönde hareket edebilmesine imkan verdiği gibi kazığın belirlenen herhangi bir yönde çakılabilmesine de olanak tanımaktadır. Çakma kazıkların yapımında önkazı ya da ön püskürtme gibi hazırlık metodlarının uygulanması durumunda jet veya delici çekic ve kazıkla aynı çakım yarıçapına sahip olmalıdır.

Kazık çakma operasyonlarında basınçlı hava elde etmek için kompresör ya da buhar elde etmek için buhar kazanı gibi güç (enerji) kaynakları da kullanılır. Kazanlar normal koşullarda beygir gücü esasına dayalı olarak boyutlandırılır ve sınıflandırılır. Buhar kazanlarının kazık çakma operasyonu için gerekli saatlik buhar gücüne göre boyutlandırılmaları ve kompresörlerin de çakma operasyonu sırasında normal çalışma koşullarına bağlı olarak gerekli basınç düzeylerine ulaşılabilmesi için dakikada üretilen basınçlı hava hacmini hassas olarak ayarlayabilmeleri önemlidir (Fuller, 1983).

Buhar kazanları ve kompresörler kazık çakımında kullanılan çekiçlere uygun ve yeterli kapasitelere sahip olmalıdır. Günümüzde çakma kazık inşaatında kullanılan mekanik donanımlı çekiçleri üreten firmalar çekiçlerin efektif çalışma koşullarında çalışabilmeleri için uygun kazan ya da kompresör kapasitelerini belirtmektedirler.

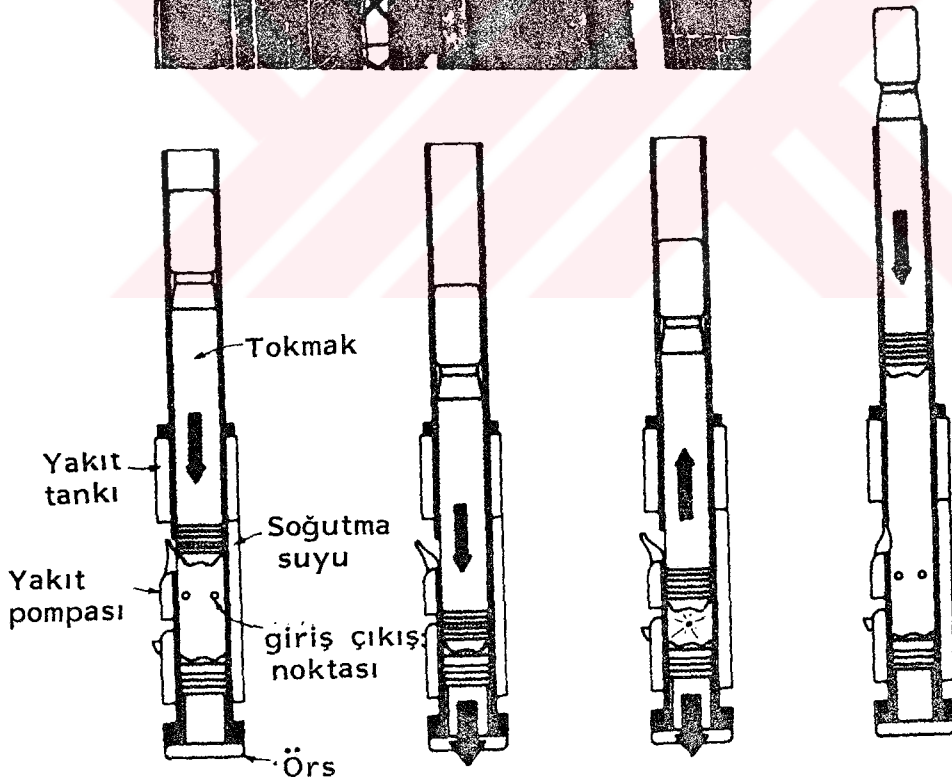
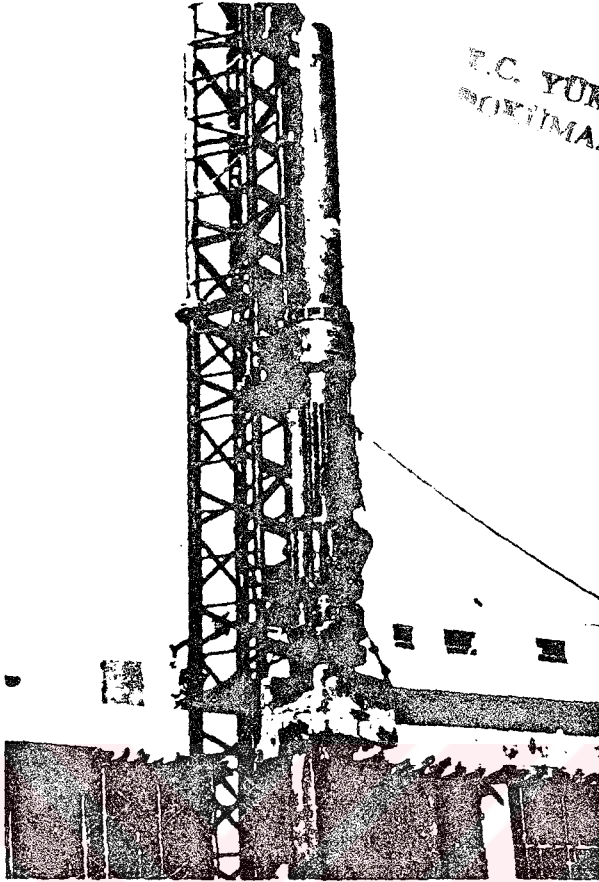
6.1.2. Çekicler

Çakma kazık yapımında kullanılabilen mekanik donanımlı çekiçlerin değişik tipleri mevcuttur. İşin hacmine, ortam ve çalışma koşullarına da bağlı olarak çekiçler şu şekilde sınıflandırılabilirler:

1. Şahmerdanlar (Ağırlık düşürümlü)
2. Tek Etkili Çekiçler (Buhar veya hava basınçlı)
3. Çift Etkili Çekiçler (Buhar veya hava basınçlı)
4. Karışık Çekiçler (Buhar, hava basınçlı veya hidrolik)
5. Dizel Çekiçler (Tek ya da çift etkili)
6. Vibratörlü Çekiçler

Yukarıda sıralanan çekiçler endüstriyel çakma kazık üretiminde oldukça yaygın olarak kullanılan temel çekiç tipleridir.

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
BİLİM VE TEKNOLOJİ BAKANLIĞI
MÜHÜR



Şekil 6.3 Kazık çakma operasyonunu gerçekleştiren bir mekanik donanımın detayları (Prakash ve Sharma, 1990)

Şekil 6.4 yukarıda sınıflaması yapılan çekiçlerin çalışma prensiplerini idealize etmektedir.

Aşağıda bu çekiçlerin temel özellikleri kısaca tariflenmektedir.

6.1.2.1. Şahmerdanlar

Şahmerdanlar (ağırlık düşürümlü çekiçler) ekseriyetle elle kumanda edilerek yukarıya kaldırılan amaca uygun hacim ve kütleye sahip bir standart ağırlığın (çekicinin) belirli bir yükseklikten serbest düşüme bırakılarak kazığın üzerine düşürülmesi ve böylece oluşan kinetik enerji ile kazığın zemine çakılarak yerleştirilmesini sağlayan bir mekanizma ile çalışırlar. Sözkonusu enerjinin zemin çevre ve dinamik koşullara bağlı olarak ayarlanması mümkündür. Şahmerdanların çalışma hızı ve verimi düşük olduğu için kullanımları da artık pek yaygın değildir.

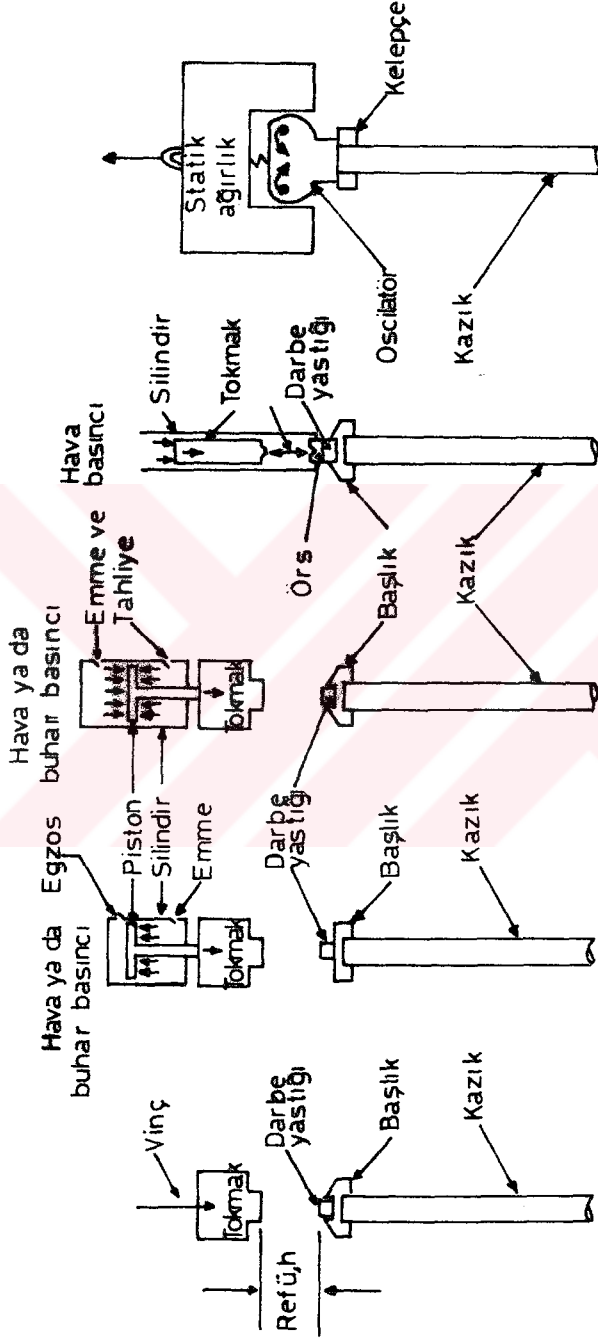
Genelde az sayıda kazık çakılacağı zaman tercih edilirler (Şekil 6.5a) (Prakash ve Sharma 1990).

6.1.2.2. Tek Etkili Çekiçler

Tek etkili çekiçler ağır bir tokmak içeren uzun bir darbe makinesidir. Tokmak buhar ya da hava basıncı ile yukarı doğru kaldırılır ve daha sonra kendi ağırlığının etkisi altında serbest düşüme bırakılır. Tek etkili bir çekicinin kazığa ileteceği enerji tabii ki tokmanın serbest düşüş yüksekliğinden kaç kez düşürüldüğüne bağlıdır. Tek etkili çekicinin sematik bir enkesiti Şekil 6.5 b'de gösterilmiştir (Teng, 1962).

6.1.2.3. Çift Etkili Çekiçler

Çift etkili çekiçler'de de tokmak buhar ya da basınçlı hava yardımıyla yukarıya kaldırıldıktan sonra sabit basınç altında hızlandırarak aşağıya bırakılırlar. Çakma operasyonu ardarda gelen hızlı darbelerle sürdürülür (Teng, 1962). Ağır tokmaklı ve daha kısa bir çift etkili çekicinin darbe başına kazığa aktardığı darbe enerjisine daha uzun tek etkili bir çekicinin kullanılması durumunda ancak iki ya da üç darbe uygulandığında ulaşılabilmektedir. Diğer bir deyişle ağır tokmaklı çift etkili ve kısa bir çekiç kullanılarak daha az bir enerji sarfiyatı ile kazık çakma operasyonu tamamlanabilir (Şekil 6.5c) (Prakash ve Sharma 1990) .



Şekil 6.4 Çakma kazık yapımında kullanılan mekanik donanımlı çekiçlerin çalışma prensipleri (Prakash ve Sharma, 1990)

6.1.2.4 Karışık Çekiçler

Karışık çift etkili çekiçlerde daha ağır bir tokmak yukarıya kaldırılır ve sonra çift etkili çekiçlerin kullanılması sırasında oluşan enerji artışına benzer olarak düşük bir hava ya da buhar basıncı uygulanmak suretiyle kazık zemine çakılır. Karışık etkili çekiçler çift etkili çekiçlere prensip olarak çok benzer ancak burada uygulanan buhar veya hava basıncı çift etkili çekiçlerde olduğu gibi sabit değildir (Hunt, 1986).

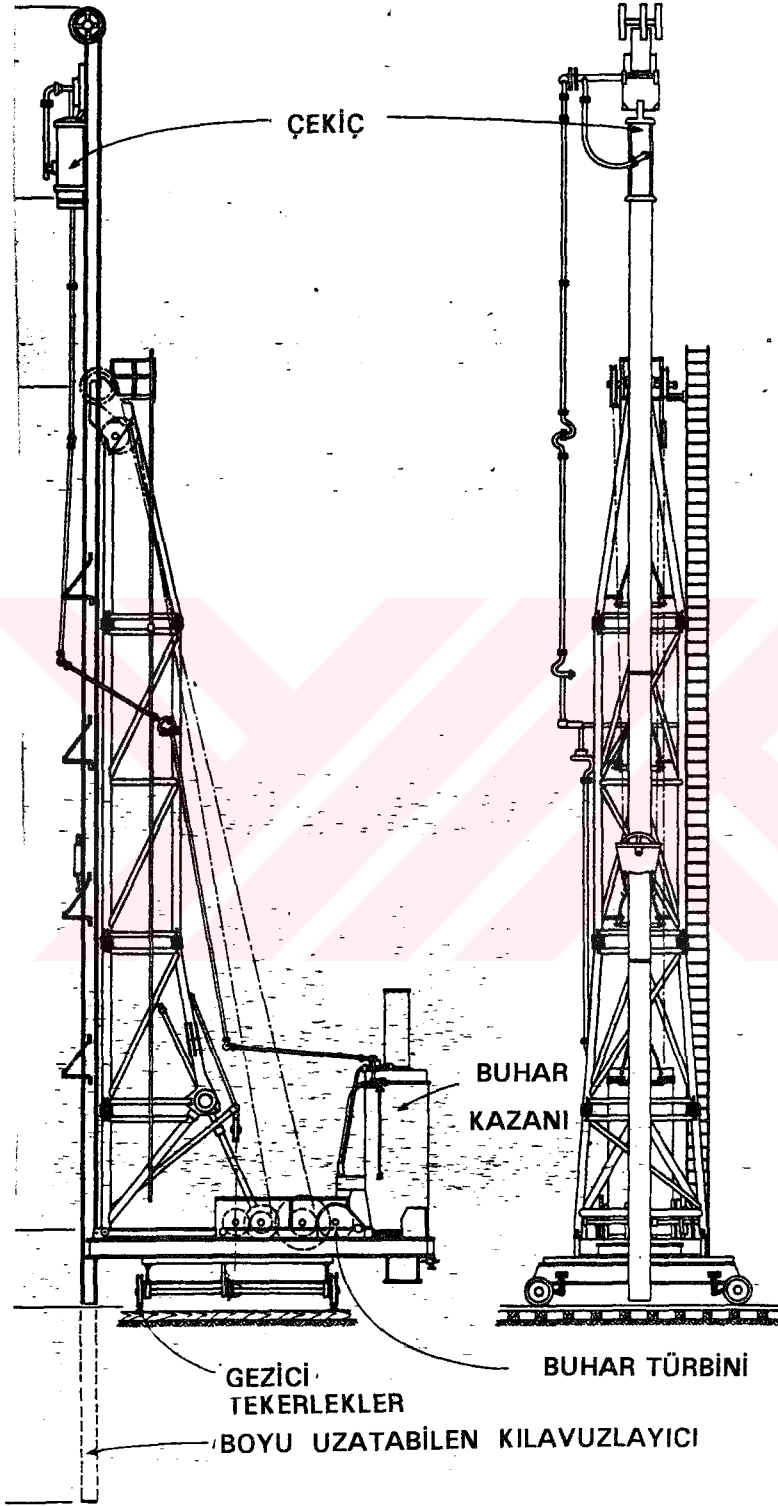
6.1.2.5. Dizel Çekiçler

Dizel çekiçler küçük, hafif, kendi kendine aktive olabilen ve kendi kendini kontrol edebilen benzin veya sıvı yakıtla çalışabilen pratik ve gelişmiş bir çekiç tipidir. Tek etkili olarak çalıştırılacakları zaman atomize edilmiş mazotla çalışan mekanizma ile tokmak yukarı kaldırılıp serbest düşüme bırakılır; çift etkili olarak çalıştırılacakları zaman darbe frekansını artırıcı yönde basınçlı hava etkisiyle tokmak sıçratılabilir. Dizel çekiçlerin çalışma karakteristikleri buharlı çekiçlerden ve şahmerdanlardan hissedilir derecede farklıdır. Yakıt alev çemberine enjekte edildikten hemen sonra tutuşur ve açığa çıkan enerji ile otomatik mekanizma çekici yukarı doğru kaldırır. Yanma sırasında oluşan basınç çekicinin örsünü etkiler, çakma kuvvetinin büyüklüğünü ve etki süresini artırır (Şekil 6.5d), (Hunt, 1986).

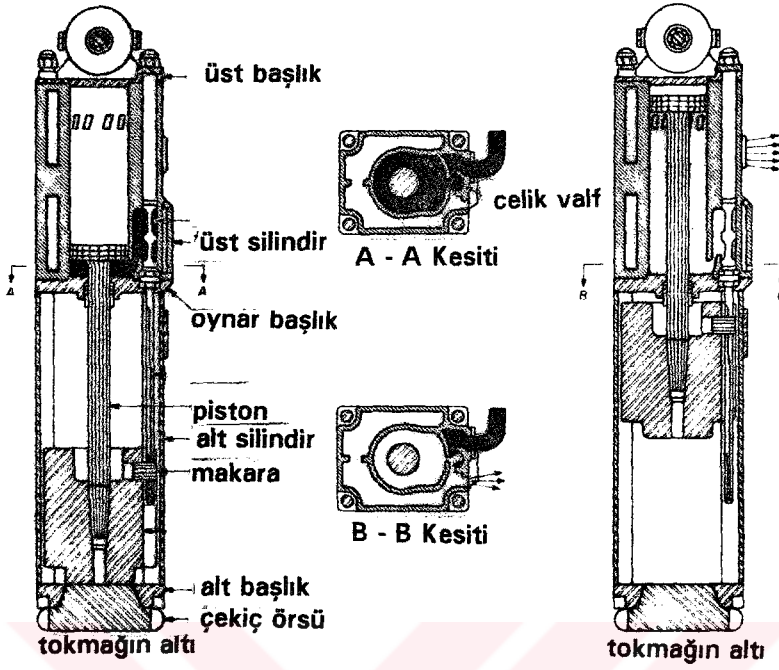
6.1.2.6. Vibratörlü Çekiçler

Vibratörlü çekiçler de karşıt çevrimli egzantistik ağırlıklar kullanılırlar. Bunun gayesi yatay kuvvet bileşenlerini ortadan kaldırmak ve düşey kuvvet bileşenlerini artırmaktır. Kazık yüksek frekanslı titreşimlerin etkisi altında zemine çakılır. Kohezyonsuz zeminlerde imal edilecek yerdeğiştirmesiz kazıklarda çekic darbeleri 8 kat daha hızlıdır. Son zamanlarda yapılan araştırmalar da göstermektedir ki vibratörlü çekiçler yüksek hızlı ve verimli çalışma koşulları sağlamaktadır. Ayrıca geliştirilen yeni teknolojilerle operasyon sırasında oluşan kazık hasarları ve gürültüler mümkün olduğu ölçüde elimine edilmiştir (Hunt, 1986). Vibratörlü çekiçlerin değişik modelleri mevcuttur. Bununla beraber genel olarak iki tür vibratörlü çekicinin varlığından da söz edebiliriz. Bunlar düşük ve yüksek frekanslı vibratörlü çekiçlerdir.

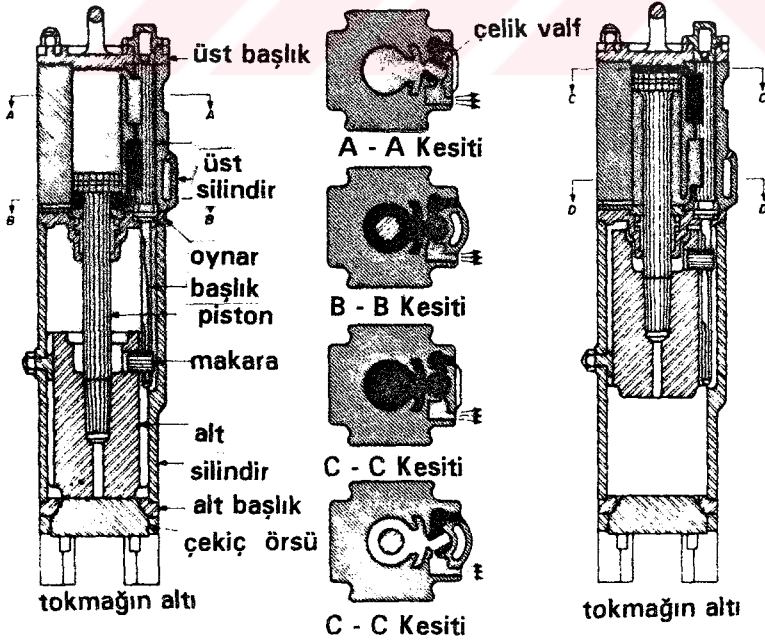
Düşük frekanslı vibratörler saniyede 30'un üzerinde titreşim yapabilen bir operasyon frekansına sahiptir ve gerek elektrik motoru gerekse de hidrolik esaslı motorla



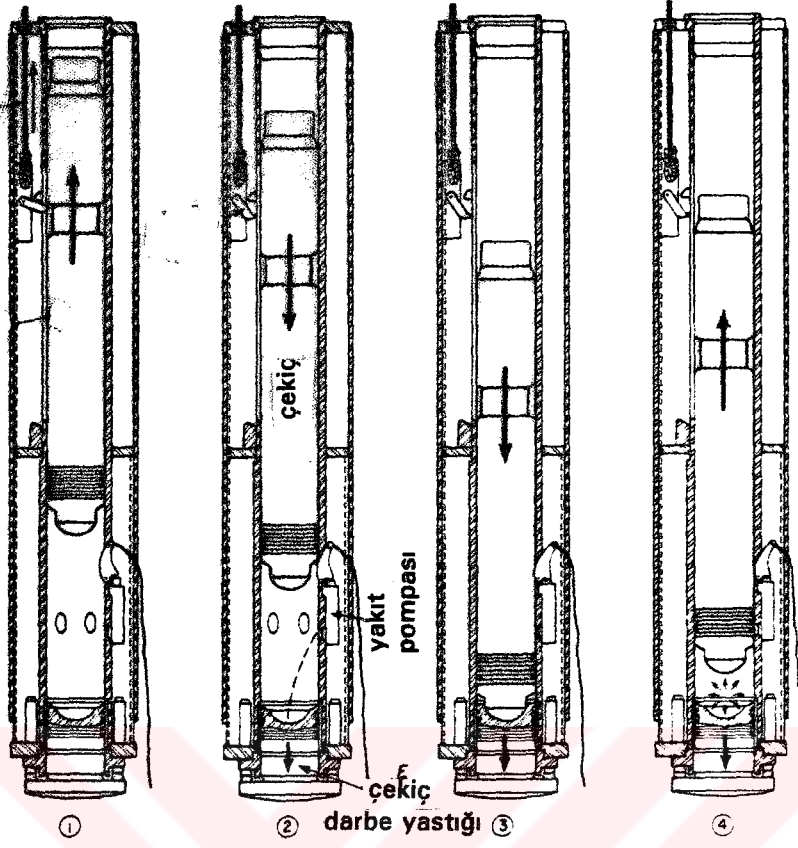
Şekil 6.5a Şahmerdanlar



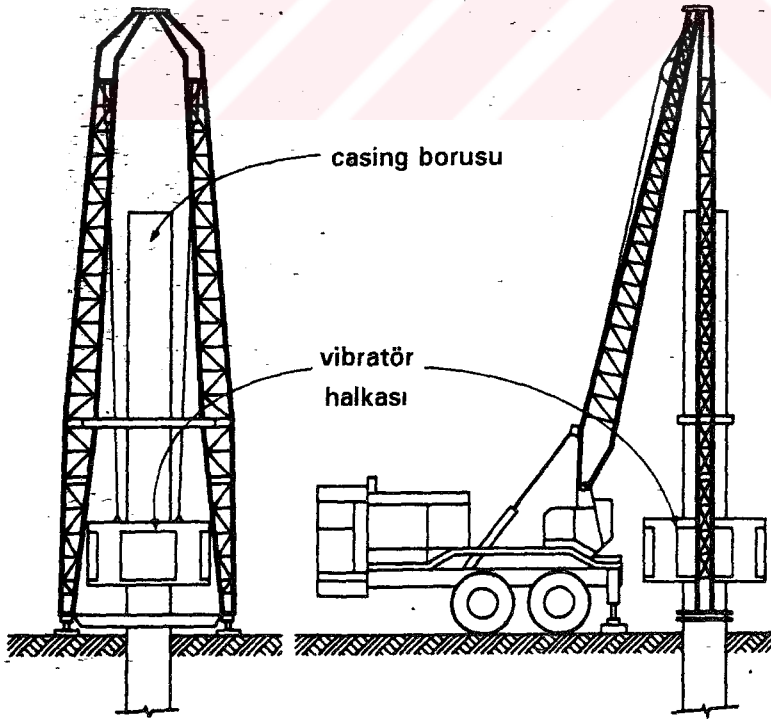
Şekil 6.5b Tek etkili çekiçler



Şekil 6.5c Çift etkili çekiçler



Şekil 6.5d Dizel çekçiler



Şekil 6.5e Vibratörlü çekçiler

çalışabilmektedir. Yüksek frekanslı vibratörlerin operasyon frekansının direnci saniyede 80-120 titreşim arasında değişmekte ve içten yanmalı motorla tahrik edilebilmektedirler (Şekil 6.5e) (Prakash ve Sharma 1990).

Yukarıda kısaca temel özellikleri tariflenen özel çekiç tiplerinin bir proje için önceden seçimi mühendisin ve kazık üreten firmanın geçmişteki arazi deneyimlerine yakından bağlıdır. Bununla beraber küçük çaplı ve az sayıda kazığın çakılacağı zaman problemi önemli olmayan projelerde çalışma hızı ve verimliliği daha düşük olan şahmerdanlar tercih edilirler. Tek etkili çekiçler de ya hava ya da buhar basıncı kullanılarak tokmak yukarı kaldırılıp sonra da serbest düşüme bırakılır. Bu tür çekiçlerde darbe enerjisi serbest düşüme bırakılan tokmağa etkiyen yerçekimi kuvvetinin etkisi ile oluşturulur. Bu yüzden yeterli ve kabul edilebilir bir darbe enerjisinin kazığa yayılabilmesi için çok ağır tokmaklar bile kullanılabilir.

Çift etkili çekiçlerde hafif tokmaklar kullanılır. Operasyon hızı tek etkili çekiçlere kıyasla kısmen daha yüksektir. Bu çekiçler genel olarak küçük boyutlu ve hafif kazıkların çakılması için kullanılırlar.

Karışık etkili çekiçlerde ise ağır tokmalara karşın yüksek operasyon hızı göze çarpar. Bu çekiçlerin hem tek etkili hem de çift etkili çekiçlere karşı belirgin avantajları vardır.

Vibratörlü çekiçler özellikle kohezyonsuz zeminlerde kazık çakımı için en elverişli çekiç tipidir. Bu çekiçlerin kullanıldığı yapılan kazık çakma operasyonlarında titreşim etkileri ile kazığın çevresindeki zeminlerde sıvılaşma potansiyelinin etkisine bağlı olarak çakım sırasında kazık cidarları ile zemin arasındaki sürtünme kuvveti azalmaktadır. Bu çekiçlerin en büyük dezavantajı kazığın yük taşıma kapasitesinin kazık çakma işlemi sırasında yeterli ölçüde güvenli olarak tahmin edilememesidir (Prakash ve Sharma 1990)

6.1.3. Diğer Çakma Kazık Ekipmanları

Şekil 6.1'de görüldüğü gibi bir kazık çakma sisteminin temel elemanları kazık, kazık başlık yastığı (tamponu), çekiç yastığı, çakma başlığı ve çekiçten ibarettir. Kazık başlık yastığı veya çakma başlığı iki amaca hizmet eder. Birincisi çekici güvence altına alır ve pik kuvvetleri söndürerek azaltmak suretiyle kazığın hasar görmesini önlemektir. İkincisi ise çekiç enerjisinin efektif olarak kazığa transferini sağlamak için

elastik davranış göstermektedir. Kazık başlık yastığının ya da çakma başlığının çeşitli türleri mevcuttur.

Çekme başlığı darbelerin uniform bir şekilde kazığa yayılmasını sağlayan ve kazığın üstüne monte edilen bir çelik kapaktır. Ancak anılan uniform dağılımın sağlanması için çakma başlığının kazığa üst ucundan tam temas etmesi önemli bir husustur. Çekme başlığının biçimi ve boyutları kazığın kesit özelliklerine bağlı kalınarak tayin edilir.

Kazık yastığı, prekast betonun ve çakma başlığının üstüne yerleştirilir ve çoğu kez yumuşak veya sert ağaçtan yapılmış tahta benzeri kontraplaklar yastık vazifesini görürler. Tipik bir kazık yastığı kontraplak gibi minimum kalınlığı 150 mm olan ve yüksek sıkışabilme kabiliyetli malzemelerden oluşturulur. Kazık yastıklarının görevi kazığı darbeler sırasında oluşabilecek hasarlardan korumak çekic enerjisinin kazığa yeterince aktarılmasını temin etmek ve çekiç darbelerinin kazık başlığına uniform olarak yayılmasını sağlamaktır. Kazık başlığının yeraltı su seviyesinin altında kalmasını gerektiren özel durumlarda kazık stabilitesini korumak için rijit çelik elemanlar kullanılmaktadır. (Prakash ve Sharma 1990)

6.2. Yerinde Dökme (Fore) Kazıkların Yapımında Kullanılan Ekipmanlar

Bilindiği gibi yerinde dökme (fore) kazıkların imalatı sırasında zeminde sondaj karakterli bazı mekanik araçlarla foraj çukurları açılmaktadır. Fore kazıkların yapımında kullanılan sondaj ekipmanları geniş bir çeşitlilik göstermektedir. Foraj çukurunu açtıran ve sondaj ekipmanlarını üreten firmalar projenin özelliklerine ekonomik ve pratik yönden en uygun olan mekanik donanımların ayrıntılarını dikkatle belirlemelidir. Bu kazıkların yapımı için kullanılması gerekli olan alet ve donanımların temel özellikleri aşağıda kısaca açıklanmaktadır (Tomlinson, 1977).

6.2.1. Sondaj Donanımı

Foraj çukurunun açılabilmesi için kullanılan mekanik sondaj donanımının "burgu tipi" ve "rotary tipi" olmak üzere iki çeşidi vardır. Burgulu sondaj donanımlarında zemin ya da yumuşak kayalarda çalışma koşullarına elverişli bir burgu kullanılarak foraj yapılır. Rotary tipindeki sondaj donanımlarında ise foraj çukurunu açmak için bir sondaj sıvısı kullanılmaktadır. Bu donanımları üreten kuruluşların hazırladıkları dökümantas-

yonlarda maksimum foraj çapı ve derinliği, sondaj düzeni, donanımın bağlantı detayları maksimum sürekli tork, yukarıdan aşağıya iletilen maksimum kuvvet, burgulu donanımın temel karakteristikleri v.b. gibi kritik büyüklükler yer almaktadır. Böylece fore kazık yapımında -ortam koşullarına bağlı olarak- en elverişli, verimli ve ekonomik olan cihazın kolayca seçilmesi mümkün olabilmektedir.

Sondaj düzeni ya genelde kare kesitli bir çelik şaft ya da bir hidrolik sürücüyü içerir. Hidrolik çakma düzeni ya döner platforma monte edilir ya da burgu veya rotary'nin gövdesine monte edilerek onlarla birlikte iner kalkar. Derinliği en fazla 18 m.'ye ulaşan sığ foraj çukurlarında yekpare sürücüler kullanılır. Daha derin foraj çukurları için iki alternatif yöntem uygulanabilir. Birincisi sondaj şaftına gereken derinliğe kadar ilave mil eklemek ikincisi ise boyu istenildiği ölçekte ayarlanabilen kare kesitli iç içe geçebilen teleskopik özellikli kayar şaftları kullanmaktır.

Tipik bir sondaj donanımı aşağıdaki gibi bir mekanik bağlantı düzenine sahiptir (Prakash ve Sharma, 1990)

1. Taşıyıcı kamyon
2. Paletli vinç (kren)
3. Paletli treyler
4. Takoz
5. Lastik tekerlekli treyler

Günümüzde kazıklı temel uygulamalarında öncülük eden ülkelerde sondaj donanımları ekseriyetle lastik tekerlekli ya da paletli kamyonların kasasına monte edilir (Şekil 6.6a). Daha ağır ve geniş çaplı uygulamalarda paletli vinçlerin aynı amaçla kullanılmaları mümkündür (Şekil 6.6b). Kamyona montajlı donanım sistemleri mobilizasyon ve manevra kabiliyetleri açısından diğer düzeneklere göre belirgin derecede üstün olmakla beraber rotasyon, öteleme ve eğik çakım yapabilme avantajlarına da sahiptir. Taşıyıcı kamyona monte sistemler vasıtasıyla açılan foraj çukurlarının çapı 1.2-3.0 m.; uzunluğu ise 60 m. ye kadar çıkabilmektedir. Paletli vinçlere monte edilen sondaj donanımlarının ayrıyeten başka mekanik araçlarla şantiye sahasına hasarsız bir şekilde sevkiyatı daima önplana çıkmaktadır. Bu tür vinçlerin çalışma sahasına transportasyo-

nu zorlaştırıcı bir faktör olmakla beraber, yoğun işlerin altından kalkabilecek hızlı bir çalışma temposuna sahip değildirler. Ancak paletli vinçler ağır olmalarına karşın çalışma kapasiteleri yüksek olduğu için özellikle geniş çaplı derin foraj çukurlarının açılmasını gerekli kılan durumlarda vazgeçilmez bir ekipmandırlar.

Paletli vinçlere monte edilen donanımların kullanıldığı foraj tekniklerinde foraj çukuru çapının değişim aralığı 3-6 m. olmakta, foraj çukuru derinliği ise 60-70 m.'yi bulabilmektedir. Bu donanımlar kullanılarak yapılacak eğimli uygulamalarda eğik kazığa ait foraj çukurunun maximum eğimi 45° olabilmektedir. Paletli vinçlere monte edilen donanımlara benzeyen Paletli treyler üzerine monte edilmiş sondaj donanımlarının da şantiye sahasına nakil ve arazi koşullarına bağlı olarak da deplasman problemleri bulunmaktadır. Bununla beraber adı geçen sistemin arazi koşullarındaki manevra kabiliyeti yüksek olup çapı 6 m. derinliği yine 60 m. ye varan pratik uygulamalar literatüre geçmiştir (şekil 6.6b).

Kuşkusuz ki yukarıda açıklanan ana sondaj donanımları içinde proje müellifleri ve yükleniciler açısından gerek mali, gerek süre, gerekse de geoteknik koşulların elverişliliği ve önem sırasına bağlı olarak en uygun olanı seçilmelidir. Arazide fiilen yapılacak çalışmaların gecikmesine engel olmak amacıyla sondajı yapan kuruluşlar ve yüklenici arazi ile ilgili gerekli ön etüd çalışmalarını eksiksiz olarak yapmalı ve tedbirlerini önceden almalıdır.

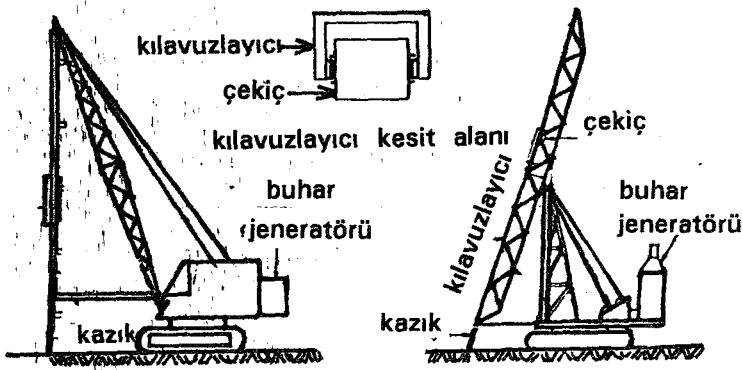
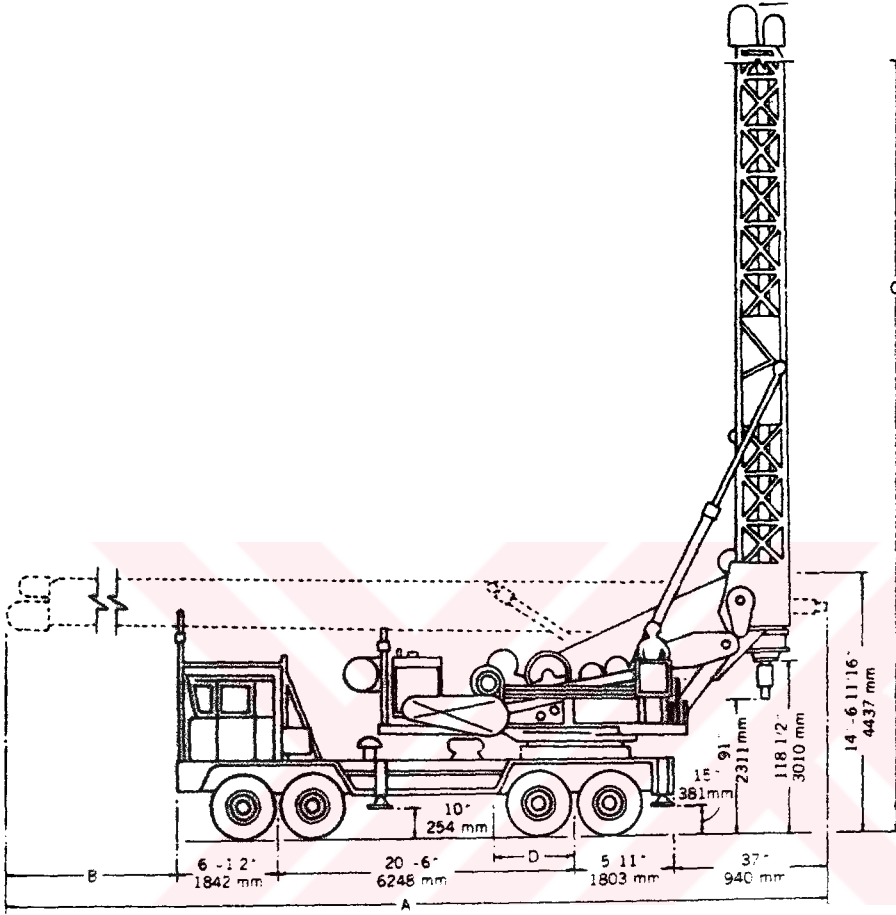
6.2.2. Diğer Sondaj Ekipmanları

Kazığı foraj çukuruna emniyetli bir şekilde yerleştirmek için ana donanıma yardımcı olarak kullanılan çeşitli aksesuarlar da vardır. Bunlar burgu, genişletici, kova, çukur dibini temizleyici ve kaplama boruları olarak sıralanabilir. Bu ekipmanlar foraj çalışmalarında yaygın olarak kullanılmamalarına rağmen özelliği bulunan arazi ve çalışma koşullarında çok kullanışlı ve faydalı olabilmektedirler. Aşağıda adı geçen yardımcı donanımların temel işlevlerine kısaca değinilmektedir (Prakash ve Sharma, 1990).

6.2.2.1 Burgular

Zemindeki kazık shaftlarının çoğu burgularla kazılır (Şekil 6.7) sözkonusu burgular açık helezon şeklinde ve yumuşak yarı yumuşak zeminlerin içinde hatta kayaçlar içinde uniform bir şekilde çalışabilmektedir. Sert metal kesici dişlere sahip burgu uçları,

sıkı zeminler ve yumuşak ya da yarı yumuşak kayalar içinde bile elverişli çalışma koşulları sağlamaktadır.



Şekil 6.6 Çeşitli sondaj donanım ekipmanları

(a) Kamyonun kasasına monte edilmiş donanım

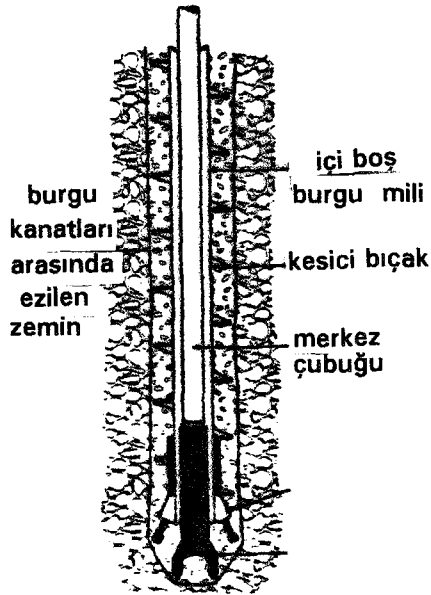
(b) Paletli treylere monte edilmiş donanım

6.2.2.2. Genişleticiler

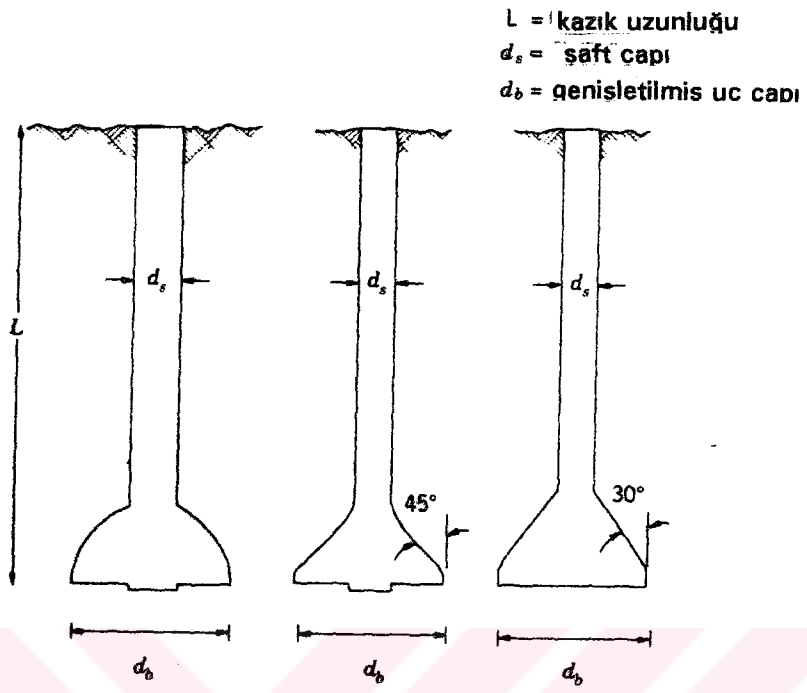
Kazık tabanını genişletme işlevini sağlamak amacıyla kullanılan genişleticiler arasında en çok rağbet edilenler arasında kubbe kesitli 45° eğimli ve 30° eğimli genişleticiler ilk sırayı almaktadırlar (Şekil 6.8). Sondajı yaptıranlar değişik genişletici tipleri arasından zemin ve çalışma koşulları içinde kendisine avantaj ve dezavantaj getirecek hususlara bakarak seçimini özenle yapmalıdır. Genel olarak bu üç genişletici arasında yapılacak seçime ortam ve zemin koşullarına göre en uygun olanı, müteahhitin tercihi ve benzer çalışma koşullarında daha önceki işlerden edinilen tecrübeler etki etmektedir.

6.2.2.3. Sondaj Kovaları

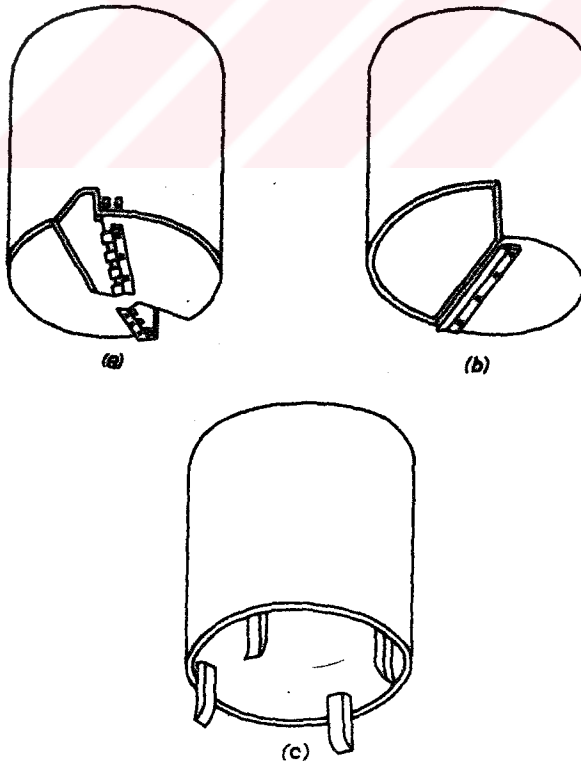
"Göbek kovası" ve "kısa kova" benzeri sondaj kovaları, burgu tipli aletlerin kazı yapmadığı sağlam kayalar içinde kazı yapmak (yapabilmek) için kullanılırlar. Tipik bir göbek kovası kazı görevini alt ucundaki (kısmındaki) sert metal dişlerin üstlendiği silindirik kesitli bir mekanik donanımdır (Şekil 6.9a). Bu dişlerin kesitleri, boşlukları ve uzunlukları değişik amaçlar için değiştirilebilir ya da yeniden düzenlenebilir. Sondaj kovalarının sağlam ve sert kayalar içinde kazı yapmaya elverişli olan bir diğer türü de kısa kova adını almaktadır. Kısa kovaların kesici dişleri yoktur. Kazı işlevini kısa kovanın dönen kenarlarının üzerinde yer alan dökme çelikten imal edilmiş bilyalar kayacı parçalayıp öğüterek gerçekleştirirler (Şekil 6.9b).



Şekil 6.7 Burgu ile foraj çukurunun açılması



Şekil 6.8 Genişletici ile tabanı amaca uygun değişik açılarda genişletilmiş kazıklar



Şekil 6.9 Sondaj Kovaları

6.2.4. Çukur Dibini Temizleyen Araçlar ve Kaplama (Casing) Boruları

Birçok uygulamada zeminin kazık yapımına sahne olan derinlikleri arazinin su taşıyan tabakalarını da içine almaktadır. Bu nedenle yeraltı suyu kazık yapımı için açılan çukura sızacaktır. Çoğu kez bu su foraj çukurunun açılma işlemi tamamlandıktan hemen sonra, çukurun içi betonla doldurulmadan önce çukurdan uzaklaştırılmalıdır. Suyu uzaklaştırmak amacıyla kullanılan ekipmanlar, pnömatik çekme tertibatlı pompalar, betonlama operasyonuna kadar çukurun içindeki suyu çukur tabanından sürekli olarak dışarıya pompalayan pompalar ve "bailer" olarak da adlandırılan ve çukurda biriken suyun içine daldırılarak ve tekrar yukarı çekilen özel tasarlanmış kovaları içermektedir. Bu ekipmanların seçimi sorumluluk ister. Bununla beraber eğer sorumlu mühendis zemin ve arazinin geoteknik ve jeolojik özelliklerini gözönünde tutarak çukur içine gelecek suyun debisini önceden kestirebiliyorsa teknik ve ekonomik yönden doğru seçimi yapabilir.

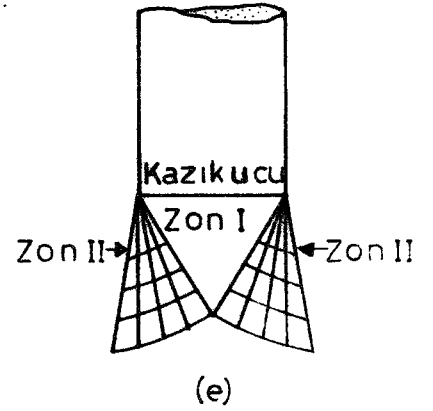
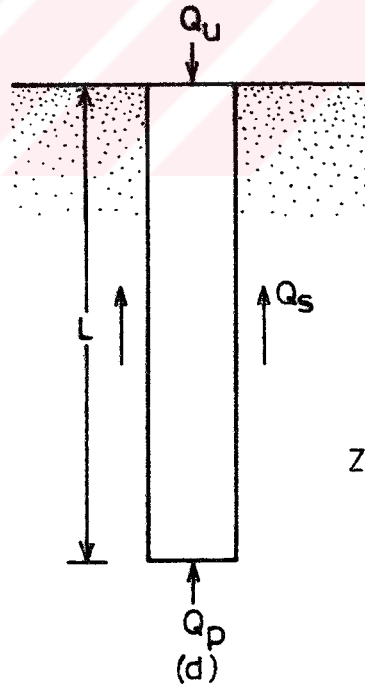
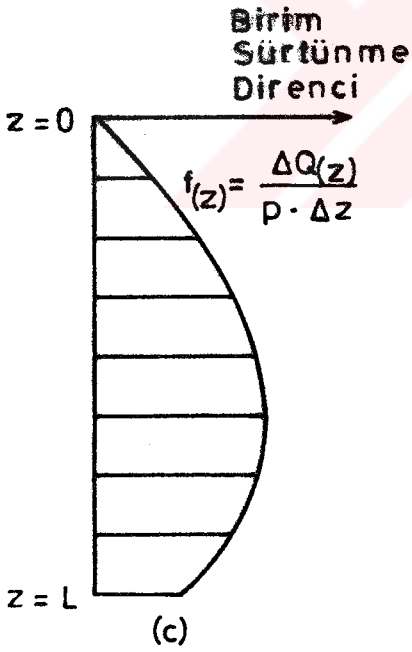
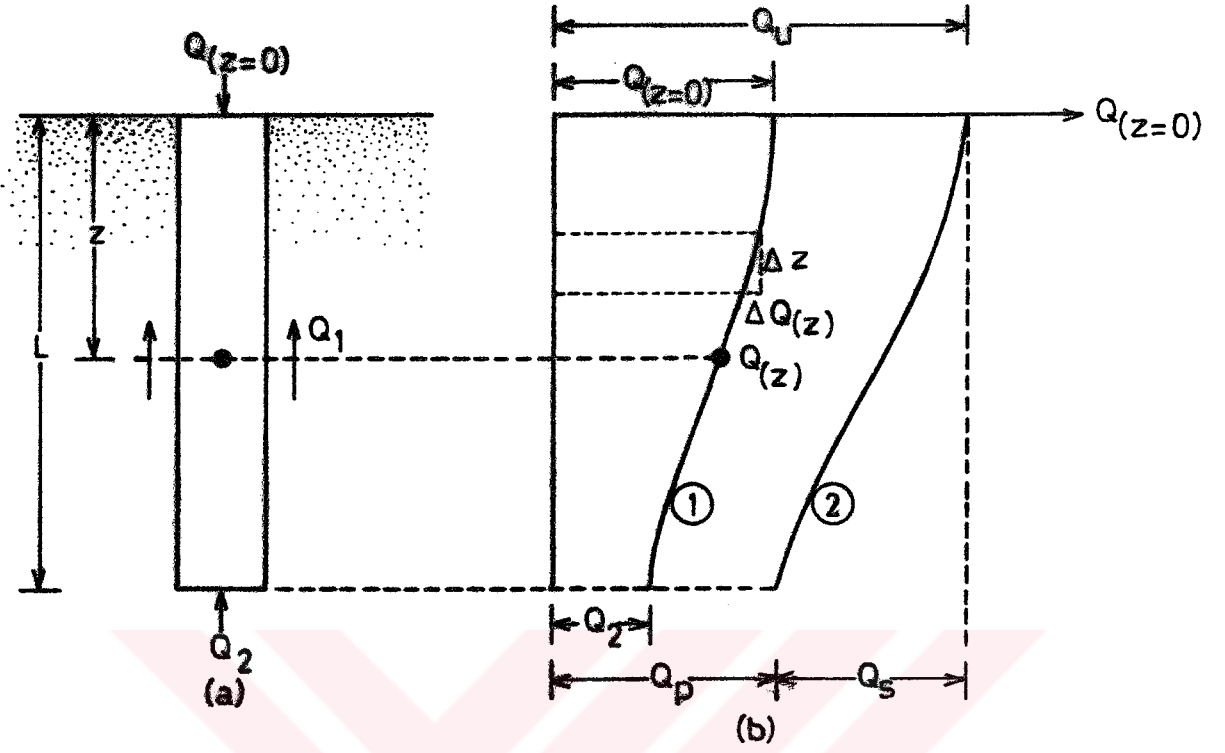
Bazı durumlarda foraj çukurunun gerek kazı sırasında, gerekse de kazı sonrasında (çukur içi betonla doldurulmadan önce) temiz tutulması (kalması) için muhafaza(kaplama) borularının kullanılması gerekebilir. İki ucu da açık olan bu borular çukurun içi betonla dolduruluncaya kadar geçici maksatla kullanılabileceği gibi kazık yapım işlemleri tamamlandıktan sonra da yerinde (çukur içinde) bırakılmak üzere kalıcı maksatlarla da kullanılabilir. Eğer zemin boşluklu gevşek ve kendini tutamayan bir zeminse yeraltı suyu tablası sık sık değiştiriyorsa kaplama borularının kalıcı maksatla kullanılması çok faydalı olabilmektedir. Kaplama boruları çelikten imal edilirler ve zemin ve yeraltı suyundan gelecek basınçlara karşı dayanabilecek yeterli et kalınlığına sahip olabilmelidir. Çoğu uygulamalarda çukur açıldıktan sonra kendi kendini tutamayan, kemerlenme etkisi göstermeyen ve yeraltı suyunun çok derinlerde kaldığı strüktürler olmadığı sürece casing boruları ya kazı ile birlikte ya da foraj çukurunun kazı işlemlerinin hemen ardından Vibrohopper-Titreşimli çekiciler aracılığıyla çukurun yan cidarlarına yerleştirilir ve çukurun içine doldurulan beton tamamen prizini almadan kısa bir süre önce dikkatli bir şekilde yukarı alınır.

7. KAZIKLARIN ZEMİNE YÜK AKTARMA MEKANİZMASI

Kazıktan zemine yük aktarma mekanizması oldukça karmaşıktır. Bu olayı yorumlamak için Şekil 7.1a'da gösterilen kazık uzunluğu "L" boyunca yük dağılımının irdelenmesi lazımdır. Kazık üzerindeki yük " Q_w " zemin yüzeyinden başlayarak derinlikle tedricen azalmaktadır. Bu yükün bir kısmı kazık gövdesi boyunca çepeçevre gelişen yüzey sürtünmesi ile karşılanan " Q_{ws} " ve kazık ucunun altında kalan zemin tarafından karşılanan " Q_{wp} "'dir. Yük aktarma mekanizması toplam yükün ne kadarlık kısmının "yüzey sürtünmesi" ne kadarlık kısmının "uç mukavemeti" ile karşılanacağını belirlemektedir. Eğer herhangi bir "z" derinliğinde kazık shaftı tarafından taşınacak [Q_z] yükünün belirlenmesi için ölçümler yapılırsa " Q_{ws} " yükünün shaft boyunca dağılımı Şekil 7.1b'de görüldüğü gibi olmaktadır. Herhangi bir "z" derinliğinde "birim shaft alanına isabet eden yüzeysel sürtünme direnimi" [f_z], (7.1) bağıntısıyla aşağıdaki gibi hesaplanabilir. (Şekil 7.1c), (Das, 1990).

$$f_z = \frac{\Delta Q_z}{[P] \cdot [\Delta z]} \quad (7.1)$$

Bu bağıntıda "P" kazık enkesitinin çevre uzunluğunu göstermektedir. Eğer kazık üzerindeki " Q_w " yükü tedricen artırılırsa kazık shaftı boyunca oluşan yüzeysel sürtünme direnimi kazığın çevre zeminine karşı göreceli hareketi 5-10 mm. ye ulaştığında maksimum derecede mobilize olmuş olacaktır. Buna karşın tabanda taşınabilecek yükün maksimum değerine ulaşabilmesi için kazık tabanının, çakma kazıklarda çapın %10'u, fore kazıklarda [%25 - %30]'u kadar hareket etmesi gerekecektir. Kazık tepesine etkiyen yükün göçme yükü-nihai yük taşıma kapasitesi " Q_u " değerine ulaşması halinde gerek çevrede ve gerekse de uçta taşınabilecek maksimum kapasitelere erişilmiş olacaktır. Nihai yük kazığa uygulandığında (Şekil 7.1d) taşıma kapasitesi maksimal değere ulaştığı için kazığın uç bölgesinde Şekil 7.1e'de tariflenen zonlarda çatlaklar oluşur. Daha büyük şiddetteki yüklerde zeminde kesme makaslaması etkisinde oluşabilen göçmeler nedeniyle kazıklar zemine gömülürler. Sonuçta ise farklı gömülülükte farklı zemin koşullarında yeni bir kazık oluşmuş olur. Kazıklı temel ve diğer derin temel inşaatlarında en fazla çatlağın zımbalama etkisinin olduğu kesimlerde meydana geldiği görülmüştür.



Şekil 7.1. Kazıklarda yük aktarma mekanizması (Das, 1990)

8. NEGATİF ÇEVRE SÜRTÜNMESİNE MARUZ KAZIKLAR

Kazıklar genellikle konsolidasyonunu tamamlamış ya da henüz tamamlamamış yeni bir dolgunun yumuşak ve yer yer erode olmuş bir kil tabakasının üzerinde yer aldığı zemin strüktürlerinde inşa edildikleri (yerleştirildikleri) zaman, yüklendikleri anda çevresindeki zemine göre aşağıya doğru batma eylemi gösterebilmektedirler (Şekil 8.1).

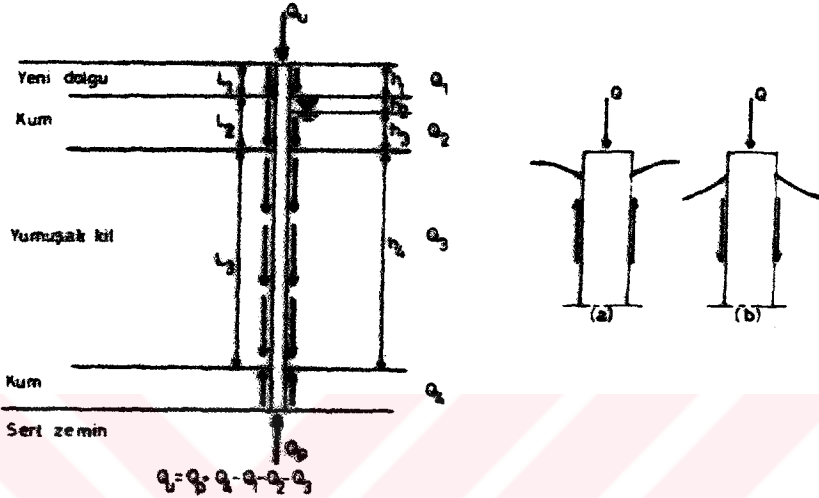
Şekil 8.2a'da henüz konsolidasyonunu tamamlamış yeni bir dolgunun eski bir kil tabakası üzerinde yer alması hali gösterilmektedir. Kazık yerleştirilip üst yapı yüklerine maruz kaldıktan sonra yeni dolgu kendi ağırlığı altında konsolidasyonunu sürdürebilmekte böylelikle çevre zemininin kazığa göre relatif olarak daha fazla hareket etmesi nedeniyle kazığa aşağıya doğru negatif bir çevre sürtünmesi etkimektedir.

Şekil 8.2b'de ise kazık ucu sağlam bir kil formasyonuna oturduğu, üstte yeni dolgu arada kalan zonda ise yumuşak bir kil tabakasının yer alması durumunda; üstteki yeni dolgu -kazık üst yapı yüklerine maruz kaldığı zaman- kendi ağırlığının etkisi altında, aradaki yumuşak kil tabakası ise hem üzerindeki yeni dolgunun hem de yeraltı su seviyesinin düşürülmesi gibi nedenlerle oturma eylemi gösterebilir. kazık alt ucundaki sert kilde çok az deplasman yapabileceğinden kazık çevresindeki zeminin büyük bir kesimi kazığa göre relatif olarak aşağı doğru hareket edecektir (Yıldırım ve Özaydın, 1994).

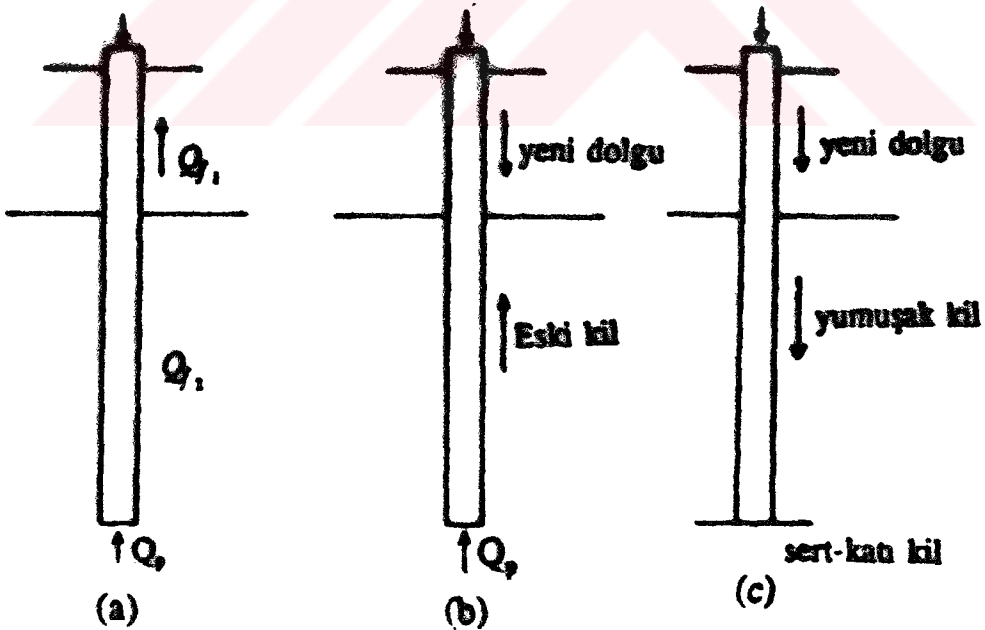
Kazıkların yumuşak-orta katı killer, yumuşak siltler bataklık-turba gibi kompresibilitesi yüksek zeminlere çakılarak yerleştirilmeleri durumunda, uç kısmında sağlam taşıyıcı zemin tabakası bulunması durumunda, negatif çevre sürtünmesine maruz kalmaları kaçınılmazdır. Kazıklı temel projesi uygulanmadan önce araziden alınan numuneler üzerinde yapılan laboratuvar konsolidasyon deneyleri sonucunda ortamı oluşturan zeminin sıkışabilirliği yüksekse uygulamalarda negatif çevre sürtünmesinin oluşma şansı fazla demektir. Bu durumda çeşitli yaklaşımlarla hesaplanabilecek negatif çevre sürtünmeleri gözönüne alınarak toplam kazık taşıma kapasitesi azaltılmalıdır (Teng, 1982).

Bu şartlar altında kazık shaftına etkiyecek negatif çevre sürtünmesinin belirlenmesinde kullanılan genel yaklaşımlar içinde kazıkla kil arasında kazık malzemesine,

kilin cinsine, yük veren formasyonlara ve kazıkla zemin arasındaki göreceli hareketin hızına bağlı olarak açıklanabilen adhezyon faktörüne dayalı Bjerrum, (1972) yaklaşımı ve negatif çevre sürtünmesinin hem kohezyonlu hem de kohezyonsuz zeminlerde düşey efektif gerilmenin ancak belirli bir yüzdesi olabileceğini ileri süren Vesic, (1977) yaklaşımları başta gelmektedir.



Şekil 8.1. Negatif çevre sürtünmesinin oluşumuna tipik bir örnek (Teng, 1962).



Şekil 8.2. Negatif çevre sürtünmesinin oluşumu mekanizması (Yıldırım ve Özyayın, 1994).

Bjerrum yumuşak sıkışabilir killerde göreceli hareketin hızının yavaşlaması durumunda oluşan adhezyonun da düşük değerde olacağını iddia etmekte; eğer hareket hızlı ise negatif çevre sürtünmesinin pozitif çevre sürtünmesine yakın olacağını öne sürmekte, eğer göreceli hareket yavaş ise özellikle kohezyonlu zeminlerde birim yüzey alanına etkiyen negatif çevre sürtünmesinin ;

$$f = \beta \cdot \sigma'_v \quad (8.1)$$

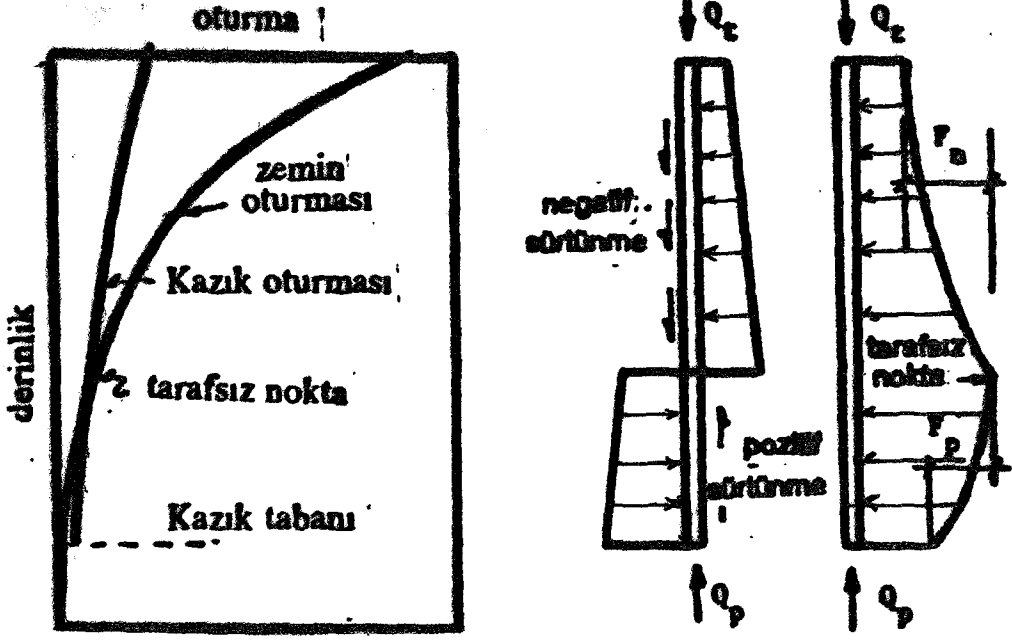
bağıntısı ile yaklaşık olarak hesaplanabileceğini ileri sürmektedir. Burada " β " amprik katsayısı zeminin plastisite özelliklerine bağlı olarak [0.1-0.25] aralığında değişen bir katsayıdır (Yıldırım ve Özaydın, 1994).

Vesic, Bjerrum'a benzer bir düşünce ile kazık şaftının kaplamalı ya da kaplamasız olması durumlarına göre [%1 - %80] aralığında değişen bir N_0 katsayısı ile düşey fektif gerilmenin azaltılmasını ifade eden

$$f = N_0 \cdot \sigma'_v \quad (8.2)$$

bağıntısıyla birim yüzey alanına etkiyen negatif çevre sürtünmesinin bulunabileceğini ileri sürmektedir (Yıldırım ve Özaydın, 1994)

Yine negatif çevre sürtünmesinin kazığın projede belirtilen üst yapı yükleri ile yüklenmesi durumlarında kazık boyunca hangi etkili uzunluğun gözönüne alınarak hesaplanıp üst yapı yüklerine ilave edileceğinin tesbit edilmesi de başka bir sorundur (Poulos ve Davis, 1980). Bu konunun çözümünde gösterilen en kaba yaklaşım zeminin oturduğu bölgenin tamamında bu etkinin hesaplanmasıdır. Fakat gözlemler ve yerinde yapılan araştırmalar sıkışabilen tabakanın takriben ancak maksimum [%75]'inin negatif çevre sürtünmesine katkısının olabileceğini ortaya koymaktadır. Diğer kelimelerle sıkışabilen zeminde "0.75 L" kadar aşağıda öyle bir nokta vardır ki bu noktanın üzerinde zemin kazığa göre aşağı, altında ise kazık zemine göre aşağı doğru öteleme hareketi yapmaktadır. Kazığın alt ucundaki zeminin yumuşak ya da sert olması durumuna göre "tarafsız nokta" adı verilen bu noktanın bulunması ile ilgili yaklaşımı özetleyen Şekil 8.3. aşağıda görülmektedir.



Şekil 8.3. Negatif çevre sürtünmesi etkisi altında öteleme yapan kazıklarda tarafsız noktanın bulunması (Yıldırım ve Özaydın, 1994).

Negatif çevre sürtünmesi etkisine maruz kazıklarda statik denge (8.3) eşitliği ile irdelenebilir.

$$[Q_t + F_n] = [F_p + Q_{p, all}] \quad (8.3)$$

Burada:

$[Q_t]$ = Yapısal yük

$[F_n]$ = Negatif çevre sürtünmesi yükü

$[Q_{pall}]$ = İzin verilebilir uç yükü
olmaktadır.

Bu eşitlik çok az bir göreceli hareketin negatif çevre sürtünmesinin doğmasına neden olacağı kabulünden yola çıkılarak yazılmıştır.

Kazıklı temel uygulamalarında negatif çevre sürtünmesine benzer bir etki yeraltı su seviyesinin üzerinde su ile temas edebilen $I_p > 30$ olan montmorillonit kökenli killerin hacimlerinde su girişimi ile oluşan hacim artışı ve azalmaları sonucunda da ortaya çıkabilmektedir. Bu etkinin şiddeti Y.A.S.S'ne ve montmorillonit kökenli kil tabakasının kalınlığına da bağlıdır.

9. DÜŞEY YÜKLER ALTINDA KAZIK TAŞIMA GÜCÜ HESABI

Kullanılma amaçları çok çeşitli olabilen kazıkların projede öngörülen servis yüklerini güvenlikle taşımaları beklenir. Kazıklı temeller ekseriyetle en az 3-4 kazıktan oluşan kazık gruplarından teşkil edilirler.

Bu bakımdan pratik açıdan önemli olan kazık gruplarının taşıma gücünün tesbit edilmesidir. Kazık gruplarının taşıma gücünün belirlenebilmesi için de tek bir kazığın taşıma gücüne etkiyen faktörlerin bilinmesi gereklidir.

Kazık taşıma gücü, kazığın göçmeden ve aşırı oturmalar göstermeden taşıyabileceği en büyük yük olarak tanımlanmaktadır. Kazık yükleme deneylerine ilişkin olarak taşıma gücüne "**nihai - sınır yük**" de denilebilir. "**Proje yükü**" nihai yükün bir güvenlik sayısına bölünmesi ile bulunabilir. "**Servis yükü**" ise tekil bir kazık için bulunan "proje yükü"nün kazıkların grup etkisi gözönüne alınarak küçültülmesi ile elde edilmektedir.

Düşey yükler etkisinde kalan bir kazığın "düşey taşıma kapasitesi" veya "kazık taşıma gücü" kazığı oluşturan maddenin malzeme özelliklerine ve kazığın içinde bulunacağı zeminin çeşitli mühendislik özelliklerine bağlı olarak hesaplanabilir. Taşıma kapasitesi olarak bu değerlerden küçük olan seçilir.

Eksenel yüklü kazıkların "kazık taşıma gücü" büyüklüğü aşağıda sıralanan yöntemlerle belirlenebilmektedir.

1. Statik yöntemler
2. Arazi deneylerinin sonuçlarına dayalı amprik yöntemler
3. Dinamik yöntemler
4. Kazık yükleme deneyi sonuçlarına dayalı amprik yöntemler.

Yukarıda sıralanan yöntemlerle kazık taşıma gücünün nasıl belirleneceği zemin cinsive kazık tiplerine bağlı olarak bu bölümün devamı olan 10,11,12., ve 15. bölümlerde ayrıntılı bir şekilde ele alınmaktadır.

10. STATİK YÖNTEMLERLE KAZIK TAŞIMA GÜCÜ HESABI

Bir kazığın göçme olmaksızın ve aşırı oturmalara maruz kalmaksızın taşıyabileceği maksimum yük olan nihai taşıma kapasitesi (kazık taşıma gücü), kazığın imal edilip yerleştirilmesinden önce çoğu kez laboratuvarında belirlenen "kohezyon" ve "kayma mukavemeti açısı" gibi örselenmemiş kayma mukavemeti parametrelerinin kullanıldığı statik formüllerle hesaplanabilmektedir.

Eksenel yüke maruz kalan bir kazık bu yükü kısmen kazık shaftı boyunca meydana gelen "çevre sürtünmesi" ve kısmen de kazık ucunda oluşan "uç mukavemeti" ile taşıyacaktır. Aslına bakıldığında çevre sürtünmesi ve uç direnci'nin ayrı ayrı saptanması görüşü tüm statik formüllerin temelini oluşturmaktadır. Yukarıda da ifade edildiği üzere bir kazığın eksenel yüklere maruz kalması durumunda "**nihai taşıma kapasitesi**" yada "**kazık taşıma gücü**"

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (10.1)$$

bağıntısı ile açıklanabilir. (10.1) ifadesinden kazığın kendi ağırlığını düşürerek kazığın "**net taşıma gücü**" büyüklüğü elde edilebilir.

$$[Q_u] = Q_p + Q_s - W_p \quad (10.2)$$

(10.1) ve (10.2) ifadelerinde;

$[Q_u]$ = Kazığın nihai taşıma gücü

$[Q_p]$ = Kazığın uç mukavemeti ile taşıdığı nihai yük

$[Q_s]$ = Kazığın çevre sürtünmesi ile taşıdığı nihai yük

$[W_p]$ = Kazık ağırlığı

olarak tariflenmektedir. Genellikle kazık ağırlığı " W_p ", kazığın nihai taşıma gücü " Q_u "ya kıyasla oldukça küçüktür ve bu terim çoğu kez (10.2) bağıntısında ihmal edilebilir. Ancak bu ihmal deniz ve liman yapılarının inşaatlarında tesis edilen kazık tasarımlarında asla yapılmamalıdır. Zira bu tür inşaatlarda kazık uzunluğu, dolayısıyla ağırlığı sayısal değer itibarıyla ihmal edilemeyecek boyutlara ulaşabilmektedir.

Kazığın çevre sürtünmesi ile taşıdığı nihai yük " Q_s ", kazık shaftının teşkil ettiği yüzey alanı boyunca kazıkla zemin arasında gelişen " τ_a " kayma direnimlerinin enteg-

rasyonu sonucu belirlenebilir. Sözkonusu kayma gerilmeleri (10.3) eşitliğiyle ifade edilen Coulomb teorisi ile açıklanmaktadır (Poulos ve Davis, 1980).

$$[\tau_a] = c_a + \sigma_n \tan \phi_a \quad (10.3)$$

Burada;

$[\tau_a]$ = Şaft boyunca kazığa etkiyen kayma gerilmesi

$[c_a]$ = Adhezyon

$[\sigma_n]$ = Şaft boyunca kazığa etkiyen normal gerilme

$[\phi_a]$ = Kazıkla zemin arasında kalan zonun sürtünme açısı

Şaft boyunca kazığa etkiyen normal gerilme çoğu kez düşey gerilme " σ_v " cinsinden aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$[\sigma_n] = K_s \sigma_v \quad (10.4)$$

(10.4) bağıntısında;

$[K_s]$ = Yatay toprak basıncı katsayısı

olarak tariflenmektedir. Böylece (10.3) eşitliği yeniden düzenlenerek

$$[\tau_a] = c_a + \sigma_v K_s \tan \phi_a \quad (10.5)$$

biçiminde ifade edilebilir. (10.5) bağıntısıyla tariflenen kayma gerilmelerinin yukarıda da açıklandığı gibi şaft boyunca entegrasyonu yapıldığında **kazığın çevre sürtünmesi ile taşıdığı nihai yük** (10.6) eşitliği ile ifade edilebilmektedir.

$$[Q_s] = \int_{z=0}^{z=L} P \tau_a dz = \int_{z=0}^{z=L} P [c_a + \sigma_v K_s \tan \phi_a] dz \quad (10.6)$$

Bu eşitlikte yer alan terimlerden ;

$[P]$ = Kazığın çevresi

$[L]$ = Kazığın uzunluğu

$[z]$ = Kazık uzunluğu boyunca herhangi bir derinlik olarak tariflenmektedir.

Kazığın uç mukavemeti ile taşıdığı nihai yük " Q_p " ise kazığın alt ucunda yer alan zeminin kazık boyunca düşey yönde aktarılan gerilmelere karşı koyduğu reaksiyonun bir ölçütü olarak uç bölgesindeki kesit alanına aşağıdan yukarıya doğru etkiyen taşıma gücü bileşenidir. Uç mukavemeti ile taşınan toplam nihai bileşeni " Q_p " statik olarak Terzaghi'nin

yüzeysel temellerin taşıma gücü hesabı için önerdiği şaklaşım (10.7) eşitliğinde görüldüğü gibi belirlenebilmektedir (Poulos ve Davis, 1980).

$$[Q_p] = [cN_c + \sigma_{vL} N_q + 0.5 \gamma DN_\gamma] A_p \quad (10.7)$$

(10.7) bağıntısında görülen terimler;

[c] = Zeminin kohezyonu

[γ] = Zeminin birim hacim ağırlığı

[D] = Kazığın çapı

[σ_{vL}] = Kazık ucunun bulunduğu seviyede etkiyen düşey gerilme

[N_c] , [N_q] ve [N_γ] = Kazık ucunun yer aldığı zonda zeminin içsel sürtünme açısına bağlı olan, ayrıca şekil ve derinlik faktörlerinin etkisini de hesaba katan boyutsuz taşıma gücü faktörleri

[A_p] = Kazık ucunun kesit alanı

şeklinde tanımlanmaktadır. Bu açıklamalara göre (10.2) ifadesi yeniden düzenlenirse;

$$[Q_u] = [cN_c + \sigma_{vL} N_q + 0.5 \gamma DN_\gamma] A_p + \int_{z=0}^{z=L} P [c_a + \sigma_v K_s \tan \phi_a] dz - W_p \quad (10.8)$$

genel bağıntısı elde edilebilir. (10.8) bağıntısı tek kazığın nihai yük taşıma kapasitesini göstermektedir. Eğer analizlerde drenajsız ve kısa süreli yükleme koşulları gözönüne alınarak nihai taşıma kapasitesi hesaplanacaksa; (10.8) bağıntısında drenajsız koşullara karşılık gelen zemin parametreleri olan "c", " ϕ ", " c_a " ve " γ " değerleri kullanılmalı, " σ_{vL} " ve " σ_{vp} " gerilmeleri ise "**toplam gerilme yaklaşımı**"na göre belirlenmelidir. Ancak özellikle kumlu zeminlerde yeralan kazıklar için uzun süreli yükleme koşullarına göre analiz yapılması gerektiğinde (10.8) bağıntısında drenajlı koşullara karşılık gelen efektif zemin parametreleri ve "**efektif gerilme yaklaşımı**"na göre belirlenen " σ_{vL} " ve " σ_{vp} " efektif gerilmeleri hesaplarda kullanılmalıdır.

Çoğu uygulamalarda tasarımda yukarıda değinilen " W_p " kazık ağırlığı ihmal edildiğinde "sabit kesitli" kazıklar için (10.1) eşitliği,

$$[Q_u] = Q_p + Q_s = A_p \cdot q_p + A_s \cdot f_s \quad (10.9)$$

biçiminde yeniden düzenlenebilir. Burada;

[A_p] = Kazık ucu kesit alanı

$[q_p]$ = Kazık birim uç mukavemeti

$[A_s]$ = Kazık yüzey alanı

$[f_s]$ = Kazık shaftı boyunca ortalama birim çevre sürtünmesi

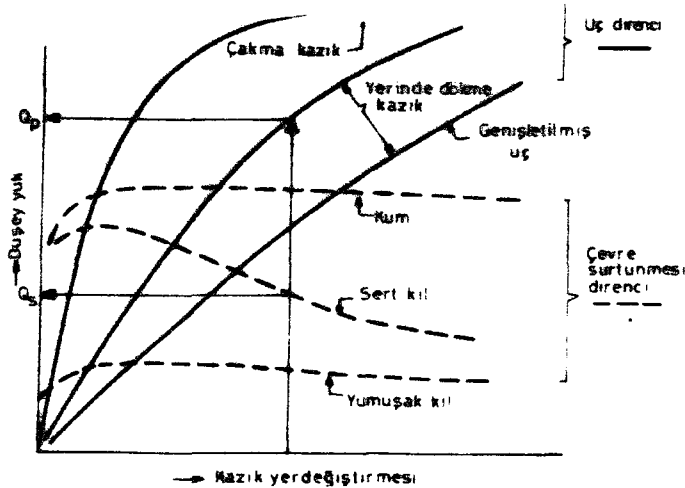
olarak tariflenmektedir (Fleming et al., 1985). (10.9) bağıntısı (10.8) ile birlikte değerlendirildiğinde tek kazığın birim uç direnci ve birim çevre sürtünmesi (10.10) ve (10.11) eşitlikleri ile aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$q_p = cN_c + \sigma_{vL} N_q + 0.5 \gamma DN_\gamma \quad (10.10)$$

$$f_s = c_a + \sigma_v K_s \tan \phi_a \quad (10.11)$$

Çevre sürtünmesi ve uç mukavemetinin göreceli büyüklüğü, bir başka deyişle kazık taşıma gücüne katkıları; kazığın geometrik boyutlarına ve zemin profiline bağlıdır. Yumuşak bir zemin tabakasından geçerek daha sert ve sağlam bir tabakaya oturan uç kazıklarında taşıma kapasitesinin büyük bir kısmını uç mukavemeti oluşturur. Kohezyonsuz zeminlerdeki sürtünme (yüzen) kazıklarında taşıma gücü çevre ve uç mukavemeti arasında eşite yakın dağılırken, kohezyonlu zeminlerde yeralan bir sürtünme kazığının çevre sürtünmesi ile taşıyabildiği yük taşıma gücünün [% 80 - 90]'ı kadar olabilir (Fleming et al., 1985).

Şekil 10.1'de uç direnci ve çevre sürtünmesi ile kazığın aksel yerdeğiştirmesi arasındaki ilinti görölmektedir. Şekil 10.1 yakından incelendiğinde, görölebileceği gibi kazık malzemesinden bağımsız olarak maksimum çevre sürtünmesini mobilize edecek yerdeğiştirme (δ_m), göreceli olarak çok küçüktür. [2-5 mm] (Broms, 1981).

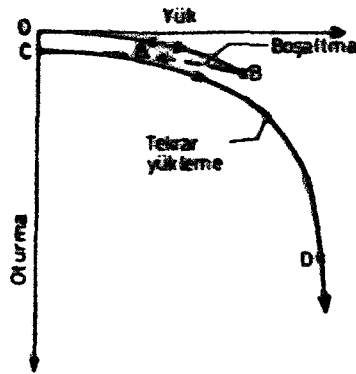


Şekil 10.1 Çeşitli kazık türlerinde uç mukavemeti ve çevre sürtünmesi ile kazık yerdeğiştirmesi arasındaki ilişkiler (Broms, 1981)

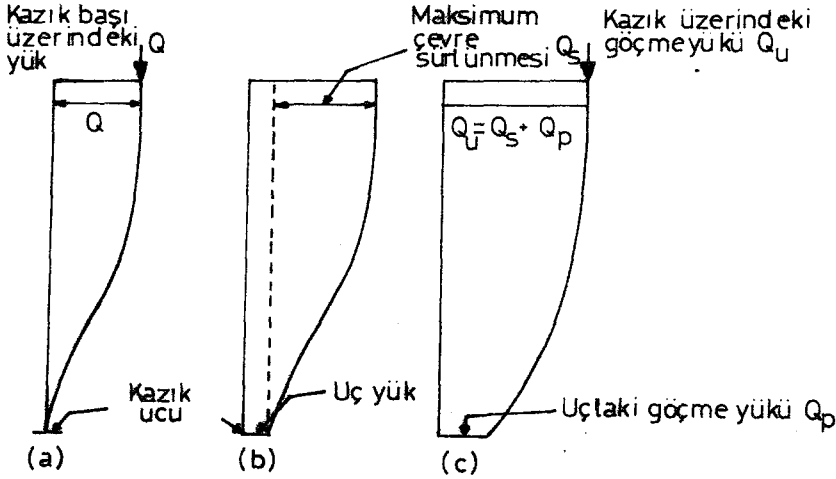
Çevre sürtünmesinin maksimum değeri % 0.5 - 2'lik bir kazık çapına karşı gelen ortalama 5-10 mm'lik bir oturmada mobilize olurken, maksimum kazık uç mukavemetinin mobilize olabilmesi için kazık çapının çakma kazıklarda % 10'u, fore kazıklarda ise % 30'u oranında bir oturma gerekmektedir (Meyerhof, 1977) Kohezyonsuz zeminlere çakılan kazıklarda çakma nedeniyle kazık ucu altındaki zeminin sıkışmasına bağlı olarak maksimum uç mukavemetinin tümünü mobilize edebilmek için çakma kazıklara kıyasla yerinde dökme kazıklarda daha büyük deplasmanlar gerekmektedir (Fleming et al, 1985).

Kohezyonsuz zeminlerde ve katı killerde maksimum çevre sürtünmesi, yumuşak normal konsolide killerdekinden önemli derecede büyüktür. Maksimum çevre sürtünmesi aşıldığında, kohezyonsuz zeminler ve yumuşak killer için çevre sürtünmesi azalımı normal olarak çok küçüktür. Ancak katı killerde maksimum uç mukavemeti mobilize olduğunda, çevresel sürtünme direncinin maksimum çevre sürtünmesinden oldukça küçük olma tehlikeside mevcuttur (Fleming 1985). çalışmasında bu olgu "progressive failure - ilerleyen göçme" olarak tanımlanmaktadır. Bu yüzden katı killerde, toplam taşıma kapasitesi, maksimum çevre sürtünmesi ve maksimum uç direnci toplamından küçük olur.

Eğer kazık gittikçe artan bir basınç kuvvetine maruz bırakılırsa Şekil 10.2'de gösterildiği gibi bir "yük-oturma" eğrisi ve Şekil 10.3'deki gibi her bir yükleme aşamasında kazıktan zemine aktarılan yük transferini gösteren diagramlar elde edilir. Başlangıçta zemin kazık sistemi elastik olarak davranır. Yeni yük-oturma eğrisi üzerinde A gibi bir noktaya kadar doğrusal bir ilişki vardır. Bu noktaya kadar herhangi bir kademede yük kaldırılırsa kazık eski haline döner.



Şekil 10.2 Bir kazığın üzerinde göçme yüküne kadar artan yük-oturma eğrisi



Şekil 10.3 Kazık basından şaftına yükün iletilmesi

- (a) Şekil 10.2'deki yük-oturma eğrisi üzerindeki A noktasında
- (b) Şekil 10.2'deki yük-oturma eğrisi üzerindeki B noktasında
- (c) Şekil 10.2'deki yük-oturma eğrisi üzerindeki D noktasında

Böylelikle kazık A noktasına kadar yüklendiğinde hemen hemen tüm yük kazık şaftı boyunca oluşan çevre sürtünmesi ile taşınır ve kazık ucuna yük transferi yok denecek kadar azdır. Yük A noktasından öteye artırılırsa kazık-zemin arasında veya yakınında akma başlar. B noktasına erişildiğinde ise kazık - zemin arasında veya yakınında kayma başlar. Bu anda maksimum çevre sürtünmesi de mobilize olur. İşte bu durumda da kazığa uygulanmakta olan yük maksimum çevre sürtünmesiyle ve biraz da kazık uç direnci ile taşınır. (Şekil 10.3b) Eğer bu evrede yük boşaltılacak olursa kazık DC gibi kalıcı bir yerdeğiştirme yapar. Uç mukavemetini tümünün mobilize olduğu aşamaya D noktasında erişildiğinde çevre sürtünmesindeki yük transferinde daha ileri bir artış olmaz ve kazık herhangi bir yük artımı olmaksızın kesme göçmesine uğrayarak aşağıya doğru batmaya başlar ya da yükteki küçük artımlar, artan bir şekilde büyük oturmalara neden olur. (Tomlinson, 1981)

Yukarıda yapılan açıklamalar kazığın statik yükler altında nihai taşıma gücü'nün hesaplanması için belirlenmesi gerekli birim uç direnci ve birim çevre sürtün-

mesinin yük altındaki gelişimini ortaya koymaktadır. Toplam taşıma kapasitesi, kazık çapı ve uzunluğunun değişik kombinasyonları ile bulunabilir.

Genelde, aynı çevre alanına sahip olmakla beraber, birkaç uzun narin kazık çok sayıda kıza kazıktan daha düşük oturmalara neden olacak şekilde ve daha etkili olarak yükü taşıyabilselerde, kazığın narinliği ekonomik nedenlerle veya aksenel kompresibilitesi veya çakım süresindeki stabilitesinden kaynaklanan bazı etmenlerle sınırlandırılabilir (Fleming, 1985).

Aşağıda sıra ile kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde yerleştirilen kazıkların "nihai taşıma gücü" 'nün tahmin edilmesi üzerinde durulacaktır. Ancak bazı zemin türleri kohezyonlu veya kohezyonsuz ve kaya sınıflarına tam olarak uymazlar. Bu nedenle, belirlenen zemin profilleri için mevcut en uygun yöntem benimsenerek kazık tasarımı yapılmalıdır. Statik formüllerin hemen tümünde çevre sürtünmesinin zeminin drenajlı kayma mukavemeti açısı, efektif jeolojik yük ve kazık yerleştirme yöntemini hesaba katan bir faktörle modifiye edilmiş sükunetteki toprak basıncı katsayısı arasındaki basit bir ilişkiyle belirlenebileceğine ve benzer şekilde kazık uç mukavemetinin de kazık ucu altındaki zeminin örselenmiş kayma mukavemetine dayalı klasik zemin mekaniği teorisiyle hesaplanabileceğine inanılır. Hesap yöntemlerinde verilecek olan bağıntılar amprik olup, yükleme deneyleriyle ölçülen taşıma gücü çeşitli korrelasyon bağlantılarından çıkarılmıştır.

Bunlar sadece tasarımda kullanılacak kazık uzunluğu ve çapı hakkında bir ön bilgi verirler. Bu nedenle uygun bir güvenlik faktörü seçip tasarımı konservatif değerlere dayandırıp dayandırmayacağına karar verilmeli; son tasarım daha kapsamlı arazi deneyleri ve kazık yükleme deneyleriyle yapılmalıdır. (Tomlinson, 1981)

Kazığın taşıyabileceği kestirilen maksimum yük (göçme yükü-nihai taşıma kapasitesi) yukarıda değinildiği gibi uygun bir güvenlik sayısına bölünerek güvenle taşıyabileceği yük bulunabilir.

$$[Q_a] = \frac{[Q_u]}{FS} \quad (10.12)$$

Burada;

$[Q_a]$ = Güvenle taşınan kazık yükü (Taşınmasına müsaade edilen düşey yük)

$[FS]$ = Göçmeye karşı güvenlik sayısı

Güvenli kazık yükünün servis yükü olarak da nitelendirilmesi için bu yük altında kazık malzemesinde oluşacak gerilmelerin izin verilebilir değerleri aşmaması gerektiği ve beklenen oturmaların izin verilebilir limitlerde kalacağını ispatlanması gerekeceği açıktır.

Uygulanacak güvenlik sayısı, maksimum yük kapasitesinin tahminindeki güvenilirlik ve kazığın inşaatı boyunca kontrolüne bağlı olarak değişebilecektir (Yıldırım ve Özaydın, 1994). Sözedilen güvenlik sayıları için aynı kaynakta önerilen değerler aşağıda verilen Çizelge 10.1'de görülmektedir.

Çizelge 10.1 Değişik yükleme koşulları için güvenlik sayıları

Taşıma Gücü Tahmini ve Kontrol	Yük Koşulu	Basınçta	Çekmede
Kazık yükleme deneyi ile doğrulanan teorik veya ampirik tahmin	Normal	2.0	2.0
	Seyrek	1.5	1.5
	Nadir	1.15	1.15
Kazık çalışma analizcisi ile doğrulanan teorik veya ampirik tahmin	Normal	2.5	3.0
	Seyrek	1.9	2.25
	Nadir	1.4	1.7
Yükleme deneyi ile doğrulanamayan teorik veya ampirik tahmin	Normal	3.0	3.0
	Seyrek	2.25	2.25
	Nadir	1.7	1.7

10.1 Kohezyonsuz Zeminlerde Kazık Taşıma Gücü

Kohezyonsuz zeminlerde nihai yük taşıma kapasitesinin hesabı için Broms, Nordlund, Kerisel ve Vesic gibi araştırmacıların başı çektiği bir dizi araştırma ve gözlem sonucu geliştirilen çeşitli hesap yöntemleri mevcuttur. Tüm yöntemlerin ortak özelliği hesaplarda daha önce de belirtildiği üzere drenajlı koşullara karşılık gelen efektif gerilme yaklaşımının kullanılmasıdır. Bununla birlikte bu konudaki en kapsamlı araştırmalardan birini Vesic 1967'de yapmıştır. Vesic bu araştırmasının sonuçlarını kısaca şöyle özetlemektedir:

Nihai yük taşıma kapasitesini oluşturan gerek birim uç direnci gerekse birim çevre sürtünmesi başlangıçta derinlikle lineer olarak artmakta ancak zeminin jeolojik koşul-

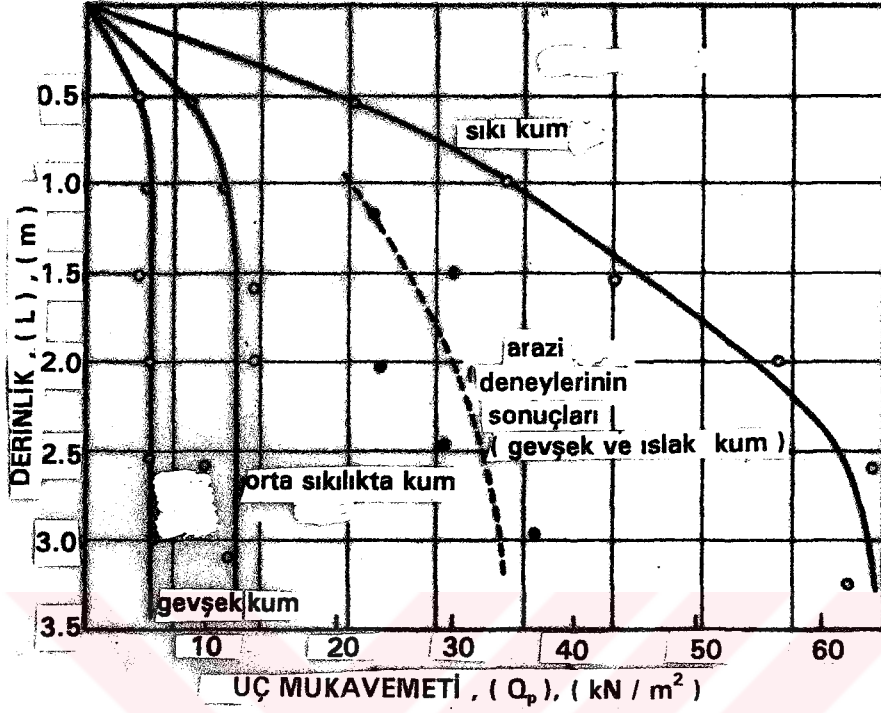
larına da bağlı olarak belli bir derinlikten itibaren hemen hemen sabit bir değere ulaşmaktadır. Şekil 10.4 ve Şekil 10.5'de Vesic yapmış olduğu araştırmanın bulgularını resmetmektedir. Yine aynı araştırmacı tarafından kazığın birim uç mukavemei'nin birim çevre sürtünmesine oranı olan $[q_p / f_s]$ oranının homojen formasyonlarda kazık geometrisine, zeminin içsel sürtünme açısına, relatif sıklığına, kazığın zemine yerleşim özelliklerine ve yerleştirme yöntemlerine bağlı olarak değiştiği saptanmıştır. Söz konusu $[q_p / f_s]$ oranının zeminin efektif içsel sürtünme açısı " ϕ "ne bağlı olarak değişimi Şekil 10.6'da görülmektedir. Keza Vesic daa sonraki dönemlerde yapmış olduğu etüdlere sonucunda yukarıda savunduğu birim uç mukavemeti ve birim çevre sürtünmesinin belli bir derinlikten sonra artmaması olgusunun " σ'_v " efektif gerilmesinin-zeminin "**kemerlenme etkisi**" göstermesine bağlı olarak - sabit bir değere erişmesinden kaynaklandığını öne sürmekte ve adı geçen derinliğin "**kritik derinlik**" olarak tariflenmesi gerektiğini ifade etmektedir. Şekil 10.7'de kohezyonsuz bir zemine yerleştirilen kazığın profili boyunca düşey yönde etkiyen " σ'_v " efektif gerilmesinin derinlikle değişimi basitleştirilmiş olarak idealize edilmektedir.

Şekil 10.7 yakından incelendiğinde kazık shaftına bitişik zonda efektif düşey gerilmenin " z_c " ile tariflenen bir kritik derinliğe kadar lineer olarak artarak jeolojik basınca eşit olduğu bir derinlikten sonra zeminin kemerlenme davranışından ötürü " σ'_v " değerinin artık sabit kaldığı izlenmektedir. Bu durumda kazık için kritik derinlik olarak tariflenen belirli bir penetrasyon derinliği'nin kritik derinlik altındaki derinlikler için ortalama nihai çevre sürtünmesi ve uç mukavemetinin değeri derinlikten bağımsız olarak sabit kalmaktadır. (Poulos ve Davis, 1980)

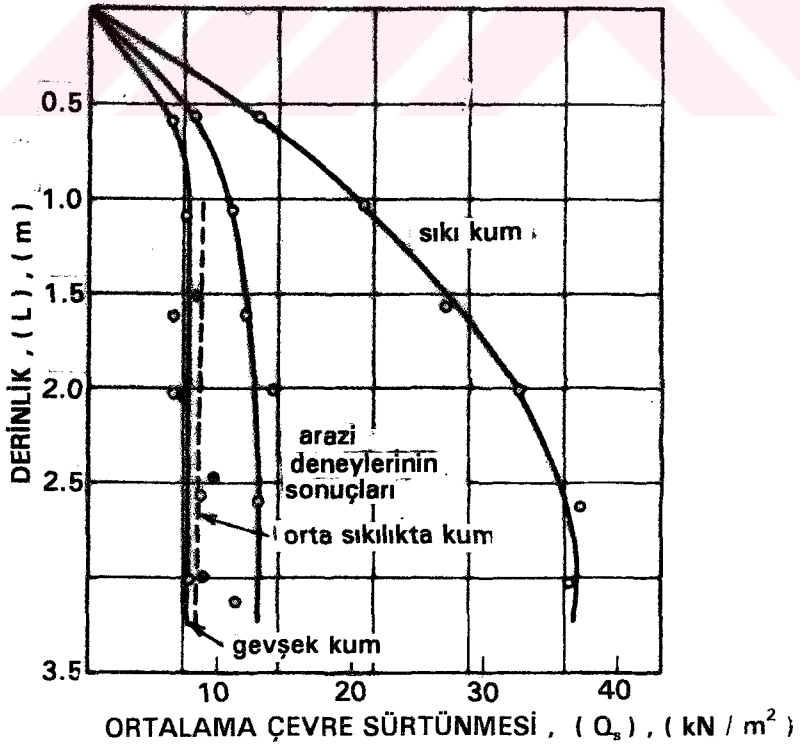
10.1 1. Birim Uç Mukavemeti

Genel olarak bir kazığın toplam nihai taşıma kapasitesinin bir bileşeni olan "**birim uç mukavemeti**" (uç taşıma gücü) 10. bölümde de belirtildiği gibi Terzaghi tarafından yüzeysel temellerin taşıma gücü hesabı için modifiye edilmiş Prandtl teorisinden esinlenerek önerilen (10.10) bağıntısından yararlanarak bulunabilir.

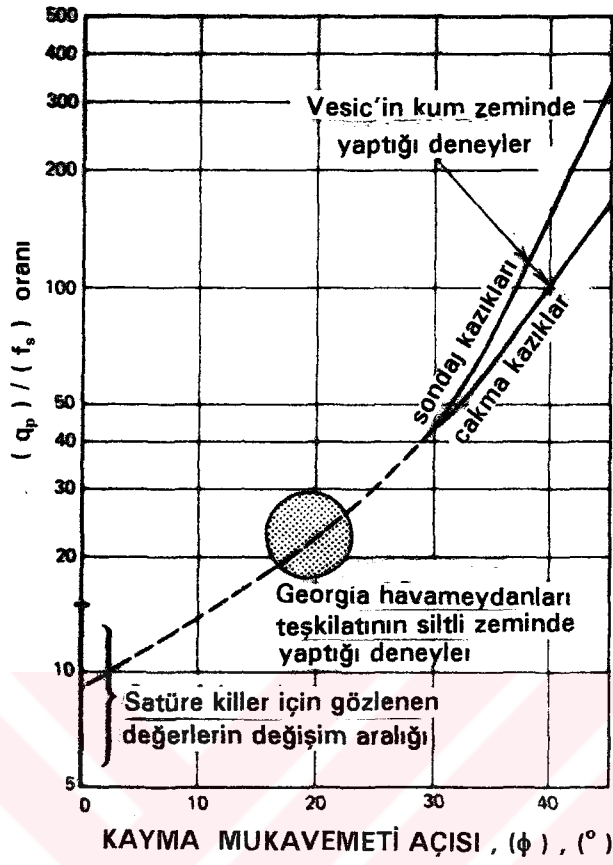
$$[q_p] = cN_c + \sigma_{vL} N_q + 0.5 \gamma DN_\gamma \quad (10.10)$$



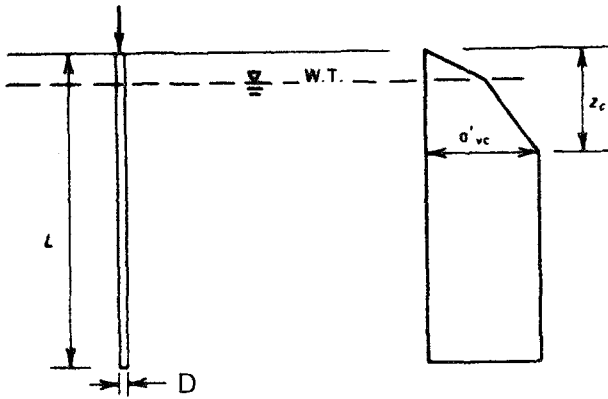
Şekil 10.4 Uç mukavemetinin derinlikle değişimi (Poulos ve Davis, 1980)



Şekil 10.5 Çevre sürtünmesinin derinlikle değişim (Poulos ve Davis 1980)



Şekil 10.6 $[q_p / f_s]$ oransal büyüklüğünün zeminin içsel sürtünme açısı ile değişimi (Poulos ve Davis, 1980)



Şekil 10.7 Efektif düşey gerilmenin kazık shaftı boyunca derinlikle değişimi (Poulos ve Davis, 1980)

Kazık birim uç mukavemetinin belirlenmesinde genellikle bu formül çok kullanılmakta ve araştırmacıların pek çoğu arazi, yükleme ve çalışma koşullarını en iyi simüle edebilen " N_c ", " N_q " ve " N_γ " faktörlerini irdelemektedirler. Anılan faktörler kazığın uç bölgesini çevreleyen zeminin içsel sürtünme açısına bağlı olarak değişen, ayrıca şekil ve derinlik faktörlerinin etkisini de hesaba katan boyutsuz taşıma gücü faktörleri olarak adlandırılmaktadır. Ancak derin temeller dolayısıyla kazıklı temeller için tariflenen faktörler, yüzeysel temeller için tariflenen boyutsuz taşıma gücü faktörlerinden sayısal olarak farklıdır.

Kohezyonsuz zeminlerde $c = 0$ olmakta ve öte yandan " N_q " ve " N_γ " faktörleri yaklaşık aynı büyüklükte olup, kazıklar için çap " D ", uzunluk " L " ile karşılaştırıldığında çok küçük olacağı ve kumlu zeminlerde drenajlı koşullara karşılık gelen efektif gerilmeler hesaplarda kullanıldığı için (10.10) bağıntısında eşitliğin sağ yanındaki üçüncü ve son terim ihmal edilebilmektedir. Böylece kohezyonsuz zeminlerde yer alan bir kazığın birim uç mukavemeti aşağıda verilen (10.13) ifadesiyle hesaplanabilir:

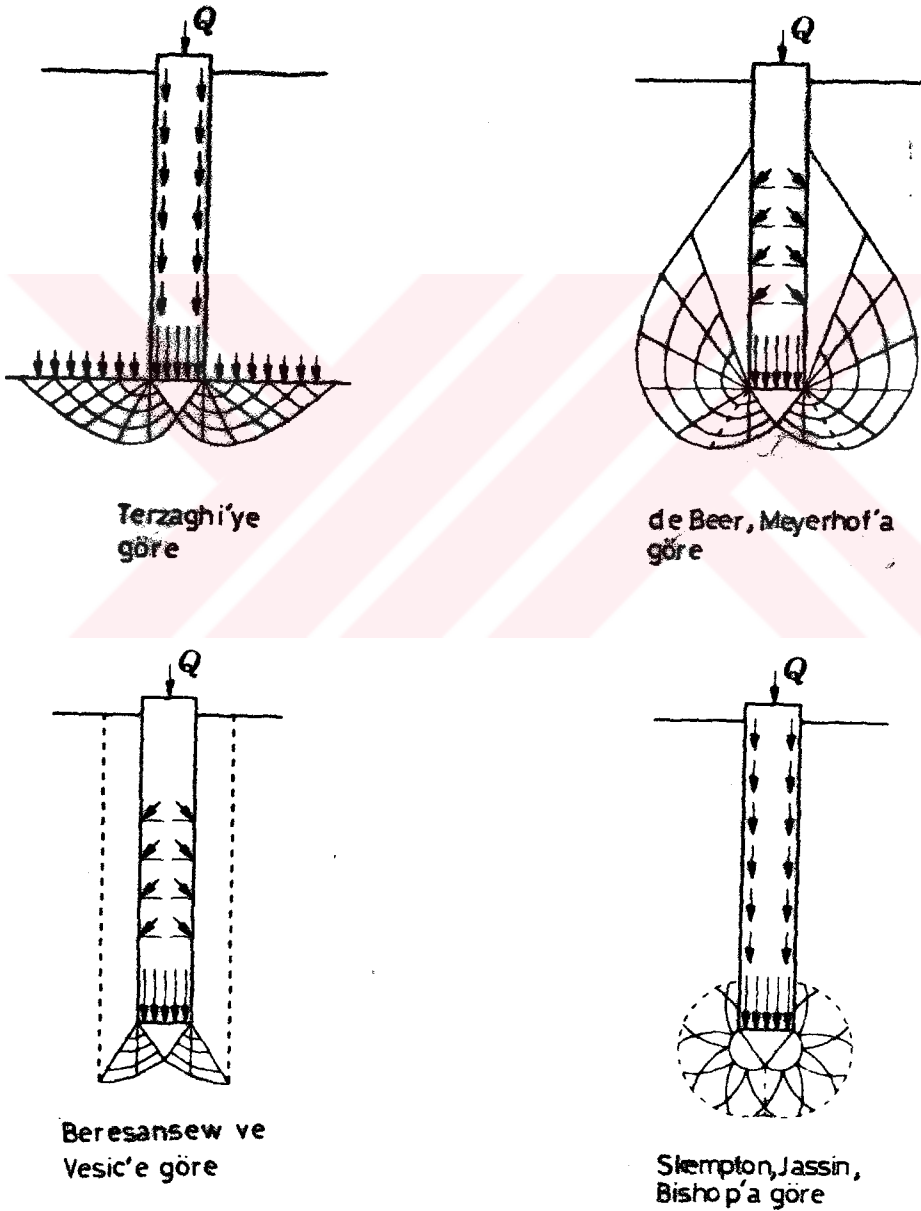
$$[q_p] = \sigma_{vL} \cdot N_q \quad (10.13)$$

Başta Vesic (1977) olmak üzere araştırmacıların çoğu yapmış oldukları arazi deneyleri ve gözlemlerin sonucunda (10.13) eşitliğindeki σ'_{vL} efektif gerilmesinin yukarıda belirtildiği ve şekil 10.7 de de görüldüğü gibi kritik bir penetrasyon derinliğine erişildikten sonra sabit değerde kaldığını kabul etmektedirler. Kazık ucu seviyesindeki düşey efektif gerilme hesaplanırken kazık ucu yeraltı su seviyesinin altında ise zeminin su altındaki birim hacim ağırlığı " γ_A " kullanılmalıdır. Zemin aslında yalnızca kazığa uygulanan üstyapı yüklerini değil kazık ağırlığını da taşıyacağı için kazık ucunun net taşıma kapasitesi " $[q_{pnet}]$ " nihai taşıma kapasitesi ile kazığın ağırlığı arasındaki farka eşittir. Bir başka deyişle;

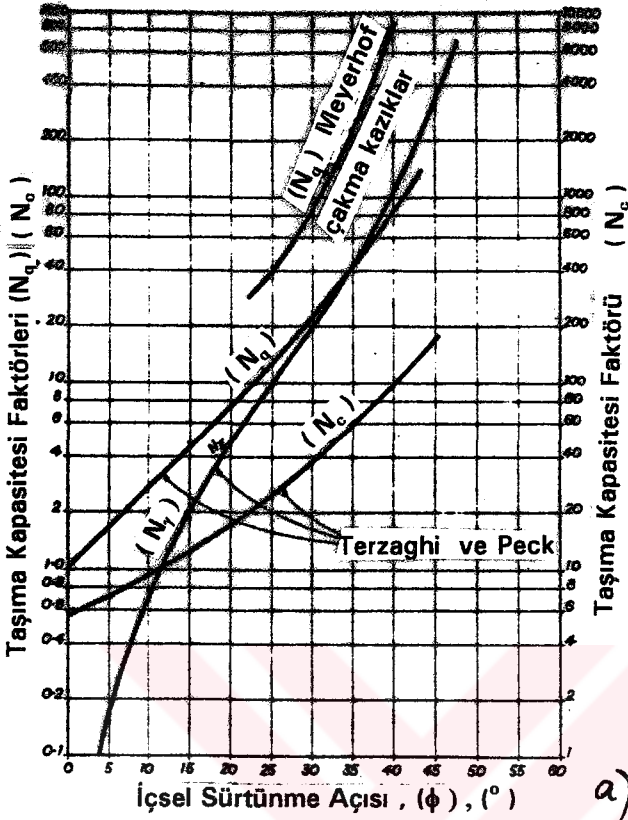
$$[q_{pnet}] = \gamma_n L (N_q - 1) = \sigma'_{vL} (N_q - 1) \quad (10.14)$$

ifadesi ile yeniden düzenlenerek yazılabilir. (10.13) bağıntısındaki " N_q " boyutsuz taşıma gücü faktörü kazık uzunluğunun kazık çapına oranına ve zeminin kayma direnci açısına hassas düzeyde bağlıdır.

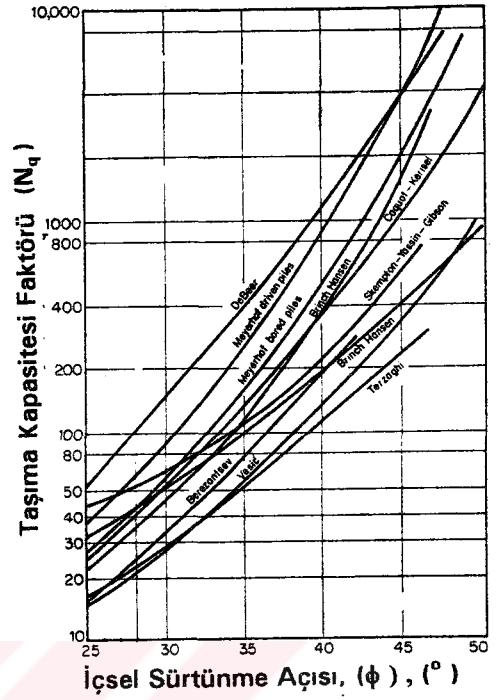
Keza adı geçen faktör, kabul edilen göçme yada kırılma yüzeyinin şekli ve bölgesiyle farklılık gösteren plastisite teorisinden hesaplanabilmektedir (Broms, 1981). Şekil 10.8'de bu faktörün kestirilebilmesi için bazı araştırmacıların yaptıkları değişik kabul-lere göre bir kazıklı temelin altında teşekkül eden göçme şekilleri; Şekil 10.9'da ise önerilen " N_q " faktörleri diğer taşıma gücü faktörleri " N_c " ve " N_γ " ile birlikte verilmiş-tir.



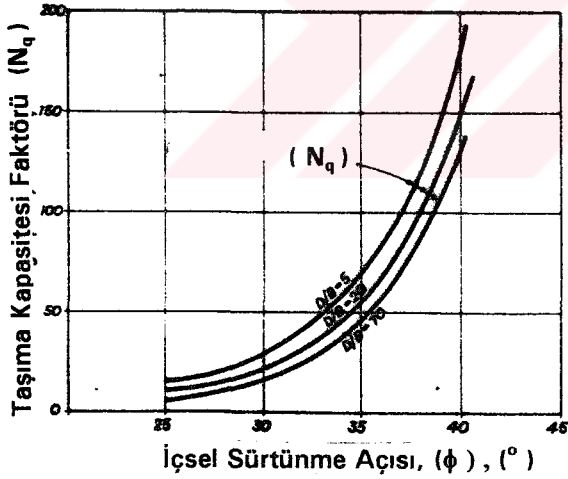
Şekil 10.8 Kazıklı bir temelin altındaki zonda değişik yaklaşımlara göre göçme şekil-leri (İncecik , 1979)



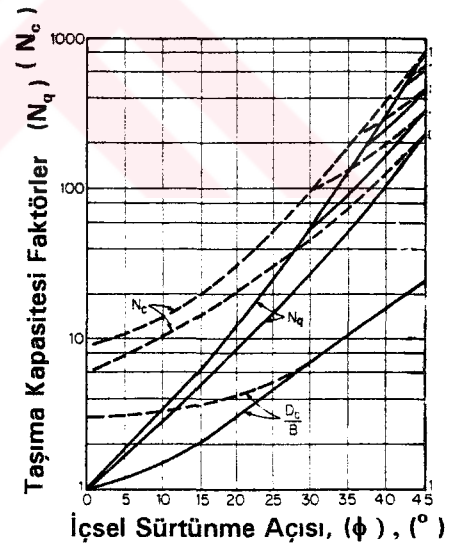
a)



c)



b)



d)

Şekil 10.9 Taşıma kapasitesi faktörleri (Tomlinson, 1977 ve Hunt, 1986)

- (a) Terzaghi ve Peck'e göre N_q , N_c ve N_γ faktörleri
- (b) Berezantsev'e göre N_q , N_c ve N_γ faktörleri
- (c) Vesic'e göre N_q , N_c ve N_γ faktörleri
- (d) Meyerhof'a göre N_q , N_c ve N_γ faktörleri

Kohezyonsuz zeminlerde kazığın birim uç mukavemet " q_p " genellikle taşıyıcı tabakaya çakılma - penetrasyon derinliği ve penetrasyon derinliğinin kazık çapına oranı ile artış kaydetmektedir. Homojen zeminlerde çakım boyu kazığın çakım boyuna eşit alınabilir. Bununla birlikte kazık en az taşıyıcı özelliği bulunan tabakaya kadar zeminde yerleştirilmelidir. Penetrasyon boyunun kazık çapına oranı $[L_p / D]$ şeklinde tariflenen büyüklüğün öyle bir kritik değeri $[L_p / D]_{kr}$ vardır ki bu kritik limit değerinin altında kalan derinlikler için yukarıda da ifade edildiği gibi birim uç mukavemetinin sabit kaldığı Meyerhof tarafından ileri sürülmüştür. Söz konusu derinlik daha önce tanımlanan kritik derinlikten başka birşey değildir. Aynı araştırmacı tarafından kritik derinliğin altındaki derinlikler için birim uç mukavemetinin limit değerine ulaştığı ve kazığı daha derinlere (daha sağlam ve nitelikli formasyonlara/ penetre etmenin birim uç mukavemeti bakımından kaydadeğer bir avantaj sağlamadığı ifade edilmiştir (Das, 1990).

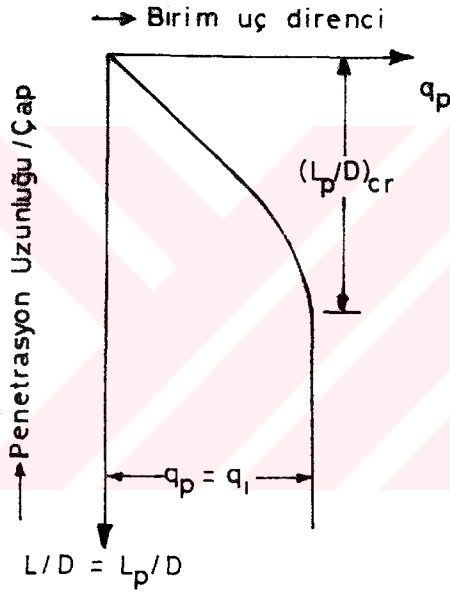
Birim uç mukavemetinin özellikle homojen özellikteki zeminlerde $[L_p / D]$ oranı ile değişimi Şekil 10.10'da izlenmektedir. Şekil 10.10'da az önce tanımlanan kritik derinlik büyüklüğünde görülmektedir. $[L_p / D]_{kr}$ oranı ve zeminin içsel sürtünme açısının değişimlerine bağlı olarak " N_q " taşıma gücü faktörünün tayin edilmesi için Meyerhof (1976) tarafından yapılan yaklaşım Şekil 10.11'de görülmektedir.

Şekil 10.11 yakından incelendiğinde " N_q " taşıma gücü faktörü $[L_p / D]$ oranı arttıkça artmakta ve $[L_p / D]$ oranı yaklaşık olarak $0.5 [L_p/D]_{kr}$ değerine ulaştığında maksimum değerini almaktadır. 45° lik bir içsel sürtünme açısı değeri için $[L_p/D]_{kr}$ oranı yaklaşık 25 değerini almaktadır. Pratik uygulamaların birçoğunda kazıklar için $[L_p / D]$ oranının büyüklüğü $0.5 [L_p / D]_{kr}$ değerinden daha büyüktür. Bu bakımdan Meyerhof kohezyonsuz zeminlerdeki tüm kazıklar için birim uç direncinin hesaplanmasında Şekil 10.12'de görülen " N_q " faktörünün maksimum değerinin kullanılmasını tavsiye etmekte ayrıca (10.14) bağıntısıyla tariflenen limit değeri aşmaması gerektiğini önermektedir.

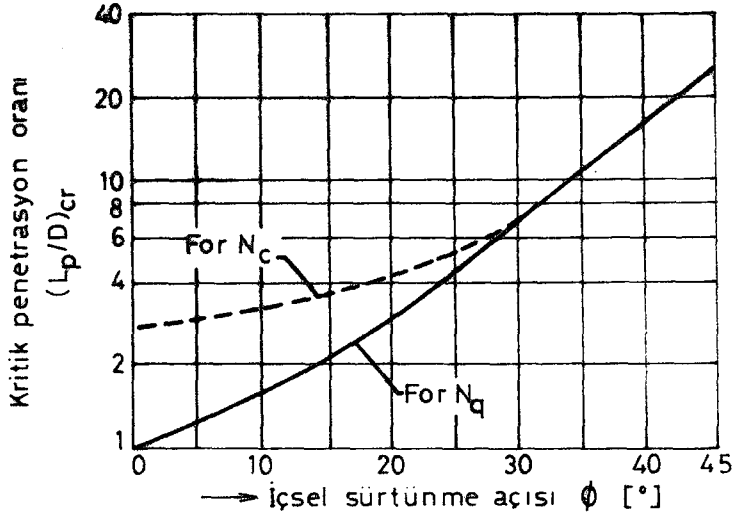
$$[q_{plim}] \text{ (kN/m}^2\text{)} = 50 N_q \tan \emptyset \quad (10.15)$$

(10.14) bağıntısındaki " \emptyset " terimi kazık ucunun içinde yer aldığı tabakanın içsel sürtünme açısını göstermektedir. Böylelikle analizlerde (10.10) ve (10.15) bağıntılarından hesaplanan birim uç mukavemetlerinden küçük olan tasarımda gözönünde tutulmalıdır (Das, 1990).

Kohezyonsuz zeminlerde birim uç mukavemetinin belirlenmesinde Meyerhof (1976) yaklaşımına alternatif olarak 1977 de Vesic tarafından geliştirilen tasarım zeminin efektif gerilme parametrelerine hassas ölçüde bağımlı olan "çukurun genişlemesi" teorisine dayanır. Vesic (1977) yaklaşımına göre; kazığın birimi uç mukavemeti Meyerhof (1976) yaklaşımında olduğu gibi (10.13) bağıntısı ile hesaplanabilmektedir.



Şekil 10.10 Meyerhof (1976) yaklaşımına göre kohezyonsuz zeminlerde kazık uç direnci ile $[L_p/D]$ oranının değişimi ve kritik derinlik büyüklüğü (Das, 1990)



Şekil 10.11 Meyerhof (1976) yaklaşımına göre $[L_p/D]_{kr}$. oransal büyüklüğünün zeminin içsel sürtünme açısı ile değişimi (Das, 1990)

Ancak anılan bağıntıda yeralan ve " σ_{vL} " terimi ile ifade edilen kazık ucu seviyesindeki efektif normal gerilme aşağıda (10.16) bağıntısında görülen bir çarpan ile modifiye edilmiştir.

$$[\sigma'_{vL}] = \left[\frac{1 + 2 K_o}{3} \right] \sigma'_{vL} \quad (10.16)$$

Burada;

$[K_o]$ = Sükunet halindeki toprak basıncı katsayısıdır.

Sükunet halindeki toprak basıncı katsayısı (10.17) eşitliği ile saptanabilir.

$$[K_o] = 1 - \sin \phi \quad (10.17)$$

Bu durumda Vesic (1977) yaklaşımından hareketle birim uç direnci (10.18) bağıntısından kolayca hesaplanır. (Das, 1990)

$$[q_p] = \sigma'_{vL} N_\sigma \quad (10.18)$$

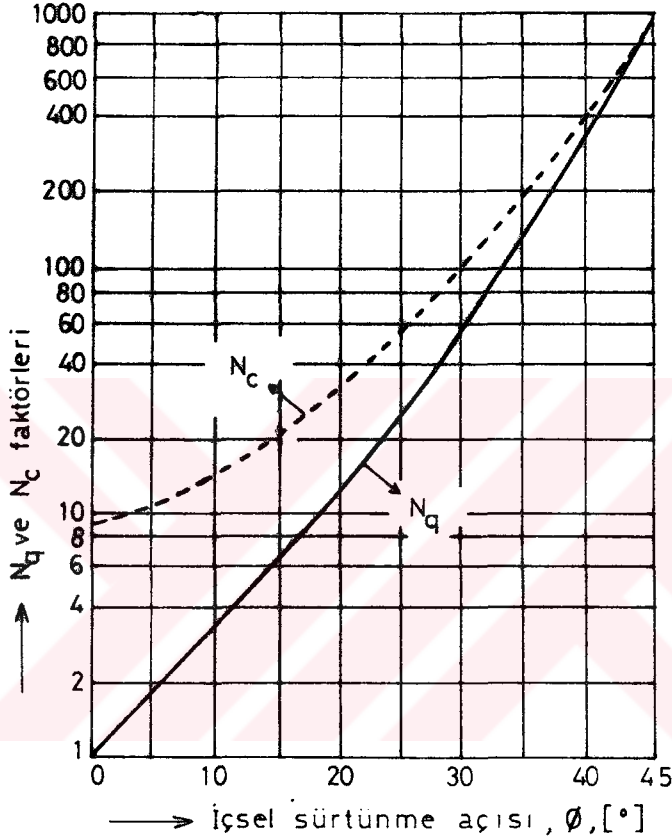
(10.18) ifadesinde " N_σ " terimi (10.13) eşitliğinde görülen " N_q " taşıma kapasitesi faktörünün modifiye edilmiş halidir. Diğer kelimelerle (10.13) ve (10.18) bağıntıları karşılaştırıldığında " N_q " ve " N_σ " faktörleri arasında aşağıdaki gibi bir ilişki mevcuttur.

$$N_\sigma = \left[\frac{3}{1 + 2 K_o} \right] N_q \quad (10.19)$$

Bununla birlikte Vesic yukarıda tanımlanan yaklaşımında " N_σ " ile gösterilen taşıma kapasitesi faktörünün tayini için daha farklı bir bakış açısı getirmekte ve " N_σ " ta-

şıma kapasitesi faktörünün " I_{rr} " ile gösterilen ve "azaltılmış rijitlik indeksi" adı altında tanımlanan bir parametrenin fonksiyonu olarak hesaplanabileceğini öne sürmektedir.

$$[N_{\sigma}] = f(I_{rr}) \quad (10.20)$$



Şekil 10.12 Meyerhof (1976) yaklaşımına göre N_q ve " N_c " faktörlerinin maksimum değerlerinin içsel sürtünmesi açısı ile değişimi (Das, 1990)

Bununla beraber "azaltılmış rijitlik indeksi"nin kazık ucunu çevreleyen zeminin bazı fiziksel özelliklerine bağlı olarak tariflenen büyüklüklerin bir fonksiyonu olarak belirlenmesi gerektiği aynı araştırmacı tarafından rapor edilmektedir. Azaltılmış rijitlik indeksi büyüklüğü ile adı geçen fizikomekanik parametreler arasındaki ilişkiyi ise (10.21) ve (10.22) eşitlikleri tarifler.

$$[I_{rr}] = \left[\frac{I_r}{1 + I_r \cdot \Delta} \right] \quad (10.21)$$

Burada;

$[I_r]$ = Rijitlik indeksi

$[\Delta]$ = Kazık ucu altında yeralan plastik zonun ortalama gerilme potansiyeli

I_r rijitlik indeksi (10.21) bağıntısından bulunabilir.

$$I_r = \frac{E_s}{2(1 + \mu_s)(c + \sigma'_{vL} \tan \phi)} = \frac{G_s}{c + \sigma'_{vL} \tan \phi} \quad (10.22)$$

(10.22) ifadesinde;

$[E_s]$ = Uç bölgesindeki zeminin elastisite modülü

$[\mu_s]$ = Uç bölgesindeki zeminin poisson sayısı

$[G_s]$ = Uç bölgesindeki zeminin kayma modülü

olarak açıklanabilir.. Hacim değişiminin gözlenmediği özellikle sıkı kum ve sert sil tabakalarında $[\Delta = 0]$ olacağı için $[I_r = I_r]$ durumu sözkonusu olur. Başka bir deyişle rijitlik indeksinde herhangi bir azaltma yapılmasına gerek kalmaz.

Yukarıda ifade edilen Vesic (1977) yaklaşımını, görüldüğü gibi " I_r " ile gösterilen "rijitlik indeksi" kontrol etmektedir. Öngörülen arazi gerilme ve deformasyon koşullarına bağlı olarak laboratuvarında gerçekleştirilen konsolidasyon ve üç eksenli basınç deneylerinin sonuçlarına paralel olarak rijitlik indeksinin çeşitli zemin türleri için aldığı ortalama değerler Çizelge 10.2'de verilmiştir (Das, 1990).

Çizelge 10.2 Çeşitli zeminlerde " I_r " faktörünün aldığı değerler

Zemin Cinsi	$[I_r]$
Kumlar	70 - 150
Siltler ve killer (drenajlı koşullar)	50 - 100
Killer (drenajsız koşullar)	100 - 200

Meyerhof (1976) yaklaşımında birim uç direncinin kazık çakım uzunluğunun kazık boyuna oranı şeklinde tanımlanan $[L_p / D]$ büyüklüğü ile değişimi açıklanırken " N_q " faktörünün $0.5 [L_p / D]_{kr}$ ile tanımlanan kritik değerden itibaren maksimum değerine eriştiği ifade edilmiş ve birim uç direnci hesaplarında bu maksimum değer kullanılması nedenleri ile vurgulanmıştır. Vesic (1977) çalışmasında da tıpkı buna benzer olarak çakım boyunun kazık çapının $[10 - 20]$ katı arasındaki değerleri için birim uç mukavemeti ve sonraki bölümlerde ele alınacak birim çevre sürtünmesi

büyükliklerinin maksimum değere eriştiği ve zeminin relatif sıkılığının değişmemesi halinde daha büyük çakma boyları için sabit kaldığı kanaatine varmıştır. Bu gerekçe ile çakma boyu 20 D'yi aşıya bile birim uç direnci (10.10) bağıntısında "[L_p / D]" oranının 20 olması haline karşılık gelen "N_q" faktörü alınarak hesaplanmalıdır. Birim uç direncinin Şekil 10.10'da görüldüğü gibi sabit hale geldiği kritik derinlik büyüklüğü için Meyerhof "[L_p / D]" oranının en çok 25 olabildiğini, Vesic ise en fazla 20 olabildiğini kabul etmektedirler. Adı geçen kritik derinliğin altındaki zonlarda uç direnci derinlikten bağımsız hale gelmektedir. Ayrıca uç mukavemeti ve ilerleyen bölümde ele alınacak çevre sürtünmesinin maksimum değerlerinin, zeminin relatif sıkılığına, kazık yerleştirme yöntemlerine, zeminin mineralojisi ve önkonsolidasyon durumuna, bir başka deyişle kazık yerleştirme işlemi nedeniyle zemin daneciklerinin maruz kaldıkları ezilmenin derecesine bağlı olduğu da aynı araştırmacı tarafından kanıtlanmıştır.

"N_q" taşıma kapasitesi faktörünün belirlenmesi için yaklaşımda bulunan araştırmacılardan birisi de Janbu'dur. Janbu (1976) çalışmasında, kohezyonsuz zeminlerde kazık birim uç direncinin hesabında kullanılan "N_q" faktörünün (10.23) bağıntısı ile belirlenebileceğini ileri sürmektedir.

$$N_q = [\tan \emptyset + \sqrt{1 + \tan^2 \emptyset}]^2 \cdot e^{2\eta' \tan \emptyset} \quad (10.23)$$

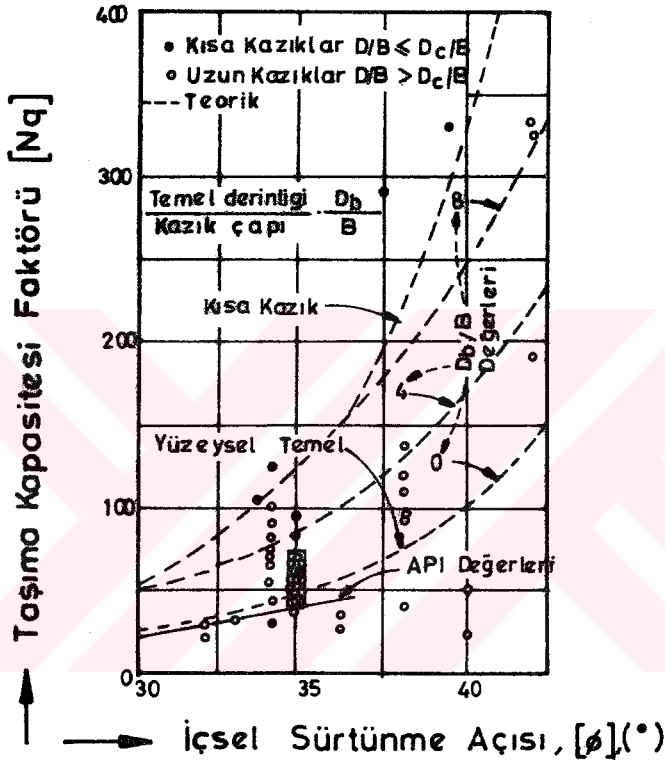
(10.23) ifadesinde; \emptyset zeminin içsel sürtünme açısını, η' ise kazık ucu bölgesinde teşkil olan göçme yüzeyinin biçimine bağlı bir açı olup yumuşak killerde bu açı 70° ve sıkı kumlu zeminlerde yaklaşık 100° düzeylerindedir. Diğer bir deyişle zeminin relatif sıkılığı arttıkça η' açısının değeri de artar (Das, 1990).

NAVFAC (1986) kaynağında pratik uygulama amaçları için Meyerhof (1976) ve Coyle-Castello (1981) tarafından gerçekleştirilen kazık yükleme deney sonuçlarının yorumlanması sonucunda " \emptyset " açısına bağlı olarak "N_q" taşıma kapasitesi faktörünün aldığı değerler Çizelge 10.3'te görülmektedir.

Endley ve diğerleri kumlu zeminlerde özellikle çakma kazıklar için "N_q" taşıma kapasitesi faktörünün yapmış oldukları arazi deneylerinin sonuçlarına göre kazığın zemine penetrasyon oranı ve zeminin içsel sürtünme açısı ile değişim gösterdiğini Şekil 10.13'te görüldüğü gibi ifade etmektedirler (Fuller, 1979).

Çizelge 10.3 Çeşitli içsel sürtünme açıları için "N_q" faktörleri (NAVFAC, 1986)

Ø [°]		26	28	30	32	34	36	38	40
N _q	Çakma(*) Kazık	10	15	21	29	42	62	86	145
	Fore (**) Kazık	5	8	10	14	21	30	43	72

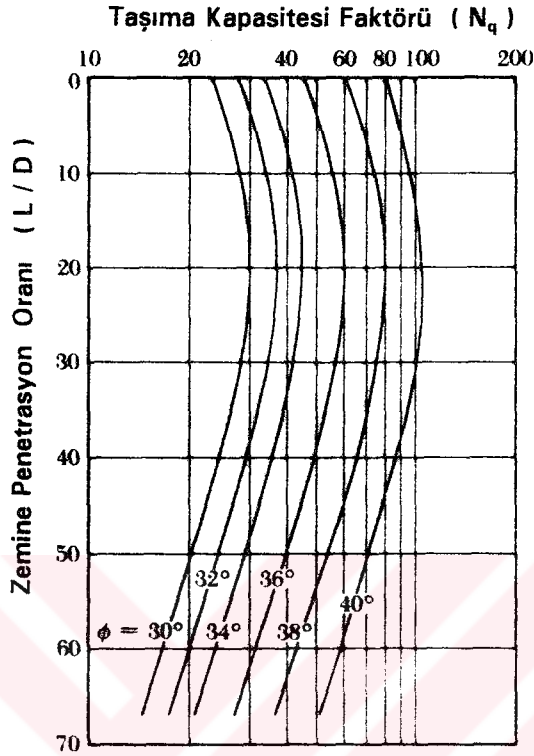


Şekil 10.13 N_q faktörünün içsel sürtünme açısı ve zemine penetrasyon oranına bağlı olarak değişimi (Fuller, 1979)

Coyle ve Castello (1981), ortam koşulları değişik zemin strüktürlerinde yapmış oldukları 24 adet kazık yükleme deneyinin sonuçlarından yararlanarak kazığın zemine penetrasyon oranı (penetrasyon uzunluğu/çap) ve zeminin içsel sürtünme açısına bağlı olarak "N_q" taşıma kapasitesi faktörünün Şekil 10.14 de görüldüğü gibi saptanabileceğini savunmaktadırlar.

(*) : Kazık yerleştirilmesinde su jeti kullanılıyorsa Ø = 28° alınmalıdır.

(**) : YASS altında taban temizliği yakalama kovası yada bailer ile yapılıyorsa Ø = 28° alınmalıdır.



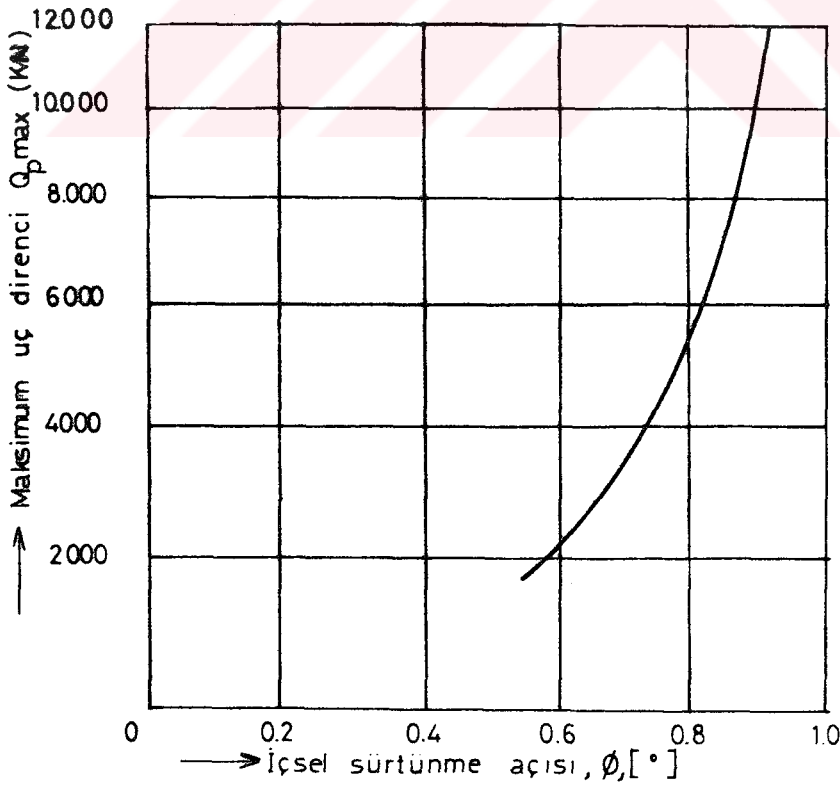
Şekil 10.14 Kazığın zemine penetrasyon oranı ve içsel sürtünme açısına bağlı olarak " N_q " faktörünün değişimi (Das, 1990)

Buraya kadar anlattıklarımızdan da açıkça görüldüğü gibi " N_q " taşıma gücü faktörüne, kabul edilen göçme mekanizmalarına bağlı olarak değişik araştırmacılar tarafından çok farklı değerler önerilmektedir. Uygulayıcıların kuşkusuz "yükleme-göçme" mekanizmasına en elverişli çözümü getiren yaklaşımı diğer yaklaşımlarla da sonuçların merteye yakınsaklığı içinde olmasına dikkat ederek kullanması tavsiye edilmektedir.

Kazık çakılması sırasında zeminin relatif sıkılığında nispi artışlar meydana gelebilmektedir. Maksimum uç mukavemeti ile kohezyonsuz zeminin relatif sıkılığı arasında Şekil 10.15'te görüldüğü gibi bir bağıntı bulunduğunu Tomlinson (1977) çalışmasında ifade edilmektedir.

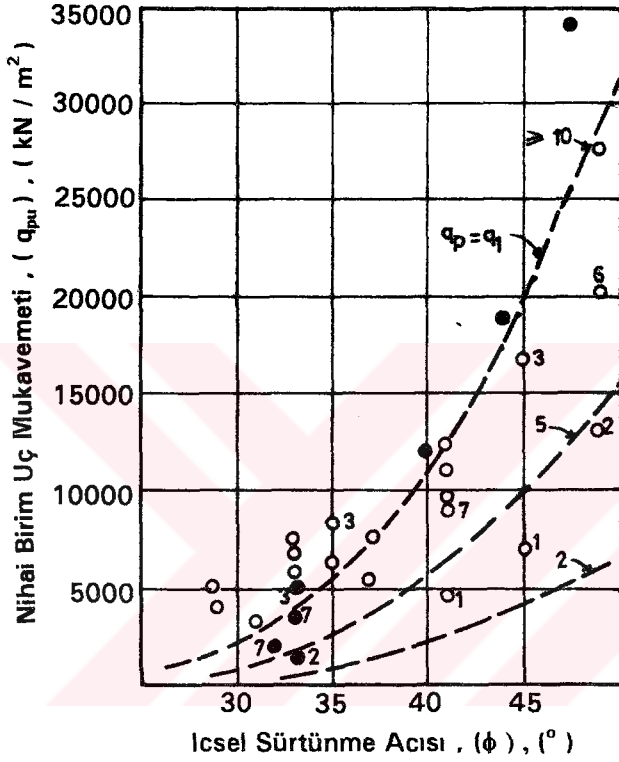
Kazık çakılması sırasında zemin özelliklerinde türlü değişiklikler meydana ge-

lebildiği gibi bir diğer zorlukta içsel sürtünme açısı " ϕ "nin tayininde olmaktadır. İçsel sürtünme açısı " ϕ "nin tayininde karşılaşılan zorluklardan ötürü (10.10) bağıntısından hesaplanan uç direnci kesin değildir. İçsel sürtünme açısı " ϕ " normal şartlarda "drenajlı kesme kutusu" deneylerinden laboratuvarında tayin edilir. Bununla beraber zeminin ortalama dane çapı, derecelenme katsayısı, relatif sıklığı gibi kritik bazı mühendislik büyüklüklerinden de yola çıkılarak içsel sürtünme açısı ϕ için kestirim yapılabilir (Broms, 1981). Çakım sırasında zeminde oluşan sıkışmalardan içsel sürtünme açısı ve porozitesi etkilenmektedir. Porozitenin %5 civarında azalması yaklaşık aynı oranda içsel sürtünme açısının artmasına yol açacaktır. Bu ise " N_q " taşıma kapasitesi faktörü değerini ve kazığın uç direncini yaklaşık iki katına çıkarmaktadır. Taşıma kapasitesini etkileyen bir diğer unsurda normal basıncın on kat artımında içsel sürtünme açısı yaklaşık $[3 - 5^\circ]$ azalır. İçsel sürtünme açısındaki bu azalma ise taşıma kapasitesini yaklaşık % 50 aşağıya çeker. Kesme kutusu deneylerinde normal basınç, yada üç eksenli deneylerde çevre basıncı, kazık ucu altında yer alan kayma yüzeyleri boyunca ortalama normal basıncın sadece % 10'u kadardır. Yukarıda değinilen iki faktör kompaksiyon ve normal basıncın artımıyla içsel sürtünme açısındaki düşüş, bir diğerini yok etme eğilimindedir (Broms, 1981).



Şekil 10.15 Maksimum uç mukavemetinin " ϕ " açısı ile değişimi (Tomlinson, 1977)

Sowers (1979) kaynağında kazık nihai birim uç mukavemetinin içsel sürtünme açısı ile Şekil 10.16'da görüldüğü gibi değiştiği savunulmaktadır. Adıgeçen şekildeki eğrilerin çıkartılmasına baz teşkil eden deneysel dataları elde eden araştırmacılar da aşağıda görülmektedir.



Şekil 10.16 $[q_p] = f(\phi)$ ilintisi, (Sowers, 197)

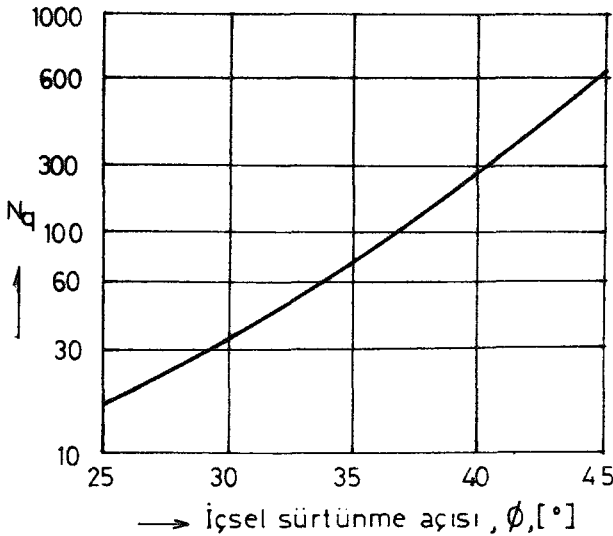
Kazıklar birçok durumda Şekil 10.17'de gösterildiği gibi bir kil tabakasından geçip, yüksek taşıma kapasiteli taşıyıcı bir kum yada çakıl tabakasına çakılırlar. Kazık uç direnci ve taşıma kapasitesi faktörleri " N_q " yüzeye yakın bir sığ temelinkine eşdeğer hale gelecektir.

Diğer bir durumda kazığın sıkı bir kum tabakasına çakılması halidir. Bu durumda Şekil 10.18'de gösterildiği gibi göçme A veya B kırılma yüzeyleri boyunca oluşabilir. A kırılma yüzeyi boyunca nihai taşıma kapasitesi (D + t) çapında ve (L+ t) uzunluğunda bir kazığın nihai taşıma kapasitesine karşılık gelecektir (Fleming, et al 1985).

Eğer kazık gevşek bir kum tabakasından geçip sıkı bir kum tabakasına giriyorsa kazıkların birim uç mukavemeti (10.24) bağıntısıyla;

Çakma işlemleri nedeniyle zemin özelliklerinde ortaya çıkan değişiklikler ve " ϕ "nın belirlenmesindeki belirsizliklere rağmen kohezyonsuz zeminlerde çakma kazıklarının birim uç direnci (10.10) bağıntısı ile bulunabilir. Bu bağıntıdaki " N_q " faktörü olarak Berezantsev ve diğerleri tarafından derin dairesel temeller için önerilen Şekil 10.19 deki değerler yaygın biçimde kullanılabilir. Ancak hesaplanan birim uç mukavemetinin bir maksimum ile sınırlandırılması önerilir. Tomlinson (1981) çalışmasında birim uç mukavemetini [10000 KN/m^2] ile sınırlandırılmasının doğru olduğu belirtilmekle beraber bu büyüklüğün yeryer [15000 KN/m^2] mertebelerine de erişebileceği belirtilmektedir. Uç mukavemetinin belirli bir maksimum değerle limitlendirilmesinin nedenleri kazık etrafındaki zeminde yatay çatlaklara yol açan ve kazık ucu zeminin üstündeki bölümde oluşan kemerlenme olayı ve tokmak darbelerinden dolayı uç altındaki zemin daneciklerinin ezilerek özelliklerini kaybetmesidir. (Fleming et al., 1985) Kohezyonsuz bir zemin içine çakılmış bir kazığın taşıma kapasitesinin büyük bir kısmı uç mukavemetiyle sağlanacağı için en ekonomik penetrasyon derinliği maksimum uç mukavemetinin mobilize olduğu derinliktir. Pik uç mukavemetinin mobilize olduğu gerçek penetrasyon derinliği ise kolay hesaplanamaz ve büyük kazıklı temel projelerinde en ekonomik kazık boyunu saptamak için deney kazıklarının farklı derinliklere çakılması ve bunlar üzerinde yapılacak yükleme deneylerinden bu bilginin elde edilmesi istenmektedir.

Kohezyonsuz zeminlerde yerinde dökme kazıkların teşkili sırasında kazık ucu altındaki zeminin oldukça gevşemesi uç direncinde de belirgin bir azalmaya neden olur. Bu durumda yapılacak iş, çakma kazıklarının birim uç direncini hesaplamak için verilen eşitliklerde kullanılan " N_q " faktörlerinin düşük relatif sıkılığa yani gevşek zeminin " ϕ " kayma direnci açısına [$\phi = 28^\circ - 30^\circ$] karşılık gelen değerler olarak belirlenir.



Şekil 10.19 Berezantsev tarafından derin dairesel temeller için önerilen " $N_q - \phi$ " ilişkisi

Ters yönde sirkülasyon yöntemiyle rotari delgi yapılma ve kazık foraj çukur yan cidarlarının desteklenmesi amacıyla bentonit çamurunun kullanılması zeminin gevşemesini engelleyeceği ve dolayısıyla uç mukavemetinin azalmasını önleyeceği için uç direnci örselenmemiş zeminin kayma direnci açısı kullanılarak hesaplanabilir.

Touma ve Reese bir seri deneysel çalışma yaparak kazıkların 0.05D (çapın % 5'i) kadar bir oturma yapması durumunda maksimum birim uç direncinin gevşek kumlarda 1000 kN/m², orta sıklıktaki kumlarda 1500 kN/m² ve sıkı kumlarda ise 3000 kN/m² düzeylerine erişebildiğini ortaya koymuşlardır. (Tomlinson, 1973)

Kohezyonsuz zeminlerin nihai uç taşıma kapasitesini bulmak için buraya kadar açıklanan yaklaşım ve yöntemlerle hesaplanan "q_p" birim uç direnci değerinin kazık ucundaki kesit alanı ile çarpılması yeterlidir.

10.1.2. Birim Çevre Sürtünmesi

Kohezyonsuz zeminlerde bir kazığın nihai taşıma kapasitesinin bir diğer bileşeni olan "birim çevre sürtünmesi" kazık şaftı boyunca kazıkla zemin arasındaki sürtünme açısı, yatay toprak basıncı katsayısı ve efektif düşey gerilmenin fonksiyonu olarak (10.11) bağıntısındaki c_a adhezyon değerinin bu zeminlerde c_a = 0 olacağını da dikkate alarak (10.25) bağıntısından yararlanarak bulunabilir.

$$f_s = \sigma'_v K_s \tan \phi_a \quad (10.25)$$

Birim çevre sürtünmesinin belirlenmesinde yapılan çeşitli yaklaşımların temelinde, (10.25) eşitliğindeki "K_s" yatay toprak basıncı katsayısı ve "φ_a" kazık-zemin arasındaki sürtünme açısının tayin edilmesi ile ilgili yöntemler yatmaktadır.

Kohezyonsuz zeminlere penetre edilen bir kazığın birim çevre sürtünmesinin hesabında kullanılan yöntemler aşağıda açıklanmaktadır.

10.1.2.1 Norlund Yöntemi

Norlund (1965) yöntemine göre birim çevre sürtünmesi için

$$f_s = K_s \cdot \sigma'_v \tan \phi_a \quad (10.26)$$

eşitliği önerilmektedir. Nihai çevre sürtünmesi ise (10.6) ve (10.26) bağıntıları birlikte değerlendirilerek (10.27) ifadesi ile verilmektedir (Tomlinson, 1977).

$$[Q_s] = \sum_{z=0}^{z=L} [K_s \cdot \sigma'_v \tan \emptyset_a \cdot P]z \quad (10.27)$$

(10.27) ifadesinde

$[K_s]$ = Kazık şekline, birim boy için hacim değişimine, kazık cinsine ve zeminin kayma direncine bağlı boyutsuz yatay toprak basıncı katsayısı

$[\sigma'_v]$ = Kazık shaftı boyunca ortalama efektif düşey gerilme

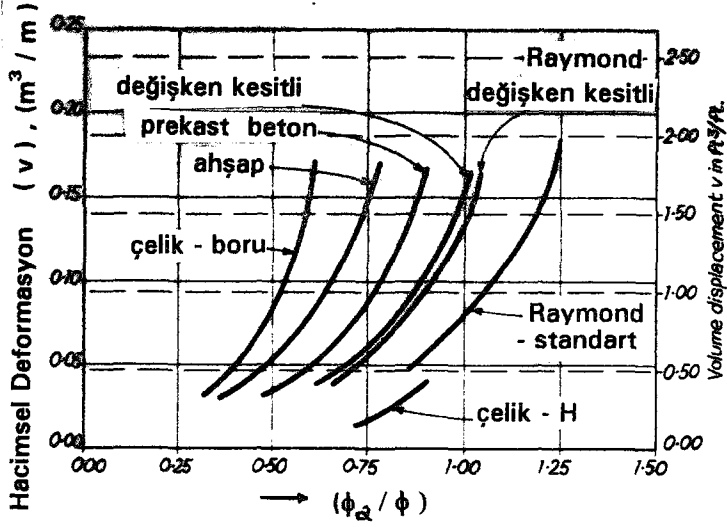
$[\emptyset_a]$ = Kazık ve zemin arasındaki sürtünme açısı

$[P]$ = Kazık shaftı boyunca minimum kazık çevresi
olmaktadır.

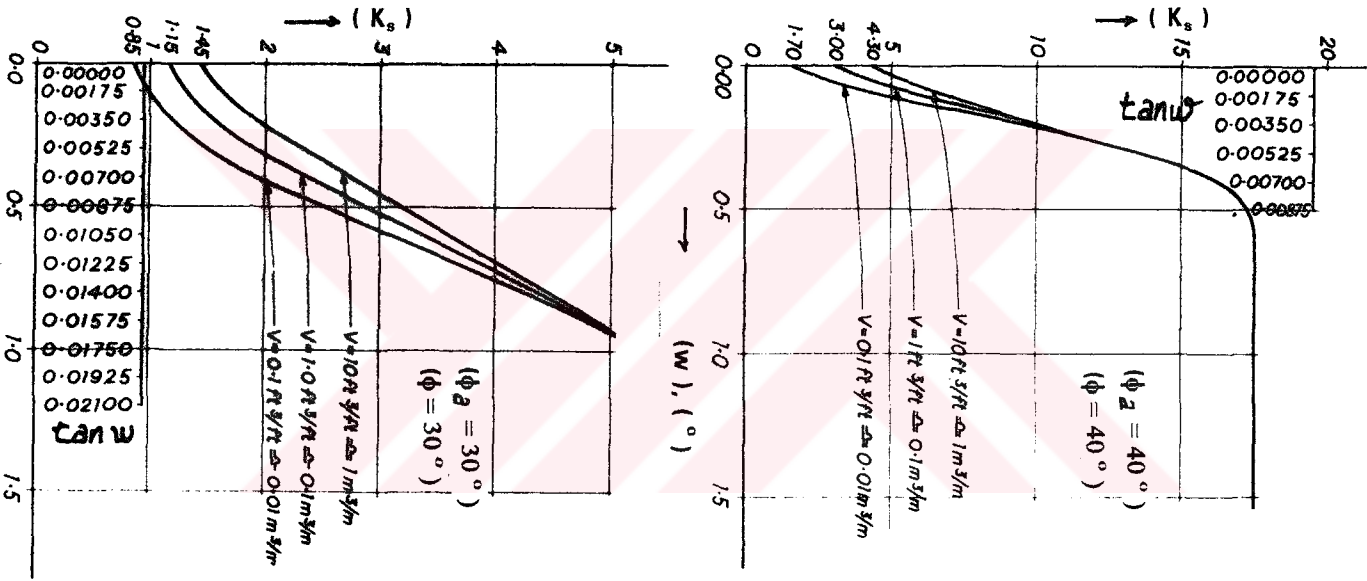
Nordlund yönteminin kullanılması sırasında aşağıdaki yolun izlenmesi önerilmektedir.

1. Farklı zemin karakteristiklerine göre kazık shaft uzunluğu boyunca çeşitli kısımlara ayrılır.
2. Her bir kısım için zeminde meydana gelen "hacim değişimi / kazık birim uzunluğu" oranı tayin edilir. (Derinleştikçe incelen konik kazıklar için minimum en kesit, H profili çelik kazıklar için brüt en kesit kullanılmaktadır.)
3. $[\emptyset_a/\emptyset]$ oranı Şekil 10.20'den tayin edilir. \emptyset içsel sürtünme açısı değerleri SPT yada CPT deney sonuçlarından elde edilir.
4. Şekil 10.21 kullanılarak " K_s " yanal toprak basıncı katsayısı elde edilir.
5. Şekil 10.22'den " $[\emptyset_a/\emptyset]$ " ve " \emptyset " ye bağlı olarak düzeltilmiş " K_s " faktörü saptanır. Çünkü Şekil 10.21'de $[\emptyset_a/\emptyset]$ oranı 1 kabul edilmektedir.
6. Düzeltilmiş K_s değeri " $\tan \emptyset_a$ ", " P " ve " z " ile çarpılır. " z ", çevre sürtünmesi hesabı için gözönüne alınan kazık kısmının uzunluğudur.
7. Diğer tabakalar ve kısımlar için aynı işlemler tekrarlanır.
8. Herbir uzunluk için elde edilen çevre sürtünmesi değerleri toplanarak kazık shaftı boyunca nihai çevre sürtünmesi değeri hesaplanabilir.

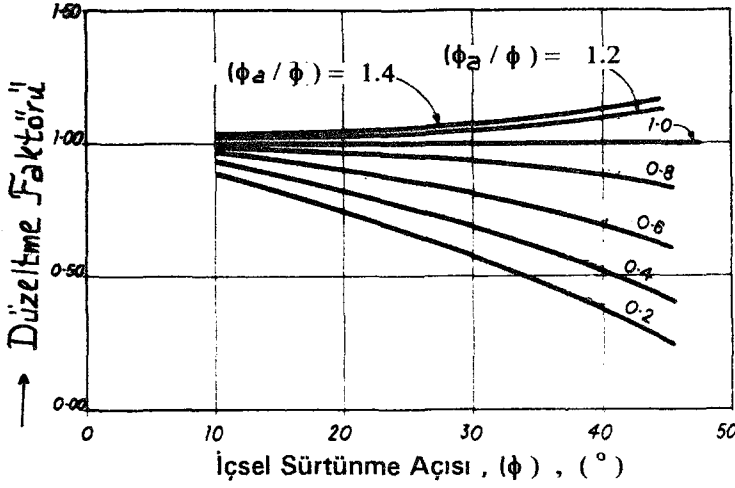
Bu yöntem esasen Raymond tipi özel ve kesit geometrisi değişken çakma kazıklar için geliştirilmiş olduğu için sözedilen kazıklar için başarılı sonuçlar verirken, kısa ve orta boylu kazıklar için fazla konservatif, uzun boylu kazıklar için güvenilir olmayan sonuçlar verebilmektedir.



Şekil 10.20 Norlund (1965) yönteminde çakma kazıklar için önerilen hacimsel deformasyon - $[\phi_a / \phi]$ bağıntısı (Tomlinson, 1977)



Şekil 10.21 Yanal toprak basıncı katsayısı değerleri, (Tomlinson, 1977)



Şekil 10.22 Düzeltmiş K_s değerleri (Tomlinson, 1977)

10.1.2.2. Broms Yöntemi

Broms (1981) tarafından geliştirilen , bu yöntem kavram bakımından Nordlund (1965) yöntemine benzemekte olup daha pratik ve kullanışlı olduğu için daha fazla benimsenmektedir.

Broms (1981) yöntemine göre çakma kazıklar için birim çevre sürtünmesi (10.28) bağıntısıyla hesaplanmaktadır.

$$[f_s] = K_o \cdot \sigma'_v \tan \emptyset_a \quad (10.28)$$

(10.28) eşitliğinde;

$[K_o]$ = Yanal toprak basıncı katsayısı

$[\emptyset_a]$ = Kazık ve zemin arasındaki sürtünme açısı

$[\sigma'_v]$ = Şaft boyunca ortalama efektif düşey basınç (10.29) bağıntısından bulunacaktır.

$$[\sigma'_v] = \frac{1}{2} \gamma L \quad (10.29)$$

K_o katsayısının, kazığın şekline ve çevre zeminin relatif sıkılığına bağlı olarak aldığı değerler Çizelge 10.4'de görülmektedir.

Çizelge 10.4 Kohezyonsuz zeminlerde sürtünme kazıkları için K_o yan al toprak basıncı katsayısı (Broms, 1981)

Kazık tipi	Düşük Relatif Sıklılık ($D_r=0$)	Yüksek Relatif Sıklılık ($D_r=0$)
Küçük yerdeğiştirme kazıkları	0.5	1.0
Yerdeğiştirme kazıkları	1.0	2.0
Konik kazıklar	1.5	4.0

Zeminde az miktarda yerdeğiştirmeye yalaçan H profili çelik kazıklar için " K_o " katsayısı sükunetteki yan al toprak basıncı katsayısına yakın değerler alacaktır. Genellikle zeminin relatif sıkılığının artmasının bir sonucu olarak porozitesi yada boşluk

oranı azaldıkça " K_0 " katsayısı artacaktır. Özellikle kazığı çevreleyen kohezyonsuz zemin strüktüründe relatif sıklık yüksek olduğunda kazık çevre alanında oluşan kemerlenme etkisine bağlı olarak ahşap ve prekast beton kazıklar için " K_0 " büyük olabilmektedir. Zeminin relatif sıklığı düşük olduğunda kazığın nihai taşıma kapasitesinin önemli bir bölümünü çevre sürtünmesi oluşturmaktadır. (Broms, 1981)

(10.28) ifadesinde yeralan sürtünme açısı " θ_a " nin zeminin relatif sıklığından bağımsız olarak [23 - 25] derece olacağı, düzgün yüzeyli beton kazık için sürtünme açısının, zeminin içsel sürtünme açısından [4 - 6] derece küçük olduğu, ahşap kazıklarda ahşabın liflerine paralel olarak sürtünme açısının zeminin içsel sürtünme açısından [4-10] derece büyük olduğu Broms (1981) kaynağında rapor edilmektedir. Ön projelendirme çalışmalarında kazık malzemesine bağlı olarak önerilen sürtünme açısı değerleri Çizelge 10.5'te görülmektedir.

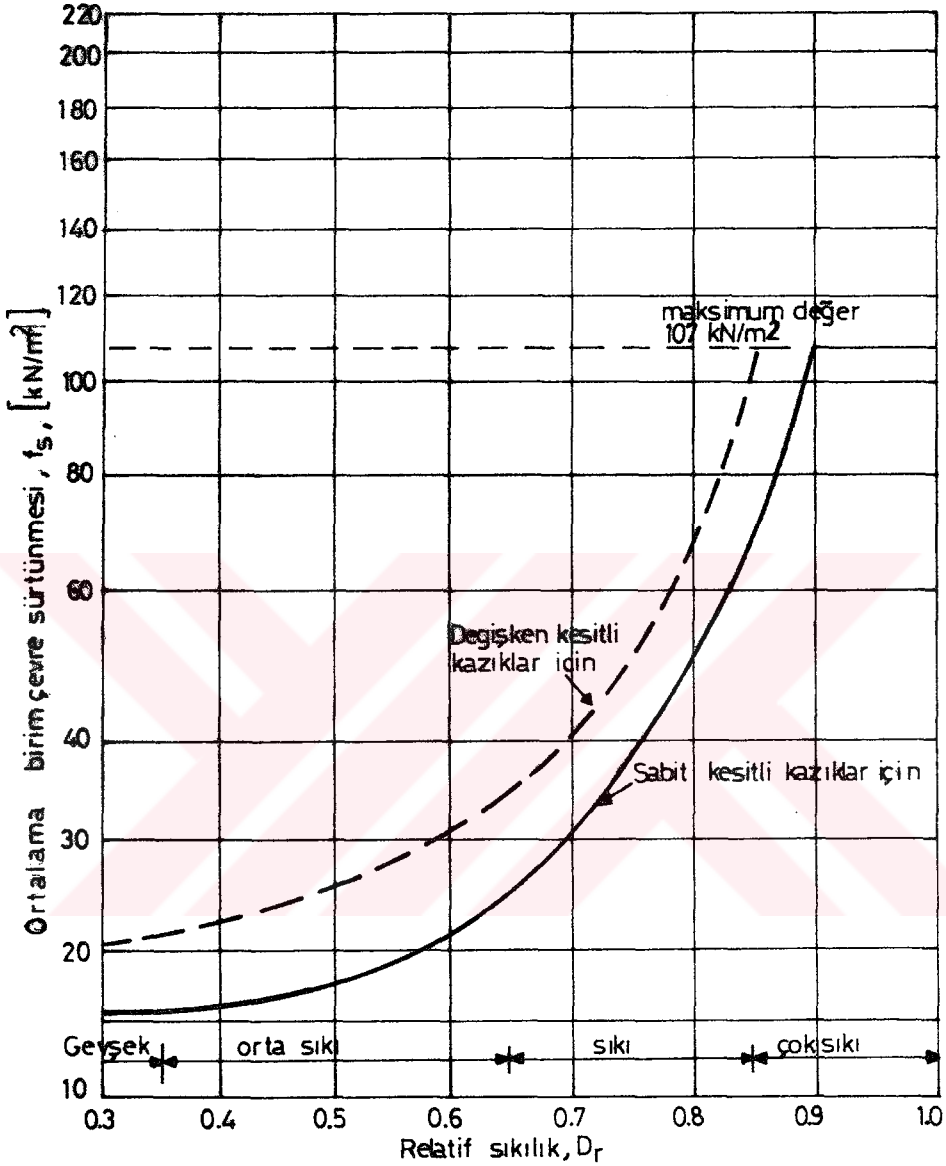
Broms (1981) kaynağında önerilen yöntem de Nordlund (1965) yönteminde olduğu gibi kısa ve orta uzunluktaki kazıklar için konservatif, uzun kazıklar için pek güvenilir olmayan sonuçlar vermektedir (Tomlinson, 1977).

10.1.2.3. Tomlinson Yöntemi

Çakma kazıklar için çakma boyunun kazık çapının 20 katından daha büyük olması halinde Tomlinson (1977) kaynağında bir seri kazık yükleme deney sonuçlarından elde edilen ve Şekil 10.23'de verilen "ortalama birim çevre sürtünmesi-relatif sıklık" bağıntısının kullanılabilceği ifade edilmektedir. Tomlinson bu çalışmasında ayrıca, Şekil 10.22'den tayin edilen ortalama çevre sürtünmesi ile birim uç direnci için Berezantsev'in " N_q " katsayılarından hesaplanarak tahmin edilen taşıma kapasitesinin "2" emniyet katsayısına bölümünden elde edilecek servis yükünde herhangi bir göçmenin oluşmayacağını iddia etmektedir. Aynı kaynakta bu şekilde tahmin edilen taşıma kapasitesinin aşırı konservatif olduğu da savunulmaktadır.

Çizelge 10.5 Kazık malzemesine bağlı olarak " θ_a " sürtünme açıları (Broms, 1981)

Kazık Tipi	θ_a
Çelik kazıklar	20°
Beton kazıklar	0.5 θ'
Ahşap kazıklar	0.7 θ'



Şekil 10. 23 Kohezyonsuz zeminlerde çakma kazıklar için birim çevre sürtünmesi-relatif sıkılık ilişkisi (Tomlinson, 1977)

Şekil 10.23'ün dikkatlice incelenmesi sonucunda değişken kesitli kazıklar için tesbit edilen ortalama birim çevre sürtünmesi değerleri sabit kesitli kazıklara kıyasla daha yüksektir. Bu durumda Tomlinson (1977) çalışmasında değişken kesitli kazıkların Nordlund yöntemiyle yaklaşık yolla çevre sürtünmesinin tahmin edilmesi için Şekil 10.23'den yararlanmasını tavsiye etmektedir.

10.1.2.4. Fleming, Weltman, Randolph ve Elson Yöntemi

Bu yöntemde Fleming ve diğerleri Vesic tarafından gerçekleştirilen bir seri deneyin sonuçlarını toparlayarak daha rasyonel bir çözüm getirmektedirler.

Vesic yaptığı bir seri deneysel araştırmalar neticesinde kohezyonsuz zeminlerde çakma kazıklar için (birim uç mukavemeti / birim çevre sürtünmesi) - $[q_p / f_s]$ oranının [50-200] değerleri arasında kalacağını ileri sürmektedir. Fleming ve diğerleri (1985) ise Vesic'in bu fikrine dayalı olarak "K" yanıl toprak basıncı katsayısı değerlerinin " N_q "ya bağılı olarak değışeceğini kabul etmenin daha rasyonel olacağı düşünce-sinden hareketle tüm çakma kazıklar için aşağıdaki ifadeyi önermektedirler.

$$[K] = N_q / 50 \quad (10.30)$$

(10.30) bağıntısının düşük gerilme düzeylerinde "K" için genellikle 1.5 daha derinlerde ise 1 yada daha düşük değerler verdiği, ortalama olarak $K = 1.2$ değerinin alınabileceğini aynı araştırmacılar vurgulamaktadır.

Yine Fleming ve diğerleri (1985), kazık çeperi ile kum arasında herhangi bir dilatasyon beklenilmediği için kazık ve zemin arasında oluşan sürtünme açısının kritik durum sürtünme açısı " ϕ'_{cv} " olarak alınabileceğini ifade ederek birim çevre sürtünme-sinin;

$$[f_s] = \frac{N_q}{50} \sigma'_v \tan \phi'_{cv} \quad (10.31)$$

eşitliği ile tahmin edilmesinin uygun olacağını belirtmektedirler.(10.31) bağıntısının belirlediği $[q_p / f_s]$ oranı $[50 / \tan \phi'_{cv}]$ olup Vesic tarafından tesbit edilen oranla üstüste düşmektedir.

10.1.2.5 Diğer Yöntemler

Kumlu zeminlerde kazık çakılmadan önce sükunetteki toprak basıncı katsayısı "K" yaklaşık olarak 0.5 alınabilir. Ancak kazık çakılması ile toprak basıncı katsayısının değeri, kumda kazık çakılmadan önceki sükunetteki toprak basıncı katsayısına, kumun başlangıçtaki porozitesine, kazığın biçimine, kazığın yerleştirilmesi sırasında uygulanan işlemlerle ve kazığa uygulanan kuvvetin yükleme veya çekme olmasına bağılı olarak değışmektedir. Toğrol (1970) çalışmasında kazık çakılırken kumun sıkışması yani

yatay gerilmenin artması nedeniyle eğer çukur dar ise K toprak basıncı katsayısının [0.4 - 0.7] arasında değerler alacağını; çukur genişse aynı katsayının [0.1 - 0.4] arasında alınması gerektiğini ifade etmektedir.

Gerçekte " K "nin derinlikle değişmekte olup kazık başında " K_p ", kazık ucunda ise " K_o "dan düşük değerler alabildiği ve " K "nın değerindeki bu değişikliğin kazığın yerleştirilirken zeminde yolaçtığı yerdeğiştirmelerle ilgili olduğu Yıldırım ve Özaydın (1994) çalışmasında rapor edilmektedir. Aynı çalışmada Meyerhof'un bir dizi araştırma sonucunda zemine yerleşim özelliklerine göre kazıkların birim çevre sürtünmesi hesabında kullanılmasını tavsiye ettiği " K " yanıl toprak basıncı katsayıları Çizelge 10.6'da verilmektedir.

Çizelge 10.6 Kazıkların zemine yerleşim özelliklerine göre K katsayıları
(Meyerhof, 1976)

Kazık Türü	[K]
Zemini çok yerdeğiştiren kazıklar	1.0 - 2.0
Zemini az yerdeğiştiren kazıklar	0.5 - 1.0
Fare kazıklar ve su jeti ile yerleştirilen kazıklar	0.5

NAVFAC (1986) ve Hunt (1986) kaynaklarında ise yukarıda anılan " K " katsayıları için Çizelge 10.7'da görülen değerler teklif edilmektedir.

Çizelge 10.7 Kazık türüne bağılı olarak " K " katsayıları (NAVFAC, 1986 , Hunt, 1986)

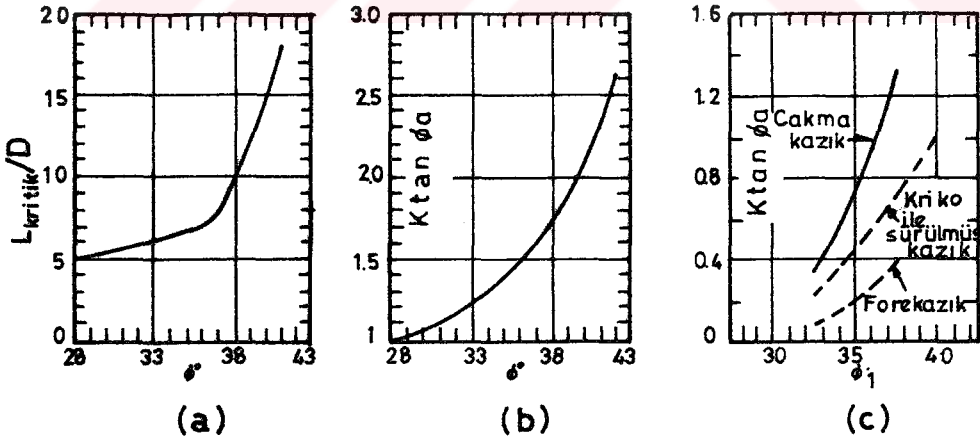
Kazık Türü	NAVFAC (1986)	Hunt (1986)
H kesitli çelik kazıklar	0.5 - 1.0	0.7 - 1.0
Hazır çakma kazıklar	1.0 - 1.5	1.0 - 2.0
Konik çalılma kazıklar	1.5 - 2.0	2.0 - 3.0
Su jeti ile yerleştirilen kazıklar	0.4 - 0.9	0.5 - 0.7
Fore kazıklar	0.7	0.1 - 0.4

Kohezyonsuz zeminlerin "birim çevre sürtünmesi" büyüklüğünün tayininde önceden doğru biçimde kestirilmiş olması önemli olan ve " ϕ_a " ile gösterilen kazıkla zemin arasındaki sürtünme açısının değeri için zeminin granülometrisi ve kazığın cinsine bağlı olarak birçok değer önerilmektedir. ASCE (1993) kaynağında sözedilen açının, içsel sürtünme açısı " ϕ "nin $[20^\circ-35^\circ]$ arasında değiştiği kohezyonsuz zeminlerde çelik kazıklar için " $[\phi]-5$ ", düz kenarlı kazıklarda " 0.7ϕ ", ondüle kenarlılarda " 0.85ϕ " önerilmektedir.

(Poulos ve Davis 1980) çalışmasında konuya daha değişik bakış açısı ile bakarak " $K \tan \phi_a$ " değerinin zeminin içsel sürtünme açısına bağlı olarak Şekil 10.24 deki gibi alınmasını tavsiye etmektedirler. Aynı kaynakta çakma kazıklar için Şekil 10.24b yi fore kazıklar için ise Şekil 10.24c' yi kullanmayı önermektedirler. Ancak kazık yerleştirilmeden önce sürtünme açısı " ϕ_1 " ise çakma kazıklarda " ϕ " (10.32a), sondaj kazıklarında ise (10.32b) bağıntısıyla belirlenmesinin uygun olduğu da ifade edilmektedir

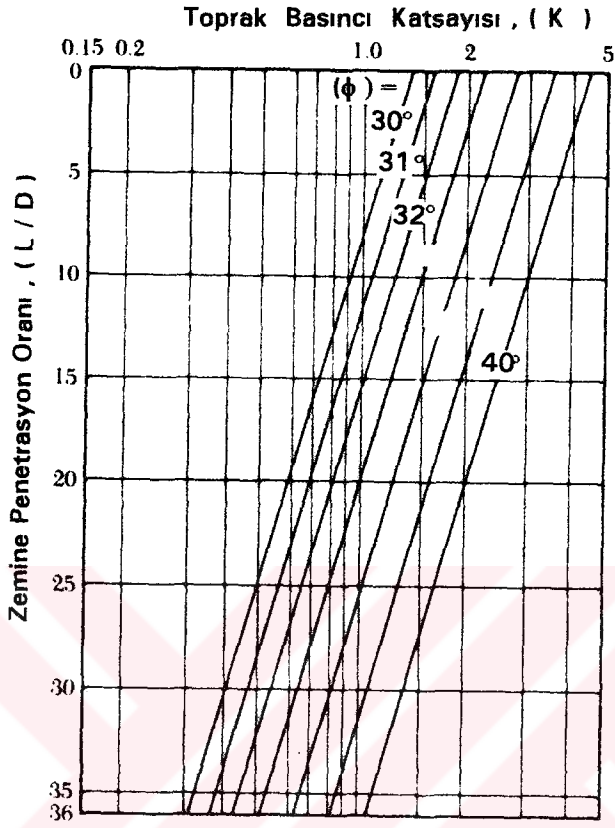
$$\phi = 0.75 [\phi_1] + 10^\circ \quad (\text{Çakma kazıklar}) \quad (10.32a)$$

$$\phi = [\phi_1] - 3 \quad (\text{Fore kazıklar}) \quad (10.32b)$$



Şekil 10.24 $K \tan \phi_a$ için Poulos ve Davis'in getirdiği öneri (Poulos ve Davis, 1980)

Coyle ve Castello (1981) mühendislik özellikleri birbirinden farklı zemin koşullarında yapmış oldukları kazık yükleme deneylerinin sonuçlarına dayalı olarak kazığın zemine penetrasyon oranı ve zeminin içsel sürtünme açısının fonksiyonu olarak " K " katsayısının tahmin edilebilmesi için Şekil 10.25'te görülen ilişkiyi tariflemektedirler.



Şekil 10.25 Kazığın zemine penetrasyon oranı ve içsel sürtünme açısına bağlı olarak "K" katsayısının aldığı değerler (Das, 1990)

Kazıkla zemin arasındaki sürtünme açısının belirlenmesi için çeşitli kaynaklarca getirilen diğer öneriler kazık cinsine bağlı olarak Çizelge 10.8'de görülmektedir.

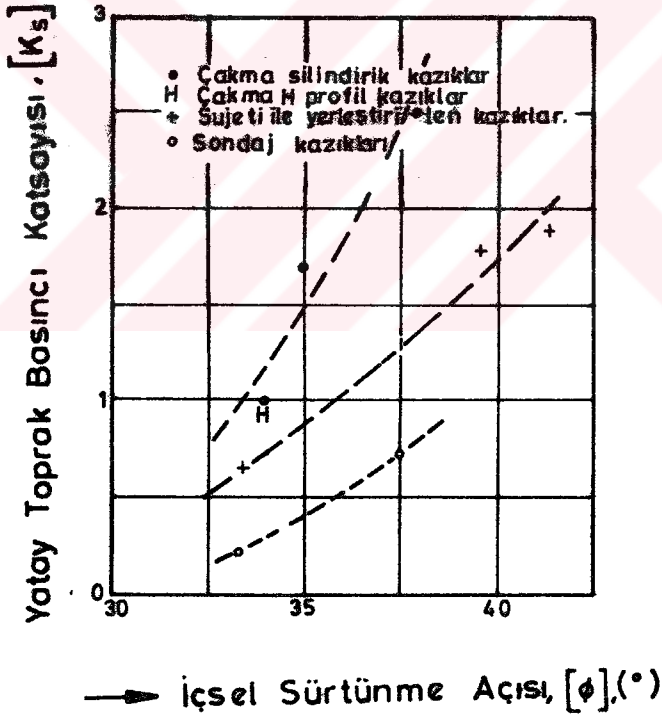
Çizelge 10.8 Kazıkla zemin arasındaki sürtünme açısı değerleri

Kazık Cinsi	NAVFAC (1986)	ASCE (1993)	HUNT (1986)
Çelik	20°	(0.67-0.83) Ø	Ø-5
Beton	3/4 Ø	(0.9-1.0) Ø	(0.7-0.85) Ø
Ahşap	3/4 Ø	(0.8-1.0) Ø	22

Kazıkla zemin arasındaki sürtünme açısı " ϕ_a " olarak da çelik kazıklarda kumun kayma sürtünmesi açısı " ϕ_{cu} " yani " $\delta = \phi_{cu}$ ", beton veya ahşap kazıklarda ise kumun kritik boşluk oranına ulaştığı durumdaki kayma açısı " ϕ_{cv} " yani " $\delta = \phi_{cv}$ " alınabilir. Toğrol (1970) kaynağında " Q_{cv} " ile " ϕ_{cu} " arasında (10.33) ile tariflenen bir eşitliğin bulunduğu ifade edilmektedir.

$$[\text{tg } \phi_{cv}] = \frac{\pi}{2} [\text{tg } \phi_{cu}] \quad (10.33)$$

Sowers (1979) çalışmasında zeminin içsel sürtünme açısı ve kazığın tipine bağlı olarak " K_s " yatay toprak basıncı katsayısının tayininde Şekil 10.26'da görülen yaklaşımın kullanılabileceği önerilmektedir.



Şekil 10.26 Yatay toprak basıncı katsayısı - içsel sürtünme açısı ilintisi (Sowers, 1979)

Reese ve O'Neill kohezyonsuz zeminlerde kazık birim çevre sürtünmesinin derinlik fonksiyonu olan " β " katsayısı ile korele edilebileceği (β metodu) düşüncesinden yola çıkarak birim çevre sürtünmesinin (10.34) bağıntısıyla hesaplanabileceğini ileri sürmektedirler.

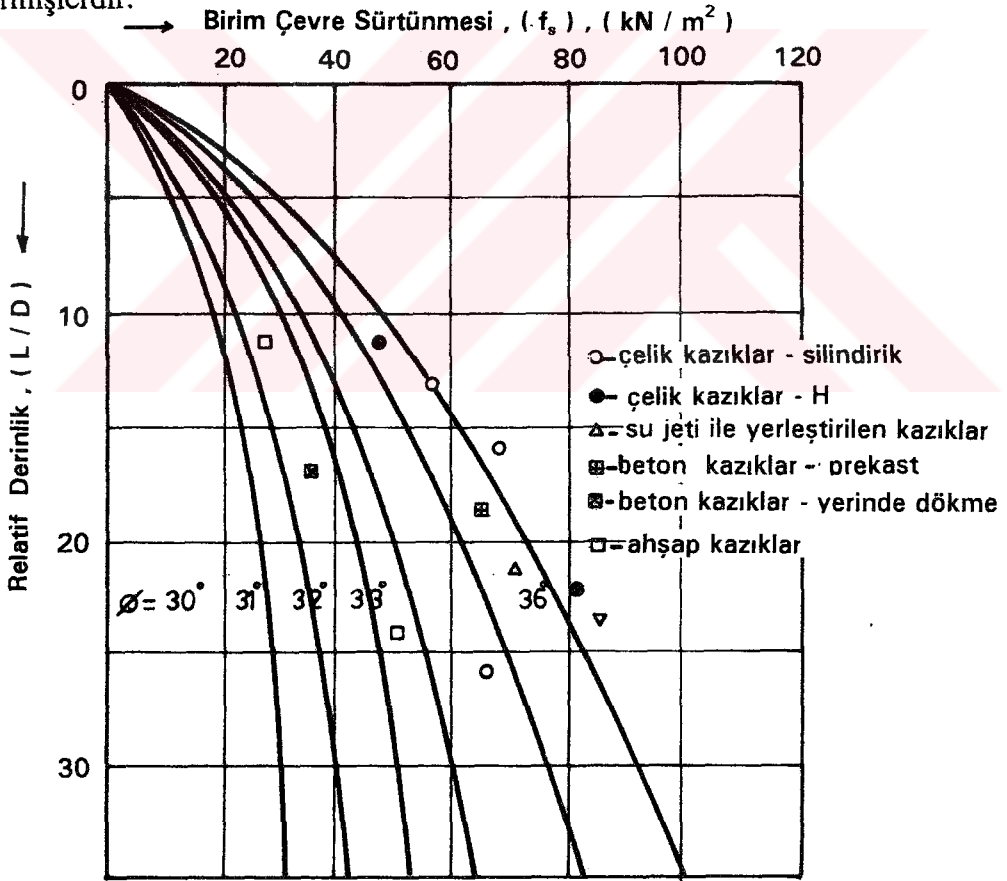
$$f_s = \beta \cdot \sigma'_v \quad (10.34)$$

(10.34) ifadesinde yönteme adını veren β katsayısı (10.35) eşitliğinde verilen biçimde derinliğin (Z) fonksiyonu olarak hesaplanabilmektedir.

$$\beta = 1.5 - 0.135 \sqrt{z} \quad (10.35)$$

Bu yöntem sondaj kazıklarında daha başarılı kestirimler yapabilmektedir.

Coyle ve Castello değişik bölgelerde yapmış oldukları bir dizi araştırmanın sonucunda kohezyonsuz zeminlerde kazık birim çevre sürtünmesi değerinin "relatif derinlik" olarak tarifledikleri (derinlik / kazık çapı) oransal büyüklüğünün ve efektif içsel sürtünme açısının fonksiyonu olarak Şekil 10.27'de görüldüğü gibi tayin edilebileceğini önermişlerdir.



Şekil 10.27 Relatif derinliğin fonksiyonu olarak birim çevre sürtünmesinin bulunması (Coyle ve Tucker, 1989)

Çeşitli araştırmacıların derinlikten bağımsız olarak uygulamalarda kullanılmasını tavsiye ettikleri değerler sırasıyla Çizelge 10.9, Çizelge 10.10 ve Çizelge 10.11'de görülmektedir.

Çizelgeler dikkatle izlendiğinde önerilen değerlerin geniş bir değişim aralığı tariflediği ve belirli ölçüde konservatif olduğu ifade edilmektedir. (Ülker, 1976)

Çizelge 10.9 Tomlinson tarafından önerilen çevre sürtünmesi değerleri (Ülker, 1978)

Relatif sıklık	f_s (10 kN/m ²)
Gevşek kumlarda	1 - 4
Sıkı kumlarda	3 - 7
Plastik kil ve siltlerde	0.7 - 3
Katı ve sert killerde	5 - 20

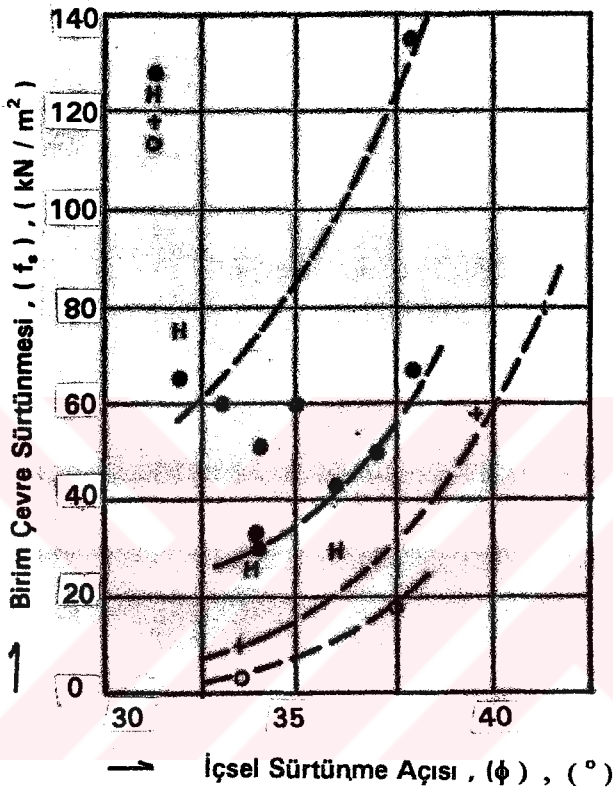
Çizelge 10.10 Weele tarafından önerilen birim çevre sürtünmesi değerleri (Ülker, 1978)

Zemin Cinsi	f_s (10 kN/m ²)
Üst tabaka dolaylarındaki kumlar	3
Kil tabakası altındaki kumlar	20
Derinde bulunan killi kumlar	8
Üst tabaka dolaylarındaki killer	1.5

Çizelge 10.11 Terzaghi - Peck tarafından önerilen birim çevre sürtünmesi değerleri (Ülker, 1978)

Zemin Cinsi	f_s (100 kN/m ²)
Gevşek Kum	0.25
Sıkı Kum	1.00
Yumuşak Kil veya silt	0.1 - 0.30
Kumlu silt	0.20 - 0.50
Sert kil	0.40 - 1.00

Birim çevre sürtünmesinin içsel sürtünme açısı ve kazık tipine bağlı olarak Şekil 10.28'de görüldüğü gibi bulunabileceği Sowers tarafından rapor edilmektedir.



Şekil 10.28 Birim çevre sürtünmesi - içsel sürtünme açısı ilişkisi (Sowers, 197)

Şimdiye değin yukarıda açıklanan yöntemler ve yapılan yaklaşımlar daha ziyade çakma kazıklar için tecrübe edilmiştir. Kohezyonsuz zeminlerde yerinde dökme (sondaj) kazıkları teşkil edilirken, kazık shaftında zeminin kazılması sırasında doğan emme kuvvetlerinin etkisi sonucunda foraj çukurunun yan cidarlarını oluşturan zemin gevşeyebilir. Beton dökülürken gerilme seviyesinde biraz artış olsa da kohezyonsuz zeminlerde sondaj kazıklarının birim çevre sürtünmesi, çakma kazıkların birim çevre sürtünmesinin hesabında verilen eşitliklerde kullanılan sürtünme katsayıları, gevşek zeminin ϕ kayma mukavemeti açısına karşı gelen değerler alınarak belirlenmelidir.

Sondaj kazıklarında kullanılan bentonit çamuru zeminin gevşemesi sonucunda meydana gelen uç direncindeki azalmaları önlerken, çevre sürtünmesi değerini de azaltmaktadır (Tomlinson, 1973). Fleming ve diğerleri kohezyonsuz zeminlerde bentonit çamurunun kullanılarak teşkil edilen sondaj kazıklarında, bir sürtünme katsayısı ve

efektif yanal basıncın çarpımından hesaplanan birim çevre sürtünmesinin [%10 – %30] oranında azaltılmasını önermektedirler. Broms tarafından yapılan irdelemeler sonucunda bentonit çamuru kullanılarak foraj çukuru açılan sondaj kazıklarında çevre sürtünmesinin aldığı değer bentonit çamuru kullanılmaksızın foraj çukuru açılan sondaj kazıklarının çevre sürtünmesi değerinin [%30 - %40]'ı arasında değiştiği anlaşılmaktadır. Reese ve Touma ise bu görüşe katılmamakta ve bentonit çamuru kullanımının çevre sürtünmesine herhangi bir etkisinin olmayacağını savunmaktadır (Tomlinson, 1973).

Toumo ve Reese 600 mm ve daha büyük çaplı yerinde dökme (sondaj) kazıklarının tasarımında yanal toprak basıncı katsayısının K veya K_0 0.7 kazık - zemin arasındaki sürtünme açısı " ϕ_a " içinde zeminin efektif kayma direnci açısı " ϕ "'nın alınarak kazığın birim çevre sürtünmesinin hesaplanabileceğini öne sürmektedirler.

Birim çevre sürtünmesi hesaplarında kullanılan " K " yanal toprak basıncı katsayısı, sürekli burğu ile teşkil edilmiş sondaj kazıkları için kumlu zeminlerde 0.9, silt ve siltli kumlarda 0.7 arasında değişik değerler alırken, pratikte sondaj kazıklarında yaygın olarak $K = 0.7$ değeri benimsenmektedir. (Fleming et al.,1985)

Sowers (1979) çalışmasında, relatif sıklığı % 30'un altında olan gevşek kumlu zeminlerde " K " katsayısı olarak çakma kazıklarda [2 - 3], sondaj kazıklarında [0.75 - 1.5], su jeti ile yerleştirilenlerde ise [0.5 - 0.75] değerleri önerilirken; relatif sıklığı % 70'den fazla olan sıkı kumlarda ise çakma kazıklarda [3 - 4], sondaj kazıklarında [1 - 2], su jeti ile zemine yerleştirilen kazıklarda [0.5 - 1.0] değerlerinin kullanılması ileri sürülmektedir.

Sondaj kazıklarının yapılması sırasında zeminin gevşemesi aynı zemin koşullarında aynı büyüklükte bir çakma kazıkla karşılaştırıldığında önemli ölçüde çevre ve uç direncinin azalmasına yolaçacağı için inşasındaki potansiyel zorluklarla beraber düşük kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde sondaj kazıklarını ekonomik olmaktan çıkarmaktadır. Ancak büyük çaplı sondaj kazıklarının teknolojideki gelişmelere bağlı olarak yani makinelerle çok kısa zamanda teşkil edilebilir hale gelmesi ile yerinde dökme kazıklar son yıllarda çakma kazıklara kıyasla daha tercih edilir olmuşlardır.

10.2. Kohezyonlu Zeminlerde Kazık Taşıma Gücü

Kohezyonlu zeminlerde ve özellikle de killerde 10. bölümün başında da belirtildiği gibi tek kazığın nihai taşıma kapasitesi kısa ve uzun süreli yükleme koşullarına dolayı-

sıyla **drenajsız** ve **drenajlı** yükleme şartlarına göre ayrı değerlendirilmelidir. Eğer anazilerde, kısa süreli (ani) yükleme koşulları gözönüne alınacaksa (10.8) bağıntısındaki terimler **drenajsız** koşullara karşılık gelen parametreler seçilerek saptanmalı; uzun süreli yükleme koşulları gözönüne alınacaksa da (10.8) bağıntısındaki terimler **drenajlı koşulları** temsil eden efektif zemin parametreleri alınarak hesaplanmalıdır (Poulos ve Davis, 1980). Aşağıda genel hatlarıyla yukarıda söz edilen drenajsız ve drenajlı yükleme koşullarında tek kazığın nihai taşıma kapasitesinin nasıl belirleneceği açıklanmaktadır.

A. Drenajsız Yük Taşıma Kapasitesi

Killi zeminlerdeki kazıklar için, kil fazla miktarda aşırı konsolidasyona uğramadığı sürece drenajsız yük taşıma kapasitesi genel olarak daima bir kritik değere sahiptir. Burland (1973) çalışmasında bunu ispatlamakta, bununla beraber killi zeminlerde yükleme hızının normal tempoda olması halinde boşluk suyu basınçlarının sönmülme hızının oldukça yüksek olması nedeniyle drenajlı analiz-efektif gerilmelere göre yapılacak analizin daha gerçekçi bir çözüm sağladığını ifade etmektedir. Eğer killi zemin satüre olmuşsa drenajsız koşullardaki içsel sürtünme açısı " ϕ ," sıfır olmakta ve buna bağlı olarak (10.8) eşitliğindeki kazıkla zemin arasındaki sürtünme açısı da " $\phi_a = 0$ " değerini almaktadır. Buna ilave olarak aynı bağıntıdaki " N_q " ve " N_γ " taşıma gücü faktörleride $\phi_u = 0$ olması nedeniyle sırası ile $N_q = 1$ ve $N_\gamma = 0$ değerlerini almaktadır. Bu şartlar altında killi zeminlerde tek kazığın drenajsız nihai taşıma kapasitesi (10.36) bağıntısıyla aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$Q_u = [c_u N_c + \sigma_{vL}] A_p + \int_{z=0}^{z=L} P c_a dz - W_p \quad (10.36)$$

(10.36) bağıntısında;

$[c_u]$ = Kazık alt ucu seviyesindeki drenajsız koezyon

$[c_a]$ = Kazıkla zemin arasındaki drenajsız adhezyon

olmaktadır. Uygulamada çoğu hallerde uniform kesitli kazıklarda (10.36) ifadesindeki " $\sigma_{vL} A_p$ " terimi Kazık ağırlığı " W_p "'ye yaklaşık eşittir. Bu nedenle adigeçen bağıntı yeniden düzenlenerek net uç mukavemeti;

$$Q_u = c_u N_c A_p + \int_{z=0}^{z=L} P \cdot c_a dz \quad (10.37)$$

şeklinde yazılabilir. (10.37) bağıntısı dikkatle incelenirse drenajsız koşullarda kazığın nihai taşıma kapasitesi hassas olarak " c_a " drenajsız adhezyonuna ve " N_c " boyutsuz taşıma gücü faktörüne bağlı olup aşağıda sırayla ele alınan "Kohezyonlu zeminlerde tek kazığın birim uç direnci" ve "birim çevre sürtünmesi" bahsinde sözkonusu " c_a " ve " N_c " parametreleri ayrıntılı olarak ele alınmaktadır.

B. Drenajlı Yük Taşıma Kapasitesi

Özellikle sıkı ve aşırı konsolide killerde "drenajlı yük taşıma kapasitesi" drenajsız yük taşıma kapasitesi" 'ne kıyasla daha kritik bir değer kazanabilmektedir. Bu konuda çok uğraş veren araştırmacılardan Vesic ve Chandler birçok uygulama sonucunda edindikleri tecrübelerle dayalı olarak bu tür zeminlerde "efektif gerilme" yaklaşımına göre hesap yapılmasının daha gerçekçi ve doğru olduğunu savunmaktadırlar. Pratik hesaplarda kazıkla zemin arasındaki drenajlı adhezyon büyüklüğü " c_a " sıfır ($c_a' = 0$) kabul edilmekte ve drenajlı şartlarda " N_c " ve " N_y " taşıma kapasitesi faktörleri sayısal değerleri çok küçük olduğu için ihmal edilebilmektedir. Buna göre (10.8) eşitliği drenajlı yüklenme koşullarında (10.38) ifadesine indirgenmektedir.

$$Q_u = \sigma'_{vL} N_q A_p + \int_{z=0}^{z=L} P [\sigma'_v K_s \tan \phi'_a] dz - W_p \quad (10.38)$$

Burada;

$[\sigma'_v]$ = Şaft boyunca herhangi bir z derinliğindeki düşey efektif basınç

$[\sigma'_{vL}]$ = Kazık alt ucu seviyesindeki düşey efektif basınç

$[\phi'_a]$ = kazık ile zemin arasındaki drenajlı sürtünme açısıdır.

10.2.1. Birim Uç Mukavemeti

Kohezyonlu zeminlerde yer alan bir kazığın üst yapı yüklerinin etkisi altında nihai taşıma kapasitesinin bir bileşeni olan "**birim uç direnci**"nin hesabında yukarıda da değinildiği gibi yüklenme ve zemin koşullarının etkisine bağlı olarak "**drenajsız birim uç direnci**" ve "**drenajlı birim uç direnci**" gözönüne alınmalıdır. Genel olarak bir kazı-

ğın uç mukavemeti ile taşıdığı nihai yükün hesabında Terzaghi tarafından statik analizlere dayalı olarak kullanılması önerilen (10.7) bağıntısı az önce de ifade edildiği gibi drenajsız ve drenajlı koşullara ayrı ayrı uyarlanırsa yukarıda açıklanan hususlar doğrultusunda drenajsız koşullara karşılık (10.39 a) ve drenajlı koşullara karşılık olarak (10.39 b) ifadeleri elde edilir.

$$[Q_p] = c_u N_c A_p \quad (10.39a)$$

$$[Q_p] = \sigma'_{vL} N_q A_p \quad (10.39b)$$

Aşağıda sırasıyla önce drenajsız sonra drenajlı yükleme koşulları için tek kazığın birim uç direncinin nasıl tespit edildiği kısaca açıklanmaktadır.

10.2.1.1. Drenajsız Birim Uç Mukavemeti

Kohezyonlu zeminlerde yeralan bir kazığın drenajsız birim uç mukavemeti bölüm 10.2'de yapılan açıklamalar ve (10.39 a) bağıntısına dayalı olarak (10.40) eşitliği ile tanımlenebilir.

$$[q_p] = c_u N_c \quad (10.40)$$

(10.40) bağıntısına dikkatle bakarsak kohezyonlu bir zeminde kazığın birim uç mukavemeti hassas olarak " N_c " taşıma kapasitesi faktörünün kontrolü altındadır. Son dönemlerdeki araştırmaların büyük bir kısmı adı geçen " N_c " taşıma kapasitesi faktörünün tayini ve tahmini üzerine yapılmıştır. İlk araştırmaları yapan bilimadamlarından Skempton (1951), dairesel yüklü bir alan için $[L / D]$ oranı 4 den büyük olması şartı ile " N_c " boyutsuz taşıma gücü faktörünün sayısal değerinin 6.1 ile 9 arasında değiştiğini ortaya koymakta ve daha sonraki yıllarda yaptığı çalışmalarda da anılan faktörün yaygın olarak 9'a yakınsadığını ifade etmektedir. Bununla beraber diğer bazı araştırmacıların yapmış oldukları laboratuvar ve arazi deneylerinin sonuçlarına göre " N_c " faktörü yaygın zeminlerde 5 ile 9 arasında değerler alabilmektedir. Sowers (1961) model deneyleri sonucunda $5 < N_c < 8$ aralığını önerirken, Mohan (1961) ise $5.7 < N_c < 8.2$ aralığını savunmaktadır. " N_c " faktörünün zeminin kazıktan aktarılan yük altındaki gerilme - deformasyon davranışın bir ölçütü olarak değişim göstereceğini savunan Ladanyi (1963) ise özellikle sensitivitesi düşük killer için $7.4 < N_c < 9.3$ aralığını önermektedir. (Poulos ve Davis, 1980)

Çeşitli araştırmacıların " N_c " faktörünün belirlenmesi hakkında ileri sürdükleri öneriler Çizelge 10.12'de görülmektedir.

Çizelge 10.12 Çeşitli araştırmacılar tarafından benimsenen N_c faktörleri (Tomlinson (1977), Broms (1981), Fleming et al., (1985), Yıldırım ve Özaydın (1994))

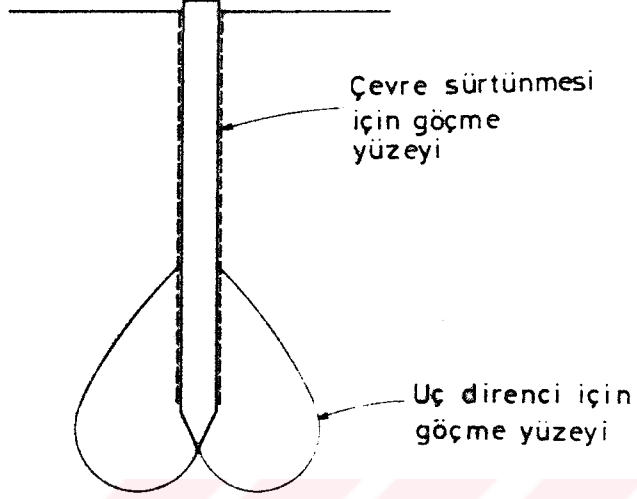
Araştırmacı	Öne Sürülen Koşul	$[N_c]$
Skempton (1959)	$L / D \geq 2.5$	9
Meyerhof (1976)	$L_p / D \geq 5$	9
Broms (1981)	$D \leq 30$ cm	9
	$30 \leq D \leq 60$ cm	7
	$D \geq 60$ cm	6
Fleming et al. (1985)	$L_p / D \geq 3$	9
	$L_p = 0$	6
CFEM (1985)	$D \leq 50$ cm	9
	50 cm $\leq D \leq 100$ cm	7
	$D \geq 100$ cm	6
AASHTO ^(*) (1992)	$N_c = 6.0 + (1 + 0.2 L / B) \leq 9$ $q_p \leq 500$ kN/m ²	9

Kohezyonlu zeminlerdeki çakma kazıkların birim uç mukavemetinin (10.40) bağıntısıyla örselenmemiş ve drenajsız kohezyon değerinin kullanılarak hesaplanması aslında pek doğru değildir. Kohezyonlu bir zemine kazık çakıldığında oluşan göçme yüzeyinin önemli bir bölümü Şekil 10.29'da izlendiği gibi kazık ucu yakınlarında yer alan zemin kazık çakımı sırasında oluşan penetrasyonun etkisiyle örselenir. Bu yüzden hesaplarda örselenmemiş kohezyon değerini almak aslında hatalıdır (Tomlinson, 1977). Örneğin katı ve fissürlü bir kilin yoğrulma etkisiyle direnci artarken, yumuşak hassas kilin yoğrulmasıyla direnci azalacaktır (Tomlinson, 1973). Ayrıca yumuşak killerde çakımın neden olduğu aşırı miktardaki "boşluk suyu basınçları" zaman içinde sönmüleneceği için uzun vadede kazığın "drenajlı uç mukavemeti" drenajsız kapasiteden oldukça büyükte olabilmektedir (Fleming et al., 1985).

Ancak tüm bu değişimlere rağmen hesaplarda " c_u " drenajsız kohezyon değerinin alınması çağü kez güvenilir olmayan sonuçlar doğurmamaktadır. Çünkü, taşıma gücü büyük miktarda "uç mukavemeti" 'ne dayanan bir kazık yumuşak hassas bir kilde

(*): Drenajsız kayma direnci kazık tabanından iki çap kadar aşağıda ölçülmeli ve bu kesimde yumuşak bir zemin bulunuyorsa 1/3 oranında azaltılmalıdır.

bitirilemeyeceği gibi, bu tip bir zeminde biten bir kazığın uç mukavemeti, çevre sürtünmesinin yanında önemsiz bir değere sahiptir (Tomlinson, 1973).



Şekil 10.29 Kazıklar üzerindeki basınç yükleri altında oluşan göçme yüzeyleri (Tomlinson, 1977)

Benzer olarak çevre sürtünmesiyle karşılaştırıldığında drenajlı uç mukavemeti mobilize edebilecek düzeydeki oturmalar çoğu yapı sistemleri için izin verilebilen limit oturma değerlerinin çok üstündedir. Broms (1981) kaynağında ilerleyen göçme (progressive failure) riski bulunan sensitif killerde uç direncinin hiç hesaba katılmaması önerilmektedir. Bu açılarından değerlendirildiğinde yukarıda belirtildiği gibi tam olarak doğru olmayan "Kohezyon" parametresi nedeniyle oluşan hatalar pek önemli olmamakta; bu yüzden de Kohezyonlu zeminlerde drenajsız koşullardaki birim uç mukavemetinin (10.40) eşitliği ile hesaplanması yeterli bulunmaktadır.

10.2.1.2. Drenajlı Birim Uç Mukavemeti

Kohezyonlu zeminlerde yeralan bir kazığın drenajlı koşullardaki birim uç mukavemeti, yine bölüm 10.2 de yapılan açıklamalar ve (10.39b) bağıntısına istinaden (10.41) eşitliği ile tanımlanabilir.

$$q_p = \sigma'_{vL} N_q \quad (10.41)$$

(10.41) bağıntısı drenajlı yükleme koşulları için birim uç direnci hesabında belirleyici unsurun " N_q " faktörü olduğunu göstermektedir. Burada görülen " N_q " faktörü,

kohezyonsuz zeminlerde birim uç mukavemetinin hesaplanmasında rol oynayan " N_q " faktörüne benzer olarak aynı şekilde tayin edilmelidir. (Bakınız Bölüm 10.1.1.'e)

10.2.2. Birim Çevre Sürtünmesi

Kohezyonlu zeminlere penetre edilen bir kazığın üst yapı yüklerinin etkisi altında toplam taşıma kapasitesinin diğer bileşeni olan "birim çevre sürtünmesi"nin nihai kapasitesinin ağırlık olarak önemli bir bölümünü oluşturduğu gözönünde tutulursa bu tür zeminlerde çevre sürtünmesinin doğru olarak tahmin edilmesi son derece önem kazanmaktadır. Bu gerekçe altında yapılan araştırmalar, gözlemler ve etüdler yukarıda da yinelenildiği gibi arazi ve yükleme koşullarının etkisine uygun olarak "**drenajsız çevre sürtünmesi**" ve "**drenajlı çevre sürtünmesi**"ni en doğru ve gerçekçi biçimde kestiren yöntem ve yaklaşımlar üzerinde yoğunlaşmaktadır. Kohezyonlu zeminlerde yer alan bir kazığın Bölüm 10.2'de açıklandığı gibi drenajsız ve drenajlı koşullara karşılık gelen "çevre sürtünmesi" büyüklüğü statik analizlere dayalı olarak (10.37) ve (10.38) bağıntıları dikkate alınarak drenajsız koşullar için (10.42a), drenajlı koşullar için de (10.42 b) eşitlikleri ile ifade edilebilmektedir.

$$Q_s = \int_{z=0}^{z=L} P c_a dz \quad (10.42a)$$

$$Q_s = \int_{z=0}^{z=L} P [\sigma'_v K_s \tan \phi'_a] dz \quad (10.42b)$$

Aşağıda sırasıyla önce drenajsız sonra drenajlı yükleme koşulları için tek kazığın birim çevre sürtünmesinin nasıl belirlendiği kısaca açıklanmaktadır.

10.2.2.1. Drenajsız Birim Çevre Sürtünmesi

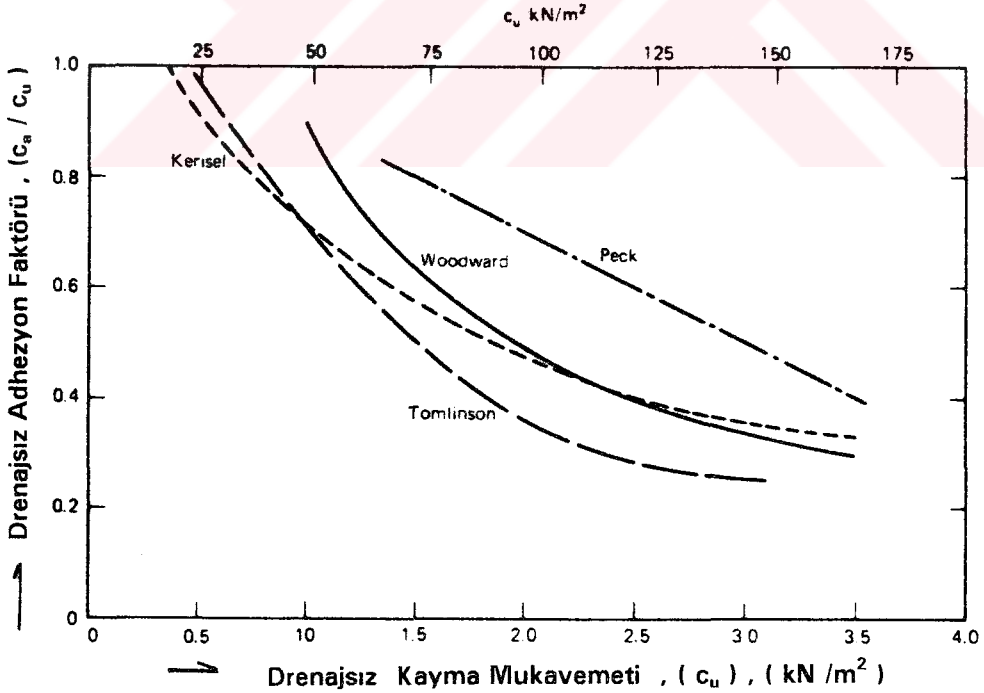
Bölüm 10.2'de yapılan açıklamalar ve (10.42a) bağıntısı birlikte değerlendirildiğinde kohezyonlu bir zemine penetre olan tek kazığın drenajsız koşullardaki birim çevre sürtünmesi sözkonusu zeminin aşağıda tariflenen "**adhezyonu**" 'na yaklaşık eşit kabul edilerek (10.43) bağıntısıyla tarifi edilebilmektedir.

$$f_s = c_a \quad (10.43)$$

(10.43) ifadesindeki " c_a " kazıkla zemin arasındaki zonda shaft boyunca gelişen

"drenajsız adhezyon" büyüklüğü kazık tipi zeminin cinsi ve kazığın zemine yerleştirilme metodu gibi birçok faktöre bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. İdeal olarak " c_a " için en doğru kestirim kazık yükleme deneyi sonuçlarından yapılabilmektedir. Ancak pratik olarak bu her zaman mümkün olmadığı için " c_a " drenajsız adhezyon değeri ampirik kökenli analizlerle tayin edilebilmektedir.

Uygulamada pek çok yaklaşım " c_a " 'nın doğrudan doğruya değil dolaylı yoldan hesabına olanak vermektedir. Coyle ve Reese (1966), Vesic (1967), Morgan ve Poulos (1968), Mc Clelland (1969) ve Tomlinson (1970) gibi araştırmacılar drenajsız adhezyon " c_a " ile drenajsız kohezyon " c_u " arasında yapılan laboratuvar ve arazi deneylerinin sonuçlarına göre anlamlı korelasyonlar bulunduğunu öne sürmektedirler. Bu araştırmacıardan Mc Clelland (1974), çakma kazıklar için çeşitli araştırmacıların " $[c_a/c_u]$ " oranı ile " c_u " büyüklüğü arasında geliştirdikleri korelasyon bağıntılarını biraraya toparlayarak Şekil 10.30 daki gibi ifade etmektedir.



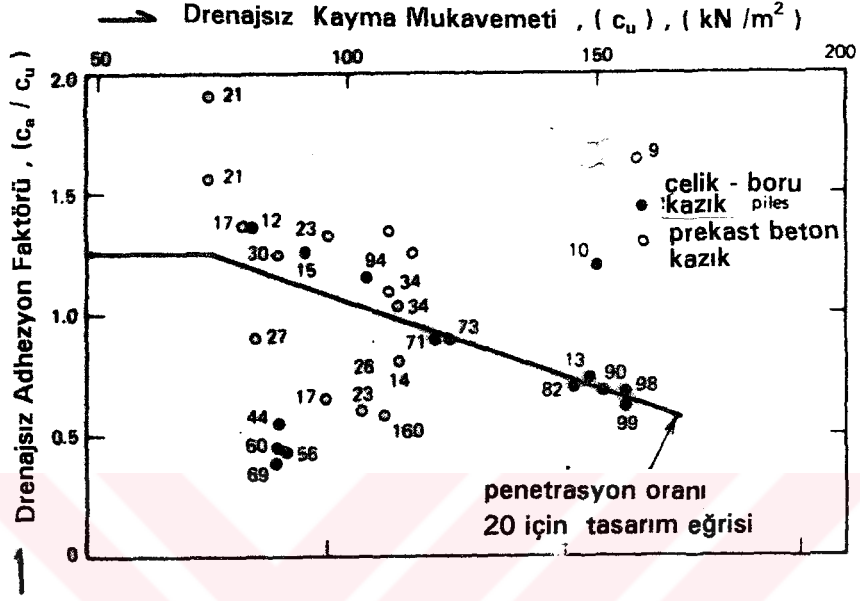
Şekil 10.30 Çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen $[c_a/c_u] = f(c_u)$ korelasyon bağıntıları (Poulos ve Davis, 1990)

Şekil 10.30 yakından incelendiğinde tüm araştırmacıların genel olarak yumuşak killer ($c_u \leq 25 \text{ kN/m}^2$) için "[c_a / c_u]" oransal büyüklüğünün yaklaşık 1 civarında olduğunu benimsedikleri, bununla beraber katı killer için adıgeçen oranın çok geniş bir dağılım gösterebileceğini kabul ettikleri açıkça gözlenmektedir. Bunun sebebi ise Tomlinson (1970) çalışmasında çakım sırasında vurulan ani darbelerin yolaçtığı örselenmelere bağlanmaktadır. Aynı çalışmada Tomlinson [c_a / c_u] oranını adezyon faktörü olarak tanımlayarak [α] ile göstermekte, kilin yapısı ve kazığın penetrasyon oranına bağlı olarak Çizelge 10.13'te; drenajsız Kohezyon ve penetrasyon oranının fonksiyonu olarak ta Şekil 10.31 a ve b'de ($c_u \leq 48 \text{ kN/m}^2$ olmak üzere) anılan faktörün alabileceği değerleri göstermektedir.

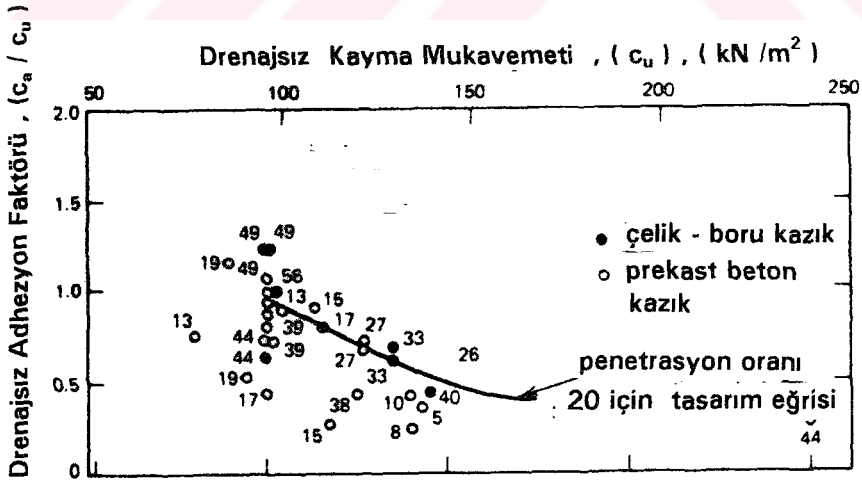
Çizelge 10.13 Çakma kazıklar için kilin yapısı ve kazığın zemine penetrasyon oranına bağlı olarak Tomlinson (1970) tarafından önerilen [α] adhezyon faktörleri

	Zemin Koşulları	Penetrasyon Oranı	$[\alpha = \frac{c_a}{c_u}]$
I	Katı kil üzerindeki kum ve kumlu zemin	< 20	1.25
		> 20	Bak şekil 10.28a
II	Katı kil üzerinde yumuşak kil veya silt	< 20 (>8)	0.40
		> 20	0.70
III	Katı kil üzerinde başka tabaka yok	< 20 (> 8)	0.40
		> 20	Bak şekil 10.28b

Sondaj kazıklarında ise [$\alpha = c_a / c_u$] adhezyon faktörünün tayin edilmesi için çakma kazıklardaki kadar geniş bir veri tabanı olmamakla beraber sondaj tekniği nedeniyle yoğrulmuş Londra killeri üzerinde yapılan geniş çaplı bir araştırmanın sonuçları Çizelge 10.14' te görülmektedir. Bu çizelgede görülen " c_r " terimi yoğrulmuş kayma direncini, " c_u " ise örselenmemiş drenajsız kayma direncini ifade etmektedir. " c_a " ise bulunduğu gibi drenajsız adhezyonu gösterir. Çizelge 10.14'teki verilerde " c_a " için üst sınır 96 kN/m^2 dir.



Şekil 10.31a Kum yada kumlu formasyonları içeren katı kohezyonlu zeminlerde adhezyon faktörü (Poulos ve Davis, 1980)



Şekil 10.31b Katı kohezyonlu formasyonlarda adhezyon faktörü (Poulos ve Davis, 1980)

Çizelge 10.14 Killi zeminlerde sondaj kazıkları için [α] adezyon faktörünün aldığı değerler (Poulos ve Davis, 1980)

Zemin Tipi	Adhezyon Faktörü	Değeri	Kaynak
Londra Killeri	c_a/c_u	[0.25–0.7] Ortalaması 0.45	Golder ve Leonard (1954) Tomlinson (1957) Skempton (1959)
Hassas killer	c_a/c_r	1	Golder (1957)
Aşırı şişebilen killer	c_a/c_u	0.5	Mohan ve Chandra (1961)

Drenajsız yükleme koşullarında, kohezyonlu zeminlerde yeralan bir kazığın birim çevre sürtünmesinin hesabı için öne sürülen fikirler ve geliştirilen teoriler yukarıda da değinildiği gibi bir anlamda kazıkla zemin arasındaki drenajsız adhezyon " c_a " ve drenajsız kohezyon " c_u " nun çeşitli kombinasyonları sonucu geliştirilen amprik kökenli bağıntıları beraberinde getirmektedir. Bu kombinasyonlar içinde en yaygın olanları Şekil 10.29, Çizelge 10.13 ve Çizelge 10.14 'te de görüldüğü gibi [$\alpha = c_a/c_u$] ile tariflenen adhezyon faktörünün belirleyici parametre olduğu yaklaşımlardır.

Aşağıda drenajsız yükleme koşullarında kohezyonlu zeminlere penetre edilen kazıkları birim çevre sürtünmesinin hesabında çok kullanılan amprik yöntemler ana hatlarıyla tariflenmektedir.

1. Tomlinson Yöntemi - [α] Yöntemi

Tomlinson (1970) tarafından geliştirilen bu yöntem esasen birim çevre sürtünmesini, drenajsız kayma mukavetini amprik bir adhezyon faktörü olan " α " ile çarparak tahmin edilmesine olanak tanıyan bir yöntem olup birim çevre sürtünmesi (10.45) bağıntısıyla hesaplanabilmektedir.

$$f_s = \alpha S c_u \quad (10.44)$$

(10.44) ifadesinde;

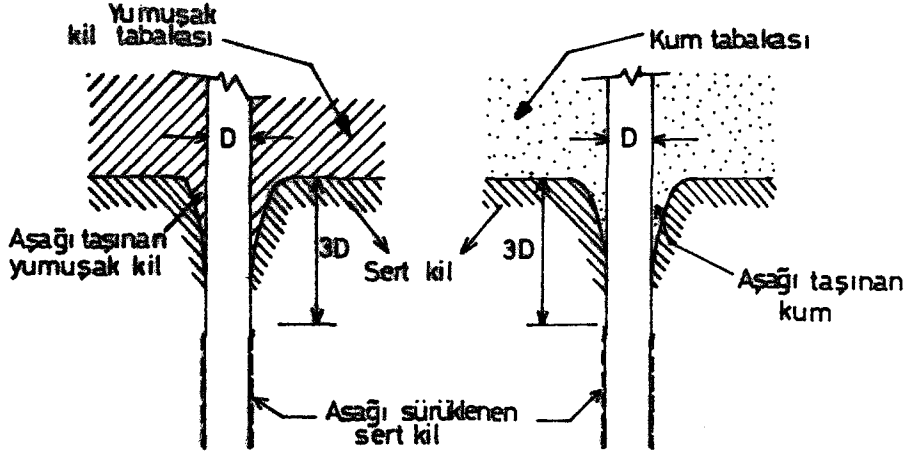
$[\alpha]$ = Amprik adhezyon faktörü $[\alpha = c_a/c_u]$

$[S]$ = Kazığın kesit geometrisine bağlı şekil faktörü

$[c_u]$ = Kazık, çevresini saran zemine ait örselenmemiş ortalama drenajsız kohezyon

olarak tariflenmektedir (Tomlinson 1977). (10.44) ifadesindeki "S" şekil faktörü uniform kesitli kazıklarda "1", değişken kesitli (konik) kazıklarda ise "1.2" alınabilir.

Kil zeminlerde teşkil edilen çakma kazıklardaki adhezyon problemi Tomlinson tarafından incelenmiş ve " α " adhezyon faktörünün kazık malzemesinden bağımsız olarak kısmen zeminin kohezyonuna ve kısmen de kazıkların içine çakıldığı taşıyıcı kil tabakası üzerindeki zeminin yapısına bağlı olduğu savunulmuştur. Tomlinson " α " adhezyon faktörünün zemin kıvamıyla geniş bir dağılım gösterdiğini, çok yumuşak killer için 1 veya daha büyük bir değerden sert kıvama sahip killer için 0.2 değerine kadar düşebileceğini arazi deneyleriyle ispatlamıştır (Tomlinson, 1977). Yumuşak kilden veya kumdan geçerek katı kile giren çakma kazıkların, kazık şaftları üzerinde de incelemeler yapan aynı araştırmacı her iki durumda da yumuşak kil ve kumun kazık çapının 3 katı derinliğine kadar katı kil içerisine sürüklendiğini Şekil 10.32'de görüldüğü gibi saptamış ve kazığın yüzeyine yapışarak kazıkla beraber hareket ederek katı kile giren yumuşak kil tabakasının adhezyon faktörünü azaltırken, kum tabakasının artırdığı bulgusuna ulaşmıştır. Buna göre kazığın katı kil tabakasına penetrasyon miktarının adhezyon faktörü üzerinde önemli bir etkisi olduğu anlaşılmaktadır. Herhangi bir üst tabakadan geçmeden, doğrudan katı kile çakılan ve çakma boyunun az olduğu kazıklarda, kazıkla zemin arasında oluşan boşluklar nedeniyle adhezyon faktörü çok düşük değerler alır. Kazık çevresindeki aşağı taşınan tabakanın mukavemeti zeminin yanal yükler tesiriyle konsolidasyonu sonucunda yumuşak kile nazaran büyük olsada, yumuşak kilden geçerek katı kile giren ve katı kil içerisindeki penetrasyonu az olan kazıklarda, çevredeki yumuşak kil tabakası nedeniyle adhezyon faktörü düşüktür. Fakat, kazığın katı kil tabakası nedeniyle adhezyonu arttıkça üst tabaka koşullarının adhezyon faktörüne olan etkisi azalacaktır. Penetrasyon derinliği çok fazla ise kazık ve zemin arasındaki boşluklar nedeniyle adhezyon faktörünün azalması ya da kazık çevresinde sürüklenen kum tabakası nedeniyle adhezyon faktörünün artış göstermesi kazığın toplam çevre sürtünmesine göre çok düşük oranda olacaktır (Tomlinson, 1977).



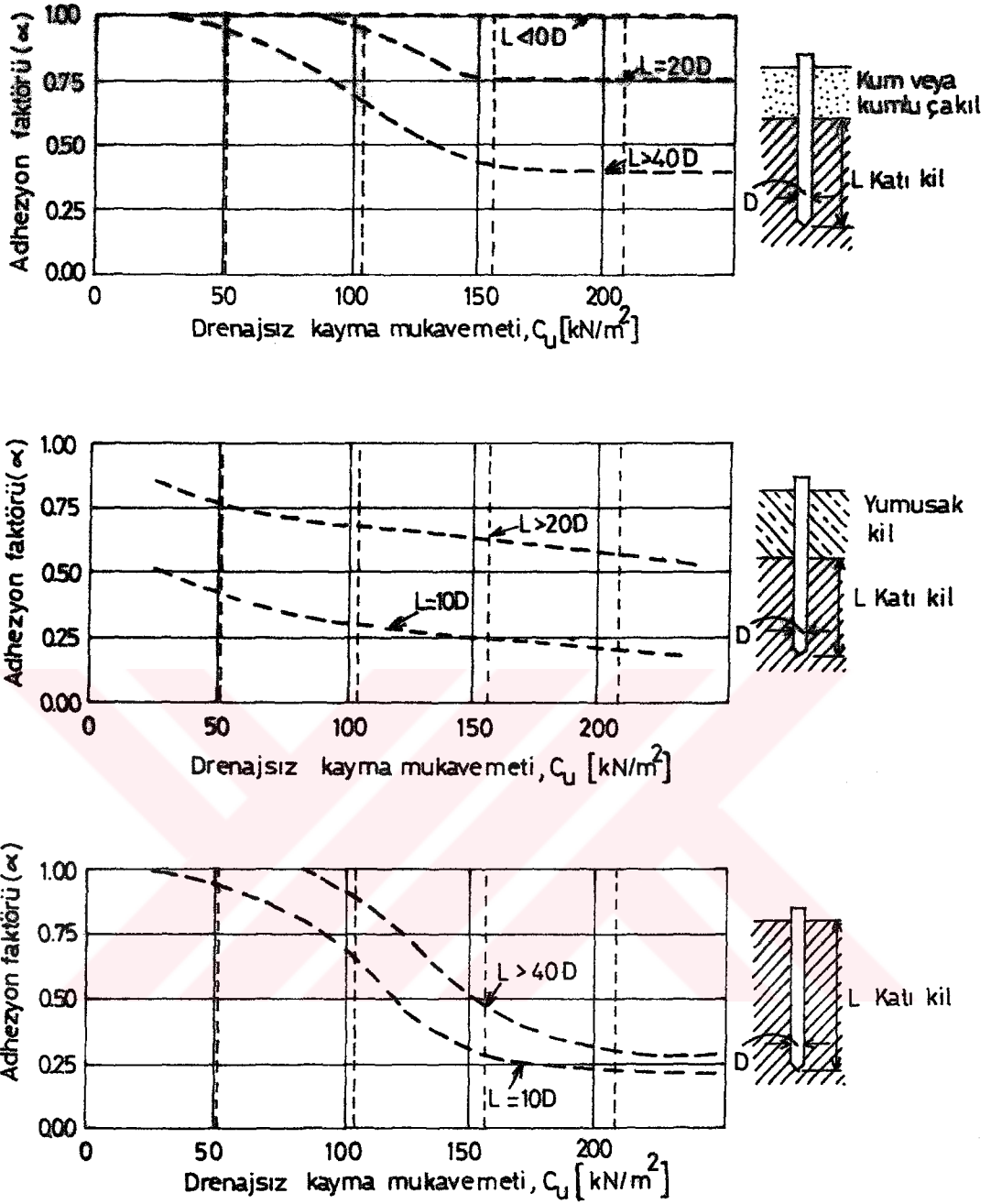
Şekil 10.32 Killi zeminlerde kazık yüzeyine yapışarak taşınan zemin tabakası
(Tomlinson, 1977)

Tomlinson sert killer içine çakılan çakma kazıklarda " α " adhezyon faktörü için şekil 10.33'teki tasarım eğrilerini vermiştir. Yine Tomlinson tarafından bu eğrilerin geçerliliğini saptamak amacıyla bir seri kazık yükleme deneyi sonuçları $N_c = 9$ alınarak (10.40) eşitliği ile hesaplanan uç mukavemeti ve şekil 10.31'deki eğrileri kullanarak hesaplanan çevre sürtünmesinden tahmin edilen toplam taşıma gücü değerleri karşılaştırılmış, özellikle taşıyıcı kil tabakası üzerinde kum veya çakıl tabakasının bulunması halinde tahmin edilen taşıma gücü değerinin daha az olduğu gösterilmiştir.

Tomlinson daha sonraki dönemlerde gözlemlendiği ve incelediği deney sonuçlarını değerlendirerek değişken kesitli kazıklarda, kesit değişiminin kohezyonlu zeminlerde çevre sürtünmesini çok az etkilemesi nedeniyle "S" şekil faktörünü ihmal ederek (10.44) eşitliğini daha da basitleştirmiştir.

$$f_s = \alpha c_u \quad (10.45)$$

Şekil 10.28'deki tasarım eğrilerinin genellikle değişken kesitli kazılılara, uc açık olarak çakılan çelik veya prekast beton kazıklara uygulanabildiğini rapor eden araştırmacı kazığın alttaki katı kil tabakasına girme miktarına bağlı olarak aşağıda Çizelge 10.13 ve Şekil 10.13a ve b'de görülen " α " amprik adhezyon faktörü değerlerini önermektedir.



Şekil 10.33 Killi zeminlere çakılan kazıklarda adhezyon faktörü için tasarım eğrileri (Tomlinson, 1977)

2. Vijayvergiya ve Focht Yöntemi - [λ] Yöntemi

Literatüre kısaca " λ yöntemi" olarak geçen bu yönteme adını veren araştırmacılar (1972) birim çevre sürtünmesinin hesabında birim çevre sürtünmesi ile kilin drenajsız kohezyonu ve efektif jeolojik basınç arasında amprik bir ilişki kurmuşlardır. Çeşitli killi zeminlerde yapılan kazık yükleme deney verilerinden yararlanılan Vijayvergiya ve

Focht (1972) birim çevre sürtünmesi değeri için

$$f_s = \lambda [\sigma'_v + 2 c_u] \quad (10.46)$$

eşitliğini önermektedirler. (10.46) eşitliğinde;

λ = Kazık boyuna bağlı boyutsuz sürtünme katsayısı

σ'_v = Kazık shaftı boyunca belirlenen ortalama efektif düşey basınç

c_u = Kazık shaftı boyunca belirlenen ortalama drenajsız kohezyon olmaktadır.

Vijayvergiya ve Focht daha sonraki dönemlerde yaptıkları araştırmalara göre; kazıkla zemin arasındaki drenajsız adhezyon faktörünün de (10.46) bağıntısına ikame edilmesi halinde sonuçların daha güvenilir hale geldiğini savunarak (10.47) eşitliğini önermişlerdir.

$$[c_a / c_u] = \lambda [\sigma'_v / c_u + 2] \quad (10.47)$$

Kazığın zemine giriş (penetrasyon) miktarına bağlı olarak adı geçen araştırmacıların önerdiği korelasyon bağıntısının sunulduğu şekil 10.34 kullanılarak " λ " katsayıları tesbit edilebilir. " σ'_v " değeri hesaplanırken yeraltı suyunun bulunmadığı mutlaka tahkik edilmeli ve kazık yeraltı suyunun üstünde ise " σ'_v " toplam efektif basınca " σ'_v " 'ne yaklaşık eşit olacaktır. (Şekil 10.35a). Kazık ucundan herhangi bir "h" derinliğindeki efektif jeolojik basınç;

$$\sigma'_v = \sigma'_v - \gamma_w \cdot h \quad (10.48)$$

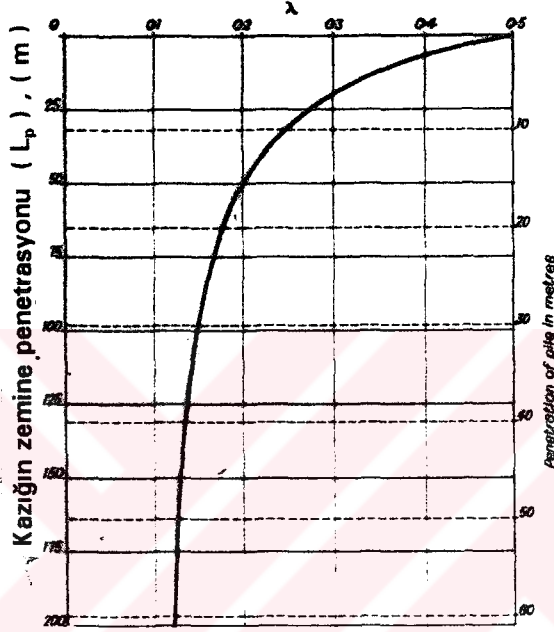
olup şekil 10.35b deki şartlara göre;

$$\sigma'_v = [\gamma_n (L-h) + (\gamma_d - \gamma_w) h] \quad (10.49)$$

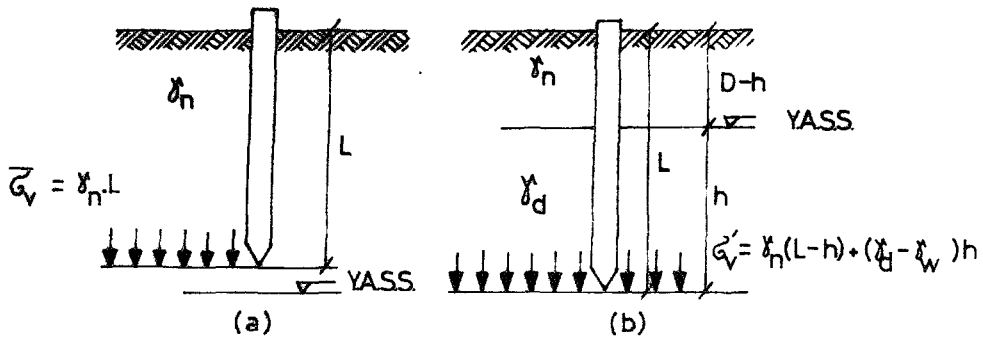
eşitliğiyle bulunur. Burada " γ_n " su seviyesi üzerindeki zeminin tabii birim hacim ağırlığı, " γ_d " zeminin suya doygun birim hacim ağırlığı ve " γ_w " suyun birim hacim ağırlığıdır. "L" ise kazık uzunluğunu ifade etmektedir.

Tabakalı formasyonlarda (10.46) bağıntısındaki " σ'_v " efektif jeolojik gerilmesinin ve " c_u " drenajsız kohezyonunun belirlenmesinde dikkatli olunmalı ve kazık uzunluğu boyunca karşılaşılan her tabaka için Şekil 10.36'da görüldüğü gibi ayrı " σ'_v " ve " c_u " parametreleri tesbit edilerek bunların ağırlıklı ortalaması alınmalıdır.

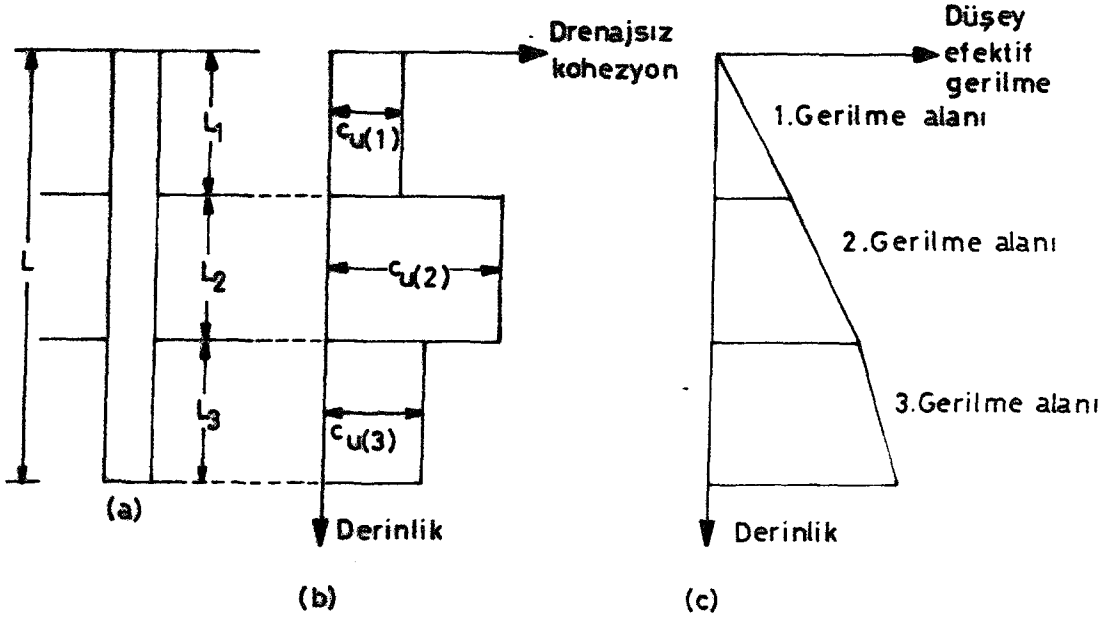
λ katsayısının belirlenmesi ile ilgili olarak bazı deneysel ve ampirik çalışmalar da yapılmıştır. Örneğin (1984) çalışmasında 33 farklı formasyonda gerçekleştirilen kazık yükleme deneylerinin sonuçlarında ölçülen kapasiteler ile hesaplanan kapasiteleri karşılaştırıldığında " λ " katsayısının [0.40 - 5.03] arasında değerler aldığını, ortalama " λ " değerinin 1.06 mertebesinde % 55 lik bir varyasyonla bulunduğu rapor edilmiştir (Tirant, 1992).



Şekil 10.34 Kohezyonlu killi zeminlerde değişik penetrasyon uzunlukları için " λ " katsayılarının değişimi (Poulos ve Davis, 1980)



Şekil 10.35 Efektif gerilmenin tayin edilmesi (Tomlinson, 1977)



Şekil 10.36 Tabakalı formasyonlarda c_u ve σ'_{vs} büyüklüklerinin belirlenmesi (Das, 1990)

Yine Olson (1984) çalışmasında normal ve aşırı konsolide kilerde " λ " katsayısının derinlikle değiştiği rapor edilmekte ve kazık uzunluğu " L " olmak üzere normal konsolide kilerde ($c_u/\sigma'_v < 0.4$) " λ " katsayısının (10.50a), aşırı konsolide kilerde ise ($c_u/\sigma'_v > 0.4$) (10.50b) ifadeleri ile kestirilebileceği savunulmaktadır. (Tirant, 1992)

$$\lambda = 0.296 - 0.032 \ln [L] \quad (10.50a)$$

$$\lambda = 0.488 - 0.078 \ln [L] \quad (10.50b)$$

(10.50a) ve (10.50b) bağıntılarındaki kazık uzunluğu L 'nin birimi [feet] olmaktadır. (1 feet = 0.305 m.)

Kraft ve diğerleri gerçekleştirdikleri biri dizi yükleme deneyinin sonuçlarında " λ " katsayısının minimum değerinin 0.14 olarak alınması gerektiğini ifade etmektedirler (Hunt, 1986).

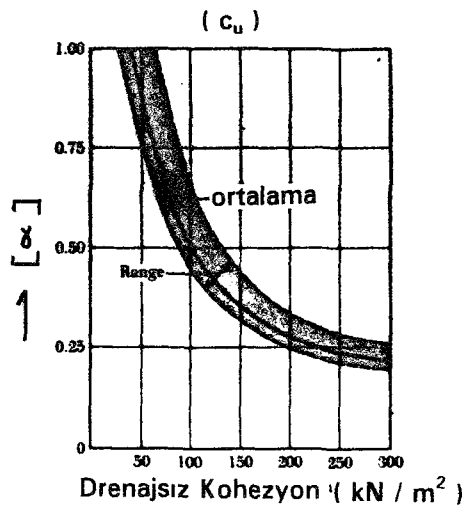
Bu yöntem normal konsolide ve hafif aşırı konsolide kilerde ve özellikle uzunluğu 20 m'ye kadar olan kilerde daha başarılı kestirimler yapmakta, 20 m'den sonraki uzunluklar için " λ " değerinin şekil 10.34 de'de görüldüğü gibi yaklaşık 0.1 değerine asimptotik olarak yaklaşması nedeniyle yapılan kestirimlerdeki güvenilirlik azalabilmektedir. (API, 1991). Yine " λ " yöntemi kısmen de olsa homojen zemin koşullarında daha inandırıcı sonuçlar doğururken tabakalı kil formasyonlarında daha konservatif

kestirimler vermektedir. (Tirant, 1992) " λ " yönteminin dezavantajlı olduğu diğer bir husus katı bir kil tabakasının üzerinde yumuşak bir kil tabakasının bulunduğu formasyonlardır. Katı killere kazık çakılırken kazıkla zemin arasında oluşacak boşluğu ve katı kil tabakası üzerinde yumuşak kil yada kum tabakası bulunması halinde kazıkla beraber aşağıya sürüklenecek bir tabakayı hesaba katmaz. Bu nedenle tamamıyla katı kil içerisine çakılan kazıklarda kısa penetrasyonlar için bu yöntem güvensiz değerler verirken, kum tabakasından geçip katı kile çakılan kazıklarda kısa penetrasyonlar için aşırı konservatif tahminler verebilmektedir. Boşluk yada aşağıya sürüklenme etkilerinin sözkonusu olduğu tabakalanmış killi formasyonlar içerisine derin penetrasyonlarda yöntem oldukça güvenilir sonuçlar vermektedir.

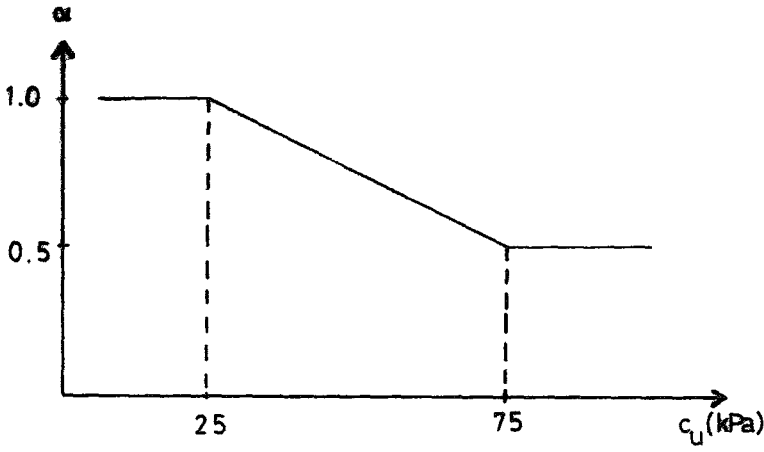
3. Diğer Yöntemler

Yıldırım ve Özaydın (1994) çalışmasında kilin yapısı ve mukavemetinin yanısıra, kazığın yapım ve yerleştirme yönteminin boyutuna ve zamanın, " α " drenajsız adhezyon faktörünün değerini etkilediği, killi zeminler için adhezyonun yükleme deneyleri ile bulunabileceği gibi çoğu kez bu imkânlar sınırlı olduğu için Şekil 10.37 de verilen amprik kökenli eğrilerden yararlanılabileceği ifade edilmektedir. Aynı kaynakta ASCE'nin 1993 raporunda yer alan " α " drenajsız adhezyon faktörünün drenajsız kayma mukavemeti " c_u " ile değişimi Şekil 10.38'de görülmektedir.

Yine $[\alpha]$ yönteminde kullanılmak üzere fore kazıklar için NAVFAC (1986) kaynağında Çizelge 10.15'te verilen değerlerin kullanılması önerilmektedir.



Şekil 10.37 Kazık yükleme deneyi sonuçlarından derlenmiş drenajsız adhezyon faktörü değerlerinin drenajsız kohezyonla değişimi (Das, 1990)



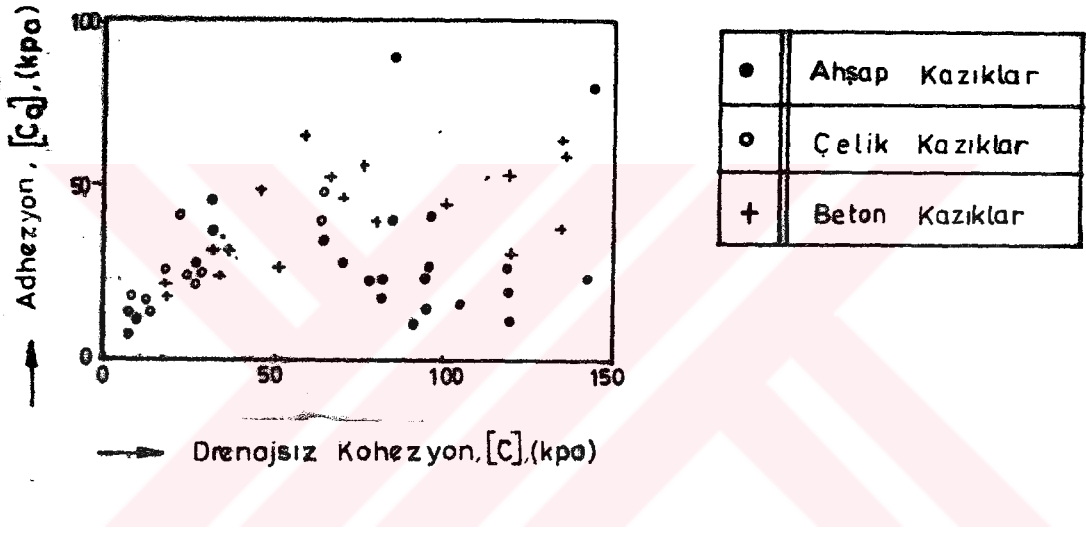
Şekil 10.38 ASCE (1993) raporunda önerilen $\alpha = f(c_u)$ ilişkisi (Yıldırım ve Özaydın, 1994)

Çizelge 10.15 Fore kazıklarda adhezyon faktörünün seçimi için NAVFAC (1986) önerisi (Yıldırım ve Özaydın, 1994)

Koşul		[α]	Limit değer (kPa)	Düşünceler
A	Homogen zeminde veya kazık ucunda çok rijit olmamak koşuluyla tabakalı zeminde düzgün kenarlı kazık			
	a) Kuruda veya bentonitle yerdeğişerek yapım b) Bazı yerlerde bentonit hapsedilme olasılığında	0.6 0.3	200 50	Kuruda geçilen yerler için (a) daki gibi
B	Genişletilmiş uçlu kazıklar zemin koşulları A daki gibi			
	a) A (a) daki gibi b) A (b) deki gibi	0.3 0.15	50 30	A (b) deki gibi
C	Düz veya genişletilmiş uçlu kazıklar çevreye göre çok rijit tabakaya otuyorsa	0	0	

Broms, Şekil 10.39' da görüldüğü gibi killi zeminlere çakılan sürtünme kazıkları üzerinde yapılan bazı yükleme deneylerinin sonuçlarını değerlendirerek kazık malzemesinin ve kilin drenajsız kayma direncinin bir fonksiyonu olarak Çizelge 10.16'da görülen adhezyon değerlerinin hesaplarda kullanılabileceğini önermektedir. Ancak bu adhezyon faktörleri ekli kazıklar için geçersiz olup kayma direnci 50 kN/m²'yi geçen zeminlerdeki yekpare kazıklar için de kullanılmamalıdır. Kilin kayma direnci 50 kN/m²'yi aşıyorsa taşıma kapasitesi Broms'a göre kayma direncinden bağımsız olmaktadır.

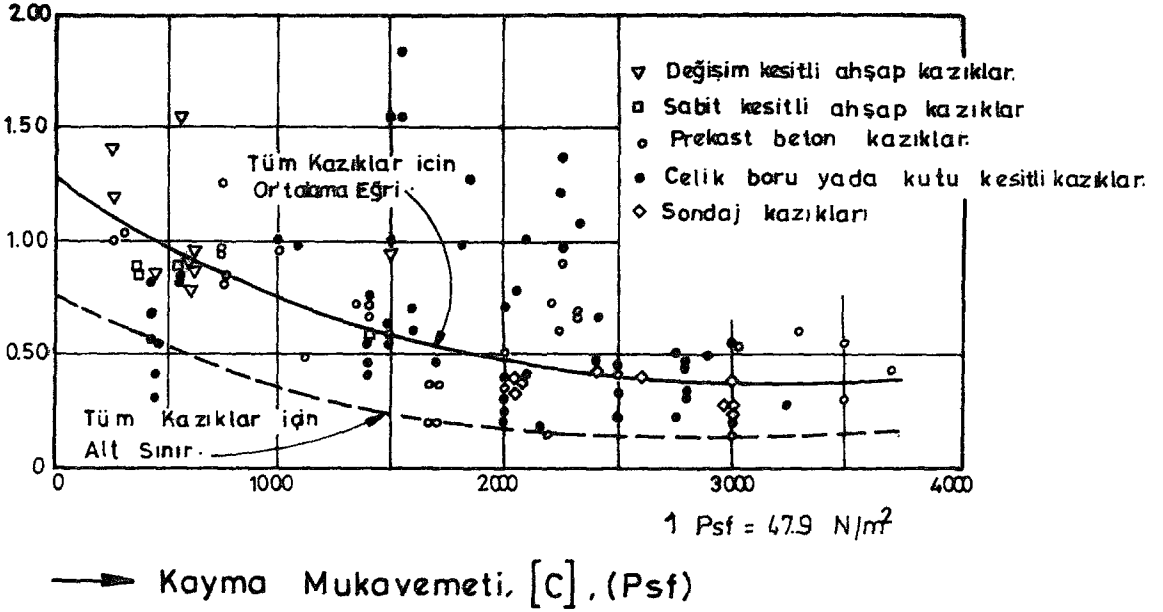
Endley ve diğeri değişik killi lokasyonlarda yapmış oldukları 17 adet kazık yüklemeye deneyinin sonuçlarını Şekil 10.40'da görüldüğü gibi yorumlamaktadır. Buna göre hemen hemen tüm kazıklar için $[\alpha = f_s / c_u]$ oranı drenajsız kayma direnci " c_u " arttıkça azalış göstermekte, ancak yaklaşık 100 kN/m^2 (1 kg/cm^2) lik " c_u " değerinden itibaren " α " adhezyon faktörü yaklaşık "0.4" değerine asimptot hale gelmektedir (Finno et al., 1989).



Şekil 10.39 Killerde sürtünme kazıklarının adhezyonu (Broms, 1981)

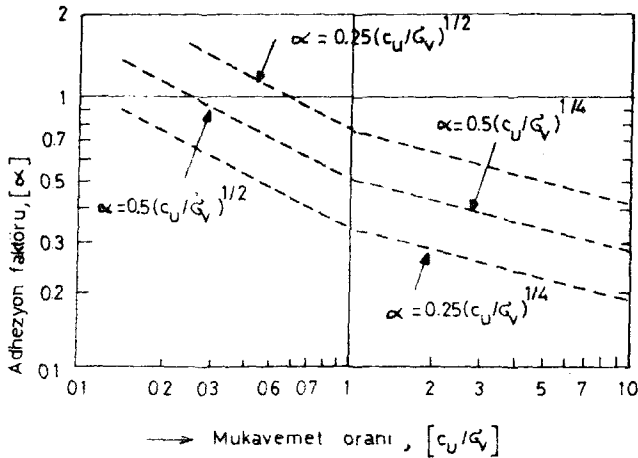
Çizelge 10.16 $c_u \leq 0.5$ (50 kN / m^2) olduğunda killerdeki çakma kazıklar için önerilen adhezyon değerleri (Broms, 1981)

Kazık Cinsi	Adhezyon, [c _a]
Ahşap Kazıklar (çakımdan 1 ay sonra)	$c_a = c_u$
Beton kazıklar (çakımdan 3 ay sonra)	$c_a = 0.8 c_u$
Çelik kazıklar (çakımdan 6 ay sonra)	$c_a = 0.5 c_u$



Şekil 10.40 Endley ve diğerleri (1989)'nin önerdiği adhezyon faktörü – drenajsız kayma direnci ilişkisi (Finno et al, 1985)

Çakma bir kazığın bitişiğindeki zemin elemanlarının gerilme durumunu incelemek amacıyla Randolph ve diğerleri tarafından yapılan araştırmalar çevre sürtünmesinin yalnızca zeminin kayma direncine değil, onun geçmiş gerilme tarihçesine ve aşırı konsolidasyon oranına bağlı olduğunu göstermiştir. Dolayısıyla gerek " $\alpha = f_s / c_u$ " ve gerekse aşağıda açıklanan " $\beta = f_s / \sigma'_v$ " parametreleri farklı olan zeminler için " c_u / σ'_v " ile tariflenen mukavemet oranının bir fonksiyonu olarak ifade edilmiştir. (Fleming, et al, 1985). Randolph ve diğerleri çakma kazıklar üzerinde yaptıkları yüklenme deneyi sonuçlarından elde edilen " α " değerleriyle ortalama yerinde mukavemet oranının değişimi Şekil 10.41'deki gibi göstermektedirler.



Şekil 10.41 Adhezyon faktörünün mukavemet oranı ile değişimi (Tirant, 1992)

10.2.2.2 Drenajlı Birim Çevre Sürtünmesi

Özellikle sıkı ve aşırı konsolide killeri içine alan kohezyonlu zeminlerde yukarıda da ifade edildiği gibi drenajlı yükleme koşullarına ait birim çevre sürtünmesi, drenajsız birim çevre koşullardaki (uzun süreli yükleme koşullarının etkisi) birim çevre sürtünmesinin statik ifadesi bölüm 10.2'de yapılan açıklamalar ve (10.42b) eşitliği uyarınca aşağıda verilen (10.51) bağıntısıyla açıklanmaktadır.

$$[f_s] = \sigma'_v K_s \tan \phi'_a \quad (10.51)$$

(10.51) ifadesinde

$[\sigma'_v]$ = Herhangi bir z derinliğindeki efektif düşey basınç

$[K_s]$ = Yatay toprak basıncı katsayısı

$[\phi'_a]$ = Kazık ile zemin arasındaki drenajlı sürtünme açısı

olarak tariflenebilir. (10.51) eşitliği yakından incelendiğinde " K_s " ve " ϕ'_a " parametrelerindeki değişkenliğin drenajlı anlaşılmalıdır. Başta Burland ve Meyerhof olmak üzere araştırmacıların çoğu yukarıda adı geçen " K_s " ve " ϕ'_a " parametrelerinin hassas biçimde belirlenmesi için araştırma yapmışlardır. Aşağıda drenajlı birim çevre sürtünmesinin olacağı değeri önemli ölçüde etkilediği anlaşılmaktadır. Başta Burland ve Meyerhof olmak üzere araştırmacıların çoğu yukarıda adı geçen " K_s " ve " ϕ'_a " parametrelerinin hassas biçimde belirlenmesi için araştırma yapmışlardır.

Aşağıda drenajlı birim çevre sürtünmesinin hesabında en çok kullanılan "[β]" yöntemi ve bu yöntem adı veren faktörün nasıl belirlenebileceği hakkında yapılmış bazı kapsamlı araştırmaların sonuçları kısaca irdelenmektedir.

1. Burland ve Meyerhof Yöntemi - [β] Yöntemi

Kazıklar suya doygun killere çakıldıklarında kazığı çevreleyen zemindeki boşluk suyu basınçları normal konsolide killerde drenajsız kohezyon değerinin [4-6] misline çıkabilir. Burland (1973) bu fazla boşluk suyu basıncının zaman içinde sönmüneceğini ve bunun sonucunda kil zeminle kazık arasında birim çevre sürtünmesinin kilin yoğunlaşmış-örselenmiş efektif kayma direnci parametreleri ile bulunabileceğini öne sürmüştür. Burland, Meyerhof ile birlikte yaptığı araştırmalar neticesinde birim çevre sürtünmesinin kazık şaftı boyunca etkiyen yatay yöndeki efektif gerilme ile kazık-zemin

arasındaki efektif yoğrulmuş sürtünme açısıyla ilgili olduğunu öne sürmektedirler. Zeminde drenaj olduğu ve $c'=0$ olduğu gözönünde tutularak birim çevre sürtünmesinin;

$$[f_s] = \sigma'_h \tan \emptyset'_a = K_s \sigma'_v \tan \emptyset'_a \quad (10.52)$$

eşitliği ile ifade edilebileceğini belirtmişlerdir. (Fleming et al., 1985).

Burada;

$[K_s]$ = Yanal toprak basıncı katsayısı

$[\sigma'_h]$ ve $[\sigma'_v]$ = Kazığın zemine yerleştirilmesiyle zemindeki gerilme durumun değişmediği varsayılarak, kazık yüklemeye önce zemindeki düşey ve yatay efektif asal gerilmeler

$[\emptyset'_a]$ = Kazıkla zemin arasındaki sürtünme açısıdır.

Yumuşak normal konsolide killerde çakma kazıklar ve sondaj kazıkları için " $K_s = K_o$ " ve " $\emptyset'_a = \emptyset'$ " kabulünü yapmak olağandır. Yumuşak, normal ve az aşırı konsolide killerde Burland ve diğerleri

$$K_o = 1 - \sin \emptyset' \quad (10.53)$$

ve

$$K_o = \frac{\cos^2 \emptyset'}{1 + \sin^2 \emptyset'} \quad (10.54)$$

arasında değişen " K_o " değerlerini önermişlerdir. (Fleming, et al., 1985)

Aşırı konsolide killerde ise " K_o " katsayısı için

$$K_o = (1 - \sin \emptyset') \sqrt{AKO} \quad (10.55)$$

eşitliği önerilmektedir (Hunt, 1986)

Burland ve Meyerhof (10.47) ifadesinin hassas olarak " K_o " ve " \emptyset' " parametrelerinin değişkenliği etkisinde değerler aldığını ileri sürerek " $K_o \tan \emptyset'_a$ " çarpımını " β " faktörü olarak tanımlayarak (10.52) bağıntısının aşağıdaki gibi yeniden düzenlemişler ve gerek adı geçen araştırmacılar gerekse de diğer araştırmacılar, bundan böyle " β " faktörünün alacağı değerler üzerinde inceleme ve gözlemler yapmışlardır.

$$[f_s] = K_o \cdot \sigma'_v \tan \emptyset'_a = K_o \tan \emptyset'_a \cdot \sigma'_v = \beta \sigma'_v \quad (10.56)$$

Burland yumuşak normal konsolide killerde \emptyset' 'nin $[20^\circ - 30^\circ]$ arasında değerler aldığını, dolayısıyla bu grup killer için " β " faktörünün $[0.24 - 0.29]$ arasında değiştiğini çeşitli formasyonlarda yaptığı ölçümlerle ispatlamıştır. Böylelikle " β " faktörünün kil

cinsine fazla bağımlı olmadığını ve birim çevre sürtünmesinin penetrasyon derinliği 10 m. den fazla olmayan kazıklar için (10.57) bağıntısı ile belirlenebileceğini ifade etmektedir (Hunt, 1986)

$$f_s = 0.3 \sigma'_v \quad (10.57)$$

Meyerhof ise özellikle çok uzun kazıklarda β değerinin 0.15'e kadar düşebileceğini (10.58) bağıntısıyla vurgulamaktadır (Hunt, 1986).

$$f_s = 0.15 \sigma'_v \quad (10.58)$$

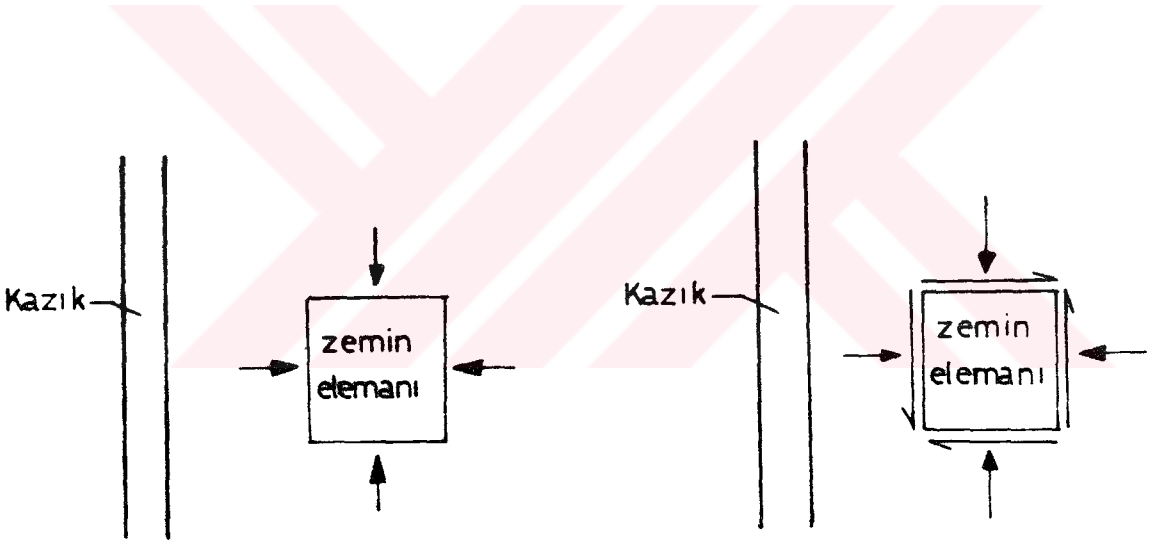
Sert killerde ($c_u > 0.5 \text{ kg/cm}^2 = 50 \text{ kN/m}^2$) problemin çözümü yumuşak ve normal konsolide killerdeki kadar kolay değildir. " K_o " sükunetteki toprak basıncı katsayısının değeri aşırı konsolide killerde $\beta = K_o \tan \phi_a$ faktörü için güvenilir bir değer veremeyebilmektedir. " β " katsayısı çakım sonrası kilin konsolidasyonu süresince kazık etrafındaki kemerlenmeden etkilenecek belirsizlikler taşıyabilir. Bu nedenle kazık yüklenme deneylerinin ekonomik olduğu büyük işlerde yüklenme deneyleri önerilir (Broms, 1981).

(10.56) eşitliği gerek " K_o " katsayısının kullanılması ve gerekse de kazığın zeminde teşkil edilmesi veya yüklenmesi sırasında jeostatik efektif yatay gerilmenin değişmediğinin kabul edilmesi, açısından tam anlamıyla da doğru değildir. Kazığın zemine yerleştirilmeden önce ve sonra, kazığa bitişik bir zemin elemanındaki gerilme durumu Şekil 10.42'de gösterilmiştir. Jeostatik gerilme durumuna karşılık gelen Şekil 10.42a 'da σ'_{h1} ve σ'_{v1} yatay ve düşey efektif gerilmeleri asal gerilmelerdir. Kazığın zemine yerleştirilmesi ve yüklenmesi durumunda zemin elemanına etiyen σ'_{h1} ve σ'_{v1} efektif gerilme değerleri ise, zemin elemanına etkiyen ve çevre sürtünmesine eşit τ_s kayma gerilmesi nedeniyle asal gerilmeler değildir. Sonuç olarak bir yandan sükunetteki toprak basıncı durumundan söz edilirken diğer yandan kazık shaftı boyunca çevre sürtünmesinin mobilize olduğunun düşünülmesi nedeniyle (10.56) eşitliği kavramsal olarak da hatalı olmaktadır. Buna göre zeminin bir limit gerilme durumuna ilişkin maksimum " ϕ " değeriyle, sükunetteki toprak basıncı katsayısı " K_o " 'in kullanılması pek doğru olmamaktadır (Fleming et al., 1985).

Burland aşırı konsolide sert killerde " K_o " katsayısının çakma kazıklarda aşırı konsolidasyon oranı ile (10.54) bağıntısında ifade edildiği gibi değiştiğini fore kazıklar için " K_o " 'ın [0.7 - 1.4] arasında değerler aldığını yorumlamaktadır.

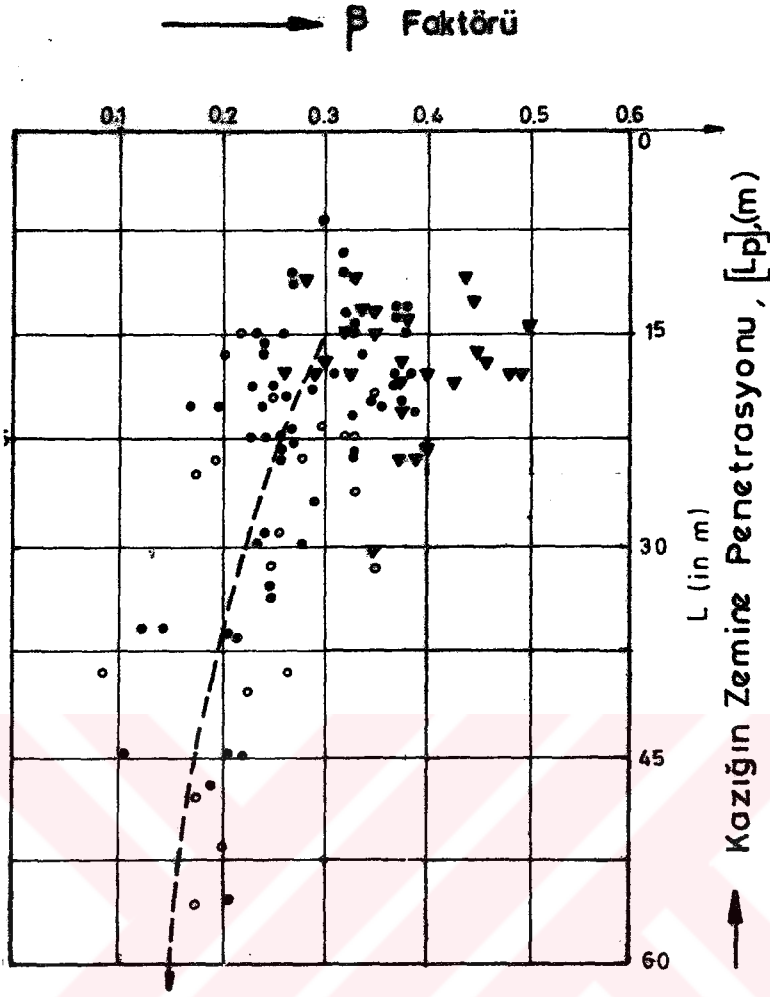
Tirant (1992) çalışmasında " β " yönteminin özellikle normal ve az aşırı konsolide zeminler için arazideki kazık yükleme deneyleri ile uyumlu sonuçlar verdiği aşırı konsolide killerde ise konservatif ve gerçek dışı sonuçlar verdiği, uzun kazıklarda ise değişken neticeler doğurduğu rapor edilmektedir.

Meyerhof (1976) çalışmasında ise çeşitli araştırmacıların cinsi ve mühendislik özellikleri birbirinden farklı killi zeminler üzerinde yaptıkları bir seri deneysel araştırmanın sonuçlarını Şekil 10.43'te toplamıştır. Bu şekilde, kazığın kil formasyonu içindeki penetrasyon uzunluğunun fonksiyonu olarak " β " faktörlerinin yaygın örneklerde [0.15 - 0.35] arasında değerler aldığı ve penetrasyon uzunluğu arttıkça " β " faktörünün azaldığı görülmektedir. (Tirant, 1992)



Şekil 10.42 Kazığın zemine yerleştirilmesinden önce ve sonra kazığa bitişik bir zemin elemanındaki gerilme durumu (Fleming et al, 1985)

Şekil 10.43 yakından incelendiğinde özellikle kısa kazıklar ($L < 15$ m) için " β " faktörünün ortalama olarak 0.30 değerini aldığı açıkça görülmektedir. Uzun kazıklarda ise ($L > 60$ m) anılan faktörün [0.15 - 0.20] arasında seçilerek hesap yapılabilmektedir. (Tirant, 1992)

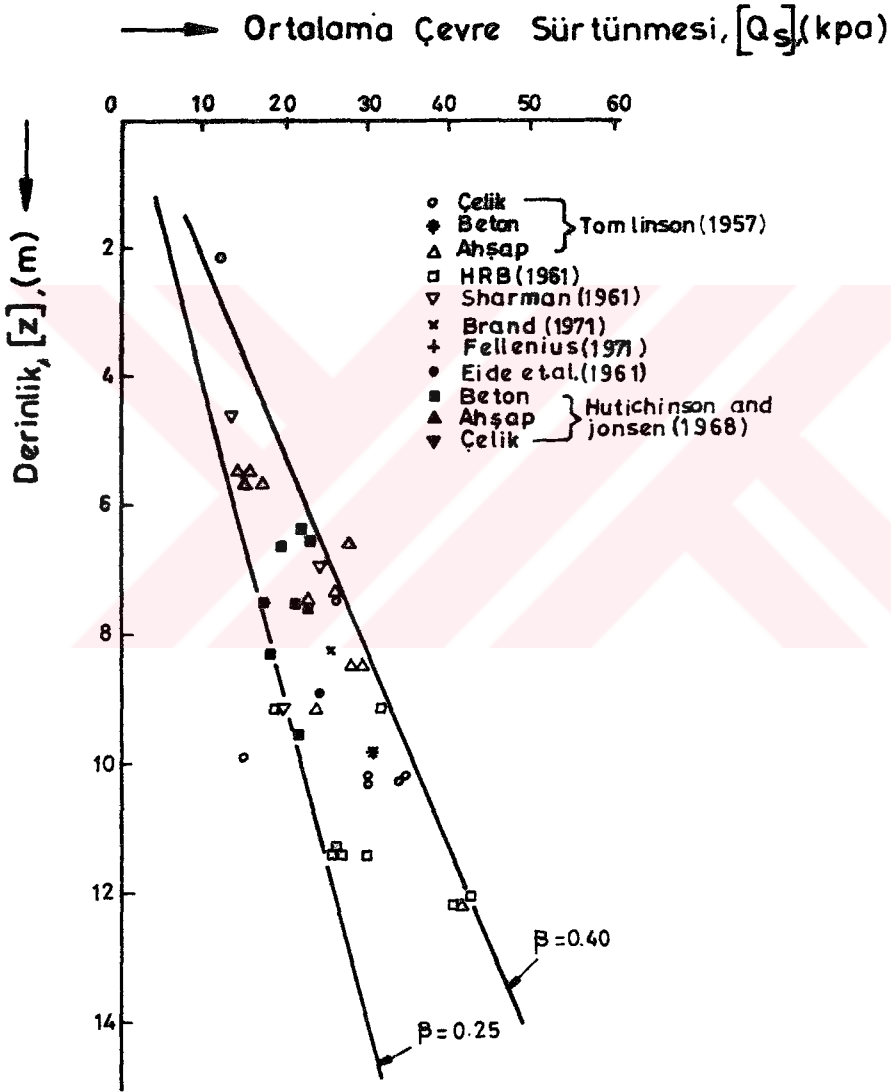


Şekil 10.43 Yumuşak ve normal konsolide kilerde β faktörünün penetrasyon uzunluğu ile değişimi (Tırant, 1992)

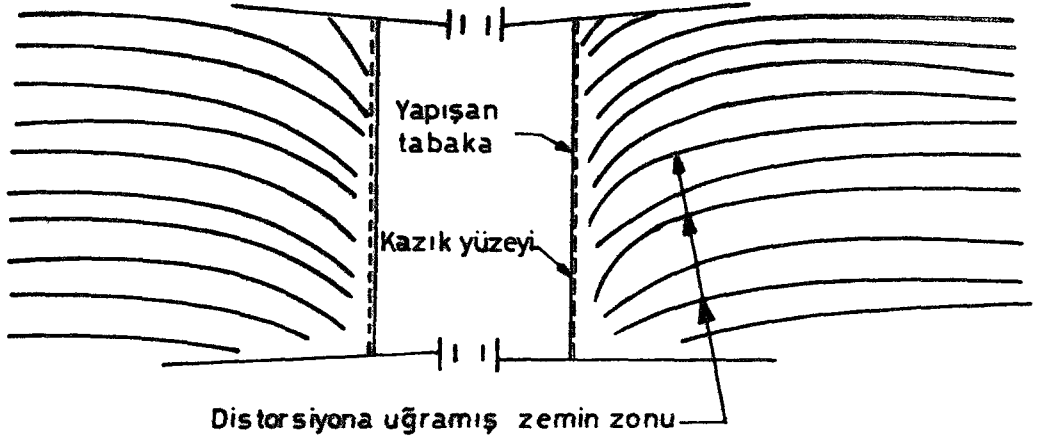
Şekil 10.44'te ise Burland'ın yumuşak kiler üzerinde yapmış olduğu araştırma görülmektedir. Yine burada adı geçen araştırmacı değişik araştırmacıların çeşitli yumuşak kiler üzerinde yaptıkları araştırma sonuçlarına göre kazığın ortalama birim çevre sürtünmesi değerinin kazık uzunluğunun bir fonksiyonu olarak " β " faktörü arttıkça artış gösterdiği bulgusuna ulaşmıştır.

Katı bir kil içerisine çakılan kazıklarda, kazık çakma işleminin başlangıcında zeminin kazıktan ayrılmasıyla kazık ile zemin arasında kazık çapı derinliğine kadar devam eden, uzunca bir süre kapanmayabilen bir boşluk oluşur. Kazık çapının [8-15] katı derinliğinde kil, kısmen kazık yüzeyine yapışmakta, bu derinliğin altında ise [1-5] mm. kalınlığında bir tabaka halinde kazık yüzeyine sıkıca yapışmakta ve yukarıdaki paragraflarda da açıklandığı gibi kazık tarafından aşağıya taşınmaktadır. Böylelikle,

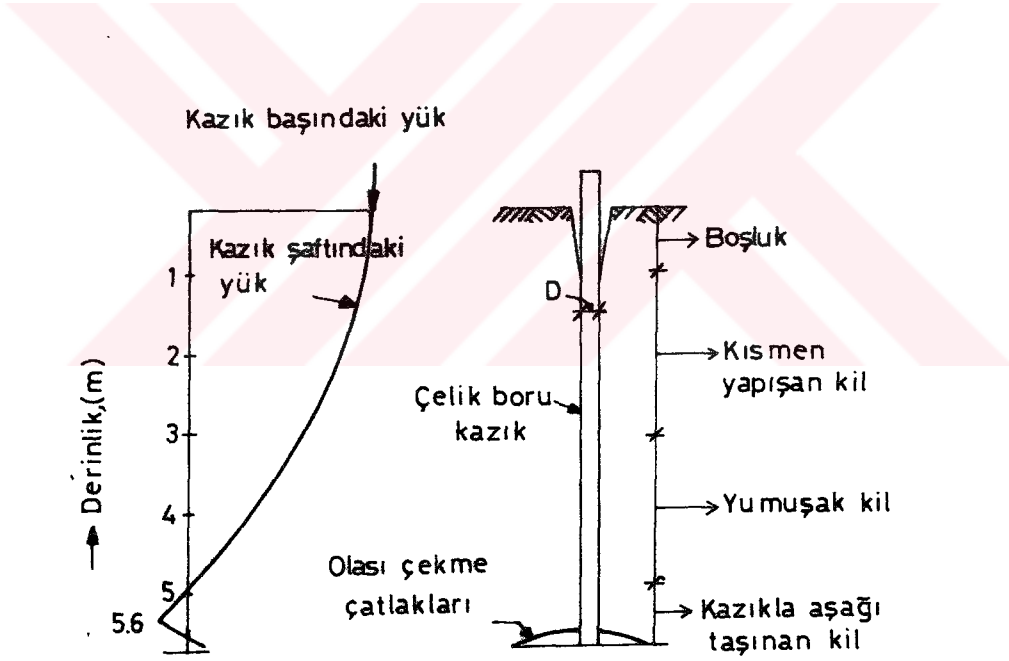
göçme kazıkla zemin arasında değil, kazığın daha alt kısmında kazık yüzeyine yapışan tabaka ile kazık çevresinde yeralan ve kazığın oturması sonucunda aşırı derecede ke-silmiş ve distorsiyona uğramış zemin arasında Şekil 10.45a'da görüldüğü gibi olmaktadır. Kazıktan zemine aktarılan yük transferi ise Şekil 10.45b'de görülmektedir.



Şekil 10.44 Yumuşak killerde ortalama çevre sürtünmesinin kazık uzunluğu ve " β " ampirik faktörü ile değişim (Tırant, 1992)

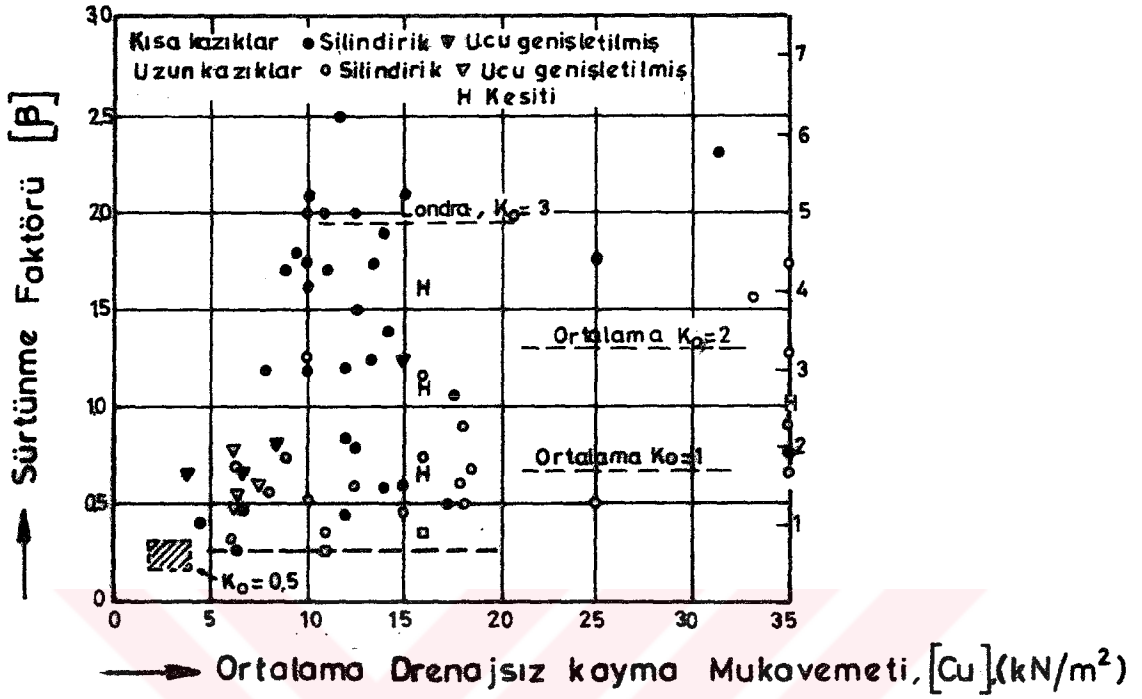


Şekil 10. 45a Kazık yüzeyi ile temas halindeki kil zeminin negatif çevre sürtünmesi nedeniyle distorsiyonu (Tomlinson, 1977)

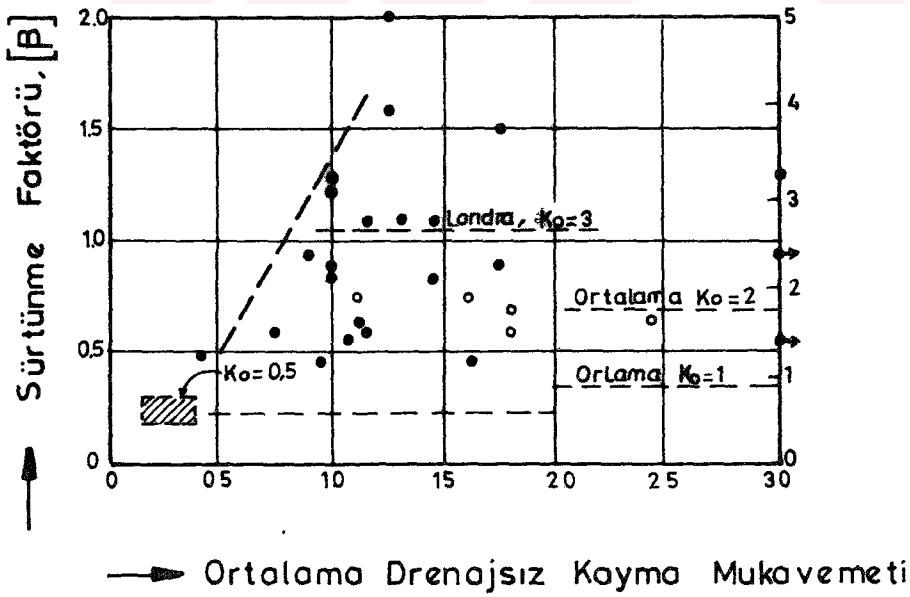


Şekil 10.45b Kazıktan killi zemine yük aktarımı

Sowers (1979) kaynağında ise " β " faktörünün katı ve aşırı konsolide killerde zeminin drenajsız kohezyonu ve yatay toprak basıncı katsayısı değerlerine bağlı olarak çakma kazıklar için Şekil 10.46a sondaj kazıkları için Şekil 10.46b'de tariflendiği gibi tespit edilebileceğini özellikle Londra killeri üzerinde yapılan araştırmalar neticesinde önermektedir.



Şekil 10.46a Çakma kazıklar için aşırı konsolide killerde $\beta = f(c_u, K_s)$ ilintisi (Sowers, 1979)



Şekil 10.46b Sondaj kazıklar için aşırı konsolide killerde $\beta = f(c_u, K_s)$ ilintisi (Sowers, 1979)

Kohezyonlu zeminlere yerleştirilen kazıklar kazığın yerleştiriliş şekline bağlı olarak zeminde önemli ölçüde değişikliklere yol açabilirler. Çakma kazıklarda kazık çapına eşit olan bir bölgede zemin yoğrularak örselenebilir. Çakma işlemi sırasında başlangıçta fazla miktarda ortaya çıkan boşluk suyu basınçlarının zamanla sönümlenmesi neticesinde daha dayanıklı bir ortam doğabilir. Aşırı konsolide olmuş hassas killerde ise örselenmemiş hale göre (kazık çakımından önceki durum) aksine daha düşük mukavemette ortamlar doğması beklenebilir. Fore kazıklarda ise yaklaşık 25 mm kalınlıktaki bir bölgede yumuşama ve örselenme olmakta ancak sözkonusu bölgenin kayma mukavemetinde kaydadeğer bir değişim olmadığı varsayılmaktadır. (Yıldırım, Özaydın, 1994)

Sert, fissürlü killerde laboratuvarında saptanan kayma mukavemetinin bir düzeltme katsayısı ile düzeltilmesi gerekmektedir. Çünkü laboratuvarında çatlaksız numuneler üzerinde deneyler yapılmaktadır. Arazide ise çatlaksız ortam bulabilmek fevkalade zordur. Çatlaklı ve fissürlü ortamlarda da kayma mukavemeti azalacağı için bu azalmayı gözönüne alacak bir katsayı ile düzeltme yapılması doğru değerlendirmeler yapılabilmesi açısından önemlidir. Meyerhof (1983) çalışmasında sözkonusu düzeltme katsayısının çakma kazıklar ve fore kazıklar için sırasıyla (10.59a) ve (10.59b) bağıntılarıyla belirlenebileceğini ifade etmektedir.

$$(D + 0.5) / 2D \leq 1 \dots\dots\dots \text{çakma kazıklar} \quad (10.59a)$$

$$(D + 1.0) / (2D + 1) < 1 \dots\dots\dots \text{fore kazıklar} \quad (10.59b)$$

"R_c" ile gösterilen bu katsayı (10.39a ve b) bağıntıları ile tahkik edildikten sonra arazi koşullarındaki drenajsız kayma mukavemeti

$$c = [c_u]_{lab} \cdot R_c \quad (10.60)$$

bağıntısıyla düzeltilmelidir. (Prakash ve Sharma, 1990)

Zeminde rotari burgu veya klapeli kaşık ile sondaj deliğinin açılması ve daha sonra bu deliğin betonlanması ile teşkil edilen sondaj (fore) kazıklarında, kazık inşaatının çeşitli evrelerinde kazıkla zemin arasında ki temas yüzeylerindeki kil zeminin fiziksel özellikleri değişir. Bu değişiklikler kazığın çevre sürtünmesini önemli ölçüde etkiler. Kazık için sondaj deliğinin açılması, delik çeperinde yanal gerilme boşalmasına, dolayısıyla kilin kabarmasına ve delik yüzeylerine doğru bir boşluk suyu akımının baş-

lamasına neden olmaktadır. Fissürlü killerde fissürlerdeki su sondaj deliğinin çeperlerinden aşağı doğru akmakta ve kil zemini yumuşatmaktadır. Eğer sondaj kuyusu çeperlerini desteklemek amacıyla bentonit bulamacı kullanılırsa, delik yüzeylerindeki yanal gerilme boşalımıyla kilin yumuşaması yine sözkonusu olmakta ancak fissürlerden herhangi bir su akımı olmamaktadır. Sonuç olarak, sondaj kazıklarında daima kil zeminin "kazık-kil" temas yüzeyinde yumuşaması sözkonusudur.

Killi zeminlerde teşkil edilen sondaj kazıklarının birim çevre-sürtünmesinin hesabı için Skempton yapmış olduğu yoğun araştırmaların sonucunda " α " faktörünün [0.3 - 0.6] arasında değiştiğini ispatlamış ve aşağıda verilen değerleri ($c_u > 220 \text{ kN/m}^2$ için) önermektedir.

- a) Sondaj ve beton yerleştirme işlemlerinin oldukça hızlı bir seride takip edildiği normal koşullarda genel amaçlar için ortalama değer 0.45
- b) Aşırı fissürlü killerde teşkil edilen kısa kazıklarda 0.30
- c) İnşaat süresinin uzamasının zeminin yumuşamasına neden olabileceği ucu genişletilmiş kazıklarda (Hunt, 1986)

Broms ise bu konuda daha çekimser kalarak daha konservatif davranılmasını ve aşırı konsolide killerde maksimum adhezyonun 30 kN/m^2 değeri ile sınırlandırılmasını önermektedir. Yine Broms yumuşak killer için [$c_u = 10 - 15 \text{ kN / m}^2$] adhezyonun drenajsız kayma mukavemetine eşit alınabileceğini savunmaktadır.

O'Neill ve Reese sondaj deliğinin açılması ve betonlanmasından dolayı zeminin yumuşaması olayına farklı kabuller yaparak yaklaşmış ve adhezyon faktörünün hesaplanması için aşağıdaki (10.54) eşitliğini önermiştir. (Tomlinson, 1977)

$$\alpha_{\text{ort}} = (\alpha_{11} \alpha_{12} \alpha_{13}) \alpha_2 \xi \quad (10.54)$$

Bu eşitlikte ;

α_{11} = Kazık yapımı sırasında zeminin örselenmesiyle ilgili katsayı

α_{12} = Betondan sızan su ve uç etkileriyle ilgili katsayı

α_{13} = Yüzeysel rötre çatlaklarını ifade eden katsayı

α_2 = Bir adhezyon faktörü

ξ = Sondaj çamurunun kullanımını içeren bir faktör

(10.54) bağıntısında görülen ve yukarıda tanımlanan katsayılar kazık uzunluğu, çapı ve kilin cinsine bağlı olarak belirlenmelidir (Tomlinson, 1977).

Normal konsolide killerde foraj çukuru açıldıktan sonra kazık zaman kaybetmeden inşa edilirse yerinde efektif gerilmelerde az da olsa değişiklikler olmasına rağmen hesaplarda toprak basıncı katsayısını " K_0 " olarak sondaj kazıklarında birim çevre sürtünmesinin (10.51) bağıntısı ile hesaplanabileceğini savunan Fleming ve diğerleri toprak basıncı katsayısının çok büyük değerler aldığı aşırı konsolide killerde " K_0 " değerinin % 20 küçültülerek olası yanal gerilme boşalıklarının gözönüne alınmasını yada " K_0 " yerine " $(1 + K_0 / 2)$ " değerinin kullanılmasının fazla konservatif olmayacağını öne sürmüşlerdir.

Çeşitli araştırmacıların yapmış oldukları arazi yükleme deneylerinin sonuçları toplu olarak değerlendirildiğinde kazık tipi ve zemin türüne bağlı olarak kumlarda " K_s " katsayısı ve " ϕ_a " açısının, killerde ise " c_u " parametresinin için önerilen değerler Çizelge 10.17'de gösterilmiştir. (Finno et al., 1989)

Çizelge 10.17 Çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen $[K_s]$ $[\theta_a]$ ve $[c_u]$ parametreleri (Finna, et al, 1989)

Araştırmacı	Kazık Tipi	Kumlar		Killer
		K_s	θ_a [°]	c_u [kN/m ²]
Poulos ve Davis, (1980)	Çelik HP	0.8	30	90-100
	Çelik Boru	0.4	30	-
Tomlinson, (1957)	Çelik HP	K_o	$2/3 \theta$	67
	Çelik Boru	$0.5 K_o$	$2/3 \theta$	-
	Beton Kılıflı	$0.67 K_o$	$2/3 \theta$	-
Meyerhof, (1956)	Çakma	1.5-2.3	40-45	80
	Sondaj	10	40-46	-
Meyerhof, (1976)	Çelik HP	0.5	35	50
	Çelik Boru	0.57	-	-
	Beton Kılıflı	0.45	-	-
API, (1987)	Çelik HP	0.8	15-35	60
	Çelik Boru	0.9	-	-
Tomlinson, (1977)	Çakma	1.0	25	75
	Sondaj	1.0	30	-
Nordlund, (1980)	Çelik HP	K_o	26	59
	Çelik Boru	K_o	24	-
	Sondaj	0.4	37	-
Poulos ve Davis, (1980)	Çelik HP	K_o	0.6θ	78
	Çelik Boru	$1.25 K_o$	0.6θ	-
	Sondaj	-	-	-
Coyle ve Castello, (1981)	Çelik Boru	0.7	30-32	55
CFEM, (1985)	Çakma	0.7	47	74
Dennis ve Olson, (1983)	Çelik HP	1.4-1.75	27-30	57
	Çelik Boru	2.15-2.6	24-27	-
	Beton Kılıflı	1.05-1.3	30-35	-
Dennis ve Olson*, (1983)	Çakma	1	32	47-62
	Sondaj	1	40	-

11. ARAZİ DENEYLERİNİN SONUÇLARINDAN YARARLANARAK KAZIK TAŞIMA GÜCÜNÜN HESAPLANMASI

Eksenel yüklü kazıkların taşıma gücü hesabında 10. bölümde de ifade edildiği gibi, bazı arazi deneylerinin sonuçlarından yararlanılması çok alışlagelmiş ve statik analizlere göre yapılan hesapların tahkikinde özellikle en çok başvurulan yöntem olmuştur. Günümüz uygulamalarında sonuçları üzerinde en fazla amprik bağıntılar geliştirilen ve taşıma gücü hesabında en çok kullanılan deneyler; "**Standart Penetrasyon Deneyi**", "**Koni Penetrasyon Deneyi**" ve "**Pressiometre Deneyi**" olarak bilinen deneylerdir.

Bu bölümde yukarıda tanımlanan deneylerin genel prensip ve yapılış mekanizmalarına tezin kapsamını aştığı için değinilmemiş, yalnızca deney sonuçlarının kazık taşıma gücü ile korelasyonlarına ait literatürde yaygın bağıntılar ve yorumlara yer verilmiştir.

Aşağıda sırasıyla "**Standart Penetrasyon Deneyi**", "**Koni Penetrasyon Deneyi**" ve "**Pressiometre Deneyi**" sonuçlarının, kohezyonsuz ve kohezyonlu zeminlerde kazık taşıma gücü hesabında nasıl kullanıldığı anahatlarıyla açıklanmaktadır.

11.1. Standart Denetrasyon Deneyi - [SPT]

Pratikte oldukça sık kullanılan bir dinamik penetrasyon deneyi olan "**SPT**" deneyi, 63.5 kg. ağırlığındaki bir tokmağın 76 cm'lik standart düşü yüksekliğinden standart boyutlarda bir numune kaşığının zemine çakılması için deneyin yapıldığı sondaj çukurunun tabanına düşürülmesi neticesinde gerçekleştirilir. Deneyde standart nümune kaşığının zemine 30 cm. girmesi hedeflenmekte ve bunun için gerekli tokmak darbe sayısı belirlenmektedir. Ancak önce standart tokmak küçük yüksekliklerden düşürülerek nümune kaşığı 15 cm kadar zemine sokulur. Böylece deneye başlanan seviyedeki zeminin örselenme etkisi elimine edilir. Bundan sonra nümune kaşığı tokmağın standart yükseklikten düşürülmesi ile 30 cm. kadar zemine çakılır. Bu son 30 cm'lik penetrasyonun sağlanması için gerekli tokmak darbe sayısı (**SPT**) sayısı olarak tariflenmektedir.

Genellikle "**SPT**" deneylerinden elde edilen "**N**" darbe sayılarının düzeltilmesi doğru olur. Bu düzeltmeler için farklı bağıntılar verilmiştir. Kumlar için kullanılan "**SPT**" deneylerinden elde edilen "**N**" darbe sayıları

$$N = c_N N' / 100 \quad (11.1)$$

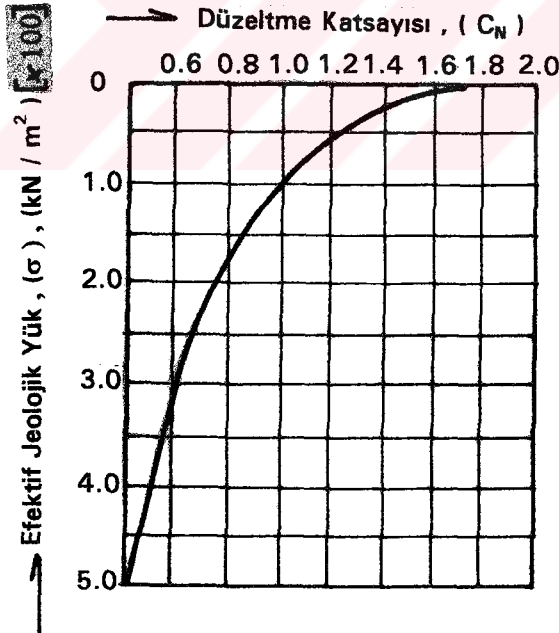
bağıntısıyla düzeltilir (Kumbasar, Kip, 1985). Burada ;

$[c_N]$ = Deney yapılan derinlikteki efektif düşey gerilmeye bağlı boyutsuz düzeltme katsayısı

" N' " sayısının elde edildiği seviyedeki zemin ağırlığından doğan düşey basınca (efektif jeolojik basınç) bağlı olarak " c_N " düzeltme faktörünün değişimi Şekil 11.1'de görülmektedir. İnce kum veya bol siltli kum zeminlerde ve yeraltı su seviyesinin altında yapılan deneyler için de "SPT" değerlerinin düzeltilmesi gerekmektedir. Deney sırasında kaydedilen darbe sayısı "N' " 15'den büyükse bu değer

$$[N] = 15 + \frac{1}{2} (N' - 15) \quad (11.2)$$

bağıntısıyla düzeltilir. $N' < 15$ ise düzeltme uygulanmasına gerek yoktur. (Toğrol, 1970)



Şekil 11.1 "SPT" deneyi için " c_N " düzeltme sayısı değerleri (Kumbasar ve Kip,1985).

11.1.1. Kazık Taşıma Gücü ile Korelasyonlar

11.1.1.1. Kohezyonsuz Zeminlerde

Kohezyonsuz zeminlerde standart penetrasyon deneyi sonuçlarından yararlanarak kazıkların taşıma gücünün belirlenmesi amacıyla yapılan deneysel çalışmalar neticesinde çeşitli amprik ya da yarı amprik bağıntılar elde edilmiştir. Aşağıda sırasıyla kohezyonsuz zeminlerde "birim uç mukavemeti" ve "birim çevre sürtünmesi" büyüklüklerinin hesabı için yapılan yaklaşımlar açıklanmaktadır.

a) Birim Uç Mukavemeti

Meyerhof (1976) çalışmasına göre çakma ve sondaj kazıkları için birim uç mukavemeti değerleri Çizelge 11.1'de önerilen değerler alınarak tayin edilebilir. (Das, 1990).

Çizelge 11.1 Meyerhof (1976) çalışmasına göre çakma kazıklar ve sondaj kazıkları için "birim uç mukavemeti" değerleri

Kazık Cinsi	Zemin Cinsi	$q_p > [kN/m^2]$	Düşünceler
Çakma kazıklar	Kumlar	$\frac{40 NL}{D}$	$\leq 400 N$
	Siltler	$\frac{30 NL}{D}$	$\leq 300 N$
Sondaj kazıklar	Kumlar	$\frac{12 NL}{D}$	$\leq 120 N$
	Siltler	$\frac{10 NL}{D}$	$\leq 100 N$

Çizelge 11.1'deki "N" terimi düşey jeolojik gerilmelere göre şekil 11.1 ve (11.1) bağıntısı yardımıyla düzeltilmiş ortalama (*) "SPT" darbe sayısını, "L" kohezyonsuz zemine penetre olan kazık uzunluğun "D" ise kazık çapını göstermektedir.

Broms (1981)'e göre kumlu zeminlerde birim uç direncinin "SPT" darbe sayısı ile değişimi (11.3a), siltli zeminlerde birim uç direncinin "SPT" darbe sayısı ile değişimi (11.3b), çakıllı-kumlu zeminlerde ise aynı ilinti (11.3c) bağıntılarıyla belirlenebilmektedir.

(*): Kazık ucundan 10 D Yukarıda ve 4D aşağıda bir bölgede ortalama değer olarak alınması tavsiye edilmektedir. (Sowers, 1979)

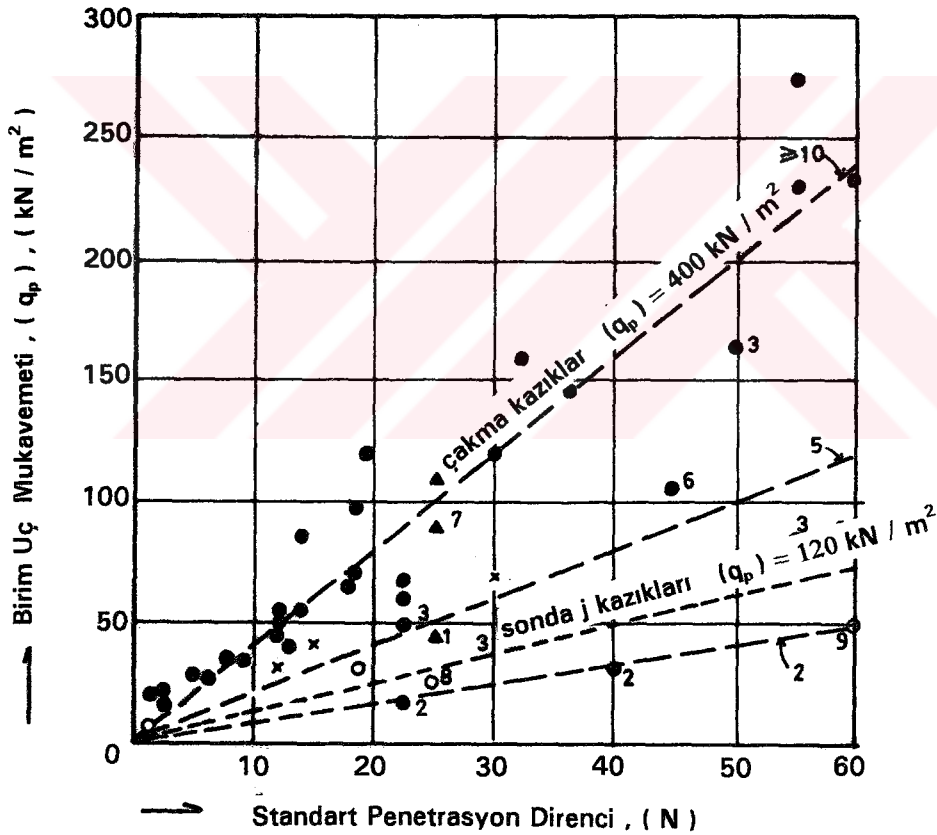
$$q_p = 400 [N] \quad (kN/m^2) \quad (11.3a)$$

$$q_p = 250 [N] \quad (kN/m^2) \quad (11.3b)$$

$$q_p = 600 [N] \quad (kN/m^2) \quad (11.3c)$$

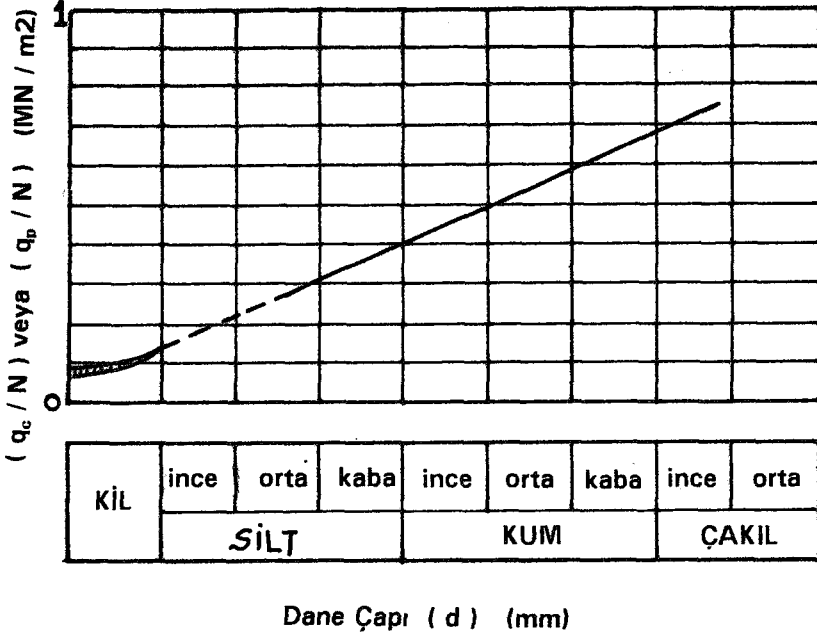
Ancak yukarıdaki eşitliklerde " q_p/N " oranının kohezyonsuz zeminlerde ortalama dane capıyla hassas olarak değişeceğini ileri süren Broms Şekil 11.3'de görülen lineer ilişkiyi önermektedir.

Sowers (1979) kaynağında kohezyonsuz zeminler için "SPT" darbe sayılarına bağlı olarak birim uc mukavemetinin değişimi Şekil 11.2'de izlenmektedir.



Şekil 11.2 Kohezyonsuz zeminlerde $q_p = f(N)$ ilişkisi (Sowers, 1979).

Poulos (1989) çalışmasında, kohezyonsuz zeminlerde birim uç mukavemetinin "SPT" darbe sayılarına göre hesabında kullanılması çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen bağıntılar bir tablo düzeneğinde kazık ve zemin cinsine bağlı olarak Çizelge 11.2'de sunulmuştur.



Şekil 11.3 Kohezyonsuz zeminlerde kazık birim uç mukavemeti ve koni uç direncinin, SPT sayısına ve koni uç direncine oranının ortalama dane çapı ile değişimi (Broms, 1981).

Çizelge 11.2 Kazık birim uç mukavemeti ile "SPT" darbe sayısı arasındaki ilişkiler (Poulos, 1989)

Kazık Cinsi	Zemin Cinsi	q_p [KN/m ²]	Düşünceler	Kaynak
Çakma Kazıklar	Kum	450 [N]	N bölgesel göçme zonundaki ortalama "SPT" sayısıdır.	Martin, et al (1987)
	Kum	400 [N]		Decourt (1982)
	Silt veya kumlu silt	350 [N]		Martin, et al. (1987)
	Kumlu silt	250 [N]		Decourt (1982)
Yerine dökme çakma kazıklar	Kohezyonsuz	150 [N]	$300 < q_p < 700$	Yamashita, et al (1982)
Sondaj Kazıkları	Kumlar	100 [N]		Shioi ve Fukui (1982)

Standart Penetrasyon direnci olarak ta adlandırılan "N" darbe sayısı bilindiğinde kumun relatif sıklığı ve efektif jeolojik gerilme korelasyonları veya $N - \sigma$ bağıntılarından hareketle N_q taşıma gücü faktörü kullanılarak da birim uç mukavemeti (10.13) eşitliğiyle hesaplanabilir. ($q_p = \sigma'_{VL} N_q$). Taşıma gücü katsayıları ile "SPT-N"

bağıntısı arasındaki ilişki Şekil 11.4'te görülmektedir (Fleming et al., 1985).

Kohezyonsuz zeminlerde çakma kazıklar için Reese ve O'Neill (1988) çalışmasında düzeltilmiş ortalama "SPT" değerlerine göre

<u>N</u>	<u>q_p (KN/m²)</u>
0 - 75	58.3 N
> 75	5250

değerlerinin kullanılabilceğini tecrübe etmişlerdir. Ancak kazık çapı 125 cm'den büyükse ve oturmalar dikkate alınmıyorsa önerilen bu değerler [100 / 80D] şeklinde bulunabilecek bir faktörle azaltılmalıdır. Bu oranın paydasındaki "D" yine kazık çapını ifade etmektedir.

Kishida (1967) çalışmasında içsel sürtünme açısı ile "SPT-N" darbe sayıları arasında (11.4) eşitliği ile verilen bağıntıyı takdim etmişlerdir.

$$\emptyset = \sqrt{20 [N] - 15} \quad (11.4)$$

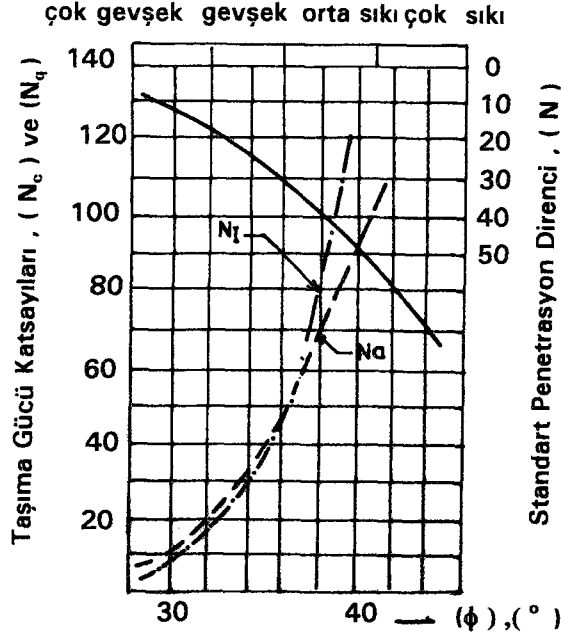
Bu bağıntı yardımıyla bulunacak içsel sürtünme açısından yola çıkılarak "N_q" taşıma gücü faktörü ve dolayısıyla birim uç direnci rahatlıkla saptanabilir.

b) Birim Çevre Sürtünmesi

Broms (1981) çalışmasında, kumlu zeminlerde Meyerhof tarafından çakma ve sondaj kazıkları için önerilen birim çevre sürtünmesi değerleri tablo düzeneğinde Çizelge 11.3'te görüldüğü gibi gruplandırılabilir.

Çizelge 11.3 Meyerhof (1979)'a göre kohezyonsuz zeminlerde çakma ve sondaj kazıkları için "birim çevre sürtünmesi" değerleri

Kazık Cinsi	f _s [kN/m ²]	Düşünceler
Zemine fazla yerdeğiştiren Çakma Kazıklar	2N	≤100(kN/m ²)
Zemine az yerdeğiştiren Çakma Kazıklar	N	
Zemine yerdeğiştirmeyen Sondaj Kazıklar	0.6 N	≤40 (kN/m ²)



Şekil 11.4 Taşıma gücü faktörleri ve içsel acısı ile "SPT-N" sayısı arasındaki korelasyonlar (Fleming et al., 1985).

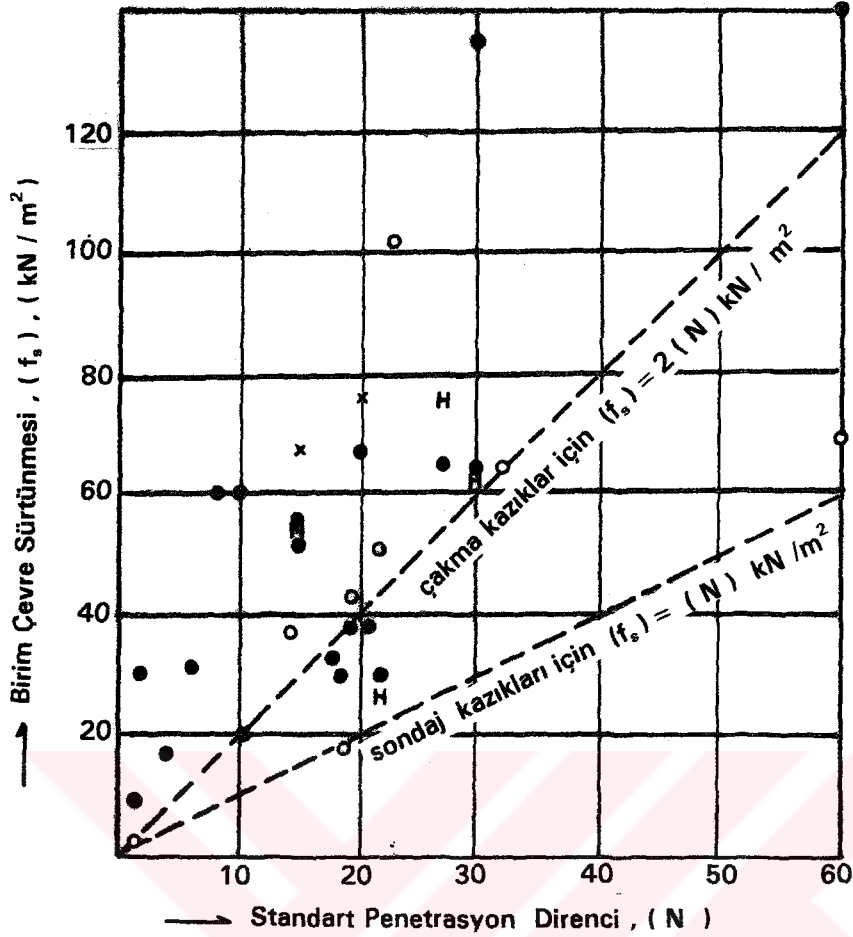
Çizelge 11.3'te görülen "N" terimleri shaft boyunca kazığın geçtiği tabakaların ortalama "SPT" darbe sayılarını ifade etmektedir.

Sowers (1979) araştırmasında ise birim çevre sürtünmesinin "SPT" darbe sayıları ile değişimi çakma ve sondaj kazıkları için -Şekil 11.2'dekine benzer yapıda-Şekil 11.5'te gösterilmiştir.

Meyer (1984) kaynağında, araştırmacılar kazık uzunluğu boyunca ve kazık ucunununaltında yeterince derinlere kadar uzayıp giden masif kum tabakalarının bulunması durumunda hesaplanacak nihai çevre sürtünmesinin, nihai taşıma gücünün ancak % 25 'i dolayında olabildiğini ifade etmekte ve kazık ucunun üzerinde kalan bölgedeki kum tabakası kalınlığının kazığın penetrasyon derinliğinin % 30'undan daha az olması durumunda birim çevre sürtünmesinin (11.5) eşitliğiyle iyi bir korelasyonla hesaplanabileceğini ileri sürmektedirler.

$$f_s = 0.58 \log [N'] \quad (11.5)$$

Poulos (1989) çalışmasında, kohezyonsuz zeminlerde birim çevre sürtünmesinin "SPT" darbe sayılarına göre hesabında çeşitli araştırmacıların kullanılmasını önerdikleri amprik bağıntıları çizelge 11.4'te görüldüğü gibi toparlamaktadır.



Şekil 11.5. Kohezyonsuz zeminlerde $f_s = f(N)$ ilişkisi (Sowers, 1979).

(11.5) ifadesinde "N" terimi "düzeltilmemiş SPT sayısı" olup hesaplanacak "fs" büyüklüğünün birimi [kip/foot²]'dir. (1 kip/foot² = 48 kN/m²)

Çizelge 11.4. Kazık birim çevre sürtünmesi ile "SPT-N" sayıları arasındaki ilişkiler (Poulos, 1989).

Kazık Cinsi	Zemin Cinsi	q_{p0} [kN/m ²]	Düşünceler	Kaynak
Çakma Kazıklar	Kohezyonsuz	2 [N]	" f_s " ve "N" saft boyunca ortalama değerlerdir.	Meyerhof (1956)
	Kohezyonsuz	10 + 3.3 [N]	$3 \leq N \leq 50$ $f_s \leq 170$ kN/m ²	Decourt (1982)
Yerinde dökme çakma kazıklar	Kohezyonsuz	30 + 2 [N]	$f_s \leq 200$ kN/m ²	Yamashita, et al (1982)
	Kohezyonsuz	5 [N]	$f_s \leq 220$ kN/m ²	Shioi ve Fukui (1982)
Sondaj kazıkları	Kohezyonsuz	[N]		Shioi ve Fukui (1982)
	Kohezyonsuz	3.3 [N]		Wright ve Reese 1979

11.1.1.2. Kohezyonlu Zeminlerde

Kohezyonlu zeminlerde kazık birim uç mukavemeti ve birim çevre sürtünmesinin "SPT-N" darbe sayılarına bağlı olarak tayin edilebilmesi amacıyla yapılan bazı amprik yaklaşımlar aşağıda kısaca ele alınmaktadır.

a) Birim Uç Mukavemeti

Standart Penetrasyon Direnci değerlerine dayanarak sert ve katı kilerdeki sürtünme kazıklarının taşıma kapasitesi hakkında kabaca bir fikir sahibi olmak mümkündür. Deney sonuçları karşılaştırıldığında kilin drenajsız kayma direnci artan "N" değerleri ile artmaktadır. Terzaghi ve Peck, kilin drenajsız kayma direncinin yaklaşık olarak, (11.6) ve (11.7) bağıntıları ile hesaplanabileceğini ileri sürmektedirler (Broms, 1981).

$$[c_u] = \frac{N}{80} \text{ (MPa)} \cong 12.5 [N] \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (11.6)$$

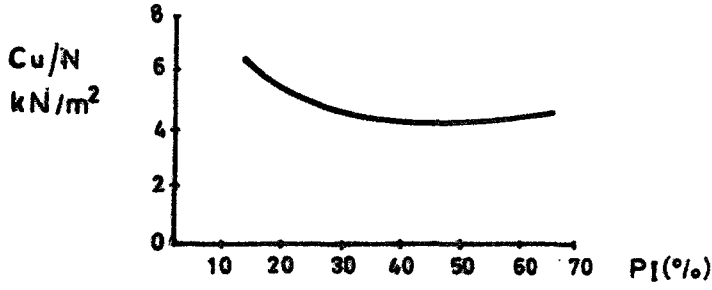
$$[c_u] = \frac{N}{50} \text{ (Mpa)} \cong 20 [N] \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (11.7)$$

Fleming ve diğerleri (1985), killi zeminlerin drenajsız kayma direnci " c_u ", "SPT-N" değeri ve plastisite indeksi arasında Şekil 11.6'da verilen ilintiyi önermektedirler. Şekil 11.6 dikkatle incelendiğinde $[c_u/N]$ oranının orta plastisiteli killer için yaklaşık $[4-5]$ kN/m^2 olabileceği, plastisite indeksi 20'den büyük olması durumunda ise bu oranın $[6-7]$ kN/m^2 veya daha büyük olabileceği rapor edilmektedir. Böylece tahmin edilen kilin kayma direnci 10. bölümde verilen taşıma gücü bağıntılarında kullanılarak birim uç direnci hesabı yapılabilir.

Kohezyonlu zeminlerde birim uç mukavemetinin "SPT" darbe sayıları ile değişimini ortaya koymak amacıyla çeşitli araştırmacılar tarafından kullanılabileceği önerilen bazı bağıntılar kazık ve zemin cinsine bağlı olarak Çizelge 11.5'deki gibi özetlenebilir.

Shioi ve Fukui (1982) araştırmasının sonuçlarına göre zemine yerdeğiştiren çakma kazıkların kohezyonlu zeminlere çakılması durumunda penetrasyon oranı " $[L_p/D]$ " 'na bağlı olarak birim uç mukavemetinin kestirilebileceği ifade edilmektedir.

<u>$[L / D]$</u>	<u>q_p [kN/m²]</u>
≥ 5	300 [N]
< 5	100+40 $[L/D]$. [N] , (ucu kapalı kazık)
< 5	60 $[L/D]$. [N] , (ucu açık kazık)



Şekil 11.6 Kohezyonlu zeminlerde (c_u/N) = f (PI) ilintisi (Fleming et al., 1985).

Çizelge 11.5. Kazık birim uç mukavemeti ile "SPT-N" sayıları arasındaki ilişkiler (Poulos ve Davis, 1989)

Kazık Cinsi	Zemin Cinsi	q_p , [KN/m ²]	Düşünceler	Kaynak
Çakma Kazıklar	Siltli Kil	200 [N]	—	Decourt (1982)
	Kil	200 [N]	—	Martin et al (1987)
	Kil	120 [N]	—	Decourt (1982)
Yerine dökme çakma kazıklar	Kohezyonlu	175 [N]	$q_p \leq 90 [1+0.16z^{(*)}]$	Yamashita, et al (1987)
Sondaj Kazıkları	Killer	150 [N]	—	Shioi ve Fukui (1982)

b) Birim Çevre Sürtünmesi

Shiou ve Fukui (1982) çalışmasında çakma kazıkların birim çevre sürtünmesinin "SPT" verilerine göre kestirilebilmesi için (11.8a), sondaj (fore) kazıklarının birim

çevre sürtünmesinin "SPT" verilerine göre kestirilebilmesi için de (11.8b) bağıntılarının analizlerde kullanılabileceğini tavsiye etmektedirler.

$$[f_s] = 10 [N] \quad (11.8a)$$

$$[f_s] = 5 [N] \quad (11.8b)$$

Fuller (1980) çalışmasında kohezyonlu zeminlerin kıvamına bağlı olarak " $f_s - N$ " ilişkisi aşağıda açıklandığı gibi bulunabilir.

<u>SPT- N</u>	<u>f_s [kN/m²]</u>
N < 9 - yumuşak	4.5 N
N > 9 - sert	40+1.5 (N-10)

11.2. Koni Penetrasyon Deneyi - [CPT]

Zeminin kayma direncinin derinlikle değişiminin arazide etüd edilmesi bakımından koni penetrasyon deneyi (CPT) ve özellikle Hollanda (Dutch) sondası yaygın olarak kullanılan bir itmeli statik sonda (statik penetrasyon) deneyidir. Deneyin ana ilkesi bir kılıf (muhafaza borusu) içindeki konik ucun statik bir kuvvet uygulanarak muhafaza borusundan bağımsız bir şekilde zemine sokulması ve böylelikle bu uca karşı zeminin gösterdiği direncin yani Koni uç direncinin ölçülmesi ya da konik ucun muhafaza borusuyla birlikte zemine sokularak toplam direncin ölçülmesi esasına dayanır (ASTM D. 1586,1989). İtmeli sondalar, uç direncini ölçme şekilleri bakımından birbirinden farklıdır. Hollanda sondasında uç kesit alanı 10 cm² olan 60°lik bir koni [15-20] mm/sn. hızla zemine sokulur ve koni uç direnci kaydedilir. Koni direncinin, çevre sürtünmesinin ve toplam direncin ölçülmesinde kullanılan iki yöntem vardır. (Toğrol, 1970)

Birinci Yöntem : Önce koni ve muhafaza boruları ölçmenin yapılacağı derinliğe indirilir daha sonra çubuklar ve koni sabit, doğru hızla [70 - 80] mm'lik bir derinliğe itilir, koni direnci kendi başına ölçülür. Koninin zemine girme hızı 1.25 m/dak.ve koni penetrasyon derinliğinin 7.5 cm. ile sınırlandırılması uygundur (Sağlamer, 1979). Bundan sonra, ya koni ve çubuk durur, muhafaza borusu 200 mm. aşağı itilerek çevre

sürtünmesi ölçülür, ya da koni, çubuklar ve muhafaza borusu birlikte itilerek toplam direnç ölçülür. (Toğrol, 1970) Bu şekilde ölçülen toplam dirençten uç direnci çıkartılarak kılıfın veya çubukların zeminden gördüğü direnç yani çevre sürtünmesi elde edilmiş olur. Benzer işlemler her 200 mm'de bir tekrarlanarak okumalar kaydedilir.

İkinci Yöntem : Koni, çubuklar ve muhafaza borusu aynı anda ölçmenin yapılacağı derinliğe itilir. Geliştirilen özel bir uça koniden yaklaşık 250 m. yukarıda ve koniyle birlikte muhafaza borusundan bağımsız olarak hareket edebilen ayrı bir kılıf boyunca çevre sürtünmesi ölçülür. Koni yaklaşık 40 mm itildikten sonra, geri kalan uzaklık boyunca koni ve sürtünme gömleği birlikte hareket eder ve böylece aynı zamanda fakat ayrı ayrı koni direnci ile toplam direnç veya toplam sürtünme direnci okumaları alınmış olur (Toğrol, 1970).

11.1.1. Kazık Taşıma Gücü ile Korelasyonlar

11.2.1.1 Kohezyonsuz Zeminlerde

Kum zeminlerdeki sürtünme kazıklarının nihai taşıma kapasitesinin tahmininde statik sondalar başta Orta Avrupa olmak üzere birçok ülkede yaygın olarak kullanılmaktadır.

a) Birim Uç Mukavemeti

Koni Penetrasyon Direncini ölçen statik sonda deneylerinden kohezyonsuz zeminlerdeki sürtünme kazıklarının birim uç direnci direkt olarak saptanabilir. Bu hususta ilk kapsamlı araştırmayı yapan Meyerhof (1956) itmeli sonda ile bulunan uç direnci " q_c " ve kazık birim uç direnci arasında

$$[q_p] = q_c \quad (11.9)$$

ifadesiyle verilen bir ilintinin bulunduğunu, başka bir deyişle ölçülen koni uç direncinin direkt olarak kazık uç direnci olarak hesaplarda kullanılabileceğini vurgulamaktadır. (Toğrol, 1970).

Meyerhof (1976) çalışmasında, " L_p " kazığın kohezyonsuz zemine penetre olduğu uzunluğu " D " kazık çapını göstermek üzere, " L_p / D " oranı 10'dan daha az olduğunda (11.9) eşitliğinde belirtilen " q_c " koni uç direncinin " $L_p / 10D$ " ile ifade edilen bir faktörle azaltılması gerektiğini savunmaktadır.

Hodges ve Pink (1971) bir dizi model kazıkları üzerinde Hollanda sondası sonuçlarını değerlendirmiş ve kazık birim uç direnci için

$$[q_p] = 0.9 q_c \quad (11.10)$$

eşitliğinin kumlu zeminlerin analizlerinde daha gerçekçi olduğunu öne sürmektedirler. (11.9) ve (11.10) ifadelerindeki " q_c " terimi daha öncede açıklandığı gibi koni uç direncini göstermektedir. (Ülker, 1978).

Önalp (1983) kaynağında ise bazı araştırmacıların "koni uç direnci standart penetrasyon direnci" oranının Şekil 11.3'te izlendiği gibi kohezyonsuz zeminin dane çapı dağılımının bir fonksiyonu olduğunu savundukları ifade edilmektedir.

Genellikle 10000 kN/m² (100 kg/cm²)'e kadar olan uç dirençleri ile taşıma gücü arasında uygunluk görüldüğü, daha büyük uç dirençleri için kırılma yükünün tahmin edilmesinin zor olduğu belirlenmiştir. (Toğrol 1970).

Broms (1981)'e göre ise penetrasyon direncinin 1000 kN/m²'den küçük olması durumunda kazık birim uç direnci olarak koni penetrasyon direncinin alınabileceği, daha büyük penetrasyon direnci oluşması halinde, kazığın uç taşıma kapasitesinin statik sondalarla belirlenen dirençten daha küçük olacağı ifade edilmektedir.

Kazık birim uç direnci hesaplarında kullanılacak ortalama koni uç direnci için çeşitli araştırmacılar tarafından farklı penetrasyon derinlikleri önerilmektedir. Aşağıda görülen Çizelge 11.6'da kazık ucundan " L_1 " kadar yukarıda " L_2 " kadar aşağıda kalan zon ile tariflenen uygun penetrasyon derinlikleri için bazı araştırmacıların getirdiği öneriler verilmiştir.

De Beer (1965) kaynağında ise Şekil 11.7'de gösterilen basit yöntem önerilmektedir. Şekil 11.7'de görüldüğü gibi " q_c "'nin değerinde ani artış meydana gelmesi taşıyıcı bir tabakaya girildiğinin tipik bir göstergesidir. (Yıldırım ve Özaydın, 1994).

Koni deney sonuçlarından yararlanırken Fleming ve Thornburn (1983) koni okumalarının ortalaması için daha detaylı olarak,

Çizelge 11.6 Çeşitli araştırmacılar tarafından ortalama koni uç direncinin hesabında kullanılması önerilen penetrasyon derinlikleri

Araştırmacı	L ₁	L ₂
Meyerhof (1956)	4D	D
Norlund (1963)	3D	2D
Poulos (1980)	8D	4D
Broms (1981)	3.75D	D

$$[q_c] = q_p = [q_{c1} + q_{c2} + 2q_{c3}] / 4 \quad (11.11)$$

eşitliğini önermektedirler. (Şekil 11.8)

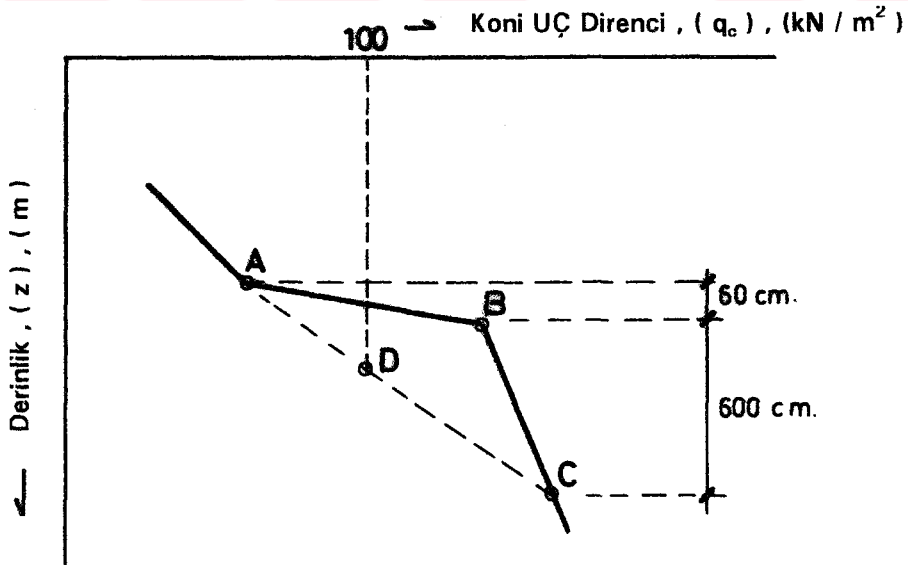
(11.11) ifadesinde ;

$[q_{c1}]$ = kazık ucundan aşağıda "2D" boyunca ortalama koni direnci

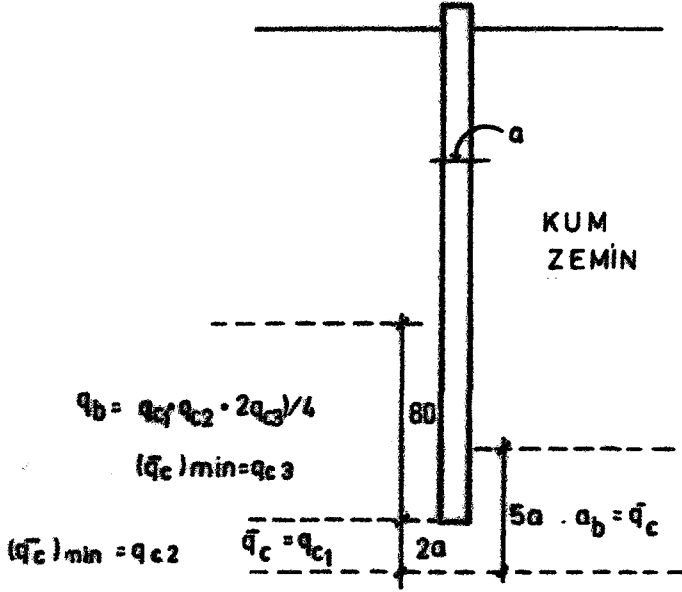
$[q_{c2}]$ = Kazık ucundan aşağıda "2D" boyunca minimum koni direnci

$[q_{c3}]$ = Kazık ucundan "8D" yukarıdaki bir mesafede " q_{c2} " den daha düşük minimum değerlerin ortalaması olarak tariflenmektedir.

(Fleming, et al 1985).



Şekil 11.7. Kazık uç mukavemetinin saptanmasında koni penetrasyon deneyi sonuçlarının yorumlanması (Yıldırım ve Özaydın, 1994).



Şekil 11.8 Kazık birim uç mukavemetini verecek koni verilerinin ortalamasının alınması (Fleming et al., 1985).

Van der Veen yöntemiyle de koni direncinin derinlikle değişimi dikkate alınarak kazık ucu üstünde "3D" ve kazık ucu altında "1D" mesafelik bir shaft uzunluğu boyunca ortalama koni direnci alınır. (Şekil 11.9 Van der Veen yönteminin modifiye edilmiş şeklinde ortalama koni direnci,

$$[q_p] = q_c = c_{kd} = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{2} (c'_{kd} + c''_{kd}) + c'''_{kd} \right] \quad (11.12)$$

$[c'_{kd}]$ = Kazık ucu altında "0.7D" ve "4D" arasında bir derinlik boyunca ortalama koni direnci

$[c''_{kd}]$ = Kazık ucu altında "0.7D" ve "4D" arasında seçilen bir derinlik boyunca minimum koni direnci

$[c'''_{kd}]$ = Kazık ucu üstünde "6D" den "8D" ye kadar değişebilen bir uzunluk boyunca minimum koni direnci değerlerinin ortalamasıdır.

c''_{kd} için seçilen minimum değer üstünde c'''_{kd} değerleri dikkate alınmazlar. Yani, c'''_{kd} değeri c''_{kd} den büyük ise ihmal edilir.

Çizelge 11.7 Kazık çakımının neden olduğu koni direnci artışları (Tomlinson 1977).

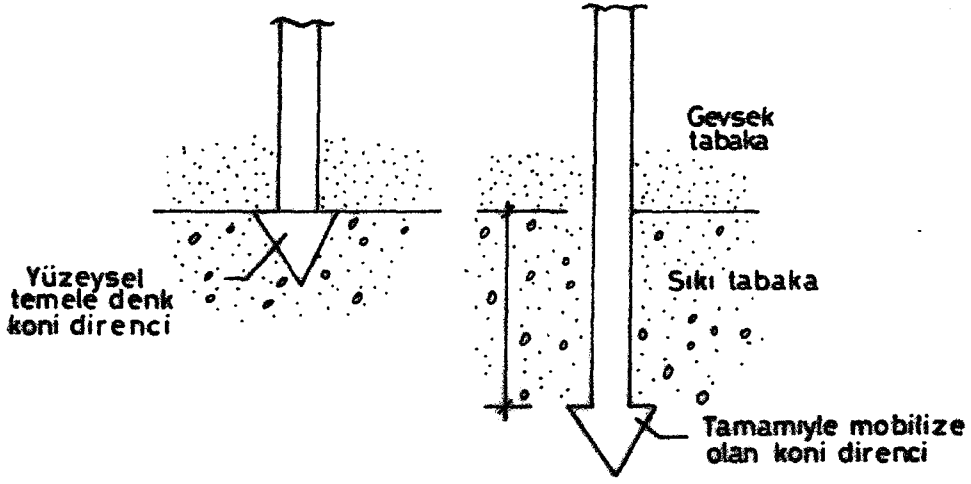
Kazık ekseninden uzaklık (m)	Statik koni direncindeki artım (%)
1	50-100
2	yaklaşık 33
3.5	ihmal edilebilir

Kazık ucu yakınında, çakım nedeniyle zeminin kompaksiyonu sonucu uç dirençte hatırı sayılır bir artıma rağmen, nihai uc direnci çoğu kez örselenmemiş zeminin koni direncinden tahmin edilir. Araştırmalar koni direncinden hesaplanan nihai uç direncine 2.5 güvenlik faktörü uygulanırsa, servis yükünde oturmanın 10 mm.'yi aşacağını olası olmadığını göstermiştir. (Tomlinson, 1977)

Kazık nihai uc direncinin, Dutch Koni Deneyi'nde koni uç direncinin tamamıyla mobilize olduğu derinlikte aynı bir penetrasyon derinliğinde elde edilebileceği beklenilebilir. (Yani şekil 11.9 A seviyesinde) Bu yaklaşım 450 mm.'den küçük çaplı kazıklar için geçerlidir. Ancak, geniş çaplı ($D > 50$ cm) bir kazığın taşıma kapasitesinin statik penetrasyon direncinden küçük olacağını ve bu nedenle koni direncinin yalnızca çapı veya genişliği yaklaşık 50 cm'den küçük kazıklar için herhangi bir düzeltme yapmaksızın doğrudan kullanılabileceği ileri sürülmektedir. Daha büyük çaplı kazıklar nihai uç dirençlerini kazanmaları için taşıyıcı tabakaya daha büyük bir derinlikte sokulmalıdır. Araştırmalar, koni çapının 10katı çapındaki kazıklarda koni direncinin tamamıyla mobilize olduğu derinliğin (Şekil 11.10, d mesafesi) 10 katı (10 d) kadar taşıyıcı tabakaya sokulması gerektiğini göstermiştir. (Tomlinson, 1977).

b) Birim Çevre Sürtünmesi

Kum zeminlerdeki kazıkların birim çevre sürtünmesinde statik penetrasyon deneylerinden tahmin edilebilir. Koninin (veya penetrometre ucunun) tam üstünde yerleştirilen ayrı bir sürtünme gömleği ile ölçülebilen sürtünme " f_c " yer değiştirme (çakma) kazıklarının çevre sürtünmesinin doğrudan tahminine olanak sağlar. Bazı araştırmacılar birim çevre sürtünmesi için,



Şekil 11.10 Koni Penetrasyon direncinin taşıyıcı tabaka içinde derinlikte değişimi (Tomlinson, 1977)

$$f_s = f_c \quad (11.13)$$

eşitliğini önerirler. (Fleming et al., 1985). Burada,

f_c = Sürtünme gömleği ile ölçülen sürtünme değeridir.

Ancak, kazıklar genellikle sürtünme kolundan daha pürüzlü-kaba bir yapıya sahip olup, kazık birim çevre sürtünmesi (11.13) eşitliğinde hesaba katılmayan kazık malzemesi ve kazık şekli gibi faktörlere bağlıdır. Bu nedenle birim çevre sürtünmesi,

$$f_s = \alpha f_c \quad (11.14)$$

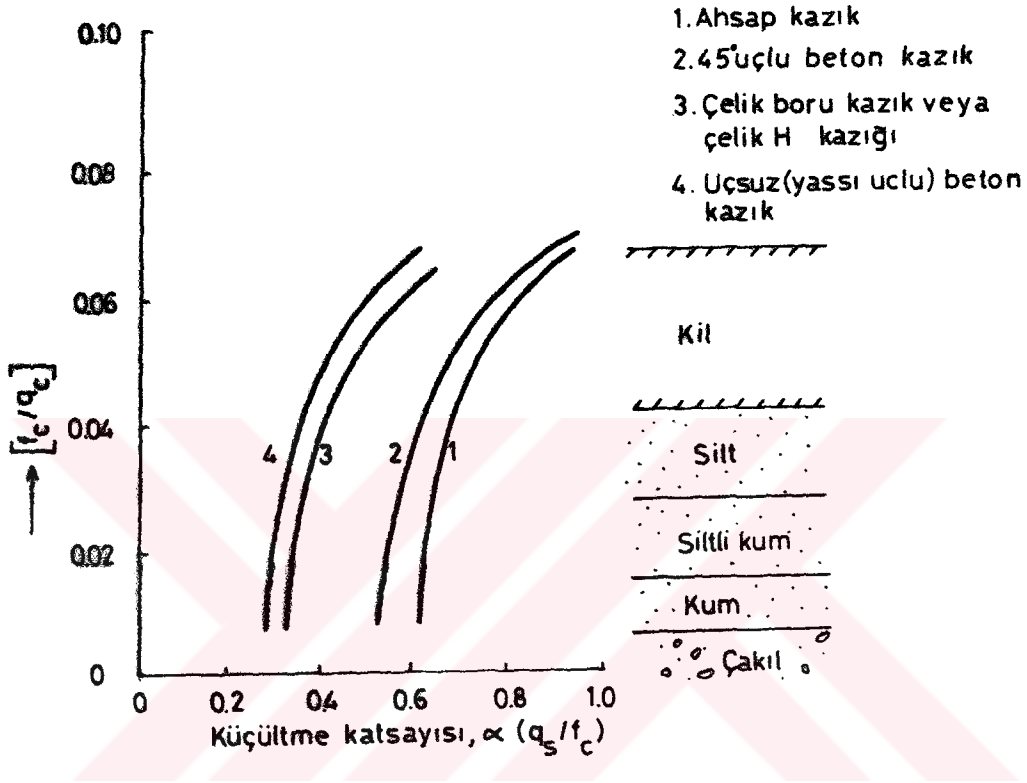
ampirik bağıntısıyla tahmin edilebilir (Broms, 1981). Burada;

α = Küçültme katsayısı

dır. Alman araştırmacılar tarafından bir seri yükleme deneyi sonuçlarından da, kum veya çakıl tabakasına çakılmış kazıklar için çevre sürtünmesi hesaplarından göreceli olarak düşük " α " değeri kullanılmalıdır.

Koni penetrasyon deneyi sonuçlarından yararlanan Meyerhof, birim çevre

sürtünmsi büyüklüğü ile kazığın geçtiği zemindeki ortalama koni uç direnci arasında Çizelge 11.8'de gösterilen oransal dengenin bulunduğuna işaret etmektedir.



Şekil 11.11 Begeman tarafından önerilen kum zeminlereki kazıklar için Hollanda Koni Penetrometre deneyinden elde edilen sürtünme kolu direnci " f_c " ile çevre sürtünmesi " f_s " arasındaki ilişki (Fleming, et al 1985).

Çizelge 11.8 Birim çevre sürtünmesi için "CPT" değerlerinin kullanılması (Yıldırım ve Özaydın, 1994).

Kazık Türü	Önerilen Değer
Zemine fazla yerdeğiştiren çakma kazıklar	$q_c / 200$. (kN/m ²)
Zemine az yerdeğiştiren çakma ve fore kazıklar	$q_c / 400$. (kN/m ²)

Ülker (1978) kaynağında ise Hollanda sondası sonuçlarından yararlanılarak kazık birim çevre sürtünmesi için (11.15) eşitliği önerilmiştir.

$$f_s = 0.9 q_c \text{ (kN/m}^2\text{)} = 0.009 \text{ (kg /cm}^2\text{)} \quad (11.15)$$

Koni Penetrasyon Deneyi sonuçlarını kohezyonsuz zeminlerde birim çevre sürtünmesi ile ilintilendiren diğer bir araştırmacı da Schmertman'dır.

Schmertman (1978) yöntemine göre koni penetrasyon deneyi için kritik derinliğin "8D" olduğuna dikkat çekilerek toplam nihai çevre sürtünmesinin (11.16) bağıntısıyla bulunabileceği iddia edilmektedir.

$$Q_s = c_s, c_c \left[\sum_{z=0}^{z=8D} \frac{Z}{8D} f_s A_s + \sum_{z=8D}^L f_s A_s \right] \quad (11.16)$$

(11.16) ifadesinde "c_s" ve "c_c" sırasıyla kumlar ve killer için Şekil 11.12'den kestirilecek düzeltme katsayılarıdır.

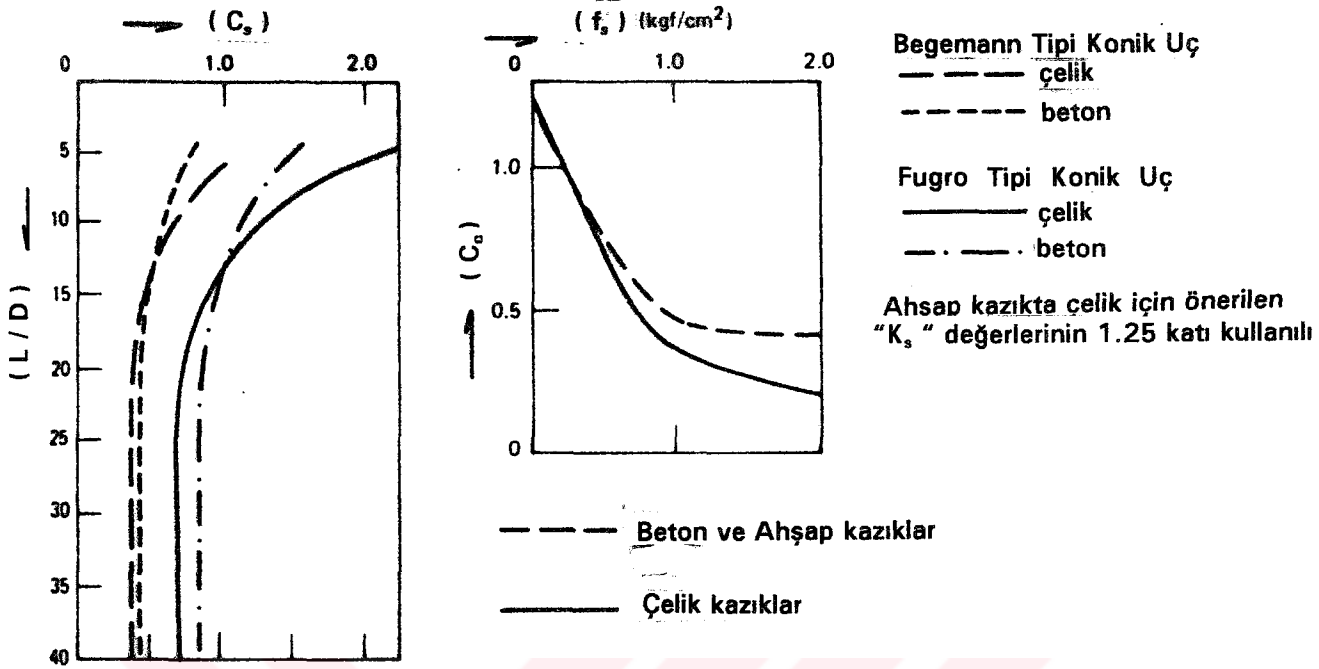
Meyerhof (1976) çalışmasında koni deneyinde ölçülen çevre sürtünmesi değerlerinin çakma kazıklar için direkt olarak, fore kazıklar için bu değer (0.33 – 0.50) katının alınması gerektiğini öne sürmektedir.

Tomlinson (1981) kaynağında ise zemine fazla yerdeğiştiren kazıklar için (11.17) eşitliğinin birim çevre sürtünmesi hesabında kullanılabileceği rapor edilmektedir.

$$f_s = \frac{q_c}{2.5} \text{ (kN/m}^2\text{)} = \frac{q_c}{250} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (11.17)$$

Kohezyonsuz zeminlerdeki sürtünme kazıklarının çevre sürtünmesi direnci, statik sonda uç direncinden de yaklaşık olarak tahmin edilebilir. Alman araştırmacılar tarafından önerilen Dutch Koni Uç Direnci "q_c" ve çevre sürtünmesi "f_s" arasındaki ilişki Şekil 11.13'te gösterilmiştir.

Bu şekilden eğer zeminin ortalama dane boyutu (kum, çakıl, silt veya kil) biliniyorsa, statik sonda çevre sürtünmesi direncini "f_c" uç direncinden tahmin etmek ve dolayısıyla (11.13) veya (11.14) eşitlikleriyle kazık çevre sürtünmesini hesaplamak mümkündür.



Şekil 11.12 Koni Penetrasyon Deneyi için önerilen düzeltme katsayıları (Poulos, 1989).

11.2.1.2. Kohezyonlu Zeminlerde

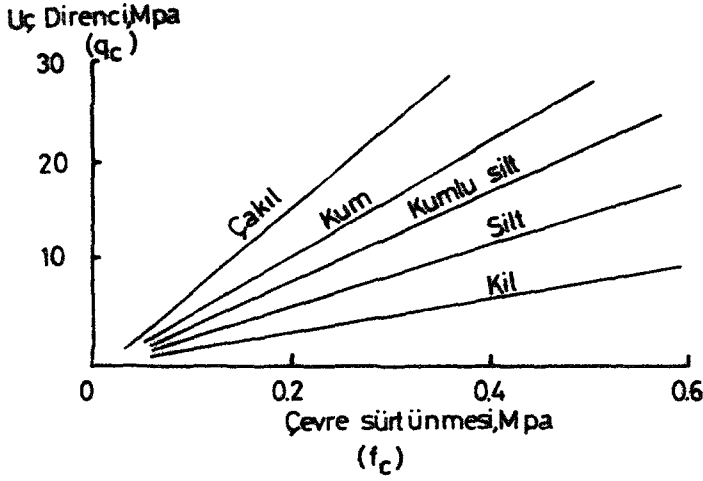
Kohezyonlu zeminlerdeki sürtünme kazıklarının yükleme deneyleri ile ölçülen taşıma kapasiteleri koni penetrasyon deney sonuçlarıyla karşılaştırıldığında kohezyonsuz zeminlere nazaran çok daha geniş bir dağılım görülür. Penetrasyon deneyi süresindeki drenaj koşullarının, kazık yükleme deneyi süresince ortaya çıkan drenaj koşullarıyla oldukça farklı olması koni penetrasyon deneyi ile kazık taşıma gücü arasındaki korelasyonu güçleştiren önemli bir faktördür. Ancak, ilke olarak kohezyonsuz zeminlerdeki sürtünme kazıklarının birim uç ve çevre sürtünme dirrençlerinin koni uç direnci " q_c " ve sürtünme kolu ölçümlerinden " f_s " belirlenmesine çalışılır.

a) Birim Uç Mukavemeti

Ölçek ve farklı test hızları nedeniyle kohezyonlu zeminlerde " q_p/q_c " oranı [0.5–2.0] arasında değişir. Bazı araştırmacılar yükleme deneyleri ile tersine bir kanıt yoksa.

$$[q_p] = q_c \quad (11.18)$$

alınmasını önermektedirler. (Fleming et al., 1985)



Şekil 11.13 Begeman tarafından önerilen Dutch Koni Penetrometre Deneyi'nde uç ve çevre sürtünmesi dirençleri arasındaki ilişki (Fleming et al., 1985).

b) Birim Çevre Sürtünmesi

Çakma kazıkların birim çevre sürtünmesi çoğu kere,

$$f_s = f_c \quad (11.19)$$

alınarak sürtünme kolu gömleği ölçümlerinden tahmin edilir. (Fleming et al., 1985). Kazık malzemesi ve şekline bağlı olarak Schmertman tarafından önerilen şekil 11.12'deki küçültme katsayıları " α " kullanılarak da birim çevre sürtünmesi tahmin edilebilir. Ancak kazık yükleme deneyleri, yerleştirme süresince ölçülen çevre sürtünmesi değerinin, uzun dönem çevre sürtünmesinin % 20'si kadar küçük olabileceğini göstermiştir.

Çevre sürtünmesi, koni uç direnci " q_c "den de tahmin edilebilir. Fleming ve Thornburn (1983) yaklaşımına göre,

$$f_s = \frac{q_c}{10} \quad (\text{kN/m}^2) \quad (11.20)$$

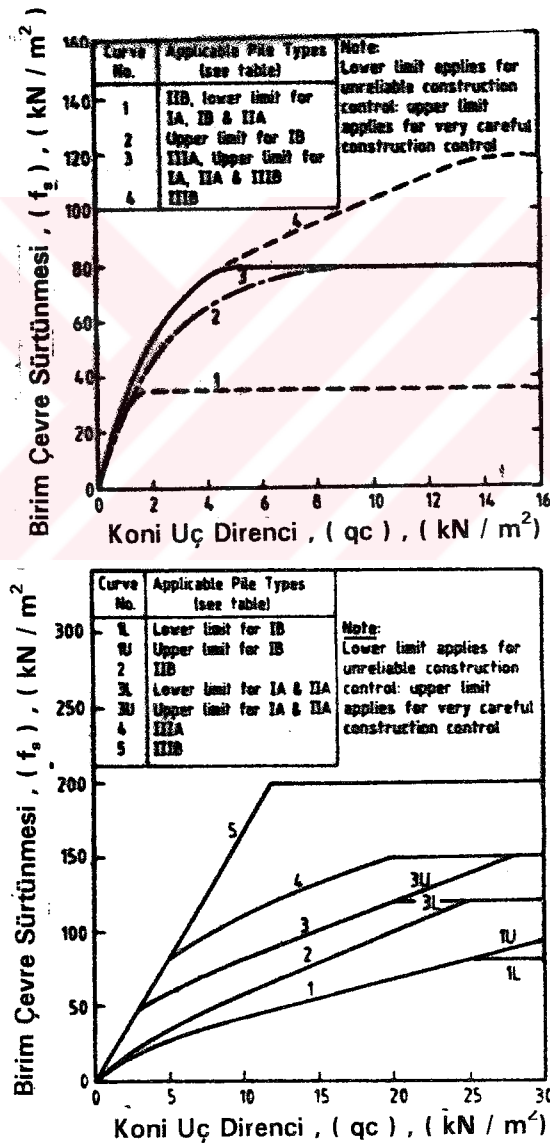
Thornburn ve Mc Rivar (1979) ise

$$f_s = \frac{q_c}{10} \quad (\text{kN/m}^2) \quad (11.21)$$

ampirik bağıntılarını önermişlerdir. (Fleming et al., 1985), Koni penetrasyon deneylerinden derinlikle kilin drenajsız kayma mukavemeti profillerini çıkarmak ve

daha sonra 10. bölümde verilen çevre sürtünmesi, drenajsız kayma mukavemeti ve efektif jeolojik yük arasındaki ifadeleri kullanmak daha güvenlidir.

Poulos (1989) çalışmasında, Bustamante ve Gianselli (1982) çalışmasını baz olarak hem kohezyonlu hem de kohezyonsuz zeminlerde birim çevre sürtünmesinin kazıkların penetre edildikleri zemin cinsine bağlı olarak Şekil 11.14a ve b'de tariflenen eğrilerle, koni uç direnci " q_c " değerlerinin fonksiyonu olarak bulunabileceğini ifade etmiştir. Şekil 11.14a ve b'de göze çarpan eğri numaralarına karşı gelen zemin sınıfları Çizelge 11.9'da açıklanmaktadır.



Şekil 11.14 Birim çevre sürtünmesi için tasarım değerleri (Poulos, 1989)

a) Kohezyonlu zeminler

b) Kohezyonsuz zeminler

Çizelge 11.9 Şekil 11.14'te yeralan kazık tiplerinin sınıflandırılması (Poulos, 1989).

Kazık Sınıfı	Kazık tipi
IA	Tüm sondaj kazıkları, burgulu sondaj kazıkları, ankraj kazıkları
IB	Kılıflı sondaj kazıkları, yerinde dökme çakma kazıklar
II A	Prekast çakma kazıklar öngerilmeli borulu beton kazıklar su jeti ile yerleştirilen beton kazıklar
IIB	Çelik çakma kazıklar, su jeti ile yerleştirilen çelik kazıklar
III A	Çakma enjeksiyon kazıkları, şahmerdanla çakılan kazıklar
IIIB	Yüksek basınçlı enjeksiyon kazıkları, mikro kazıklar

11.3 Pressiometre Deneyi -[MPT]

Pressiometre deneyi sondaj deliği içinde yükün yanıl gerilmelerle uygulandığı bir çeşit yükleme deneyidir. Plaka yükleme, SPT, sondalama gibi deneylerin yapılamadığı örselenmemiş nümune alınması çoğunlukla güc olan derin çatlaklı kaya, bloklu zemin gibi formasyonların araştırılmasında pressiometre deneyleri hafriyat yapımını gerektirmediği için pratik ve ekonomik olmaktadır.

Yanal basınç sondası ilk kez Kögler (1930) tarafından ortaya atılmış ve bu yöntem Fransız araştırmacı, L. Menard tarafından 1950 yıllarında "Pressiometre" adlı altında geniş ölçüde geliştirilmiştir. Pressiometre aracı Şekil 11.15'te görüldüğü gibi yerüstü ölçme aygıtları (kontrolbirimi) sonda ve basınç ileten plastik borular yolkak üzere üç ana bölümden oluşmaktadır.

Kontrol ünitesi adı verilen yerüstü ölçme aygıtları, sondaya basınç veren su ve hava (veya gaz - CO₂) tüpleri ile suyun hacim değişimini gösteren volumetre ve basınç değerlerini gösteren manometrelerden ibarettir.

Sonda ile ölçme aygıtları gerekli yerlerinden birbirilerine plastik borularla bağlanmıştır. (Şekil 11.16)

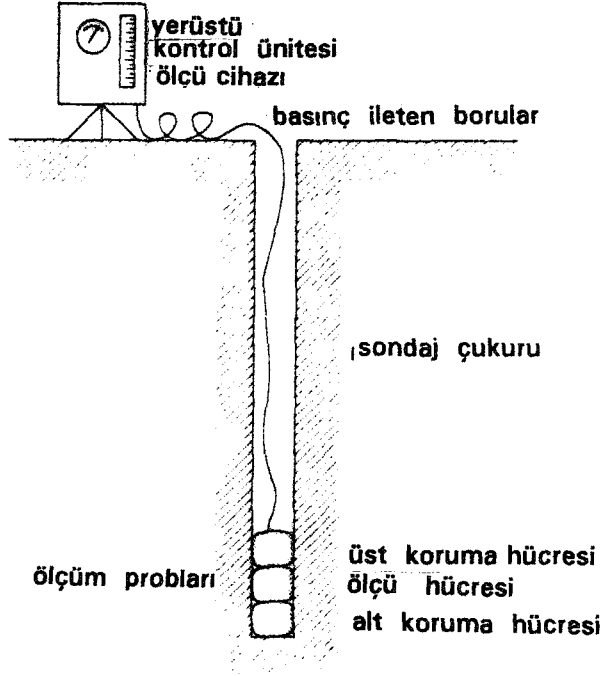
Aletin sondası, sondaj deliğine indirilebilecek çapta üç hücreden oluşan silindirik bir elemandır. Ortadaki hücreye ölçme hücresi, bunun alt ve üstündeki hücrelere ise koruma (kılavuz) hücreleri denilir.

Basınç ileten borular yerüstü ölçme cihazları ile sondanın bağlantısını sağlarlar. Ölçme hücresine giden plastik borunun hacimsel deformasyonunu önlemek için aynı eksenli iç içe iki boru geçirilir. İçteki boru su, dıştaki ise hava veya su iletir.

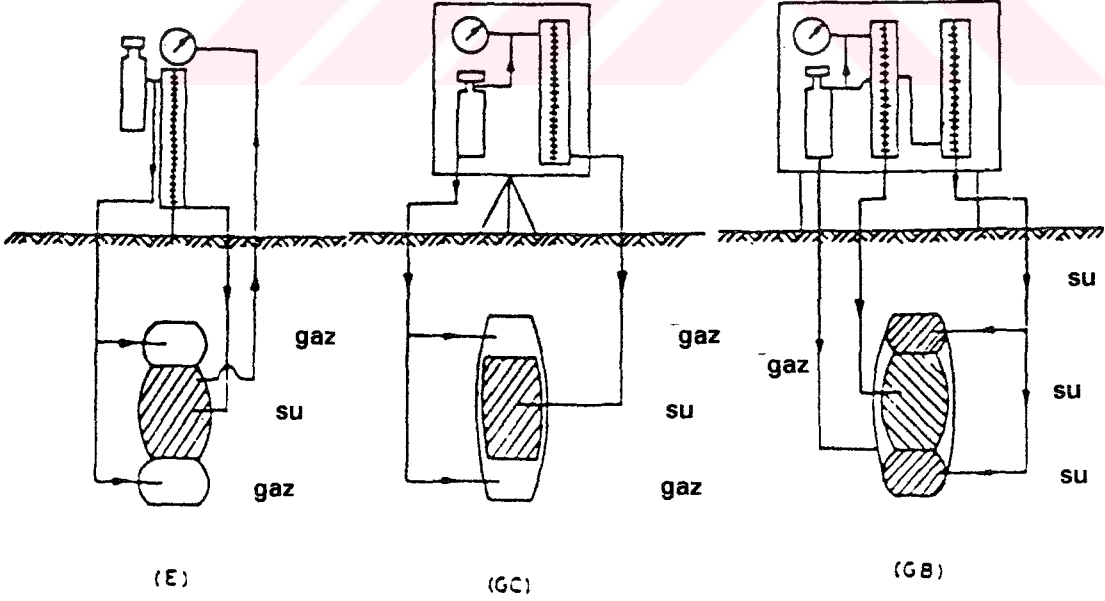
Şekil 11.16'da Menard tarafından geliştirilen üç ayrı pressiometre tipleri şematik olarak gösterilmektedir.

Sondaj deliği içerisinde istenilen derinliğe indirilen ve basınçlı su ile şişirilen ölçüm hücresi delik çeperinde aksinel simetrik bir basınç alanı doğurur. Delik yanal zeminde oluşan yatay gerilmeler, zemin danelerinin deformasyonu ile çevreye yayılarak dengelenir. Alt ve üst koruma hücreleride eşit basınç altında tutularak, ölçüm hücresi hacim artımının yalnız zemin deformasyonundan oluşması sağlanır. Ölçme hücresine uygulanan basınç altında zeminde oluşan deformasyon, hücreye gönderilen su hacmi volümetredeki sıvı sütünundan izlenilerek duyarlı bir şekilde ölçülür. (Baque-elin et al., 1978).

Pressiometre deneyinden elde edilen sonuçlar Şekil 11.17'deki gibi düzeltilmemiş bir basınç-deformasyon eğrisi ile gösterilebilir. Her bir basınç kademesinde basınç sabitleştirildikten sonra 15.30 ve 60. saniyelerde ölçme hücresindeki hacim değişimleri kaydedilir. Eşit aralıklarla (1-2-3 kg/cm²) [8 - 14] basınç artım kademesinde aynı işlemler tekrarlanarak deney [10 - 15] dakika sürede tamamlanır. Gerçek "basınç-hacim değişimi" eğrisinin elde edilebilmesi için kontrol ünitesinden okunan hacim ve basınç değerleri üzerinde gerekli düzeltmeler yapılır. Proba uygulanan gerçek basınç, basınç ileten plastik borular içindeki suyun hidrostatik basıncı nedeniyle kontrol ünitesinde okunan değerden daha büyüktür. Diğer taraftan, lastik membranın direnci nedeniyle zemine uygulanan basınç ise prob (sonda) basıncından küçüktür. Bu hussalar gözönüne alınarak basınç düzeltmeleri, benzer şekilde devredeki suyun sıkışması, boruların ve donatıların genişlemesi nedeniyle de hacim düzeltmeleri yapılmalıdır.

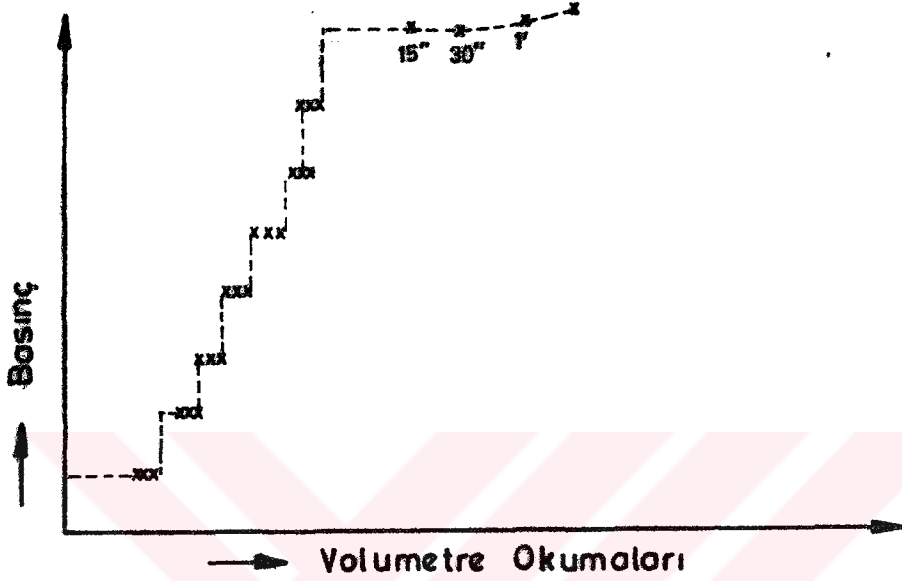


Şekil 11.15 Pressiometre deneyinin ana ilkeleri (Baquelin et al., 1978)

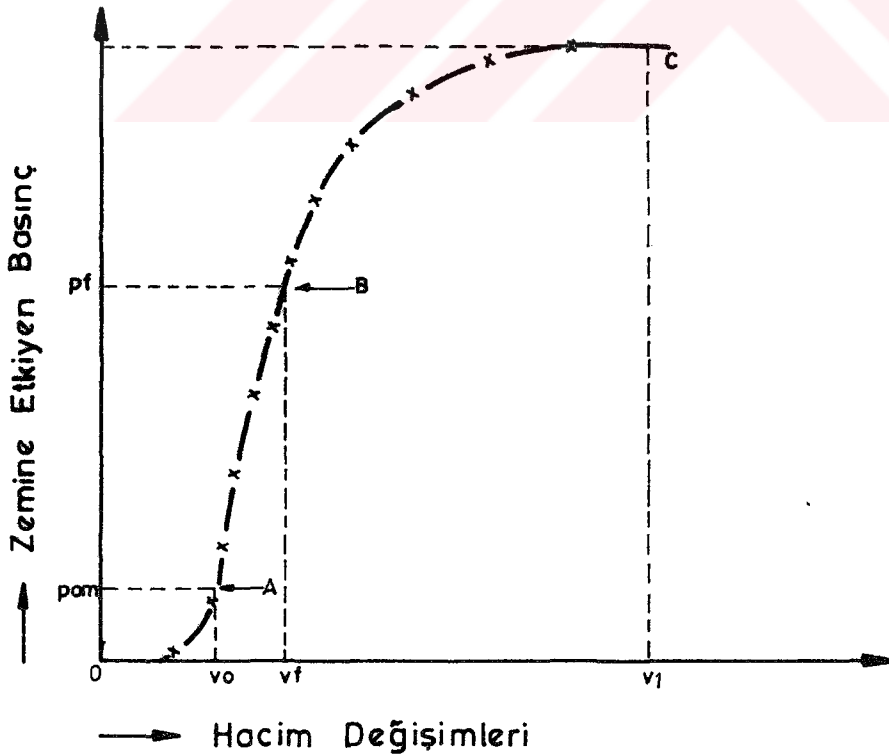


Şekil 11.16 Menard E - GC ve GB Pressiometrelerinin Karşılaştırılması (Baquelin et al., 1978).

Her bir basınç artımı sonunda basınç ve hacim okumaları düzeltilerek Şekil 11.18'de gösterildiği gibi bir basınç-deformasyon eğrisi elde edilir. Bu eğri aşağıda açıklandığı gibi üç karakteristik bölgeden oluşmaktadır.



Şekil 11.17 Düzeltilmemiş Pressiometre deney sonuçları (Baquellin ve et al., 1978)



Şekil 11.18 Düzeltilmiş Pressiometre deney eğrisi (Baquelin et al., 1978).

1. Başlangıç bölgesi - [OA] : sondaj deliğinin teşkili sırasında delik çeperinde oluşan gevşemenin yok edilmesi ve zeminde delmeden önceki gerilme durumuna geri dönülmesi nedeniyle, basınç deformasyon eğrisinin birinci bölgesidir.

2. Doğrusal eğimli bölge - [AB] : delik çeperinde aksenal simetrik yanal basınç yüklemesinden dolayı, basınç-deformasyon eğrisinin elastik evresidir.

3. Plastik bölge - [BC] : kesme deformasyonundan dolayı basınç deformasyon eğrisinin yatay bir doğruya asimptot kalacağı plastik evredir.

11.3.1 Pressiometre Deney Sonuçlarının çeşitli Zemin Koşullarında Değerlendirilmesi

Pressiometre deney sonuçlarının yorumunda ve temel tasarımlarında en önemli kavramlardan biri "net limit basınç" olarak bilinen " p_1^* " dır.

$$p_1^* = p_1 - p_0 \quad (11.22)$$

ifadesi ile tanımlanabilir. Burada;

p_1 = Teorik olarak zeminin taşıma gücü yada kırılmanın başladığı andaki limit basınç

p_0 = Pressiometre deneyinin yapıldığı derinlikteki toplam gerilmeleri göre sükunetteki yatay toprak basıncıdır. p_0 değeri (11.23) eşitliğiyle kolaylıkla bulunabilir.

$$p_0 = [\gamma \cdot z - u] K_0 + U \quad (11.23)$$

(11.23) ifadesinde ;

γ = Zeminin birim hacim ağırlığı

z = Zemin yüzünden prob merkezine olan düşey derinlik

u = Prob seviyesinde boşluk suyu basıncı

K_0 = Sükunetteki yanal toprak basıncı katsayısı olarak tanımlanabilir.

Pressiometre deney sonuçlarının yorumunda önem kazanan kavramlardan bir diğeri de " E_M " ile gösterilen deformasyon modülüdür.

Deformasyon modülü " E_M ", kayma modülü " G_M " ve poisson oranı " ν " kullanılarak zeminin elastik oluşunu kabul eden (11.24) bağıntısı ile bulunabilir.

$$G_M = \frac{E_M}{2 [1+\nu]} \quad (11.24)$$

" G_M " kayma modülü Şekil 11.18'de tanımlanan düzeltilmiş pressiometre deney eğrisindeki hacim ve basınç değerleri ve oranları kullanılarak (11.25) bağıntısıyla belirlenebilir.

$$G_M = V_M \frac{\Delta P}{\Delta V} = \left[V_c + \frac{V_o + V_f}{2} \right] \frac{\Delta P}{\Delta V} \quad (11.25)$$

Burada görülen notasyonlar aşağıda tanımlanmaktadır. (Bak. Şekil 11.18)

V_c = Ölçüm hücresinin boş hacmi

V_o = Elastik evrenini başlangıç noktasındaki hacim

V_f = Krip basıncının olduğu evredeki hacim

ΔV = Delikteki hacim değişimi

ΔP = Delikteki basınç değişimi

(11.24) bağıntısındaki poisson oranı " ν " deney süresince su muhtevası değişmeyen suya doymun killer için 0.5 değerini alırken, kısmen suya doymun zeminlerde ve deney süresince drenaja tamamen veya kısmen müsaade edilen zeminler için " ν " daha da düşük değerler olabilir. Poisson oranının $[0.33 \leq \nu \leq 0.5]$ arasında değişmesi, çoğu mühendislik probleminde G_M veya E_M kullanılmasını çok farketmemektedir.

Menard tüm zeminler için $\nu = 0.33$ seçerek deformasyon modülünün

$$E_M = 2.66 V_M \frac{\Delta P}{\Delta V} \quad (11.26)$$

eşitliği ile doğrudan doğruya saptanabileceğine işaret etmektedir.

Pratik olarak Δp , ΔV ve V_M parametreleri sırası ile

$$\Delta P = P_f - P_{oM}$$

$$\Delta V = V_f - V_o$$

$$V_M = V_c + V_f + \frac{V_f + V_o}{2}$$

alınarak deformasyon modülü

$$E_M = 2.66 \left[V_c + \frac{V_f + V_o}{2} \right] \frac{P_f + P_{oM}}{V_f - V_o} \quad (11.27)$$

bağıntısından da kestirilebilir.

Çizelge 11.10'da Baquelin ve diğerleri tarafından önerilen, kohezyonlu zeminlerde "kıvam - p_1^* ", kohezyonsuz zeminlerde ise "sıkılık - p_1^* " bağıntıları, Çizelge 11.11'de de bazı zemin koşullarına bağlı olarak " E_M / p_1 " oranları verilmiştir.

Bazı araştırmacılar, Pressiometre deney sonuçlarıyla (MPT), koni penetrasyon deney sonuçları (CPT) arasında birtakım bağıntılar önermektedirler. Baquelin ve diğerleri,

Çizelge 11.10 P_1^* değerine bağlı olarak zemin koşulları (Baqueliin et al., 1978)

Kohezyonlu zeminler (killer)		Kohezyonsuz zeminler (kumlar)				
P_1^*		Kıvam	P_1^*		Sıklık	N
[kN/m ²]	[psi]		[kN/m ²]	[psi]		
0-75	0-10	Çok yumuşak	0-200	0-30	Çok gevşek	0-4
75-150	10-20	Yumuşak	200-500	30-75	Gevşek	4-10
150-350	20-50	Orta	500-1500	75-220	Orta sıkı	10-30
350-800	50-110	Katı	1500-2500	220-360	Sıkı	30-50
800-1600	110-230	Çok Katı	> 2500	> 360	Çok sıkı	> 50
>1600	> 230	Sert				

Çizelge 11.11 " E_M/P_1 " oranına bağlı olarak zemin koşulları (Baquelin et al., 1978).

Kohezyonlu zeminler (killer)		Kohezyonsuz zeminler (kumlar)	
E_M/P_1	Kıvam	E_M/P_1	Sıcaklık
8 - 10	Turba ve yumuşak orta katı killer	4 - 7	Suya doymun, çok gevşek kumlar
10 - 20	Katı-Çok katı killer	7 - 10	Orta-Sıkı kumlar

$$[q_c^*] = q_c - q_0 \quad (11.28)$$

bağıntısıyla tanımlanan net statik koni penetrasyon direncini kullanarak " q_c^* / p_1^* " oranı ile zemin koşulları arasında korelasyon kurulmasının daha doğru olacağını savunmaktadırlar. (11.28) eşitliğinde;

$[q_0]$ = CPT deneyinin yapıldığı derinlikteki toplam düşey jeolojik basınçtır.

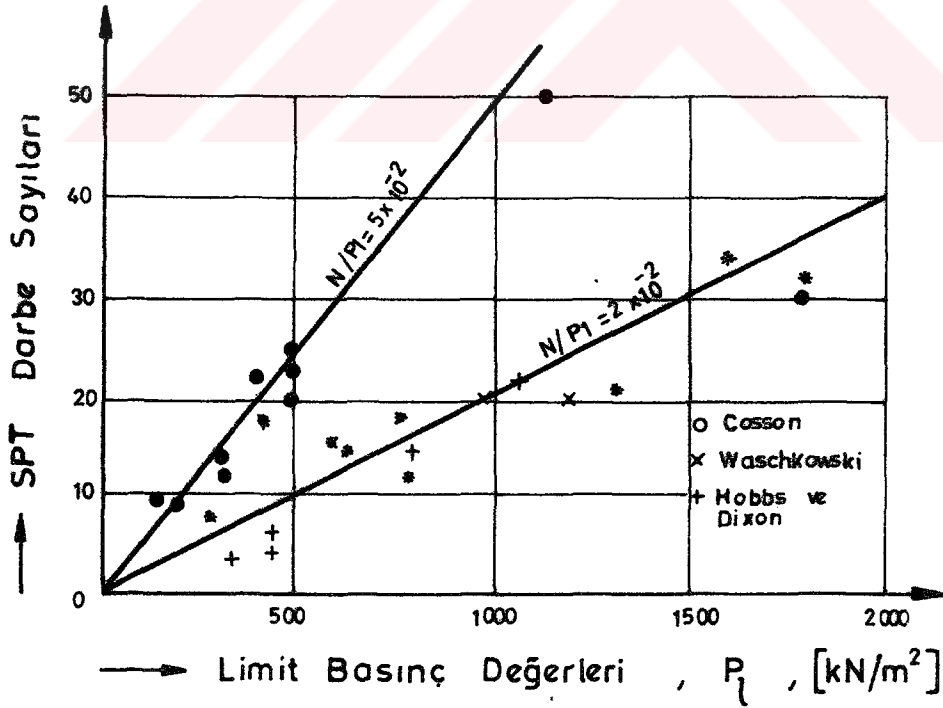
Çizelge 11.12'de aynı araştırmacılar tarafından zemin koşullarına bağlı olarak önerilen " q_c^* / p_1^* " oranları pratikte arazi incelemelerinin güvenilirliğini kontrol etmek için kullanılabilirler.

Şekil 11.19 bazı araştırmacılar tarafından elde edilen Menard Pressiometre deneyi " P_1 " değerleri ile SPT-N değerleri arasındaki korelasyonları göstermektedir. Kumlar için yaygın olarak " N / p_1 " = 2×10^{-2} değeri kabul edilir. Kil zeminlerde bu

oranın çok geniş bir dağılım içinde olması nedeniyle SPT-MPT arasında herhangi bir bağıntı önerilmemektedir. (Baquelin et al., 1978). Eğer " N / p_1 " = 2×10^{-2} kabul edilirse Meyerhof'un $q_c / N = 400 \text{ kN/m}^2$ eşitliğiyle $q_c / p_1 = 8$ elde edilir ki bu da kumlu zeminler için kabul edilebilir ortalama bir değerdir.

Çizelge 11.12 Zemin durumuna bağlı olarak " q_c / p_1 " oranları (Baquelin et al., 1978).

Zemin Durumu	$[q_c / p_1]$
Çok yumuşak - yumuşak kil	1 - 2.5
Orta-çok katı kil	2.5 - 3.5
Çok katı - sert kil	3 - 4
Gevşek kum-sıkışabilir silt	1 - 1.5
Orta sıklıkta silt	3 - 5
Kum ve çakıl	5 - 12



Şekil 11.19 N ve p_1 arasında karşılaştırma (Baquelin et al., 1978).

11.3.2. Kazık Taşıma Gücü ile Korelasyonlar

DeneySEL teorik araştırmalar, kazıklı temellerin projelendirilmesinde yerinde yapılan diğer arazi deneylerine koşut olarak pressiometre deneylerinin de yararlı bilgiler verdiğini göstermektedir. Eğer kazık teşkili sırasında zemin aşırı derecede örselenmezse pressiometre deney sonuçlarından kohezyonlu veya kohezyonsuz zeminlerdeki sürtünme kazıklarının veya kayaya oturan uç kazıklarının izin verilebilir taşıma gücü değerleri, statik kazık yükleme deneylerinden elde edilecek değerlere relatif olarak yakın bir ölçüde kestirilebilir.

11.3.2.1. Kohezyonsuz Zeminlerde

a) Birim Uç Mukavemeti

Homogen kohezyonsuz zeminlerdeki sürtünme kazıklarının nihai birim uç mukavemetleri (11.29) ifadesiyle aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$[q_p] = q_o + k [p_1 - p_o] \quad (11.29)$$

(11.29) eşitliğinde ;

$[p_1]$ = Pressiometre deneyi ile kazık ucu seviyesinde ölçülen limit basınç

$[p_o]$ = Kazık ucu seviyesinde toplam sükunetteki yatay toprak basıncı

$[q_o]$ = Kazık ucu seviyesindeki toplam düşey jeolojik basınç

$[k]$ = Pressiometrik taşıma kapasitesi faktörü

olmaktadır. Net birim uç mukavemeti ise (11.30) eşitliğiyle hesaplanabilir.

$$[q_p^*] = k p_1^* \quad (11.30)$$

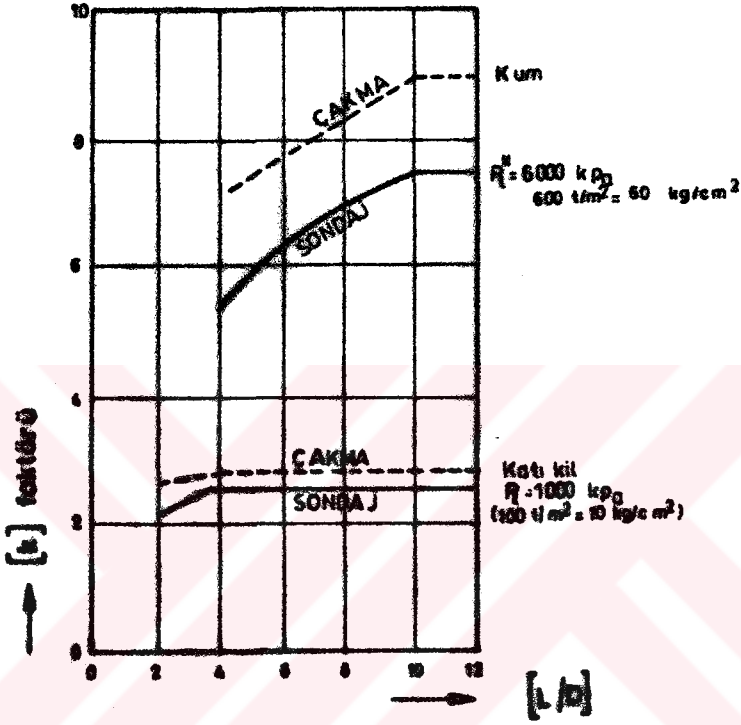
Bu ifade de ise;

$[q_p]$ = Net birim uç mukavemeti

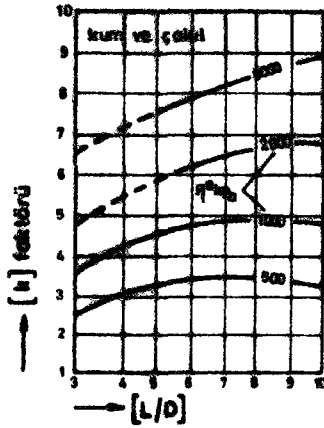
$[p_1^*]$ = Net limit basınç

şeklinde tariflenmektedir.

Baquelin ve diğeri tarafından kazık yerleştirme yöntemine, kazık geometrisine ve zemin özelliklerine bağı olarak önerilen "k" değerleri Şekil 11.20, Şekil 21, Şekil 11.22 ve Şekil 11.24'te görülmektedir.



Şekil 11.20 Kazık yerleşim yönteminin "k" faktörüne etkisi (Baquelin et al., 1978)

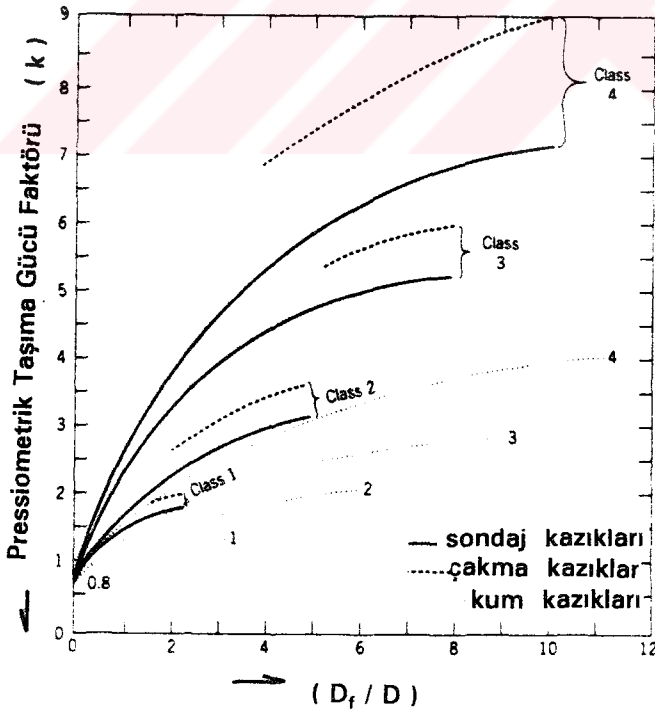


Şekil 11.21 Kohezyonsuz zeminlerde çakma kazıklar için "k" değerleri (Baquelin et al., 1978)

(11.29) ve (11.30) bağıntılarındaki "k" taşıma kapasitesi faktörünün saptanması ile ilintili olarak değişik zemin türleri ve kazık tipine bağlı olarak Çizelge 11.13 de sunulan değerlerden ve ayrıca CFEM (1985) kaynağında rapor edilen deneysel gözlem sonuçlarına göre tanzim edilen Şekil 11.22'den yararlanılabilir.

Çizelge 11.13 Bazı zemin türleri için kazık tipine göre (pressiometrik taşıma gücü faktörlerinin aldığı değerler (Hunt, 1986).

Zemin türü	Çakma Kazık	Sondaj Kazığı
Yumuşak-orta katı killer	2.0	1.8
Sert killer	3.2	2.8
Gevşek kumlar	3.6	3.2
Orta Sıklıkta çakıllı kumlar	5.8	5.2
Sıkı çakıllı kumlar	9.0	7.1



Şekil 11.22 "Uzunluk / Çap" oranının fonksiyonu olarak pressiometrik taşıma gücü faktörünün değişimi (Prakash ve Sharma, 1990).

b) Birim Çevre Sürtünmesi

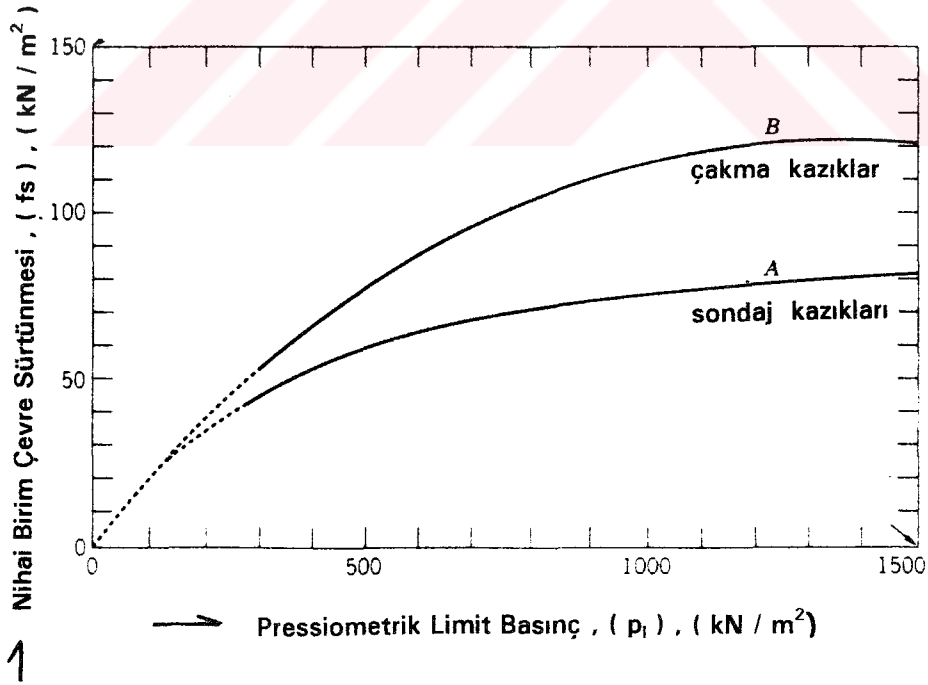
Baquelin ve diğerleri tarafından pressiometre net limit basıncının " p_1^* " fonksiyonu olarak önerilen nihai birim çevre sürtünmesi değerleri Şekil 11.23'te gösterilmiştir.

Bazı araştırmalar ayrılmış kayalardaki sondaj kazıkları dışında Şekil 11.23 teki tüm durumlar için " p_1^* " değerinin 1500 kN/m^2 üst limitiyle sınırlandırılmasını ve bu limit üzerinde " p_1^* " değerlerinin sabit kalacağını, birim çevre sürtünmesinin de 120 kN/m^2 'den büyük olmayacağını kabul edilmesini önerirler.

11.3.2.2 Kohezyonlu Zeminlerde

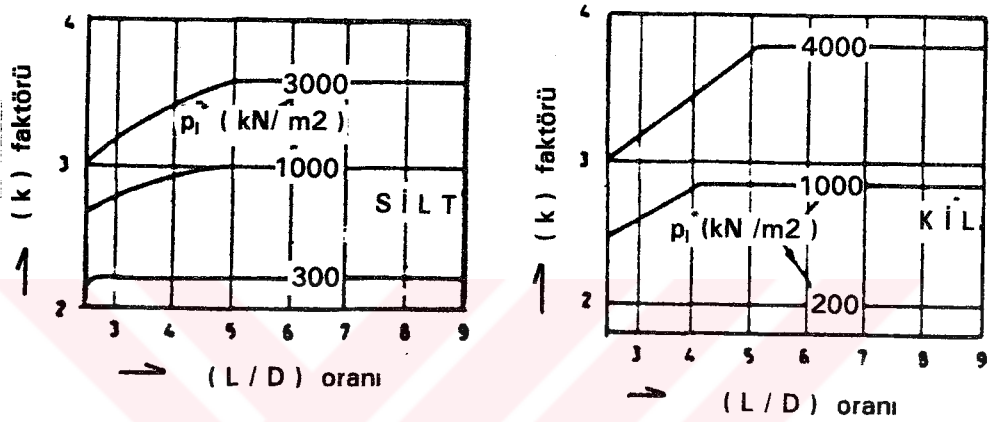
a) Birim Uç Mukavemeti

Kohezyonlu zeminlerin uçlarında taşınacak yükün belirlenmesinde de kohezyonsuz zeminler için tariflenen (11.29) ve (11.30) eşitlikleri aynen kullanılabilir.



Şekil 11.23 Kazık shaftına etkiyen birim çevre sürtünmesi, (Baquelin et al., 1978)

Ancak sözkonusu bağıntılarda yer alan pressiometrik taşıma gücü faktörleri kohezyonsuz zeminler için tariflenen faktörlerden biraz daha düşük değerler alabilmektedir. Adıgeen faktörlerin belirlenmesi için Şekil 11.20 ve Çizelge 11.13'den yararlanılabilir. Yine killi ve siltli zeminler için "net limit basınç düzeyi" ve "uzunluk/çap" oranının fonksiyonu olarak Şekil 11.24a ve b'de Baquelin et al., (1978) kaynağında önerilen faktörler hesaplarda kullanılabilir.



Şekil 11.24 Çakma kazıklar için kil ve siltli zeminlerde taşıma kapasitesi faktörleri (Baquelin et al., 1978)

b) Birim Çevre Sürtünmesi

Kohezyonlu zeminlerde pressiometre deneyi sonuçlarından yararlanarak pressiometrik limit basınç, kazık ve zemin cinsine göre nihai birim çevre sürtünmesi direkt olarak bulunabilmektedir. Bu amaçla Şekil 11.23'tekine benzer yaklaşımlardan yararlanılabilir. Bu arada Şekil 11.23'ün yatay eksenini oluşturan limit basınç değerleri olarak 1500 kN/m²'yi aşmamak kaydıyla Çizelge 11.14'te tariflenen limit basınçlar bir önyaklaşım olması düşüncesi ile seçilebilir.

Çizelge 11.14 Zemin ve kazık türüne göre bazı presimometrik limit basınç değerleri (Poulos ve Davis, 1980).

Zemin ve Kazık Türü	Pressiometrik Limit Basınç, [kN/m ²]
Granüler zemin-beton çakma kazık	122
Granüler zemin-çelik çakma kazık	82
Kohezyonlu zemin-beton çakma kazık	82
Kohezyonlu zemin-çelik çakma kazık	62
Hertür zemin - fore kazık	40

12. DÜŞEY YÜKLER ALTINDA DİNAMİK YÖNTEMLE KAZIK TAŞIMA GÜCÜNÜN BELİRLENMESİ

Çakma kazıkların nihai taşıma gücünün tayininde çok kullanılan ve bilinen en eski yöntem "çakma formülleri" yada "dinamik formüller" dir. Bu formüllerin tamamı, çakma işleminde kullanılan çekicin her darbesi için kazığın zemine giriş miktarını saptamaya yönelik olup "çakma direnci" nin statik yükler altında çekiç darbelerine maruz kazığın taşıma gücüne orantılı olduğu kabul edilmektedir. 1960'lı yıllardan beri yapılan etüd ve arazi uygulamalarının neticesinde geçerliliği lokal arazi şartları ile sınırlı olan birçok çakma formülü yada dinamik formül bulunmaktadır. Günümüzde mühendislik kayıtlarına geçirilmiş 500 civarında formül kullanılmaktadır. İlerleyen bölümlerde pratikte en yaygın olarak kullanılan dinamik formüller ve bunların inandırıcılık düzeyleri açıklanmakta ve tartışılmaktadır.

Kazık çakma formüllerinin kullanılabilirliği ile ilgili ilk gözlem ve etüdler kazığın çakma operasyonunda tutulan kayıtlardan yararlanarak emniyetli işletme yükünün tahmin edilmesi yada öngörülen işletme yükü değeri için gerekli olan (adı geçen işletme yükünü temin eden) çakma enerjisi veya darbe sayısı gibi çakma karakteristiklerinin elde edilmesi prensibine dayanmaktadır. İşletme yükü genellikle dinamik formüllerle hesaplanan nihai taşıma gücünün (yük kapasitesinin) uygun bir emniyet faktörüne bölünmesiyle elde edilmektedir. Bununla beraber adıgeçen emniyet katsayısı çakma işleminde kullanılan ekipmanların teknik özelliklerine ve özellikle de çakılan kazığın tipine bağlı olarak değişkenlik gösterir. Bu bakımdan birbirine yakın zonlarda çakılan kazıklar için bile emniyet katsayısının değişebileceği mutlaka hesaba katılmalıdır. (Poulos ve Davis, 1990).

Dinamik metodlarla kazık yük taşıma kapasitesinin tayin edilmesinde yapılan inceleme araştırma ve geliştirme çalışmalarının son durağı zemine çakılan kazığın yakın çevresinde çakım sırasında oluşan darbelerin zemine iletimi ilkesine dayalı olarak ortaya atılan "**dinamik dalga denklemleri**"dir. Dinamik dalga denklemlerinin kullanım felsefesi çakım sırasındaki yük-enerji transferini ve kazık-zemin davranışını daha gerçekçi biçimde yorumlayarak hesaplara yansıtmasıdır. Dinamik çakma dayanımına bağlı olarak çeşitli kurumlar, uygulayıcılar veya araştırmacılar tarafından geliştirilen formüllerin pek çoğu az önce de ifade edildiği gibi lokal arazi şartlarındaki

uygulamalar sırasında edinilen tecrübelerin ürünü olduğu ve lokal geoteknik ortam özelliklerinin getirdiği sınır şartlarının ötesine cevap veremediği için sonuçları açısından fazla güvenli olmamakta ve bunların yerine daha rasyonel ve gerçeğe yakın sonuçlar verdiği, kazıkların geometrik ve yapısal dizaynlarının yükleme ve zemin koşullarına daha uygun bir teknikle yapılmasına olanak verdiği için çakma formüllerinden daha inandırıcı ve mantıklı olan dalga denklemlerinin kullanılması tercih edilmektedir.

Aşağıda kazıkların nihai taşıma gücünün dinamik çakma dayanımına dayalı olarak belirlenmesi amacıyla uygulamada kullanılan "**dinamik çakma formülleri**" ve "**dinamik dalga denklemleri**" olarak bilinen iki yaklaşım ana hatlarıyla özetlenmektedir.

12.1. Kazık Çakma Formülleri

Kazık çakma formülleri kazığın statik direncini dinamik metodlarla açıklamaya yarayan ve pek çoğu Newton'un çarpma kanuna dayalı amprik ya da teorik bazı bağıntılar olup darbeler sırasındaki enerji kayıpları ve basıncın yayılışı modifiye edilmiştir.

Kazık direnci ve kazığın zeminde darbeler nedeniyle yapacağı düşey hareket (oturma) arasında kabul edilen ilinti Şekil 12.1'de görülmektedir. Şekil 12.1'in dayandığı teori, kazık malzemesini ve çekiç darbe yastığını mükemmel elastik kabul etmekte ve zemindeki atalet kuvvetleri ve kalıcı deformasyonlardan kaynaklanan enerji kayıplarını önemsememektedir.

Kazık çakma formüllerinin genel mantığı ve çatısı ilkin Taylor tarafından kurulmuş, Flaate tarafından da revize edilmiştir. Daha sonraki dönemlerde yapılan yoğun çalışmalar kazık çakma formüllerinin temel ilkelerinde değişik versiyonların tartışmaya açılmasına yol açmıştır. Şekil 12.2'de dinamik kazık formülleri ile kazık taşıma gücünün belirlenmesi amacıyla ileri sürülen teoriye uygun olarak çakma işlevini yerine getiren çekicin bir darbesi başına kazığın zemine giriş miktarı ve enerjinin taransferi görülmektedir. Adı geçen şekilde ifade edilen ve genel formülün çıkarılmasında aşağıda tanımlanan terimler kullanılmaktadır (Poulos ve Davis 1980).

[S] = Kazığın toplam penetrasyonu (Set boyunca toplam refü)

[ΔS_{pp}] = Kazığın plastik deformasyonu

$[\Delta S_{ep}]$ = Kazığın elastik deformasyonu

$[\Delta S_{es}]$ = Zeminin elastik deformasyonu

$[S_o]$ = $S - \Delta S_{pp}$

$[W]$ = Tokmak ağırlığı

$[H]$ = Tokmanın serbest düşüm yüksekliği

$[e_f]$ = Çekic (tokmak) randıman faktörü (etkili düşüş oranı)

$[e_{iv}]$ = Darbe randıman faktörü (etkili darbe oranı)

$[W_p]$ = Kazığın ağırlığı

$[A]$ = Kazığın en kesit alanı

$[L]$ = Kazık uzunluğu

$[E_p]$ = Kazığın elastik modülü

$[v]$ = Darbeden önce çekicinin hızı

$[u]$ = Darbeden sonra çekicinin hızı

$[v_p]$ = Darbeden önce kazığın hızı

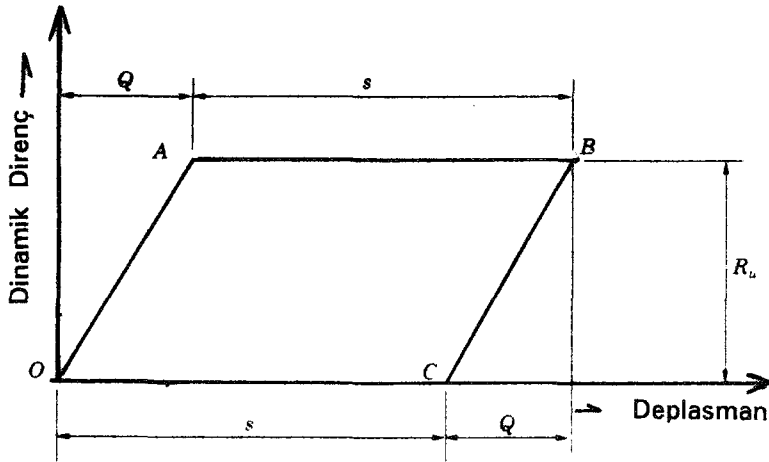
$[u_p]$ = Darbeden sonra kazığın hızı

$[g]$ = Yerçekimi ivmesi

$[Q_d]$ = Kazığın dinamik yük taşıma kapasitesi

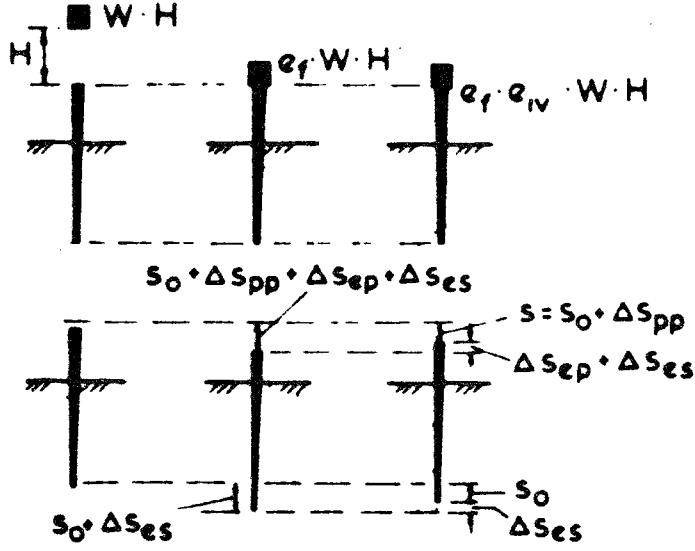
$[E_1]$ = Kazığa aktarılan enerji

$[E_2]$ = Darbeden sonraki net enerji



Şekil 12.1 Dinamik yöntemde kazık için kabul edilen yük-oturma eğrisi

(Poulos ve Davis, 1980)



Şekil 12.2 Her çekiç darbesi için kazığın zemine giriş miktarı ve enerjinin transferi (Poulos ve Davis, 1980).

Şekil 12.2'de görülen çekiç darbeleri sırasında kazığın zemine penetrasyonu ve enerji transferi mekanizmasının çalışma prosesi yakından incelenirse kazığa aktarılan enerji;

$$[E_1] = e_f WH = \frac{W^2 v}{2g} \quad (12.1)$$

Darbe randıman faktörü ise (12.2) eşitliği ile tanımlanabilir.

$$e_{iv} = \frac{[W/2g]u^2 + [W_p/2g]u_p^2}{[W/2g]v^2 + [W_p/2g]v_p^2} = \frac{E_2}{E_1} \quad (12.2)$$

Newton'un çarpışma kanunu gereğince ;

$$\frac{W}{g} (v - u) = - \frac{W_p}{g} [v_p - u_p] \quad (12.3)$$

olup elastik geri dönüş (çarpma) sayısı ise

$$[n] = \frac{u_p - u}{v - v_p} \quad (12.4)$$

şeklinde ifade edilebilmektedir. (12.2) bağıntısında $v_p = 0$ kabul edilerek u , u_p ve v elimine edilirse darbe randıman faktörü (12.5) bağıntısı ile yeniden düzenlenebilir.

$$[e_{iv}] = \frac{W + n^2 W_p}{W + W_p} \quad (12.5)$$

Darbeden sonraki net enerji (12.6) eşitliği ile tariflenebilir.

$$[E_2] = e_f e_{iv} W H = e_f W H \left[\frac{W + n^2 W_p}{W + W_p} \right] \quad (12.6)$$

Darbe sırasında yapılan iş yaklaşık olarak

$$[E_2] \equiv Q_d \left[S + \Delta S_{pp} + \frac{1}{2} \Delta S_{ep} \right] \quad (12.7)$$

ifadesi ile tanımlanabilir.

Zeminin elastik deformasyonu ihmal edilirse Hooke kanunu uyarınca kazının elastik deformasyonu

$$[\Delta S_{ep}] = C \frac{Q_d L}{A \cdot E_p} \quad (12.8)$$

bağıntısı ile açıklanabilir. (12.8) eşitliğinde "C" parametresi kazığın üst kısmındaki deplasmanın Hooke kanunu gereğince oluşacak deplasmana oranı biçiminde tariflenebilir.

(12.6), (12.7) ve (12.8) eşitlikleri birlikte değerlendirildiğinde,

$$Q_u = \frac{e_f W H}{S + [C \cdot Q_d L] / [2 A E_p] + \Delta S_{pp}} \times \left[\frac{W + n^2 W_p}{W + W_p} \right] \quad (12.9)$$

genel bağıntısı elde edilir.

12.2. Pratik Çakma Formülleri

Yukarıda (12.9) ifadesi ile verilen genel formül çakma işleminin mekanizmasında etkili olan birçok faktörü hesaba katmasına rağmen Newton'un çarpışma kanununun mekanizmadaki geçerliliği çarpışmadan sonra kazığın hareket serbestisi zemin tarafından sınırlandırıldığı için sorgulanmaya açıktır. Terzaghi yapmış olduğu teorik çalışmalar sonucunda (12.9) eşitliği ile tanımlanan genel formülün olayın mekanizması ile tam olarak uyum sağlayamadığını öne sürerek bu haliyle kullanılmasının önemli ölçüde tahmin hatalarına yol açtığını savunmuş bazı idealleştirmeler ve basitleştirmeler yapılarak daha pratiğe uygulanır hale getirilmesi

gerektiğini önermiştir. Terzaghi (12.9) bağıntısının yerine bazı basitleştirmeler ve kısaltmalar yapıp bazı amprik sabitleri ve katsayıları da formüle ikame ederek (12.10) eşitliği ile verilen pratik çakma formülünün kullanılmasını savunmaktadır.

$$[e_{iv} e_f W H] = \Lambda \frac{1}{2} \frac{Q_d^2 L}{A E} + Q_d \cdot S \quad (12.10)$$

(12.10) ifadesinde;

$[e_{iv}]$ = Darbe randıman faktörü

$[e_f]$ = Çekiç (tokmak) randıman faktörü

$[\Lambda]$ = Zemin ve çekiç darbe yastığının elastik sıkışmasını içeren bir faktör.

(12.10) eşitliğinin sol tarafı darbe başına kazığa iletilen enerjiyi ifade etmekte, sağ tarafındaki ilk terim "Q_d" nihai yükü altında kazığın statik sıkışması olarak hesaplanan, kazığın elastik deformasyonu sırasında emilen enerjiyi göstermekte, ikinci terim ise zeminin plastik deformasyonu sırasında emilen enerjiyi temsil etmektedir.

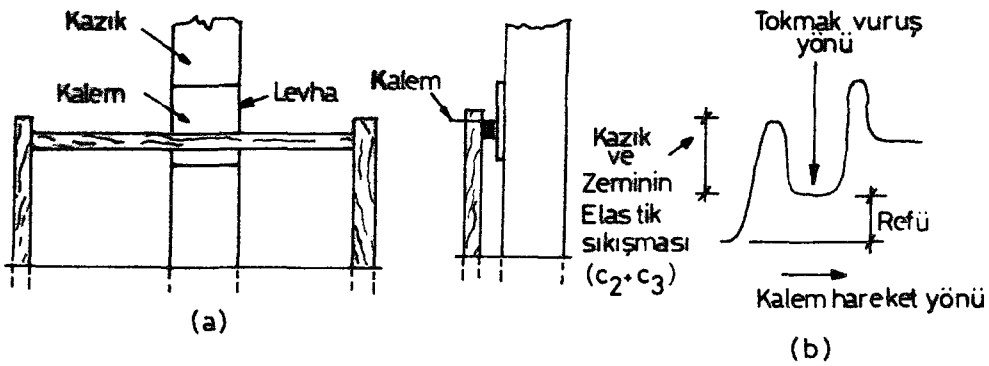
Çizelge 12.1 Pratikte kullanılan bazı dinamik kazık formülleri (Poulos ve Davis, 1980).

Formül	Dinamik Kazık Direncinin Hesaplandığı Bağıntı	Açıklamalar
Sanders	$[W H / [S]]$	Enerji kaybı ihmal edilmiştir
Engineering News	$[W H / [S + C]]$	Serbest dönüşümlü 2.5 cm tokmaklar
		Buharlı 0.25 cm tokmaklar
Eytelwein [Dutch]	$[W H / [S] \cdot W / [W + W_p]]$	
Weisbach	$[-SAE_p/[L] + \sqrt{[2WHA_pE_p/[L] + [SA_pE_p/[L]^2]}]$	
Hiley	$[e_f W H / [S + 1/2 [c_1 + c_2 + c_3]] [W + n2W_p/[W + W_p]]]$	Çizelge 12.2, 12.3 ve 12.4'e bakınız
Janbu	$[1 / k_u] [WH/S]$	$k_u = c_d[1 + \sqrt{1 + [\lambda_e/c_d]}]$ $c_d = 0.75 + 0.15 [W_p/W]$ $\lambda_e = WHL / A_pE_p$
Danimarka	$[e_f W H / S + \sqrt{2e_f WHL / AE_p}]$	e_f değerleri için Çizelge 12.2'ye bakınız
Gates	$5.6 \sqrt{e_f W H} [\log [10/S]]$	Birimler [inç] ve [ton] alınmalıdır.
	$4.0 \sqrt{e_f W H} [\log [25/S]]$	Birimler [metrik ton] = [1000 kg] ve cm alınmalıdır.

Güntümüzde pratik uygulamalarda en çok kullanılan dinamik kazık formülleri ve bazı formüllerin içerdiği önemli katsayılar Çizelge 12.1, Çizelge 12.2, Çizelge 12.3 ve Çizelge 12.4'te görülmektedir.

Çakma sırasında kazık ve zeminin sıkışması belirlenebilir (Şekil 12.3). Bazı dinamik kazık formüllerinde bütün enerji kayıpları hesaba katılmaz. Örneğin, basit formüllerde kazık ağırlığının ihmali, uygulanan çakma enerjisinin düşük olması durumunda direnç değerinin hatalı bulunmasına neden olur. Diğer bazı formüllerde ise kazık tarafından alınan enerji ihmal olduğundan hafif bir tokmakla çakılan ağır kazıklarda refü oldukça küçük olacak ve direnç yanlış hesaplanacaktır (Broms, 1981). Çizelge 12.2 Tokmağın "etkili düşüş oranı" faktörleri (Poulos ve Davis ,1980).

Tokmak Cinsi	[e_f]
Serbest düşümlü	1
Mandalın açılması ile düşen halat ve sürtünmeli vinçli	75
Tek etkili şahmerdan	0.75 - 0.85
Çift etkili şahmerdan	0.85
Karışık şahmerdan	0.75
Dizel şahmerdan	1



Şekil 12.3 Kazık ve zeminin elastik kısalmaları (Yetimoğlu, 1988).

Çizelge 12.3 Hiley Formülündeki c_1 , c_2 ve c_3 parametreleri (Poulos ve Davi, 1980).

Kazık Cinsi	$[c_1]$	Çakma sırasında kazık başına gelen gerilme			
		35 kPa	70 kPa	105 kPa	140 kPa
Çelik kazıklar veya boru kazıklar					
• Doğrudan kazık başına					
• Ahşap takozlu, çelik başlıklı					
• 1 cm kalınlığında iki çelik levha arasında 0.5 cm'lik fiber contalı					
Betonarme Kazıklar					
• Kazık başına [1-2] cm kalınlığında bir altlık					
• Kazık başlığı içinde [7.5-10] cm. kalınlığında yastık + darbe takozu					
Ahşap Kazıklar					
• Darbeler doğrudan kazık başına					
$[c_2]$		$[Q_d L / A_p E_p]$			
$[c_3]$		Kazık çakımı sırasında zeminde oluşan geçici sıkışmalara bağlı olarak [2.5 - 5.0] cm.			

(*) : Kazığın başındaki darbe takozu ve yastığının kısılması

(**) : Kazığın elastik kısılması

(***) : Zeminin elastik kısılması

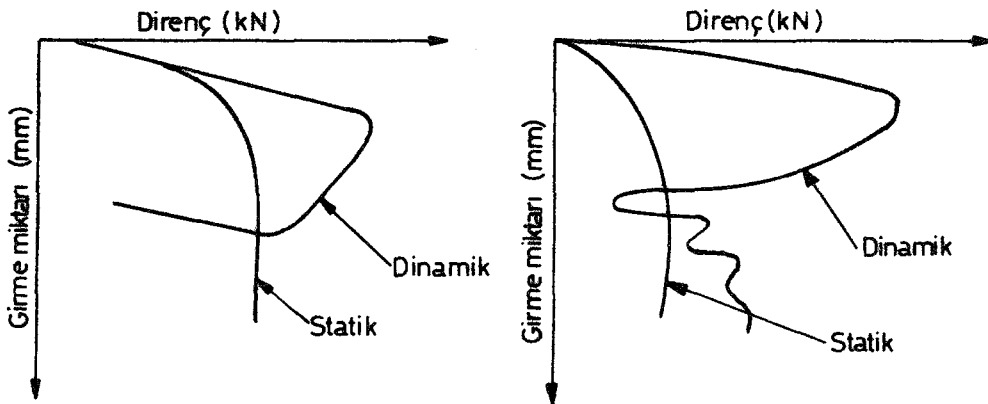
Çizelge 12.4. Çarpma sayısının temsili değerleri (Poulos ve Davis, 1980).

Kazık Cinsi	n
Harabolmuş ahşap	0
Ucu bozulmamış ahşap kazık	0.25
Sağlam ahşap yastıklı çelik kazık	0.32 – 0.40
Çelik başlıklı çelik veya beton kazık	0.5
Başlıksız beton kazık üstüne dökme demir tokmakla vurulması halinde	0.4

Dinamik kazık formüllerinde yapılan diğer önemli bir kabul de " Q_d " dinamik direncinin kazığın statik taşıma gücü " Q_u "ya eşit olmasıdır. Gerçekte statik kuvvetlere bağlı olarak elde edilen gerilme şekil değiştirme bağıntıları ile dinamik kuvvetler ve özellikle çarpma için olan bağıntılar çok farklıdır. (Şekil 12.4).

Dinamik kazık formülleri ile yalnız kazık ucunun taşıyabileceği yük tahmin edilebilir. Bu formüllerde kazık boyu dolayısıyla çevre sürtünmesi gözönüne alınmaz. Oysa yumuşak silt ve killere çakılmış yüzen kazıkların taşıma kapasitesinin büyük bir kısmını çevre sürtünmesi oluşturur. Ayrıca ince kum, suya doygun katı kil ve silt zeminlerde çakma süresince kazık ucuna yakın bölgede oluşan yüksek artık boşluk suyu basınçları nedeniyle hesaplanacak statik taşıma gücü, kazık çakma formülleriyle hesaplanan kazık penetrasyon direncinden oldukça düşük olabilir. Küçük refü değerleri, çakma işine bir müddet bekledikten sonra devam edilirse tekrar artacağından dinamik kazık çakma formülleri bu tür zeminlerdeki bir kazığın taşıma gücü için güvenilir sonuçlar vermezler. Dinamik kazık çakma formülleri, çakma süresince kazık penetrasyon direncinin kademeli olarak arttığı zamanlarda yalnızca kohezyonsuz zeminlerdeki kazıkların taşıma gücü hesapları için kullanılmalıdırlar (Broms, 1981).

Dinamik kazık formülleri ile taşıma gücü hesaplarında büyük emniyet katsayısı seçimi ise büyük projelerde kazık sayısı seçimi ise büyük projelerde kazık taşıma kapasitesinin yükleme deneyleri ile belirlenmesi gerekliliğini göstermektedir.



Şekil 12.4 Statik ve dinamik kuvvetler için gerilme - şekil değiştirme diyagramları (Broms, 1981)

Nihai yük kapasitesini vuruş başına kazık hareketine göre tayin etmeye yarayan dinamik çakma eşitlikleri çakma sırasında gösterilen direncin statik koşullardaki dirence eşit olduğunu varsaymaktadır. Goble ve Rausche (1980) çalışmasına göre çakma eşitliklerinin taşıma gücünün tahmin edilmesinde yetersiz kalmasının başlıca su üç nedene bağlanabileceği Yıldırım ve Özyayın (1994) kaynağında ifade edilmektedir.

1. Dinamik eşitliklerde yalnızca tahmin edilen enerji kaybı ve sağlanan enerji dahil edilmektedir. Çakma sistemindeki kayıpların tahmini fazlaca basitleştirilecek kötü ekipman performansı eşitliklere tam yansıtılamamaktadır.

2. Eşitlikler çıkartılarken kazığın rijitliği düşünülmemekte ve bükülebilirliğinin etkisi ihmal edilmektedir.

3. Zemin modelinde sabit zemin direnci varsayılarak gerçekten uzaklaşmaktadır. Dinamik direncin statik dirençten fazla olması kaçınılmazdır.

Bu eleştirilere rağmen doğruluğu özellikle yükleme deneylerine göre sınanmış eşitliklerin pratikte iki kullanım amacı olabilir.

a) Kazık çakma verilerine göre bir kazık için güvenle taşınacak yük tahmin edilebilir.

b) İstenilen servis yükü için çakma gereksinimlerini saptamak amacıyla yararlı olabilir.

Çakma eşitliklerinin çoğu Newton'un çarpışma teorisini esas almış olup çarpma sırasındaki enerji kaybı ve gerilmelere göre değiştirilmiş, modifiye edilmişlerdir. Kazık ve yastık malzemeleri tam elastik varsayılmakta, zemindeki hariç geriye dönmez deformasyonlardan kaynaklanan enerji kayıpları gözönüne alınmamaktadır.

12.3. Gerilme Dalgası Teorisine Dayalı Kazık Çakma Formülleri (Dalga Denklemleri)

Dalga denklemi yaklaşımı, kazığın malzemesine göre değişen esnekliğini, zemin direncinin kazık boyunca artımını ve ayrıca çakma sırasında meydana gelen enerji kayıplarını diğer dinamik kazık formüllerine göre daha detaylı olarak hesaplara yansıtılabilen bir yöntemdir. Bu yöntemde kazığın elastik bir çubuk gibi davranıldığı kabul edilerek, dalga denklemi Newton'un ikinci kanunundan,

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{E}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (15.1)$$

şeklinde lineer bir denklem olarak verilmiştir. (Poulos ve Davis, 1980)

Burada,

$[u] = t$ zamanında kazığın başından bir y mesafedeki elemanın yer değiştirmesi,

$[E] =$ Young modülü

$[\rho] =$ Kazığın özgül kütlesi dir.

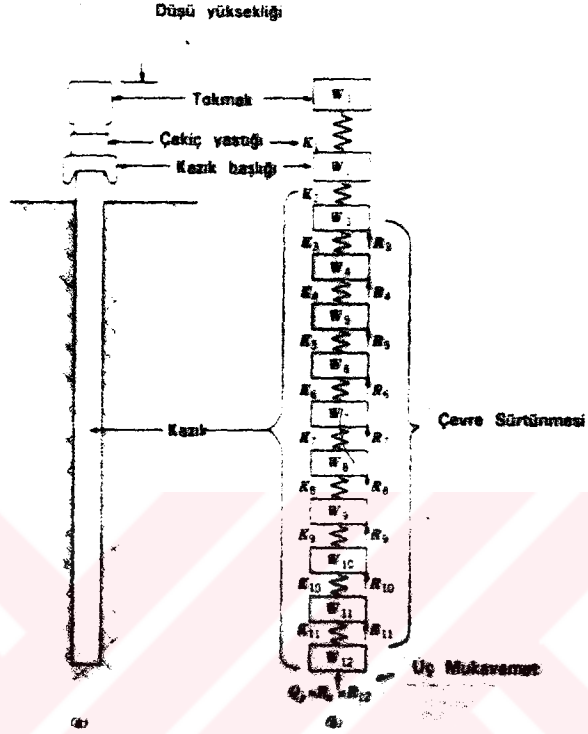
Dalga denklemi yaklaşımında, kazık ve çakma sistemi bir seri kütle ve yayla modelize edilir. Zemin direnci ise, zeminin dinamik ve statik parçaların birleşmesinden oluştuğu kabul edilerek, elasto-plastik yay ve lineer yağ kutularıyla gösterilir. Smith tarafından geliştirilen kazık ve bunu temsil eden sonlu eleman modeli şekil 12.5'de, zemin direncinin modelize edilmesi ise Şekil 12-6'de verilmiştir.

Şekil 12.5 ve 12.6'da gösterilen kazık ve çakma sisteminde kazık parçasına etkiyen kuvvetler kazık parçasının deplasmanına ve zemin direncine neden olurlar. Böylece Newton'un ikinci kanunundan parçanın belirli bir andaki ivmesi hesaplanır. Elemanın ivmesi çok kısa zaman arttırmalarından integre edilerek hız ve deplasman bulunur. Üretici tarafından belirlenmiş tokmağın başlangıç hızı ile başlatılan analiz, komşu parçalar arasındaki yay basınçlarının hesaplanması ile tamamlanır. Böylece herparçada analiz boyunca hesaplanan R_u kuvvetlerinin toplamı ile kazığın nihai statik taşıma kapasitesi elde edilir.

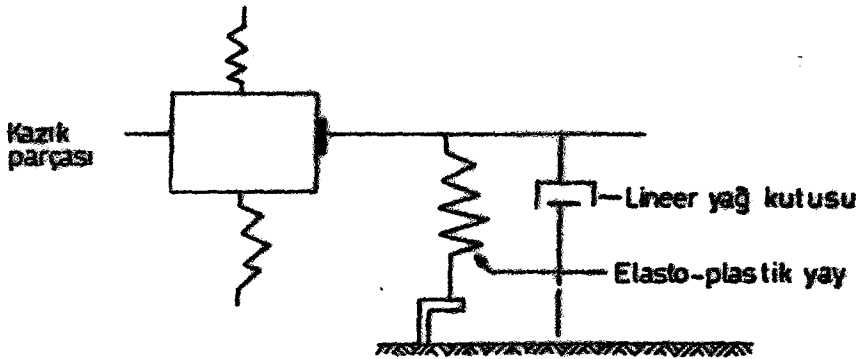
Dalga denklemleri ile taşıma gücü hesaplarında sistemin ve zeminin bütün fiziksel özelliklerinin bilinmesi gerekir. Bu yaklaşım ile diğer taşıma gücü hesap yöntemlerine oranla daha gerçeğe yakın sonuçlar elde edilebildiği gibi, çakma işlemi sırasında kazıkta oluşan gerilmelerin belirlenmesi, çekicinin uyguladığı darbelere kazığın dayanıp dayanamayacağı, çakma için uygun çekiç tipi ve ağırlığının seçimi gibi bilgilerin de elde edilmesi bu yöntemle olanaklıdır.

Thompson ve Chritchfield 6 deney kazığı üzerinde yapmış oldukları araştırmalar sonucunda kazığın zeminde 1 inç (2.54 cm) ilerleyebilmesi için uygulanması gereken darbe sayısı arttıkça nihai dinamik direncin de artış gösterdiğini Şekil 12.7 deki gibi göstermektedirler. Şekil 12.7'de de izlendiği gibi dinamik kazık direnci küçük darbe sayıları için hızlı bir artış gösterirken özellikle [5 - 10] darbe

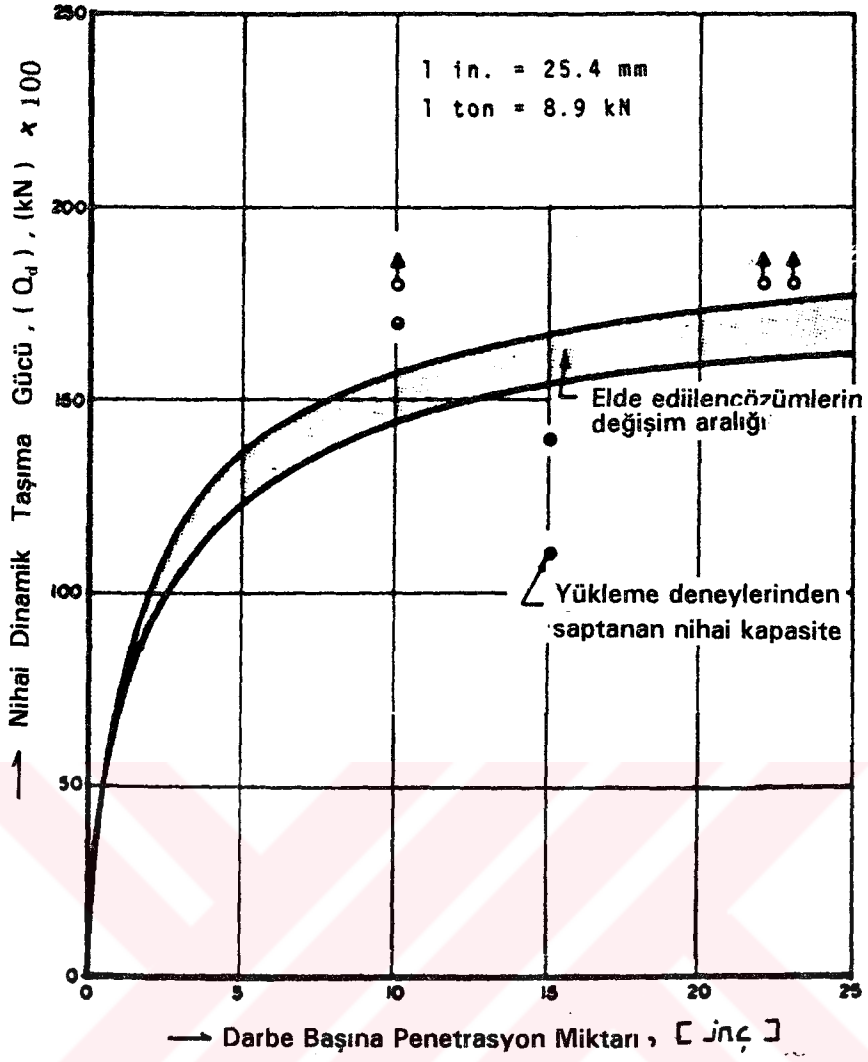
sonrası birden yavaşlamakta ve 20 darbeden sonra da sabitleşme temayülü göstermektedir (Fuller, 1979).



Şekil 12.5 Smith Gösterimi, (a) Kazığın çakılmış duumu, (b) dalga denklemi ile çözüm için bir kazığın sonlu fark modeli. (Poulos ve Davis, 1980).



Şekil 12.6 Zemin direncinin modelize edilmesi.



Şekil 12.7 Nihai dinamik direncin (taşıma gücünün) darbe sayısı ile değişimi (Thampson ve Chritchfield, 1979).

13. KAZIK YÜKLEME DENEYLERİ VE DENEY SONUÇLARININ KAZIK TAŞIMA GÜCÜNÜN BELİRLENMESİNDE KULLANILMASI

Laboratuvar deneyleri ve arazi incelemeleri sonunda elde edilen veriler ışığında amprik ya da yarı amprik eşitliklerle tahmin edilen kazık taşıma gücünün kazık yükleme deneyleri ile doğrulanmasında büyük yarar vardır (Yıldırım ve Özaydın, 1994).

Yükleme deneyleri şu amaçlara hizmet etmektedir:

1- Kazıklı temel tasarımındaki varsayımları doğrulamak amacıyla sözleşmelerde deney kazığı ya da kazıkları yapılması önerilmektedir. Elde edilen bulgulara göre en uygun kazık tipi ve boyutları belirlenecektir. Böylece tasarım amacıyla yapılacak kazıkların davranışını kestirebilmek ve denetlemelerinde kriter koymak mümkün olabilecektir.

2- Sözleşme gereği yapılan bir deney kazığı bir önceki aşamadaki bulguları doğrular nitelikte ise en az iki adet daha imal edilerek asıl tasarım kazıklarının denetlenmesinde birbirinden farklı verilerin kıyaslanabilmelerine olanak sağlanmalıdır.

3- Projede yer alan asıl kazıkların yapımından sonra kazıklı temel tasarım yaklaşımlarının doğruluğunun ispatlanması için "kanıtlama" deneyleri yapılmalıdır. Bu deneyin yapılmasındaki esas amaç yapımıcının kullandığı teknikle kusursuz bir kazık inşa edilebildiğinin gösterilmesidir. Burada oturmalar için bir limit getirilmiştir. Bu sayede temelin oturmalarının belirli sınırlar içinde kalması garanti altına alınır. Deneyin bir diğer amacı da yapımçıya kalite düzeyi öğretisi kazandırmasıdır.

Kazık yükleme deneyleri için sayı seçimi genelde zemin koşullarındaki değişim ve yapımıcının genelde ulaştığı kalite düzeyi ve denetimin kalitesine bağlıdır (ASTMD. 1143, 1989).

Kazık deneyleri için çoğunlukla kullanılan ancak çoğu kez kullanılışlarında müştereklik bulunmayan önemli bazı terimler aşağıda tariflenmektedir (Yıldırım ve Özaydın, 1994).

a. Nihai taşıma gücü- $[Q_u]$ = Zemin direncinin tümüyle mobilize olduğu yük, kazık tabanı çapının belirli bir yüzdesinde düşey deplasmana yolaçan yük gibi tarif edilebilir.

b. Tasarım yükü- $[Q_d] = \left[\frac{Q_u}{F} \right]$ Negatif çevre sürtünmesi yükü olmaksızın tek bir kazığa güvenle yüklenebilecek yüküdür.

c. İzin verilebilir yük $[Q_a] = [Q_d \times R_f]$ = Tasarım yükünde negatif sürtünme, kazık aralığına bağlı grup etkisi, izin verilebilir oturma, kazık ucu altında özelliği farklı zemindeki taşıma gücü göze alınarak yapılacak bir azaltma ile birlikte bir kazığa gelmesine izin verilebilecek yük anlamına gelmektedir. "R_f" azaltma faktörünü göstermektedir.

d. Kazığa gelen yük: Bir kazığa isabet edeceği teorik olarak hesaplanan yüküdür. İzin verilebilir yükü aşmaması tavsiye olunur. Kavram yanlışlığına düşmemek için bu terim yerine "çalışma yükü" teriminin kullanılmaması gerekir.

e. Kanıtlama yükü: Genellikle tasarım yükünün %150'sidir.

13.1. Statik Kazık Yükleme Deneyleri

Statik kazık yükleme deneylerini yük yükleme düzenekleri ve düşey yöndeki hareket ya da deformasyonları ölçmeye yarayan alet ve ekipmanlar olmak üzere iki ana başlıkta yukarıda değinilen esaslara uygun olarak inceleyebiliriz (ASTM D. 1143, 1989)

13.1.1. Yük Yükleme Düzenekleri

Şekil 13.1a'da tipik bir örneği görülen kazığa düşey yönde basınç yükü uygulayan yükleme düzeneği test kazığının her iki yanına yerleştirilen iki ankraj kazığından ibarettir. Deney kazığı ile ankraj kazıkları arasındaki girişimi minimize etmek için ankraj kazıklarının ekseni ile deney kazığının ekseni arasındaki mesafe en az deney kazığı çapının 5 misli olmalıdır. Şekil 13.1a'da görülen bir reaksiyon kirişi ankraj kazıklarının üstüne yerleştirilir ve test kazığının hemen üzerine merkezlenerek monte edilen hidrolik esaslı krikoya deney yüklerini aktarır. Reaksiyon kirişinin deney yükleri ile yüklenmesi durumunda ankraj kazıkları çekme gerilmelerine maruz kalırlar. Şekil 13.1a'daki düzende ayrıca kazığın yüklenmesi nedeniyle ortaya çıkacak deformasyon ve deplasmanların sağlıklı bir biçimde ölçülmesi ve ölçüm hatalarının minimize edilmesi için dijital göstergelerin altına referans kirişleri yerleştirilmektedir.

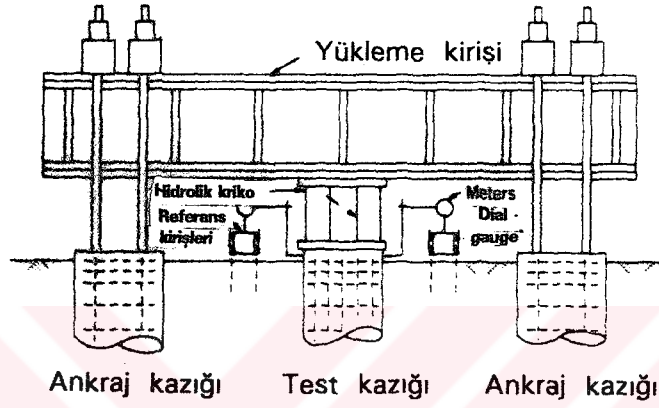
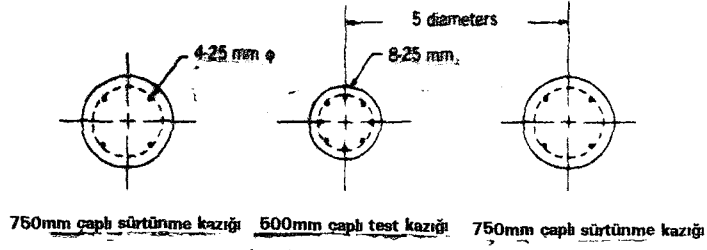
Şekil 13.1b'de görülen yükleme düzeneğinde bir kazık grubunun yüklenmesi açıklanmaktadır. Yükleme deneyine maruz kalacak kazık grubunun üzerine beton bir platform tesis edilir.

Bu platformun üstüne ezilmeleri ve zımbalanma riskini elimine etmek için yerleştirilen rijit levhanın üzerinde bir hidrolik kriko yer almaktadır. Bu düzenekte yüklerin şiddeti daha büyük ve reaksiyon modülleri daha farklı olduğu için zemin koşullarına da bağlı olarak en az iki dizi ankraj kazığı kullanılmakta ve bunlar doğrudan yüklemeyi yapan çelik profil kesitli deney kirişlerine değil, bu kirişlere yine çelik profillerle bağlanan kirişlere mesnetlenmektedirler. "Dial gauge"ler bu düzenekte yukarıda değinilen ve kazık grubunun müşterek davranışını ortaya koyan beton platforma sabitlenmiştir.

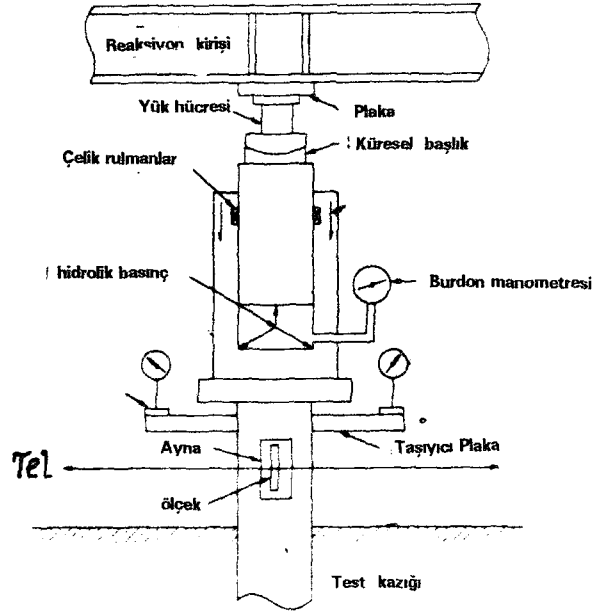
Şekil 13.2 ankraj kazıklı ve reaksiyon kirişli sistem'in yerine alternatif olarak gerekli hallerde kullanılabilen ahşap tomruk ve blok kesimli taş kütlelerin kullanıldığı yükleme düzeneklerine bazı örnek gösterimler yer almaktadır. Bu sistem literatürde "ölü yük yükleme sistemi" olarak anılmaktadır. Ölü yük [1-2] m³lük beton blok veya en az 2 tonluk çelik kiriş ve donatı demetleriyle yapılabilir. Bazı durumlarda ray parçaları ve su tankının kullanıldığı da görülmektedir. Sistemde yeralan referans kirişleri U veya kutu kesitli olup en az 1 m derine gömülmüş metal ayaklara oturmalı ve sıcaklık-boy değişimlerinin eğilmeye yol açmaması için bir mesneti serbest kayma yapabilmeye uygun olmalıdır.

13.1.2. Düşey Yöndeki Hareketleri Ölçen Alet ve Ekipmanlar

Kazık yükleme deneylerinde düşey yöndeki hareketlerin ölçümü için başlıca iki sistem uygulanabilir. Bunlar sırası ile kazık başındaki düşey deplasmanı ölçen sistem ve kazık uzunluğu boyunca gerilme farklarının ölçüldüğü sistem olarak tariflenmektedir. Hemen her kazık yükleme deneyinde kazık başının düşey yöndeki hareketi ölçülmektedir. Kazık uzunluğu boyunca gerilme farklarının ölçülmesi sözkonusu kazıktan o kazığı çevreleyen zemine aktarılacak yük transferinin zemindeki dağılımını önceden kestirebilmek amacıyla kullanılabilir. Aşağıda az önce değinilen ölçüm sistemleri genel özellikleri ile kısaca açıklanmaktadır.



Şekil 13.1a. Kazığa düşey yönde basınç yükü uygulayan tipik bir deney düzeneği (Prakash ve Sharma, 1990).



Şekil 13.1b. Kazık grubunun yüklenmesi (Prakash ve Sharma, 1990).

13.1.2.1. Kazık Başının Düşey Yöndeki Hareketini Ölçen Sistemler

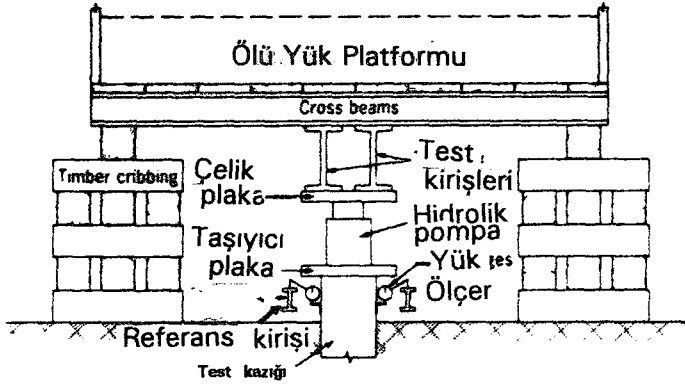
Kazık başının ya da üst ucunun düşey yöndeki hareketini belirlemek için kullanılan en yaygın ölçü sistemleri "**mikrometre**" yardımı ile "**çelik halat - ayna - cetvel düzeneği**", "**topoğrafik ve elektriksel ölçüm sistemleri**" olarak bilinmektedir (ASTM D. 1143, 1989).

Mikrometrelili ölçüm sistemlerinde en az iki, mümkünse dört adet mikrometre test kazığının zıt yönlerinde eşit uzaklıklarda ve birbirine paralel referans kirişlerinden destek alacak konumda yerleştirilmelidirler. Yeri sabit ve test kazığının hareketlerinden bağımsız olması gereken referans kirişlerinin test kazığından en az 2.5 m. uzakta tesis edilmesi tavsiye edilmektedir. Referans kirişleri mikrometre v.b. ölçüm aletlerine mesnetlik yapabilecek sağlamlıkta olmalı, okuma sonuçlarını etkileyecek titreşimleri üzerinde yer alan ölçüm aletine yansıtmayacak kadar rijit olmalıdır. Nitekim bu söylenenlere ek olarak referans kirişleri ahşap malzemedeki yapılmış olduğu takdirde sıcaklık değişimlerinin mikrometre ile yapılan okuma sonuçlarını etkileyemeyeceği tecrübe edilmiştir. Referans kirişlerinin çelik malzeme üzerinde etkili olacağı düşünülerek kirişlerin yatay yönde boy değişimi yapması kısıtlanmamalıdır (Prakash ve Sharma, 1990). Mikrometreler krikonun altındaki çelik levhalara değil, kazık başından çıkan levhalara dayandırılarak levhanın yapacağı deplasmanın ölçümlere yansımaları önlenmelidir. En az 50 mm. kapasiteli, 0.10 mm. incelikli (tercihen 0.01 mm. hassasiyetli) seçilmelidir (Şekil 13.3a).

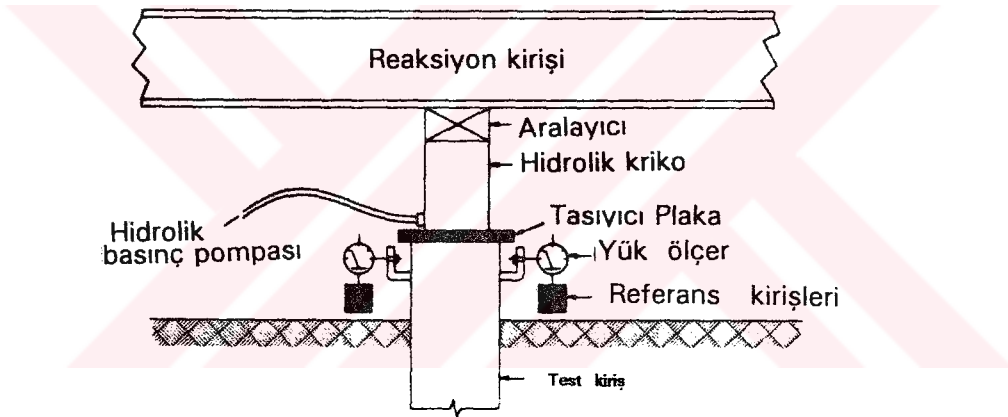
"**Çelik halat - ayna - cetvel**" başlığı ile literatüre geçen ölçüm düzeneğinde ise kazığın her iki yanına gerili vaziyette yerleştirilmiş iki çelik halat bulunmaktadır. Halatların bir uçtan diğer uca gerildikleri ayakların arasındaki uzaklık koşulu referans kirişindeki gibidir. Çelik halatların yerine piano telleri de kullanılabilir. Kazıktan 25 mm. uzaklıkta gerilmiş piano telinin aynadaki görüntüsü bakış açısından doğacak okuma hatalarını önleyecektir. Bu ölçüm düzeneğinde en çok 0.5 mm. hassasiyetle okuma yapılabilmektedir (Şekil 13.3b)

Topoğrafik ölçüm sistemi ise diğer bir ölçümü doğrulamak amacıyla kullanılır. Alet deney ve ankraj kazıklarından en az test kazığı çapının 10 misli veya 15 m. uzağa kurulur ve deney alanının dışında sağlam bir röpere bağlanarak kazık başına tutturulmuş eşel veya reflektör direkt okunur (Şekil 13.3b), (Yıldırım ve Özyayın, 1994).

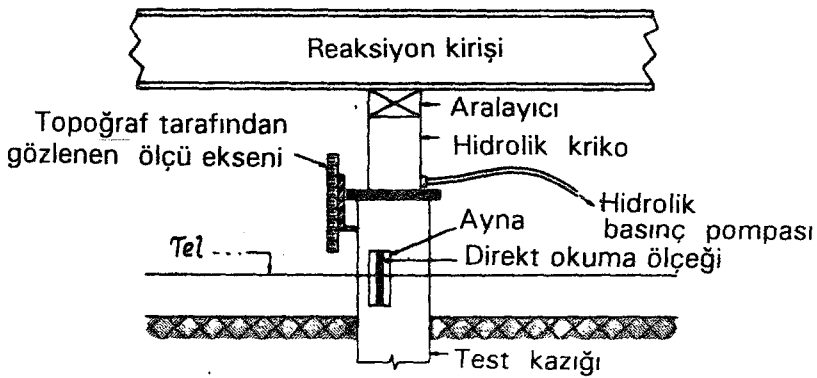
Elektriksel ölçümler özel ve araştırma amaçlı deneylerde kullanılmaktadır.



Şekil 13.2. Ahşap tomruk ve blok kesimli taş kütlelerin kullanıldığı kazık yükleme deney düzeneğine tipik bir örnek (Prakash ve Sharma, 1990).



Şekil 13.3a Mikrometre sistemi ile düşey yöndeki hareketin ölçümü (Prakash ve Sharma, 1990).



Şekil 13.3b Çelik halat-ayna-cetvel sistemi ve topoğrafik ölçüm sistemi ile düşey yöndeki hareketin ölçümü (Prakash ve Sharma, 1990).

13.1.2.2. Kazık Uzunluğu Boyunca Oluşan Deformasyonları Ölçen Sistemler

Bu sistemler kazık boyunca kazıktan zemine aktarılacak gerilmelerin yayılışını tesbit etmek prensibine uygun olarak çalışırlar. Bu sistemlerde kullanılan aletler başlıca iki grupta toplanabilir. Gerilme Çubuklu Sistem ve Elektronik Gerilme Ölçen Sistem

13.1.2.2.1. Gerilme Ölçüm Çubuklu Sistem

Şekil 13.4a'da görüldüğü gibi kazık içerisine yerleştirilmiş uç levhalarına tutturulmuş çelik çubuklar PVC tüpler içinde kazığın üst ucuna kadar serbestçe hareket ederek uzanır. Gerilme çubuklarının kazık başına göre göreceli hareketleri 0.025 mm. hassasiyetli mikrometreler ile ölçülür. İki levha arasındaki ölçülen " ΔL ", deformasyon farkı o bölgedeki "kazık yükü"nü elastisite modülü yardımı ile aşağıda verilen bağıntı kullanılarak bulmaya yarar (Prakash ve Sharma, 1990).

$$[Q_{va}] = A_p \frac{\Delta L_a}{L_a} \cdot E_p \quad (13.1).$$

Burada;

$[Q_{va}]$ = Gerilme çubuklarının bağlandığı iki sabit düzlem arasında kalan bölgedeki kazık yükü

$[A]$ = Kazığın enkesit alanı

$[\Delta L_a]$ = İki gerilme çubuğu arasında ölçülen deformasyon farkı

$[L_a]$ = Gerilme çubuklarının bağlandığı iki sabit düzlem arasında kalan kazık uzunluğu

$[E_p]$ = Kazık malzemesinin elastisite modülü

13.1.2.2.2. Elektrikli Ya da Titreşen Telli Gerilme Ölçer Sistemler

Bu sistemlerde "gerilme ölçer"ler kazık içerisinde değişik yerlere -ekseriyetle donatı demirine- yerleştirilip kabloları boruyla yukarı alınmaktadır. Elektrikli ya da titreşen telli gerilme ölçerler ısıya karşı duyarlı olduklarından ölçü sonuçlarının ısı etkisinden rafine edilmesi için ısı düzeltmelerinin yapılması veya ısı duyarlı gerilme ölçerlerin kazık içine yerleştirilmesi gerekmektedir (Şekil 13.4b).

Bu sistemde gerilme ölçerlerden okunan deformasyonlar ile kazığın bu bölgede

aktardığı yük arasında aşağıdaki gibi bir bağıntı mevcuttur.

$$[Q_{va}] = A_p \cdot E_p \cdot \epsilon \quad (13.2)$$

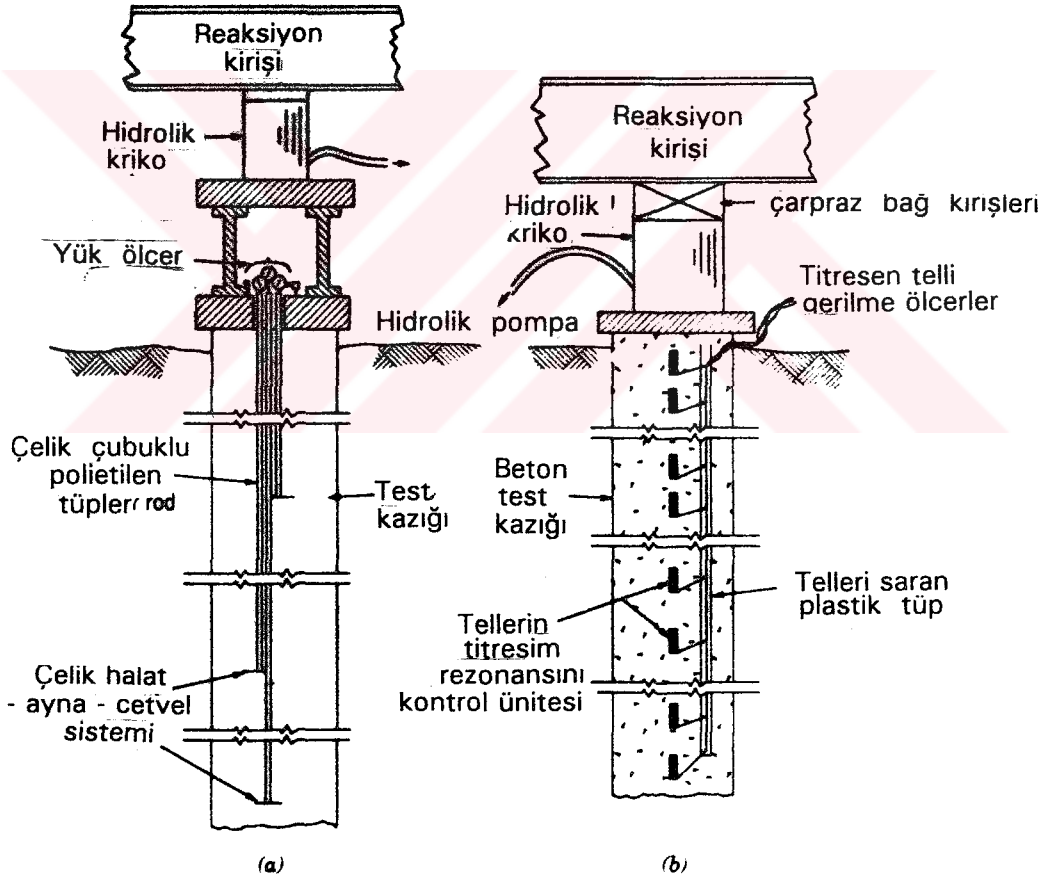
Burada:

$[Q_{va}]$ = Gerilme ölçerlerin bulunduğu lokasyondaki kazık yükü

$[A_p]$ = Kazığın enkesit alanı

$[\epsilon]$ = Gerilme ölçerin okuması

$[E_p]$ = Kazık malzemesinin elastisite modülü



Şekil 13.4. Kazık uzunluğu boyunca oluşan deformasyonları ölçen sistemler (a) gerilme ölçüm çubuklu sistem (b) elektrikli ya da titreşen telli gerilme ölçer sistem (Prakash ve Sharma, 1990).

13.2. Kazık Yükleme Deney Yöntemleri

Pratik mühendislikte ve araştırmacılıkta kullanılan çok çeşitli kazık yükleme deneyleri mevcuttur. Bu yöntemlerin hemen hepsi farklı literatürlerde genel olarak 4 ana gruba ayrılmıştır. Söz konusu yöntemler ve bunlar hakkındaki tüm ayrıntıları içeren standartlar aşağıda sıralanmaktadır.

Yöntemler :

1. Yavaş adımlı yükleme deneyi (SM Test)
2. Hızlı adımlı yükleme deneyi (QM Test)
3. Sabit giriş hızlı yükleme deneyi (CRP Test)
4. Çevrimli yükleme deneyi (SC Test)

Standartlar :

1. ASTM D 1143-81, (1989)
2. Butler ve Hoy, (1977)
3. Fellenius, (1975 ve 1980)
4. Mohan ve Arkadaşları, (1967)
5. New York State D.D.T., (1974)
6. Swedish Pile Commission, (1970)
7. Weele, (1957)
8. Whitaker, (1957 ve 1963)
9. Whitaker and Cooke, (1961)

Aşağıda yukarıda sıralanan Yükleme Deney yöntemleri ana hatlarıyla özetlenmektedir:

13.2.1. Yavaş Adımlı Yükleme Deneyleri – (SM Test)

ASTM D 1143-81 (1989) kaynağı bu metodun uygulanma adımlarını şu şekilde tariflenmektedir:

- a) Kazığa uygulanacak yük birbirine eşit 8 adımda uygulanmak üzere; sırasıyla önce tasarım yükünün %25'i, sonra %50'si, sonra %75'i, %100'ü, %125'i, %150'si, %175'i ve %200'ü yüklenecek şekilde yükleme düzeneğinden kazığa aktarılır.

- b) Her adımdaki yük artışı, oturmaların hızı saatte 0.25 mm. den az olmayacak şekilde ayarlanmalı, yine 2 saat sonundaki oturmanın 0.25 mm. den az olmasına da dikkat edilmelidir.
- c) 24 saat sonunda kazık üzerindeki yük tasarım yükünün %200'üne erişmiş olmalıdır.
- d) Tasarım yükünün %200'ü de uygulandıktan ve oturmaları ölçüldükten sonra deney kazığı üzerindeki yük tasarım yükünün %25'ine karşı gelen adımlar halinde kaldırılır. Her adım sonunda en az 1 saat beklenir.
- e) Yük uygulandıktan ve kaldırıldıktan sonra kazık tasarım yükünün %50'sine karşı gelen adımlar halinde - her bir adım sonrası en az 20 dakika beklenecek- yeniden yüklenir.
- f) Daha sonra kazık üzerindeki yük kırılma anına kadar tasarım yükünün %10'u kadarlık adımlar halinde artırılır. Her bir adımın sonunda en az 20 dakika beklenir.

Bu yöntem ASTM standartlarıncaya yaygın olarak uygulanması tavsiye edilen esas yöntem olup genellikle sözleşme önerisi deney kazığının tasarımdaki varsayımlara uygun davranış gösterip göstermediğinin tetkiki amacıyla mutlaka kullanılır. Bu yöntemin tek ve en büyük dezavantajı zaman problemi yani total deney süresinin uzun sürmesidir.

13.2.2. Hızlı Adımlı Yükleme Deneyi - (QM)

Bu yöntem New York State Department of Transportation, Federal Highway Administration ve ASTM D. 1143-81 tarafından uygulanması tavsiye edilen bir yöntem olup aşağıdaki adımları içerir:

- a) Yük tasarım yükünün %300'üne ulaşmaya kadar toplam 20 adımda deney kazığına aktarılır (bu bağlamda her bir adım tasarım yükünün %15'i kadar olmaktadır)
- b) Her yükleme adımının sonunda 5 dakikalık bir bekleme periyodu vardır. Her 2.5 dakikada bir okuma alınır.
- c) Tasarım yükünün %300'üne ulaşılmasına rağmen kırılma hala olmamışsa ilave test yükü adımları uygulanır veya kazık üzerindeki test yükü artırılır.

- d) Kırılma yüküne erişildikten sonra bu yük kademesinde 5 dakika beklenir ve daha sonra kazık üzerindeki toplam yük 4 eşit adımda ve her adım sonunda en az 5 dakika beklenecek kaldırılır.

Görüldüğü gibi bu yöntem hızlı ve ekonomiktir. Bu yöntemde total deney süresi 3-5 saattir. Bu yöntem drenajsız zemin koşullarında hem daha iyi tatbik edilir hem de daha iyi sonuçlar verir. Ayrıca hızlı bir yöntem olduğu için oturma tahminlerinde kullanılmamalıdır.

13.2.3. Sabit Giriş Hızlı Yükleme Deneyi - (CRP)

Bu yöntem özellikle Swedish Pile Commission, New York State Department of Transportation ve ASTM D 1143-81 (1989) kaynaklarınca tavsiye edilen bir yükleme metodu olup aşağıdaki ana adımları içermektedir.

- Kazık kafası, zemine dakikada 1.25 mm. lik bir giriş sağlayan bir yükle zemine sokulur.
- Uygulanan kuvvet ve giriş hızı sürekli olarak kaydedilir.
- Toplam penetrasyon -zemine giriş [50-75] mm'yi bulduğunda deney sona erer.

Bu deneyin temel avantajı 2-3 saat sürdüğü için hem hızlı hem de ekonomiktir. Bu yöntem sürtünme kazıklarının değerlendirilmesinde kısmen doğru sonuçlar vermekle birlikte uç kazıklarının değerlendirilmesinde pek pratik değildir. Çünkü sağlam taşıyıcı tabakaların içinde çok yüksek penetrasyon basınçlarına yol açmakta bu da hatalı değerlendirmelere yolaçabilmektedir.

13.2.4. Çevrimli Yükleme Deneyi- (SC)

Swedish Pile Commission tarafından önerilen bu metod aşağıdaki adımları izleyerek uygulanmaktadır.

- Kazık ilk önce tasarım yükünün "1/3" üne karşı gelen yükle yüklenir.
- Tasarım yükünün "1/6"sı yani (a) şıkkında uygulanan yükün yarısı kazık üzerinden boşaltılır. Bu yükleme-boşaltma çevrimi 20 defa tekrarlanır.
- Kazık üzerindeki yük (a) veya bunu izleyen (b) şıklarındaki yüklerden %50

daha fazla olacak şekilde artırılır.

d) Bu işlemler kırılma anına kadar sürdürülür.

Bu metod sadece tekrarlı yüklemelerin kazık üzerinde etkili olduğu özel projelerde kullanışlı olmaktadır.

Şekil 13.5'de görüldüğü gibi "SM" ve "SC" deneyleri en yavaş, "CRP" deneyi ise en hızlı deneydi. Şekil 13.6 ise yukarıda tartışılan 4 deney türü için tipik yük-deplasman davranışını karşılaştırmaktadır. Şekil 13.6 göstermektedir ki "CRP" test yönteminin tariflediği yük-deplasman eğrisinin şekli kırılma anından önce "QM" test yönteminin tariflediği yük deplasman eğrisinin şekli ile iyi bir uyum içindedir. "SM" deney yöntemi Kuzey Amerika'da yaygın olarak kullanılmaktadır. Çünkü hem basit, hem de çoğu mühendislik uygulamalarında toplam ve net oturmaların tahkikinde, çalışma yükü altında beklenen kazık oturmalarının kabaca tahmininde kabul edilebilir yaklaşımlar sağlamaktadır.

13.3. Kazık Yükleme Deney Sonuçlarının Sunuluşu

Kazık yükleme deneylerinin sonuçları mühendislik bakımından çok önemli olduğu kadar mali profili çok yüksektir. Deney sonuçlarının sunuluşunda programda gerekli özelerin gösterilmeyişi ve zaman sıkışıklığı gibi nedenlerle çoğu kez eksiklikler gözlenmektedir. Bu bakımdan sonuçların yorumlandığı deney raporları'nda elde edilen bilimsellik kalitesi düşüktür. Bununla birlikte derli toplu bir "Kazık Yükleme Deney Raporu"nda aşağıda sıralanan bilgilerin açık biçimde mutlaka verilmesi gerekli ve yeterli olmaktadır (CFEM, 1985).

- Kazığın bitmiş haldeki boyutları
- Yapılan kazının alt ve üst kotları
- Kazığın yapım-montaj tarihi
- Yeraltı su seviyesi
- İdealize zemin profili
- Zeminin sıklık, kıvam, mukavemet parametrelerini ifade eden sondaj logları
- Kazık türü
- Deney tarihi

- Deney kazığının projedeki lokasyonu
- Tasarım yükü
- Yüklemenin biçimi
- Referans kirişi ve deformasyon ölçümlerine ait bilgiler
- Fore kazıklarda kılıfla ilgili bilgiler, beton miktarı, yerleştirme şekli
- Çakma kazıklarda tokmak türü, ağırlığı ve refü miktarı

13.4. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve Yorumu

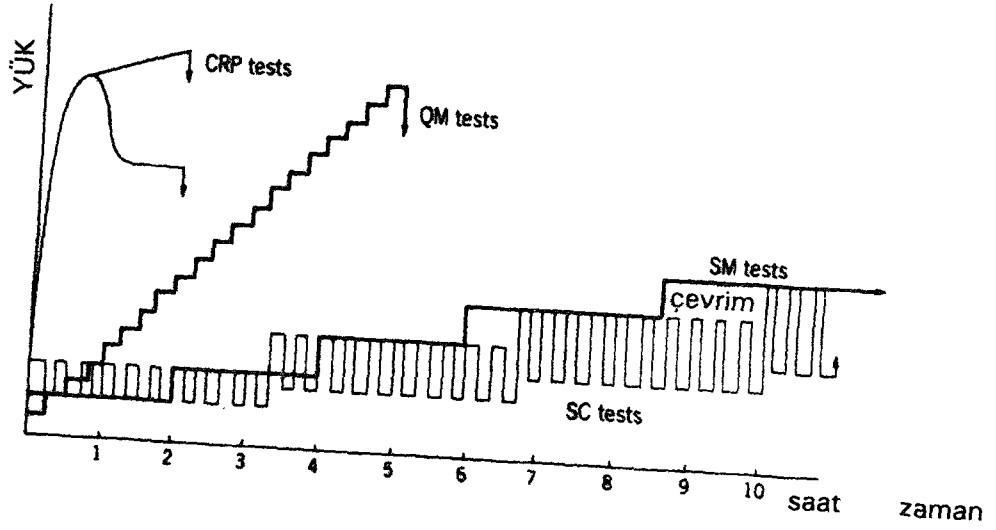
Kazık yükleme deneylerinin değerlendirilmesinde "yük-oturma", "yük-zaman" ve "oturma-zaman" eğrileri çizilmekte olup, bu çizimlerde kullanılan ölçeğin uygun seçilmemesi göçme yükünün belirlenmesinde değerlendirme hatalarına yol açabilmektedir. Yük için literatürlerde tavsiye edilen ölçek 25 mm.'nin 1000 kN \equiv 100 ton'u gösterdiği ölçek; zaman ölçeğinde ise 15 dakikalık aralıkların seçildiği ölçek olmaktadır (CFEM, 1985).

Şekil 13.7'de bir kazık yükleme deneyinin sonuçları farklı iki ölçekte gösterilmiştir. Şekil 13.7b kazığın ilave bir yük taşıyabileceği imajını uyandırırken Şekil 13.7a kazığın nihai taşıma kapasitesine erişildiğini yansıtmaktadır (Broms, 1981).

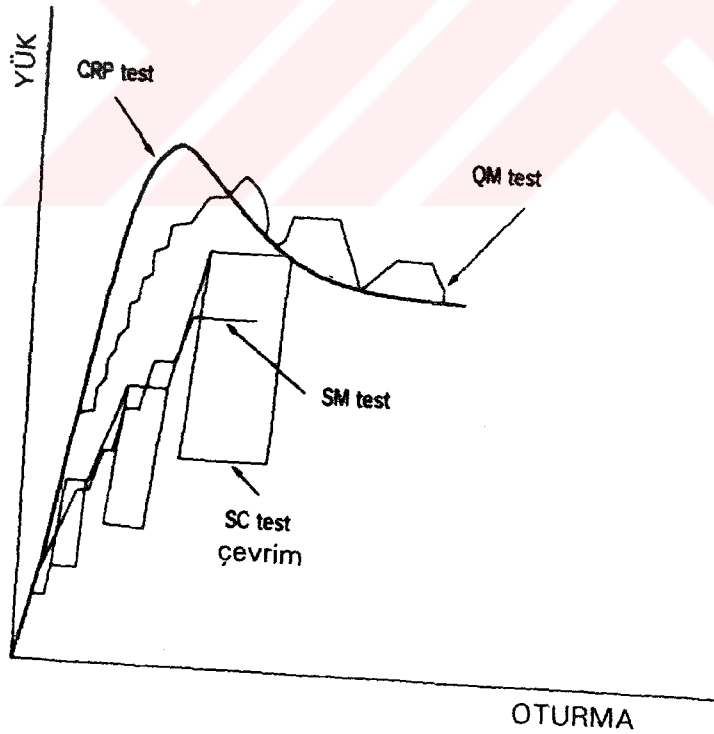
Yükleme deneyi sonuçlarının değerlendirilmesinde önemli bir diğer husus da kazığın yerleştirilmesinden sonra ve yüklemeden önce kazık uç noktasında kazıktaki kalıcı yüküdür. Boşaltma sonrası kalıcı yük göreceli olarak kısa-yerinde dökme (fore) kazıklarda da deney sonuçlarını etkileyebilir. Kazık tekrar yüklendiğinde eksenel deformasyon ilk yüklemedeki sıkışmayla karşılaştırıldığında oldukça küçük olabilir. Eğer yük dağılımı kazığın elastik eksenel kısılmasından " ΔS " hesaplanmış ise bu kalıcı yük dağılımını etkileyecektir. Genellikle sonuçların yorumunda kazığın yüklenmeden önce gerilme serbestisi içinde olduğu kabul edilmektedir (Broms, 1981)

Kazık yükleme deneyi sonuçlarının değerlendirilmesinde ana amaç kazığın taşıyabileceği nihai yükün (göçme yükünün) belirlenmesi olup, kazığın yapacağı oturma bu deneyle doğrudan bulunamaz.

Göçme noktasına kadar yüklenmiş kazıklarda yük-oturma eğrisinin biçimi göçmenin biçimi hakkında fikir verebilmektedir. Tomlinson, (1977) kaynağında zemin

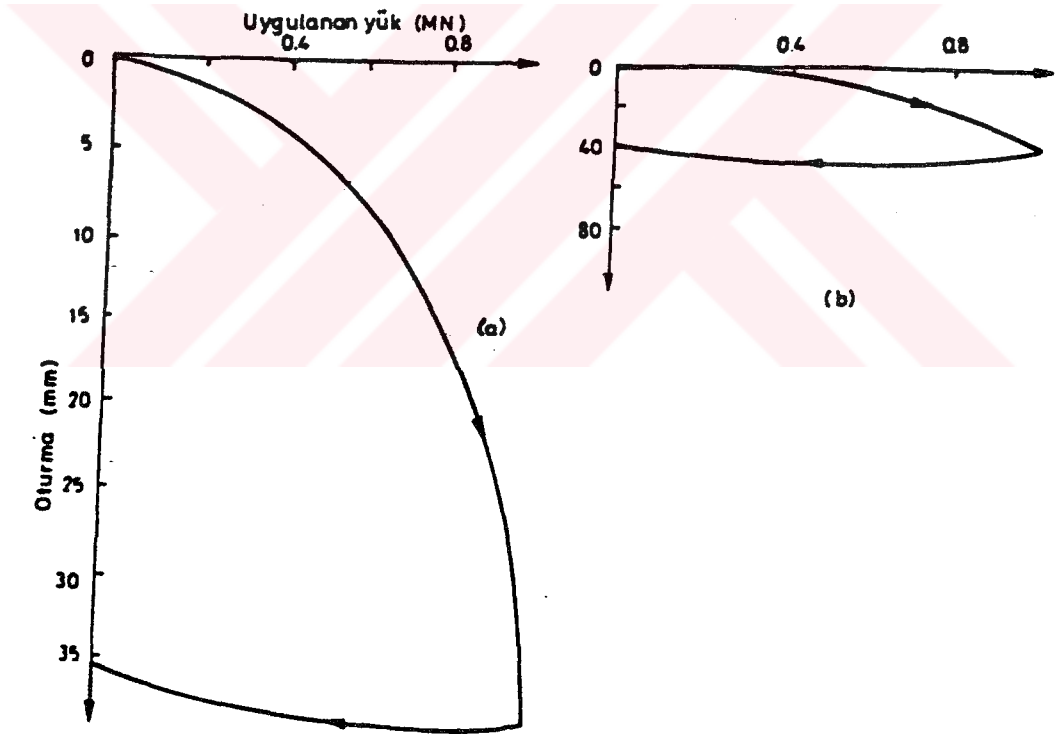


Şekil 13.5. Değişik kazık yükleme deney metodları için **total deney sürelerinin** karşılaştırılması (Prakash ve Sharma, 1990).

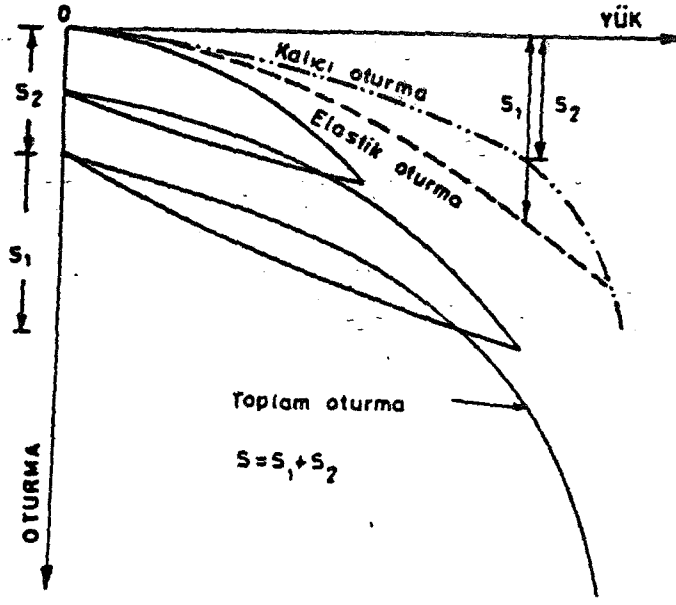


Şekil 13.6. Değişik kazık yükleme deney metodları için **yük-deplasman** davranışının karşılaştırılması (Prakash ve Sharma, 1990).

koşulları ve kazık türüne göre göçmenin biçimi Şekil 13.8'de gösterildiği gibi yorumlanmaktadır. Yük-oturma eğrilerinde bazı şekil bozuklukları bazen yük artırımlarındaki bekleme süresindeki değişikliklerden kaynaklanabilmektedir. Tasarım yükünde veya onun 1.5 ya da 2 katında ara yüklemelere göre daha fazla beklenmektedir. İdeal olarak tavsiye edilen, kazık üzerindeki yüklerin kazık ucu ve çevresindeki zeminin aynı konsolidasyon yüzdesine erişinceye kadar tutulmasıdır. Ancak çoğu kez pratikte ya "eşit zaman aralıkları" kavramı veya "hareketin durması" kavramı uygulamada yer almaktadır. Deney yapıldıkça oturmaların "artış-zaman" eğrisinin çizimi ani oturmaların ve konsolidasyon oturmalarının gelişmesinin değerlendirilmesi açısından önemlidir.



Şekil 13.7. Yükleme deney sonuçlarına ölçek etkisi (Broms, 1981)
(a) Kazığın ilave bir yük taşıyabileceği izlenimi uyanmaktadır.
(b) Kazığın nihai taşıma gücüne ulaştığı görülmektedir.



Şekil 13.8. Kazık yükleme deneyi sonuçlarına göre toplam, kalıcı ve elastik oturma (Tomlinson, 1977).

Böylelikle belirli bir zaman için tutulan her yükten kaynaklanan eşit konsolidasyon yüzdesine karşılık gelen oturmalarla yükler arasında bir korelasyon kurma imkanı bulunabilir ve uzatılmış bekleme sürelerine karşılık gelen değişiklikler ayırt edilebilir (Yıldırım ve Özaydın 1994).

13.5. Yük-Oturma Eğrilerinden Göçme Yükünün Saptanması

Yıldırım ve Özaydın (1994) kaynağında bir kazığın göçme yükü, ulaşılan yükte oturmaların hızla gerçekleşmesi, başka bir deyişle kazığın batması olarak tariflenmektedir. Aynı kaynakta araştırmacılar kazık yükleme deneyleri yorumlarından göçme yükünün bulunması için kullanılan yöntemleri aşağıdaki gibi gruplandırmaktadırlar.

1. Kazık başının toplam oturmasını sınırlayan kriterler

- 25.4 mm (Hollanda, New York)
- Kazık ucu çapının %10'u (İngiltere)
- Kazık elastik oturması + $D/30$, (Kanada)

2. Plastik Oturmayı Sınırlamak

- 6.4 mm. (AASHTO-New York State, Louisiana)
- 12.6 mm. (Boston)

3. Plastik/elastik oturmalar oranını sınırlamak

1.5 (Danimarka)

4. Oturma / birim yük oranını sınırlamak

a) Toplam 0.25 mm/ton (California, Chicago)

b) Artış 0.65 mm/ton (Ohio)

1.25 mm/ton (Raymond Int.)

5. Plastik oturma/birim yük oranını sınırlamak

a) Toplam 0.25 mm/ton (New York City)

b) Artış 0.08 mm/ton (Raymond Int.)

6. Yük-Oturma Eğrisinin Yorumuna Dayalı Yöntemler

13.6. Yük-Oturma Eğrisinin Yorumuna Dayalı Yöntemler

Kazık yükleme deney sonuçları çoğunlukla yük-oturma diyagramları şeklinde verilir. Eğer nihai yüke kadar giden bir yükleme deneyi süresince yükleme-boşaltma çevrimleri yapılmış ise "yük-toplam oturma" eğrisinden "yük-kalıcı oturma" ve "yük-elastik oturma" eğrileri de elde edilebilir (Şekil 13.8).

Kazık yükleme deneyi sonuçlarından nihai göçme yükü veya servis yükünün nasıl belirleneceği hususunda dünya literatüründe değişik araştırmalar, arazi deneyleri ve model deneyleri sonucunda tecrübe edilmiş değişik kriterler standartlaşarak yönetmeliklere geçirilmiştir. Ayrıca bazı araştırmacılar tarafından önerilen pratik yöntemler de mevcuttur.

Yetimoğlu (1988) tez çalışmasında yükleme deney sonuçlarından nihai yükün belirlenmesi için önerilen değişik "kriter" ve "yargılar"ı uygulamada ortak yönler taşıdığı ve bu ortak özelliklerine göre :

1. Toplam oturma eğrisini gözönüne alan kriterler
2. Kalıcı oturma eğrisini gözönüne alan kriterler
3. Kalıcı ve elastik şekil değiştirmeleri alan kriterler

şeklinde gruplandırılabilceği ifade edilmektedir.

13.6.1. Yük-Toplam Oturma Eğrisini Gözönüne Alarak Yapılan Değerlendirmeler

Yük-toplam oturma eğrisinden oturmaya bağlı olarak yapılan teorik ve amprik değerlendirmeler Şekil 13.6a'da gösterilmiştir.

ASTM D. 1143'e göre servis yükü altında toplam oturmanın ve 38 mm. lik toplam oturmadan yapılan boşaltmadaki kalıcı oturmanın 19 mm. den büyük olmaması koşuluyla yük-toplam oturma eğrisinin 38 mm. ye vardığı değerin yarısı servis yükü olarak alınmaktadır (Ülker, 1978).

DIN 1054 çakma kazıklar için kazık çapının 0.025 katı kadar izin verilen kalıcı oturma değerinden, elastik kabarmayı gösteren boşaltma doğrusuna çizilen paralelin "yük-toplam oturma" eğrisini kestiği noktadaki yükü nihai-göçme yükü olarak öngörülmektedir. Adı geçen yönetmelikte ayrıca yerinde dökme kazıklarda nihai-göçme yükü olarak 2 cm. lik toplam oturmamayaneden olan yükün alınması rapor edilmektedir(Ülker, 1978).

TS 3167 ' e göre nihai yük şekil 13.9a'da görülen yük-oturma eğrisinde düşey yerdeğiştirmelerde yük artışına oranla önemli derecede fazla artışın görüldüğü ve eğrinin teğetinin eğiminde birden önemli artmaların oluştuğu noktadaki yük değeridir. Aynı yönetmelik deneyde ve eğrinin incelenmesinde bu durum kesinlikle farkedilmiyor ve nihai yük değerinin bu şekilde bulunması mümkün olmuyor ise, sondaj kazıklarında ≈ 2 cm. lik toplam oturma oluşturan, çakma kazıklarda ise kazık çapının %2.5'u kadar [0.025 D] kalıcı oturma oluşturan yükü nihai yük olarak kabul etmektedir.

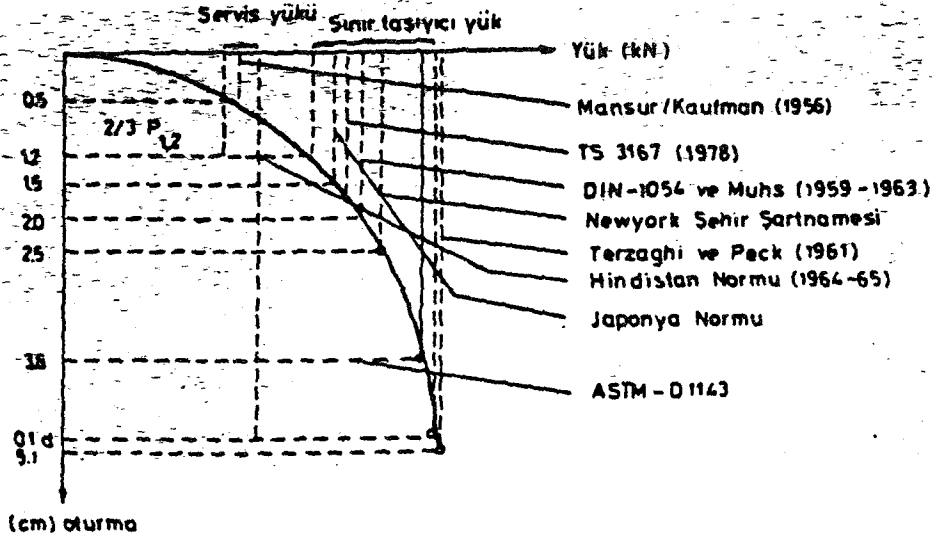
Terzaghi ve Peck, (1961) ise 5.1 cm. oturma oluşturan değrin nihai-göçme yükü olarak dikkate alınmasını önermişlerdir.

Terzaghi, kazık çapının 0.1 katı [0.1 D] toplam oturmanın meydana gelmesini sağlayan yükün sınır değer olarak alınmasını öngörmüş ve bu kriter İngiltere ve Hindistan normlarına girmiştir. Hindistan standartında ikinci koşul olarak 12 mm. toplam oturmayı meydana getiren değer nihai taşıyıcı yük olarak öngörülmüş ayrıca servis yükü olarak da [0.1 D]'ye ait yükün yarısı veya 12 mm. oturmaya ait yükün 2/3'ünden küçük olanının alınması tavsiye edilmiştir (Ülker,1978).

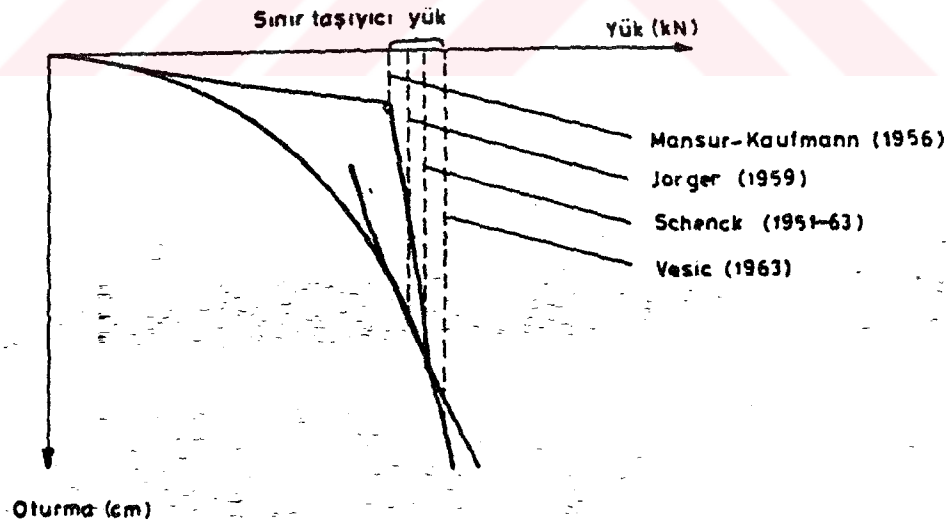
Japon Şartnamesi'ne göre; yük-oturma eğrisinde 1.5 cm'lik oturmayı sağlayan yükün değeri nihai-göçme yükü olarak kabul edilmektedir. Bu yükün yarısı ya da 1/3'ü adı geçen şartnamede servis yükü olarak öngörülmüştür.

New-York Şehir şartnamesine göre 2.5 cm. lik toplam oturma meydana getiren yük sınır (nihai) taşıyıcı yük olarak tariflenmektedir.

"Yük-toplam oturma" eğrisinin şekline bağlı olarak önerilen diğer bazı değerlendirmeler ise Şekil 13.9b'de gösterilmiştir. Mansur ve Kaufmann, (1963)'e göre



Şekil 13.9a Yük-oturma eğrisinde, oturmaya bağlı sınırlamalara göre öne sürülen değerlendirmeler (Ülker, 1978)



Şekil 13.9b Yük-Oturma eğrisinin şekline göre yapılan değerlendirmeler (Ülker, 1978).

yük-oturma eğrisinin başlangıç ve deney sonu teğetlerinin kesim noktası sınır taşıma gücüdür. Vesic, (1963) yük oturma eğrisinde eğrilik yarıçapı en küçük olan noktayı (eğrinin düşey yöne yakın en büyük eğimi kazandığı noktayı) Jörger ise teğet eğiminin 1/2 ile 1/3 arası değer kazandığı noktayı sınır (nihai) taşıma gücü olarak önermişlerdir (Ülker, 1978)

13.6.2. Yük-Kalıcı Oturma Eğrisini Gözününe Alarak Yapılan Değerlendirmeler

Yük-kalıcı oturma eğrisinden oturmaya bağlı olarak önerilen değişik amprik ve teorik değerlendirmeler Şekil 13.10'da gösterilmiştir.

DIN 4026 (1975), çakma kazıklarda [0.025 D] kadar müsaade edilebilir kalıcı oturma değerinin hesaplanmasında, kesite eşdeğer alanlı daire dikkate alınarak "D"nin bulunmasını ve yük kalıcı oturma eğrisi üzerinde bu oturmaya karşı gelen yükün nihai-göçme yükü olarak alınmasını önermektedir (Ülker, 1978).

USA Karayolları ve Köprü Şartnamesi (1959) (AASHTO) 48 saat tatbik edildikten sonra 6.3 mm. den daha az kalıcı oturma meydana getiren yükün nihai-göçme yükü olarak alınmasını ve bu nihai-göçme yükünün yarısının da servis yükü olarak seçilmesini öngörmektedir (Ülker, 1978).

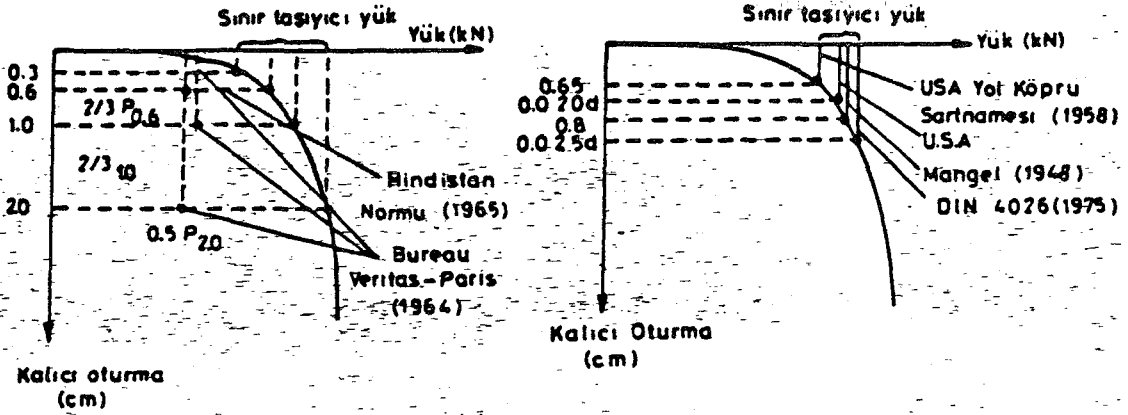
Mangel (1958) ise yaklaşık 8 mm'lik kalıcı oturma oluşturan yükün nihai-göçme yükü olarak alınmasını tavsiye etmektedir.

Fransız mühendislik ve mimarlık bürosu "Bureau Veritas" (1965)'a göre servis yükü 2 cm. kalıcı oturmadaki yükün yarısı; 1.0 cm. kalıcı oturmadaki yükün 2/3'ü ya da 3 mm. kalıcı oturmada uygulanmakta olan yük değerlerinden küçük olanının nihai göçme yükü olarak alınması gerektiğini rapor etmektedir.

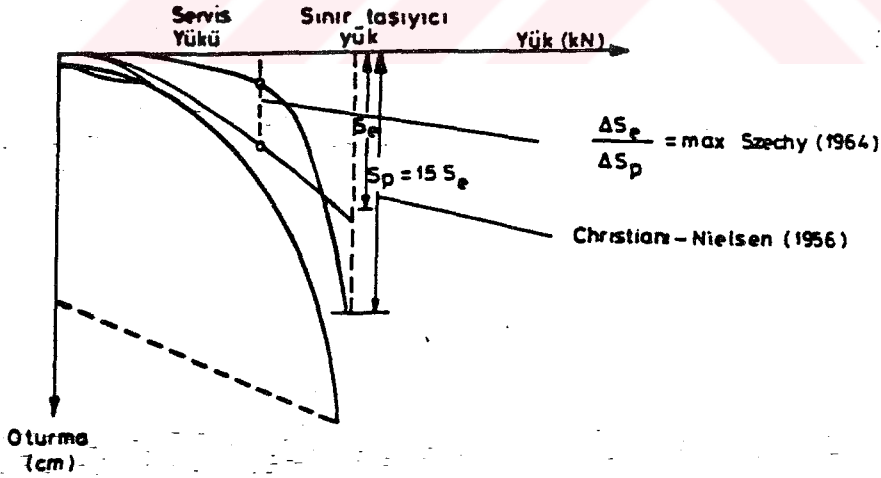
Hindistan şartnamelerinde (1964) ise 6 mm. lik kalıcı oturma meydana getiren yükün 2/3'ü servis yükü olarak önerilmektedir.

13.6.3. Kalıcı ve Elastik Oturmaları Birlikte Gözününe Alarak Yapılan Değerlendirmeler

Bu tür değerlendirmelerin en yaygını Christiani-Nielsen firmasına ait olanıdır. Bu değerlendirmede kalıcı oturmaların, elastik oturmanın 1.5 katına eşit hale geldiği anda kazığa uygulanmakta olan yük nihai-göçme yükü olarak alınmaktadır.



Şekil 13.10 Yük-kalıcı oturma eğrisinde verilen sınırlamalara göre yapılan değerlendirmeler (Ülker, 1978)



Şekil 13.11 Kalıcı ve elastik oturmaları birlikte gözönüne alarak yapılan değerlendirmeler (Ülker, 1978).

Szechy'e göre elastik kısalmadaki artış miktarının, kalıcı kısalmadaki artış miktarına oranının maksimum olduğu nokta nihai-göçme yüküdür (Ülker, 1978)

Christiani-Nielsen (1964) ve Szechy (1964) yaklaşımları şekil 13.11'de gösterilmiştir.

Yıldırım ve Özaydın (1994) çalışmasında, "yük-oturma" eğrilerini dikkate alarak kazık göçme yükünün belirlenmesi için yaklaşım yapan kendini ispatlamış bazı araştırmacıların geliştirdikleri yöntemler aşağıdaki gibi sıralanmaktadır.

1. Davisson Yöntemi (1962)
2. Chin Yöntemi (1960)
3. De Beer Yöntemi (1966)
4. Brinch Hansen %90 Kriteri (1963)
5. Brinch Hansen %80 Kriteri (1963)
6. Mazurkiewicz Yöntemi (1972)
7. Fuller ve Hoy Yöntemi (1970)
8. Butler ve Hoy Yöntemi (1977)
9. Vander Veen's Yöntemi (1953)

Aşağıda yukarıda sıralanan yöntemler ana hatlarıyla özetlenmektedir:

1. Davisson Yöntemi (1962)

Bu yöntemde göçme yükünün bulunması için aşağıdaki adımları izlemek gerekmektedir (Şekil 13.12a)

a) Yük-oturma eğrisi Şekil 13.12a'da görüldüğü gibi çizilir.

b) Kazığın elastik oturması bulunur $[[S] = \frac{Q}{A_p} \frac{L}{E_p}]$

Burada

$[Q_{va}]$ = Kazığa uygulanan yük

$[L]$ = Kazık uzunluğu

$[A_p]$ = Kazık kesit alanı

$[E_p]$ = Kazık malzemesinin elastik modülü

olmaktadır.

c) OA eğrisi çizilir. Bu eğriye $[x= 0.15 + D / 120]$ (*) uzaklıkta BC paraleli çizilir, eğri kestirilerek kesim noktasında göçme yükü elde edilir .

Bu yöntem ekseriyette çakma kazıklar için önerilmiş olup "QM" türü yükleme için tercih edilmektedir. Asıl pozitif yanı BC'nin başlangıçta çizilebilmesi ve çalışan kazıkta kanıtlama kriteri olarak kullanılabilmesidir. NAVFAC (1986) kaynağında ön plana çıkarılan bu yöntemin "SM", "QM" ve "CRP" türü yüklemelerin üçü içinde kullanılabilceği ifade edilmiştir.

2. Chin Yöntemi (1960)

Göçme yükünün Chin (1960) yöntemiyle bulunabilmesi için aşağıdaki adımları sırası ile izlemek gerekmektedir (Şekil 13.12b)

a) Uygulanan " Q_{va} " yükü ile kazık deplasmanı S değerlerine göre ;

$$\left[\frac{S}{Q_{va}} \right] = f(S) \quad \text{eğrisi çizilir.}$$

b) Eğrinin doğrusallaştığı kesimde;

$$\left[\frac{S}{Q_{va}} \right] = C_1 [S] + C_2 \quad \text{regresyon bağıntısı}$$

elde edilir " $1/C_1$ " değeri nihai taşıma gücü olarak değerlendirilir.

Bu yöntemde hiperbolik eğri varsayımı yapılmakta olup "QM" ve "SM" türü yüklemelerin her ikisi için de uygundur. Yalnız deneysel noktaların Davisson yönteminde tanımlanan limiti aşınca kadar olan peryotta bir doğru üzerine düşmeyeceği gözönünde tutulmalıdır. Yöntemin geçerliliği için seçilen sabit zaman aralıklarının kullanılması uygun olmaktadır.

3. De Beer Yöntemi (1966)

Şekil 13.12c'de görüldüğü gibi,

a) $\log [Q_{va}] = f [\log [S]]$ eğrisi çizilir.

b) Bu eğrinin başlangıç ve sonuç kesimlerinin uzantılarının kesim noktası göçme yükü olarak tarif edilir.

(*) : Bütün birimler inç'tir.

Yöntem "SM" türü yüklemeler için daha uygun sonuçlar vermektedir.

4. Brinch-Hansen %90 Kriteri (1963)

Bu bir deneme-yanılma metodu olup, Şekil 13.12'de anılan bu metodun uygulanması için aşağıdaki adımlar izlenir.

a) Yük-oturma eğrisi çizilir.

b) Göçme yükü için varsayımlar yapılır. Gerçek göçme yükü, varsayılan yükün %90'ına eşit olan yükteki kazık başı deplasmanının, göçme yükü olarak varsayılan yükteki kazık başı deplasmanının %50'sine eşit olduğu kabul edilir. Yöntem **CRP** ve **SM** türü yüklemeler için elverişli sonuçlar verir.

5. Brinch-Hansen %80 Kriteri (1963)

Şekil 13.12e'de kısa açıklaması yapılan bu kritere göre sıra ile şu işlemler yapılır:

a) $\sqrt{S} / Q_{va} = f [S]$ eğrisi çizilir. Bu ifadede ;

$Q_{va} =$ Kazığa uygulanan yük

$S =$ Kazık başı oturması

b) \sqrt{S} / Q_{va} ile S arasında oluşturulan eğrinin doğrusallaştığı kesim

$$\sqrt{S} / Q_{va} = C_1 [\Delta] + C_2 \quad \text{regresyon bağıntısı}$$

ile ifade edilirse göçme yükü ve göçme anındaki nihai oturma

$$[Q_v]_{ult} = \frac{1}{2\sqrt{C_1 \cdot C_2}}$$

$$\Delta_{Sult} = C_2 / C_1$$

ifadeleriyle belirlenebilir. Bu kriterde yük-oturma eğrisinin yaklaşık parabolik olduğu varsayılmakta olup, hem **QM** hem **SM** türü yüklemeler için uygulanabilmektedir. Burada zımbalama türü bir göçme oluşacağı varsayımı yapılmaktadır. Yükleme yapılma-
dan önce hesap yapma ve eğri çizme olanağı yoktur. Boşaltma çevrimleri içeren yükle-
me programları ve zımbalama türü göçme mekanizması olmayan zeminler için bu kri-
ter kullanılmamalıdır.

6. Mazurkiewicz Yöntemi (1962)

Mazurkiewicz tarafından geliştirilen bu yaklaşımda göçme yükünün bulunması için yapılan yaklaşımlar aşağıda özetlenmiştir (Şekil 13.12f) :

- Önce Yük-oturma $Q_{va} = f[S]$ eğrisi çizilir.
- Daha sonra eşit kazık başı deplasmanlarına ayrılmış "oturma" ekseninden çıkılan dikmelerle yük-oturma eğrisi kestirilir. Bu noktalardan "oturma" eksenine paralel olarak çizilen yataylar yük eksenini kestirilir.
- Bu kesim noktalarından şekil 13.12f'de görüldüğü gibi 45° açı yapan doğrular çizilip bir üstteki yatayın uzantısı ile kestirilir. Bu şekilde elde edilen tüm kesişme noktaları bir doğru üzerinde olup "yük" eksenini göçme yükünde keser.

Bu yöntem bir önceki Brinch-Hansen %80 kriterine benzer sonuçlar vermektedir. Yöntemde "yük-oturma" eğrisinin parabolik olduğu varsayımı yapılmaktadır. En grafiksel yöntem budur.

7. Fuller-Hoy Yöntemi (1960)

Bu yöntemde göçme yükünün bulunması için izlenen yol aşağıdaki gibidir:

- Yük-oturma eğrisi çizilir (Şekil 13.12g)
- Göçme yükü, 0.05 inç/ton eğimine sahip olan doğrunun eğriyi kestiği (değdiği) noktada teşekkül etmektedir (Şekil 13.12g). Yöntem "QM" türü yüklemeler için uygun olup elastik deplasmanları büyük olan uzun kazıklar için kullanılması doğru olmaktadır.

8. Butler-Hoy Yöntemi (1966)

Bu yöntem bir önceki yönteme çok benzer ve şu adımlar izlenir:

- Yine "yük-oturma" eğrisi çizilir
- Yük-oturma eğrisinin tanjantı ile eğimi 0.05 inç/ton olan doğrunun kesim noktası göçme yükü olarak kabul edilmektedir. (Şekil 13.12g) Yöntem QM türü yüklemeler için daha uygun olmaktadır.

9. Vander Veen Yöntemi (1953)

Bu yöntem için başlangıçta varsayım yapılarak " Q_u " nihai göçme yükü seçilir. Değişik S oturmaları için $\ln [1 - Q_{va} / Q_u]$ değerleri hesaplanır. Bu şekilde elde edilen eğrilerden oluşturulan eğri ailesi içinde doğruya en yakın olan eğri gerçek Q_u anla-

mına gelecektir (Şekil 13.12.h).

Joshi ve Sharma (1986) **SM** türü yüklemeler üzerinde yaptıkları araştırmalara göre şu bulguları elde etmişlerdir.

1. Foreve Çan uçlu kazıklarda "Fuller-Hoy (1960)" yöntemi yeterli presizyonda göçme yükünü tahmin edebilmektedir.

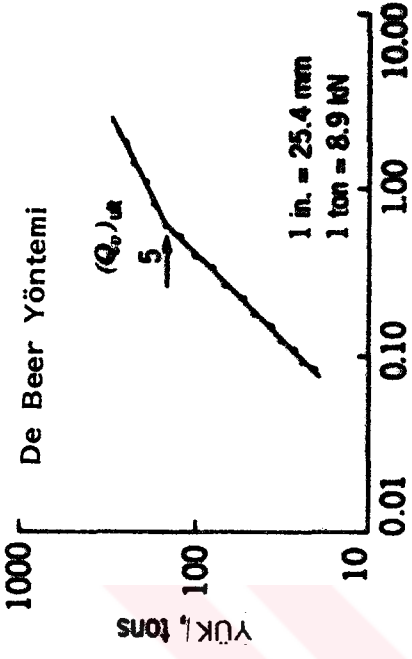
2. Franki kazıkları için "Davisson, "Butler-Hoy" ve "Fuller-Hoy" yöntemleri ile göçme yüküne daha doğru kestirimler yapılabilmektedir.

3. H profili çelik çakma kazıklarda "Brinch-Hansen %90 Kriteri" ile "Fuller-Hoy" ve "Butler-Hoy" yöntemleri daha gerçekçi kestirimler sağlamaktadır.

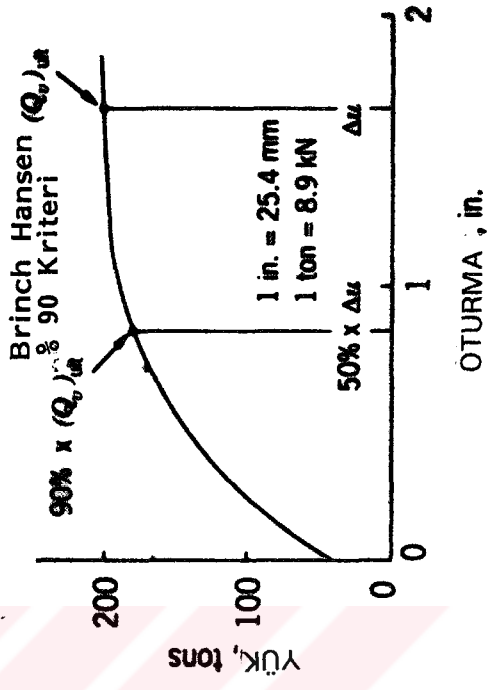
Fellenius (1980) çalışmasında **CRP** türü yüklemelerde "Fuller-Hoy" "Brinch-Hansen" %90 ve "Vander Veen" yöntemlerinin daha başarılı sonuçlar verdiğini ifade etmektedir.

NAVFAC (1986)'nın prim verdiği "Davisson" yönteminin son zamanlarda daha konservatif olduğu "Chin" yönteminin göçme yükünü gerçekten fazla tahmin ettiği için ekonomik olmadığını ileri sürmektedir.

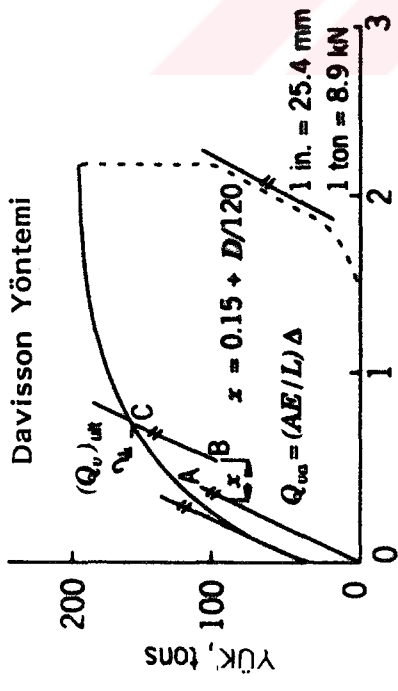
Prakash ve Sharma (1990) kaynağında ise en presizyonlu yöntemin özellikle **QM** türü yükleme düzenekleri için "Fuller-Hoy" yöntemi olduğu savunulmaktadır.



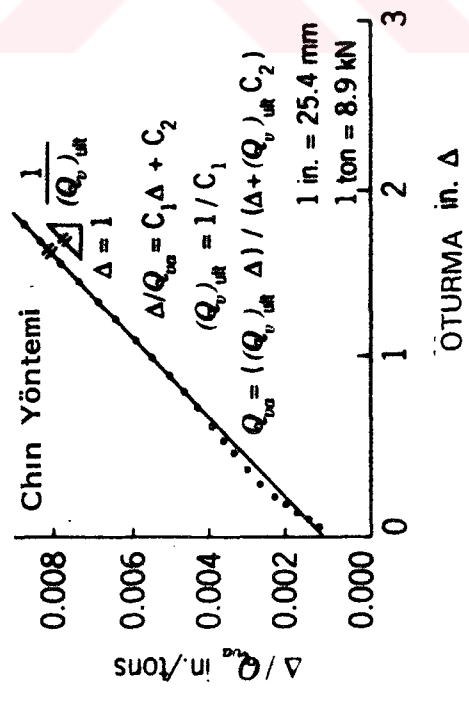
OTURMA, in.



OTURMA, in.

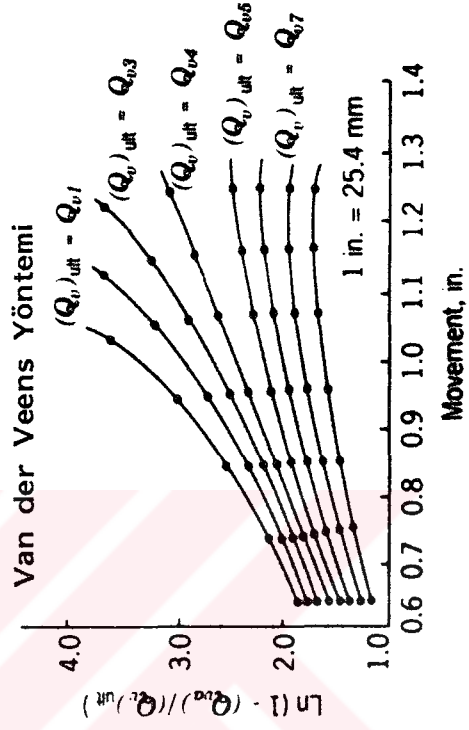
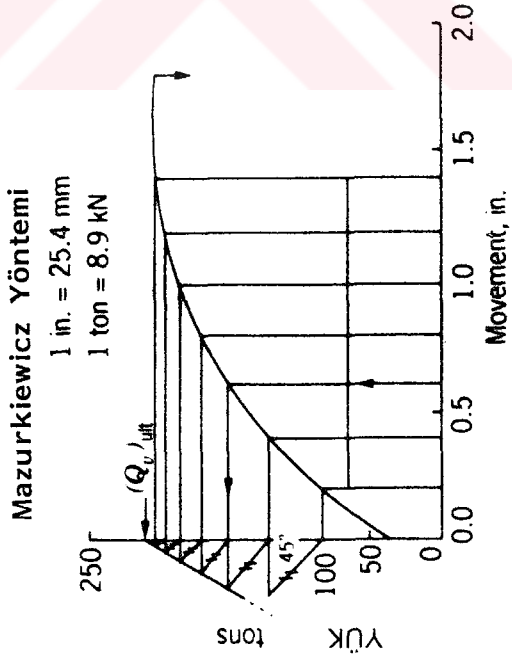
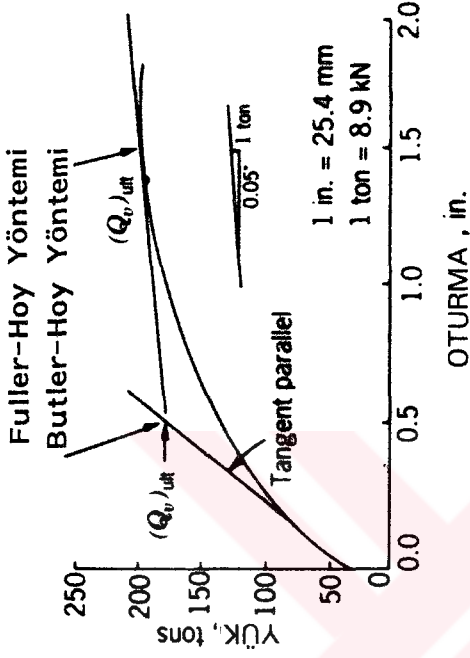
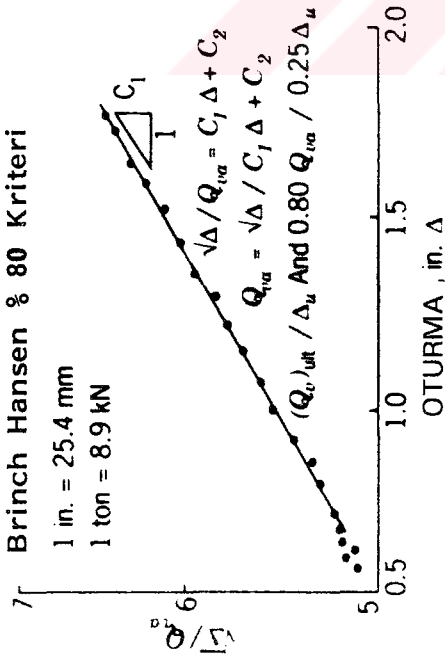


OTURMA, in.



OTURMA in. Δ

Şekil 13.12. Yük - oturma eğrilerini dikkate alarak göçme yükünün bulunması için bazı araştırmacılar tarafından geliştirilen analitik yaklaşımlar (Prakash ve Sharma, 1990).



Şekil 13.12'nin devamıdır.

14. DÜŞEY YÜKLER ALTINDA KAZIKLARDA OTURMA HESABI

Zemine yerleştirmenin neden olduğu örselenme ile kazıktan zemine aktarılan gerilmenin dağılışı ve yerinin belirsizliği aksel yükler altında kazığın yapacağı oturmaları karmaşık bir hale getirmektedir. Vesic (1977), Sharma ve Joshi (1988) kazığın yaklaşık 1 cm lik bir deplasman yapabilmesi için mobilize olması gereken çevre sürtünmesi değerinin gerçekte küçük olduğunu ve kazık çapı, zemin ve kazık cinsinden bağımsız olacağını savunmakta; aynı deplasmanın oluşması için mobilize olması gereken uç direncinin ise kazık çapı, zemin ve kazık cinsine bağlı olarak daha büyük değerler alacağını öne sürmektedirler. Bu durumda nihai çevre sürtünmesi aksel yükler altında iken nihai uç direncine kıyasla daha çabuk tümüyle mobilize olabilmektedir. Bununla beraber kazığın uzunluğuna ve zeminin cinsine bağlı olarak kazığa aktarılan üst yapı yüklerinin zemine dağılışı ve kazık çevresindeki yayılışında farklılık olması kaçınılmazdır.

Aşağıda sırası ile kohezyonsuz ve kohzyonlu zeminlerde tek kazığın düşey yükler altında yapacağı oturmaların nasıl hesaplandığı ana hatları ile kısaca ele alınmaktadır.

14.1 Kohezyonsuz Zeminlerde Tek Kazığın Oturması

Düşey yükler altındaki bir kazığın yapacağı toplam oturmanın tahmininde başlıca üç yöntemin kullanılabileceği literatürde rapor edilmektedir. (Prakash ve Sharma, 1990) Bu yöntemler sırası ile;

1. Yarı amprik yöntemler
2. Amprik yöntemler
3. Kazık yükleme deneyi sonuçlarına dayalı yöntemler olarak tariflenmektedir.

Aşağıda bu yöntemlerden yarı amprik ve amprik hesap metodları anahatları ile açıklanmakta olup hatırlanacağı gibi kazık yükleme deneyi sonuçlarını değerlendiren yaklaşımlar 13. bölümde incelenmiştir.

14.1.1. Yarı amprik yöntemler

Tasarım amaçları için çalışma yükü altında bir kazığın toplam oturması kazık malzemesinin elastik kısılması ile uçtaki ve çevredeki aktarılan yüklerin neden olduğu

oturmaların toplamı olarak alınabileceği Vesic (1977) kaynağında aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$[S] = S_1 + S_2 + S_3 \quad (14.1)$$

(14.1) bağıntısında;

[S] = Kazığın toplam oturması

[S₁] = Kazık malzemesinin shaft boyunca elastik kısalması

[S₂] = Kazık ucuna aktarılan yük nedeniyle oluşan oturma

[S₃] = Kazık shaftı boyunca aktarılan yük nedeniyle oluşan oturma

(14.1) bağıntısıyla tariflenen toplam oturmanın bulunabilmesi için öncelikle "S₁" "S₂" ve "S₃" oturma bileşenlerinin hesaplanması gerekmektedir. Aşağıda bu bileşenlerin nasıl belirleneceği kısaca açıklanmaktadır.

S₁'in belirlenmesi

Kazık malzemesi elastik kabul edilirse malzeme mekaniğinin temel prensipleri uyarınca shaftı boyunca kazığın elastik kısalması (14.2) eşitliği ile hesaplanabilir.

$$[S_1] = \frac{[Q_{wp} + \xi Q_{ws}]}{A_p E_p} \quad (14.2)$$

(14.2) bağıntısında;

[Q_{wp}] = Çalışma yükü altında kazık ucunda taşınan yük

[Q_{ws}] = Çalışma yükü altında shaft boyunca taşınan yük

[A] = Kazık kesit alanı

[E] = Kazık malzemesinin elastisite modülü

[L] = Kazık uzunluğu

[ξ] = Birim çevre sürtünmesinin kazık boyunca dağılımına bağlı bir katsayıdır.

"ξ" katsayısı Das (1990) kaynağında da ifade edildiği gibi uniform ve parabolik dağılımlar için 0.5, üçgen dağılımlar için 0.67 değerlerini almaktadır (Şekil 14.1). Sharma ve Joshi uniform yada üçgen dağılıma göre tahmin edilen oturmaların "ξ" değerine fazla duyarlı olmadığını ve pratik maksatlar için "ξ"nin her iki değerinin de kullanılabileceğini belirtmektedirler. ξ için uzun çakma kazıklarda daha küçük değerler gözlenmiş olup sıkı kuma çakılan kazıklarda 0.1 mertebesinde olabilmektedir (Yıldırım ve Özyayın, 1994).

S_2 'nin belirlenmesi

Kazık ucuna aktarılan yük nedeniyle oluşan oturma yüzeysel temellerin oturma tahminlerine benzer yapıda (14.3) bağıntısında görüldüğü gibi hesaplanabilir.

$$[S_2] = \frac{q_{wp} D}{E_s} [1 - \mu_s^2] I_{wp} \quad (14.3)$$

Burada;

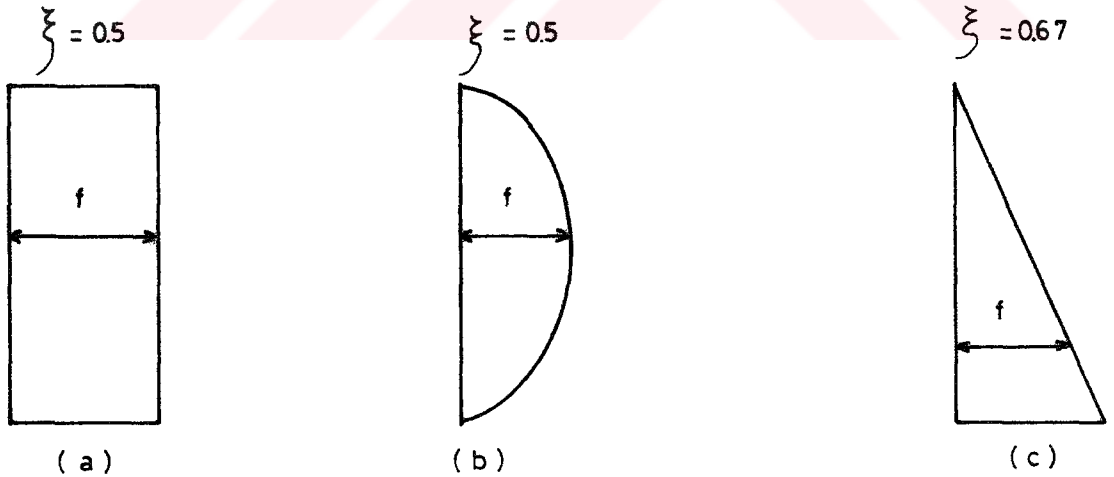
$[q_{wp}]$ = Kazık ucuna aktarılan gerilme, $[q_{wp} = Q_{wp} / A_p]$

$[I_{wp}]$ = Etki faktörü

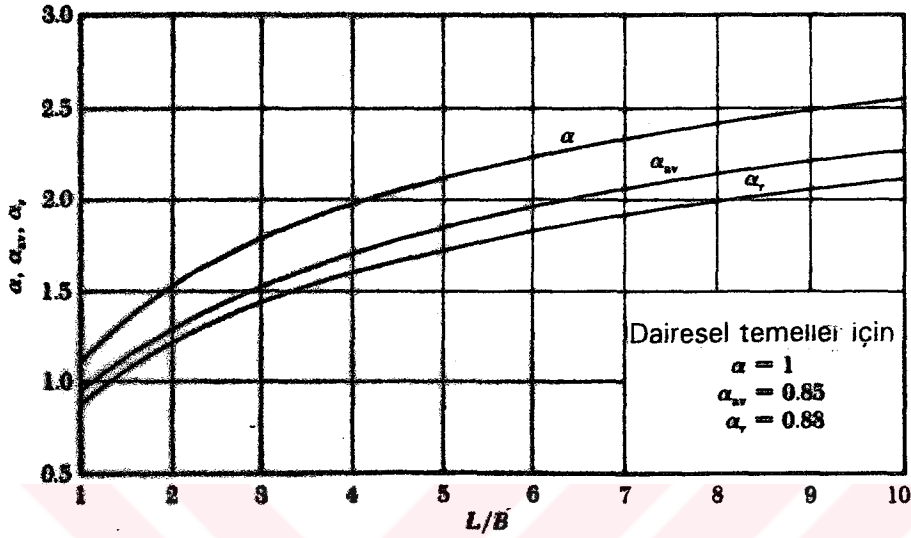
$[\mu_s]$ = Zeminin poisson sayısı

$[E_s]$ = Kazık ucunun çevresindeki zeminin elastisite modülü

olmaktadır. Bu bağıntıdaki " I_{wp} " terimi, yüzeysel temellerin oturma heapırına kullanılan ve Şekil 14.2'de izlendiği gibi tayin edilebilen " α_r " terimi ile üstüste düşmektedir. Deneysel veri yetersizliği nedeniyle " μ " poisson sayısı değerleri ise Çizelge 14.1 yardımıyla seçilebilir.



Şekil 14.1 Birim çevre sürtünmesinin şaft boyunca dağılıma biçimlerine bağlı olarak "ξ" katsayısı değerleri (Das, 1990)



Şekil 14.2 "I_{wp}" etki faktörünün belirlenmesi (Das, 1990)

Çizelge 14.1 Çeşitli zemin türleri için "μ_s" poisson sayıları (Das, 1990)

ZEMİN CINSİ	ELASTİSİTE MODÜLÜ (MN / m ²)	MODÜLÜ (lb / in ²)	POISSON ORANI ()
Gevşek Kum	10.35 - 24.15	1.500 - 3.500	0.20 - 0.40
Orta sıkı Kum	17.25 - 27.60	2.500 - 4.000	0.25 - 0.40
Sıkı Kum	34.50 - 55.20	5.000 - 8.000	0.30 - 0.45
Siltli Kum	10.35 - 17.25	1.500 - 2.500	0.20 - 0.40
Çakıllı Kum	69.00 - 172.50	10.000 - 25.000	0.15 - 0.35
Yumuşak Kil	2.07 - 5.18	300 - 750	
Katı Kil	5.18 - 10.35	750 - 1.500	0.20 - 0.50
Çok Katı Kil	10.35 - 24.15	1.500 - 3.500	

(Vesic, 1977) çalışmasında ise " S_2 " oturmasının belirlenmesi için araştırmacı tarafından (14.4) eşitliği ile tanımlanan yarı amprik bağıntının kullanılması önerilmektedir.

$$[S_2] = \frac{Q_{wp} C_p}{D \cdot q_p} \quad (14.4)$$

(14.4) eşitliğinde;

q_p = Kazık ucunda birim alanda taşınabilecek nihai yük

C_p = Amprik faktör

dür. Aynı araştırmacı " c_p " amprik faktörünün zemin ve kazık türüne bağlı olarak Çizelge 14.2'de görüldüğü gibi seçilebileceğini savunmaktadır.

Çizelge 14.2 Zemin ve kazık türüne bağlı olarak " C_p " amprik faktörünün aldığı değerler, (Yıldırım ve Özaydın, 1994).

Zemin Türü Çakma	Kazık	Sondaj Kazığı
Kum (sıkı-gevşek)	0.02 - 0.04	0.09 - 0.18
Kil (katı-yumuşak)	0.02 - 0.03	0.03 - 0.06
Silt (sıkı-gevşek)	0.03 - 0.05	0.09 - 0.12

Çizelge 14.2'deki değerler kazık ucundaki taşıyıcı diye adlandırılacak tabakanın en az "10D" kadar daha devam ettiği ve kazık ucundaki zemine göre en az onun kadar sıkı olduğu hallerde uzun süredeki oturmalar içindir. "10D"den daha yakında kaya varsa " C_p " daha az olup; kaya "5D" derinlikte ise oturmanın % 88'i, "1D" derinlikte ise %51'i alınır. Kazık ucu altında fazla sıkışabilir bir tabaka varolmadıkça genelde konsolidasyon oturması toplam oturmanın % 15'ini geçmez, aksi takdirde konsolidasyon oturması hesaplanıp oturma değerine eklenmelidir (Yıldırım ve Özaydın, 1994).

S_3 'ün belirlenmesi

Şaft boyunca çevreye aktarılan yük nedeniyle oluşan oturma yine yüzeysel temellerin oturma hesaplarına benzer biçimde (14.5) bağıntısı aracılığıyla hesaplanabilmektedir.

$$[S_3] = \left[\frac{Q_{ws}}{PL} \right] \left[\frac{D}{E_s} \right] [1 - \mu_s^2] I_{ws} \quad (14.5)$$

Bu ifadede ;

[P] = Kazık çevresi

[I_{ws}] = Etki faktörü

dür. (Q_{ws} / PL = q_{ws} olacağı hatırlatılmalıdır.)

"I_{ws}" etki faktörü (14.6) bağıntısı yardımıyla bulunabilir.

$$[I_{ws}] = 2 + 0.35 \sqrt{\frac{L}{D}} \quad (14.6)$$

Vesic, (1977) çalışmasında araştırmacı çevreye aktarılan yük nedeniyle oluşan oturmaların (14.4) bağıntısına benzer yapıda aşağıda tariflenen bağıntı yardımıyla hesaplanabileceğini savunmaktadır.

$$[S_3] = \frac{Q_{ws} C_s}{L q_p} \quad (14.7)$$

Burada görülen "C_s" amprik faktörünün aynı araştırmacı tarafından

$$[C_s] = \left[0.93 + 0.16 \sqrt{\frac{L}{D}} \right] C_p \quad (14.8)$$

ifadesi ile tayin edilebileceği ve (14.7) bağıntısı ile killi zeminler için hesaplanacak "S₃" oturmalarının ani oturmalara tekabül edeceği yorumlanmaktadır. (14.8) ifadesindeki "C_p" terimi (14.2) eşitliğinde yer alan ve Çizelge 14.2 aracılığıyla değeri kestirilebilen amprik faktördür.

14.12 Amprik Yöntemler

Vesic, (1970) çalışmasında işletme yükleri altında birkazığın toplam oturması (14.9) ifadesi ile aşağıdaki gibi ifade edilmektedir. (Prakash ve Sharma, 1990).

$$[S] = \frac{D}{100} + \frac{Q_{wa} L}{A_p E_p} \quad (14.9)$$

Burada,

[S] = Kazığın toplam oturması, [inç]

[Q_{wa}] = Çalışma yükü [lb]

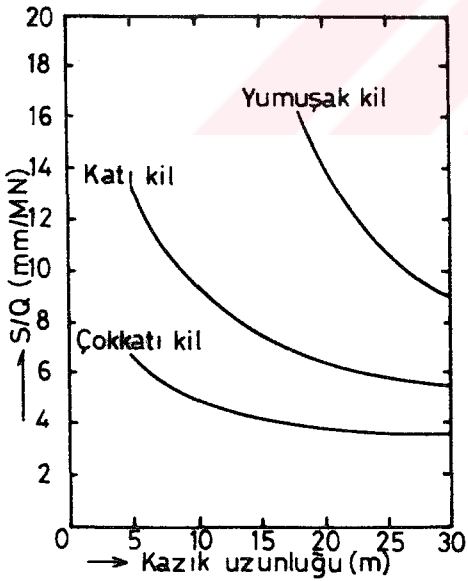
[D] = Kazık çapı, [inç]

$[A_p]$ = Kazık enkesit alanı [inç]

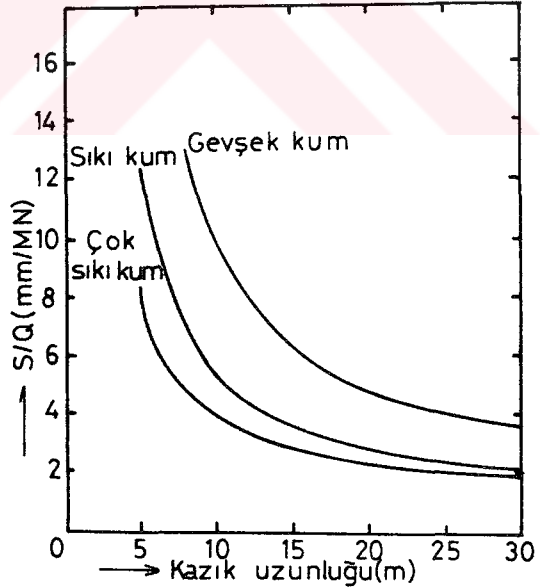
$[E_p]$ = Kazık malzemesinin elastik modülü [lb/in²]

$[L]$ = Kazık uzunluğu [inç]

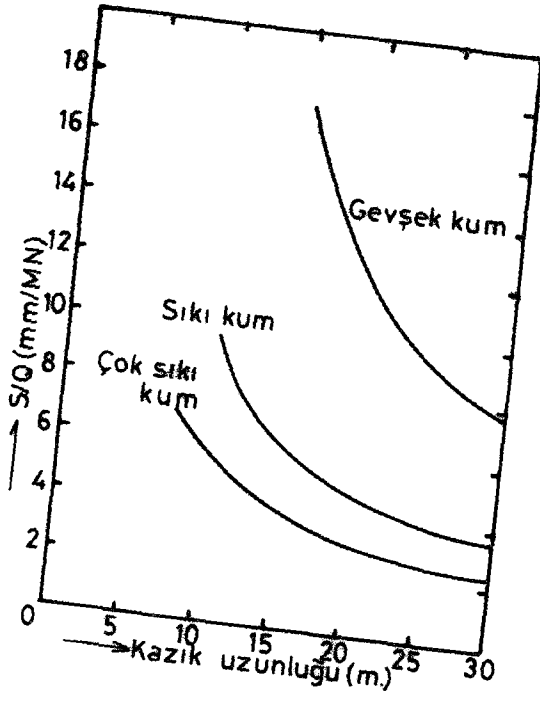
Poulos, (1989) çalışmasında kazık uzunluğu ile kazığa uygulanan birim yük başına oluşan oturma arasında kazık ve zemin türüne bağlı olarak değişken kazık çapları için arazi gözlem sonuçlarından yararlanarak Şekil 14.3, Şekil 14.4, Şekil 14.5 ve Şekil 14.6'da örnekleri görülen "[S / Q] = f(L)" türü ilişkilerin kurulabileceği öne sürülmektedir. Şekil 14.3, Şekil 14.4, Şekil 14.5 ve Şekil 14.6'da verilen ilişkiler çapı 0.4 - 1.0 m arasında değişen kazıklar için geçerli olup diğer kazık çapları için aynı ilişkiler, benzer normda-gözlem sonuçlarına dayanarak -türetilir. Bu diagramlar aracılığıyla kestirilen kazık oturmalarının doğruluğuna en çok tesir eden faktörler arazi koşulları ve başta zeminin birim ağırlığıdır. Nihai taşıma gücünün [% 30-%50]'si civarındaki uygulama yükleri için bu diagramları kolayca elde edilebileceğini savunan



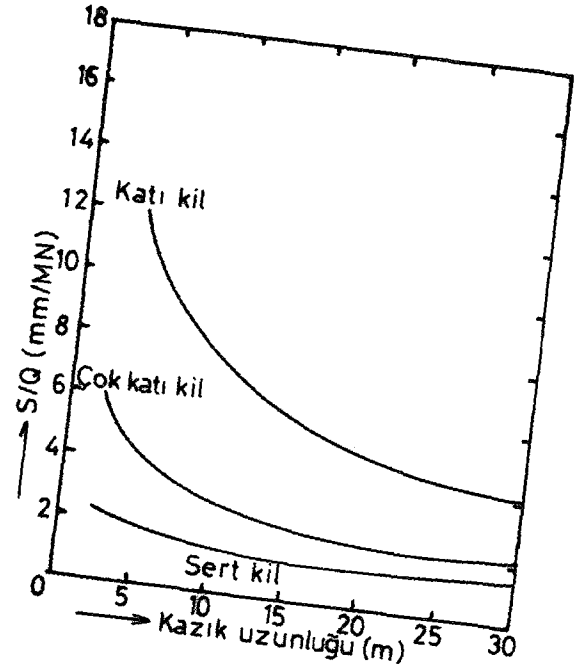
Şekil 14.3 Killi zeminlerde çakma kazıklarının oturma hesabı için tasarım diagramı (Poulos, 1989)



Şekil 14.4 Kumlu zeminlerde çakma kazıklarının oturma hesabı için tasarım diagramı (Poulos, 1989).



Şekil 14.5 Killi zeminlerde sondaj kazıklarının oturma hesabı için tasarım diagramı (Poulos, 1989)



Şekil 14.6 Kumlu zeminlerde sondaj kazıklarının hesabı için tasarım diagramı (Poulos, 1989).

Kulhawy özellikle bu diagramlar aracılığı ile bulunacak torik oturmaların gerçekleşen oturmalar ile üstüste düşebildiğini zeminin relatif sıkılığı azaldıkça Şekil 14.3, Şekil 14.4, Şekil 14.5 ve Şekil 14.6'da örnekleri görülen ilişkilerin oturma tahminlerinde konservatif yaklaşım sağladığını açıklamaktadır.

Frank (1985) kaynağına göre kılıflı kazıklar üzerinde yapılan pratik denemeler sonucunda tasarım yükleri altında meydana gelecek oturmalar aşağıda ifade edildiği şekilde bulunur.

Çakma Kazıklar

$$0.8 [D] < [S] < 1.2 [D]$$

$$\text{ortalaması : } [S] = 0.9 [D]$$

Sondaj Kazıkları

$$0.3 [D] < [S] < 1 [D]$$

$$\text{ortalaması : } [S] = 0.6 [D]$$

Briaud ve Tucker (1988) kaynağında ise araştırmacılar toplam kazık oturmasının % 95 olasılıkla nihai taşıma gücünün yarısına eşit bir çalışma yükü için kazık çapının 12.5 katından daha az olacağını vurgulamaktadır.

Poulos (1990) çalışmasında tek kazığın oturması için elastik zemin koşulları kabulü yapılarak daha pratik bir yaklaşımla (14.10) ifadesi önerilmiştir.

$$[S] = \frac{Q_{wa} L}{A_p E_p} + \frac{Q_{wa}}{D E_{SL}} I_p \quad (14.10)$$

Bu ifadede ;

[S] = Kazığın toplam oturması

[Q_{wa}] = Uygulanan aksenal yük

[A_p] = Kazık kesit alanı

[E_p] = Kazık malzemesinin elastik modülü

[D] = Kazık çapı

[E_{SL}] = Kazık ucu seviyesinde zeminin elastisite modülü

[I_p] = Etki faktörü

olarak tariflenmektedir (Poulos, 1990)

(14.10) ifadesinde yer alan zeminin elastisite modülü "E_{SL}" Şekil 14.7a ve b'de görüldüğü gibi derinlikle Jineer olarak artmaktadır.

"I_p;" etki faktörü, sürtünme kazıklarında Şekil 14.8, Şekil 14.9 ve Şekil 14.10'da görüldüğü gibi

"η = E_{so} / E_{SL}" ile tanımlanan elastisite modülü oranlarının çeşitli değerleri için aşağıda tanımlanan relatif kazık sıklığının'nın fonksiyonu olarak değişim kaydetmektedir.

$$[K_b] = E_p R_A / E_{SL} \quad (14.11)$$

Bu ifade de;

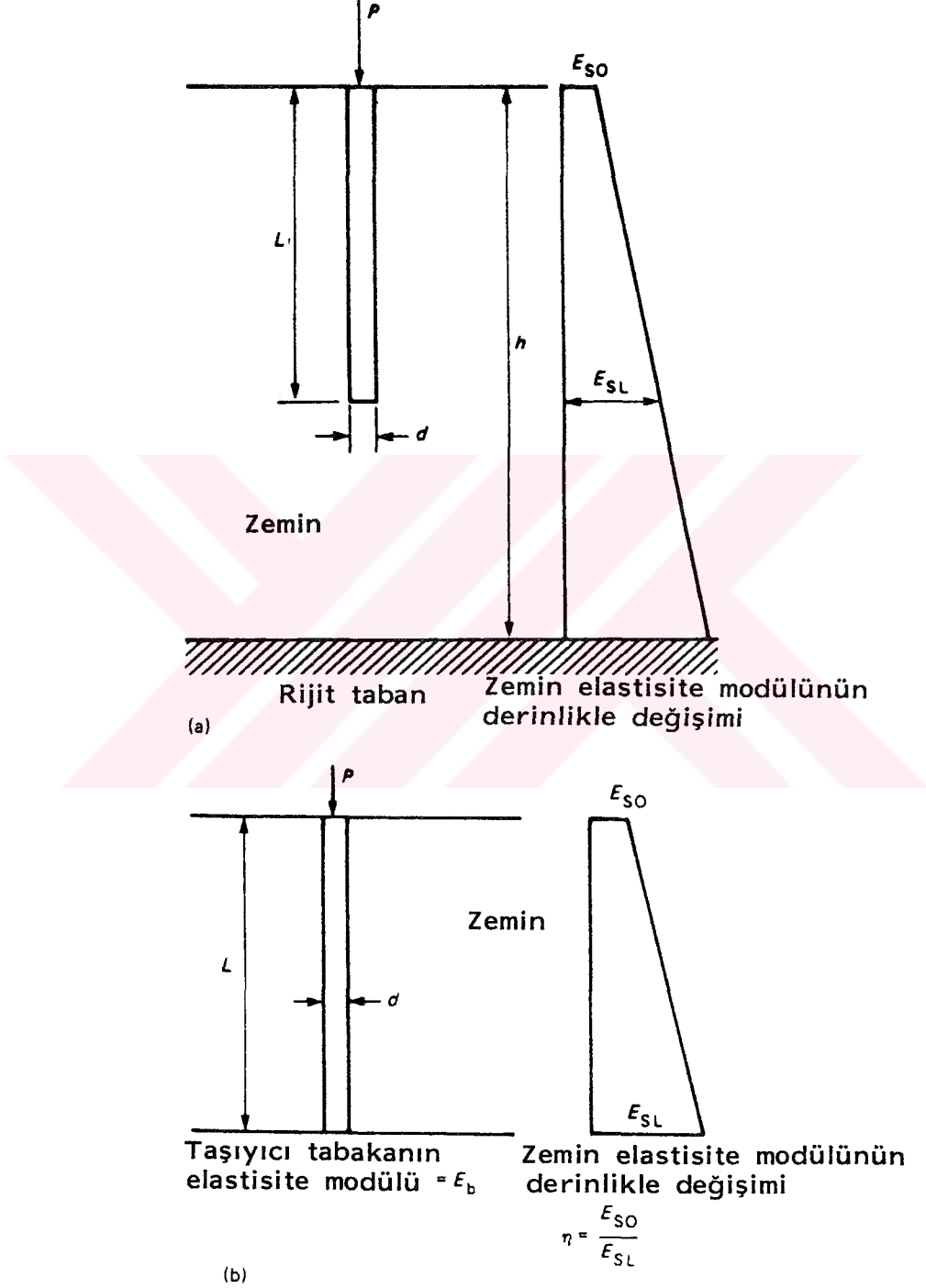
[E_p] = Kazık malzemesinin elastik modülü

[R_A] = Kazık kesit alanının brüt kesit alanına oranı olmaktadır.

Uç kazıkları için "I_p" etki faktörünün alabileceği değerler ise yine "η" ve "K_b"'nin fonksiyonu olarak Şekil 14.11, Şekil 14.12 ve Şekil 14.13'de görüldüğü gibi kestirilebilir.

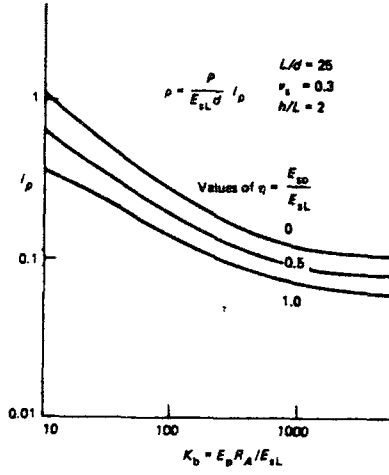
Elastik çözüm uygulamalarında drenajsız koşullardaki oturmalar, zeminin elastisite modülü olarak yukarıda tariflenen "E_{so}" ve "E_{SL}" elastisite modülleri ile fiziksel ve mekanik özelliklerin etkisinde değişebilen "ν" poisson oranı ve Şekil 14.8, Şekil 14.9, Şekil 14.10, Şekil 14.11, Şekil 14.12 ve Şekil 14.13'deki "I_p" etki faktörleri kullanılarak hesap yapılabilir. Adıgeçen şekillerin tümünde ortalama zemin koşulları

için $\nu = 0.5$ alınmakta olup zemin koşullarına bağlı olarak daha değişik " ν " oranları da seçilerek benzer nomogramlar da türetilebilir.

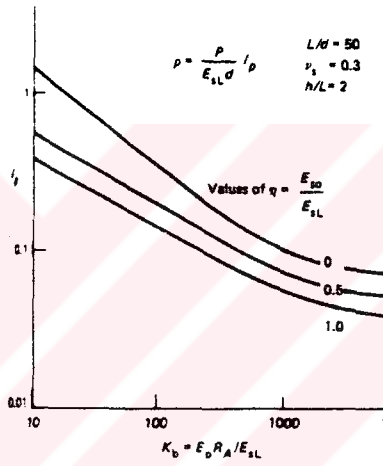


Şekil 14.7 Kazık tipine bağlı olarak zemin elastisite modülünün derinlikle değişimi (Poulos, 1990)

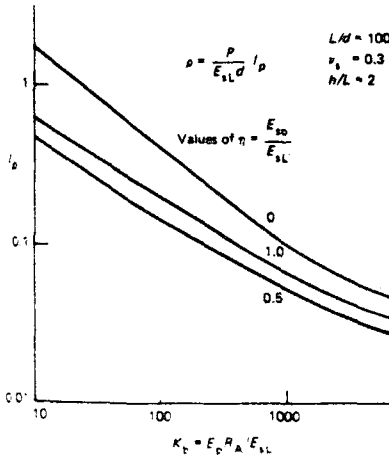
a) Sürtünme kazıkları b) Uç kazıkları



Şekil 14.8 Sürtünme kazıklarında "L/D = 25" için etki faktörünün "K_b" ve "η"ya bağlı olarak değişimi (Poulos, 1990)



Şekil 14.9 Sürtünme kazıklarında "L/D = 50" için etki faktörünün "K_b" ve "η"ya bağlı olarak değişimi (Poulos, 1990)



Şekil 14.10 Sürtünme kazıklarında "L/D = 100" için etki faktörünün "K_b" ve "η" ya bağlı olarak değişimi (Poulos, 1990)

Tabakalı zemin formasyonları için ise en pratik çözüm kazık shaftı boyunca karşılaşılan zemin tabakalarının eşdeğeri olacak homojen zemin tebakasının şekil-1414'te de görüldüğü gibi hassas biçimde tayin edilmesine dayanır. Bu şekilde yapılan idealleştirmeye bağlı olarak zeminin elastik modülü (14.12) bağıntısı ile tayin edilir.

$$E_s = \sum_{i=1}^{i=n} [E_i h_i] / L \quad (14.12)$$

Burada

[n] = Kazık boyunca farklı özelliklere sahip mevcut sayısı

[E_s] = Zeminin elastisite modülü

[E_i] = i'inci formasyonun elastisite modülü

[h_i] = i'nci formasyonun kalınlığı

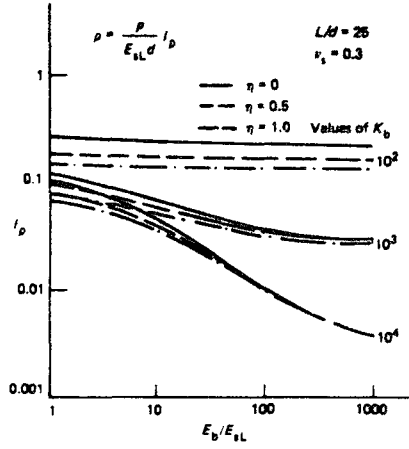
14.2. Kohezyonlu Zeminlerde Tek Kazığın Oturması

Kohezyonlu formasyonlarda bir kazığın toplam oturması başlıca aşağıda tanımlanan iki oturma bileşeninden oluşmaktadır.

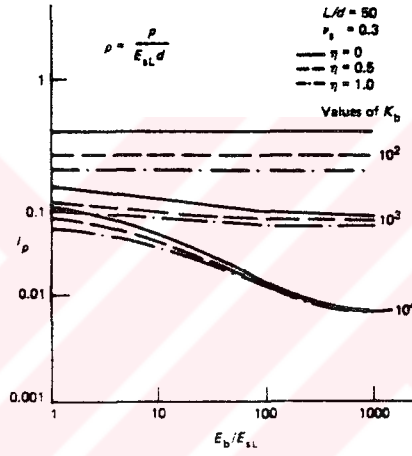
1. Uygulanan yük nedeniyle kısa sürede oluşan ani oturmalar
2. Yüklerin zemine yayılmasına bağlı olarak boşluk suyu basınçlarının drene olmasının sonucunda uzun sürede gelişen konsolidasyon oturmaları

Genel olarak kısa sürede oluşan oturmalar kohezyonlu zeminlerdeki elastik sıkışmalardan ileri gelmektedir. Bu oturma bileşeni, kımın suya doymun ve aşırı konsolide olmuş suya doymun kohezyonlu zeminler için toplam oturmanın önemli bir kısmını teşkil etmektedir. Aşırı konsolide zeminler bilindiği gibi geçmişte, şu anda üzerinde mevcut bulunan düşey efektif jeolojik yükten daha fazla düşey efektif jeolojik yüke maruz kalmış zeminlerdir.

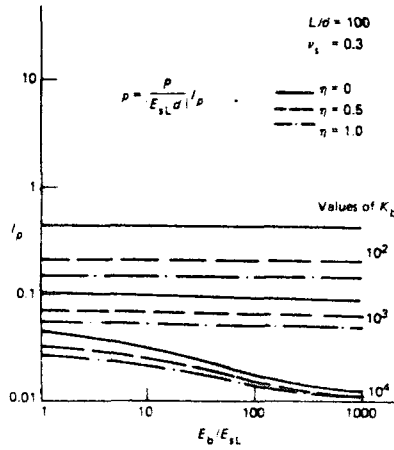
Kohezyonlu zeminlerde tek kazığın yapacağı ani oturmanın tahmini zemin koşulları uygun oldukça, yukarıda kohezyonsuz zeminlerde tek kazığın oturma hesaplarında açıklanan yöntemler kullanılarak yapılabilmektedir. Uzun süreli-konsolidasyon oturmaları ise çoğu kez 15. bölümde ele alınan kohezyonlu zeminlerdeki kazık gruplarının oturması başlığı altında görüleceği gibi "**grup davranışı**" olarak incelenmektedir.



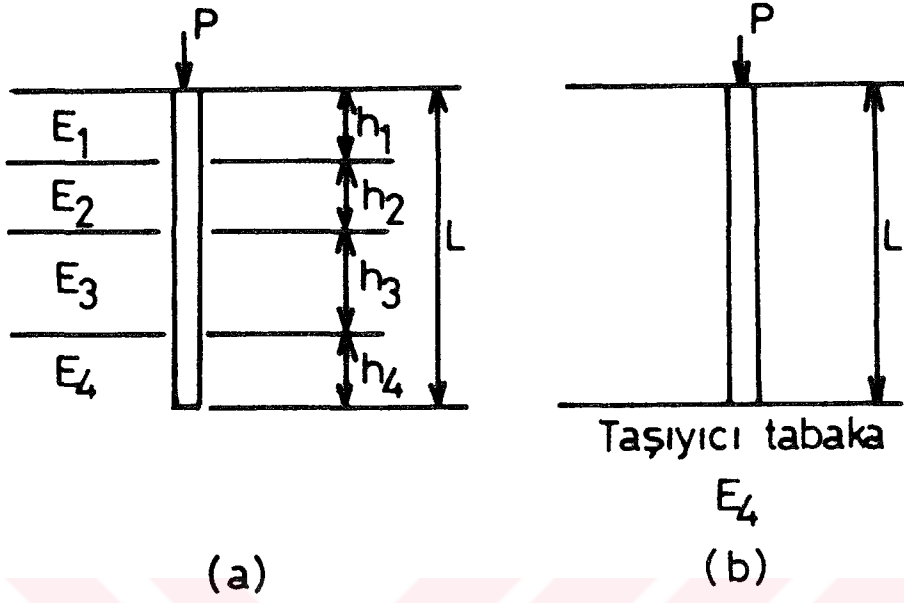
Şekil 14.11 Uç kazıklarında "L/D = 25" için etki faktörünün " K_b " ve " η " 'ya bağlı olarak değişim (Poulos, 1990).



Şekil 14.12 Uç kazıklarında "L/D = 50" için etki faktörünün " K_b " ve " η " 'ya bağlı olarak değişimi (Poulos, 1990)



Şekil 14.13 Uç kazıklarında "L/D= 100" için etki faktörünün " K_b " ve " η " 'ya bağlı olarak değişimi (Poulos, 1990).



Şekil 14.14 Tabakalı formasyonlarda elastisite modülünün tayin edilebilmesi için yapılan idealleştirme
(a) Mevcut formasyon (b) İdealize edilmiş formasyon

15. DÜŞEY YÜKLER ALTINDA KAZIK GRUPLARININ DAVRANIŞI

Uygulamada çoğu hallerde, üst yapı yüklerini taşıyıcı zemin tabakalarına aktarmak amacıyla zemine yerleştirilen kazıklar Şekil 15.1a'da görüldüğü gibi gruplar halinde inşa edilirler. Genellikle kazık gruplarının üzerinde betonarme olarak bir **kazık başlığı** da inşa edilmektedir. Söz konusu kazık grubunda yer alan tüm kazıkların üst ucu adı geçen başlığın içine gömülüdür. Kazıklı temel projelerinin büyük bir çoğunluğunda kazık başlığı hemen zemin seviyesinde yer almakta, özel projelerde ise yeraltında (tünel) veya yerüstünde (kıyı liman yapıları, açık deniz platformları v.s.) bulunabilmektedir (Şekil 15.1b).

10. bölümde tek kazığın nihai taşıma gücü statik analizlere dayalı olarak incelenmişti. Bu bölümde incelenecek kazık gruplarının taşıma gücü ise esasen oldukça karmaşık bir konu olup, şu anda bile bütün yönleriyle açıklanamayan, netleştirilemeyen sorulara gebe dir. Kazıklar Şekil 15.1c'de izlendiği gibi birbirilerine yakın nizamalarda zemine yerleştirilirse kazık tarafından zemine aktarılan üst yapı yüklerinin kazık çevresinde tariflediği gerilme soğanları çakışabilmekte ve üstüste binebilmektedir. Bu çakışmalar ise biraz sonra açıklanacak grup taşıma gücünü azaltmaktadır. Bu nedenle grup kazıklarının bileşik taşıma gücü olarak tariflenen kazık grubunun taşıma gücünün tek kazığın taşıma gücünden az olmaması için pratikte grup içindeki kazıklar uygun mesafelerde birbirlerinden ayrık olarak zemine yerleştirilmelidir. Uygulamalarda söz konusu kazık aralığı (üst yapı yüklerinin şiddeti ve geoteknik ortam koşullarına da bağlı olmak üzere grup içindeki kazık çapının en az 2.5 misli $[2.5 D]$ olmalıdır. Bunun yanısıra emniyetli tarafta kalmak düşüncesi ile adı geçen mesafe $[3 D - 7 D]$ arasında seçilmektedir. (Das, 1990)

Bir grup kazığının yük taşıma kapasitesinde grup etkisi (15.1) bağıntısıyla aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$[\eta] = \frac{[Q]_{gu}}{\sum Q_u} \quad (15.1)$$

(15.1) eşitliğinde;

$[\eta]$ = Grup etkisi

$[Q]_{gu}$ = Kazık grubunun nihai yük taşıma kapasitesi

$[Q]_u$ = Grup etkisi olmaksızın her bir kazığın nihai yük taşıma kapasitesi

olarak tariflenmektedir. Aşağıdaki bölümlerde sırasıyla, kohezyonsuz ve kohezyonlu zeminlerde yer alan birden fazla kazığın oluşturduğu kazık gruplarının taşıma gücü ve oturma hesaplarının nasıl yapıldığı genel yönleriyle ele alınmakta ve hesap önerileri için yapılan kabul ve varsayımlar kısaca açıklanmaktadır.

15.1. Kohezyonsuz Zeminlerde Kazık Gruplarının Taşıma Gücü

Kohezyonsuz zeminlerde yeralan sürtünme kazıklarının grup etkisini belirlemek için geoteknik mühendislerinin pek çoğu basitleştirilmiş analiz kullanmaktadır. Basitleştirilmiş analiz Şekil 15.1a yardımıyla açıklanabilir. Eksenden eksene ara mesafelerine bağlı olarak kazıkların birbirine etkisi aşağıda açıkladığı gibi iki şekilde olur.

1. $[L_g \times B_g \times L]$ boyutlarında bir blok olarak

2. Tekil kazıklar olarak

Eğer kazıklar blok etkisi gösteriyorsa grubun sürtünme kapasitesi (15.2) ifadesi ile tayin edilebilir. (Das, 1990)

$$[Q]_{gu} \equiv f_s P_g L \quad (15.2)$$

Burada ;

$P_g = [L_g \times B_g \times L]$ boyutlarındaki bloğun enkesit çevresi olup (n_1 ve n_2 kazık grubunda her iki yöndeki kazık sayıları olmak üzere)

$$P_g = 2 (n_1 + n_2 - 2) d + 4D \quad \text{dir.}$$

L = Kazığın uzunluğu

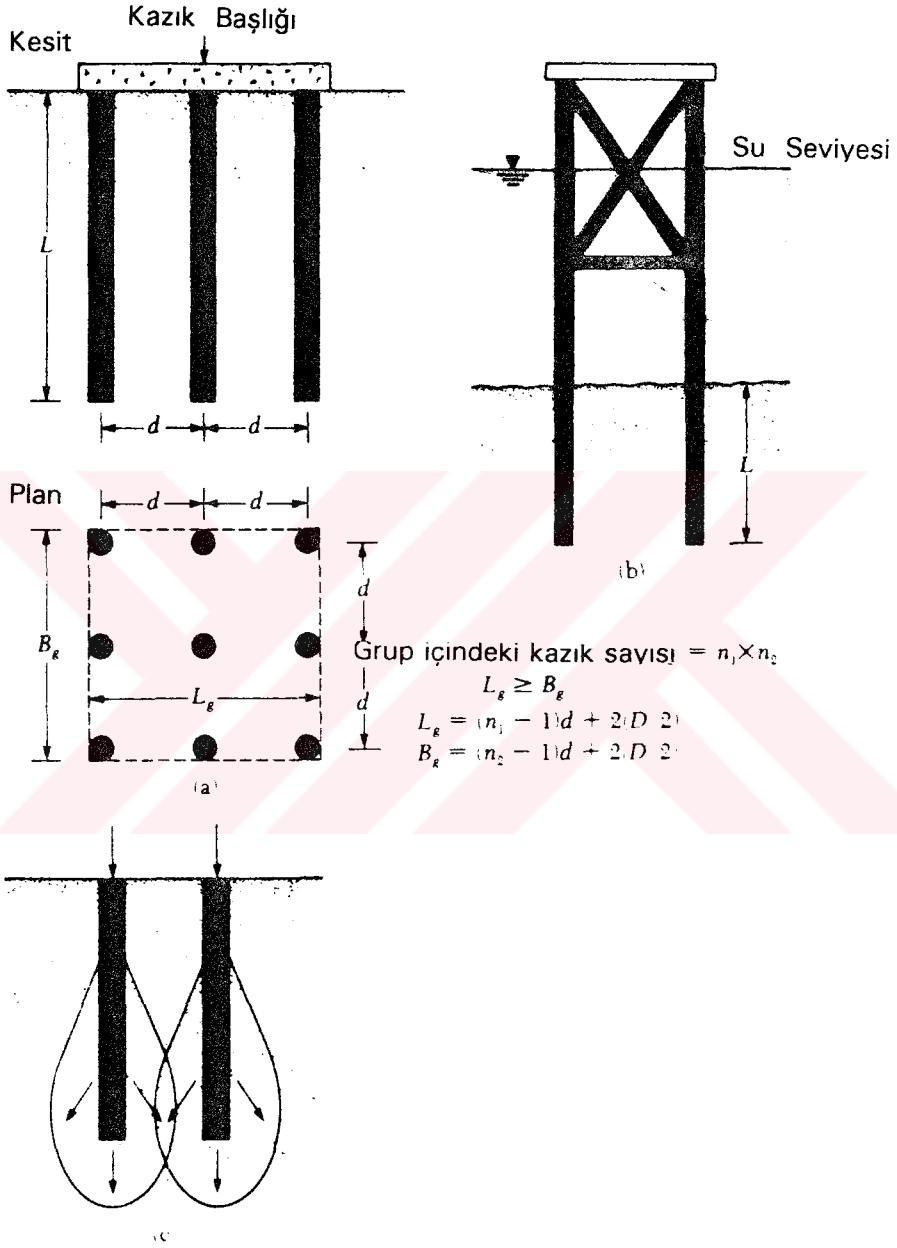
d = Akstan aksa iki kazık arasındaki mesafe

f_s = Ortalama birim çevre sürtünmesi

olmaktadır. Benzer olarak grup içindeki her bir kazığın etkisi tek tek hesaplanabilir.

$$[Q]_u = P L f_s \quad (15.3)$$

(15.3) ifadesinde "P" herbir kazığın enkesit çevresidir.



Şekil 15.1 Kazık grupları

Bunlara göre kohezyonsuz (kumlu) zeminlerin grup etkisi (15.4) eşitliğiyle şöyle tanımlanmaktadır:

$$\eta = \frac{[Q_g]_u}{\sum Q_u} = \frac{q_s [2 (n_1 + n_2 - 2) d + 4D] L}{n_1 n_2 P L q_s} \quad (15.4)$$
$$= \frac{2 (n_1 + n_2 - 2) d + 4D}{P n_1 n_2}$$

Bu durumda kazık grubunun nihai taşıma gücü (15.5) eşitliğinde tariflendiği gibi olacaktır.

$$[Q]_{gu} = \left[\frac{2 (n_1 + n_2 - 2) d + 4D}{P n_1 n_2} \right] \sum Q_u \quad (15.5)$$

(15.5) bağıntısında eğer iki kazık arasındaki akstan aksa mesafe çok büyük (geniş) olursa $\eta > 1$ olacak ve bu halde kazıklar tekil kazık davranışı göstereceklerdir. Son değerlendirmelere göre eğer $\eta > 1$ ise;

$$[Q]_{gu} = \eta \sum Q_u \quad (15.6)$$

Eğer $\eta < 1$ ise;

$$[Q]_{gu} = \sum Q_u \quad (15.7)$$

ifadeleri ile hesaplanmalıdır.

Tasarım mühendislerinin analizlerde sıkça başvurduğu diğer yaklaşım "Converse - Labarre" eşitliklerinin kullanılmasıdır. Bu eşitlik;

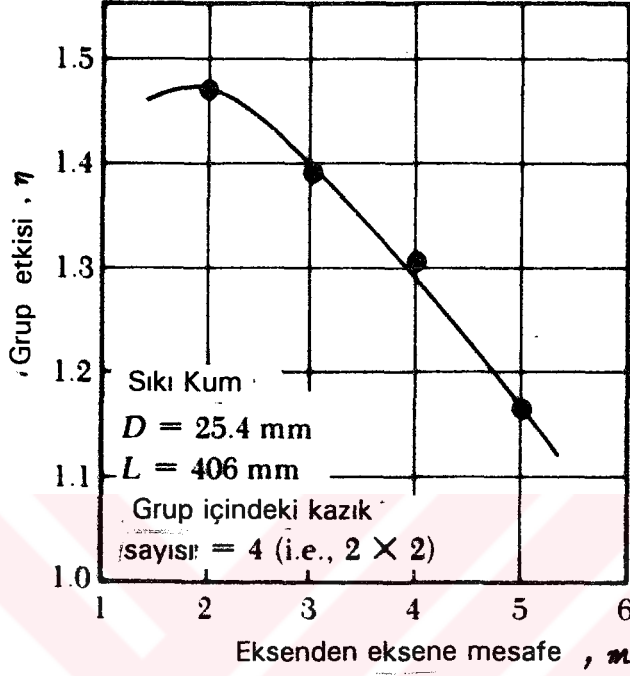
$$[\eta] = 1 - \left[\frac{(n_1 - 1)n_2 + (n_2 - 1)n_1}{90 n_1 n_2} \right] \theta \quad (15.8)$$

biçiminde formüle edilebilmektedir. (Das, 1990). Bu ifadedeki " θ " açısı (15.9) bağıntısıyla [derece] biriminde hesaplanmaktadır.

$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{D}{d} \right] \quad (15.9)$$

Şekil 15.2 sıkı kumlara penetre edilen kazıkların çevresinde Das (1990) tarafından laboratuvarında yapılan bir seri model deneyinin sonuçlarını resmetmektedir. Ancak gerçekte ve normalde "1"den küçük elde edilmesi gereken grup etkisi değerleri (Şekil 15.2 düşey eksen) model deneyleri sırasında kazıkların çevresinde suni bir kompaksiyon zonu yaratıldığı için 1'den büyük bulunmuştur.

Kumlu zeminlerde yer alan kazık gruplarının davranışını ortaya koyabilmek amacıyla yapılan deneysel gözlem ve araştırmaların ışığında aşağıdaki genel sonuçlara ulaşılmıştır.



Şekil 15.2 Sıkı kumlarda grup kazıkları için yapılan model deneylerinin sonuçları (Das, 1990)

1. Kumlu zeminlere yerleştirilen "**çakma grup kazıklar**" için $d \geq 3D$ ve çoğu kez $[Q]_{gu} = \sum [Q]_u = n [Q]_u$ alınabilmektedir. Grubun toplam nihai taşıma kapasitesi $[Q]_{gu}$ kazığın hem uç mukavemetini, hem de çevre sürtünmesini birlikte hesaba katmaktadır.

2. Kumlu zeminlere yerleştirilen "**sondaj grup kazıklar**" için uygun kazık aralığı (eksenden eksene mesafe), $[d = 3D]$ alınmalı ve grubun toplam nihai taşıma kapasitesi $[Q]_{gu}$, tek kazığın uç mukavemeti ve çevre sürtünmesinin toplamı olan nihai kapasite $[Q]_u$ 'nun $[2/3 \text{ yada } 3/4]$ n misli olmalı yani $[Q]_{gu} = [2/3 \text{ yada } 3/4] [Q]_u$ veyahut da $[Q]_{gu} = [2/3 \text{ yada } 3/4] \sum [Q]_u$ olarak alınmalıdır (Das, 1990)

15.2 Kohezyonlu Zeminlerde Kazık Gruplarının Taşıma Gücü

Kohezyonlu zeminlerde yerleştirilen bir kazık grubu için grup etkisi kohezyonsuz zeminlerdeki gibi doğrudan doğruya bir grup etkisi faktörünün çarpanı olarak ikame

edildiği (15.6) yada (15.7) eşitlikleri ile saptanamaz. Kohezyonlu (killi) bir zemindeki kazık grubu için toplam nihai grup taşıma gücünün kestiriminde aşağıdaki sıranın izlenmesi önerilmektedir. (Das, 1990)

1. Grup içindeki kazıkların toplam nihai kapasiteleri;

$$\sum Q_u = n_1 n_2 [Q_p + Q_s] \quad (15.10)$$

ifadesi ile belirlenecektir. (15.10) ifadesindeki kazık uç direnci,

$$Q_p = A_p [9 c_{up}] \quad (15.11)$$

çevre sürtünmesi ise;

$$Q_s = \sum \alpha P c_u \Delta L \quad (15.12)$$

bağıntıları yardımıyla bulunabilir. (15.11) ifadesindeki " c_{up} " kazık alt ucu seviyesindeki (15.12) ifadesindeki " c_u " ise kazık çevresi boyunca herhangi bir derinlikteki drenajsız kohezyonu göstermektedir. böylelikle (15.10) eşitliği aşağıdaki gibi yeniden düzenlenerek;

$$\sum Q_u = n_1 n_2 [9 A_p c_{up} + \sum [\alpha P c_u \Delta L]] \quad (15.13)$$

biçiminde yazılabilir.

2. Grup içindeki kazıkların [$L_g \times B_g \times L$] boyutlarında bir blok etkisi gösterecekleri varsayılarak; bu bloğun çevre sürtünmesi;

$$\sum P_g c_u \Delta L = \sum 2 [L_g + B_g] c_u \Delta L \quad (15.14)$$

ifadesi ile hesaplanır. Uç mukavemeti ise (15.15) eşitliği ile bulunabilir.

$$A q_p = A c_{up} N_c = [L_g B_g] c_{up} N_c \quad (15.15)$$

(15.5) bağıntısındaki " N_c " 10. bölümde açıklanan boyutsuz taşıma kapasitesi faktörü olup 10 bölümde açıklandığı şekilde hesaplanacaktır.

Grup içindeki kazıkların taşıyacağı toplam nihai yük aşağıdaki gibi bulunur.

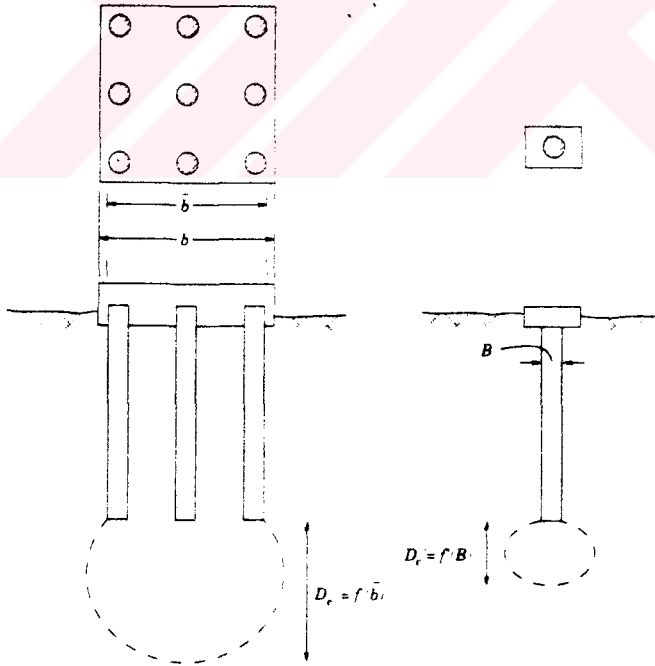
$$\sum Q_u = L_g B_g c_{up} N_c + \sum 2 [L_g + B_g] c_u \Delta L \quad (15.16)$$

3. (15.13) ve (15.16) eşitlikleri ile iki şekilde hesaplanan toplam nihai kapasiteler karşılaştırılır. Bunlardan küçük olan kazık grubunun nihai taşıma kapasitesi olarak kabul edilir.

15.3. Kohezyonsuz Zeminlerde Kazık Grubunun Oturası

Yapılan pratik gözlemler, bir kazık grubunun kazık başına düşen yük ve yükleme koşulları aynı oldukça - grubun etki derinliği " D_e " tek kazığın etki derinliğe " D_e " kıyasla daha büyük olduğu için - tek kazığa göre yapacağı oturmanın daha fazla olduğunu göstermiştir. Bu gözlem zemin cinsinden, kazık tipinden bağımsız olup gerek elastik gereksede konsolidasyon oturmaları için de geçerlidir. Sözedilen bu durum şekil 15.3 ' te genel olarak görülmektedir. (Prakash ve Sharma, 1990)

Kohezyonsuz zeminlerde yer alan kazık gruplarının düşey yükler altında yapacakları oturmaların tahmin edilebilmesi için kullanılan özel bir metod bulunmamakla beraber, Bölüm 15.4 ' te kohezyonlu zeminlerdeki kazık gruplarının oturma hesabına açıklanacak olan "fiktif temel kabulleri" yapılarak oturma hesabına yaklaşım yapılabilmektedir. Bununla beraber kohezyonsuz zeminlerdeki kazık gruplarının grup oturmasının tahmininde kullanılması önerilen bazı amprik yada aprik hesap yöntemleri aşağıda kısaca özetlenmektedir.



Şekil 15.3 Bir kazık grubu ve tek kazığın etki alanı ve etki derinlikleri

(Prakash ve Sharma, 1990)

15.3.1. Vesic Metodu ile Hesap

Vesic (1977) kaynağında araştırmacı kohezyonsuz zeminlerde yeralan bir kazık grubunun oturması için (15.17) eşitliğini önermektedir. (İlbay ve diğerleri, 1989)

$$[S]_g = S \sqrt{[B/D]} \quad (15.17)$$

Bu bağıntıda;

$[S]_g$ = Her bir kazığın eşit yük aldığı kazık grubunun oturması

$[S]$ = Tek kazığın kazık yükleme deneylerinin sonuçlarına göre tahmin edilen oturması

$[B]$ = Kazık grubunun genişliği (Bak Şekil 15.3)

$[D]$ = Kazık çapı

olmaktadır. Vesic tarafından önerilen bu bağıntı NAVFAC (1982) ve CFEM (1985) kaynaklarınca da benimsenmiştir. Bu eşitliğin hem kumlar hem de killerin elastik oturmasının hesabında kullanılabileceği aynı kaynaklarda ifade edilmektedir.

15.3.2. Meyerhof Metodu ile Hesap

Meyerhof kohezyonsuz zeminlerde kazık gruplarının oturmasının aşağıdaki bağıntı yardımıyla inç cinsinden hesaplanabileceğini önermektedir (Anonymous, 1987).

$$[S]_g = 2 q I \sqrt{B} / [N] \quad (15.18a)$$

Bu bağıntıda;

$[S]_g$ = Kazık grubunun oturması (inç)

$[q]$ = Kazık başlığının alt hizasında zemine intikal eden basınç, (ton/ft²)

$[B]$ = Kazık grubunun genişliği, (feet)

$[I]$ = Düzeltme faktörü

$[N]$ = Kazık grubu genişliğine eşit bir derinlikteki ortalama "SPT değeri olarak açıklanabilir. Özellikle siltlikum içeren formasyonlarda bağıntının kestirim kapasitesi artmaktadır.

Yine Meyerhof statik koni penetrasyon direnci " q_c " değerlerine dayanarak aşağıdaki bağıntıyı önermektedir.

$$[S_g] = q B I / 2[q_c] \quad (15.18.b)$$

Meyerhof (15.18) bağıntısındaki "I" düzeltme faktörünün hesabı için aşağıdaki eşitliğin kullanılabileceğini savunmaktadır.

$$I = 1 - L / 8 [B] \geq 0.5 \quad (15.19)$$

Bu ifadede ki "L" gruptaki kazık uzunluğu göstermektedir.

15.3.3. Terzaghi Metodu ile Hesap

Terzaghi kazık gruplarının kohezyonsuz zeminlerde yer alması durumunda meydana gelecek elastik oturmanın (15.20) eşitliği ile tayin edilebileceğini ileri sürmektedir (Bowles, 1981).

$$[S_g] = q B [1 - \mu^2] I_w / [E_s] \quad (15.20)$$

Bu ifadede;

[q] = Temas yüzeyindeki düşey basınç

[B] = Temelin en küçük boyutu (Bak Şekil 15.4)

[μ] = Poisson oranı

[E] = Zeminin elastik modülü

[I_w] = Temel geometrisi düzeltme faktörü

olarak tariflenmektedir. (15.20) bağıntısındaki zeminin elastisite modülü "E_s" saptanırken, zemin cinsine bağlı olarak Çizelge 15.1'de görülen tasarım verileri kullanılabilir.

"I_w" temel geometrisi düzeltme faktörü ise dairesel, kare veya dikdörtgen tabanlı temeller için Çizelge 15.2'de önerilen değerler kullanılarak tesbit edilebilir. Çizelge 15.1 kohezyonlu zeminler için de kullanılabilir.

15.3.4. Menard-Rousseau metodu ile Hesap

Menard ve Rousseau yaptıkları bir dizi deneysel araştırmanın sonuçlarına dayalı olarak grup içindeki kazık boylarının Şekil 15.4'te görüldüğü gibi alt üçte biri hizasında varlığı kabul edilen ve yukarıdan itibaren 1/4 eğimle genişliği tayin edilen "[BxL]" boyutlarındaki dikdörtgen kesitli eşdeğer radye temelin (fiktif temel) nihai elastik

oturmasının grup oturmasına yaklaşık eşit alınabileceğini öne sürerek (15.21) bağıntısının kullanılabileceğini ifade etmektedirler (İlbaş ve diğerleri, 1989).

Çizelge 15.1 Zemin cinsine bağlı olarak tipik elastisite modülü değerleri (Bowles, 1981)

Zemin Cinsi	E_s , [kN/m ²]
KİLLER	
Çok Yumuşak Killer	300 - 3000
Yumuşak Killer	2000 - 4000
Orta Katı Killer	4500 - 9000
Katı Killer	7000 - 20000
Kumlu Killer	30000 - 42500
KUMLAR	
Siltli Kumlar	5000 - 20000
Gevşek Kumlar	10000 - 25000
Sıkı Kumlar	50000 - 100000
KUM ve ÇAKILLAR	
Sıkı Kumlu Çakıl	80000 - 200000
Gevşek Kumlu Çakıl	50000 - 140000
Siltler	2000 - 20000
Şeyl	1400 - 140000

Çizelge 15.2 Temel geometrisi düzeltme faktörü I_w 'nin temel şekline göre aldığı değerler (Bowles, 1981).

Temel Şekli	Fleksibl			Rijit
	Merkez	Köşe	Ortalama	
Dairesel	1.00	0.64	0.85	0.88
Karesel	1.12	0.56	0.95	0.82
Dikdörtgen				
L/B = 15	1.36	0.68	1.15	1.06
2	1.53	0.77	1.30	1.20
5	2.10	1.05	1.83	1.70
10	2.54	1.27	2.25	2.10
100	4.01	2.00	3.69	3.40

$$[S_g] = [2q^* B_o (\lambda_d B/B_o)^\alpha + \alpha q^* \lambda_c B] / 9 [E]_M \quad (15.21)$$

(15.21) eşitliğinde yer alan terimler,

$[q^*]$ = Net ortalama taban basıncı

$[B]_o$ = Referans genişliği

$[B]$ = Temel (kazık grubu) toplam genişliği

$[\alpha]$ = Zemin cinsine ve yapısına bağlı bir faktör

$[\lambda]_d$ = Eşdeğer radye temelin "[L/B]" oranına bağlı şekil faktörü

$[\lambda]_c$ = Eşdeğer radye temelin "[L/B]" oranına bağlı şekil faktörü

$[E]_M$ = Menard pressiometrik elastisite modülü

olarak tariflenmektedir. Bu bağıntıda görülen " α " " λ_c " ve " λ_d " parametrelerinin tayin edilebilmesi için Çizelge 15.3 ve Çizelge 15.4'ün kullanılması gerektiği Baquelin et al (1978) çalışmasında rapor edilmektedir.

15.3.5. Skempton-Yassin-Gibson Metodu ile Hesap

Tomlinson (1977) çalışmasında yönteme adını veren araştırmacıların kohezyonsuz zeminlerdeki kazık grubunun oturmasının (15.22) eşitliği ile bulunabileceği ifade edilmektedir.

$$[S]_g = [S]_1 k \quad (15.22)$$

Bu bağıntıda;

$[S]_1$ = Grup içindeki tek kazığın oturması

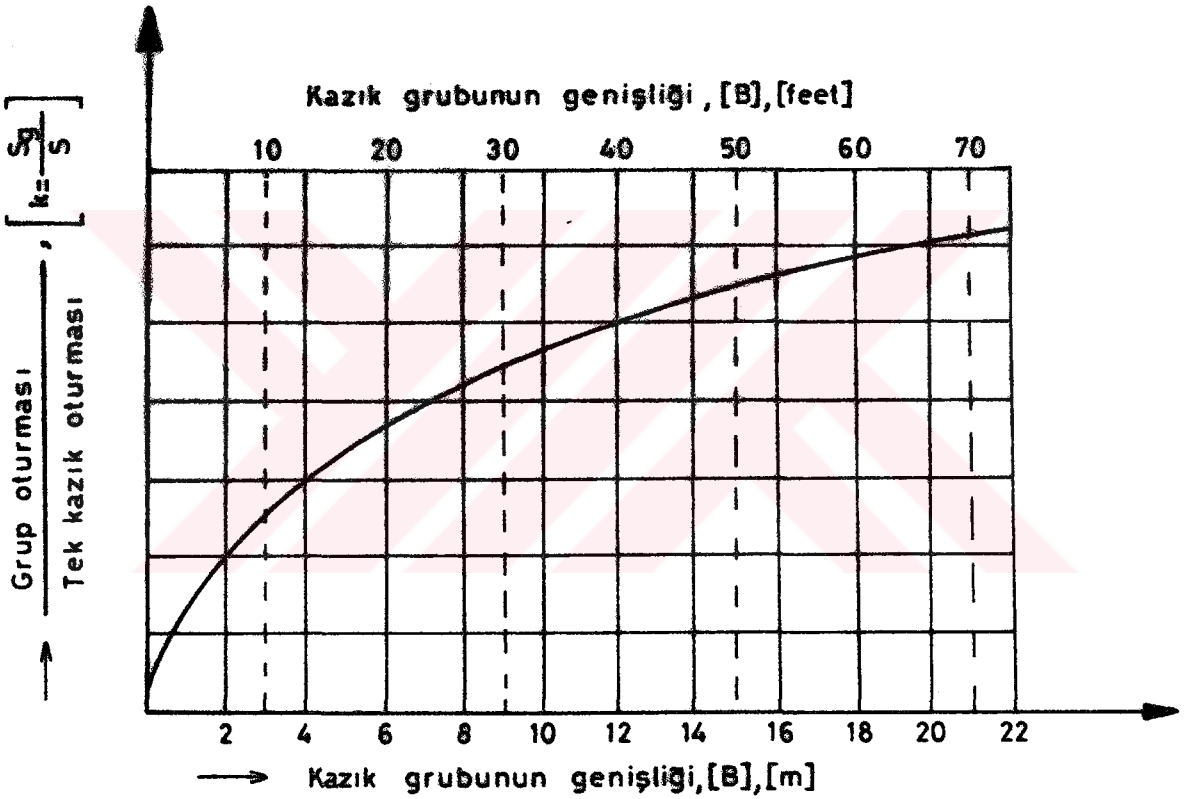
$[k]$ = Kazık grubunun genişliğine bağlı amprik faktör olup Şekil 15.5'te izlendiği gibi bulunabilir.

Çizelge 15.3 Zeminin yapısına bağlı olarak " α " şekil faktörleri
(Baquelin et al., 1978)

Zemin Cinsi	Kil	Silt	Kum	Kumlu Çakıl
Aşırı Konzolide	1	2/3	1/2	1/3
Normal Konzolide	2/3	1/2	1/3	1/4
Ayrıışmış ve/veya örselenmiş	1/2	1/2	1/3	1/4

Çizelge 15.4 Temel geometrisine bağlı olarak " λ_c " ve " λ_d " şekil faktörleri
(Baquelin et al, 1978)

[L/B]			2	3	4	5
	Dairesel	Karesel				
λ_d	1	1.12	1.53	1.78	2.14	2.65
λ_c	1	1.10	1.20	1.3	1.40	1.50



Şekil 15.5 Kazık grubunun genişliğine bağlı olarak "Skempton-Yassin-Gibson" yöntemindeki "k" ampik faktörünün değişim eğrisi

15.3.6. Koerner Metodu ile Hesap

Koerner (1985) çalışmasında kohezyonsuz zeminde yeralan bir kazık grubunun oturması için

$$[S]_g = [S]_1 k [5 - k/3] / [1 + 1/r]^2 \quad (15.23)$$

Bu ifade de;

[k] = Kazık aralığının kazık çapına oranı

[r] = Bir sıradaki kazık sayısı olmaktadır.

15.3.7. Poulos Metodu ile Hesap

Poulos (1989) çalışmasında hem çakma hem de sondaj kazıkları için farklı zemin koşullarında yeralan kazık gruplarının yapacağı total grup oturmasının pratik ve hızlı bir şekilde tahmin edilmesine olanak tanıyan yaklaşım Şekil 15.6 ve Şekil 15.7'de açıklanmaktadır. Bu yaklaşımın en sade sunuluşu (15.24) eşitliğinde görülen ve pek çok kazık grubunda "[0.4 - 0.6]" arasında değerler alabilen amprik "w" faktörünün kazık uzunluğuna bağlı olarak yukarıda adı geçen şekillerden tayin edilip, aynı bağıntıdan yararlanarak "**grup oturma oranı**" olarak tariflenen " R_s "'in hesaplanmasına dayanır. Grup içindeki her kazığın eşit yük aldığı kabulüyle "Grup oturması/tek kazığın oturması" kazığın eşit yük aldığı kabulüyle "**Grup oturması / Tek kazığın oturması**" oranı şeklinde tanımlanan " R_s " (15.24) bağıntısıyla aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$R_s = \frac{\text{Grup oturması}}{\text{Tek kazığın oturması}} = [n]^w \quad (15.24)$$

Bu ifade de;

[n] = Gruptaki kazık sayısı

[w] = Amprik faktör

olup kısa kazıklarda "w"nın değişim aralığı dar uzun kazıklarda ise daha geniştir. (15.24) bağıntısıyla tariflenen ilinti ve Şekil 15.6 ve Şekil 15.7'de resmedilen ilişki uzunluğu [10 - 30] m. arasında değişen kazıklar için anlamlı sonuçlar vermekte ayrıca zemin cinsi ve kazık tipi ne olursa olsun 10 m. uzunluğundaki kazıklar için "w" [0.41 - 0.51] arasında değerler alırken 30 m uzunluğundaki kazıklar için aynı büyüklük [0.22 - 0.47] arasında değerler almaktadır (Poulos, 1989).

O. Neill (1983) R_s 'in belirlenebilmesi için alternatif bir yaklaşım da bulunarak (15.25) ifadesini önermektedir.

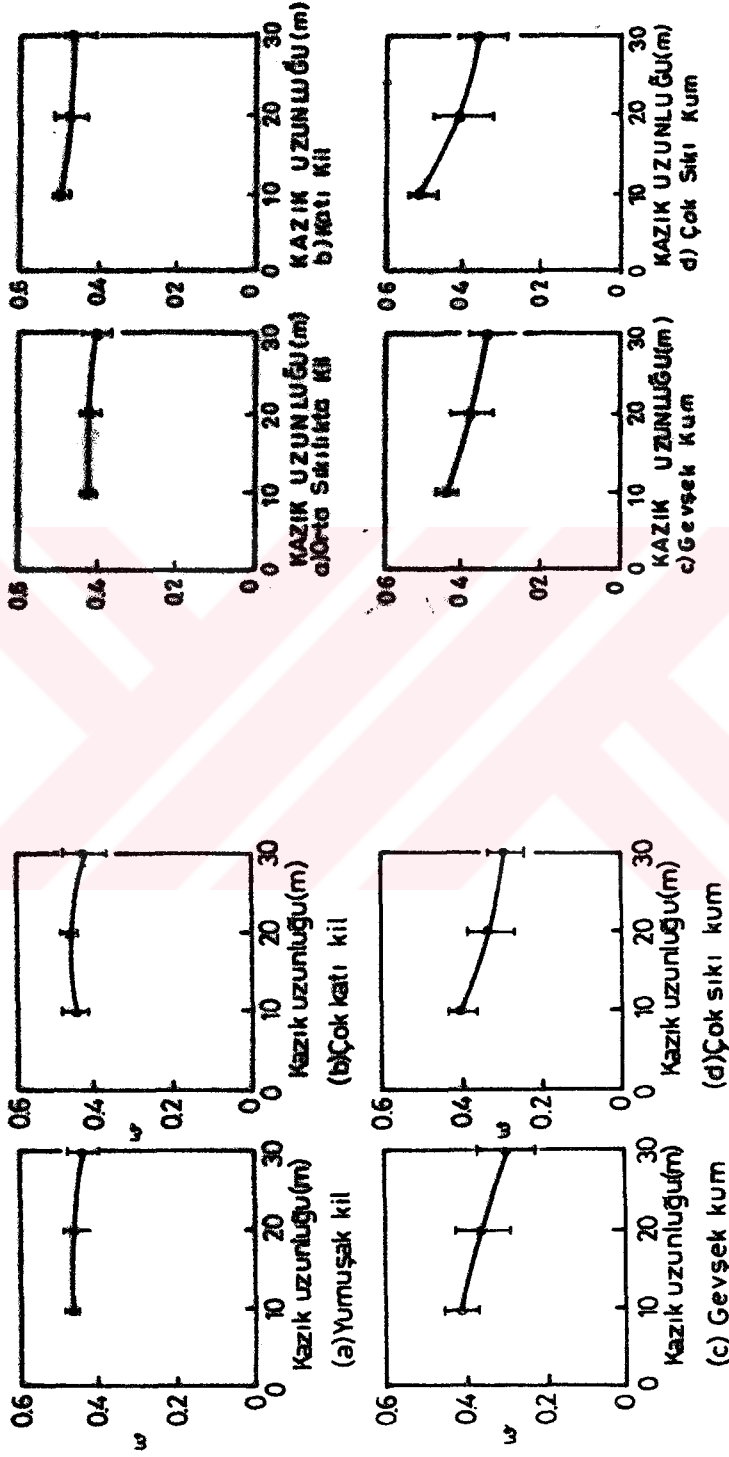
$$[R]_s = n [R]_g \quad (15.25)$$

Bu eşitlikte;

[n] = Gruptaki kazık sayısı

[R]_g = Grup azaltma faktörü

olarak yorumlanmaktadır.



Şekil 15.6 Çakma kazık gruplarında grup oturma oranının belirlenmesinde rol oynayan "w" ampirik faktörünün belirlenmesi (Poulos, 1989)

Şekil 15.7 Fore kazık gruplarında grup oturma oranının belirlenmesinde rol oynayan "w" ampirik faktörünün belirlenmesi (Poulos, 1989)

" R_g " terimi esasen grup sıklığının, tek kazık sıklığına oranı olarak açıklanmaktadır (Poulos, 1989) Araştırmalar grup azaltma faktörü " R_g " 'nin "grup genişliği /çap", "kazık uzunluğu / kazık çapı" ve "poisson oranı" 'nın fonksiyonu olarak Şekil 15.8'te izlendiği gibi, grup oturma oranı " R_s " 'nin de "gruptaki kazık sayısı" ile "kazık uzunluğu / kazık çapı" oranının fonksiyonu olarak Şekil 15.9'da görüldüğü gibi saptanabileceğini ortaya koymaktadır. " R_s " grup oturma oranı kazıkların geometrik konfigürasyonuna " R_g " grup azaltma faktörü de kazık grubundaki kazık aralığına hassas derecede bağlıdır.

15.4. Kohezyonlu Zeminlerde Kazık Grubunun Oturması

Kohezyonlu zeminlerde de tıpkı kohezyonsuz zeminlerde olduğu gibi gözününe alınan bir kazık grubunun yapacağı toplam oturmanın aynı yük ve ortam koşullarına maruz tek kazığın yapacağı oturmaya kıyasla daha büyük olacağı pratikte izlenmektedir.

Killi zeminlerde bir kazık grubunun oturması zaman, zemin örselenmesi ve ölçek farklılıkları nedeniyle tek kazığın oturmasından hareketle bulunamaz. Bu nedenle kazık grubunun yükü zemine aktarış şekli hakkında yukarıda "Menard-Rousseau" yönteminde bahsedildiği gibi çeşitli varsayımlar yapılmakta ve yükün kazık tarafından zemine transfer edildiği zonda fiktif bir temel varsayılarak grup oturması hesaplanabilmektedir. Literatürde bu hususta sık kullanılan bazı yaklaşımlar Yıldırım ve Özaydın (1994) kaynağında şöyle sıralanmaktadır:

1. Kazık boyunun " $2/3 L$ " aşağısında kazıklarca çevrelenen fiktif bir temel
2. Yüzeyden itibaren "4 düşey - 1 yatay" açıyla genişleyen ve yine " $2/3 L$ " aşağıda bir fiktif temel
3. Kazıkların ucunda kazıklarca çevrelenen bir fiktif temel
4. Kazık ucunda daha geniş alanlı bir fiktif temel

Yapılan deneysel ve teorik çalışmalar çakma kazık türlerinde yukarıdaki varsayımlar içinde ilk ikisinin daha gerçekçi çözümler getirdiğini, fore kazıklarda ise 3. yaklaşımın en doğru çözümü sağladığını ortaya koymaktadır.

Killi zeminlerde yeralan kazık gruplarının konsolidasyon oturması yukarıda tariflenen fiktif temel yaklaşımlarından "2:1" gerilme dağılım metodu uygulanarak yaklaşık olarak tahmin edilebilir. Bununla ilgili temsili Şekil 15.8'de görülmektedir.

Şekil 15.8 gözönünde tutularak yapılacak oturma hesabının temel adımları aşağıda açıklanmaktadır.

a. Kazığın penetrasyon derinliği "L", kazık grubuna uygulanan toplam eksenel yük "[Q]_g" olarak tariflensin. Kazık grubunun başlığı orjinal zemin yüzeyinin bir miktar altında tesviye edilen satıha otursun. Kazık grubunun üstünde kalan zondaki zemin kazı ile kaldırılsın. Böylece kazık grubuna düşey yönde sadece üst yapı yükü etkir hale getirilsin.

b. Kazık grubuna etkileyen "[Q]_g" yükünün zemine, kazık uzunluğu boyunca Şekil 15.8'de de görüldüğü gibi "2 /3 L" mesafeden aktarılmaya başladığı kabul edilir. Bu seviyede fiktif bir temelin varlığı kabulü ile "z=0" alınarak bu derinlikten itibaren "[Q]_g" yükünün düşeyde 2 – yatayda ise 1 birimlik doğrultu boyunca aa' ve bb' ışınları ile zemine intikal ettiği varsayılır.

c. "[Q]_g" yükü nedeni ile Şekil 15.8'de görülen her bir zemin tabakasının ortasında meydana gelecek gerilme artışı (15.26) eşitliği ile aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\Delta P_i = \frac{[Q]_g}{[B]_g + z_i} [L]_g + z_i \quad (15.26)$$

Burada;

$[\Delta P]_i$ = "i"nci kiltabakasının ortasındaki gerilme artışı

$[Z]_i$ = "i"nci kil tabakasının orta noktasının z=0 seviyesine olan düşey uzaklığı

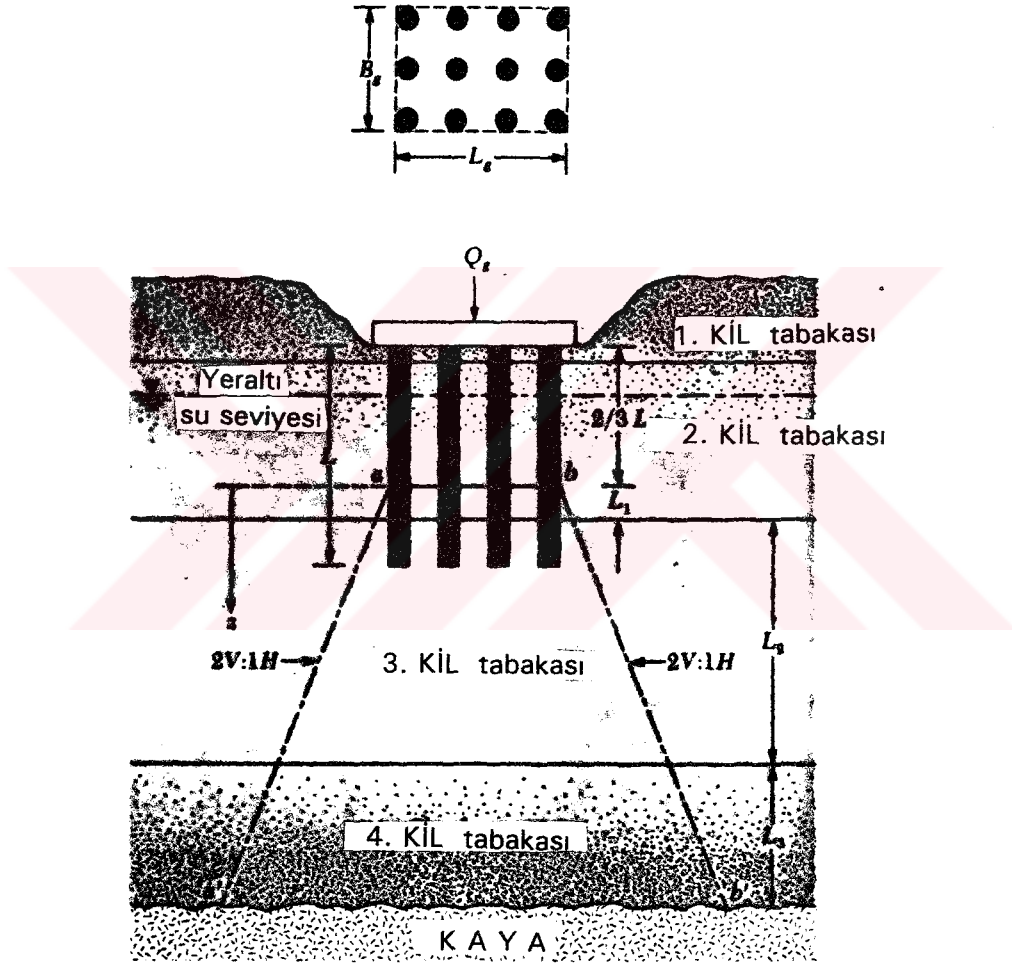
$[L]_g$ ve $[B]_g$ = Kazık grubunun plandaki uzunluk ve genişliği

Örneğin Şekil 15.8'de 2. tabaka için $z_i = L_1/2$ dir. Benzer olarak 3. tabaka için $z_i=L_1+L_2/2$ ve 4. tabaka için aynı uzaklık $z_i = L_1 + L_2 + L_3/2$ olmaktadır. Bununla beraber dikkat edilirse 1. nolu kil tabakasında gerilme artışı olmayacaktır. Zira bu tabaka yukarıda varlığı kabul edilen fiktif temelin oluşturduğu ve gerilme dağılımının başlangıcı olan "z=0" fiktif seviyesinin üzerinde kalmaktadır.

d. Gerilme artışlarından dolayı fiktif temelin altında yeralan herhangi bir tabakanın konsolidasyon oturması (15.27) bağıntısı ile hesaplanabilir.

$$\Delta S_i = \left[\frac{\Delta e_i}{1 + e_{o_i}} \right] H_i \quad (15.27)$$

(15.27) ifadesinde;



Şekil 15.8 Kohezyonlu zeminlerde kazık gruplarının konsolidasyon oturması (Das, 1990).

$[\Delta S]_i =$ "i"nci tabakanın konsolidasyon oturması

$[\Delta e]_i =$ "i"nci tabakada gerilme artışından kaynaklanan boşluk oranı değişimi

$[e_o]_i =$ Kazıklı temel inşaatından öncei. tabakadamevcut boşluk oranı değişimi

$[H]_i =$ "i"nci tabakanın kalınlığı (Şekil 15.8'de 2. tabaka için " H_i "nin değeri " L_1 "e, 3. tabaka için " H_i "nin değeri " L_2 "ye, 4. tabaka için ise " L_3 "e eşit olmaktadır.

(15.27) eşitliğindeki " Δe_i " terimi aşağıdaki ifadeden kolayca hesaplanabilir.

$$[\Delta e_i] = C_c \log \left[\frac{P_{o_i} + \Delta P_i}{P_{o_i}} \right] \quad (15.28)$$

Burada ;

$[C]_c =$ Sıkışma indisi olup boyutsuzdur. Deneysel yada amprik şekilde hesaplanabilir.

$[P]_{o_i} =$ "i"nci kil tabakasının ortasında başlangıçtaki efektif gerilme

$[\Delta P]_i =$ "i"nci kil tabakasının ortasında yüklenmeden sonra oluşan efektif gerilme artışı

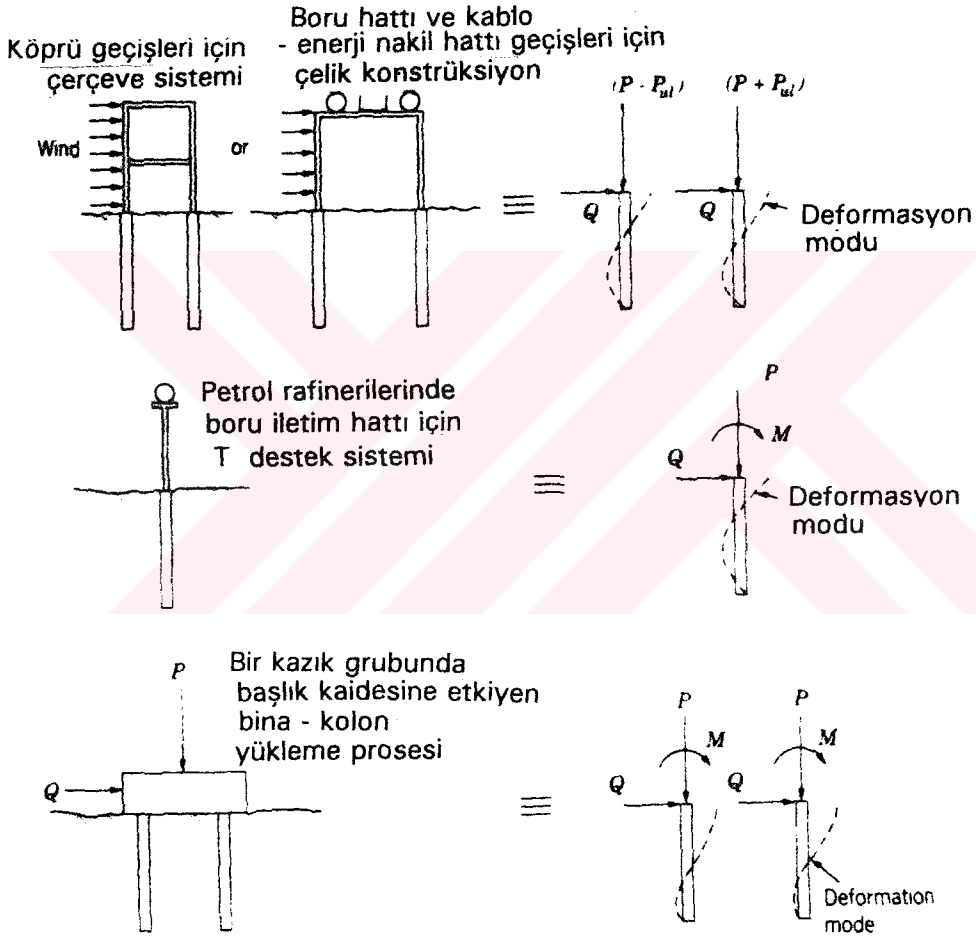
e. Kazık grubunun toplam konsolidasyon oturması ise (15.29) bağıntısı ile kestirilebilir.

$$[\Delta S] = \sum [\Delta S_i] \quad (15.29)$$

Yukarıda kısaca ele alınan konsolidasyon oturmalarının sözkonusu kazıklı temel grubunun yakınlarında, yerdeğiştirme potansiyeli olan dolgu zeminler, ilave gerilme artışı oluşturabilecek komşu yapılar ve yeraltı su tablasında meydana gelebilecek ani değişiklikler gibi başlıca etkenlerle hızlanacağı bilinmektedir.

16. KAZIKLARIN YATAY YÜK ETKİSİ ALTINDAKİ DAVRANIŞLARI

Kazıklara çoğu kez düşey doğrultuda etkiyen üst yapı yüklerine ilaveten yatay yükler ve momentler de etkiyebilmektedir. Bu gibi durumlar da kazığın yatay yüklere emniyetle karşı koyabilmesi için yapılması gereken analizler biraz karmaşıktır. Çünkü zemin ile kazık arasındaki davranış biçimi, yatay yük ve momentlerin etkimesi durumunda nonlineerdir. Şekil 16.1 Pratik uygulamalarda sıkça karşımıza çıkan yatay yükleme durumlarını özetlemektedir.



Şekil 16.1 Pratik uygulamalarda sıkça karşımıza çıkan bazı yatay yükleme ve deformasyon durumları (Prakash ve Sharma, 1990)

- (a) Düşey ve yatay yüklere maruz kazıklar (başı serbest tutulu), (b) Düşey ve yatay yüklere ve eğilme momentine maruz kazıklar (başı serbest tutulu), (c) Düşey ve yatay yüklere ve eğilme momentine maruz kazıklar (başı sabit tutulu)

Yatay yüklere göre kazıkların analizinde günümüzde kabul edilen çözümler, zemin koşulları ve yüklerin uygulanma biçimine göre kazık üst ucunun tutulu (sabit) ya da serbest davranış gösterebilmesi kriterine dayalıdır (Prakash ve Sharma, 1990). Bu kritere göre iki durum sözkonusu olabilmektedir:

1. İzin verilebilir yatay yük nihai-göçme yükünün uygun bir emniyet faktörüne bölünmesiyle elde edilebilir.

2. İzin verilebilir yatay yük kabul edilebilir bir yatay deplasman oluşturmaktadır.

Yukarıda açıklanan iki durumun dikkatle değerlendirilmesi sonucu bulunacak yatay yük değerlerinden "en küçük" olanı uygulama yükü olarak tasarımda yeralmalıdır (Meyerhof, 1984).

Düşey kazıkların yatay yüklere karşı direncini hesaplama yöntemleri literatürlerde genelde iki sınıfta toplanmaktadır. .

I. Nihai yatay yöndeki dayanımın hesaplandığı metodlar

II. İşletmedeki yatay yükler altında kabul edilebilir (izin verilebilir) deplasmanların hesaplandığı metodlar

Aşağıda bu yöntemlerin dayandığı temel ilkeler kısaca açıklanmaktadır:

16.1. Nihai Dayanımın Hesaplandığı Yöntemler

16.1.1. Brinch-Hansen Yöntemi (1961)

Bu yöntem toprak basıncı teorisine dayanır ve şu **avantajları** beraberinde getirir:

- c - Ø zemini için uygulanabilir.
- Tabakalı yapı arzeden zemin ortamlarında uygulanabilir

Bununla beraber yöntemin sürüklediği **dezavantajlar** şunlardır :

- Sadece kısa kazıklar için gerçeğe yakın sonuçlar verir. Uzun kazıklar için yapılacak analizlerin güvenilirliği tartışmaya açıktır.
- Analizlerde dönme noktasının yerini tayin etmek için deneme-yanılma yapılması zorunludur.

16.1.2. Broms Yöntemi (1964)

Bu yöntem de toprak basıncı teorisine dayanır. Ancak kazık uzunluğu-şaftı boyunca nihai zemin dayanımının belirlenmesi için bazı basitleştirici yaklaşımları yapılmaktadır.

Yöntemin sahip olduğu genel **avantajlar** şöyle özetlenebilir:

- Hem kısa hem uzun kazıklara güvenle uygulanabilir.
- Hem tamamen kohezyonlu hem de kohezyonsuz zeminlere uygulanabilir.
- Analizlerde kazık üst ucunun zemin ve yükleme koşullarına bağlı olarak serbest tutulu veya sabit tutulu olmasına göre farklı yaklaşımlar yapılabilmektedir.

Bunların yanısıra bu yöntemin bazı **dezavantajları** da vardır:

- Tabakalı zemin ortamında hatalı sonuçlar vermektedir.
- $c - \emptyset$ zeminlerine uygulanması halinde elde edilecek sonuçların doğruluğu tahkik edilmelidir.

16.2. İşletmedeki Yatay Yüklerin Etkisi Altında Kabul Edilebilir Deplasmanların Hesaplandığı Yöntemler

16.2.1. Yatak Katsayısı Yaklaşımı

Reese ve Matlock (1956) tarafından öne sürülen bu yaklaşımda zeminin yatay yük etkisine karşı gösterdiği davranış lineer elastik yayların yaptığı bağımsız-serbest salınım hareketi gibi düşünülür ve kabul edilir. Bu yöntemin taşıdığı **avantajlar** aşağıdaki gibidir:

- Uygulanması ve değerlendirilmesi diğer yöntemlere göre kolaydır.
- Pratikte uzun süreli etkileşimler için kullanılabilirler.
- Yöntemin yapısında nonlineerlik, zemin üst yapısının yatay yüke karşı gösterdiği reaksiyonun derinlikle değişimi ve tabakalı sistemler gibi unsurlara uygunluk vardır.

Bu yüzden uygulamadaki problemlere bu teorinin başarıyla tatbik edilebilmesi belirli bir tecrübeyi gerektirebilir.

Bununla beraber yöntemin uygulamada getirdiği **dezavantajlar** şunlardır:

- Zeminin sürekliliği önemsenmemektedir.
- Zeminin yatak katsayısı sadece bir zemin özelliği değildir ama kazıklı temel sisteminin boyutlarına ve yaptığı deplasmanlara bağlıdır.

Eğer nihai birim zemin direniminin kazık shaftı boyunca derinlikle yayılımı biliniyorsa dönme noktası " $[x]_r$ " nin değeri (yeri) ve nihai yatay dayanım " $[Q]_{hu}$ " yukarıda verilen (16.1) ve (16.2) bağıntılarıyla kolaylıkla belirlenebilir.

Düşey kazıkların nihai yatay direnimlerinin belirlenmesi için "Brinch Hansen (1961) ve Broms (1964) tarafından geliştirilen yöntemlerin temel konseptleri aşağıda kısaca açıklanmaktadır:

16.2.2. Elastik Yaklaşım:

Paulos ' un 1971'de geliştirdiği bu yöntemde zemin elastik-sürekli bir ortam olarak kabul edilmektedir. Yöntemin **avantajları** şunlardır:

- Teorisi gerçekçi bir yaklaşıma dayanır.
- Tabakalı zemin ortamlarında ve elastik modülün derinlikle değiştiği durumlarda uygun çözümler verebilmektedir.

Yöntemin taşıdığı **dezavantajlar** ise aşağıda tariflenmektedir:

- Zeminin elastik modülüne ve arazinin yapısında bulunan bazı problemlere uygun gerilmelerin belirlenmesi zor olabilmektedir.
- Yöntemin pratikteki problemlere uygulanabilirliğinin, birebir arazi gözlemleri ile tahkik edilmesi gerekmektedir.

16.3. Nihai Yatay Direnimi

Şekil 16.2'de üst ucu serbest davranış gösteren bir kazığa üst kısmından uygulanan " $[M]_h$ " momenti veya " $[Q]_h$ " yatay yüküne karşı kazık shaftı boyunca ortaya çıkan mobilize gerilmelere bağlı olarak nihai yatay direnimin bir oluşum mekanizması gösterilmektedir. Nihai yatay direnim " $[Q]_{hu}$ " ve bununla uyumlu olan-bunu oluşturan " $[M]_{hu}$ " momenti aşağıda ifade edilen denge koşullarına göre açıklanabilen nihai zemin direnimiyle ilişkilidir. Yani bir bakıma kazığın üst ucundan uygulanmakta olan bir " $[Q]_h$ " yükünü veya " $[M]_h$ " momentini güvenle taşıyabilmesi potansiyel olarak yatay yönde zorlanan kazığın shaftı boyunca oluşan mobilize yatay direnim kuvvetlerine sıkı sıkıya bağlıdır. (Prakash ve Sharma, 1990).

Söz konusu nihai zemin direnimi aşağıda verilen denge eşitliğinde görülmektedir.

Yatay yöndeki kuvvetlerin toplamı denge halinde sıfır olmalıdır:

$$Q_{hu} - \int_{x=0}^{x=x_r} P_{xu} D dx + \int_{x=x_r}^{x=L} P_{xu} D dx = 0 \quad (16.1)$$

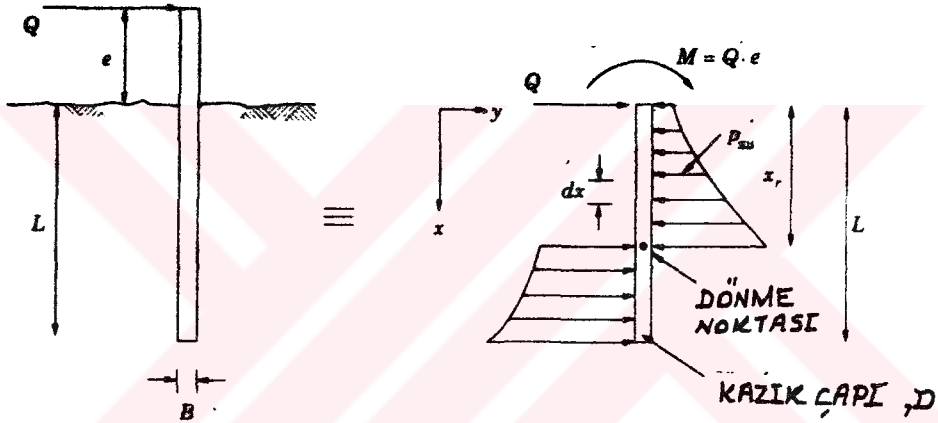
Momentlerin dengesi sağlanmalıdır:

$$Q_{hu} \cdot e + \int_{x=0}^{x=x_r} P_{xu} D x dx \pm \int_{x=x_r}^{x=L} P_{xu} D x dx = 0 \quad (16.2)$$

Burada ;

[D] = Kazık genişliği (çapı)

[x_r] = Dönme noktasının derinliği



Şekil 16.2. Üst ucu serbest davranış gösteren rijit bir kazığa yük uygulaması durumunda shaft boyunca oluşan yatay direnimin yayılışı.

16.3.1. Brinch-Hansen Yöntemi

Kısa ve rijit kazıklar için Brinch Hansen (1961)'de yatay yük ve moment etkisine karşı oluşan zemin direniminin kazık shaftı boyunca genel dağılımı hakkında bir yöntem ileri sürmüştür. Yöntem c - Ø zeminleri için ideal toprak basıncı teorisine dayanır. Yöntem yukarıdaki bağıntılar sıfır kotu kabul edilen ve yük uygulanan noktanın civarındaki tüm kuvvetlere bağlı olarak ortaya çıkan momentlerin oluşturacağı dönme merkezinin belirlenmesinden ibarettir. Nihai zemin direnimi tüm yatay kuvvetlerin dengede olduğu (16.1) bağıntısına benzer bir bağıntı kullanılarak hesaplanabilir (Prakash ve Sharma, 1991).

Herhangi bir derinlikte oluşan nihai zemin dayanımı aşağıda verilen bağıntı kullanılarak hesaplanabilmektedir:

$$[P]_{xu} = \sigma_{vx} \cdot K_q + c \cdot K_c \quad (16.3)$$

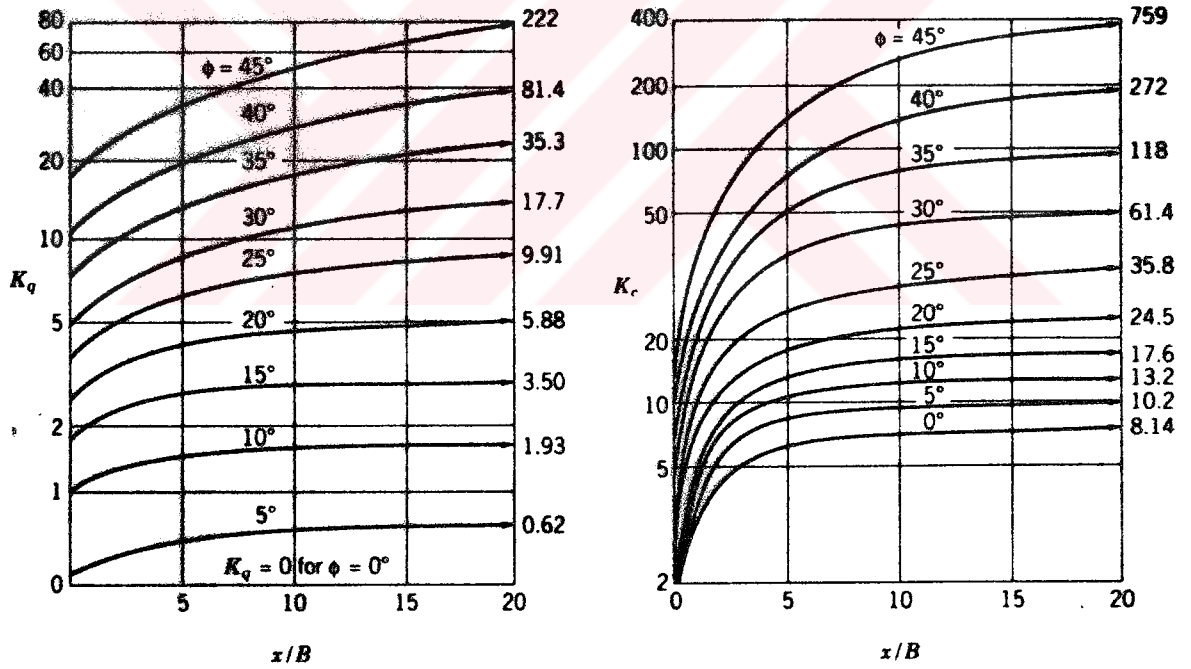
olmaktadır. Burada;

$[\sigma_{vx}]$ = x derinliğindeki düşey efektif basıncı

$[c]$ = Zeminin kohezyonunu

göstermektedir. K_c ve K_q Şekil 16.3'de görüldüğü gibi zeminin içsel sürtünme açısı ve "x / B" oranının fonksiyonu olarak değişen faktörlerdir.

Yöntem üniform ve tabakalı zeminlerde yeralacak kısa kazıklarda başarıyla uygulanabilir. Dalga yükleri v.b. kısa süreli yükleme koşullarında (16.3) bağıntısında drenajsız kohezyon " c_u " ve $\phi = 0$ koşulları kullanılmalıdır. Uzun süreli yüklenme koşullarında ise drenajlı kayma mukavemeti parametreleri (c', ϕ') analizde kullanılmalıdır.



Şekil 16.3 Brinch Hansen, 1961 yönteminde ϕ ve x/B parametrelerine bağlı olarak K_q ve K_c faktörlerinin bulunması (Prakash ve Sharma, 1990)

16.3.2. Broms Yöntemi

Düşey kazıkların yatay yöndeki dayanımlarının belirlenmesi için Broms tarafından geliştirilen yöntemin çalışma mekanizması temel olarak yukarıda kısaca açıklanan

Brinch-Hansen yöntemine benzer. Ancak bu yöntemde aşağıda belirtilen basitleştirici yaklaşımlar yapılmaktadır (Prakash ve Sharma, 1990).

1. Zemin ya tamamen kohezyonsuzdur ($c=0$) ya da tamamen kohezyonludur ($\phi=0$). Bu nedenle tamamen farklı özellikteki bu iki tür zeminin içine yerleştirilecek kazıkların analizleri de farklı olacaktır.

2. Kısa-rijit ya da uzun-bükülebilir kazıklar birbirinden ayrı değerlendirilirler. Kısa kazıklar için belirleyici karar kriteri ise $[L / T] \leq 2$ ya da $[L / R] \leq 2$ olmasıdır.

Burada

$$T = \frac{EI}{n_h}^{1/5} \quad (16.4a)$$

$$R = \frac{EI}{K_h}^{1/4} \quad (16.4b)$$

olup;

E = Kazık malzemesinin elastisite modülü

I = Kazık enkesitinin atalet momenti

$k_h = n_h \cdot x$, "x" derinliğiyle lineer olarak artan zemin modülüdür. (derinlik faktörü) de diyebiliriz.

n_h = Yatak katsayısı

k = Kohezyonlu zeminlerde derinlikle değişmeyen bir sabitedir.

Uzun bükülebilir kazıklar için belirleyici karar kriteri ise

$[L / T] \geq 4$ ya da $[L / R] \geq 3.5$ olarak verilmektedir.

3. Üst ucundan serbest kısa kazıkların geometrik olarak kazık shaftının herhangi bir noktası (dönme merkezi) etrafında dönme hareketi yapması beklenirken, başı tutulu (sabit) kazıkların ise komple yanal öteleme hareketi yapmaları beklenmektedir (Şekil 16.4a ve b) Uzun kazıkların deformasyon biçimleri kazığın alt kısmında oluşan çok yüksek pasif zemin direnci nedeniyle dönme ya da öteleme hareketi meydana gelmeyeceği için kısa kazıklardan farklıdır. (Şekil 16.5a ve b) Kısa ve uzun kazıkların yatay yük taşıma kapasitesi bu gerekçe ile farklı yöntemlerle hesaplanmaktadır.

4. Kazık shaftı boyunca nihai yatay dayanımın (direncin) dağılımı Şekil 16.4'de kısa kazıklar ve Şekil 16.5 uzun kazıklar için farklı uç koşullarına (sabit, serbest) ve farklı zemin koşullarına (kohezyonlu-kohezyonsuz) bağlı olarak tariflenmektedir.

16.3.2.1. Kohezyonsuz Zeminlerde Kısa Kazık

a) Kazığın arka kısmındaki aktif toprak basıncı ihmal edilebilir ve kazığın ön tarafında oluşan pasif toprak basıncının derinlikle yayılımı Şekil 16.4e ve f'de görülmekte ve aşağıdaki bağıntı ile formülize edilebilmektedir:

$$[p] = 3 D \sigma'_v K_p = 3 \gamma D K_p \quad (16.5)$$

Burada

$[p]$ = Birim zemin basıncı (reaksiyon kuvveti)

$[\sigma'_v]$ = Herhangi bir derinlikteki efektif gerilme

$[\gamma]$ = Zemin efektif birim hacim ağırlığı

$[L]$ = Kazığın zemin içinde kalan etkili boyu

$[D]$ = Kazığın genişliği (çapı)

$[K_p] = (1 + \sin\phi) (1 - \sin\phi) = \text{Rankine'nin pasif toprak basıncı katsayısı}$

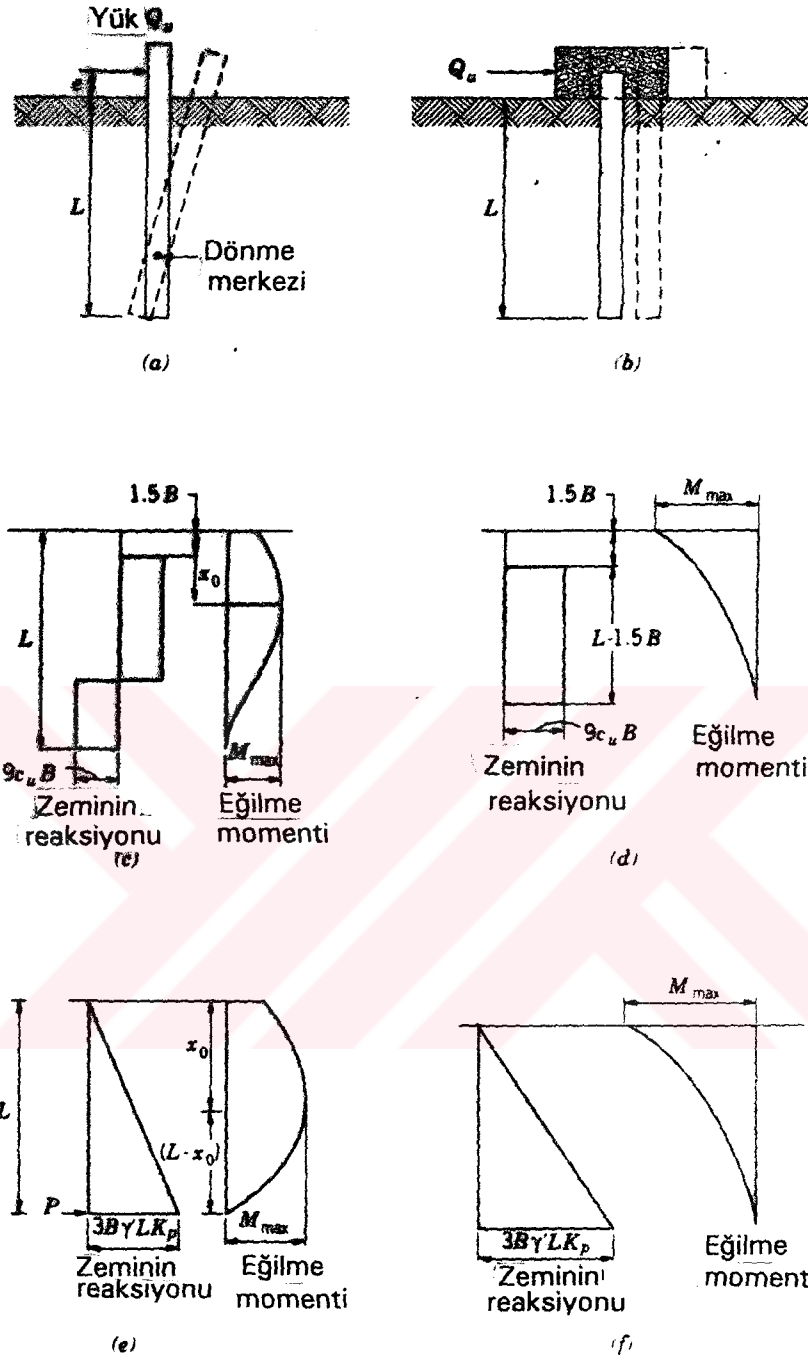
$[\phi] = \text{Efektif içsel sürtünme açısı (Bu basınç kazık enkesitinin şekline bağlıdır.)}$

b) Yatay direnimin tümü hareket sırasında mobilize olur.

16.3.2.2. Kohezyonlu Zeminlerde Kısa Kazıklar

Kohezyonlu zeminlerde kazığın nihai yatay direniminin zemin yüzeyinden itibaren "1.5D" derinlikte sıfır olduğu ve daha sonraki derinliklerde " $9c_u D$ " olarak ifade edilen sabit bir değere eriştiği varsayımı yapılmaktadır (Şekil 16.4c ve d)

Uzun kazıklarda, "L" büyüklüğü zemin reaksiyonunun azalmaya başladığı kabul edilen derinliği temsilen " x_o " büyüklüğü ile yer değiştirilir. Kohezyonlu zeminlerde zemin reaksiyonunun "[1.5D + x_o]" derinliğinden itibaren azalmaya başladığı kabul edilmektedir. Uzun kazıklarda zemin reaksiyonunun derinlikle yayılışı Şekil 16.5'de görüldüğü gibidir.



Şekil 16.4 Yatay yüklere maruz kısa kazıklar için nihai zemin direnimine bağlı olarak dönme ve ötelenme hareketleri

Kohezyonlu zeminlerde yatay yüklere maruz kazıklar

a) Serbest tutulu

b) Sabit tutulu

Kohezyonsuz zeminlerde yatay yüklere maruz kazıklar

a) Serbest tutulu

b) Sabit tutulu

16.4. İşletmedeki Yatay Yükler Altında İzin Verilebilir Deplasmanlar

Birçok durumlarda yatay üklere dayanıklı kazıkların tasarımının izin verilebilir yatay deplasmanlara göre yapılması nihai yatay direnimlerin irdelendiği tasarımlara tercih edilmektedir.

Yatay deplasmanların hesabı için genellikle iki yaklaşım kullanılır:

1. Yatak katsayısı yaklaşımı (Reese ve Matlock, 1956; Matlock ve Reese, 1960)
2. Elastik süreklilik yaklaşımı (Paulos, 1971)

16.4.1. Yatak Katsayısı Yaklaşımı

Bu yaklaşımda yatay yüklü bir kazığın elastik bir temel üzerinde yüklenmiş bir kiriş gibi davrandığı kabul edilmektedir (Şekil 16.6a ve b) Bu durumda sözkonusu kiriş elastik zemin ortamına bağlı olarak Winkler hipotezine uygun bir davranış modeline göre çalışır. Bu modele göre zeminin yatay yüklere karşı davranışını simülüle eden yayların elastikiyeti " k_h " aşağıdaki gibi açıklanabilir: (k_h zeminin "yatay yatak katsayısı" olarak adlandırılabilir) (Şekil 16.6d)

$$[k]_h = \left[\frac{p}{y} \right] \quad (16.6)$$

Burada ;

p = Kazığın birim uzunluğuna düşen zemin reaksiyonu

y = Kazık deformasyonu

" k_h "'ın birimi kuvvet/(uzunluk)² dir.

Zeminin yatay yatak katsayısı aşağıdaki yaklaşımla da belirlenebilir, tahkik edilebilir;

$$[k]_x = k_h \left[\frac{x}{L} \right]^n \quad (16.7a)$$

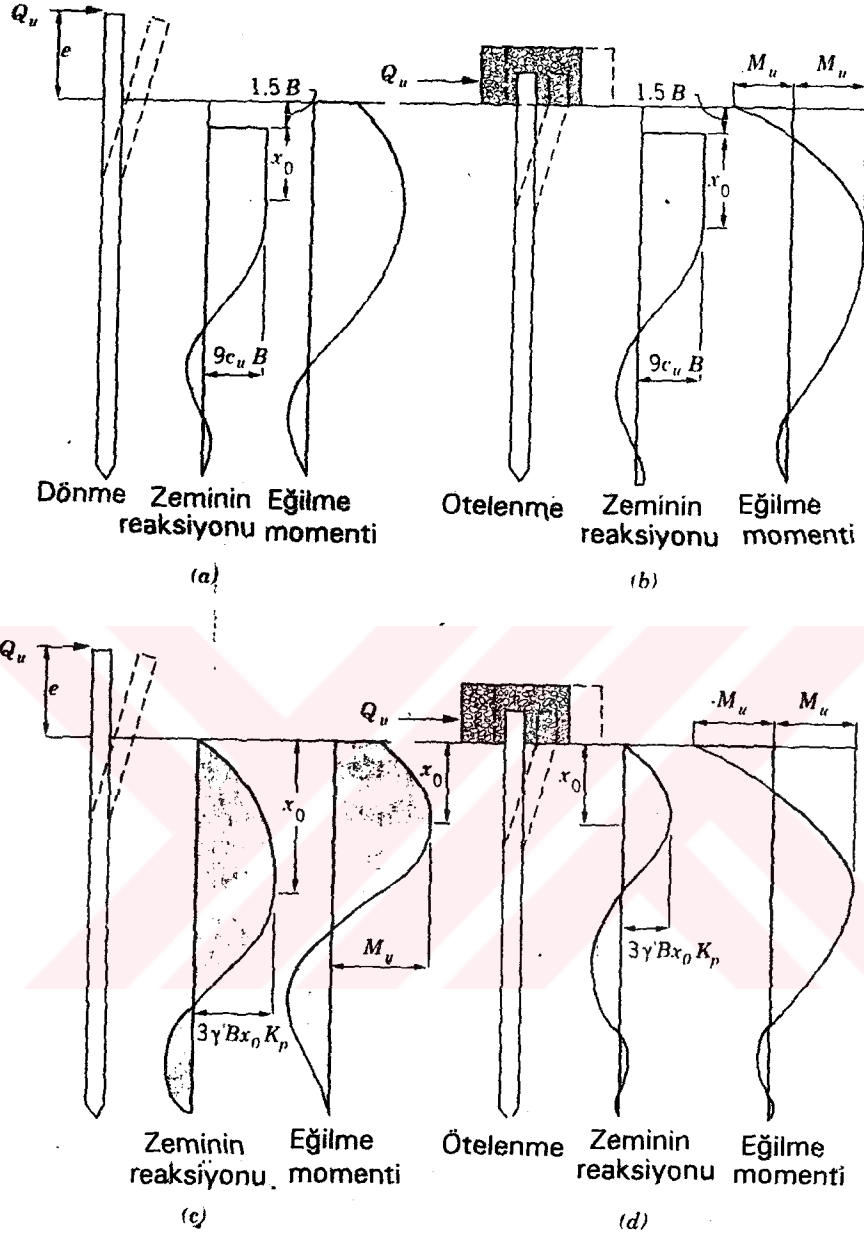
Burada ;

k_h = k_x 'in ($x = L$) kazık ucundaki değeri

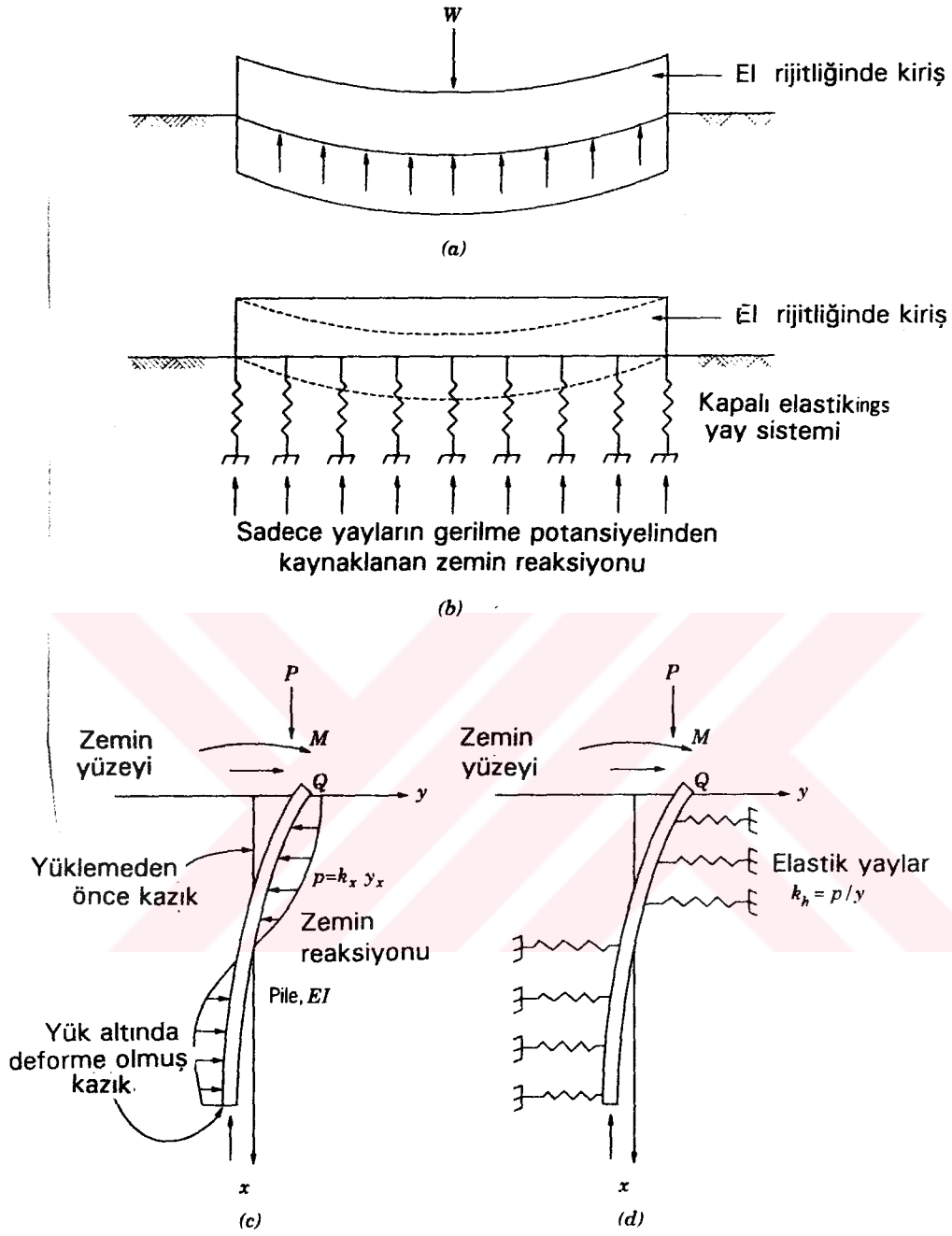
x = Kazık uzunluğu boyunca herhangi bir derinlikteki nokta

n = Sıfıra eşit ya da sıfırdan daha büyük bir katsayı

" n " katsayısının kullanılan en yaygın değeri kumlar ve uzun süreli yükler altında normal koşullarda konsolide olan killerde "1"; aşırı konsolide killerde sıfır değerini almaktadır. Bazı araştırmacılar ise kumlu zeminler için "1.5", drenajsız koşullar altındaki killer için "0.15" sayılarını önermektedirler.



Şekil 16.5 Yatay yüklere maruz uzun kazıklar için nihai zemin direnimine bağlı olarak dönme ve ötelenme hareketleri
 Kohezyonlu zeminlerde yatay yüklere maruz kazıklar
 a) Serbest tutulu
 b) Sabit tutulu
 Kohezyonsuz zeminlerde yatay yüklere maruz kazıklar
 a) Serbest tutulu
 b) Sabit tutulu



Şekil 16.6 Yatak katsayısı yaklaşımına göre yatay yüklü kazıkların davranışı
a) Elastik temel üzerine oturan kiriş
b) Winkler hipotezi
c) Zeminde yatay yüklü kazıklar
d) Elastik yaylar üzerinde hareket eden, yatay yüke maruz kazıklar

n=1 değeri için " k_h "'in derinlikle değişimi aşağıdaki bağıntı yardımıyla tariflenebilir:

$$[k]_h = n_h \cdot x \quad (16.7b)$$

Burada " n_h " önceki bölümde değinilen zemin yatak katsayısıdır.

n=0 değeri için bu katsayının derinlikle değişimi sabittir ve bu yaklaşım aşırı konsolide killerde yeralan kazıklar için en uygun yaklaşımdır.

Zeminin yatay yüklere karşı davranışının esasen nonlinear olduğu bu bölümün başında değinilmiş ve gerekli modifikasyonlar yapılarak Winkler Modeli'nin idealleştirilmiş halinin zemin davranışına uyarlanabileceği yaklaşımı ile bazı saptamalar yukarıda yapılmıştı.

Elastik bir temele oturan elastik bir kirişin yüklenmesi durumunda zeminin davranışı şu bağıntı ile gerçekçi olarak ifade edilebilir.

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} + p = 0 \quad (16.8)$$

Burada ;

E = Kazık malzemesinin elastisite modülü

I = Kazık enkesit alanının atalet momenti

p = $[k_h \cdot y]$ 'ye eşit olan zemin reaksiyonu

(14.8) bağıntısı aşağıdaki gibi yeniden yazılabilir

$$\frac{d^4 y}{dx^4} + \frac{k_h y}{EI} = 0 \quad (16.9)$$

(16.9) bağıntısının çözümü kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminler için ifade edilen maksimum moment ve deplasmanların belirlenmesi ile mümkün olabilmektedir.

15. 4.2. Elastik Süreklilik Yaklaşımı

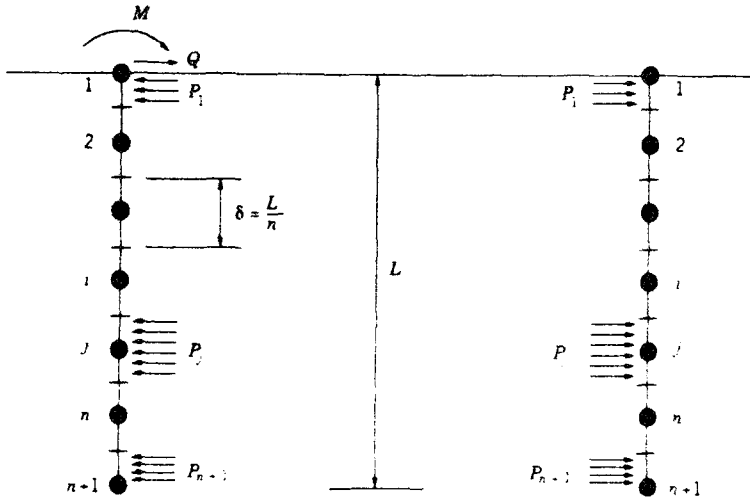
Yatay yüklere ve momentlere maruz kazıkların yapacağı dönme ve momentlerin belirlenmesi için zemin yatak katsayısı teorisi zemin kitlesinin sürekliliği halinde başarısız sonuçlar verebilmektedir. Elastik ortam sürekliliği olduğu kabul edilen zeminler için yatay yüklü kazıkların davranışı Poulos tarafından önerilen bir yaklaşımla da belirlenebilmektedir. Bu yaklaşım teorik olarak daha realistik olmasına rağmen pratik problemlere uyarlanmasındaki en büyük engel zeminin " E_s " modülünün realistik olarak saptanmasıdır. Bu açıdan değerlendirildiğinde yaklaşımın pratikteki problemlere teorik kav-

ramlarla uygulanması için yeterli düzeyde arazi deneyimlerine sahip olmak gereği ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle burada sadece yaklaşımın dayandırıldığı temel kavramlar ve bazı çözümler açıklanmakla yetinilmiştir.

Elastik süreklilik yaklaşımına dayanak teşkil eden çözümler aşağıda verilmektedir:

- a) Şekil 16.7'de görüldüğü gibi, kazık "D" genişliğinde "L" uzunluğunda "EI" sabit elastikiyetine sahip, düşey ve ince bir şerit olarak kabul edilebilir. Kazık, üst ucundan alt ucuna kadar (n+1) adet eşit uzunluktaki [$\delta = L / n$] elemanlara ayrılır.
- b) Analizi basitleştirmek için kazık yan yüzeyleri ile zemin arasında kayma gerilmelerinin geliştiği kabulü yapılır. Bu gerilmelerin hesabı zordur.
- c) Her bir elemana kazık genişliği boyunca sabit kaldığı kabul edilen uniform bir yatay P kuvveti etmektedir.
- d) Zeminin ideal, homogen, yarı-sonsuz elastik bir malzeme olduğu "E_s" elastik modülü'ne ve "μ_s" poisson oranına sahip olduğu kabul edilir.

Bu analizde zemin ve kazık deplasmanları yukarıda adı geçen elemanların merkezinde oluşmaktadır. Sadece üst ve alt kısımda yer alan iki ekstrem eleman için deplasmanlar hesaplanabilir. Kazık ve zemin deplasmanları kazık boyunca düzenli olarak yer alan düğüm noktalarının arasında yazılan uygun denge denklemleri kullanılarak bulunabilir.



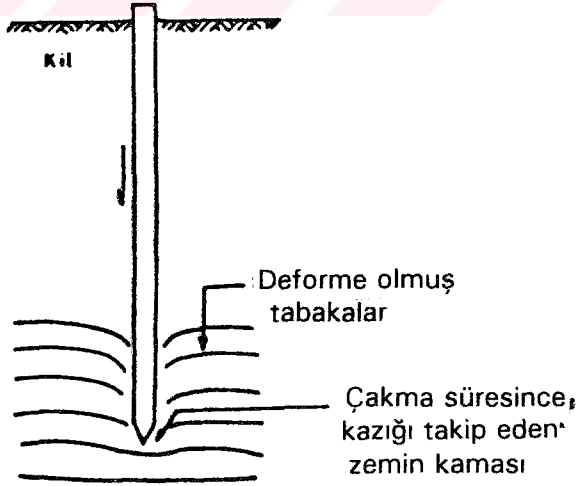
Şekil 16.7 Elastik süreklilik yaklaşımında kazık ve zemin arasındaki yük ileşitimleri (Prakash ve Sharma, 1990).

17. KAZIK TAŞIMA GÜCÜNE ZAMANIN ETKİSİ

17.1. Kohezyonlu Zeminlerde

Kazık yapılması veya çakılması esnasında kazık çevresindeki zemin istenmese de örselenebilir. Şekil 17.1 kilde bir sürtünme kazığı etrafındaki zeminin örselenmesini göstermektedir. Çakma süresince, kazık ucu altında kazıkla birlikte hareket eden ve zemi ni yana doğru iten bir zemin kaması oluşur. Ölçümler, Şekil 17.2'de gösterildiği gibi kazık çapına karşı gelen bir mesafe içinde kazık yanal zemininin örselendiğini göstermiştir. Çakma süresince kazık civarındaki kilin kayma mukavemeti azalır ve yoğrulmuş zeminin kayma mukavemetine yaklaşır.

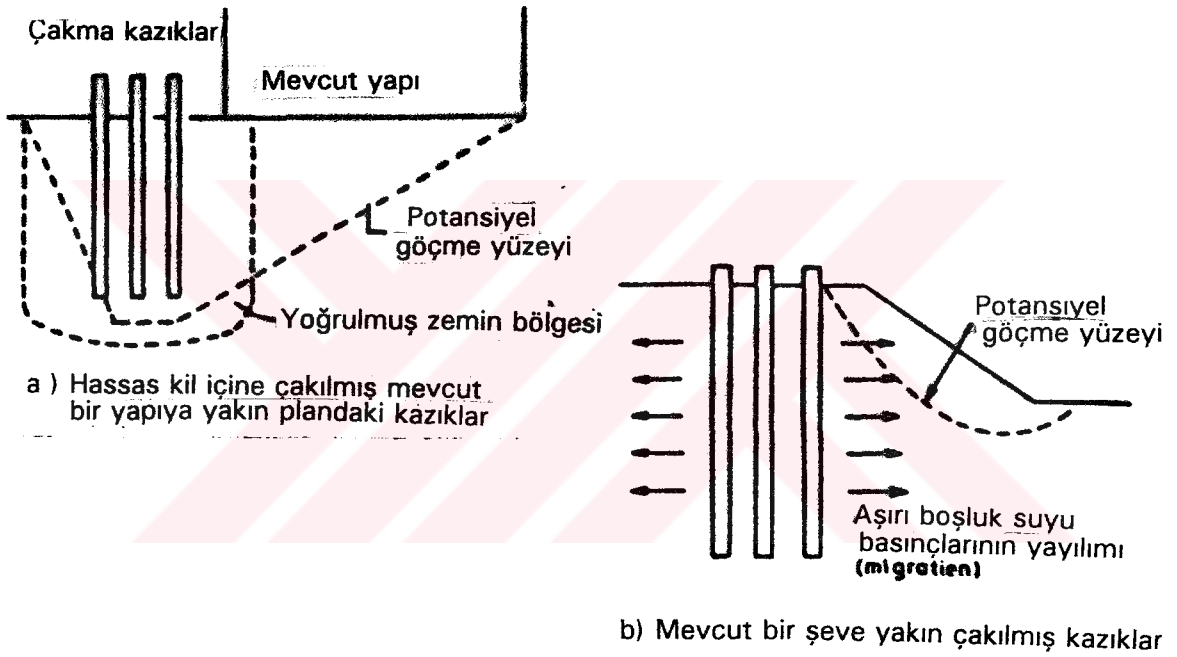
Sensitivitesi yüksek killerde kayma mukavemeti azalımı bazen o kadar büyük olabilir ki kazık etrafındaki yoğrulmuş zemin yukarı doğru akar ve zemin yüzeyi dışına çıkar. Böyle durumlarda ahşap kazıkların yukarı doğru yüzmesini tokmakla önleme yoluna gidilebilir. Genellikle 15-20 dk. sonraki mukavemet artımı kazığı zeminde tutmak için yeterli olur (Broms, 1981).



Şekil 17.1 Killi zeminde bir çakma kazık etrafındaki zemin deformasyonu (Broms, 1981).

ne (Şekil 17.3a) veya oluşan boşluk basınçlarının dağılımı şev çevresinde boşluk basınçlarını yükselterek zeminin yoğrulmadığı yerlerde de bir şev göçmesine yol açabilir (Şekil 17.3b). Bu tür problemlerin tehlikeli olabileceği durumlarda yerdeğiştirmeye neden olmayan önce kabaca delik büyüklüğünde ön bir sondaj yapılmalıdır.

Kazık çakımından önce kazıklara kağıt veya plastik drenler yerleştirilerek, yüksek boşluk suyu basınçlarını düşürme yoluna gidilmiş ve bu yolla çakımdan doğan artan boşluk suyu basınçlarının %50 azaltılabileceği gösterilmiştir (Broms, 1981).



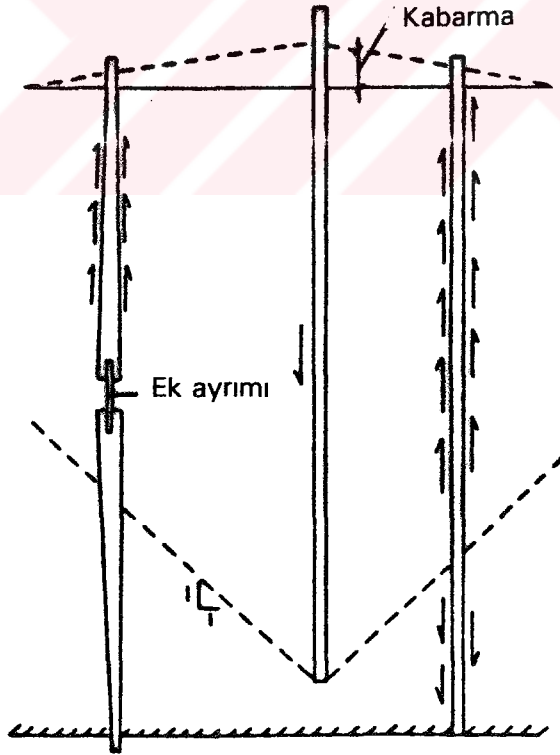
Şekil 17.3. Kazık çakımı nedeniyle zeminde olası problemler (Broms, 1981)

Çakım nedeniyle yumuşak kilin ortalama kayma mukavemeti %20-30 oranında azalır. %50'ye kadar bir azalış da ölçülmüştür. Çakma süresince, artık boşluk suyu basıncı zeminin radyal olarak kırılmasına (hidrolik kırılma) yol açacak derecede yüksek olabilir. Çakım sonrası, artık boşluk suyu basınçlarının sönmelerinde bu çatlakların fonksiyonu büyüktür. Boşluk suyu basıncındaki azalış ilkin, çatlakların kapanmasına kadar çok hızlıdır. Kalıcı boşluk suyu basıncı zemindeki ilk efektif yanal basınca eşit oluncaya kadar bu sönmeler devam eder. (Broms, 1981).

Kohezyonlu zeminlerde, çakma süresince kazık civarındaki zemin yüzeyi kabarmacaktır. Bu kabarma kazık düşeyinde en büyük değerini alır ve kazıktan uzaklaştıkça düşer. Kazıktan genellikle $[10D - 15D]$ mesafede kabarma küçük ve önemsizdir. Kabarma nedeniyle komşu kazıklar yükselebilir ve bağlantı yerleri Şekil 17.4'de gösterildiği gibi çekilebilir. Bu nedenle, özellikle kayaya oturan uç kazıklarının uç direnci azalır ve kazıkların tekrar çakımı gerekebilir.

Yumuşak ve normal konsolide kilerde yüksek boşluksuyu basınçlarının sönmülmesi, kazık çevresindeki zeminin tekrar konsolidasyonu sonucu, zamanla çevre sürtünmesi artar ve $[100 - 500]$ gün sonra örselenmemiş drenajsız kayma mukavemetine eşit veya ondan büyük olur (Tomlinson, 1973).

Katı kilerde teşkil eden çakma veya yerinde dökme kazıklarda boşluk basınçları çok daha karmaşıktır. Çakım süresince yumuşak kil kazık çevresiyle temasta kalırken, sert kil çatlayacak ve zemin yüzüne yakın bölgede kazık çevresiyle temasını kaybedecektir.



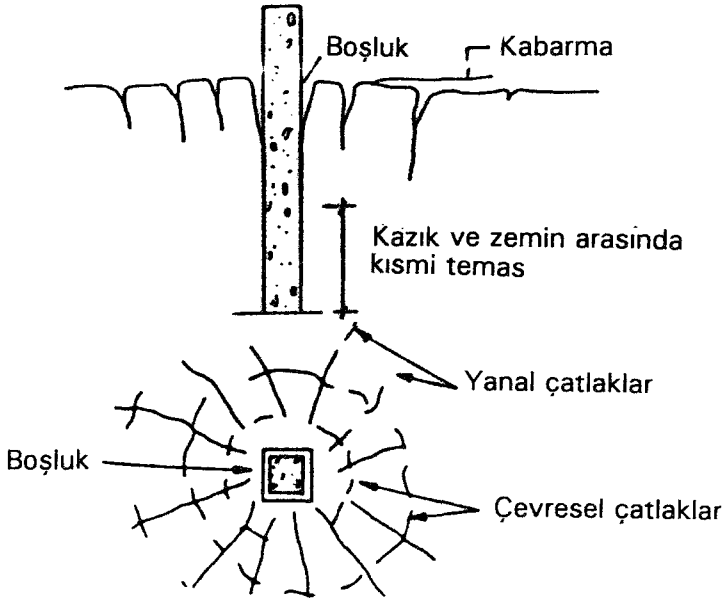
Şekil 17.4 Kohezyonlu zeminlerde kazık çakımının neden olduğu kabarma (Tomlinson, 1973)

Sert, aşırı konsolide killerde, yerdeğiştirme sonucu kazık yüzeyine yakın bölgede negatif, birkaç cm. ileride ise pozitif boşluk suyu basınçları doğabilir ve bunun sonucunda kazık taşıma gücünde geçici bir artış olabilir (Tomlinson, 1973). Sert fisürlü killerde kazık yerdeğiştirmesinin neden olduğu yanal çatlaklara ve boşluğa yüzey suyu girip, kazıkla temastaki zemin yumuşayabilir ve zamanla kazık taşıma gücünde bir azalmaya da yol açabilir. (Şekil 17.5)

Bu belirsizlik nedeniyle, Tomlinson, yumuşak ve hassas killerde teşkil edilen ve toplam proje yükünü taşıyabilecek şekilde boyutlandırılmış kazıkların taşıma gücünde zamanla azalma olacağına hesaba katılması gerektiğini, fakat sert, katı ve aşırı konsolide killerde teşkil edilen kazıklarda zamanla kazığın taşıma gücünde bir artış olacağına düşünülerek proje yükünün artırılmasını tavsiye eder (Tomlinson, 1973).

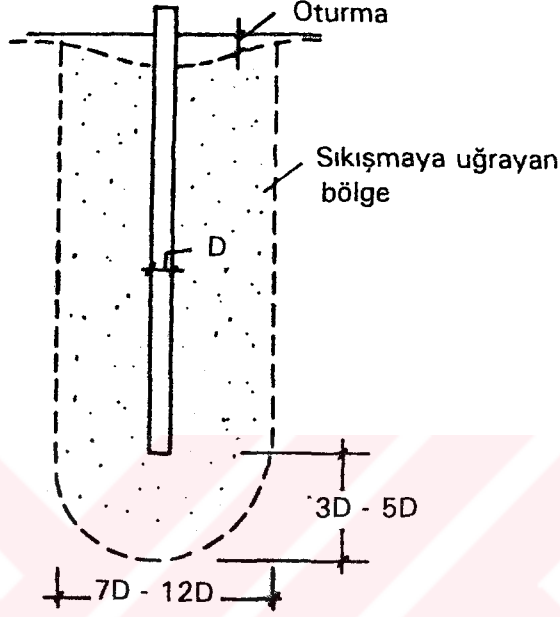
15.2. Kohezyonsuz Zeminlerde

Kohezyonsuz zeminlerde çakma kazıklarının nihai taşıma kapasitesi büyük ölçüde çakım sonrası çevre zemininin relatif sıkılığına bağlıdır. Çakım süresince çakılan kazık ve komşu kazıklar etrafında relatif sıkılık artar. Zemin, kazık çapının [7 - 12] katı bir yanal uzaklıkta ve kazık ucundan yaklaşık [3 - 5] kazık çapı derinlikte Şekil 16.6'da gösterildiği gibi sıkışır. Araştırmalar, relatif sıkılık artımının en fazla gevşek kum ve çakıl zeminlerde olduğunu göstermiştir (Broms, 1981).



Şekil 17.5 Katı bir kile çakılmış bir kazıkta kazık çukurunun üst kısmındaki zeminin örselenmesi (Tomlinson, 1973)

Kohezyonsuz zeminlerde, yerleştirme sonrası kazık taşıma kapasitesinde herhangi bir artım veya azalım kabul etmek olağan bir uygulama değildir. Ancak, siltli kum, tabakalaşmış kil, silt veya kum zeminlerdeki kazık gruplarında kazık çakımından birkaç gün sonra taşıma kapasitesinde önemli kayıplar olabilir (Tomlinson, 1973).



Şekil 17.6. Kohezyonsuz zeminlerde çakılan bir kazık çevresinde oluşan kompaksiyon (Tomlinson, 1973).

Bu tür zeminlerde, çakma süresince kazık ucu civarında zeminin bölgesel olarak sıkışması sonucu ortaya çıkan yüksek boşluk suyu basınçları nedeniyle çakma direnci geçici olarak öyle yüksek olabilir ki tahmin olunan dirence erişilir ve çakma işlemi durdurulur. Fakat boşluk suyu basınçlarının sönmülenmesiyle bazen bir kaç saat sonra kazığın yeniden çakılması mümkün olabilir. Yüksek boşluk suyu basınçları tokmak ağırlığının artırılması ve vuruş hızının düşürülmesiyle azaltılabilir (Broms, 1981).

Siltli kumlarla relatif olarak düşük çevre sürtünmesi nedeniyle, bu tür zeminlerde kazık çakımında doğan yüksek boşluk suyu basınçlarının komşu kazıkları kaldıracığı ve böylece komşu kazıkların uçları altında boşluklu veya gevşek malzeme oluşacağı pek akla uygun değildir (Tomlinson, 1973).

Kumlardaki kazıklar üzerinde, çakımdan en az yedi gün geçmeden yükleme deneyleri yapılmamalıdır. Taşıma gücüne zamanın etkisi, ya tekrar çakmada kazık direncindeki değişimler gözlenerek ya da çakım sonrası farklı zaman aralıklarıyla yükleme deneyleri yapılarak saptanmalıdır (Tomlinson, 1973)

18. İSTANBUL HAFİF METRO PROJESİ II. AŞAMA İNŞAATINDA YAPILAN KAZIK YÜKLEME DENEYLERİ VE SONUÇLARININ TAŞIMA GÜCÜ VE OTURMALAR AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

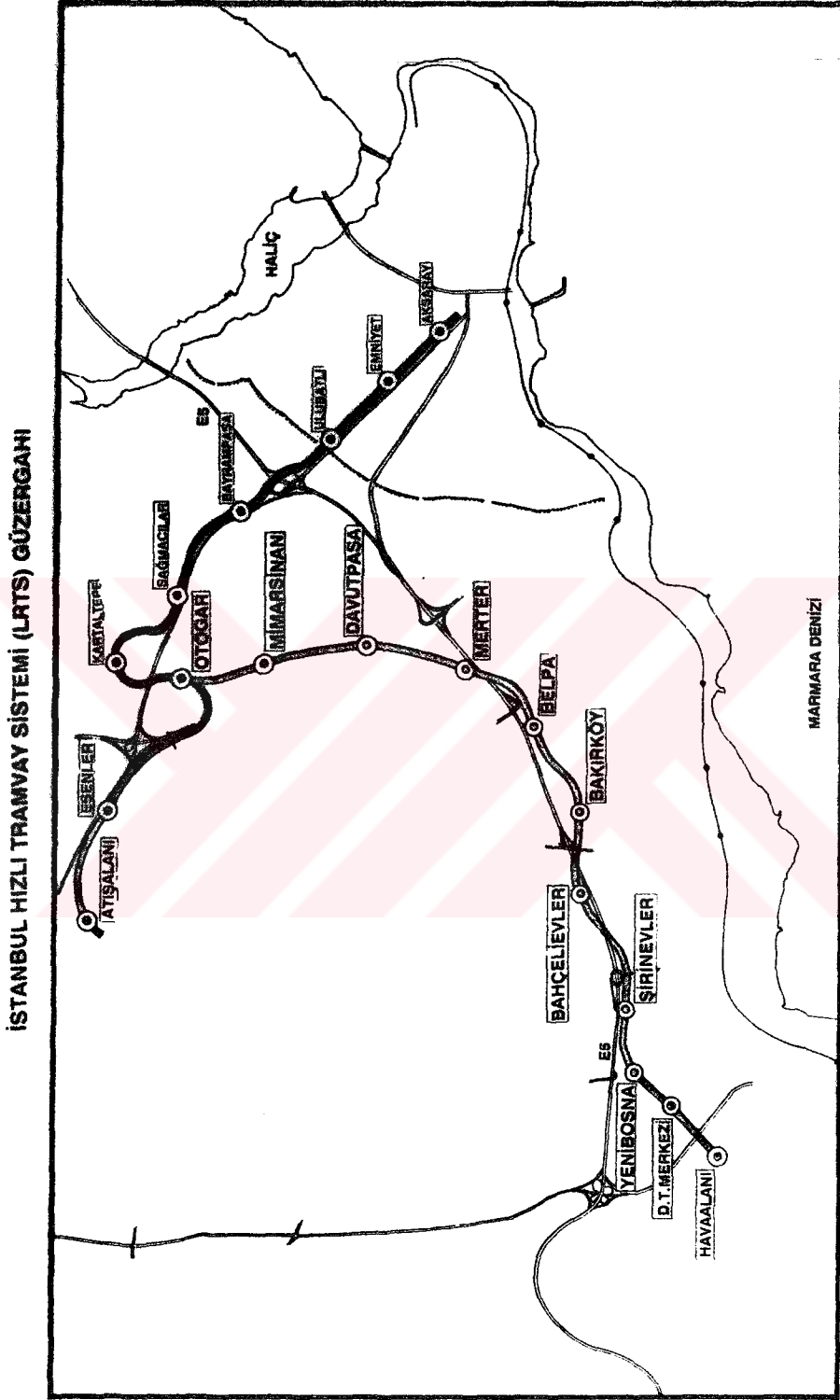
Fiili inşaatına 1992 yılında başlanan İstanbul Hafif Raylı Sistem Projesinin toplam 9.7 km. Uzunluğundaki II. Aşamasını oluşturan "Esenler - Yenibosna" güzergâhı, Esenler Otogar'da "Topkapı-Esenler" olarak bilinen I. Aşamadaki eski hattan ayrılmakta ve Şekil 18.1'de de görüldüğü gibi sırasıyla Mimar Sinan, Davutpaşa ve Merter İstasyonlarını izleyerek mevcut E5 karayoluna ulaşmaktadır. Nitelikli çelik kirişlerin taşıdığı E5 viyadüğü ile karayolunu aştıktan sonra E5 karayoluna paralel olarak devam ederek sırası ile Belpa, Bakırköy, Bahçelievler, Şirinevler istasyonlarından sonra Yenibosna İstasyonuna ulaşmaktadır. Şekil 18.1 Hızlı Tramvay II. Aşama güzergâhını göstermektedir. Hat boyunca proje aşamasında çeşitli değişiklikler yapılmıştır. Son değişikliklerle, hat boyunca üç viyadük ve bir tünel bulunmaktadır. Zemin taşıma gücündeki zayıflık nedeni ile özellikle viyadük ve köprü yaklaşım ayaklarının temellerinde fore kazıklı temel uygulamasına gidilmiştir. İnşa edilen fore kazıkların proje yükleri altındaki davranış ve performanslarını kontrol etmek için performanslarını kontrol etmek için proje kontrol örgütü tarafından seçilen yan ve orta kazıklar üzerinde 13. Bölümde de açıklanacağı gibi "kanıtlama amaçlı" yükleme deneyleri yapılmıştır.

Yukarıda adı geçen projenin çeşitli aktivitelerinde yer alan sanat yapılarının temel sistemi içinden seçilen kazıklar üzerinde yapılan deneylerin esasları, programı ve yükleme deneylerinde gözlenen "yük - zaman" ve "oturma - zaman" eğrileri aşağıda açıklanmakta; 9. Bölümde ifade edildiği gibi çeşitli yöntemlerle hesaplanan " **nihai taşıma gücü**" ve "**oturma**" büyüklükleri, ölçülen değerler ve birbirileri ile kıyaslanmaktadır.

18.1. Kazık Yükleme Deneyinin Esasları :

İstanbul "LRTS - Hafif Raylı Sistem Projesi"nin II. Aşamasında çeşitli aktivitelerinde yer alan ve seçilen kazıklar üzerinde yükleme deneyi yapılan kazıklı temel uygulamaları Çizelge 18.2'de kısaca özetlenmektedir. Aynı çizelgede ayrıca proje bazında yükleme deneyi yapılan kazıklara ilişkin bazı teknik büyüklükler ile yükleme sistemiği de açıklanmaktadır.

Çizelge 18.1 yakından incelendiğinde üçüde bir "viyadük istasyon" şeklinde dizayn edilen sanat yapılarından Otogar Viyadüğü'nün 14. ve 21. akslarını, Davutpaşa



Şekil 18.1 İstanbul Hızlı Tramval Sistemi İkinci Aşama Güzergahı

Viyadüğü'nün 5. ve 19. akslarını, Merter Viyadüğü'nün ise 16. aksını teşkil eden temel kaidesinin altında yer alan toplam 5 adet fore kazık üzerinde ASTM D. 1143 standartına uygun olarak "**kanıtlama amaçlı**" kazık yükleme deneyi yapılmıştır.

Yükleme sistemi tüm kazıklarda Şekil 18.2'de de görüldüğü gibi yeterli sayıda ankraj (çekme) kazığına bağlanan yükleme kirişlerinden ve bu kirişlerden destek alarak deney kazığına aksnel basınç yükü uygulayan hidrolik krikodan oluşmaktadır. Ankraj kazıkları olarak deney kazığının etrafında mevcut temel kazıklarından 2'si veya 4'ü kullanılmıştır. Yükleme kirişlerinin boyutları ve mukavemetleri aşırı sehimlere meydan vermeyecek büyüklük ve özellikte, yerleşimleri hidrolik kriko ve başlık levhalarının sığacağı kadar kazık başının üstünde olmaktadır. Yükleme kirişleri ankraj kazıklarına herhangi bir kayma, ezilme ve aşırı deplasman olmayacak biçimde bağlanmaktadır. Diğer bir anlatımla hidrolik kriko aracılığıyla test kazığına uygulanacak yükün reaksiyon kapasitesine uygun sayıda seçilmiş ankraj kazıkları ve bunları birbirine bağlayan destek kirişleri ile Şekil 18.3'de örneği görülen bir çerçeve sistem oluşturulmaktadır. Test kazığı ile ankraj kazıklarının bağlantı detaylarının her yükleme deneyi için hazırlanan planı Ek 1'de toplu halde sunulmaktadır.

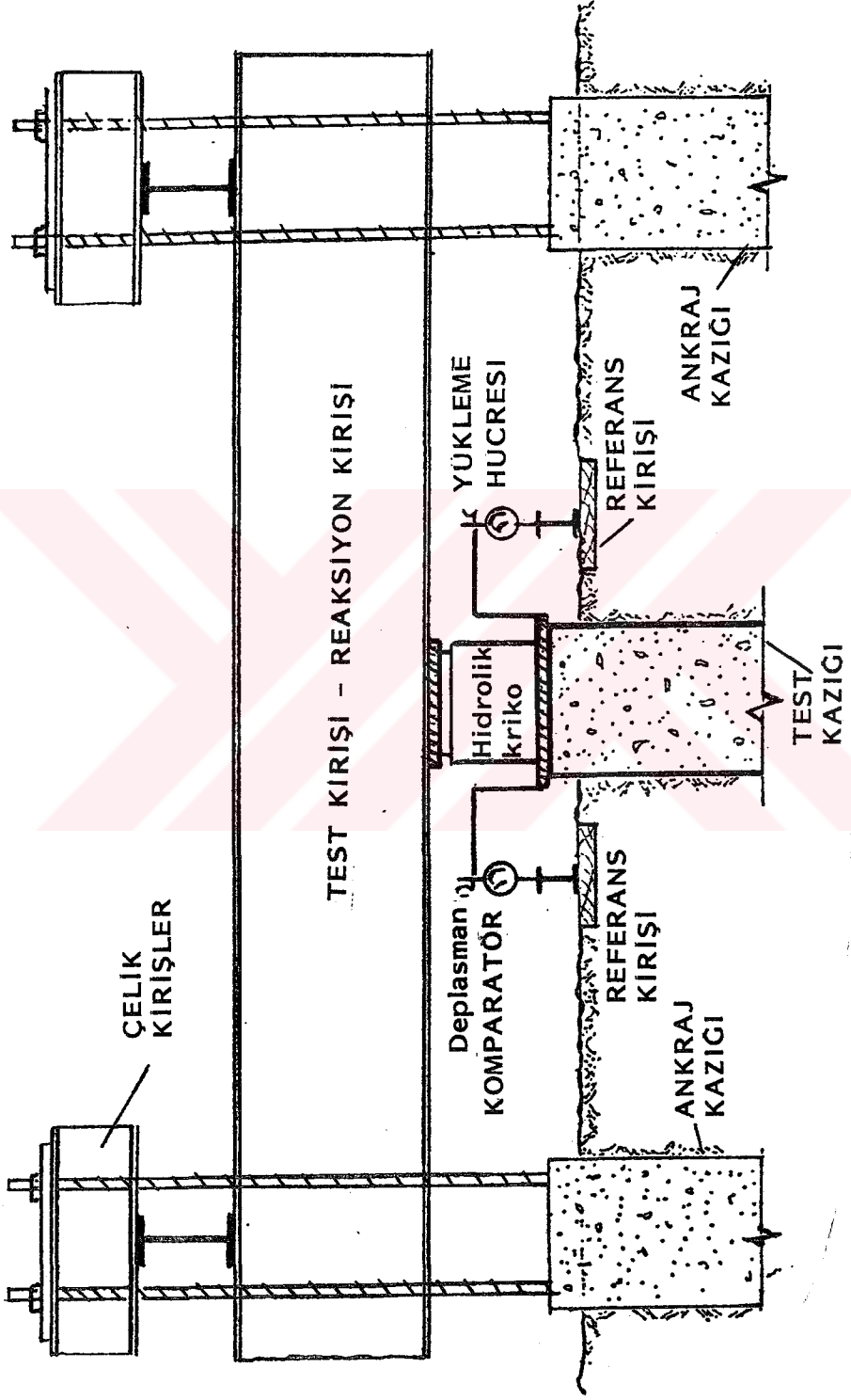
Sistem, ankraj kazıklarına eşit yük dağıtacak biçimde tasarlanmış ve bu husus deneyler süresince bizzat kontrol altında tutulmuştur. Deney yükleri [2500-3000] kN kapasiteli bir hidrolik kriko ile sağlanmaktadır. Krikonun deplasman kapasitesi (stroke) en az 50 mm olmaktadır. Kriko uygun kapasiteli bir yağ pompası ile beslenmekte, yağ basıncı uygun kapasiteli ve yeterli hassasiyette bir manometre ile izlenmektedir.

Kriko yardımıyla uygulanan yük en az 2500 kN kapasiteli bir yükölçer (load-cell) ile ölçülmektedir. Tüm deneylerden önce kullanılacak yükölçerlerin kalibrasyonu İTÜ Zemin Mekaniği Laboratuvarı'nda yaptırılmıştır. Bu yükölçerlerin okuma hassasiyetleri % 1 veya daha iyidir. Deney kazığı, kriko, yükölçer ve yükleme kirişi arasında ASTM D.1143'e uygun normlarındaki çelik plakalar yerleştirilmiş, küresel yataklı başlıklar kullanılarak verilen yükün aksnel ve uniform biçimde uygulanması mutlaka sağlanmıştır.

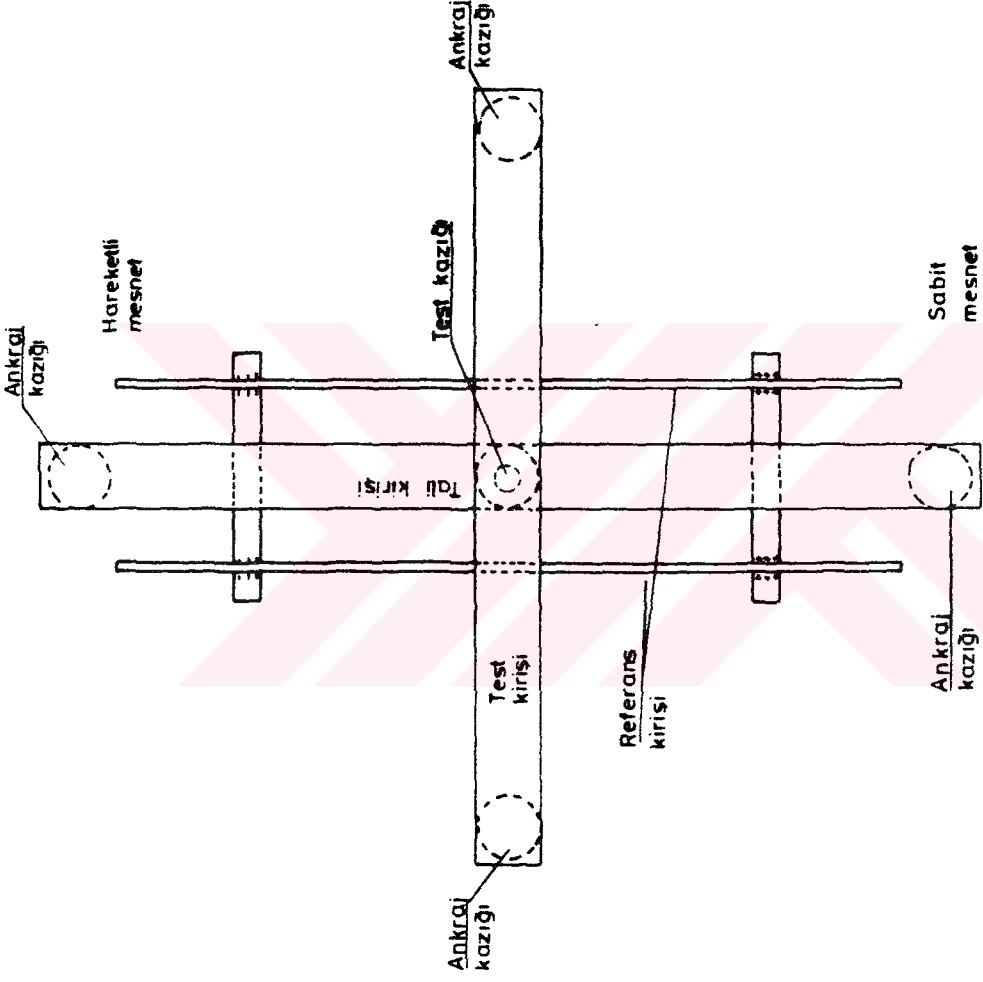
Çizelge 18.1 Kazık Yükleme deneylerinin yapıldığı kazıklarla ilgili bazı bilgiler

KAZIK YÜKLEME DENEY NO	KAZIK YÜKLEME DENEYİNİN YAPILDIĞI YER	[KM]	YASS [m]	KAZIK YÜKLEME DENEY YÖNTEMİ	KAZIK YÜKLEME DENEY DÜZENEGİ	KAZIK ÇAPI [Ø] (m)	KAZIK Boyu [Ø] (m)	KAZIK TÜRÜ VE CİNSİ	TAŞIMA GÜCÜ		OTURMA [S] (mm)
									[Q _p] (ton)	[Q _s] (ton)	
D / 1	LRTS II. Aşama Otogar Güney Köprü 14. Aks - 110. Kazık	0 +120	12.0	İki Kademede Hızlı Adımlı Yükleme	Ankrajlı Çekme Kazıklı Sistem	1.0	18.0	Basınc Fore	130-150 140-160	20 - 30	
D / 2	LRTS II. Aşama Otogar Viyadüğü 21. Aks - 3. Kazık	0 +383	12.0	İki Kademede Hızlı Adımlı Yükleme	Ankrajlı Çekme Kazıklı Sistem	1.0	17.0	Basınc Fore	130-150 140-160	20 - 30	
D / 3	LRTS II. Aşama Davutpaşa Viyadüğü 5. Aks - 5. Kazık	2+0.15	12.0	İki Kademede Hızlı Adımlı Yükleme	Ankrajlı Çekme Kazıklı Sistem	0.8	20.0	Basınc Fore	110-125 230-325	10 - 30	
D / 4	LRTS II. Aşama Davutpaşa Viyadüğü 19. Aks - 5. Kazık	2+292	5.0	İki Kademede Hızlı Adımlı Yükleme	Ankrajlı Çekme Kazıklı Sistem	0.8	20.0	Basınc Fore	110-125 230-325	10 - 30	
D / 5	LRTS II. Aşama Merter Viyadüğü 16. Aks - 6. Kazık	3+645	8.0	İki Kademede Hızlı Adımlı Yükleme	Ankrajlı Çekme Kazıklı Sistem	0.8	22.0	Basınc Fore	130-150 140-160	20 - 30	

(*) : Baykal(1992) raporundan alınmıştır.



Şekil 18.2 Test kazığı ve Ankraj kazığı bağlantı (kesit)



Şekil 18.3 Test kazığı ve Ankraj kazığı bağlantıları örneği (Plan Görünüşü)

18.2. Kazık Deplasmanlarını Ölçme Sisteminin Özellikleri :

Yükleme deneylerinin tümünde yük altındaki deney kazığının yapacağı oturma miktarı Şekil 18.1'de de görülen 2 adet saatli komparatör aracılığı ile ölçülmektedir. Komparatörlerin okuma aralığı 0.01 mm, kapasiteleri ise 50 mm'dir. Oturmaları ölçmek için 2 adet referans kirişi kullanılmaktadır. Referans kirişleri deney kazığından en az 2.5 m. mesafede, kazık hareketi etki alanı dışında mesnetlendirilmiştir. Sıcaklık ve benzeri çevresel etkenlerin komparatör okumalarını etkilememesi için referans kirişlerinin birer ucunun yatay hareketine izin verilmiştir. Kirişler güneş v.b. etkilerden korunmaktadır. Her referans kirişine birer adet komparatör takılarak kazık başının yaptığı deplasman hareketi iki ayrı noktada simetrik biçimde okunabilmektedir. Komparatör uçlarının temas edeceği yüzeyler düzgün hale getirilerek okumaların sağlıklı biçimde yapılması temin edilmiştir. Ölçme emniyeti açısından deney kazığının hareketi denetim altında tutulmakta, bu amaçla birer adet komparatör takılarak hareketleri en az 0.25 mm duyarlılıkla ölçülmektedir. Deneyler sırasında ankraj kazıklarının olası hareketleri gözetim altında tutulmakta, bu amaçla birer adet komparatör takılarak hareketleri en az 0.25 mm duyarlılıkla ölçülmektedir. Referans kirişlerinin yerdeğiştirme yapıp yapmadığı sabit bir röper noktasından nivo ile kontrol edilebilmektedir.

18.3 Kazık Yüklemeye Deneylerinde Uygulanan Deney Programı

Yüklemeye deneylerinde uygulanan program yine ASTM D. 1143 standardına göre tanımlanmış olup deney yükü proje yükünün % 150'si (1.5 katı) dir. Seçilen kazık için yapılacak yüklemeye deneyi, betonun yerinde kür şartları da gözetilerek kazık döküm tarihinden en az 28 gün sonrasına rastlatılmaktadır. Yüklemeye ASTM D. 1143 standartında ifade edilen yöntemlerden günümüzde en pratik, ekonomik ve kullanışlı olan "**Çabuk Yüklemeye Yöntemi**" (Quick Load Test Method)'ne göre yapılmıştır. Yüklemeye deneyine maruz bırakılacak kazıklar proje yükünün %10 - %15'i kadar adımlarla yüklenmekte her adımda uygulanan yük 5 dakika süreyle tutulmaktadır. Deney yüküne erişildiğinde de 5 dakika beklenip yük proje yükünün % 25'ine tekabül eden büyüklükte toplam 6 adımda boşaltılmaktadır. Ölçülen büyüklükler uygun normlarda hazırlanan deney kayıt formlarına işaretlenmektedir. Her kademedeki ani yüklemeye, darbe etkisinden kaçınılmakta yük üniform biçimde artırılmakta veya azaltılmaktadır. Yüklemeye veya boşaltma hızı 1 [ton/sn]'yi aşmamaktadır. Bu arada boşaltma hızının yüklemeye ve boşaltma hızından etkilenmemesine dikkat edilmelidir Yukarıda da ifade edildiği

gibi her kademe yükte 5 dk. lık bekleme süresini hem başında hem de sonunda oturmalar ölçülerek kaydedilmektedir. Her kademe de sıcaklık ölçülerek kaydedilmektedir. Yapılan tüm yükleme deneyleri için yükleme ve boşaltma kademelerin süreleri ve okuma aralıkları Ek 2 ' te; program doğrultusunda yapılan yükleme deneyinin sonuçları ise Ek 3 ' te toplu halde verilmiştir.

18.4. Deney Lokasyonlarının Geoteknik Yapısı :

Üzerinde kazık yükleme deneylerinin yapıldığı toplam 5 adet kazığın Hafif Raylı Sistem güzergahı boyunca km bazında buldukları yerler Şekil 18.1'de görülmektedir. KASKTAŞ A.Ş.tarafından yükleme deneylerinin yapıldığı zonların yakınlarında çeşitli sondajlar yapılarak, deneye maruz test kazıklarının çevreleyen zeminin geoteknik profili ve bazı mühendislik özellikleri yaklaşık olarak tahmin edilmiştir. Deney lokasyonlarına en yakın sondaj logları değerlendirilerek hazırlanan loglar Ek 4'te, yükleme deneyi yapılan fore kazıklar için çeşitli hesaplarda gözönüne alınacak basitleştirilmiş zemin profili ve geoteknik parametrelerin yer aldığı şemalar ise toplu olarak Ek 5'te sunulmuştur. Yukarıda adı geçen sondajlardan alınan numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deneylerinin sonuçları ise topluca Ek 6'da görülmektedir. Ek 4'te görülen sondaj logları yakından incelendiğinde test kazıklarının çevreleyen geoteknik profil tüm lokasyonlarda [2 - 4] m. arasında değişen ve çoğunlukla kumlu kil içeren bir **yapay dolgu** tabakası ile başlamakta ardından D1 ve D2 kazıklarının altında ortalama 10.m'ye kadar yer yer organik madde içeren marn ve çakıl arabantlı siltli yeşil **kil** tabakası yer almakta, daha sonra ise sondaj bitimine kadar sarımsı kahverengi yer yer serisitli az çimentolanmış **siltli kum** tabakası gelmektedir. D3 kazığının altında dolgu tabakasını takiben sondaj logunun sonuna kadar çeşitli bağlayıcılarla çimentolanmış sert ve derinleştikçe katılaştan **kil** tabakaları yer almaktadır. D4 ve D5 kazıklarının altında ise yaklaşık 13-16 m'ye kadar az miktarda marn ve çakıl arabantlı, yer yer organik madde içeren katı kıvamlı **kil** tabakası bulunmakta, daha derinlerde ise kil oranı düşmekte ve yerini sarımsı - kahverenkli yer yer serisitli çok katı olan siltli ince **kum** tabakası bulunmaktadır.

Sondaj loglarında görülen zemin profiline bakıldığında yapay dolgunun yüksek olduğu kısımlarda zeminin konsolide olduğu ve kayma mukave metinin arttığı gözlenmektedir. Kil tabakasının katı kıvamda olması herhangi bir oturma problemi yaratmakta ayrıca ortalama 10 m de karşılaşılan yeraltı suyu kazık imalatı sırasında herhangi bir problem çıkarmamaktadır. Yine SPT deneylerinden elde edilen sonuçlara bakıldı-

ğında üst kısımlarda kil oranının yüksek olduğu bölgelerde zemin çok katıdır, yani zemin belli bir diyajenez geçirerek konsolide olmuştur. Dolayısıyla çok katı killerin kohezyon değeri ve içsel sürtünme açısı gevşek olan killere oranla sıfırdan farklı olacaktır. Sonuç olarak katı kilin kayma mukavemetinde artış meydana gelmiştir.

18.5. Yükleme Deneyleri ve Ölçme Sistemi :

Seçilen test kazığının üstüne yükleme başlığı yapılmış, bunun üzerine çelik bir plaka kullanılarak, proje ve servis yüküne uygun olarak belirlenen yaklaşık 2500 kN kapasiteli hidrolik kriko monte edilmiştir. Hidrolik kriko ise üzerinde 600 barlık hidrolik manometre bulunan bir yağ pompasına bağlanmıştır.

Ana test kirişi hidrolik kriko üzerine yerleştirilmiş, bu ana kiriş birer adet ankraj kazığına, kazık donatılarına kaynaklanmak suretiyle bağlanmıştır.

Kazık başının düşey doğrultudaki deplasmanları yükleme kirişine dik doğrultuda yere uzatılan 2 adet yeterli rijitlikte referans kirişi üzerine monte edilmiş birer adet [1/100] mm hassasiyetindeki komparatörle ölçülmüştür.

Test kazığının yüklemesi iki kademe halinde yapılmıştır. Birinci kademe yüklemesinde kazık servis yüküne kadar çıkılmış arkasından yük sıfırlanmıştır. İkinci kademe yüklemesinde ise servis yükünün 1.5 misline (% 150'sine) kadar çıkılmıştır. Deney sırasında meteorolojik koşullar dikkate izlenmiştir. Yükleme yöntemi olarak tüm deneylerde 13.bölümde tariflenen "çabuk yükleme yöntemi" uygulanmıştır. Yükleme aralarında 5'er dakika, boşaltma aralarında ise 10 dakika beklenmiş olup, yükler sıfırlandıktan sonra da 1'er saat beklenerek oturmalar ölçülmüştür.

Yapılan yükleme deneyleri sonucunda tüm test kazıkları için çizilen "yükoturma" eğrileri toplu halde Ek 7 ' de, "oturma-zaman" diyagramları yine toplu olarak Ek 8 ' de ve "yük-zaman" diyagramları ise topluca Ek 9 ' da sunulmaktadır.

18.6. Kazık Yükleme DeneylerininYapıldığı Test Kazıklarında Göçme Yükünün Saptanması

Üzerinde kazık yükleme deneyleri yapılan ve çeşitli özellikleri Çizelge 18.1'de verilen test kazıklarının düşey üst yapı yüklerinin etkisi altında göçmeye uğramaksızın taşıyabileceği nihai yük; diğer bir deyişle "göçme yükü" değerleri 9. Bölümde de açıklandığı gibi;

1. Statik yöntemler
2. Arazi deneylerinin sonuçlarına dayalı amprik yöntemler
3. Dinamik esaslı yöntemler
4. Kazık yükleme deneyi sonuçlarına dayalı grafik ve yarı amprik yöntemler.

Kullanılarak tayin edilebilmektedir. Tez çalışmasına konu edilen 5 adet test kazığının bulunduğu arazide yapılan sondajlar aracılığı ile alınan numuneler üzerinde laboratuvar da deneyler yapılarak kazığın yer aldığı formasyonunun esaslı yöntemle göçme yükü hesabında rol oynayan "kayma mukavemeti parametreleri" tesbit edilmiştir. Aynı sondaj faaliyetlerinin kapsamında arazide gerçekleştirilen Standart Penetrasyon Deneyleri ve Menard Pressiometre Deneyleri'nin sonucunda ise elde edilen bulgular çeşitli korelasyonlar vasıtasıyla kazık göçme yükünün tesbit edilmesi amacıyla kullanılmıştır. Son olarak Ek 7'de tüm test kazıkları için verilen "yük - oturma" eğrilerini gözönüne alarak, adigeçen test kazıkları için 9. Bölümde ifade edilen grafiksel yöntemler ile göçme yükü hesabı yapılmıştır.

Ayrıca test kazıklarının üzerindeki proje ve servis yüklerinin etkisi altında meydana gelebilecek oturmaların bu bölümün sonunda da görüleceği gibi 14.bölümde detaylarıyla anlatılan yaklaşım ve metodlarla hesabı yapılmış ve elde edilen sonuçlar, Ek 7'de verilen yük - oturma eğrilerinden tayin edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Aşağıda sırası ile statik yöntemler, arazi deney sonuçlarına dayalı yöntemler ve grafiksel yöntemlerle yapılan taşıma gücü hesabının ana özellikleri ve genel bir şablon etrafında, izlenen hesap prosedürleri tariflenmektedir.

18.6.1. Statik Formüller Kullanılarak Yapılan Kazık Taşıma Gücü Hesabı

Bu yöntem, Ek 5'te toplu halde sunulan test kazıklarına ait basitleştirilmiş zemin profilleri üzerinde belirtilen ve hazırlanan geoteknik raporlarda da ifade edilen kayma mukavemeti parametreleri ile statik denge prensiplerinden yola çıkılarak kazık taşıma gücü hesabının nasıl yapılabileceğini ve hesaplarda nelere dikkat edilmesi gerektiğini kapsar.

Aşağıda üzerinde yükleme deneyi yapılan ve çeşitli geometrik özellikleri Çizelge 18.2'de toplu olarak verilen 5 adet test kazığının statik yöntemlerle taşıma gücü hesabı yapılırken dikkat edilmesi gereken hususlar ve yapılan bazı anlamlı kabuller

açıklanmakta, taşıma gücü hesabına - kazıkları çevreleyen zemin ortamının geoteknik özellikleri gözönünde tutularak - esas teşkil eden bağıntılar ve bu bağıntılarda kullanılacak çeşitli mukavemet parametreleri verilmektedir. Yükleme deney lokasyonlarının birbirine yakın olması nedeniyle aşağıda da görüleceği gibi değişik yaklaşımlarla saptanan muakvemet parametrelerinin aritmetik ortalaması taşıma gücüne esas alınan formüllerde kullanılmaktadır.

Çizelge 18.2 Kazık yükleme deneyi yapılan test kazıklarına ait bazı geometrik büyüklükler

KAZIK NO	KAZIK BOYU [L], (m)	KAZIK ÇAPI [D], (m)	KAZIK KESME KOTU [L _k], (m)	BİRİM ALANLAR	
				[A _p], (m ²)	[A _s], (m ²)
D1 KAZIĞI	18.0	1.0	1.0	0.785	3.142
D2 KAZIĞI	17.0	1.0	2.0	0.785	3.142
D3 KAZIĞI	20.0	0.8	1.0	0.502	2.513
D4 KAZIĞI	20.0	0.8	2.0	0.502	2.513
D5 KAZIĞI	22.0	0.8	1.0	0.502	2.513

18.6.1.1. Mevcut Geoteknik Raporlara İstinaden Hesaplarda Yapılan Bazı Kabuller ve Gözönünde Tutulması Gereken Hususlar

Aşağıda yükleme deneyi yapılan kazıkların yer aldığı LRTS II. Aşama Otogar, Davutpaşa ve Merter Viyadükleri'ni çevreleyen lokasyonlara ait geoteknik rapor ve gözlemler uyarınca statik esaslı taşıma gücü hesaplarında yapılan kabuller ve dikkate alınan unsurlar tariflenmektedir.

1. Taşıma gücü hesaplarında kazık ağırlığı ihmal edilmektedir.

2. Kazık kesme kotu Çizelge 18.2 ve Ek 5'te de tariflendiği gibi tabii zemin yüzeyinden [1-2] m aşağıda kalacak şekilde boyutlandırma yapılmıştır. Bu nedenle kazığın ancak belli bir bölümü yapay dolgu içerisinde kalmaktadır.

3. Kazıkların yapay dolgu içerisinde kalan kısımlarından faydalı bir sürtünme kuvvetinin gelmeyeceği gözönünde tutulmaktadır.

4. Genel olarak Ek 5'den de takip edilebileceği gibi kazığın çevresinde ortalama olarak [2 - 10] m arası "Siltli KİL" tabakası, [10 - 20] m. Arası ise "Siltli KUM" tabakası yer almaktadır.

5. Çok sıkı olan siltli kum zeminde [$D_r > 0.75$], fore kazık imalatı sırasında kazık ucundaki zeminin gevşeyeceği düşünülerek; uç direnci hesabında $N_q = f [\emptyset]$ ilintisine göre " N_q " faktörünün tayininde gevşek kumlara ait $\emptyset = 28^\circ$ lik bir içsel sürtünme açısının kullanılması uygun bulunmuştur. Çevre sürtünmesi hesabında ise laboratuvar deney sonuçlarından hareketle $\emptyset = 40^\circ$ (örselenmemiş) içsel sürtünme açısının kullanılması uygun olacaktır.

6. Taşıma gücü analizlerinde rol oynayan efektif gerilmelerin gerçekçi yoldan hesabı için ayrıntıları 10. Bölümde açıklanan "kritik derinlik hesabı"nın mutlaka yapılması ve kazık uç kotunun, hesapla bulunan kritik derinlik değeri ile kıyaslanması gerekir.

7. Taşıma gücü analizlerinde rol oynayan diğer unsurları oluşturan kayma mukavemeti parametreleri, aşağıda da ifade edileceği gibi bazı araştırmacıların geniş ölçekli araştırmalar neticesinde önerdikleri amprik ya da yarıamprik büyüklüklerin aritmetik ortalaması alınarak belirlenmiştir.

8. Nihai taşıma gücü hesabı deney kazığının yer aldığı jeolojik lokasyon itibarıyla aşağıda tariflenen (18.1) ve (18.2) bağıntıları yardımıyla yapılabilir.

Ek 5'te verilen basitleştirilmiş zemin profilleri, (18.1) veya (18.2) bağıntıları kullanılarak, drenajsız zemin koşullarının geçerliliği altında yalnızca D1 deney kazığı için bir "Örnek Nihai Taşıma Gücü Hesabı" aşağıda yapılmıştır. D2, D3, D4 ve D5 deney kazıkları için de D1 deney kazığı için yapılan hesapta yer alan adımlar sırayla uygulanarak nihai taşıma gücü hesabı yapılmıştır. Test kazıkları için bu şekilde yapılan nihai taşıma gücü hesapları sonucunda bulunan göçme yükleri Çizelge 18.8'de toplu olarak sunulmaktadır.

18.6.1.2. Nihai Taşıma Gücü Hesabı

Deney kazıklarının bulunduğu zonda yer alan zemin profili Ek 5'ten de izlendiği gibi; yaygın olarak [2-10] m arası "Siltli KİL" tabakası, [10-20] m arası "Silt KUM" tabakası'ndan teşkil olmaktadır. D1, D2, D4 ve D5 test kazıkları için nihai taşıma gücü hesabı

aşağıda verilen (18.1) bağıntısı, D3 test kazığı için nihai taşıma gücü hesabı yine aşağıda verilen (18.2) bağıntısı kullanılarak yapılacaktır.

$$[Q_u] = [\sigma'_{vL} N_q] A_p + \sum_0^z [c_a + \sigma'_v K_s \tan \phi_a] dz A_s \quad (18.1)$$

$$[Q_u] = [cN_c] A_p + \sum_0^z [c_a] dz A_s \quad (18.2)$$

Aşağıda (18.1) ve (18.2) bağıntılarıyla ifade edilen nihai taşıma gücü hesabında önemli rol oynayan " N_q ", " N_c ", " c_a ", " K_s " ve " Q_a " mukavemet parametrelerinin tayininde çeşitli araştırmacıların pratik uygulamalar için önerdiği değerler sırasıyla açıklanmaktadır.

18.6.1.3. Mukavemet Parametrelerinin Seçimi

(18.1) ve (18.2) bağıntılarını hassas ölçüde korele eden mukavemet parametrelerinin seçimi aşağıda tariflendiği gibi yapılabilir.

1. $[N_q]$ Parametresinin Seçimi

Bazı araştırmacıların - fore kazık imalatı sırasında kazık ucunda meydana gelebilecek örselenmeler nedeniyle - yukarıda da açıklandığı gibi kazık uç bölgesinde " $\phi = 28^\circ$ " için önerdikleri " N_q " değerleri Çizelge 18.3'de topluca verilmiştir.

Çizelge 18.3 Bazı araştırmacıların [$\phi=28^\circ$] için önerdikleri $[N_q]$ değerleri

Araştırmacı	$[N_q]$
Terzaghi ve Peck	18
Berezantsev (1961)	14
Vesic (1976)	21
Meyerhof (1976)	20
Janbu (1976)	16
API (1982)	16
NAVFAC (1986)	8
DNV (1985)	12
Liu ve Evett (1981)	12
API	20

Çizelge 18.3'te verilen büyüklüklerin istatistiksel bir değerlendirilmesi yapıldığında şu sonuçlar elde edilmektedir :

Aritmetik Ortalama[X] = 15.7

Standart Sapma.....[S] = 4.00

Değişkenlik Katsayısı.....[V] = 25.48 (%)

(18.1) bağıntısıyla test kazıkları için "nihai taşıma gücü" hesabı yapılırken kullanılacak " N_q " taşıma gücü faktörü değeri [N_q] = 16 alınacaktır.

2. [N_c] Parametresinin Seçimi

Çeşitli araştırmacıların önerdikleri " N_c " taşıma faktörü değerleri aşağıda sunulan Çizelge 18.4'te toplu halde görülmektedir.

Çizelge 18.4 Bazı araştırmacılar tarafından önerilen [N_c] değerleri

Araştırmacı	[N_c]
Skempton (1959)	9
Mohan (1961)	8
Sowers (1979)	8
Meherhof (1976)	9
Poulos ve Davis (1980)	9
Broms (1981)	6
Fleming et al (1985)	9
CFEM (1985)	7
NAVFAC(1986)	9
API (1991)	9
AASHTO (1992)	9

Çizelge 18.4'te verilen büyüklüklerin istatistiksel değerlendirilmesi yapıldığında aşağıdaki rakamlar elde edilir.

Aritmetik Ortalama[X] = 8.45

Standart Sapma.....[S] = 0.75

Değişkenlik Katsayısı[V] = 9.25 (%)

(18.2) bağıntısıyla test kazıkları için "nihai taşıma gücü" hesabı yapılırken kullanılacak " N_c " taşıma gücü faktörü değeri [N_c] = 9 olarak seçilebilir.

3. [K_s] Parametresinin Seçimi

Çeşitli araştırmacılar tarafından hesaplarda kullanılması önerilen " K_s " değerleri aşağıda verilen Çizelge 18.5'te topluca ifade edilmektedir.

Çizelge 18.5 Bazı araştırmacılar tarafından önerilen $[K_s]$ değerleri

Araştırmacı	$[K_s]$
Meyerhof (1976)	0.5
Tomlinson (1977)	0.6
Norlund (1980)	0.4
Coyle ve Castello (1981)	0.6
Dennis ve Olson (1983)	0.8
Fleming et al. (1985)	0.7
Hunt (1986)	0.6
NAVFAC (1986)	0.4
Tirant (1992)	0.8

Çizelge 18.5'te verilen değerler üzerinde yapılan istatistiksel değerlendirmenin sonuçları aşağıdaki gibidir.

Aritmetik Oratlama $[X]$ = 0.60

Standart Sapma..... $[S]$ = 0.15

Değişkenlik Katsayısı..... $[V]$ = 25.00 (%)

(18.1) bağıntısı yardımıyla yapılacak "nihai taşıma gücü" hesabında " K_s " teriminin $[K_s] = 0.60$ olarak seçilmesi uygun bulunmuştur.

4. $[Q_a]$ Parametresinin Seçimi

Bazı araştırmacılar nihai taşıma gücü hesaplarında kullanılabilecek " \emptyset_a " parametresi değerlerini Çizelge 18.6'da özetlendiği gibi tavsiye etmektedirler.

Çizelge 18.6 Bazı araştırmacılar tarafından önerilen $[\emptyset_a]$ değerleri

Araştırmacı	$[\emptyset_a^\circ]$
Tomlinson (1977)	30
Norlund (1980)	37
Poulos ve Davis (1980)	37
Coyle ve Castello (1981)	32
Patyondy (1981)	32
API (1982)	34
NAVGA (1986)	30
Hunt (1986)	34
ASCE (1993)	36

Yukarıda görülen " ϕ_a " parametresinin aldığı sayısal değerlerin bir istatistiksel değerlendirilmesi yapıldığı;

Aritmetik Ortalama[X] = 33°.55

Standart Sapma[S] = 2.59

Değişkenlik Katsayısı.....[V] = 7.72 (%)

olarak elde edilirler. Hesaplarda kullanılacak " ϕ_a " büyüklüğü [$\phi_a = 34^\circ$] olarak kabul edilebilir.

5. [C_a] Parametresinin Seçimi

(18.1) ve (18.2) eşitliklerinde ifade edilen "nihai taşıma gücü" bağıntılarında yer alan " c_a " adhezyonunun kestirilebilmesi için çeşitli araştırmacıların önerdikleri amprik ya da yarı amprik kökenli " $\alpha = c_a / c_u$ " büyüklükleri aşağıda verilen Çizelge 18.7'de toplu halde özetlenmektedir.

Çizelge 18.7 Bazı araştırmacıların önerdiği [$\alpha = c_a / c_u$] değerleri

Araştırmacı	[$\alpha = c_a/c_u$]
Skempton (1959)	0.45
Mohan ve Chandra (1961)	0.45
Reese et al. (1976)	0.50
Sowers (1979)	0.60
API (1986)	0.60
NAVFAC (1986)	0.60
API (1991)	0.5

Yine daha önce, yukarıda olduğu gibi Çizelge 18.7'de toplu halde sunulan " α " parametreleri bir istatistiksel değerlendirmeye tabii tutulursa şu veriler tesbit edilebilmektedir.

Aritmetik Ortalama[X] = 0.53

Standart Sapma.....[S] = 0.065

Değişkenlik Katsayısı.....[V] = 12.25 (%)

(18.1) ve (18.2) bağıntılarında kullanılması uygun görülen " α " değeri [$\alpha=c_a/c_u$] 0.53 alınacaktır. Bu durumda nihai taşıma gücü hesaplamalarında " $\alpha = 0.53$ " değeri

alınarak $c_a = 0.53 [c_u]$ ifadesiyle saptanacak " c_a " adhezyonu kullanılmalıdır.

Geoteknik profil, deney lokasyonlarının birbirine yakınlığı ve Ek 6'da toplu halde sunulan test kazıklarının bulunduğu zona ait laboratuvar deney sonuçlarının birbirileri ile iyi bir uyum göstermesi nedeniyle tüm test kazıkları için aşağıda nümerik bir uygulaması yapılan "nihai taşıma gücü" hesaplarında kullanılacak mukavemet parametreleri müşterek seçilmiştir. Adı geçen ve yukarıda görüldüğü gibi tayin edilen hesapta kullanılacak mukavemet parametreleri Çizelge 18.8'de toplu halde verilmiştir.

Çizelge 18.8 Statik yöntemle nihai taşıma gücü / hesabı yapılırken seçilen mukavemet parametreleri

MUKAVEMET PARAMETRESİ		
TAŞIMA GÜCÜ FAKTÖRÜ	$[N_q]$	16
TAŞIMA GÜCÜ FAKTÖRÜ	$[N_c]$	9
TOPAK BASINCI KATSAYISI	$[K_s]$	0.60
SÜRTÜNME AÇISI	$[Q_a]$	34
ADHEZYON FAKTÖRÜ	$[\alpha]$	0.53

18.6.1.4. D1 Test Kazığı İçin Örnek Taşıma Gücü Hesabı

Ek 5'te verilen basitleştirilmiş zemin profili, (18.1) bağıntısı ve Çizelge 18.8'deki veriler dikkate alınarak D1 test kazığı için nihai taşıma gücü hesabı aşağıdaki adımlar izlenerek yapılabilir.

Örnek Hesap :

- Kazık kesme kotu Ek 5 ve Çizelge 18.2'de görüldüğü gibi tabii zemin yüzeyinden 1m aşağıda kalacak şekilde boyutlandırılarak imal edilen D1 kazığının nihai taşıma gücü (18.1) bağıntısı yardımıyla yapılır.

$$[Q_u] = [\sigma'_{vL} N_q] A_p + \sum_0^z [c_a + \sigma'_v K_s \tan \phi_a] dz A_s \quad (18.1)$$

Bu bağıntıdaki terimler içinde yer alan " N_q ", " c_a ", " K_s ", " ϕ_a " parametrelerinin sayısal değerleri daha önce yukarıda açıklanan gerekçelerle Çizelge 18.8'den alınır. " σ'_{vL} " ve " σ'_v " efektif gerilmeleri ise aşağıdaki gibi hesaplanır.

- Kritik Derinlik Hesabı :

Başta Vesic olmak üzere bir çok araştırmacı tarafından kabul edilen yaklaşım;

özellikle zeminde $[D_r > 0.70]$ olduğu sürece " $[L / D]_{kr}$ " oranının en az 20, $[D_r < 0.30]$ olduğu sürece de " $[L / D]_{kr}$ " oranının en az 10 alınması gerektiğini savunur. Yapılan laboratuvar deneyleri sonucunda D1 test kazığının yer aldığı zonda $D_r = 0.75$ olarak bulunmuştur (Baykal, 1992). Yine Ek 5'teki basitleştirilmiş zemin profili dikkatle incelirse kritik derinlik hesabına esas ve başlangıç teşkil eden siltlikum tabakasının [9 - 19] metreler arasında bulunduğu anlaşılmaktadır. Bu durumda:

$$D_r = 0.75 \text{ için : } [L / D]_{kr} = 20 \quad [L_{kr}] = 20 [D] = 20 \text{ m}$$

$$L = 18 \text{ m} \quad D_f = 19 \text{ m} < Z_{kr} = 29 \text{ m}$$

• *Efektif Gerilmelerin Hesabı :*

$$[\sigma'_{v1}] = 2 \times 18.0 + 7 \times 19.7 + 3 \times 20.0 + 7 \times 10.0 \cong 304 \text{ kN/m}^2$$

$$[\sigma'_{v2}] = 2 \times 18.0 + 7 \times 19.7 + 3 \times 20.0 + 1.5 \times 10.0 \cong 249 \text{ kN/m}^2$$

• *Nihai Taşıma Gücü Hesabı*

Çizelge 18.2 ve Çizelge 18.8'deki veriler ve az önce hesaplanan terimler (18.1) bağıntısında yerine konularak;

$$[Q_u] = 304 \times 16 \times 0.785 + [(0.53 \times 30) \times 7 + 249 \times 0.6 \times \tan 34^\circ \times 10] \times 3.142$$

$$[Q_u] = 3820 + 3510 \text{ kN} = 7330 \text{ kN}$$

• *İzin Verilebilir Taşıma Gücü Hesabı*

$$[Q_a] = Q_p/3 + Q_s/2 = 3820/3 + 3510/2 =$$

$$[Q_a] = 3000 \text{ kN}$$

Benzer işlemler ve aynı hesap adımları sırasıyla D2, D3(*), d4 ve D5 test kazıkları için yapılarak **nihai taşıma gücü** ve **izin verilebilir taşıma gücü** değerleri kolayca hesaplanabilir. Bu bölümde incelenen tüm test kazıkları için bu şekilde hesaplanan "nihai taşıma gücü" büyüklüğü değerleri Çizelge 18.9 da toplu halde sunulmaktadır. Aynı çizelgede efektif gerilme hesaplarına baz teşkil eden "formasyon kalınlıkları" ve "kritik derinlik" değerleri de verilmektedir.

(*) : Kazık uzunluğu boyunca çevrede siltli kil formasyonu bulunduğu için nihai taşıma gücü hesabı (18.2) bağıntısı kullanılarak yapılacaktır.

Çizelge 18.9 Test kazıkları için statik yöntemle hesaplanan "nihai taşıma gücü" ve "izin verilebilir taşıma gücü" değerleri

YAYGIN FORMASYON	KAZIK NO	FORMASYON	TEST KAZIĞININ GEOMETRİK VE GEOTEKNİK BAZI BÜYÜKLÜKLERİ						EFEKTİF GERİLMELER		NİHAİ VE İZİN VERİLEBİLİR TAŞIMA GÜCÜ					
			[L]	[D]	[YASSI]	[h ₁]	[h ₂]	[γ _{n1}]	[γ _{n2}]	[σ' _{vl}]	[σ' _v]	[Q _p]	[Q _s]	[Q _u]	[Q _a]	
			(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(kN/m ³)	(kN/m ³)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	
YAPAY DOLGU	D1	Siltli KİL	18.0	1.0	12.0	7.0	-	19.7	-	-	304	249	3820	3510	7330	3000
		Siltli KUM					10.0	-	20.0							
		Siltli KİL														
SİLTİLİ KİL [γ _{n1}] YASSI	D2	Siltli KİL	17.0	1.0	12.0	7.0	-	19.7	-	-	300	260	3750	3000	6750	2750
		Siltli KUM					8.0	-	20.0							
		Siltli KİL														
SİLTİLİ KUM [γ _{n2}]	D3	Kumlu KİL	20.0	0.8	10.0	6.0	-	19.0	-	-	-	-	680	2840	3520	1650
		Siltli KİL					13.0	-	19.5							
		Siltli KİL														
SİLTİLİ KUM	D4	Siltli KİL	20.0	0.8	12.0	10.0	-	19.5	-	-	327	287	2620	3340	5960	2550
		Siltli KUM					8.0	-	20.0							
		Siltli KİL														
SİLTİLİ KUM	D5	Siltli KİL	22.0	0.8	8.0	9.0	-	20.0	-	-	293	244	2350	3100	5450	2350
		Siltli KİL					11.0	-	19.0							
		Siltli KUM														

(*) : D3 test kazığı için geçerli olan ve kullanılan (18.2) ifadesi "efektif gerilme" den bağımsızdır.

(**) : İzin verilebilir taşıma gücü [Q_a] hesabında "uç mukavemeti" için: [FS=3] ve "çevre sürtünmesi" için: [FS=2] emniyet katsayıları kullanılmıştır.

18.6.2. Arazi Deneilerinin Sonuçlarına Dayalı Amprik Yöntemler Kullanılarak Yapılan Kazık Taşıma Gücü Hesabı

Bu yöntem Ek 5'te topluca verilen test kazıklarına ait basitleştirilmiş zemin profilleri üzerinde açıklanan ve hazırlanan geoteknik raporlarda da ifade edilen "SPT" ve "MPT" arazi deneilerinin sonuçlarından yararlanarak, 11. Bölümde ayrıntılarıyla anlatılan amprik kökenli bağıntıların kullanılması neticesinde nihai kazık taşıma gücünün belirli korelasyonlar aracılığı ile saptanmasını kapsamaktadır.

18.6.2.1. Nihai Taşıma Gücü Hesabı

Üzerinde kazık yükleme deneyleri yapılan ve çeşitli geometrik ve geoteknik özellikleri çizelge 18.1'de verilen test kazıklarının bulunduğu formasyonlarda arazi etüdü sırasında SPT ve MPT deneyleri yapılmış olup; deney sonuçları Ek 5'te verilen basitleştirilmiş zemin profili üzerinde ve bu bölümün sonunda, hesaplanan nihai taşıma gücü büyüklükleri ile beraber Çizelge 18.16 da toplu halde görülmektedir.

Bu yöntemle test kazıklarının nihai taşıma gücü hesabı yapılırken (18.3) ifadesi kullanılacaktır.

$$[Q_{ult}] = \sum [Q_p] + \sum [Q_s] \quad (18.3)$$

(18.3) eşitliği daha açık biçimde ifade edilirse;

$$[Q_{ult}] = \sum [q_p \times A_p] + \sum [f_s \times A_s] \quad (18.4)$$

Yöntemin temel felsefesi (18.4) bağıntısında da görülen " q_p " birim uç mukavemeti ve " f_s " birim çevre sürtünmesi büyüklüklerinin 11. Bölümde ifade edilen - kazığı çevreleyen formasyonlara uygun - bazı amprik bağıntılar yardımıyla kestirilmesinden ibarettir. Aşağıda Ek 4 ve Ek 5'te izlenen sözkonusu formasyonların düşey yükler altında "birim uç mukavemeti" ve "birim çevre sürtünmesi" büyüklüklerinin anılan bağıntılar yardımıyla nasıl tayin edilebileceği kısaca özetlenmektedir.

18.6.2.2. Test kazıkları için birim uç mukavemeti ve birim çevre sürtünmesi büyüklüklerinin tayin edilmesi

Daha önce belirtildiği gibi test kazıklarının bulunduğu geoteknik formasyon D1, D2, D4 ve D5 kazıkları için yaklaşık [2 - 10] m arası siltli kil ve yaklaşık [10 - 20] m arası silt-

li kum dan teşkil olmakta; D3 kazığı için ise [2 - 8] m arası kumlu kil ve [8 - 21] m arası siltli kil tabakalarından teşkil olmaktadır. Dolayısıyla yükleme deneyi yapılan kazıklar için birbirinden belli ölçüde farklı özellikler gösteren formasyonlarda gerek birim uç mukavemeti, gerekse de birim çevre sürtenmesi hesabında izlenen yol aşağıda formasyon türü bazında açıklanmaktadır.

I. SPT DENEY SONUÇLARINA GÖRE YAPILAN HESAP

a) Siltli Kil Formasyonu İçin Birim Uç Mukavemeti Hesabı:

Aşağıda verilen Çizelge 18.10'da adıgeçen formasyon boyunca "ortalama düzeltilmiş SPT sayısı" değerlerine balı olarak birim uç mukavemetinin kestirilebilmesi amacıyla bazı araştırmacıların önerdiği amprik eşitlikler görülmektedir.

Çizelge 18.10 Siltli kil formasyonu için birim uç mukavemeti değerleri

Araştırmacı	$[q_p] = f(N)$
Hobbs (1977)	200 [N]
Shiou ve Fukui (1982)	150 [N]
Yamashita et al. (1987)	175[N]

b) Siltli Kum Formasyonu İçin Birim Uç Mukavemeti Hesabı :

Aşağıda görülen Çizelge 18.11'de adıgeçen formasyon boyunca "ortalama düzeltilmiş SPT sayısı" değerlerine bağılı olarak birim uç mukavemetinin tahmin edilebilmesi için bazı araştırmacıların önerdiği amprik eşitlikler verilmiştir.

Çizelge 18.11 Siltli Kum formasyonu için birim uç mukavemeti değerleri

Araştırmacı	$[q_p] = f(N)$
Araştırmacı	$[q_p] = f(N)$
Meyerhof (1976)	130 [N]
Sowers (1979)	120 [N]
Broms (1981)	200 [N]
Shiou ve Fukui (1982)	100 [N]
Fleming et al. (1985)	100 [N]

c) Siltli Kil Formasyonu İçin Birim Çevre Sürtünmesi Hesabı :

Aşağıda sunulan Çizelge 18.12'de "ortalama düzeltilmiş SPT sayısı" değerlerine bağlı olarak bu formasyonun birim çevre sürtünmesi büyüklüğünün kestirilebilmesi için çeşitli araştırmacıların tavsiye ettiği amprik yaklaşımlar görülmektedir.

Çizelge 18.12 Siltli kil formasyonu için birim çevre sürtünmesi değerleri

Araştırmacı	$[f_s] = f(N)$
Fuller (1980)	5 [N]
Shiou ve Fukui (1982)	40+1.5 [N-10]
Decourt (1982)	3.3 [N]

d) Siltli Kum Formasyonu İçin Birim Çevre Sürtünmesi Hesabı :

Aşağıda görülen Çizelge 18.13 "ortalama düzeltilmiş SPT sayısı" değerlerine bağlı olarak bu formasyonun birim çevre sürtünmesi büyüklüğünün tayin edilebilmesi için bazı araştırmacıların pratik amaçlar için önerdiği bazı amprik korelasyonları özetlemektedir.

Çizelge 18.13 Siltli Kum formasyonu için birim çevre sürtünmesi değerleri

Araştırmacı	$[f_s] = f(N)$
Meyerhof (1976)	0.6 [N]
Sowers (1979)	[N]
Shiou ve Fukui (1982)	[N]

II. MPT DENEY SONUÇLARINA GÖRE YAPILAN HESAP

Baquelin et al., (1978) çalışmasında yeralan bilgiler doğrultusunda test kazıkları için MPT deney sonuçlarından yararlanarak kazık birim çevre sürtünmesi hesabı yapılırken kazık çevresindeki formasyonların Ek 5 ve Çizelge 18.16'da görülen " **p_1^* -pressiometrik net limit basıncı**" değerleri kullanılır. 11. Bölümde verilen Şekil 11.23'ten yararlanarak formasyonların " **f_s - birim çevre sürtünmesi**" büyüklüğü Baykal (1992) raporunda verilen " p_1^* " değerlerinin fonksiyonu olarak tayin edilebilir.

CFEM (1978) kaynağında kazık shaftı boyunca zemine aktarılan gerilmelere bağlı olarak tanımlanan birim çevre sürtünmesinin maksimum değeri - çok değişken formasyonlarda yapılan bir seri kazık yükleme deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi neticesinde formasyon türünden bağımsız olarak 40 kN/m^2 değeri ile sınırlandırılmıştır. bu durumda Çizelge 18.16'da görülen " p_1^* " değerleri kullanılarak tüm test kazıkları için yukarıda açıklanan yolla tespit edilecek " f_s " değerlerinin hepsi çizelge 18.6'da toplu olarak sunulan değerlendirme tablosundan da izleneceği gibi $f_s = 40 \text{ kN/m}^2$ 'lik limit değeri fazlasıyla aşmaktadır. Bu şartlar altında " f_s - birim çevre sürtünmesi" büyüklüğü bütün test kazıkları için 40 kN/m^2 olarak alınacaktır.

Projede öngörülen ve deneylerde uygulanan çalışma yükleri altında, kazık u-cunda zemine aktarılan gerilmelere bağlı olarak teşkil olan "**birim uç mukavemeti**" nin **MPT** deney sonuçlarından yararlanarak belirlenebilmesi için yine Baykal (1992) çalışmasında verilen pressiometre deney formlarından alınan p_1^* basınçlarının fonksiyonu olarak Baquelin et al (1978) çalışmasında önerilen (11.30) bağıntısı kullanılır.

$$[q_p^*] = k \cdot p_1^* \quad (11.30)$$

Bu ifade de;

$[q_p^*]$ = Net birim uç mukavemeti (*)

$[k]$ = Pressiometrik taşıma kapasitesi faktörü

$[p_1^*]$ = Pressiometrik net limit basınç

olarak tariflenmektedir. Bu eşitlikte yeralan "k" faktörünün saptanabilmesi amacıyla kohezyonsuz ve kohezyonlu formasyonlara oturan fore kazıklar için bazı araştırmacıların tavsiye ettiği nümerik değerler Çizelge 18.14 ve Çizelge 18.15'te formasyon türü bazında verilmiştir.

Çizelge 18.14 Bazı araştırmacıların kumlu zeminlere oturan fore kazıklar için önerdiği "k" faktörleri

Araştırmacı	[k]
Baquelin et al. (1978)	7.5
CFEM (1978)	5.4
Hunt (1986)	5.2

Çizelge 18.15 Bazı araştırmacıların killi zeminlere oturan fore kazıklar için önerdiği "k" faktörleri

Araştırmaacı	[k]
Baquelin et al. (1978)	2.2
CFEM (1978)	3.5
Hunt (1986)	2.8

18.6.2.3. D1 Test Kazığı İçin Örnek Taşıma Gücü Hesabı

Ek 5'te verilen basitleştirilmiş zemin profili Çizelge 18.10, 11, 12, 13 14 ve 15'teki değerler ve (11.30) bağıntısı kullanılarak D1 test kazığı için nihai taşıma gücü hesabı (*) aşağıdaki adımlar izlenerek yapılabilir.

I. SPT Deney Sonuçlarına Göre Taşıma Gücü Hesabı

Ek 5 dikkatle incelendiğinde D1 kazığını çevreleyen formasyon;

- [2^m - 9^m] arası siltli kil tabakası
- [9^m - 19^m] arası siltli kum tabakası

şeklinde tasnif edilmektedir (Baykal, 1992). Bu şartlar altında nihai taşıma gücü hesabı yapılırken (18.4) bağıntısının biraz modifiye edilmiş hali olan (18.5) bağıntısı kullanılacaktır.

$$[Q_u] = [q_p \times A_p]_{\text{siltlikum}} + [f_s \times A_s]_{\text{siltli kum}} + f_s \times A_s]_{\text{siltli kil}} \quad (18.5)$$

Bu yöntemle hesap yapılırken mutlaka gözönünde tutulması gereken önemli bir husus (18.5) bağıntısındaki terimlerin hesaplanması sırasında tabaka boyunca Bölüm (11.1)'de açıklanığı gibi saptanan "**düzeltilmiş ortalama SPT darbe sayısı**"nın kullanılması gerektiğidir.

(*) : D2, D3, D4 ve D5 kazıkları için de tamamen "örnek hesap"ta tariflenen işlem sırasına göre "nhai taşıma gücü hesabı" yapılır.

Bu bilgiler dahilinde SPT darbe sayılarına göre D1 kazının nihi taşıma gücü aşağıdaki gibi yapılır.

1. Düzeltilmiş Ortalama SPT Darbe Sayılarının Bulunması

Yukarıda tariflenen formasyon cinsi ve kalınlıklarına bağlı olarak Bölüm (11.1)'de ayrıntıları ile açıklanmış olan "düzeltilmiş ortalama SPT sayıları" aşağıda görülen (11.1) bağıntısının modifiye edilmiş şekli kullanılarak şöyle hesaplanır.

$$[N] = c_N [N'] \quad (18.6)$$

Bu eşitlikte;

$[N']$ = Formasyonun düzeltilmemiş ortalama SPT darbe sayısı

$[C_N]$ = Deney yapılan derinlikteki efektif düşey gerilmeye bağlı boyutsuz düzeltme katsayısı

N = Formasyonun düzeltilmiş ortalama SPT darbe sayısı

Buna göre;

• $[2^m - 9^m]$ Siltli Kil Tabakasının Düzeltilmiş Ortalama SPT Darbe Sayısının Hesaplanması

- Formasyonun "düzeltilmemiş ortalama SPT darbe sayısı" Ek 5 ve Çizelge 18.16 yakından incelendiğinde;

$[N'] = 25$ olarak saptanmıştır.

- Deneylerin yapıldığı derinliklerdeki ortalama efektif düşey gerilme değeri",

$[\sigma_v'] = 18.0 \times 2 + 19.7 \times 3.5 = 105 \text{ kN/m}^2$ olarak hesaplanır.

- $\sigma_v' = 105 \text{ kN/m}^2$ değeri için Şekil 11.1 yardımıyla "düzeltme katsayısı"nın sayısal değeri;

$[C_N] = 1.00$ olarak bulunur.

- Bu durumda, formasyonun "düzeltilmiş ortalama SPT darbe sayısı" (18.6) bağıntısı kullanılarak;

$[N] = 1.00 \times 25 = 25$ olarak hesaplanır.

• **[9^m-19^m] Siltli Kum Tabakasının Düzeltilmiş Ortalama SPT Darbe Sayısının Hesaplanması**

- Formasyonun "düzeltilmemiş ortalama SPT darbe sayısı" Ek 5 ve Çizelge 18.16 yakından incelendiğinde;

$$[N'] = 50 \text{ olarak saptanmıştır.}$$

- Deneylein yapıldığı derinliklerdeki "ortalama efektif düşey gerilme değeri";

$$[\sigma_v'] = 18.0 \times 2 + 19.7 \times 7 + 20.0 \times 3 + 10.0 \times 2 = 254 \text{ kN/m}^2 \text{ olarak hesaplanır.}$$

- $\sigma_v' = 254 \text{ kN/m}^2$ değeri için Şekil 11.1 yardımıyla "düzeltme katsayısının sayısal değeri;

$$[c_N] = 0.69 \text{ olarak bulunur.}$$

- Bu durumda, formasyonun "düzeltilmiş ortalama SPT darbe sayısı" (18.6) bağıntısı kullanılarak;

$$[N] = 0.69 \times 50 \cong 35 \text{ olarak hesaplanır.}$$

2. **[2^m-9^m] Siltli Kil Tabakasında Birim Çevre Sürtünmesi Hesabı**

Çizelge 18.12'de görülen ve çeşitli araştırmacıların bu tür formasyonlar için önerdiği amprik korelasyonlar kullanılarak aşağıdaki değerler hesaplanabilir.

- Fuller (1980)'e göre:

$$[f_s] = 5 [N] = 5 \times 25 = 125 \text{ kN/m}^2$$

- Shiou ve Fukui (1982)'e göre:

$$[f_s] = 40 + 1.5 [N - 10] = 40 + 1.5 [25 - 10] = 62.5 \text{ kN/m}^2$$

- Decourt (1982)'e göre:

$$[f_s] = 3.3 [N] = 3.3 [25] = 82.5 \text{ kN/m}^2$$

(18.5) bağıntısı ile hesaplanacak nihai taşıma kapasitesine bu formasyonun katkısı tayin edilirken az önce hesaplanan birim çevre sürtünmesi büyüklüklerinin ortalamasının kullanılması öngörülmüştür. Buna göre bu formasyonun nihai taşıma

gücü hesabında kullanılması uygun bulunan ortalama birim çevre sürtünmesi değeri;

$$[f_s] = \frac{125 + 62.5 + 82.5}{3} = 90 \text{ kN/m}^2 \text{ olarak seçilir.}$$

3. $[9^m - 19^m]$ Siltli Kum Tabakasında Birim Çevre Sürtünmesi Hesabı

Çizelge 18.13'de görülen ve çeşitli araştırmacıların bu tür formasyonlar için önerdiği amprik korelasyonlar kullanılarak aşağıdaki değerler hesaplanabilir.

– Meyerhof (1976)'a göre:

$$[f_s] = 0.6 [N] = 0.6 \times 35 = 21 \text{ kN/m}^2$$

– Sowers (1979)'a göre:

$$[f_s] = [N] = 35 \text{ kN/m}^2$$

– Shiou ve Fukui (1982)'e göre:

$$[f_s] = [N] = 35 \text{ kN/m}^2$$

(18.5) bağıntısı ile hesaplanacak nihai taşıma kapasitesine bu formasyonun katkısı tayin edilirken öncelikle; yukarıda olduğu gibi yine az önce hesaplanan birim çevre sürtünmesi değerlerinin ortalaması alınır.

$$[f_s] = \frac{21 + 35 + 35}{3} = 30 \text{ kN/m}^2$$

• Ortalama birim çevre sürtünmesi $[f_s] \cong 30 \text{ kN/m}^2$

• Meyerhof (1976)'a göre maksimum birim çevre sürtünmesi $[f_s]_{\text{mak}} = 2[N] = 70 \text{ kN/m}^2$

$[f_s] < [f_s]_{\text{mak}}$ olduğundan nihai taşıma gücü hesaplarında

$[f_s] = 30 \text{ kN/m}^2$ değeri kullanılacaktır.

4. $[9^m - 19^m]$ Siltli Kum Tabakasında Birim Uç Mukavemeti Hesabı

Çizelge 18.11'de görülen ve çeşitli araştırmacıların bu tür formasyonlar için önerdiği amprik korelasyonlar kullanılarak aşağıdaki değerler hesaplanabilir.

– Meyerhof (1976)'a göre:

$$[q_p] = 130 [N] = 130 \times 35 = 4550 \text{ kN/m}^2$$

– Sowers (1979)'a göre:

$$[q_p] = 120 [N] = 120 \times 35 = 4200 \text{ kN/m}^2$$

- Broms (1981)'a göre:

$$[q_p] = 200 [N] = 200 \times 35 = 7000 \text{ kN/m}^2$$

- Shiou ve Fukui (1982)'e göre:

$$[q_p] = 100 [N] = 100 \times 35 = 3500 \text{ kN/m}^2$$

- Fleming ve diğerleri (1985)'e göre:

$$[q_p] = 110 [N] = 110 \times 35 = 3850 \text{ kN/m}^2$$

(18.5) bağıntısı ile hesaplanacak nihai taşıma kapasitesine bu formasyonun katkısı tayin edilirken yine öncelikle yukarıda hesaplanan birim uç mukavemeti değerlerinin ortalaması alınır.

$$[q_p] = \frac{4550 + 4200 + 7000 + 3500 + 3850}{5} = 4620 \text{ kN/m}^2$$

• Ortalama birim uç mukavemeti $-[q_p] = 4620 \text{ kN/m}^2$

• Meyerhof (1976)'a göre maksimum birim uç mukavemeti $- [q_p]_{\text{mak}}$

$$[q_p]_{\text{mak}} = 400 [N] = 400 \times 35 = 14.000 \text{ kN/m}^2$$

$[q_p] < [q_p]_{\text{mak}}$ olduğundan nihai taşıma gücü hesaplarında

$[q_p] = 4620 \text{ kN/m}^2$ değeri kullanılacaktır.

5. Nihai Taşıma Gücü Hesabı

D1 test kazığı için düzeltilmiş ortalama SPT darbe sayıları ve Çizelge 11, 12 ve 13'te verilen amprik ifadeler kullanılarak nihai taşıma gücü hesabı (18.5) bağıntısı yardımıyla aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$[Q_u] = [4620 \times 0.785] + [30 \times 10 + 90 \times 7] \times 3.142$$

$$[Q_u] = 3630 + 2920 = 6550 \text{ kN}$$

$$[Q_u] = 6550 \text{ kN}$$

6. İzin Verilebilir Taşıma Gücü Hesabı

$$[Q_a] = \frac{3630}{3} + \frac{2920}{2} = 2670 \text{ kN}$$

$$[Q_a] = 2670 \text{ kN}$$

II. MPT Deney Sonuçlarına Göre Nihai Taşıma Gücü Hesabı

Ek 5, Çizelge 18.16 ve (18.5) bağıntısı dikkate alınıp aşağıdaki sıra izlenerek "nihai taşıma kapasitesi" hesabı yapılabilir. (*)

1. [2^m-9^m] Siltli Kil Tabakasında Birim Çevre Sürtünmesi Hesabı

Baquelin ve diğerleri (1978) çalışmasına göre fore kazıklar için birim çevre sürtünmesi değeri bu formasyon için Ek 5 ve Çizelge 18.16'da verilen $[p_1^*]=600 \text{ kN/m}^2$ "net jimit basıncı" değeri için Bölüm 11, Şekil 11.23'ten direkt olarak;

$[f_s] \cong 67 \text{ kN/m}^2$ bulunur.

• CFEM (1985)'e göre maksimum birim çevre sürtünmesi (**)
 $[f_s]_{\text{mak}} = 40 \text{ kN/m}^2$

$[f_s] > [f_s]_{\text{mak}}$ olduğundan bu tabaka için nihai taşıma gücü hesaplarında $[f_s]_{\text{mak}} = 40 \text{ kN/m}^2$ değeri kullanılacaktır.

2. [9^m-19^m] Siltli Kum Tabakasında Birim Çevre Sürtünmesi Hesabı

Baquelin ve diğerleri (1978) çalışmasına göre fore kazıklar için birim çevre sürtünmesi değeri bu formasyon için yine Ek 5 ve Çizelge 18.16'da verilen $[p_1^*] = 1550 \text{ kN/m}^2$ lik "net limit basıncı" değeri için Bölüm 11, Şekil 11.23'ten direkt olarak;

$[f_s] \cong 85 \text{ kN/m}^2$ değeri bulunur.

• CFEM (1985)'e göre maksimum birim çevre sürtünmesi (**)
 $[f_s]_{\text{mak}} = 40 \text{ kN/m}^2$

$[f_s] > [f_s]_{\text{mak}}$ olduğundan bu tabaka için nihai taşıma gücü hesaplarında $[f_s]_{\text{mak}} = 40 \text{ kN/m}^2$ değeri kullanılacaktır.

3. [9^m-19^m] Siltli Kum Tabakasında Birim Uç Mukavemeti Hesabı

Kazık ağırlığı ihmal edilirse "net birim uç mukavemeti" (11.30) eşitliği ve Çizelge 18.14'teki veriler yardımıyla aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

Çizelge 18.14'teki veriler uyarınca bu formasyonun "birim uç mukavemeti" hesabında rol oynayan "k" kapasitesi faktörü değerleri için bazı araştırmacıların önerdiği amprik değerler ve bu tabaka için verilen $p_1^* = 1550 \text{ kN/m}^2$ lik "net limit basıncı" değeri

(*) : D2, D3, D4 ve D5 test kazıkları içinde aynı sırada ve benzer şekilde nihai taşıma kapasitesi hesapları yapılacaktır.

(**) : Hem kohezyonlu hem kohezyonsuz zeminler için aynı sınır değer verilmektedir.

(11.30) bağıntısında yerine konularak;

- Baquelin ve diğerleri (1978)'e göre $[k=7.5]$ alınarak:

$$[q_p] = 7.5 \times 1550 = 11625 \text{ kN/m}^2$$

CFEM (1978)'e göre $[k=5.4]$ alınarak:

$$[q_p] = 5.4 \times 1550 = 8370 \text{ kN/m}^2$$

- Hunt (1986)'a göre $[k=5.2]$ alınarak:

$$[q_p] = 5.2 \times 1550 = 8060 \text{ kN/m}^2$$

değerleri tespit edilir.

(18.5) bağıntısıyla "nihai taşıma gücü hesabı" yapılırken yukarıda hesaplanan birim uç mukavemeti değerlerinin ortalamasının kullanılması uygun bulunarak;

$$\bullet \text{ Ortalama birim uç mukavemeti } -[q_p] = \frac{11625 + 8370 + 8060}{3}$$

$[q_p] \cong 9350 \text{ kN/m}^2$ olarak belirlenir.

4. Nihai Taşıma Gücü Hesabı:

D1 test kazığı için yukarıda hesaplanan terimler (18.5) bağıntısında yerine konularak

$$[Q_u] = 9350 \times 0.785 + 40 \times [7+10] \times 3.142$$

$$[Q_u] = 7300 + 2150 = 9450 \text{ kN}$$

$$[Q_u] = 9450 \text{ kN}$$

5. İzin Verilebilir Taşıma Gücü Hesabı

$$[Q_a] = \frac{7300}{3} + \frac{2150}{2} \cong 3500 \text{ kN}$$

$$[Q_a] = 3500 \text{ kN}$$

Benzer işlemler ve aynı hesap adımları sırasıyla D2 D3(*), D4 ve D5 test kazıkları için yapılarak **nihai taşıma gücü** ve **izin verilebilir taşıma gücü** değerleri kolayca hesaplanabilir. Bu bölümde incelenen tü test kazıkları için bu şekilde hesaplanan "nihai taşıma gücü" büyüklüğü değerleri Çizelge 18.16'da toplu halde sunulmaktadır. Aynı çizelgede efektif gerilme hesaplarına baz teşkil eden formasyon kalınlıkları, bu kalınlıkların sınırladığı formasyonlar boyunca "ortalama SPT darbe sayıları", "ortalama P_1^* " ve "ortalama k" parametreleri de gösterilmiştir.

(*) : Kazık uzunluğu boyunca çevrede siltli kil formasyonu bulunduğu için nihai taşıma gücü hesabına Çizelge 18.10 ve Çizelge 18.15 bağıntısı gözönünde bulundurulmalıdır.

Çizelge 18.16 Test kazıkları için arazi deneylerinin sonuçlarına dayalı ampirik yöntemler kullanılarak yapılan kazık taşıma gücü hesabı

YAYGIN FORMASYON	KAZIK NO	FORMASYON	TEST KAZIĞININ GEOMETRİK VE GEOTEKNİK BAZI BÜYÜKLÜKLERİ						SPT SONUÇLARINA GÖRE NİHAİ HAİ TAŞIMA GÜCÜ HESABI						MPT SONUÇLARINA GÖRE NİHAİ TAŞIMA GÜCÜ HESABI									
			[L]	[D]	[YASSI]	[h ₁]	[h ₂]	[γ _{n1}]	[γ _{n2}]	[N]	[Q _p]	[Q _s]	[Q _a]	[K]	[P ₁]	[Q _p]	[Q _s]	[Q _a]	[K]	[P ₁]	[Q _p]	[Q _s]	[Q _a]	
			(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(kN/m ³)	(kN/m ³)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN)	(kN)	(kN)
YAPAY DOLGU	D1	Siltli KİL	18.0	1.0	12.0	7.0	-	19.7	-	25	3630	2920	6550	2700	2.83	600	7300	2150	9450	3500				
		Siltli KUM				10.0	-	20.0		35					6.0	1550								
SİLTİ KİL [γ _{n1}] YASSI	D2	Siltli KİL	17.0	1.0	12.0	7.0	-	19.7	-	15	3530	2670	6200	2500	2.83	1080	8200	1900	10100	3700				
		Siltli KUM				-	8.0	-	20.0		28				6.0	1740								
SİLTİ KUM [γ _{n2}]	D3	Kumlu KİL	20.0	0.8	10.0	6.0	-	19.0	-	24	2450	4130	6580	2900	2.83	580	2350	1900	4250	1750				
		Siltli KİL				-	13.0	-	19.5		34				2.83	1660								
SİLTİ KUM	D4	Siltli KİL	20.0	0.8	12.0	10.0	-	19.5	-	20	1850	2350	4200	1800	2.83	1260	5210	1800	7010	2650				
		Siltli KUM				-	8.0	-	20.0		28				6.0	1730								
	D5	Siltli KİL	22.0	0.8	8.0	9.0	-	20.0	-	22	2180	2750	4930	2100	2.83	990	5670	2010	7680	2900				
		Siltli KUM				-	11.0	-	19.0		33				6.0	1880								

(*) : İzin verilebilir taşıma gücü – [Q_a] hesabında "uç mukavemeti" için : [FS =3] ve "çevre sırtınması" için : [FS =2] emniyet katsayıları kullanılmıştır.

Çizelge 18.16 Test kazıklar için arazi deneylerinin sonuçlarına dayalı ampirik yöntemler kullanılarak yapılan kazık taşıma gücü hesabı



(*) : İzin verilebilir taşıma gücü - $[Q_a]$ hesabında "uç mukavemeti" için : $[FS = 3]$ ve "çevre sırtünmesi" için: $[FS = 2]$ emniyet katsayıları kullanılmıştır.

18.6.3. Kazık Yükleme Deneyi Sonuçlarına Dayalı Grafik ve Yarıamprik Yöntemler kullanılarak Yapılan Kazık Taşıma Gücü Hesabı

Bu yöntemler 13. Bölümde belirli bir ayrıntı içinde incelenmiş ve uygulanabilmeleri için gerekli sınır şartları ve kriterleri tarif edilmiştir. Ek2'de verilen yükleme deney programına uygun biçimde ASTM D 1143 standartında tariflenen "çabuk yükleme" metodu ile yüklenen ve deney sonuçları toplu halde Ek 3'te sunulan test kazıklarının bizzat Ek 7'de görülen "yük-oturma" eğrileri ve ayrıca bazı araştırmacıların önerdiği yarıamprik yaklaşımlar kullanılarak elde edilen grafiksel/yarıamprik çözümler yine toplu olarak Ek 10'da verilmektedir.

Bu kapsamda uygulanabilen grafiksel ve yarıamprik metodlar, 13. Bölüm ve Ek. 10'da verilen düzene uygun bir şekilde aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1. Chin Yöntemi
2. De Beer Yöntemi
3. Brinch-Hansen %90 Kriteri
4. Mazurkiewicz Yöntemi
5. Fuller-Hoy Yöntemi
6. Butler-Hoy Yöntemi
7. Vander Veen's Yöntemi

13. Bölümde açıklanan yöntemlerden "Davisson Yöntemi" ve "Brinch-Hansen %80 Kriteri" gerek analitik gerekse de grafiksel açıdan mantık ölçülerinin çok dışında neticeler verdiği için değerlendirme dışında bırakılmıştır. Diğer bir deyişle burada 13. Bölümde ele alınan toplam 9 yaklaşımdan burada amaca uygun 7 tanesi yorumlanabilmektedir.

Ek 10'da dikkate sunulan 7 ayrı yaklaşımın test kazıkları üzerinde, 13. bölümde ifade edildiği gibi uygulanması sonucunda elde edilen "nihai taşıma gücü" ya da "göçme yükü" büyüklükleri yöntem bazında aşağıda verilen Çizelge 18.17'de izlenmektedir.

Buraya kadar bu bölümün başında da ifade edildiği üç ayrı yöntemle test kazıklarının "nihai taşıma gücü" ve "izin verilebilir taşıma gücü hesabı yapılarak elde

Çizelge 18.17 Çeşitli Grafıksel/Yarıamprik Yöntemler Kullanılarak Tayin Edilen Göçme Yükleri

YÖNTEM	KAZIK NO				
	D1	D2	D3	D4	D5
CHIN YÖNTEMİ	5500	5000	2700	6250	4350
DE BEER YÖNTEMİ (*)	-	-	-	-	-
BRINCH - HANSEN [%90]	5500	5250	3000	4000	4500
MAZURKIEWICZ YÖNTEMİ	6500	6000	4500	4500	5000
FULLER - HOY YÖNTEMİ	5400	5200	3000	4000	4500
BUTLER - HOY YÖNTEMİ	5100	4800	2750	3700	4250
VANDER VEEN'S YÖNTEMİ	5000	4500	2500	2500	3000

edilen sonuçlar konusu içinde sırasıyla Çizelge 18.9, Çizelge 18.16 ve Çizelge 18.17'de toplu halde özetlenmiştir. Aşağıda verilen Çizelge 18.18'de ise her üç yöntemle tayin edilen "nihai taşıma gücü" ve "izin verilebilir taşıma gücü" büyüklükleri, yöntem bazında kümülatif bir kıyaslama yapabilmek amacıyla toplu halde görülmektedir.

18.7. Düşey Yükler Altında Test Kazıklarında Oturma Hesabı

Bu bölümde, üzerinde ASTM D 1143 uyarınca "çabuk yükleme metodu" ile kazık yükleme deneyi yapılan test kazıklarının projede öngörülen ve yükleme deneylerinde uygulanan çalışma (işletme) yükleri altında yapacağı toplam oturmanın analitik yolla nasıl belirlenebileceği irdelenmektedir. Deney mekanizması itibariyle Ek 5'te "geometrik ve geoteknik profili", Ek 3'de "yükleme deney sonuçları" ve Ek 7'de ise "yük-oturma" eğrileri toplu olarak görülen testkazıklarının - 14. Bölümde yapılan kabuller doğrultusunda çalışma yükleri altında yapacağı toplam oturmaların tahmininde

1. Yarı amprik yöntemler
2. Amprik yöntemler

(*) : "DE BEER" yönteminde 13. Bölümde de ayrıntılı olarak açıklanan $\ln[Q_{va}] = f(\ln [S])$ eğrisinde göçme yükünün tariflendiği bükülme noktası oluşmamaktadır. Bu nedenle sınır şartları uygun olmasına rağmen "DE BEER" yöntemi ile "göçme yükü tahmini" sağlıklı biçimde yapılamamaktadır.

Çizelge 18.18 Test kazıkları için değişik metodlar kullanılarak hesaplanan nihai taşıma gücü büyüklüğü değerleri

YÖNTEM		KAZIK NO				
		D1	D2	D3	D4	D5
STATİK ESASLI ANALİZ YÖNTEMİ		7330	6750	3520	5960	5450
ARAZİ DENEYLERİ	[SPT] SONUÇLARINA DAYALI YÖNTEM	6550	6200	6580	4200	4930
	[MPT] SONUÇLARINA DAYALI YÖNTEM	9450	10100	4250	7010	7680
GRAFİKSEL/YARIAMPRIK YÖNTEMLER	CHIN YÖNTEMİ	5500	5000	2700	6250	4350
	DE BEER YÖNTEMİ (*)	-	-	-	-	-
	BRINCH - HANSEN [%90]	5500	5250	3000	4000	4500
	MAZURKIEWICZ YÖNTEMİ	6500	6000	4500	4500	5000
	FULLER - HOY YÖNTEMİ	5400	5200	3000	4000	4500
	BUTLER - HOY YÖNTEMİ	5100	4800	2750	3700	4250
	VANDER VEEN'S YÖNTEMİ	5000	4500	2500	2500	3000

kullanılmıştır. Ayrıntıları 14. Bölümde anahatları ile açıklanan bu hesap metodlarının uygulanma tekniğine burada tekrar girilmemiş, yalnızca taşıma gücü analizlerinde olduğu gibi, örnek seçilen D1 kazığı üzerinde "yarı amprik ve amprik yöntemler" kullanılarak örnek oturma hesabı yapılmıştır. diğer test kazıkları için de aynı yöntemler D1 kazığı ile aynı paralellikte uygulanarak oturma hesabı yapılmış olup, kolaylık olması amacıyla tüm test kazıklarının bu yöntemlerle yapılan oturma hesabında kullanılan amprik ve yarıamprik parametreler kazık bazında ve toplu halde Çizelge 18.19'da özetlenmiştir. Yine yer ekonomisi sağlamak amacıyla 14. Bölümde daha geniş bir perspektifle ele alınan ve aşağıda bir kez daha kısaca özetlenen toplam oturma bileşenlerinin hesabı Çizelge 18.19'da yeralan parametreler yardımıyla yapılmış, elde edilen sonuçlar belirli bir ayrıntı içinde Çizelge 18.20'de gösterilmiştir.

Hatırlanacağı gibi, tasarım amaçları için çalışma yükü altında bir kazığın yapacağı toplam oturma kazık malzemesinin elastik kısalması ile uçta ve çevrede aktarılan yüklerin neden olduğu oturmaların toplamı olarak alınabileceği Vesic (1977) çalışmasında aşağıda yinelenen (14.1) bağıntısındaki gibi ifade edilmektedir.

$$[S] = S_1 + S_2 + S_3 \quad (14.1)$$

Yine bu bağıntıda;

[S] = Kazığın toplam oturması

[S₁] = Kazık malzemesinin shaft boyunca elastik kısılması

[S₂] = Kazık ucuna aktarılan yük nedeniyle oluşan oturma

[S₃] = Kazık shaftı boyunca aktarılan yük nedeniyle oluşan oturma

olarak tariflenmektedir. bu şekilde özetlenen ve ayrıntıları 14. Bölümde anlatılan toplam oturma hesabının bir örneği belirli bir ayrıntı içinde D1 test kazığı için aşağıdaki gibi yapılmıştır.

18.7.1. D1 Test Kazığı İçin Örnek Oturma Hesabı

I. Yarı Amprik Yöntemlerle Oturma Hesabının Yapılması

Vesic (1977) çalışmasına göre D1 kazığının toplam oturması

$$S = S_1 + S_2 + S_3$$

eşitliği ile bulunabilir. Aşağıda sırası ile bu ifadedeki terimler hesaplanmaktadır.

• *S1 HESABI*

$$[S_1] = \frac{[Q_{wp} + \xi Q_{ws}] L}{A_p \times E_p} \quad (14.2)$$

D1 kazığı için (14.2) bağıntısında yer alan ve 14. Bölümde ayrıntılı çılması yapılan terimlerin sayısal değerleri aşağıdaki gibidir.

$$Q_{wp} = 0.20 \quad Q_w = 0.20 \times 285 = 57 \text{ ton} = 570 \text{ kN}$$

$$Q_{ws} = 0.80 \quad Q_w = 0.80 \times 285 = 228 \text{ ton} = 2280 \text{ kN.}$$

$$S = 0.5 \quad (\text{Bkz. Şekil 14.1})$$

$$L = 18 \text{ m}$$

$$A_p = 0.785 \text{ m}^2$$

$$E_p = 30 \times 106 \text{ kN/m}^2 \text{ (BS35 sınıfı betonlar için..)}$$

Buna göre ;

$$S_1 = \frac{[570 + 0.5 \times 2280] 18}{0.785 \times 30 \times 10^6} \cong 1.3 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$S_1 = 1.30 \text{ mm.}$$

• **S_2 HESABI**

$$[S_2] = \frac{q_{wp} D}{E_{SL}} [1 - \mu_{sp}^2] I_{wp} \quad (14.3)$$

(14.3) ifadesinde yer alan ve 14. Bölümde ayrıntılı açıklaması yapılan terimlerin sayısal değerleri aşağıdaki gibidir.

$$[q_{wp}] = Q_{wp} / A_p = 570 \text{ kN} / 0.785 \text{ m}^2 = 725 \text{ kN/m}^2$$

$$D = 1.00 \text{ m}$$

$$\mu_{sp} = 0.35$$

$$E_{SL} = 70000 \text{ kN/m}^2$$

$$I_{wp} = 0.85 \quad (\text{Bak. Şekil 14.2})$$

Buna göre :

$$S_2 = \frac{725 \times 1.00}{70000} [1 - (0.35)^2] 0.85 \cong 7.72 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$S_2 \cong 7.70 \text{ mm}$$

Vesic (1977) yaklaşımına göre :

$$S_2 = \frac{Q_{wp} \times C_p}{D \times q_p} \quad (14.4)$$

Burada " q_p " kazık ucunda birim alanda taşınabilecek nihai (maksimum) yük D1 kazığı çalışan kazık olduğu diğer bir deyişle D1 kazığı göçme noktasına kadar yüklenmediği için bilinmemektedir. Ancak bir yaklaşım yapılarak " q_p " değeri olarak kayma mukavemeti parametreleri kuanılarak yapılan statik analiz sonuçları ile SPT ve MPT deney sonuçları kullanılarak yapılan analiz sonuçlarından yararlanabiliriz.

D1 kazığı için kayma mukavemeti parametreleri kullanılarak hesaplanan nihai birim uç direnci ;

$$[q_p]_{\text{statik}} = 3.04 \times 16 = 48.64 \text{ kg/cm}^2 \cong 4864 \text{ kN/m}^2$$

D1 kazığı için SPT ve MPT sonuçları kullanılarak hesaplanan nihai birim uc direnci ise;

$$[q_p]_{\text{SPT}} = 46.2 \text{ kg/cm}^2 \cong 4620 \text{ kN/m}^2$$

$$[q_p]_{\text{MPT}} = 73.0 \text{ kg/cm}^2 \cong 7300 \text{ kN/m}^2$$

(14.4) bağıntısında hesapta kullanılacak " q_p " terimi bu üç değer aritmetik ortalaması alınarak belirlenebilir.

$$q_p = \frac{[q_p]_{\text{SPT}} + [q_p]_{\text{MPT}} + [q_p]_{\text{statik}}}{3} \cong 5620 \text{ kN/m}^2$$

Yine (14.4) bağıntısındaki " C_p " terimi fore kazıkları için Çizelge 14.2 dikkate alınarak $C_p = 0.09$ değerini taşıdığı kabul edilecektir:

Buna göre :

$$S_2 = \frac{570 \times 0.09}{1.00 \times 5620} \cong 9.1 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$S_2 = 9.1 \text{ mm.}$$

Oturma hesabında gözönünde tutulacak S_2 oturma bileşeni yukarıda ayrı yaklaşımlarla tesbit edilen iki değer aritmetik ortalaması olacaktır.

$$S_2 = \frac{7.7 + 9.1}{2} = 8.4 \text{ mm}$$

$$S_2 \cong 8.4 \text{ mm}$$

• S_3 HESABI

$$S_3 = \frac{Q_{ws}}{PL} \frac{D}{E_s} [1 - \mu_{ss}^2] I_{ws} \quad (14.5)$$

D1 kazığı için (14.5) bağıntısında yer alan ve 14. bölümde ayrıntılı açıklama yapılan terimlerin sayısal değerleri aşağıda verilmiştir.

$$Q_{ws} = 2280 \text{ kN}$$

$$L = 18 \text{ m}$$

$$D = 1.00 \text{ m}$$

$$P = \pi \times D = 3.14 \times 1.00 = 3.14 \text{ m}$$

$$\mu_{ss} = 0.45$$

$$E_s = 50.000 \text{ kN/m}^2$$

$$[I_{ws}] = 2 + 0.35 \sqrt{\frac{L}{D}} \cong 3.48 \quad (14.6)$$

Buna göre :

$$S_3 = \frac{2280}{3.14 \times 18} \times \frac{1.00}{50000} [1 - (0.45)^2] \times 3.48$$

$$S_3 \cong 2.25 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$S_3 = 2.25 \text{ mm.}$$

Vesic (1977) yaklaşımına göre :

$$[S_3] = \frac{Q_{ws} \times C_s}{L \times q_p} \quad (14.7)$$

Burada ;

$[C_s] = [0.93 + 0.16 \sqrt{\frac{L}{D}}]$ Cp şeklinde ifade edilen (14.8) bağıntısıyla şöyle hesaplanabilir.

$$C_s = [0.93 + 0.16 \sqrt{\frac{1800}{100}}] \times 0.09 \cong 0.145$$

$$q_p = 5620 \text{ kN/m}^2$$

$$L = 18 \text{ m}$$

$$Q_{ws} = 2280 \text{ kn/m}^2$$

$$S_3 = \frac{2280 \times 0.145}{18 \times 5620} \cong 3.3 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$S_3 = 3.30 \text{ mm}$$

(14.1) bağıntısıyla tariflenen oturma hesabında gözönüne alınacak "S₃" oturma bileşeni yukarıda farklı yaklaşımlarla tayin edilen iki değer aritmetik ortalaması alınarak belirlenir.

$$S_3 = \frac{3.30 + 2.25}{2} = 2.8 \text{ mm}$$

$$S_3 = 2.8 \text{ mm ve}$$

$$S = S1 + S2 + S3 = 1.3 + 8.4 + 2.8$$

$$S = 12.5 \text{ mm}$$

II. Amprik Yöntemlerle Yapılan Oturma Hesabı

• Vesic (1970) Yaklaşımı:

$$S = \left[\frac{D}{100} \right] + \left[\frac{Q_{wa} L}{A_p E_p} \right] \quad (14.9)$$

Bu ifade de yeralan ve 14. Bölümde açıklanan terimlerin D1 kazığı için aldığı sayısal değerler

$$Q_{wa} = 285 \text{ ton} \cong 641250 \text{ lb}$$

$$D = 1.00 \text{ m} \cong 39.4 \text{ inç}$$

$$A_p = 0.785 \text{ m}^2 = 1216 \text{ inç}^2$$

$$E_p = 30 \times 10^6 \text{ kN/m}^2 \cong 4.355.000 \text{ lb/inç}^2$$

$$L = 18 \text{ m} = 708.7 \text{ inç}$$

Buna göre :

$$S = \frac{39.4}{100} + \frac{641250 \times 708.7}{1216 \times 4355000} \cong 0.48 \text{ inc}$$

$$S = 12.2 \text{ mm}$$

• Poulos (1990) Yaklaşımı :

$$[S] = \left[\frac{Q_{wa} L}{A E_p} \right] + \left[\frac{Q_{wa}}{D \cdot E_{SL}} \right] \cdot I_p \quad (14.10)$$

Bu ifade de yeralan ve 14. Bölümde açıklanan terimlerin D1 kazığı için aldığı sayısal değerler aşağıda verilmiştir.

$$Q_{wa} = 2850 \text{ kN}$$

$$D = 1.00 \text{ m}$$

$$E_{SL} = 70000 \text{ kN/m}^2$$

$I_p = "K_b = E_p \cdot R_A / E_{SL}"$ ve " $\eta = E_{SO} / E_{SL}$ " terimlerinin fonksiyonu olarak tanımlanan etki faktörü olup;

$$E_p = 30 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$$

$$E_{SO} = 30000 \text{ kN/m}^2$$

$$E_{SL} = 70000 \text{ kN/m}^2$$

$R_A = 1$ (kazık kesit alanı = brüt kesit alanı...)

$$\text{ve } \eta = \frac{30000}{70000} = 0.43$$

$$K_b = \frac{30 \times 10^6}{70000} = 430$$

Buna göre " I_p "nin alacağı değer; $L / D = 18$, $\mu_s = 0.45$ $n = 0.43$ ve $K_b = 430$ değeri için Şekil 14.8 aracılığıyla yaklaşık olarak şeklinde kestirilebilir.

Bu değerlere göre ;

$$S = \frac{2850 \times 18}{0.785 \times 30 \times 10^6} + \frac{2850}{1.00 \times 70000} \times 0.25$$

S= 12.35 mm.

Çizelge 18.19 Test kazıkları için (14.1) (14.9) ve (14.10) bağıntısı ile verilen "toplam oturma" hesabı yapılırken kullanılan geometrik, geoteknik ve ampririk parametreler

FİZİKSEL VE MEKANİK PARAMETRELER	KAZIK NO				
	D1	D2	D3	D4	D5
$[Q_{wa}]$, [kN]	2850	2820	1800	1800	1950
$[Q_{wp}]$, [kN]	570	560	360	360	390
$[Q_{ws}]$, [kN]	2280	2260	1440	1440	1560
$[q_{wp}]$, [kN/m ²]	725	715	715	715	775
$[q_p]$, [kN/m ²]	5620	6560	7700	6440	6750
[L], [m]	18.00	17.00	20.00	20.00	22.00
[D], [m]	1.00	1.00	0.80	0.80	0.8
$[A_p]$, [m ²]	0.785	0.785	0.502	0.502	0.502
$[E_p]$, [kN/m ²]	30x10 ⁶	30x10 ⁶	30x10 ⁶	30x10 ⁶	30x10 ⁶
$[E_{so}]$, [kN/m ²]	30000	40000	35000	40000	40000
$[E_{sL}]$, [kN/m ²]	70000	80000	80000	85000	85000
$[E_s]$, [kN/m ²]	50000	70000	60000	60000	6000
[η]	0.43	0.50	0.44	0.47	0.47
$[K_b]$	430	375	375	350	350
$[R_A]$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$[\mu_{sp}]$	0.35	0.35	0.40	0.35	0.35
$[\mu_{ss}]$	0.45	0.45	0.5	0.45	0.45
$[C_p]$	0.09	0.09	0.03	0.09	0.09
$[C_s]$	0.145	0.143	0.052	0.156	0.160
$[I_{wp}]$	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
$[I_{ws}]$	3.48	3.44	3.75	3.75	3.84
$[I_p]$	0.250	0.300	0.300	0.350	0.350

Cizelge 18.20 Test kazıkları için yarıamprik ve amprik yöntemler kullanılarak yapılan hesaplar sonucunda elde edilen toplam oturma büyüklükleri - (mm)

BAĞINTILAR		KAZIK NO				
		D1	D2	D3	D4	D5
YARI AMPRİK YÖNTEMLER	$[S_1] \text{ mm} = \frac{[Q_{wp} + \xi Q_{ws}] L}{A_p E_p}$	1.30	1.22	1.43	1.43	1.71
	$[S_2]_I \text{ mm} = \frac{q_{wp} D}{E_{SL}} [1 - \mu_{sp}^2] I_{wp}$	7.7	6.65	5.10	5.02	5.44
	$[S_2]_{II} \text{ mm} = \frac{Q_{wp} C_p}{D q_p}$	9.10	7.68	1.75	6.29	6.50
	$[S_2] \text{ mm} = \frac{[S_2]_I + [S_2]_{II}}{2}$	8.40	7.17	3.43	5.65	5.97
	$[S_3]_I \text{ mm} = \left[\frac{Q_{ws}}{PL} \right] \left[\frac{D}{E_s} \right] [1 - \mu_{sp}^2] I_{ws}$	2.25	1.67	1.08	1.15	1.15
	$[S_3]_{II} \text{ mm} = \frac{Q_{ws} C_p}{L q_p}$	3.30	2.90	0.50	1.75	1.69
	$[S_3] \text{ mm} = \frac{[S_3]_I + [S_3]_{II}}{2}$	2.78	2.29	0.79	1.45	1.42
	$[S] \text{ mm} = S_1 + [S_2] + [S_3]$	12.48	10.68	5.65	8.53	9.10
AMPRİK YÖNTEMLER	$[S] \text{ mm} = \left[\frac{D}{100} \right] + \left[\frac{Q_{wa} L}{A_p E_p} \right]$	12.20	12.04	10.40	10.40	10.85
	$[S] \text{ mm} = \left[\frac{Q_{wa} L}{A_p E_p} \right] + \left[\frac{Q_{wa}}{D E_{SL}} \right] I_p$	12.35	12.73	10.85	11.65	12.90

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada öncelikle geoteknik mühendisliğinin çeşitli uygulamalarında -günümüzdeki teknolojik gelişmelerin de bir sonucu olarak- giderek yaygın üretim potansiyeli kazanan kazıklı temel sistemlerinin genel olarak fonksiyonel özellikleri, kullanım amaçlarına ve seçim kriterlerini oluşturan teknik/ekonomik sınır şartlarına bağlı olarak kullanıldığı yerler kısaca açıklanmış; literatürde mevcut çeşitli kriterlere göre sınıflandırılan kazıklı temellerin avantajlı ve dezavantajlı olduğu hususlar belirli bir ayrıntı içinde özetlenerek, kazıkların zemine yerleştirilmesi için yapılan çalışmalar, kullanılan ekipmanlar, uygulamada karşılaşılan zorluklar üzerinde durulmuştur. Daha sonra üst yapı yüklerinin zemine aktarılması için yapılan idealleştirilmenin ana unsurları tariflenerek, negatif çevre sürtünmesinin kazık-zemin davranışına ne yönlere etki yaptığı kısaca irdelenmiştir.

Çalışmanın diğer bölümlerinde ise esas itibarıyla düşey yüklere maruz bir kazığın ve kazık grubunun nihai yük taşıma kapasitesine etkiyen faktörler ayrıntılı bir şekilde incelenerek, nihai taşıma gücü hesap yöntemleri kapsamlı olarak anlatılmıştır. Yine düşey yüklere maruz kazıklarda tek kazık ve kazık grupları için oturma hesabının nasıl yapılacağı hangi metodların oturma hesabında daha gerçekçi veya konservatif oldukları yapılan bazı yaklaşımlar çerçevesinde ele alınmıştır. Tez çalışmasında ağırlıklı olarak incelenen nihai taşıma gücü ve oturma hesaplarını pratik uygulama platformuna taşımak maksadıyla İstanbul LRTS Projesinin II. Aşaması'nda yer alan viyadük sanat yapılarının altında bulunan kazıklı temel sistemlerinin projelendirme safhasında tayin edilip hazırlanan geoteknik raporlarda da ifade edilen nihai taşıma kapasitesi ve oturma parametreleri bu çalışmada detaylı olarak açıklanan yaklaşım ve metodlar yardımıyla tahkik edilmiş; hangi hesap yönteminin hangi sınır şartlarında gerçeğe en yakın ve doğru tahminler yapabildiği, dolayısıyla hangi arazi ve yükleme koşulları için hangi yöntemlerin hesaplarda kullanılmasının daha doğru olacağı tartışılmıştır. Bu çalışmada düşey yükler altındaki kazıkların taşıma gücü ve oturma hesaplarının en rasyonel biçimde yapılabilmesi için ele alınan konular, incelenen yaklaşımlar ve çeşitli yöntemler kullanılarak yapılan hesap ve analizlerin ışığı altında ulaşılan genel sonuçlar ve öneriler aşağıda sıralanmıştır.

1. Kazık nihai taşıma gücü ve oturma değerleri genel olarak zeminin, kazık inşaat yönteminin ve kazık malzeme özelliklerinin bir fonksiyonu olup, farklı hesap yöntemleri-

nin doğruluğu, zeminin gerilme ve şekil değiştirme özelliklerinin tayinindeki güvenilirliğe hassas ölçüde bağlıdır. Bu yüzden kazığın teşkil edildiği yerlerdeki zemin profilinin ve bu profilin temsil ettiği zeminlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin yeterince presizyonlu olarak saptanabilmesi amacıyla kapsamlı bir geoteknik inceleme yapılmalıdır.

2. Kazıkların boyutlandırılması, "taşıma gücü" ve "oturma" büyüklüklerinin tayin edilmesi amacıyla kullanılan en pratik yaklaşım "statik formüller" olup, bu yöntemle her zemindeki kazıkların taşıma gücü ve oturma parametreleri kısa sürede tahmin edilebilir. Eğer zemin tabakalarının mühendislik özellikleri çok iyi etüd edilmişse eldeki tecrübelerle de dayalı olarak daha ziyade killi zeminlerde bu formüllerin gerçeğe daha yakın neticeler verdiği 18. Bölümde sunulan genel karşılaştırma çizelgelerinde de görülmektedir.

3. Arazi deney sonuçlarına dayalı çeşitli amprik/yarıamprik kökenli bağıntılar kullanılarak yapılan kazık taşıma gücü hesabı kolay olduğu kadar ekonomik ve pratik bir yaklaşımdır. Özellikle kohezyonsuz zeminlerde "SPT" deney sonuçlarına dayanarak gerçeğe olabildiğince yakın taşıma gücü tahminleri yapılabilirken kohezyonlu zeminlerde ise biraz daha az presizyonlu kestirimler yapılabilir. Bu yargının doğruluğu 18. Bölümde taşıma gücü ve oturma değerleri toplu olarak incelenen test kazıkları için hazırlanan genel karşılaştırma tablolarında da izlenmektedir. Son yıllarda gelişen teknolojik olanaklar "Hollanda Sondası - CPT" gibi itmeli sondaların önemini artırmış ve sondalar yoluyla kazık çevre yüzeyinde ortaya çıkan çevre sürtünmelerinde ölçülebilmesi mümkün olmuştur. Böylelikle statik kazık formüllerindeki zemin doneleri gerçeğe daha yakın olarak elde edilebilmektedir. Yine son yıllarda ülkemizde de yaygın olarak kullanılmaya başlanan "MPT" deneyinin, sonuçları zemin - kazık davranışını daha gerçekçi bir biçimde simüle etmektedir. Bu deney uygulanarak zemin cinsinden bağımsız olarak kazıkların düşey taşıma kapasiteleri daha doğru olarak tahmin edilebilir. Bu çalışmanın son bölümlerinde verilen mukayese çizelgelerinde özellikle Statik Esaslı Analiz Yöntemi" ve "SPT" sonuçlarına dayalı olarak kestirilen nihai taşıma gücü büyüklüklerinin nümerik olarak merteye yakınsaklığı içinde oldukları; "MPT" sonuçlarına dayanarak tahmin edilen taşıma gücü değerlerinin ise aynı çizelgeler yanında incelendiğinde "Statik Formüller" ve "SPT" sonuçlarından yola çıkılarak bulunan nihai taşıma gücü değerlerinden ise merteye olarak biraz yüksek sayılar tariflediği gözlenmektedir.

4. Zemin türünden bağımsız olarak her cins kazığın nihai taşıma gücünün tahmi-

ninde en doğru yaklaşım fiilen arazide seçilen test kazıkları üzerine de tatbik edilen kazık yükleme deneyi sonuçlarının grafiksel yada yarıamprik metodlarla değerlendirilmesi olmakla beraber, kazık yükleme deneyleri ile elde edilen "yük-oturma" eğrisi kazığın uzun vadeli davranışını tümüyle simüle edememektedir. Ancak bu olumsuzluğu gidermek amacıyla taşıma gücünün nihai değerine erişebilmesi için test kazıklarının yapımı ile deneyin başlaması arasında yeteri kadar beklenmesi doğru olmaktadır. Kazık yükleme deneyleri biraz pahalı olsalar da işin hacmine, önemine ve mali portresine de uygun olacak yeterlikte mutlaka her projede yapılması gerekmektedir. Tez çalışmasına konu olan test kazıklarının nihai taşıma kapasitesinin "yük - oturma" eğrisinin çeşitli kombinezonlarını tarifleyen grafiksel/yarıamprik yöntemlerle tahminleri yapılarak "statik esaslı formüller" ve "arazi deney sonuçları"na dayalı yaklaşımlarla tayin edilen sonuçlar ile mukayesesi yapıldığında grafiksel yöntemlerin kendi içinde kaydadeğer bir merteye yakınsaklığı içinde olduğu yine elde edilen sonuçların kohezyonsuz zeminlerde "SPT" deney sonuçlarından yararlanarak yapılan taşıma gücü kestirimleri ile diğer yaklaşımlara kıyasla daha iyi bir uyum sergilediği; Keza adıgeçen grafiksel/yarıamprik yöntemler vasıtasıyla tayin edilen nümerik değerlerin kohezyonlu zeminlerde ise "MPT" deney sonuçlarından yararlanarak hesaplanan taşıma gücü verileri ile daha iyi bir uyum içinde oldukları 18. Bölümde verilen kıyaslama tablosunda görülmektedir.

5. Dinamik çakma formülleri ile yalnızca kazık ucunun taşıyabileceği statik yük tahmin edilebilmektedir. Çakma sırasında ortaya çıkan enerji kayıplarının belirsizliği ve formüllerin oluşturulmasında yapılan kabullerin gerçekle çelişkili olabilmesi nedeniyle bütün gelişmelere karşın bu formüllerin hatalı tarafları da vardır. Bu nedenle, fazla enerji düzeltmesi içeren formüllerin değil, basit ve doğru sonuç veren formüllerin seçilmesi daha mantıklı olmaktadır. Bu formüller ile killi zeminlerdeki kazıkların taşıma gücü tahmini pek güvenilir değildir. Dinamik formüller vasıtasıyla nihai taşıma gücü ve oturma hesabı yapılırken emniyet katsayıları biraz büyük tutularak servis yükleri hesaplanır ve bu değerler daha sonra birebir kazık yükleme deneyleri ile kontrol edilir. Dalga denklemi yaklaşımıyla dinamik yöntemdeki formüllerin yaptığı varsayımlar kabul edilebilir hale gelmekte, bilgisayar programları ile kazığın çakılma miktarı ve kazık ucunda oluşan gerilmeler de hesaplanabilmektedir. Ancak, kazığın çakma operasyonuna gösterdiği direncin statik taşıma gücüne eşit olacağı kabulünün pratikte getirdiği sıkıntılar nedeniyle dalga teorisi yaklaşımına dayalı hesap esaslarının dinamik çakma formülleri yaklaşımında olduğu gibi özel-

likle kohezif zeminlere uygulanmaması daha uygun bulunmaktadır.

6. kazıklı temellerin güvenlik derecesi kesin olarak bilinmemekle beraber temel zemini inceleme yöntemleri ve hesap sistemlerindeki ilerlemeler sonucu güvenlik sayılarında bir miktar azaltma yapmak olanaklıdır. Laboratuvarda yapılan model deneyleri veya kazıkların zemin özelliklerini idealize eden teorik çalışmalar kazıkların zemin içindeki davranışını tam olarak yansıtmazlar. Örneğin, kazık taşıma gücüne zamanın etkisi gözardı edilmekte ve tüm yöntemlerde hesaplanmamaktadır. Bu yüzden kazıklı temeller birçok mühendislik yapısında ayrılmakta ve uygulamada elde edilecek başarı daha çok iş başındaki ekibin bilgi, tecrübe ve işdisiplinine bağlı olmaktadır. Giderek daha gelişmiş kazık sistemlerinin uygulamaya geçirilebilmesi için işveren ve yüklenicilerin doğrudan veya dolaylı olarak sahip oldukları pratik üniversite ve araştırma merkezleri ile işbirliğine giderek yenilemesi ve artırması gereklidir.



KAYNAKLAR

1. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM D 1143-81, (1986): "Standart Method of Testing Piles for Under Static Axial Compressive Load", Vol. 04.08, Philadelphia, s: 239 - 254.
2. BAGUELIN, F., JEZEGUEL, I.F., SHIELDS, D.H., (1978): "Pressuremeter and Foundation Engineering", Trans Tech Publications, Scausthal.
3. BAYKAL; G., (1992): "İstanbul Hızlı Tramvay Sistemi 2. Aşama Geoteknik Raporu", Yapı Merkezi - ABB Konsorsiyumu, Teknik Rapor, No: 8801 - TR.06, İstanbul, 60 s.
4. BOWLES, J.E., (1982: "Foundation Analysis And Design", Mc Graw-Hill Book Company, Newyork, 816 p.
5. BRİAUD, J.L., TUCKER, L.M., (1988): "Measured and Predicted Axial Response of 98 Piles", Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE Proceeding, Volume: 114, No: 9, pp: 984 - 1001.
6. BROMS, B.B., (1981): "Precast Piling Practice", Thomas Telford Ltd., London.
7. CANADIAN FOUNDATION ENGINEERING MANUAL - CFEM., (1985): "Part 3- Deep Foundation", Canadian Geotechnical Society, Bi Tech Publication, Montreal.
8. DAS, B.M., (1990): "Principles of Foundation Engineering", PWS-Kent Publishing Company, Massachusetts, pp: 422 - 521.
9. FINNO, R.J., (1989): "Predicted and Observed Axial Behaviour of Piles", Results of a Pile Prediction Symposium, ASCE Geotechnical Special Public, No: 23, New York, 888 p.
10. FLEMING, W.G.K., THORBURN, S., (1984): "Recent Piling Advances", Piling and Ground Treatment - Institute of Civil Engineering, Thomas Telford Ltd., London, pp: 1-16.
11. FLEMING, W.G.K., WELTMAN, A.J., RANDOLPH, M.F., ELSON, W.K.,(1985): "Piling Engineering", Surrey University Press, New York.

12. FRANK, R., (1985): "Recent Developments in the Prediction of Pile Behaviour from Pressuremeter Results", Proceeding. 1, Symposium from Theory to Practice on Deep Foundations, Porto Allegre, pp: 69-99.
13. FULLER, F.M., (1979): "Symposium on Deep Foundations", ASCE National Convention - Georgia, New York, 535 p.
14. İLBAY, N., DURUKAN, Z., TEZCAN, S., (1989): "Esenler Viyadüğü Kazık Oturma Hesapları", Yapı Merkezi - ABB Konsorsiyumu, Teknik Rapor, No: 272-TR.03, İstanbul, 19s.
15. İNCECİK, M., (1979): "Yerinde Dökme Kazıklarda Taşıma Gücü Tayini ve İlgili Yönetmelikler", Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Türk Milli Komitesi Bülteni, Zemin Dergisi, Cilt 1, Sayı 1, İstanbul, s: 34 - 51.
16. HUNT, R.E., (1986): "Geotechnical Engineering Techniques and Practise", Mc Graw - Hill Book Company, New York, pp: 331-443.
17. KUMBASAR, V., KİP, F., (1985): "Zemin Mekaniği Problemleri", Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 520 s.
18. LIU, C., EVETT, J.B., (1981): " Soils and Foundations", Prentice Hall, Inc., New Jersey, pp: 167 - 207.
19. MEYER, J.R., (1984): "Analysis and Design of Pile Foundations", ASCE National Convention-Colifornia, New York, 408 p.
20. MEYERHOFF, G.G., (1976): "Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundations", Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE Proceeding, Volume: 102, No: GT3, pp: 197 - 228.
21. NAVAL FACILITIES ENGINEERING COMMAND, (1982): "Foundations and Earth Structures", Design Manual Dm 7.2, Department of the Navy, Alexandria.
22. POULOS, H.G., DAVIS, E.H., (1980): "Pile Foundation Analysis and Design", John Wiley and Sons, Inc., New York, 397 p.
23. POULOS, H.G., (1989): "Pile Behaviour - Theory and Application", Geotechnique 39, No: 3, pp: 365 - 415.

24. POULOS, H.G., (1990): "Piles in Piling", Geotechnic Handbook, Sydney, pp: 931-971.
25. PRAKASH, S., SHARMA, H.D., (1990): "Pile Foundations in Engineering Practice", John Wiley and Sons, Inc., New York, 734 p.
26. REESE, L.C., O'NEILL, M.W., (1987): "Drilled Shafts: Construction Procedures and Design Methods", Design Manual, U.S. Dept. of Transportation, Federal Administration, Mc Lean VA.
27. SAĞLAMER, A., (1979): "Standart Penetrasyon Deneyi Nedir, Ne Değildir:", Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Türk Milli Komitesi Bülteni, Zemin Dergisi, Cilt 1, Sayı 4, İstanbul, s: 267 - 271.
28. SHARMA, H.D., JOSHI, R.C., (1988): "Drilled Pile Behaviour in Granular Deposits", Journal of Canadian Geotechnical, Volume: 25, No: 2, pp: 222 - 232.
29. SOWERS, G.F., (1979): "Introductory Soil Mechanics and Foundation", Macmillan, New York.
30. TENG, W.C., (1962): "Foundation Design", Prentice Hall, Inc, Englewood Cliffs, New Jersey, pp: 193 - 255.
31. TIRANT, P., (1992): "Offshore Pile Design", Argema, Editions Technip, Cedex-Paris, 291 p.
32. TOĞROL, E., (1970): "Kazıklı Temeller", STFA Temel Araştırma A.Ş. Yayınları, No: 1, İstanbul, 154 s.
33. TOMLINSON, M.J., (1973): "Predicting the Carrying Capacity of a Pile", Kazıklı Temeller sempozyumu, İ.M.O Teknik Bülten, Ankara, s: 61-74.
34. TOMLINSON, M.J., (1977): "Pile Design and construction Practice", Viewpoint Publication, Cement and Concrete Association, London, p.
35. TOROS, H., (1992): "Fore Kazık Yükleme Deneyi Raporu", Yapı Merkezi - ABB Konsorsiyumu, Merter Mühendislik Grubu, Rapor No: 1, İstanbul, 42 s.
36. TOROS, H., (1992): "Fore Kazık Yükleme Deneyi Raporu", Yapı Merkezi - ABB Konsorsiyumu, Merter Mühendislik Grubu, Rapor No: 2, İstanbul, 50 s.

37. TOROS, H., (1993): "Fore Kazık Yükleme Deneyi Raporu", Yapı Merkezi - ABB Konsorsiyumu, Merter Mühendislik Grubu, Rapor No: 3, İstanbul, 48 s.
38. TOROS, H., (1993): "Fore Kazık Yükleme Deneyi Raporu", Yapı Merkezi - ABB Konsorsiyumu, Merter Mühendislik Grubu, Rapor No: 4, İstanbul, 40 s.
39. TOROS, H., (1993): "Fare Kazık Yükleme Deneyi Raporu", Yapı Merkezi - ABB Konsorsiyumu, Merter Mühendislik Grubu, Rapor No: 5, İstanbul, 40 s.
40. TÜRK STANDARTLARI ENSTİTÜSÜ;TS 3167, (1978): "Kazıklı Temellerin Hesap ve Düzenlenmesinde Genel Kurallar, ankara, 12 s.
41. ÜLKER, R., (1978): "Kazık Taşıma Gücü ve Yükleme Deneyleri", İ.T.Ü., Profesörlük Tezi.
42. VESIC, A.S., (1970): "Tests on Instrumented Piles", Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE Proceeding, Volume: 96, No: SM2, pp: 561 - 584.
43. VESIC, A.S., (1977): "Design of Pile Foundations", National Research Program Synthesis of Practice, No: 42, Transportation, Research Board, Washington D.C.
44. YEŞİLÇİMEN, Ö., (1992): "Merter Viyadüğü Geoteknik Raporu", Yapı Merkezi - ABB Konsorsiyumu, Teknik Rapor, No: 8801-TR.14, İstanbul, 15 s.
45. YEŞİLÇİMEN, Ö., (1992): "Otogar Viyadüğü Geoteknik Raporu", Yapı Merkezi - ABB Konsorsiyumu, Teknik Rapor, No: 881-TR. 26, İstanbul, 21 s.
46. YILDIRIM, S., ÖZAYDIN, İ.K., (1994): "Derin Temeller", Teknik Rapor, Y.T.Ü, İstanbul, 100 s.

E K L E R :

**EK 1- YÜKLEME DENEYİ YAPILAN TEST KAZIKLARININ BAĞLANTI
PLANI DETAYLARI**

**EK 2- TEST KAZIKLARI İÇİN YÜKLEME - BOŞALTMA KADEMELERİ
VE OKUMA ARALIKLARI**

EK 3- TEST KAZIKLARI İÇİN YÜKLEME DENEY TABLOLARI

**EK 4- TEST KAZIKLARININ BULUNDUĞU LOKASYONLARA AIT
SONDAJ LOGLARI**

**EK 5- TEST KAZIKLARI İÇİN TAŞIMA GÜCÜ VE OTURMA HESAPLA -
RINDA GÖZÖNÜNDE TUTULAN BASİTLEŞTİRİLMİŞ ZEMİN
PROFİLİ VE BAZI GEOTEKNİK PARAMETRELER**

**EK 6- TEST KAZIKLARININ BULUNDUĞU LOKASYONLARDAN ALINAN
SONDAJ NUMUNELERİ ÜZERİNDE YAPILAN LABORATUVAR
DENEYLERİNİN TOPLU SONUÇLARI**

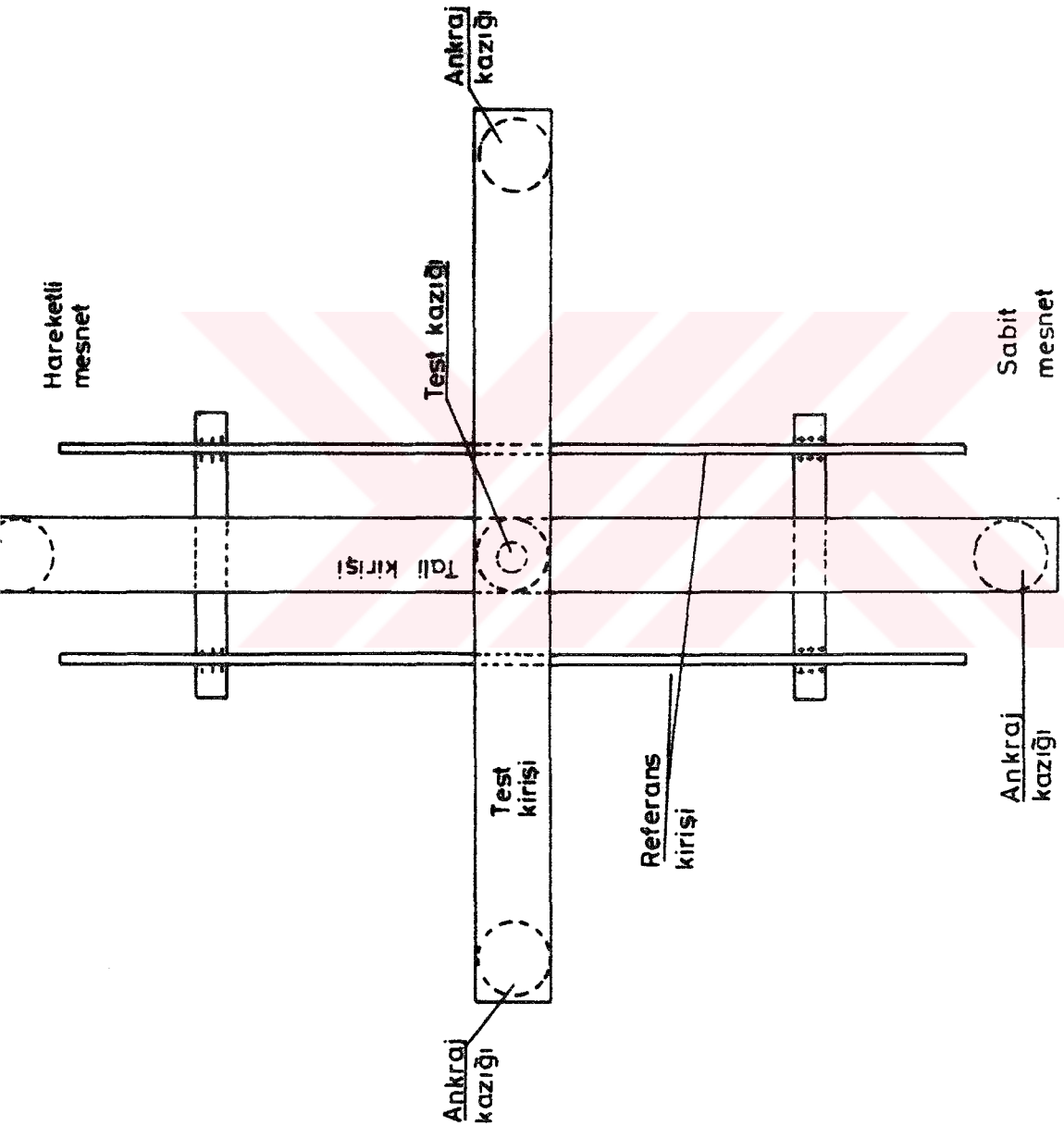
EK 7- TEST KAZIKLARINA AIT YÜK - OTURMA EGRİLERİ

EK 8--TEST KAZIKLARINA AIT YÜK - ZAMAN EGRİLERİ

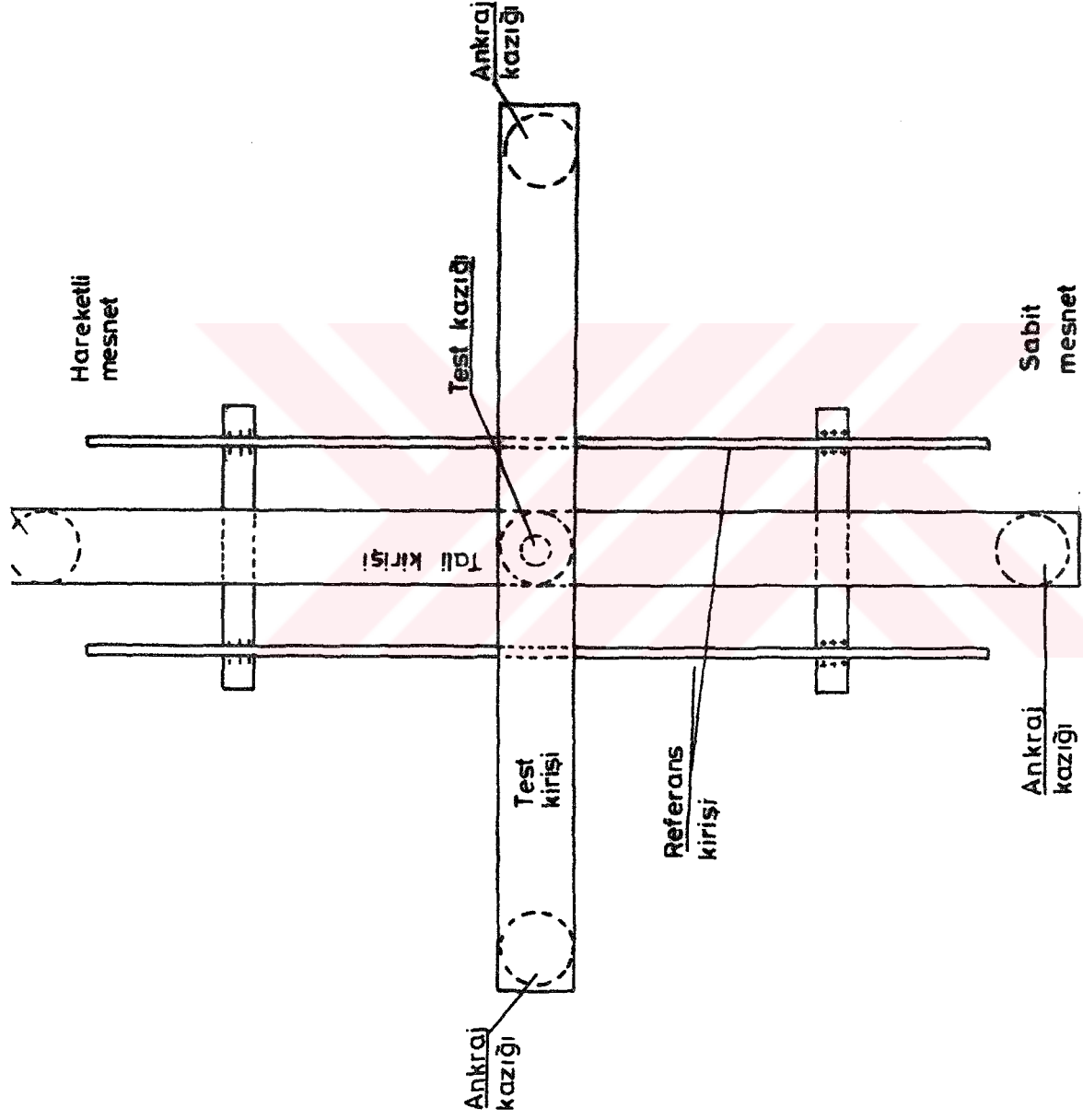
EK 9- TEST KAZIKLARINA AIT OTURMA - ZAMAN EGRİLERİ

**EK10- NİHAİ TAŞIMA GÜCÜ HESABINDA KULLANILAN GRAFİKSEL /
YARI AMPRİK YÖNTEMLERİN TARIFLEDİĞİ HESAP EGRİLERİ**

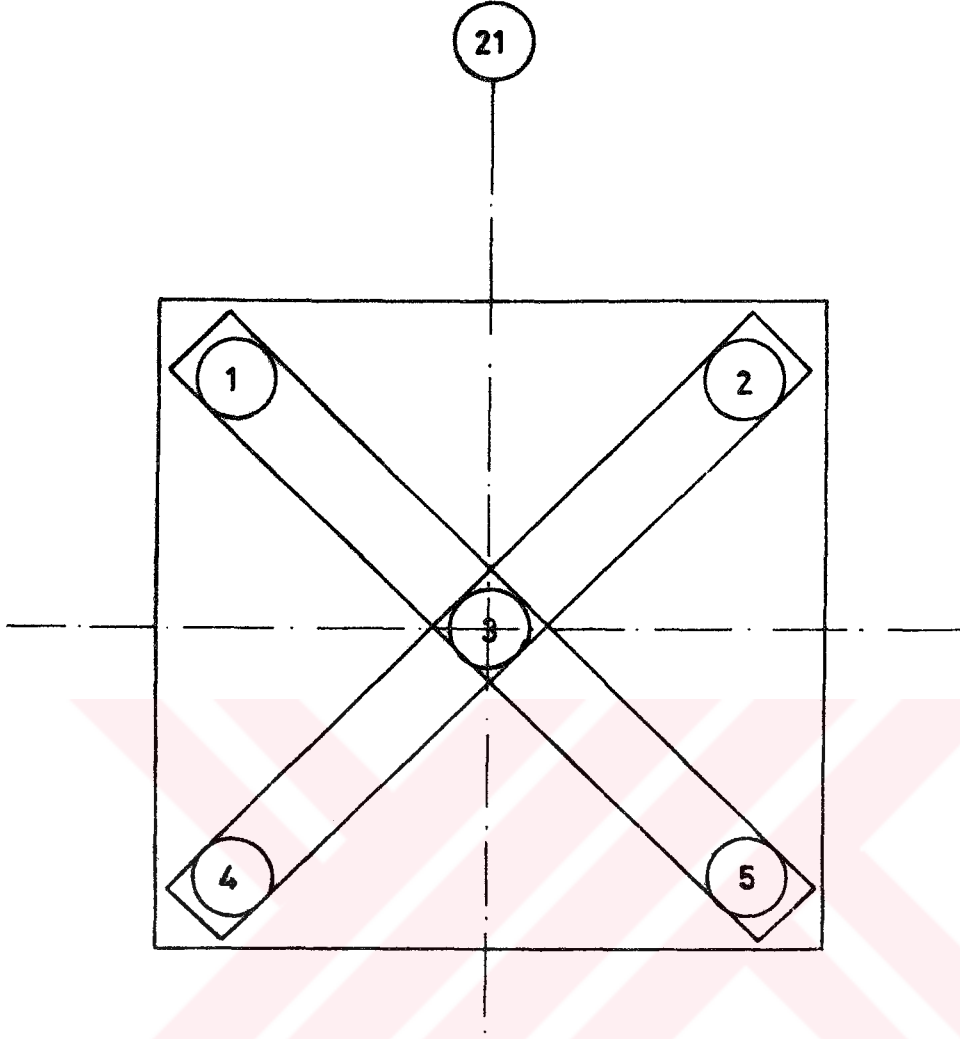
**EK 1 : YÜKLEME DENEYİ YAPILAN TEST KAZIKLARININ
BAĞLANTI PLANI DETAYLARI**



D1 TEST KAZIĞI VE ANKRAJ KAZIĞI BAĞLANTILARI PLANI



D2 TEST KAZIĞI VE ANKRAJ KAZIĞI BAĞLANTILARI PLANI

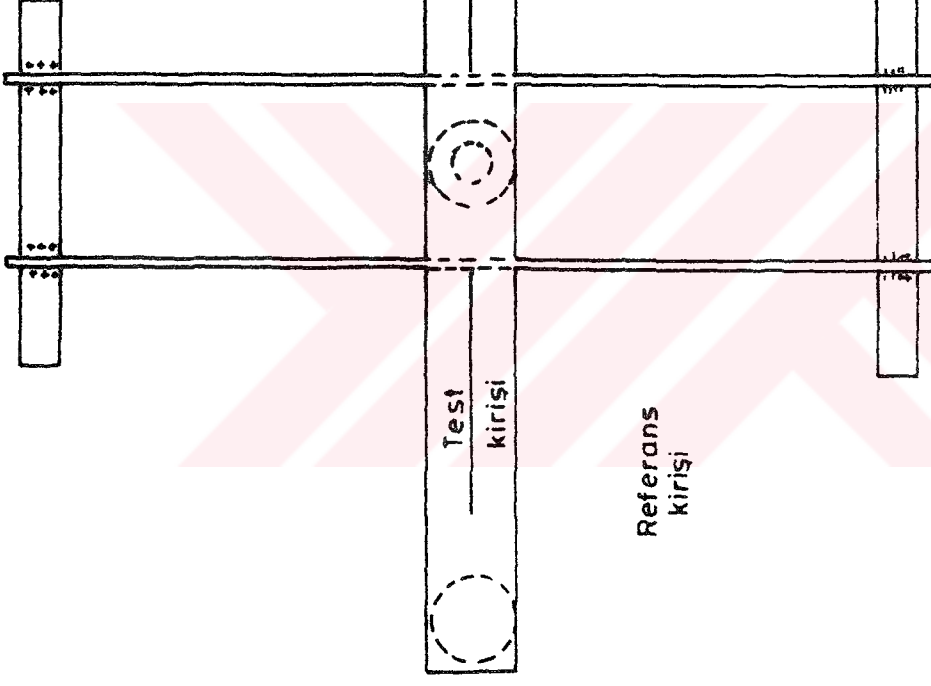


D2 KAZIĞI TEST KİRİŞİ BAĞLANTI ŞEKLİ

3 NOLU KAZIK → TEST KAZIĞI

1-2-4-5 NOLU KAZIKLAR → CER KAZIKLARI

Hareketli
mesnet



Test kazığı

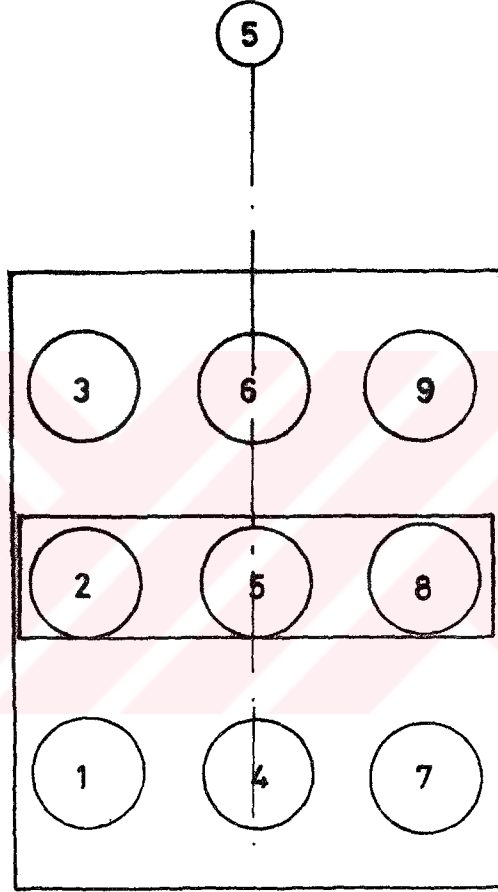
Ankraj
kazığı

Test
kirişi

Referans
kirişi

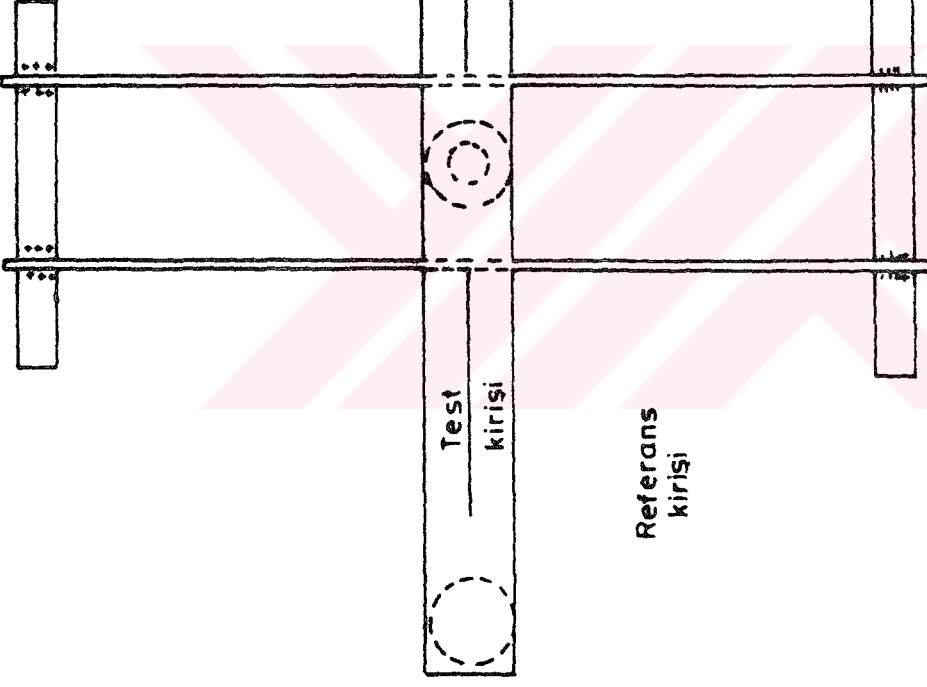
Sabit
mesnet

D3 TEST KAZIĞI VE ANKRAJ KAZIĞI BAĞLANTILARI PLANI



D3 TEST KAZIĞI TEST KİRİŞİNİN BAĞLANTI ŞEKLİ
5 NOLU KAZIK → TEST KAZIĞI
2 VE 8 NOLU KAZIK → CER KAZIKLARI

Hareketli
mesnet



Test kaziğı

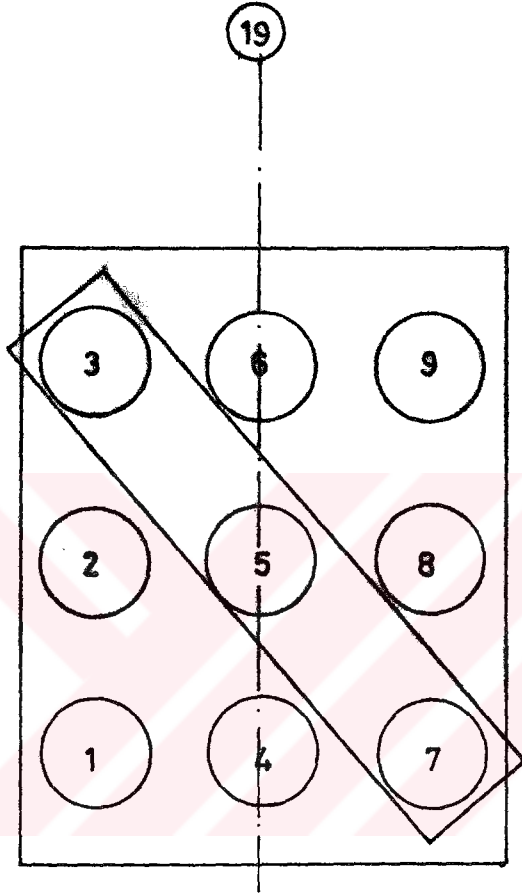
Ankraj
kaziğı

Test
kirışı

Referans
kirışı

Sabit
mesnet

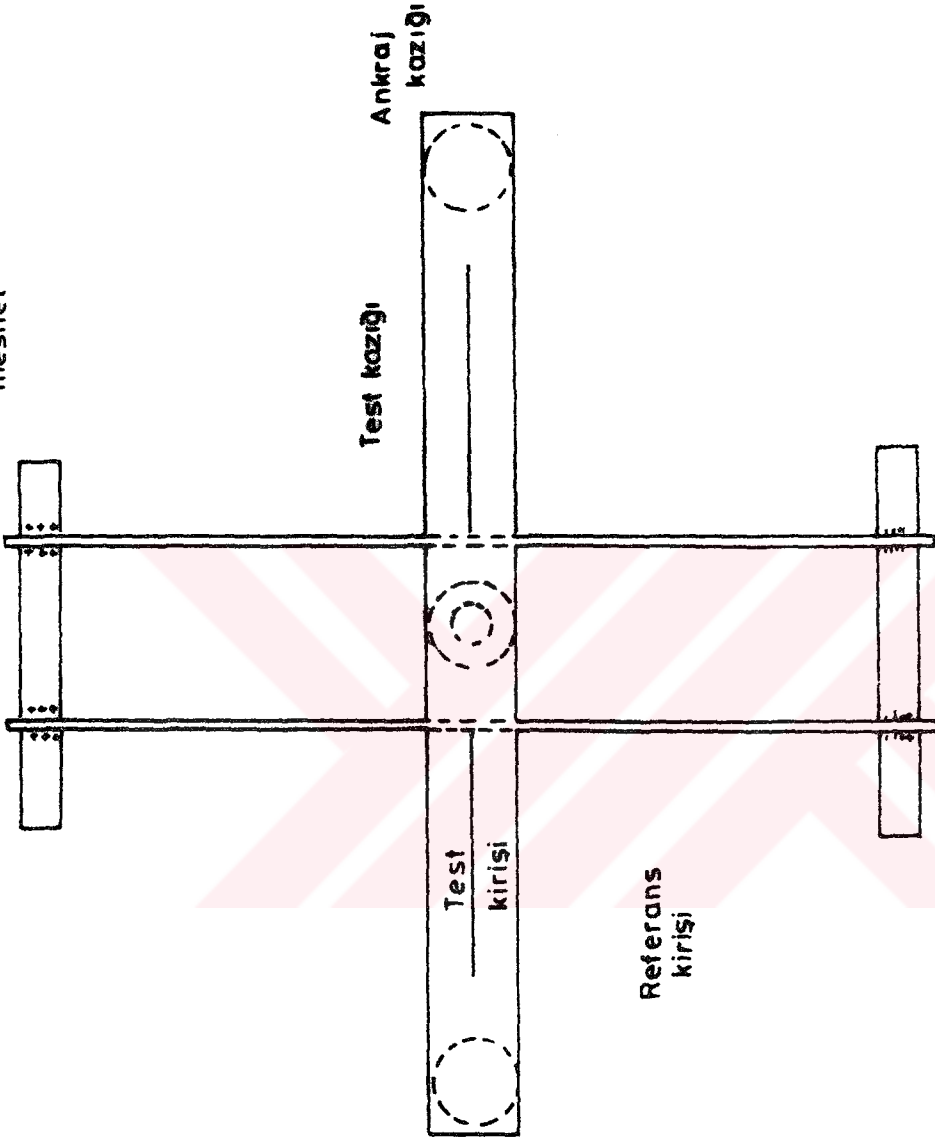
D4 TEST KAZIĞI VE ANKRAJ KAZIĞI BAĞLANTILARI PLANI



D4 TEST KAZIĞI TEST KİRİŞİNİN BAĞLANTI ŞEKLİ

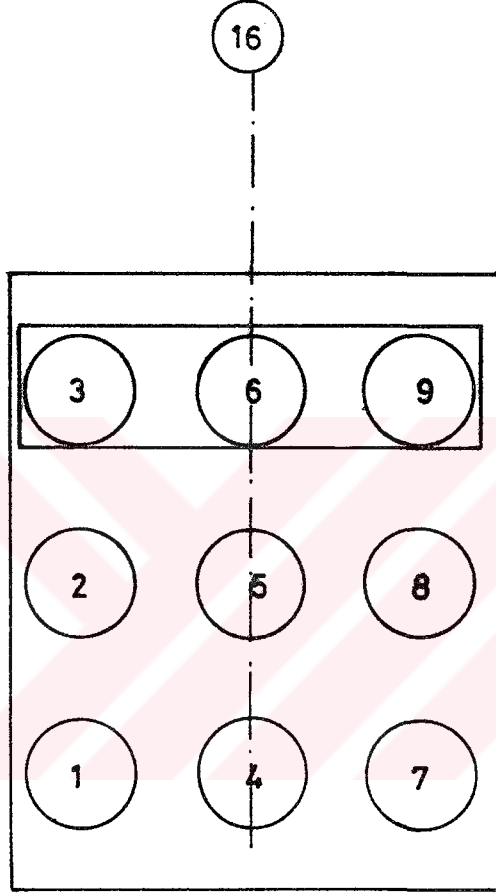
5 NOLU KAZIK → TEST KAZIĞI
3 VE 7 NOLU KAZIK → CER KAZIKLARI

Hareketli
mesnet



Sabit
mesnet

D 5 TEST KAZIĞI VE ANKRAJ KAZIĞI BAĞLANTILARI PLANI



D5 TEST KAZIĞI TEST KİRİŞİNİN BAĞLANTI ŞEKLİ

5 NOLU KAZIK → TEST KAZIĞI

3 VE 7 NOLU KAZIK → CER KAZIKLARI

**EK 2 : TEST KAZIKLARI İÇİN YÜKLEME - BOŞALTMA KADEMELERİ
VE OKUMA ARALIKLARI**

D 1 TEST KAZIĞI İÇİN YÜKLEME - BOŞALTIMA KADEMELERİ VE OKUMA ARALIKLARI

1. YÜKLEME				2. YÜKLEME			
Y Ü K		UYGULAMA SÜRESİ	OKUMA ARALIĞI	Y Ü K		UYGULAMA SÜRESİ	OKUMA ARALIĞI
(%)	(kN)	(DAKİKA)	(DAKİKA)	(%)	(kN)	(DAKİKA)	(DAKİKA)
10	190	5	5	10	190	5	5
20	380	5	5	20	380	5	5
30	570	5	5	30	570	5	5
40	760	5	5	40	760	5	5
50	950	5	5	50	950	5	5
60	1140	5	5	60	1140	5	5
70	1330	5	5	70	1330	5	5
80	1520	5	5	80	1520	5	5
90	1710	5	5	90	1710	5	5
100	1900	5	5	100	1900	5	5
75	1425	10	5	110	2090	5	5
50	950	10	5	120	2280	5	5
25	475	10	5	130	2470	5	5
0	0	10	5	140	2660	5	5
				150	2850	5	5
				125	2375	10	5
				100	1900	10	5
				75	1425	10	5
				50	950	10	5
				25	475	10	5
				0	0	10	5
				0	0	60	60

D 2 TEST KAZIĞI İÇİN YÜKLEME - BOŞALTIMA KADEMELERİ VE OKUMA ARALIKLARI

1. YÜKLEME						2. YÜKLEME					
Y Ü K			UYGULAMA SÜRESİ	OKUMA ARALIĞI	Y Ü K			UYGULAMA SÜRESİ	OKUMA ARALIĞI		
(%)	(kN)	(kN/m ²)	(DAKİKA)	(DAKİKA)	(%)	(kN)	(kN/m ²)	(DAKİKA)	(DAKİKA)		
10	188	240	5	5	10	188	240	5	5		
20	376	480	5	5	20	376	480	5	5		
30	564	720	5	5	30	564	720	5	5		
40	752	960	5	5	40	752	960	5	5		
50	940	1200	5	5	50	940	1200	5	5		
60	1128	1440	5	5	60	1128	1440	5	5		
70	1316	1680	5	5	70	1316	1680	5	5		
80	1504	1920	5	5	80	1504	1920	5	5		
90	1692	2160	5	5	90	1692	2160	5	5		
100	1880	2400	5	5	100	1880	2400	5	5		
75	1410	1800	10	10	110	2068	2640	5	5		
50	940	1200	10	10	120	2256	2880	5	5		
25	470	600	10	10	130	2444	3120	5	5		
0	0	0	10	10	140	2632	3360	5	5		
					150	2820	3600	5	5		
					125	2350	3000	10	10		
					100	1880	2400	10	10		
					75	1410	1800	10	10		
					50	940	1200	10	10		
					25	470	600	10	10		
					0	0	0	10	10		

D 3 TEST KAZIĞI İÇİN YÜKLEME - BOŞALTIMA KADEMELERİ VE OKUMA ARALIKLARI

1. YÜKLEME						2. YÜKLEME					
Y Ü K			UYGULAMA SÜRESİ (DAKİKA)	OKUMA ARALIĞI (DAKİKA)	Y Ü K			UYGULAMA SÜRESİ (DAKİKA)	OKUMA ARALIĞI (DAKİKA)		
(%)	(kN)	(kN/m ²)	(DAKİKA)	(DAKİKA)	(%)	(kN)	(kN/m ²)	(DAKİKA)	(DAKİKA)		
10	120	240	5	5	10	120	240	5	5		
20	240	480	5	5	20	240	480	5	5		
30	360	720	5	5	30	360	720	5	5		
40	480	960	5	5	40	480	960	5	5		
50	600	1200	5	5	50	600	1200	5	5		
60	720	1440	5	5	60	720	1440	5	5		
70	840	1680	5	5	70	840	1680	5	5		
80	960	1920	5	5	80	960	1920	5	5		
90	1080	2160	5	5	90	1080	2160	5	5		
100	1200	2400	5	5	100	1200	2400	5	5		
75	900	1800	10	5	110	1320	2640	5	5		
50	600	1200	10	5	120	1440	2880	5	5		
25	300	600	10	5	130	1560	3120	5	5		
0	0	0	10	5	140	1680	3360	5	5		
					150	1800	3600	5	5		
					125	1500	3000	10	5		
					100	1200	2400	10	5		
					75	900	1800	10	5		
					50	600	1200	10	5		
					25	300	600	10	5		
					0	0	0	10	5		
					0	0	0	50	50		

D 4 TEST KAZIĞI İÇİN YÜKLEME - BOŞALTMA KADEMELERİ VE OKUMA ARALIKLARI

1. YÜKLEME				2. YÜKLEME			
Y Ü K		UYGULAMA SÜRESİ	OKUMA ARALIĞI	Y Ü K		UYGULAMA SÜRESİ	OKUMA ARALIĞI
(%)	(kN)	(DAKİKA)	(DAKİKA)	(%)	(kN)	(DAKİKA)	(DAKİKA)
10	120	5	5	10	120	5	5
20	240	5	5	20	240	5	5
30	360	5	5	30	360	5	5
40	480	5	5	40	480	5	5
50	600	5	5	50	600	5	5
60	720	5	5	60	720	5	5
70	840	5	5	70	840	5	5
80	960	5	5	80	960	5	5
90	1080	5	5	90	1080	5	5
100	1200	5	5	100	1200	5	5
75	900	10	5	110	1320	5	5
50	600	10	5	120	1440	5	5
25	300	10	5	130	1560	5	5
0	0	10	5	140	1680	5	5
				150	1800	5	5
				125	1500	10	10
				100	1200	10	10
				75	900	10	10
				50	600	10	10
				25	300	10	10
				0	0	10	10
				0	0	60	60

D 5 TEST KAZIĞI İÇİN YÜKLEME - BOŞALTIMA KADEMELERİ VE OKUMA ARALIKLARI

1. YÜKLEME				2. YÜKLEME			
Y Ü K		UYGULAMA SÜRESİ	OKUMA ARALIĞI	Y Ü K		UYGULAMA SÜRESİ	OKUMA ARALIĞI
(%)	(kN)	(DAKİKA)	(DAKİKA)	(%)	(kN)	(DAKİKA)	(DAKİKA)
10	130	5	5	10	130	5	5
20	260	5	5	20	260	5	5
30	390	5	5	30	390	5	5
40	520	5	5	40	520	5	5
50	650	5	5	50	650	5	5
60	780	5	5	60	780	5	5
70	910	5	5	70	910	5	5
80	1040	5	5	80	1040	5	5
90	1170	5	5	90	1170	5	5
100	1300	5	5	100	1300	5	5
75	975	10	5	110	1430	5	5
50	650	10	5	120	1560	5	5
25	325	10	5	130	1690	5	5
0	0	10	5	140	1820	5	5
				150	1950	5	5
				125	1625	10	5
				100	1300	10	5
				75	975	10	5
				50	650	10	5
				25	325	10	5
				0	0	60	60

EK 3 : TEST KAZIKLARI İÇİN YÜKLEME DENEY TABLOLARI

TEST KAZIKLARI ÜZERİNDE YAPILAN KAZIK YÜKLEME DENEYLERİNİN SONUÇLARI

D1 TEST KAZIĞI			D2 TEST KAZIĞI			D3 TEST KAZIĞI			D4 TEST KAZIĞI			D5 TEST KAZIĞI			
1. YÜKLEME		2. YÜKLEME		1. YÜKLEME		2. YÜKLEME		1. YÜKLEME		2. YÜKLEME		1. YÜKLEME		2. YÜKLEME	
YÜK Q ₁ (kN)	OTURMA S ₁ (mm)	YÜK Q ₂ (kN)	OTURMA S ₂ (mm)	YÜK Q ₁ (kN)	OTURMA S ₁ (mm)	YÜK Q ₂ (kN)	OTURMA S ₂ (mm)	YÜK Q ₁ (kN)	OTURMA S ₁ (mm)	YÜK Q ₂ (kN)	OTURMA S ₂ (mm)	YÜK Q ₁ (kN)	OTURMA S ₁ (mm)	YÜK Q ₂ (kN)	OTURMA S ₂ (mm)
190	0.03	190	0.03	188	0.04	120	0	120	0.03	120	0.01	120	0.02	130	0.03
380	0.07	380	0.08	376	0.1	240	0.02	240	0.11	240	0.02	240	0.05	280	0.07
570	0.12	570	0.13	564	0.14	360	0.07	360	0.16	360	0.04	360	0.07	390	0.12
760	0.175	760	0.2	752	0.2	480	0.12	480	0.24	480	0.06	480	0.11	520	0.17
950	0.23	950	0.25	940	0.27	600	0.2	600	0.3	600	0.08	600	0.14	650	0.23
1140	0.3	1140	0.32	1128	0.33	720	0.28	720	0.37	720	0.12	720	0.17	780	0.3
1330	0.37	1330	0.38	1316	0.4	840	0.39	840	0.45	840	0.16	840	0.2	910	0.36
1520	0.45	1520	0.46	1504	0.46	960	0.48	960	0.51	960	0.2	960	0.23	1040	0.44
1710	0.52	1710	0.54	1692	0.55	1080	0.6	1080	0.6	1080	0.24	1080	0.3	1170	0.5
1900	0.6	1900	0.63	1880	0.64	1200	0.71	1200	0.69	1200	0.3	1200	0.33	1300	0.58
1425	0.55	2090	0.71	1410	0.57	900	0.7	900	0.81	900	0.27	1320	0.36	975	0.46
950	0.4	2280	0.81	940	0.43	600	0.62	600	0.96	600	0.23	1440	0.4	650	0.36
475	0.29	2470	1.05	470	0.26	300	0.44	300	1.08	300	0.13	1560	0.47	325	0.24
0	0.1	2660	1.2	0	0.14	0	0.19	0	1.24	0	0.04	1680	0.55	0	0.1
		2850	1.45	2820	1.1	1800	1.37	1800	1.37	1800	0.65	1800	0.65	1950	1.12
		2375	1.22	2350	0.96	1500	1.35	1500	1.35	1500	0.53	1500	0.53	1625	0.92
		1900	1.03	1880	0.81	1200	1.25	1200	1.25	1200	0.46	1200	0.46	1300	0.78
		1425	0.8	1410	0.66	900	1.09	900	1.09	900	0.37	900	0.37	975	0.63
		950	0.64	940	0.49	600	0.87	600	0.87	600	0.28	600	0.28	650	0.61
		475	0.35	470	0.31	300	0.6	300	0.6	300	0.15	300	0.15	325	0.37
		0	15	0	0.24	0	0.27	0	0.27	0	0.04	0	0.04	0	0.14

D1 TEST KAZIĞI İÇİN KAZIK YÜKLEME DENEY TABLOSU

1. Y Ü K L E M E					2. Y Ü K L E M E				
SAAT	YÜK (kN)	I. KOMP. OKUMASI (mm)	II. KOMP. OKUMASI (mm)	ORTALAMA DEPLASMAN (mm)	SAAT	YÜK (kN)	I. KOMP. OKUMASI (mm)	II. KOMP. OKUMASI (mm)	ORTALAMA DEPLASMAN (mm)
11.00	190	0.01	0.04	0.03	12.40	190	0.01	0.03	0.02
11.05	190	0.02	0.04	0.03	12.45	190	0.04	0.04	0.04
11.05	380	0.08	0.08	0.07	12.45	380	0.05	0.07	0.06
11.10	380	0.07	0.07	0.07	12.50	380	0.08	0.12	0.10
11.10	570	0.10	0.12	0.11	12.50	570	0.11	0.13	0.12
11.15	570	0.13	0.13	0.13	12.55	570	0.14	0.11	0.14
11.15	760	0.14	0.16	0.15	12.55	760	0.19	0.17	0.18
11.20	760	0.20	0.20	0.20	13.00	760	0.20	0.24	0.22
11.20	950	0.22	0.22	0.22	13.00	950	0.23	0.23	0.23
11.25	950	0.23	0.25	0.24	13.05	950	0.25	0.29	0.27
11.25	1140	0.24	0.30	0.27	13.05	1140	0.30	0.32	0.31
11.30	1140	0.29	0.37	0.33	13.10	1140	0.31	0.35	0.33
11.30	1330	0.35	0.39	0.37	13.10	1330	0.35	0.39	0.37
11.35	1330	0.36	0.37	0.37	13.15	1330	0.38	0.40	0.39
11.35	1520	0.40	0.46	0.43	13.15	1520	0.44	0.45	0.44
11.40	1520	0.45	0.49	0.47	13.20	1520	0.46	0.50	0.48
11.40	1710	0.51	0.52	0.51	13.20	1710	0.51	0.55	0.53
11.45	1710	0.50	0.56	0.53	13.25	1710	0.54	0.56	0.55
11.45	1900	0.58	0.62	0.60	13.25	1900	0.60	0.62	0.61
11.50	1900	0.61	0.61	0.61	13.30	1900	0.64	0.64	0.64
11.50	1425	0.50	0.60	0.55	13.30	2090	0.67	0.73	0.70
11.55	1425	0.54	0.55	0.55	13.35	2090	0.70	0.74	0.72
12.00	1425	0.53	0.55	0.54	13.35	2280	0.78	0.80	0.79
12.00	950	0.40	0.43	0.41	13.40	2280	0.81	0.84	0.83
12.05	950	0.40	0.40	0.40	13.40	2470	1.00	1.05	1.03
12.10	950	0.37	0.41	0.39	13.45	2470	1.07	1.06	1.07
12.10	475	0.27	0.27	0.27	13.45	2660	1.10	1.19	1.15
12.15	475	0.27	0.30	0.29	13.50	2660	1.21	1.30	1.25
12.20	475	0.28	0.30	0.29	13.50	2850	1.43	1.37	1.40
12.20	0	0.06	0.10	0.08	13.55	2850	1.50	1.50	1.50
12.25	0	0.11	0.13	0.12	13.55	2375	1.24	1.28	1.26
12.30	0	0.10	0.10	0.10	14.00	2375	1.16	1.20	1.18
					14.00	2375	1.20	1.25	1.22
					14.05	1900	1.03	1.03	1.03
					14.05	1900	1.03	1.07	1.05
					14.10	1900	1.00	1.02	1.01
					14.10	1425	0.58	0.62	0.60
					14.15	1425	1.00	1.00	1.00
					14.15	1425	0.80	0.78	0.79
					14.20	950	0.60	0.60	0.60
					14.20	950	0.66	0.71	0.69
					14.25	950	0.63	0.67	0.65
					14.25	475	0.35	0.35	0.35
					14.30	475	0.33	0.37	0.35
					14.30	475	0.34	0.36	0.35
					14.35	0	0.13	0.17	0.15
					14.35	0	0.12	0.16	0.14
					14.40	0	0.15	0.15	0.15

D2 TEST KAZIĞI İÇİN KAZIK YÜKLEME DENEY TABLOSU

1. Y Ü K L E M E					2. Y Ü K L E M E				
SAAT	YÜK (kN)	I. KOMP. OKUMASI (mm)	II. KOMP. OKUMASI (mm)	ORTALAMA DEPLASMAN (mm)	SAAT	YÜK (kN)	I. KOMP. OKUMASI (mm)	II. KOMP. OKUMASI (mm)	ORTALAMA DEPLASMAN (mm)
11.00	188	0.06	0.04	0.05	12.30	188	0.03	0.03	0.03
11.05	188	0.07	0.05	0.06	12.35	188	0.05	0.03	0.04
11.05	376	0.09	0.07	0.08	12.35	376	0.09	0.06	0.08
11.10	376	0.10	0.08	0.09	12.40	376	0.10	0.10	0.10
11.10	564	0.13	0.10	0.12	12.40	564	0.14	0.12	0.13
11.15	564	0.15	0.12	0.14	13.45	564	0.15	0.13	0.14
11.15	752	0.17	0.15	0.16	13.45	752	0.20	0.16	0.18
11.20	752	0.24	0.20	0.22	13.50	752	0.22	0.18	0.20
11.20	940	0.25	0.21	0.23	13.50	940	0.26	0.24	0.25
11.25	940	0.28	0.26	0.27	13.55	940	0.28	0.26	0.27
11.25	1128	0.32	0.28	0.30	13.55	1128	0.35	0.29	0.32
11.30	1128	0.35	0.31	0.33	14.00	1128	0.36	0.30	0.33
11.30	1316	0.38	0.36	0.37	14.00	1316	0.40	0.35	0.38
11.35	1316	0.40	0.40	0.40	14.05	1316	0.43	0.38	0.41
11.35	1504	0.44	0.46	0.45	14.05	1504	0.48	0.46	0.47
11.40	1504	0.45	0.47	0.48	14.10	1504	0.52	0.48	0.50
11.40	1692	0.48	0.52	0.50	14.10	1692	0.55	0.53	0.54
11.45	1692	0.54	0.56	0.55	14.15	1692	0.57	0.55	0.56
11.45	1880	0.58	0.61	0.60	14.15	1880	0.63	0.61	0.62
11.50	1880	0.62	0.66	0.64	14.20	1880	0.64	0.62	0.63
11.50	1410	0.58	0.60	0.59	14.20	2068	0.69	0.67	0.68
11.55	1410	0.56	0.58	0.57	14.25	2068	0.70	0.68	0.69
12.00	1410	0.53	0.58	0.58	14.25	2256	0.75	0.73	0.74
12.00	940	0.50	0.48	0.49	14.30	2256	0.77	0.75	0.76
12.05	940	0.48	0.44	0.46	14.30	2444	0.82	0.80	0.81
12.10	940	0.45	0.41	0.43	14.35	2444	0.83	0.81	0.82
12.10	470	0.30	0.34	0.32	14.35	2632	0.90	0.87	0.89
12.15	470	0.29	0.29	0.29	14.40	2632	0.95	0.93	0.94
12.20	470	0.27	0.25	0.26	14.40	2820	1.10	1.05	1.08
12.20	0	0.20	0.18	0.19	14.45	2820	1.12	1.07	1.10
12.25	0	0.18	0.16	0.17	14.45	2350	1.03	0.97	1.00
12.30	0	0.14	0.12	0.13	14.50	2350	1.00	0.98	0.99
					14.55	2350	0.97	0.95	0.96
					14.55	1880	0.90	0.88	0.89
					15.00	1880	0.84	0.82	0.83
					15.05	1880	0.82	0.80	0.81
					15.05	1410	0.70	0.72	0.71
					15.10	1410	0.67	0.65	0.66
					15.15	1410	0.67	0.65	0.66
					15.15	940	0.60	0.56	0.58
					15.20	940	0.54	0.50	0.52
					15.25	940	0.50	0.48	0.49
					15.25	470	0.40	0.38	0.39
					15.30	470	0.30	0.32	0.31
					15.35	470	0.27	0.29	0.28
					15.35	0	0.16	0.14	0.15
					15.4	0	0.13	0.11	0.12
					15.45	0	0.13	0.11	0.12
					16.45	0	0.08	0.10	0.09

D3 TEST KAZIĞI İÇİN KAZIK YÜKLEME DENEY TABLOSU

1. YÜKLEME					2. YÜKLEME				
SAAT	YÜK (kN)	I. KOMP. OKUMASI (mm)	II. KOMP. OKUMASI (mm)	ORTALAMA DEPLASMAN (mm)	SAAT	YÜK (kN)	I. KOMP. OKUMASI (mm)	II. KOMP. OKUMASI (mm)	ORTALAMA DEPLASMAN (mm)
11.15	120	0.00	0.00	0.00	12.50	120	0.01	0.06	0.03
11.20	120	0.00	0.00	0.00	12.55	120	0.01	0.06	0.03
11.20	240	0.005	0.03	0.01	12.55	240	0.07	0.12	0.10
11.25	240	0.005	0.04	0.02	13.00	240	0.08	0.13	0.11
11.25	360	0.01	0.09	0.05	13.00	360	0.11	0.195	0.15
11.30	360	0.035	0.105	0.07	13.05	360	0.12	0.20	0.16
11.30	480	0.05	0.17	0.11	13.05	480	0.20	0.265	0.23
11.35	480	0.06	0.18	0.12	13.10	480	0.21	0.275	0.24
11.35	600	0.11	0.26	0.18	13.10	600	0.27	0.355	0.31
11.40	600	0.125	0.28	0.20	13.15	600	0.28	0.36	0.32
11.40	720	0.17	0.35	0.26	13.15	720	0.31	0.42	0.36
11.45	720	0.195	0.37	0.28	13.20	720	0.32	0.425	0.37
11.45	840	0.25	0.46	0.36	13.20	840	0.37	0.495	0.43
11.50	840	0.28	0.485	0.38	13.25	840	0.39	0.50	0.45
11.50	960	0.34	0.545	0.44	13.25	960	0.43	0.56	0.50
11.55	960	0.385	0.58	0.48	13.30	960	0.445	0.565	0.51
11.55	1080	0.45	0.67	0.56	13.30	1080	0.50	0.65	0.58
12.00	1080	0.495	0.705	0.60	13.35	1080	0.52	0.67	0.60
12.00	1200	0.54	0.80	0.67	13.35	1200	0.55	0.76	0.66
12.05	1200	0.58	0.835	0.71	13.40	1200	0.58	0.795	0.69
12.05	900	0.56	0.83	0.70	13.40	1320	0.63	0.875	0.75
12.15	900	0.58	0.83	0.70	13.45	1320	0.69	0.92	0.81
12.15	600	0.54	0.695	0.61	13.45	1440	0.76	1.035	0.90
12.20	600	0.535	0.69	0.61	13.50	1440	0.81	1.10	0.96
12.25	600	0.53	0.69	0.61	13.50	1560	0.88	1.17	1.03
12.25	300	0.40	0.505	0.45	13.55	1560	0.935	1.215	1.08
12.30	300	0.395	0.50	0.45	13.55	1680	1.02	1.31	1.17
12.35	300	0.38	0.49	0.44	14.00	1680	1.08	1.40	1.24
12.35	0	0.14	0.26	0.20	14.00	1800	1.14	1.50	1.32
12.40	0	0.13	0.25	0.19	14.00	1800	1.19	1.55	1.37
12.45	0	0.125	0.25	0.19	14.05	1500	1.19	1.535	1.36
					14.10	1500	1.19	1.535	1.36
					14.15	1500	1.19	1.535	1.36
					14.15	1200	1.15	1.39	1.27
					14.20	1200	1.145	1.38	1.26
					14.25	1200	1.145	1.37	1.25
					14.25	900	1.03	1.18	1.10
					14.30	900	1.02	1.17	1.09
					14.35	900	1.02	1.16	1.08
					14.35	600	0.84	0.84	0.88
					14.40	600	0.825	0.92	0.87
					14.45	600	0.82	0.82	0.87
					14.45	300	0.59	0.68	0.64
					14.50	300	0.58	0.65	0.62
					14.55	300	0.57	0.64	0.60
					14.55	0	0.25	0.35	0.30
					15.00	0	0.24	0.34	0.29
					15.50	0	0.22	0.31	0.27

D4 TEST KAZIĞI İÇİN KAZIK YÜKLEME DENEY TABLOSU

1. Y Ü K L E M E					2. Y Ü K L E M E				
SAAT	YÖK (kN)	I. KOMP. OKUMASI (mm)	II. KOMP. OKUMASI (mm)	ORTALAMA DEPLASMAN (mm)	SAAT	YÖK (kN)	I. KOMP. OKUMASI (mm)	II. KOMP. OKUMASI (mm)	ORTALAMA DEPLASMAN (mm)
10.45	120	0.00	0.00	0.00	12.18	120	0.02	0.01	0.02
10.50	120	0.00	0.01	0.01	12.20	120	0.02	0.01	0.02
10.51	240	0.00	0.025	0.01	12.21	240	0.03	0.035	0.03
10.55	240	0.01	0.03	0.02	12.25	240	0.055	0.05	0.05
10.58	360	0.01	0.05	0.03	12.28	360	0.07	0.085	0.07
11.00	360	0.02	0.05	0.04	12.30	360	0.08	0.085	0.07
11.01	480	0.03	0.075	0.05	12.31	480	0.10	0.095	0.10
11.05	480	0.04	0.08	0.05	12.35	480	0.12	0.10	0.11
11.06	600	0.055	0.11	0.08	12.38	600	0.14	0.125	0.13
11.10	600	0.085	0.115	0.09	12.40	600	0.15	0.13	0.14
11.11	720	0.085	0.14	0.11	12.41	720	0.17	0.15	0.18
11.15	720	0.10	0.15	0.12	12.45	720	0.18	0.155	0.17
11.18	840	0.12	0.17	0.15	12.48	840	0.20	0.18	0.19
11.20	840	0.14	0.185	0.16	12.50	840	0.22	0.18	0.20
11.21	860	0.16	0.20	0.18	12.51	860	0.235	0.20	0.22
11.25	860	0.18	0.215	0.20	12.55	860	0.245	0.205	0.23
11.28	1080	0.22	0.25	0.23	12.58	1080	0.27	0.245	0.26
11.30	1080	0.225	0.26	0.24	13.00	1080	0.28	0.265	0.28
11.31	1200	0.26	0.30	0.28	13.01	1200	0.32	0.29	0.30
11.35	1200	0.28	0.315	0.30	13.05	1200	0.35	0.28	0.32
11.38	800	0.28	0.31	0.30	13.08	1320	0.385	0.315	0.34
11.45	800	0.28	0.31	0.30	13.10	1320	0.385	0.335	0.36
11.45	600	0.20	0.28	0.23	13.11	1440	0.415	0.365	0.38
11.55	600	0.185	0.28	0.23	13.15	1440	0.43	0.38	0.41
11.58	300	0.11	0.18	0.15	13.18	1560	0.46	0.41	0.43
12.05	300	0.095	0.17	0.13	13.20	1560	0.48	0.435	0.48
12.05	0	0.00	0.09	0.05	13.21	1680	0.51	0.47	0.48
12.15	0	0.00	0.075	0.04	13.25	1680	0.54	0.50	0.52
					13.28	1800	0.585	0.525	0.54
					13.30	1800	0.60	0.55	0.58
					13.31	1500	0.57	0.57	0.57
					13.35	1500	0.51	0.57	0.54
					13.40	1500	0.50	0.57	0.53
					13.40	1200	0.43	0.50	0.47
					13.45	1200	0.43	0.50	0.47
					13.50	1200	0.425	0.50	0.46
					13.50	900	0.345	0.425	0.38
					13.55	900	0.345	0.415	0.38
					14.00	800	0.34	0.405	0.37
					14.00	600	0.24	0.315	0.28
					14.05	600	0.24	0.315	0.28
					14.10	600	0.24	0.31	0.28
					14.10	300	0.11	0.20	0.16
					14.15	300	0.11	0.195	0.15
					14.20	300	0.11	0.185	0.15
					14.20	0	0.00	0.08	0.04
					15.20	0	0.00	0.04	0.02

D6 TEST KAZIĞI İÇİN KAZIK YÜKLEME DENEY TABLOSU

1. Y Ü K L E M E					2. Y Ü K L E M E				
SAAT	YÜK (kN)	I. KOMP. OKUMASI (mm)	II. KOMP. OKUMASI (mm)	ORTALAMA DEPLASMAN (mm)	SAAT	YÜK (kN)	I. KOMP. OKUMASI (mm)	II. KOMP. OKUMASI (mm)	ORTALAMA DEPLASMAN (mm)
9.25	130	0.04	0.02	0.03	11.00	130	0.03	0.04	0.04
9.30	130	0.04	0.02	0.03	11.05	130	0.04	0.04	0.04
9.30	260	0.07	0.05	0.06	11.05	260	0.08	0.07	0.08
9.35	260	0.08	0.05	0.07	11.10	260	0.08	0.07	0.08
9.35	390	0.13	0.11	0.12	11.10	390	0.13	0.11	0.12
9.40	390	0.13	0.11	0.12	11.15	390	0.13	0.11	0.12
9.40	520	0.17	0.16	0.17	11.15	520	0.20	0.20	0.20
9.45	520	0.17	0.16	0.17	11.20	520	0.20	0.20	0.20
9.45	650	0.24	0.22	0.23	11.20	650	0.22	0.25	0.24
9.50	650	0.24	0.22	0.23	11.25	650	0.22	0.25	0.24
9.50	780	0.31	0.29	0.30	11.25	780	0.29	0.34	0.32
9.55	780	0.31	0.29	0.30	11.30	780	0.30	0.39	0.32
9.55	910	0.36	0.34	0.35	11.30	910	0.33	0.44	0.39
10.00	910	0.37	0.34	0.36	11.35	910	0.34	0.44	0.39
10.00	1040	0.45	0.41	0.43	11.35	1040	0.40	0.52	0.46
10.05	1040	0.46	0.41	0.44	11.40	1040	0.40	0.55	0.46
10.05	1170	0.51	0.46	0.48	11.40	1170	0.42	0.57	0.50
10.10	1170	0.51	0.46	0.48	11.45	1170	0.43	0.60	0.52
10.10	1300	0.55	0.52	0.53	11.45	1300	0.49	0.63	0.56
10.15	1300	0.57	0.52	0.55	11.50	1300	0.52	0.63	0.58
10.15	975	0.54	0.45	0.50	11.50	1430	0.56	0.69	0.65
10.20	975	0.52	0.41	0.47	11.55	1430	0.56	0.69	0.65
10.25	975	0.51	0.41	0.46	11.55	1560	0.64	0.69	0.67
10.25	650	0.35	0.29	0.35	12.00	1560	0.67	0.87	0.75
10.30	650	0.35	0.29	0.35	12.00	1690	0.75	0.90	0.83
10.35	650	0.35	0.29	0.35	12.05	1690	0.85	0.91	0.85
10.35	325	0.32	0.21	0.24	12.05	1820	0.93	1.06	0.91
10.40	325	0.32	0.21	0.24	12.10	1820	0.93	1.06	0.95
10.45	325	0.32	0.21	0.24	12.10	1950	0.96	1.07	1.02
10.45	0	0.19	0.10	0.15	12.15	1950	0.96	1.07	1.02
10.50	0	0.17	0.09	0.13	12.15	1625	0.90	1.04	0.97
10.55	0	0.16	0.08	0.10	12.20	1625	0.88	1.00	0.94
					12.25	1625	0.88	0.96	0.92
					12.25	1300	0.70	0.77	0.85
					12.30	1300	0.62	0.75	0.81
					12.35	1300	0.62	0.73	0.78
					12.35	975	0.57	0.71	0.64
					12.40	975	0.55	0.71	0.63
					12.45	975	0.55	0.70	0.63
					12.45	650	0.53	0.62	0.56
					12.50	650	0.49	0.60	0.55
					12.55	650	0.47	0.54	0.51
					12.55	325	0.41	0.52	0.47
					13.00	325	0.40	0.50	0.45
					13.05	325	0.32	0.41	0.37
					13.05	0	0.19	0.32	0.26
					14.05	0	0.10	0.17	0.14

**EK 4 : TEST KAZIKLARININ BULUNDUĞU LOKASYONLARA AIT
SONDAJ LOGLARI**

SONDAJ LOKASYONU	Otogar Yaklaşım Köprüsü
SONDAJ NO VE KM	S 1 - S 2 - S 3 ; (0 + 000 - 0 + 150)
SONDAJ MAKİNESİ	Craellius Hd - 500 ; Rotary 3 ^{5/8} inç
SONDAJ TARİHİ	Haziran 1992

DERİNLİK (m)	ZEMİN PROFİLİ	ZEMİN SINIFI	ZEMİN CİNSİ VE ÖZELLİKLERİ	YERALTI SUYU (m)	NUMUNE VE DENEYLER			
					DERİNLİK , (m)	(N ₁)	(N ₂)	(N ₃)
1.00			Kahverengi - grı , Çakıllı , kumlu ve killi YAPAY DOLGU					
2.00					1.50 SPT - 1	7	8	7
3.00			Krem - Beyaz Marn ve koyu kahve rengi organik madde içeren katı		3.00 SPT - 2	5	9	9
4.00			SİTLİ KİL					
5.00					4.50 SPT - 3	7	11	14
6.00			Krem - Beyaz Marn bantlı sarı - yeşil ve az Kumlu		6.00 SPT - 4	10	16	22
7.00			KİL					
8.00					7.50 SPT - 5	18	50 / 12	-
9.00					9.00 SPT - 6	50 / 15	50 / 13	-
10.00								
11.00			Sarımsı yeşil serisitli		10.50 SPT - 7	50 / 15	-	-
12.00			az miktarda çimentolanmış	12.00 m	12.00 SPT - 8	50 / 14	-	-
13.00			Sitli K U M					
14.00					13.50 SPT - 9	50 / 15	-	-
15.00					15.00 SPT - 10	50 / 10	-	-
16.00								
17.00					16.50 SPT - 11	44	50 / 14	-
18.00			Sarımsı - kahverengi		18.00 SPT - 12	50 / 15	-	-
19.00			yer yer FeO ' li					
20.00			az miktarda çimentolanmış		19.50 SPT - 13	50 / 14	-	-
21.00			çok sıkı ve serisitli		21.00 SPT - 14	50 / 15	-	-
22.00			Sitli K U M					
23.00					22.50 SPT - 15	50 / 15	-	-
24.00								
25.00					24.50 SPT - 16	50 / 15	-	-

SONDAJ BİTİMİ

SONDAJ LOKASYONU	Otogar Viyadükleri
SONDAJ NO VE KM	S 8 - S 9 ; (0 + 340 - 0 + 380)
SONDAJ MAKİNESİ	Craelius Hd - 500 ; Rotary 3 ^{5/8} inç
SONDAJ TARİHİ	Mayıs 1992

DERİNLİK (m)	ZEMİN PROFİLİ	ZEMİN SINIFI	ZEMİN CİNSİ VE ÖZELLİKLERİ	YERALTI SUYU (m)	NUMUNE VE DENEYLER						
					DERİNLİK , (m)	(N ₁)	(N ₂)	(N ₃)			
1.00			Kahverengi , kiremit v.b.kırıntılı Kumlu , Killi Y A P A Y D O L G U		2.50 SPT - 1						
2.00											
3.00								7	9	12	
4.00											
5.00			Kahverengi , yer yer siyah organik madde içeren sert Siltli K İ L		4.50 SPT - 2						
6.00											
7.00								10	14	16	
8.00								14	15	20	
9.00			Krem - Beyaz ince Marn bantlı , az miktarda Çakıllı yeşil K İ L	12.00 m	9.00 SPT - 5						
10.00											
11.00								10	12	19	
								30	50 / 15	-	
12.00			Sarımsı kahverengi , çok az Killi serisiltli ve çok sıkı - ince Siltli K U M		12.00 SPT - 7	50 / 15	-	-			
13.00											
14.00								13.50 SPT - 8	36	50 / 20	-
15.00								15.00 SPT - 9	50 / 15	-	-
16.00								16.50 SPT - 10	50 / 15	-	-
17.00								18.00 SPT - 11	50 / 15	-	-
18.00								19.50 SPT - 12	50 / 10	-	-
19.00								21.00 SPT - 13	46	50 / 12	-
20.00						Sarımsı - kahverengi yer yer ince Kil bantlı , serisiltli Siltli K U M		22.50 SPT - 14	50 / 15	-	-
21.00											
22.00											
23.00											
24.00					25.00 SPT - 15				48	50 / 15	-
25.00											

S O N D A J B İ T İ M İ

SONDAJ LOKASYONU	Davutpaşa Viyadükleri
SONDAJ NO VE KM	D 42 - S 5 ; (1 + 800 - 2 + 140)
SONDAJ MAKİNESİ	Creelius D - 900 ; Rotary 3 ^{5/8} inç
SONDAJ TARİHİ	Şubat , Ağustos 1991

DERİNLİK (m)	ZEMİN PROFİLİ	ZEMİN SINIFI	ZEMİN CİNSİ VE ÖZELLİKLERİ	YERALTI SUYU (m)	NUMUNE VE DENEYLER			
					DERİNLİK , (m)	(N ₁)	(N ₂)	(N ₃)
1.00			Kahverengi , kiremit v.b.kırıntılı	5.00 m	1.50 SPT - 1	7	8	4
2.00		Kumlu , Killi YAPAY DOLGU	3.00 SPT - 2		2	3	4	
3.00		Koyu grimsi , yeşil kahverengi çok az miktarda iri Çakıllı az miktarda Kumlu yer yer organik madde içeren orta katı KİL	4.50 SPT - 3		6	6	5	
4.00			5.50 MPT - 1					
5.00			6.00 SPT - 4		6	5	7	
6.00			7.50 SPT - 5		6	7	8	
7.00			9.00 SPT - 6		8	11	17	
8.00		Sarımsı yeşil , yer yer FeO ' li çok katı - sert kumlu KİL	10.00 MPT - 2					
9.00		Yeşilimsi sarı serisitti orta sıklıkta Killi , Siltli KUM	10.50 SPT - 7		7	13	15	
10.00			12.00 SPT - 8		9	12	15	
11.00			13.00 MPT - 3					
12.00			13.50 SPT - 9		5	9	12	
13.00		Grimsi - yeşil , krem - beyaz Marn arabantlı ve çakıllı sert KİL	14.50 MPT - 4					
14.00			15.00 SPT - 10	9	11	15		
15.00		Koyu grimsi çok katı yeşil KİL	16.00 MPT - 5					
16.00			16.50 SPT - 11	11	12	20		
17.00			18.00 SPT - 12	12	11	19		
18.00			19.50 SPT - 13	14	17	20		
19.00								
20.00								

SONDAJ BİTİMİ

SONDAJ LOKASYONU	Davutpaşa Viyadükleri
SONDAJ NO VE KM	S 6 - S 7 ; (2 + 260 - 2 + 390)
SONDAJ MAKİNESİ	Craelius D - 900 ; Rotary 3 ^{5/8} inç
SONDAJ TARİHİ	Şubat 1992

DERİNLİK (m)	ZEMİN PROFİLİ	ZEMİN SINIFI	ZEMİN CİNSİ VE ÖZELLİKLERİ	YERALTI SUYU (m)	NUMUNE VE DENEYLER			
					DERİNLİK , (m)	(N ₁)	(N ₂)	(N ₃)
1.00			Koyu kahverengi bloklu - Çakıllı					
2.00			kiremit v.b. parçaları Kumlu		1.50 SPT - 1	4	6	7
3.00			YAPAY DOLGU		3.00 SPT - 2	4	5	6
4.00			Koyu gri - kahverengi yer yer siyah organik maddeler içeren ve yer yer yeşilimsi - krem renkli az miktarda Marn - Çakıl arabantlı katı yeşil KİL		4.00 UD - 1			
5.00				4.50 SPT - 3	5	7	8	
6.00				6.00 SPT - 4	6	5	7	
7.00				7.00 UD - 2				
8.00				7.50 SPT - 5	5	8	10	
9.00				9.00 SPT - 6	5	6	9	
10.00				10.50 SPT - 7	6	9	11	
11.00				12.00 SPT - 8	6	8	10	
12.00				13.50 SPT - 9	7	9	12	
13.00				15.00 SPT - 10	9	10	16	
14.00								
15.00								
16.00								
17.00			Sarımsı - kahverengi		16.50 SPT - 11	11	13	17
18.00			az miktarda killi serisitli		18.00 SPT - 12	9	12	16
19.00			ince Sitli KUM					
20.00					19.50 SPT - 13	10	15	30

SONDAJ BİTİMİ

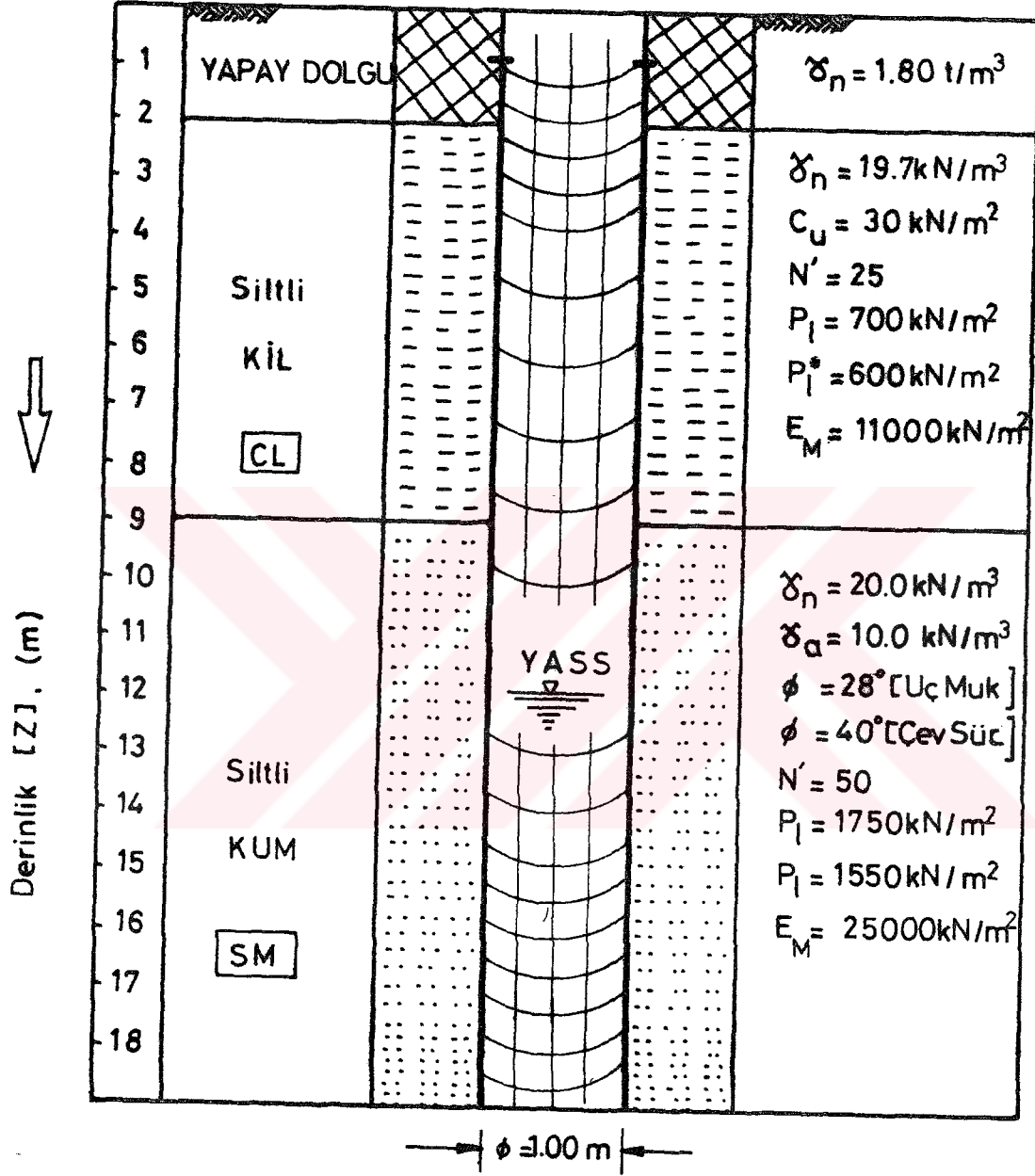
SONDAJ LOKASYONU	Merter Viyadüğü
SONDAJ NO VE KM	S 9 - S 10 ; (3 + 620 - 3 + 890)
SONDAJ MAKİNESİ	Craelius D - 900 ; Rotary 3 ^{5/8} inç
SONDAJ TARİHİ	Şubat 1991

DERİNLİK (m)	ZEMİN PROFİLİ	ZEMİN SINIFI	ZEMİN CİNSİ VE ÖZELLİKLERİ	YERALTI SUYU (m)	NUMUNE VE DENEYLER			
					DERİNLİK , (m)	(N ₁)	(N ₂)	(N ₃)
1.00			Koyu kahverengi - gri kiremit v.b.	8.00	1.50 SPT - 1			
2.00			parçalı çakıllı , bloklu ve kumlu		3.00 SPT - 2	5	5	6
3.00			YAPAY DOLGU		4.00 UD - 1			
4.00			Koyu gri - kahverengi yer yer		4.50 SPT - 3	5	6	5
5.00			çok az miktarda siyah org . madde		5.50 UD - 2			
6.00			İçeren ,ince Marn bantlı KİL		6.00 SPT - 4	8	10	11
7.00					6.50 MPT - 1			
8.00			Yeşil kahverengi yer yer		7.50 SPT - 5	10	7	9
9.00			ince kum ve krem - beyaz		8.50 MPT - 2			
10.00			Marn arabantlı , az miktarda		9.00 SPT - 6	6	9	10
11.00			Çakıllı katı KİL		10.00 MPT - 3			
12.00					10.50 SPT - 7	7	8	10
13.00				12.00 SPT - 8	22	27	35	
14.00				13.50 SPT - 9	22	27	36	
15.00				16.00 MPT - 4				
16.00			Sarımsı - kahverengi çok az	17.50 MPT - 5				
17.00			Killi , yer yer serisitli	18.00 SPT - 11	25	29	35	
18.00			çok sıkı ve ince Siltli KUM	19.50 SPT - 12	20	24	29	
19.00								
20.00								

SONDAJ BİTİMİ

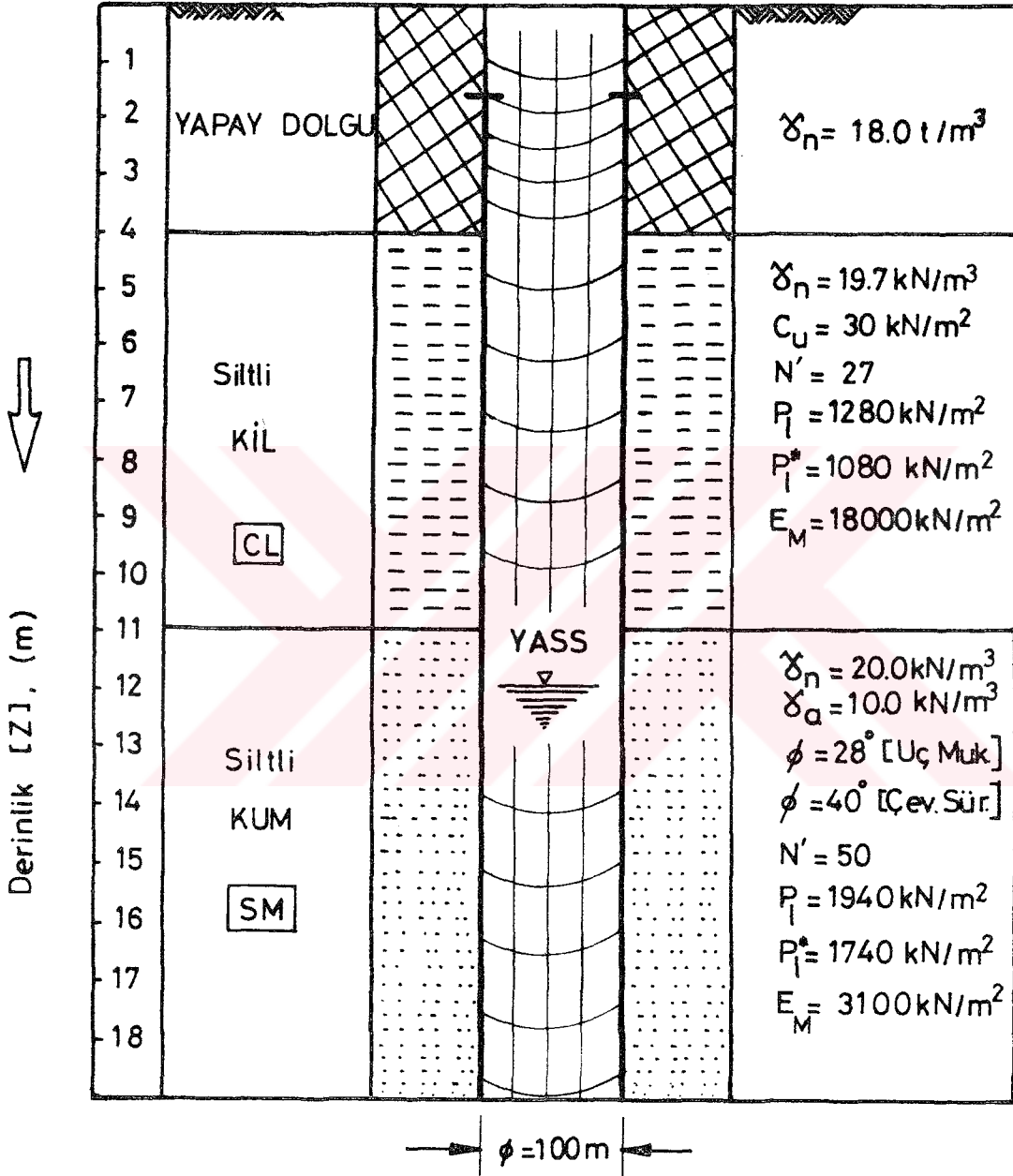
**EK 5 : TEST KAZIKLARI İÇİN TAŞIMA GÜCÜ VE OTURMA HESAPLARINDA
GÖZÖNÜNDE TUTULAN BASİTLEŞTİRİLMİŞ ZEMİN PROFİLİ VE
BAZI GEOTEKNİK PARAMETRELER**

**D1) FORE KAZIĞI İÇİN IDEALLEŞTİRİLMİŞ
ZEMİN PROFİLİ VE GEOTEKNİK PARAMETRELER**



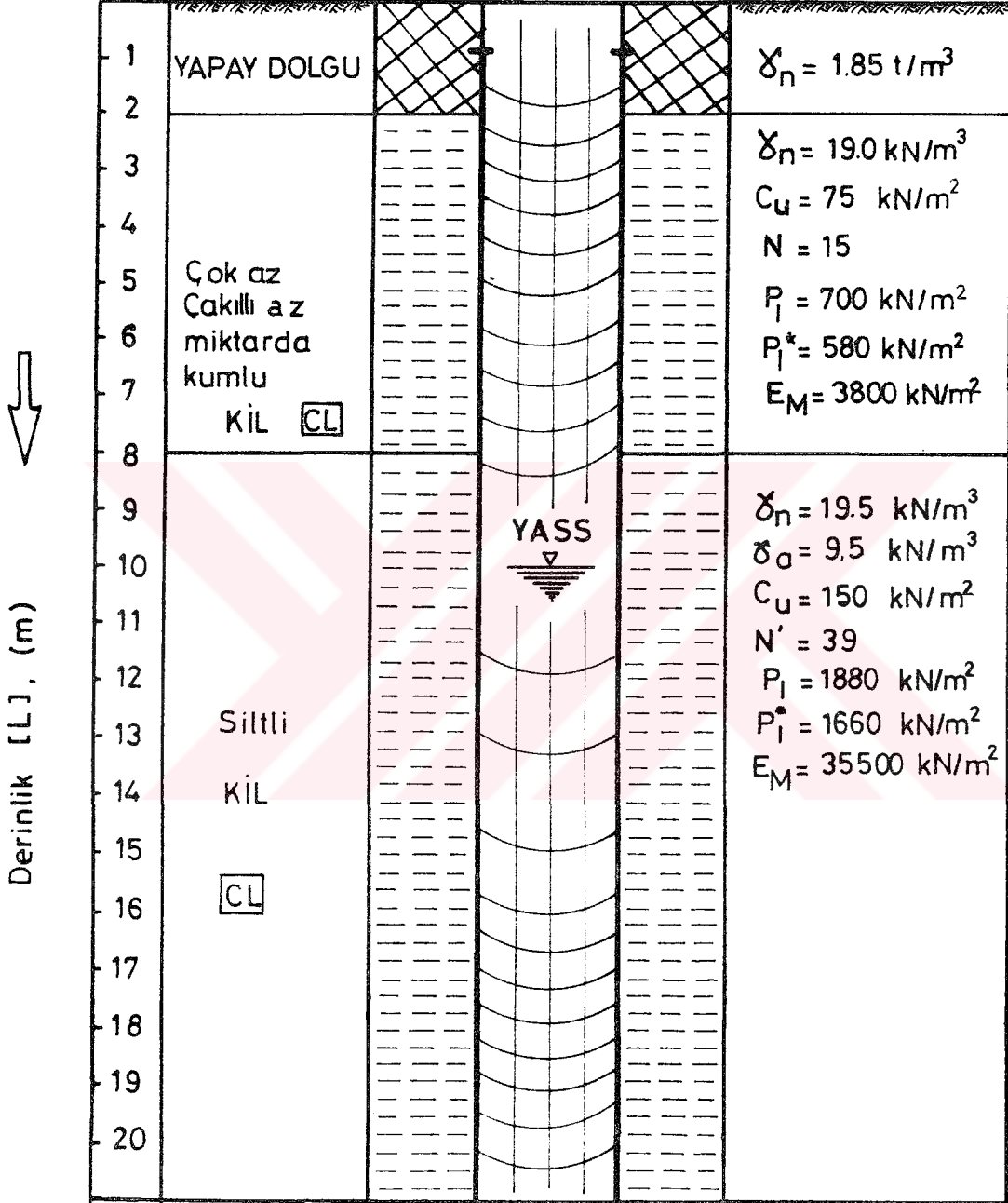
KAZIK ÇAPI	1.00 m
KAZIK BOYU	18m

**D2) FORE KAZIĞI İÇİN İDEALLEŞTİRİLMİŞ
ZEMİN PROFİLİ VE GEOTEKNİK PARAMETRELER**



KAZIK ÇAPI	1.00 m
KAZIK BOYU	17.00 m

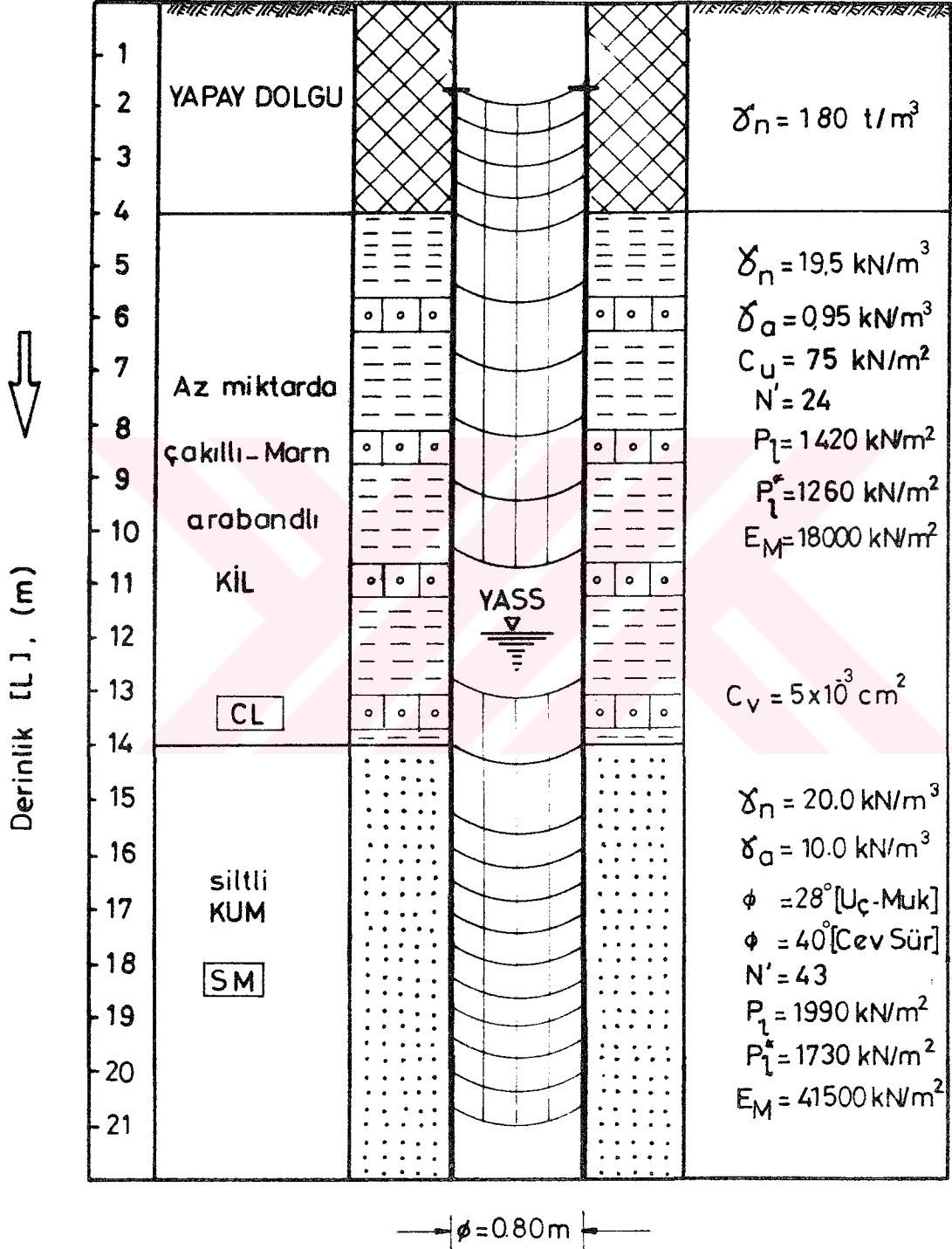
D3 FORE KAZIĞI İÇİN İDEALLEŞTİRİLMİŞ ZEMİN PROFİLİ VE GEOTEKNİK PARAMETRELER



$\phi = 0.80 \text{ m}$

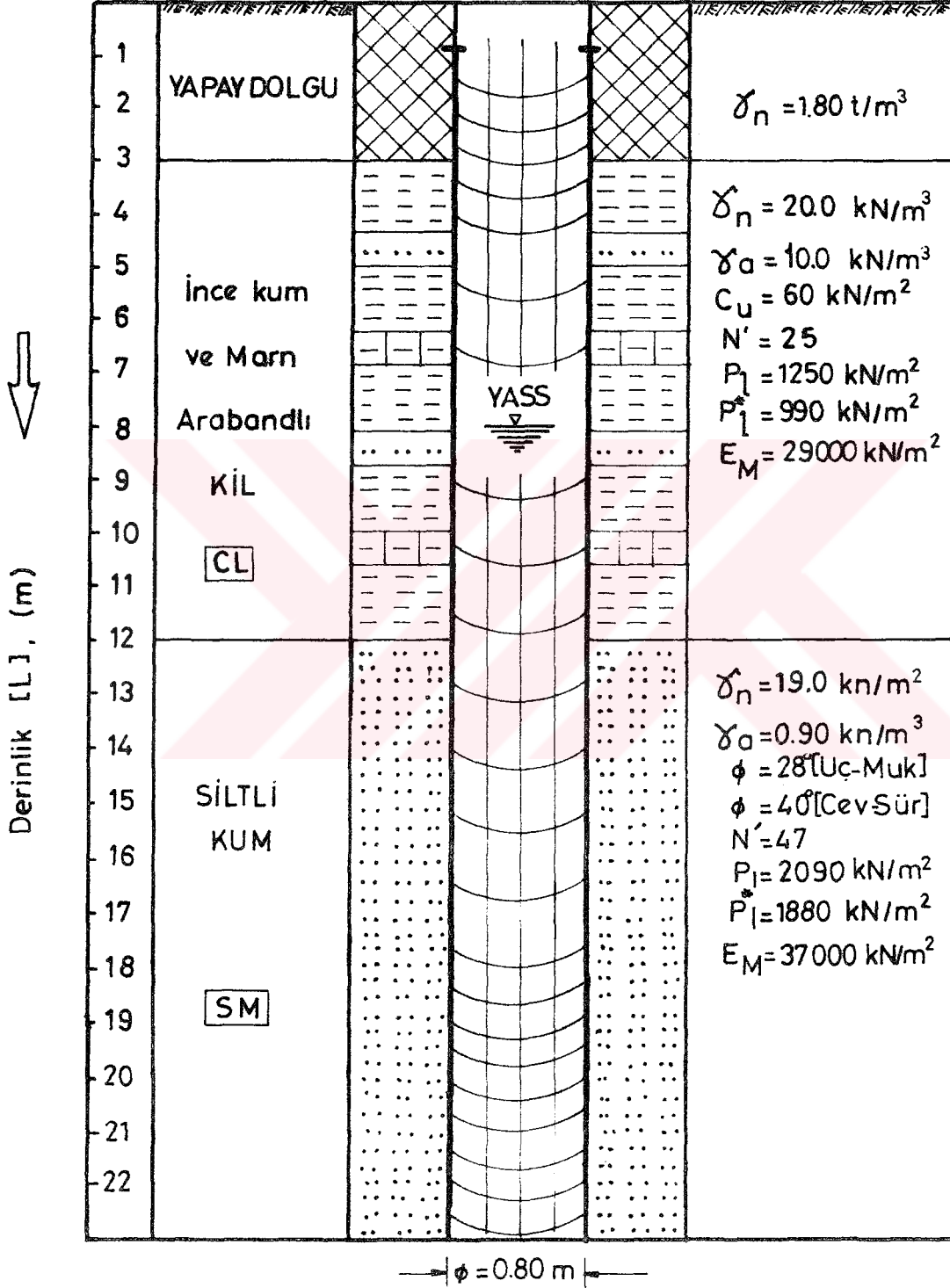
KAZIK ÇAPI	0.80m
KAZIK BOYU	20 m

**D4) FORE KAZIĞI İÇİN İDEALLEŞTİRİLMİŞ
ZEMİN PROFİLİ VE GEOTEKNİK PARAMETRELER**



KAZIK ÇAPI	0,80m
KAZIK BOYU	20m.

05 FORE KAZIĞI İÇİN İDEALLEŞTİRİLMİŞ ZEMİN PROFİLİ VE GEOTEKNİK PARAMETRELER



KAZIK ÇAPı	0.80 m
KAZIK BOYU	22 m

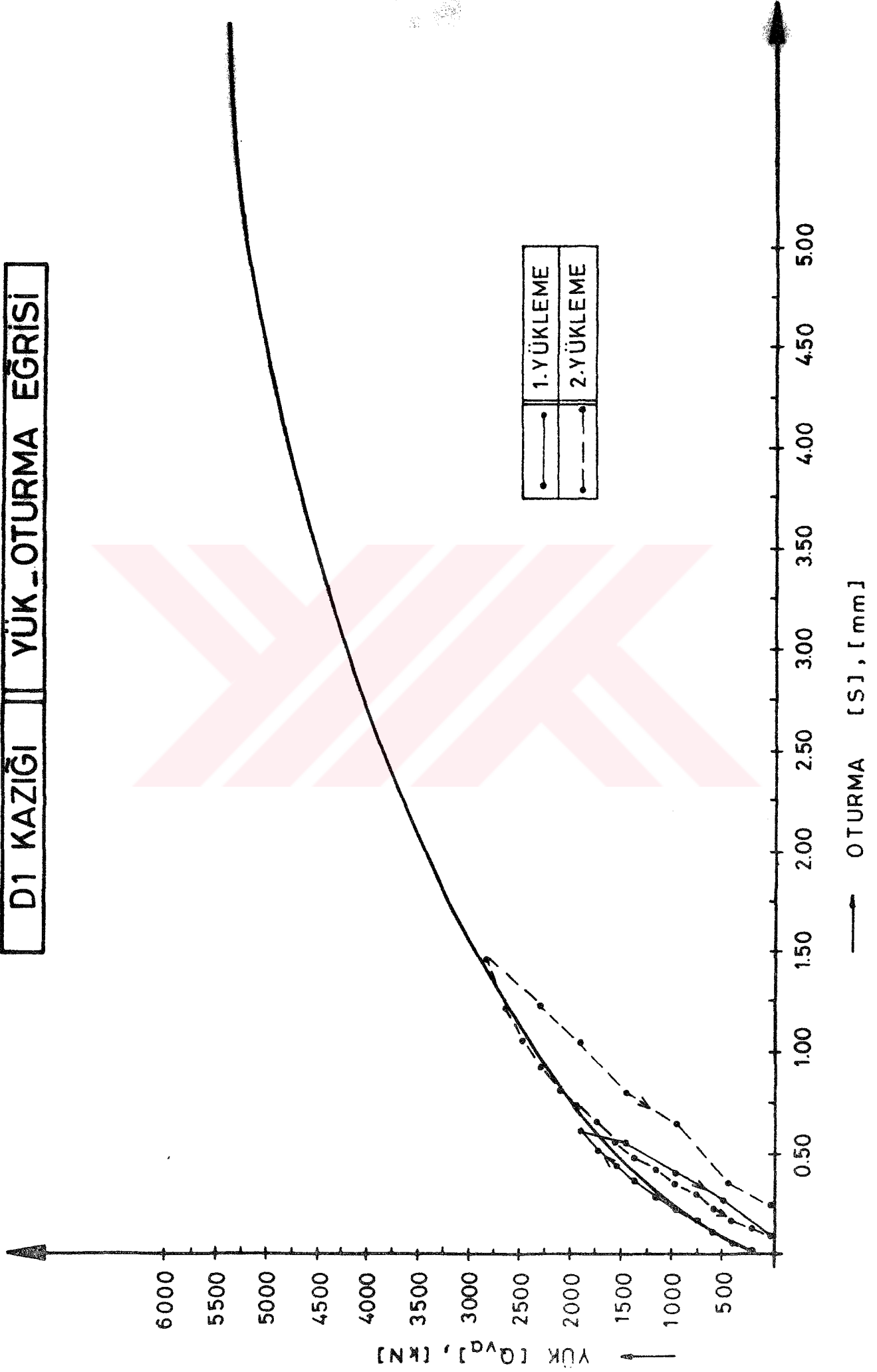
**EK 6 : TEST KAZIKLARININ BULUNDUĞU LOKASYONLARDAN
ALINAN SONDAJ NUMUNULERİ ÜZERİNDE YAPILAN
LABORATUVAR DENEYLERİNİN TOPLU SONUÇLARI**

TEST KAZIKLARININ BULUNDUĞU LOKASYONLARDAN ALINAN SONDAJ NUMUNELERİ ÜZERİNDE YAPILAN LABORATUVAR DENEYLERİNİN SONUÇLARI

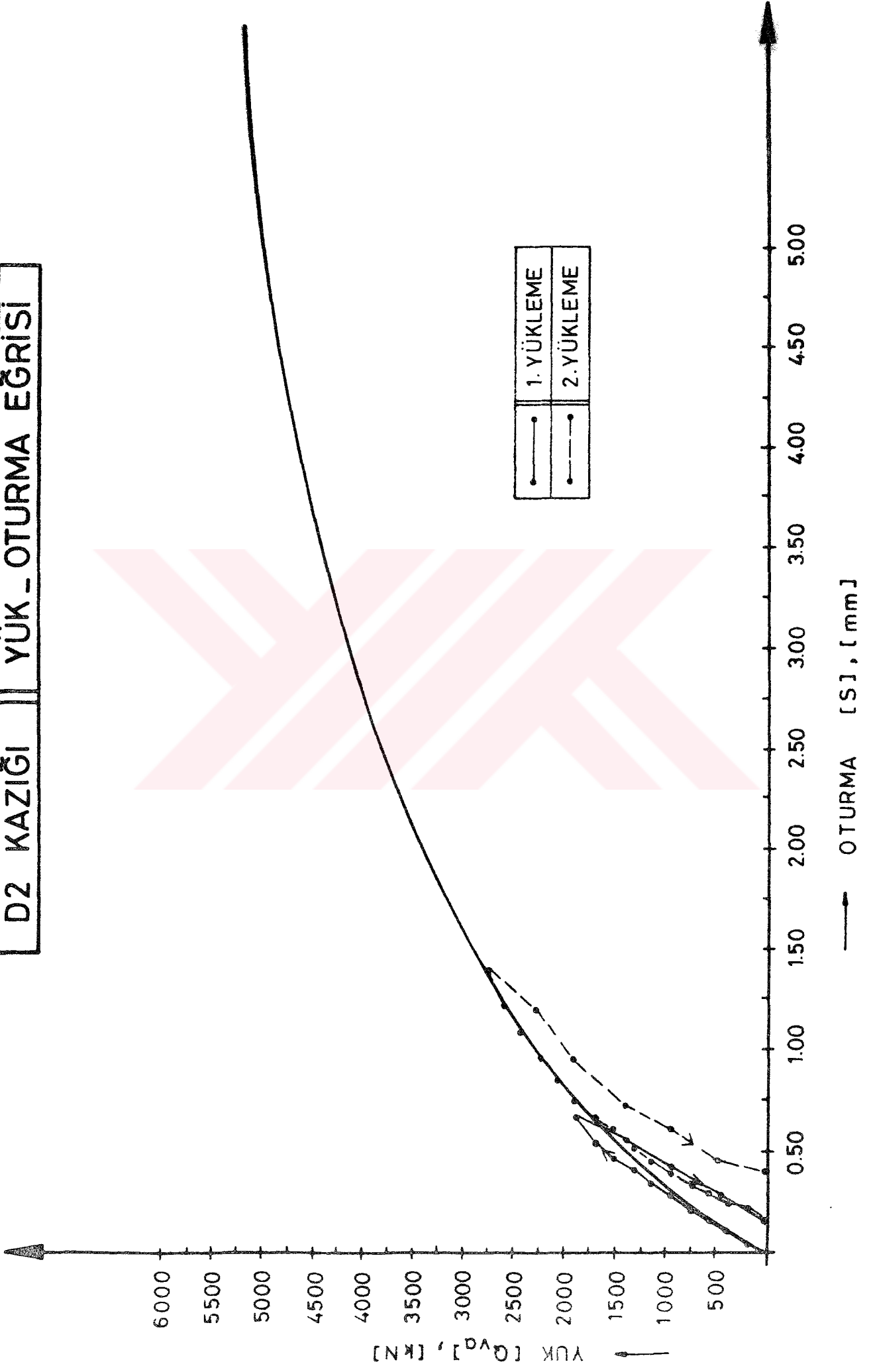
SONDAJ NO	NUMUNE ALINAN DERİNLİK (m)	NUMUNE NO	ELEK ANALİZİ				HİDROMETRE ANALİZİ		ZEMİN SINIFI	ATTERBERG LİMİTLERİ			TABİİ SU İÇERİĞİ (W _n) (%)	TABİİ BRÜM AĞIRLIK (LN / m ³)	ÖZGÜL AĞIRLIK (G _s) (LN / m ³)	DİREKT KESİME DAYANIMI		KONSOLIDASYON DENEYİ		ÜÇ EKSENLİ BASINÇ DENEYİ		
			(No.4 DİSTD) (%)	(No.4 - No.200) (%)	(No.200 ALTI) (%)	SİLT KİL (%)	(LL) (%)	(PL) (%)		(PI) (%)	(C _c)	(C _u)				(e _v) (mm)	(C _c)	(C _u)	(C _u)	(C _u)	(C _u)	(C _u)
			(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)		(%)	(%)	(%)				(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
S 1	3.00 - 3.45	SPT - 1	7.6	6.9		44.0	41.5	CH	55	19	30	31		2.65								
S 1	4.50 - 4.95	SPT - 2	18.0	18.0		50.5	33.5	CL	45	15	30	28		2.76								
S 1	7.50 - 7.95	SPT - 4	3.4	45.9		37.2	13.5	CL	37	15	22	26		2.64								
S 1	13.50 - 13.95	SPT - 8		70.2		23.8	6.0	SC	31	16	14			2.59								
S 1	18.0 - 18.45	SPT - 11		72.1		21.9	6.0	SM	N P					2.62								
S 2	4.50 - 4.95	SPT - 3		20.8		39.2	43.0	CL	44	16	28	26		2.77								
S 2	7.50 - 7.95	SPT - 5	1.2	42.7		26.1	26.0	CL	33	13	20	26		2.64								
S 2	9.00 - 9.45	SPT - 6		14.2		32.3	53.5	CL	45	17	28	26		2.72								
S 2	10.50 - 10.95	SPT - 7	2.4	30.1		25.5	42.0	CL	36	13	23	22		2.68								
S 2	15.00 - 15.45	SPT - 10		65.2		26.8	8.0	SM	N P					2.61								
S 2	19.50 - 19.95	SPT - 13		82.2		12.8	5.0	SM	N P					2.60								
S 3	5.00 - 5.50	UD - 1		41.1		25.9	33.0	CH	60	20	40	21	2.05	2.76				0.2	0.008	0.15	22	
S 3	6.00 - 6.45	SPT - 4	2.8	44.8		25.4	27.0	CL	35	14	21	20		2.63						0.13	17	
S 3	13.50 - 13.95	SPT - 9		6.0		44.0	50.0	CH	64	20	45	38	1.98	2.76			0.27	25				
S 3	19.50 - 19.95	SPT - 13		68.6		25.4	8.0	SM	N P					2.60								

EK 7 : TEST KAZIKLARINA AIT YÜK - OTURMA EGRILERI

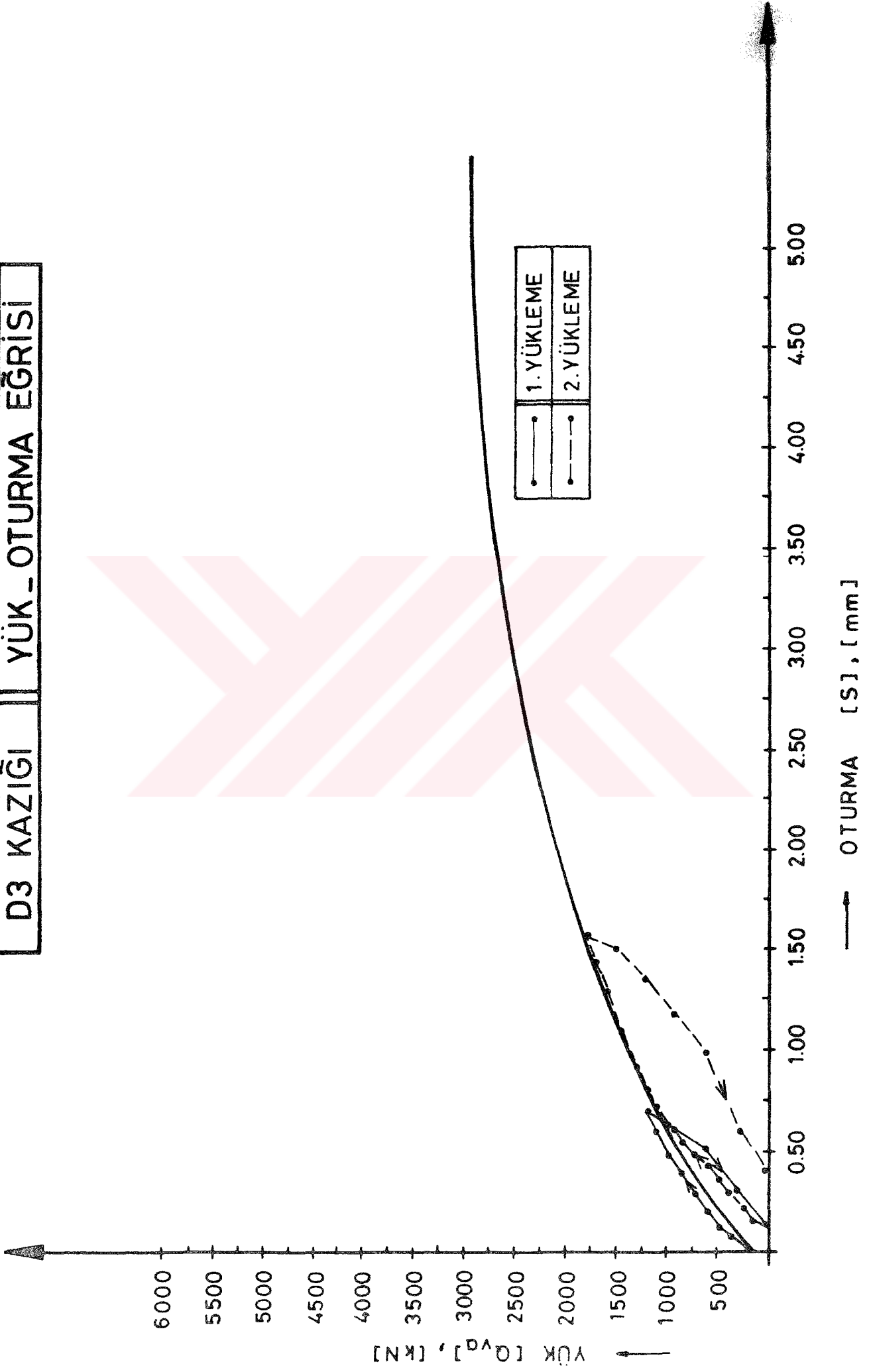
D1 KAZIĞI YÜK OTURMA EĞRİSİ



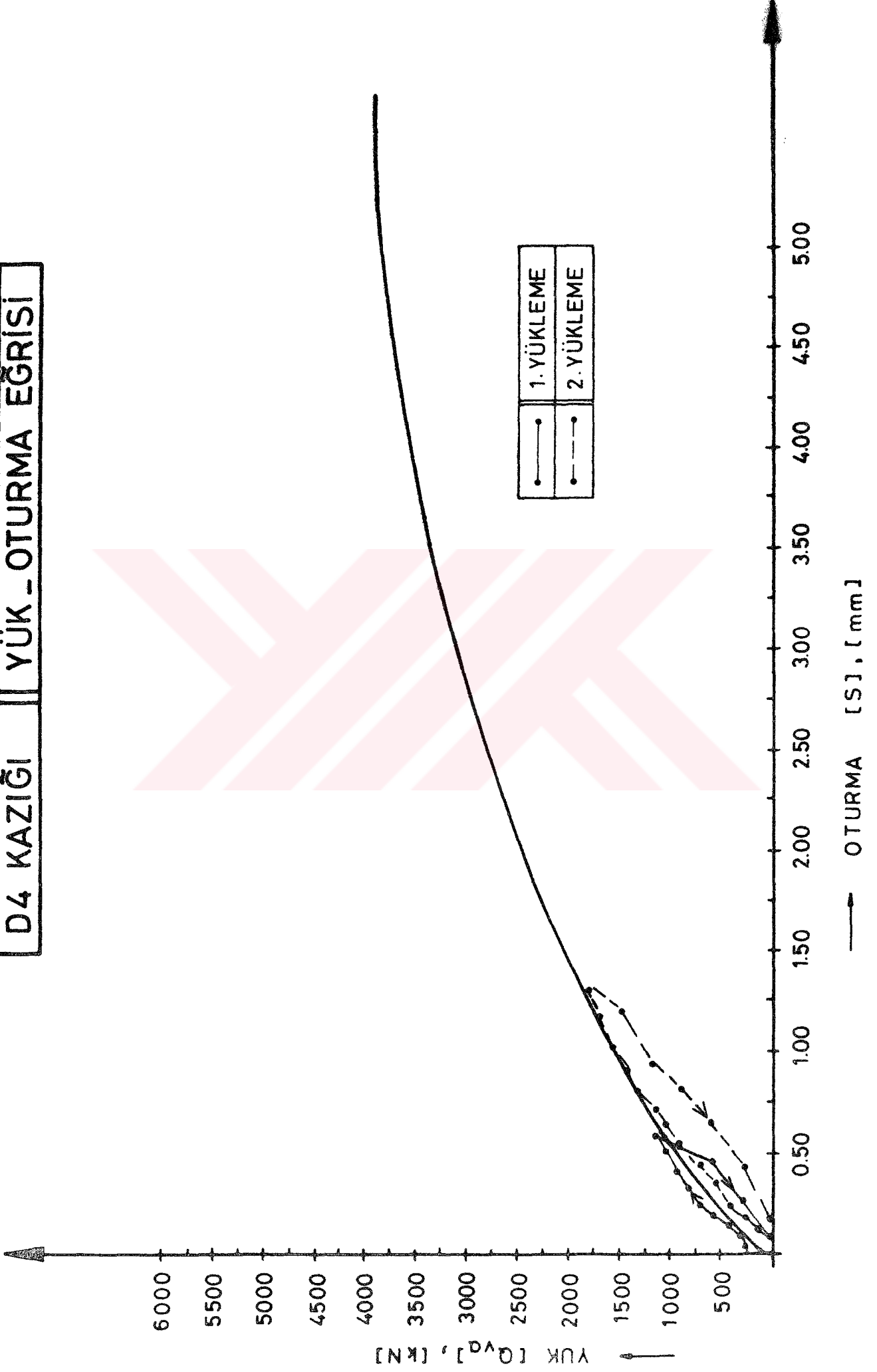
D2 KAZIĞI YÜK - OTURMA EĞRİSİ



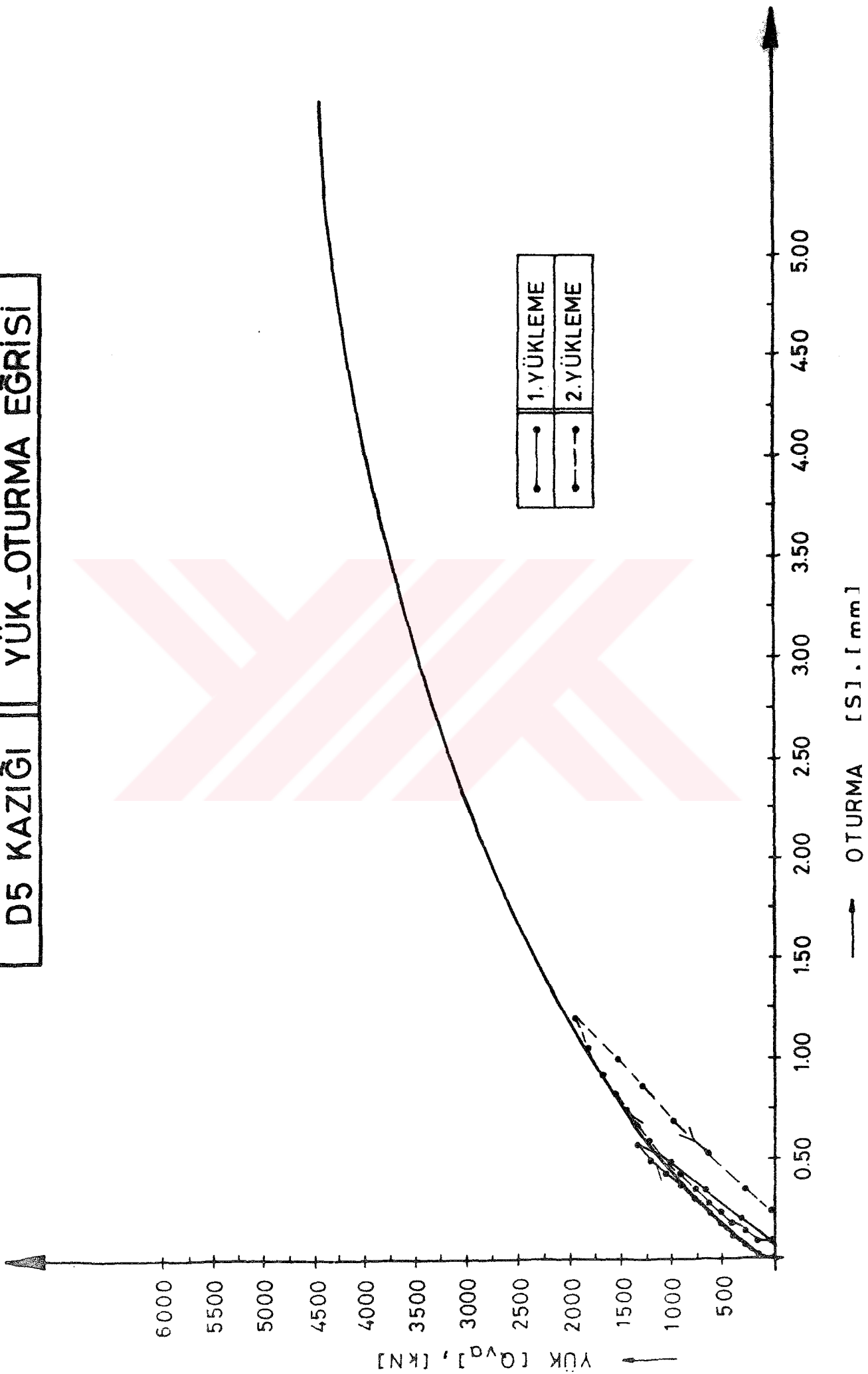
D3 KAZIĞI YÜK - OTURMA EĞRİSİ



D4 KAZIĞI YÜK - OTURMA EĞRİSİ

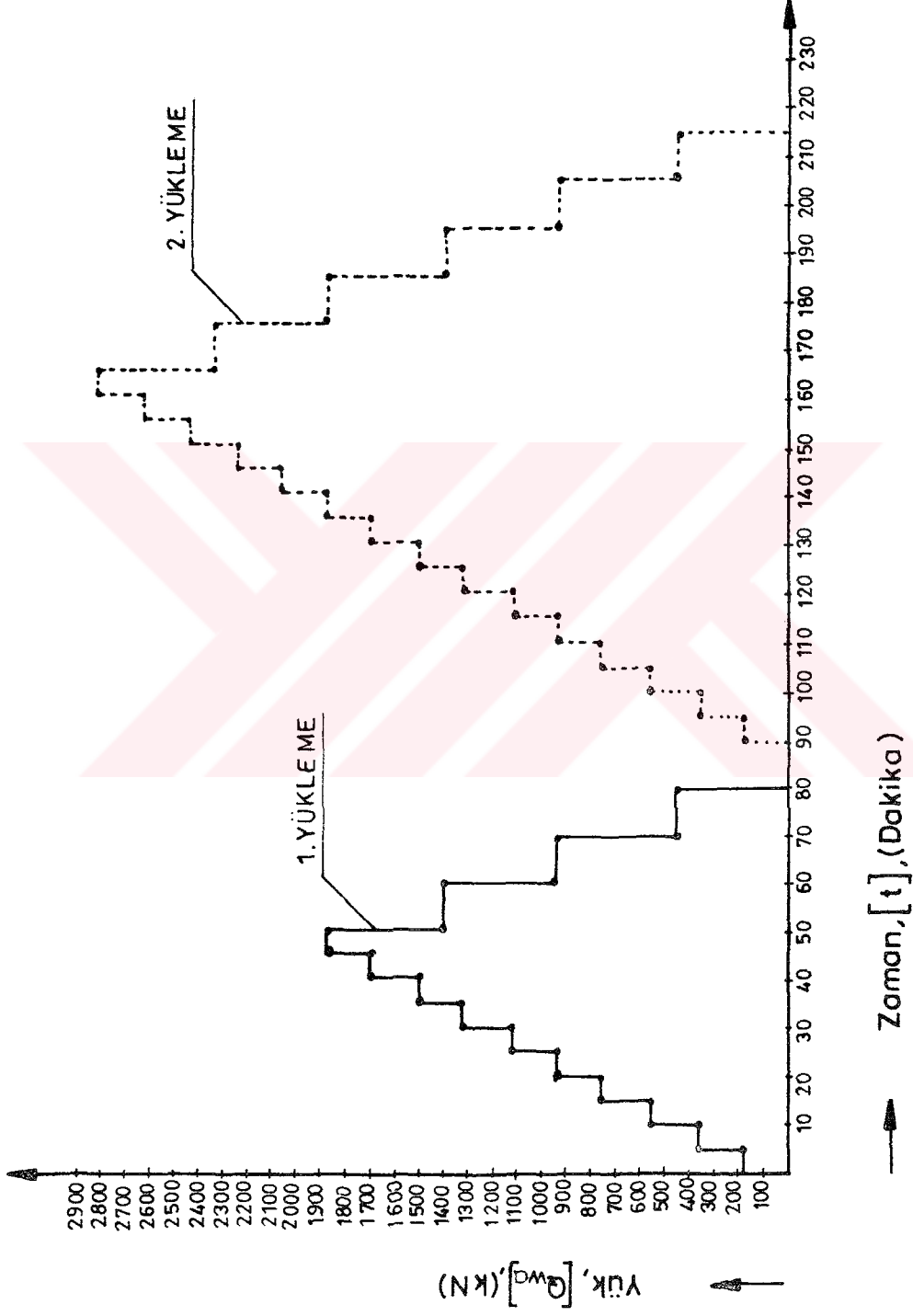


D5 KAZIĞI | YÜK_ÖTURMA EĞRİSİ

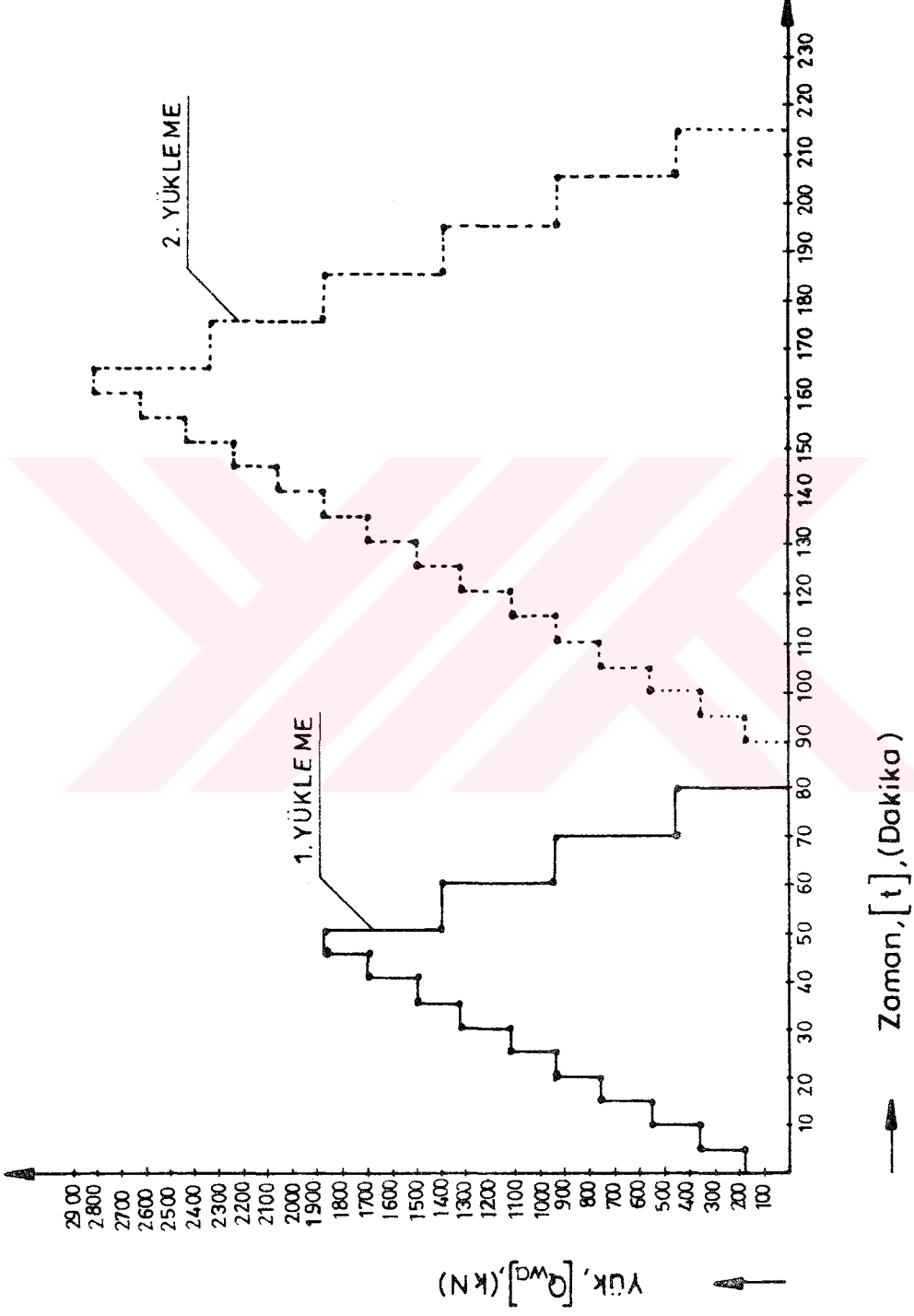


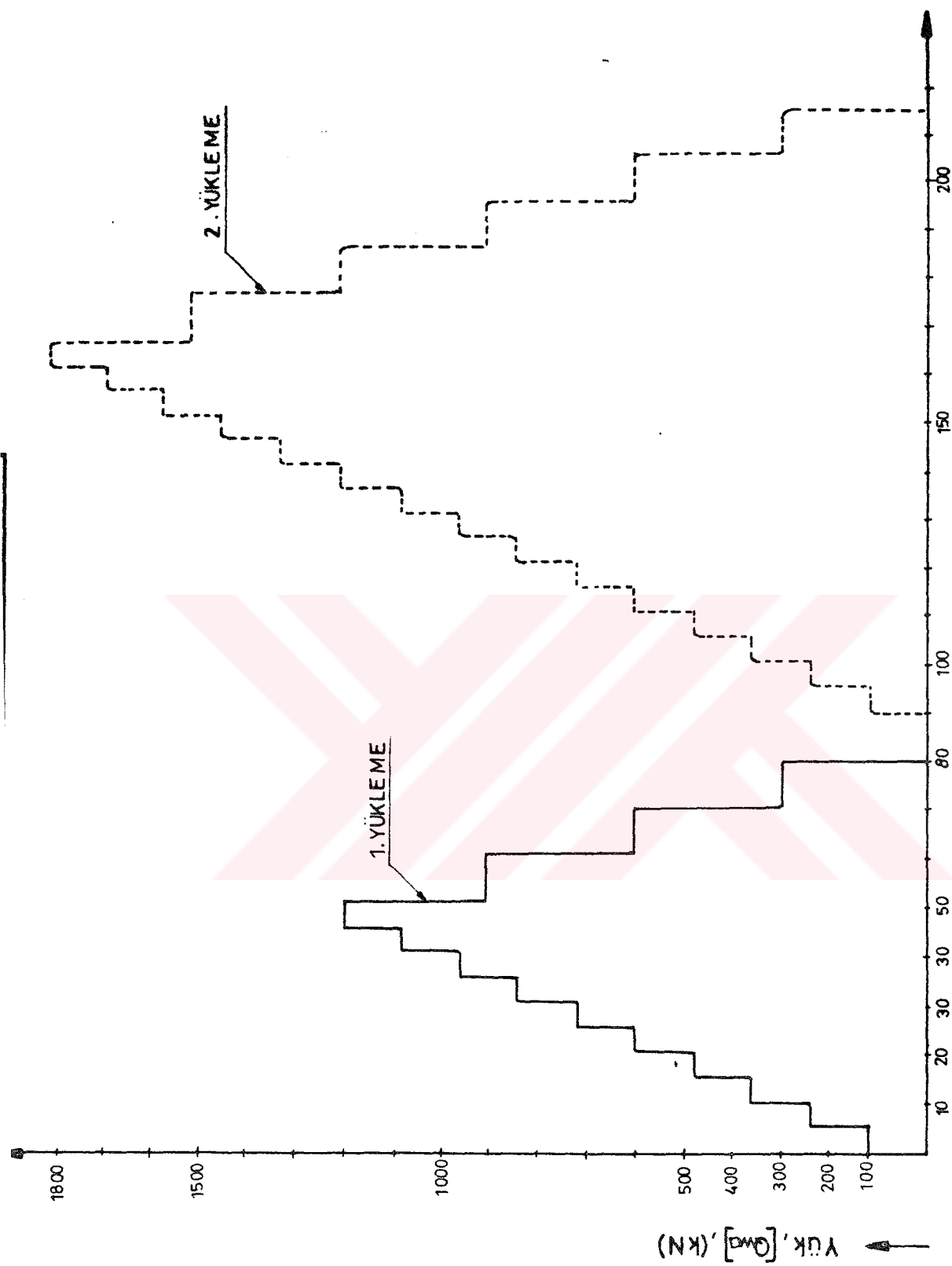
EK 8 : TEST KAZIKLARINA AIT YÜK - ZAMAN EĞRİLERİ

D1 KAZIĞI YÜK-ZAMAN GRAFIĞİ



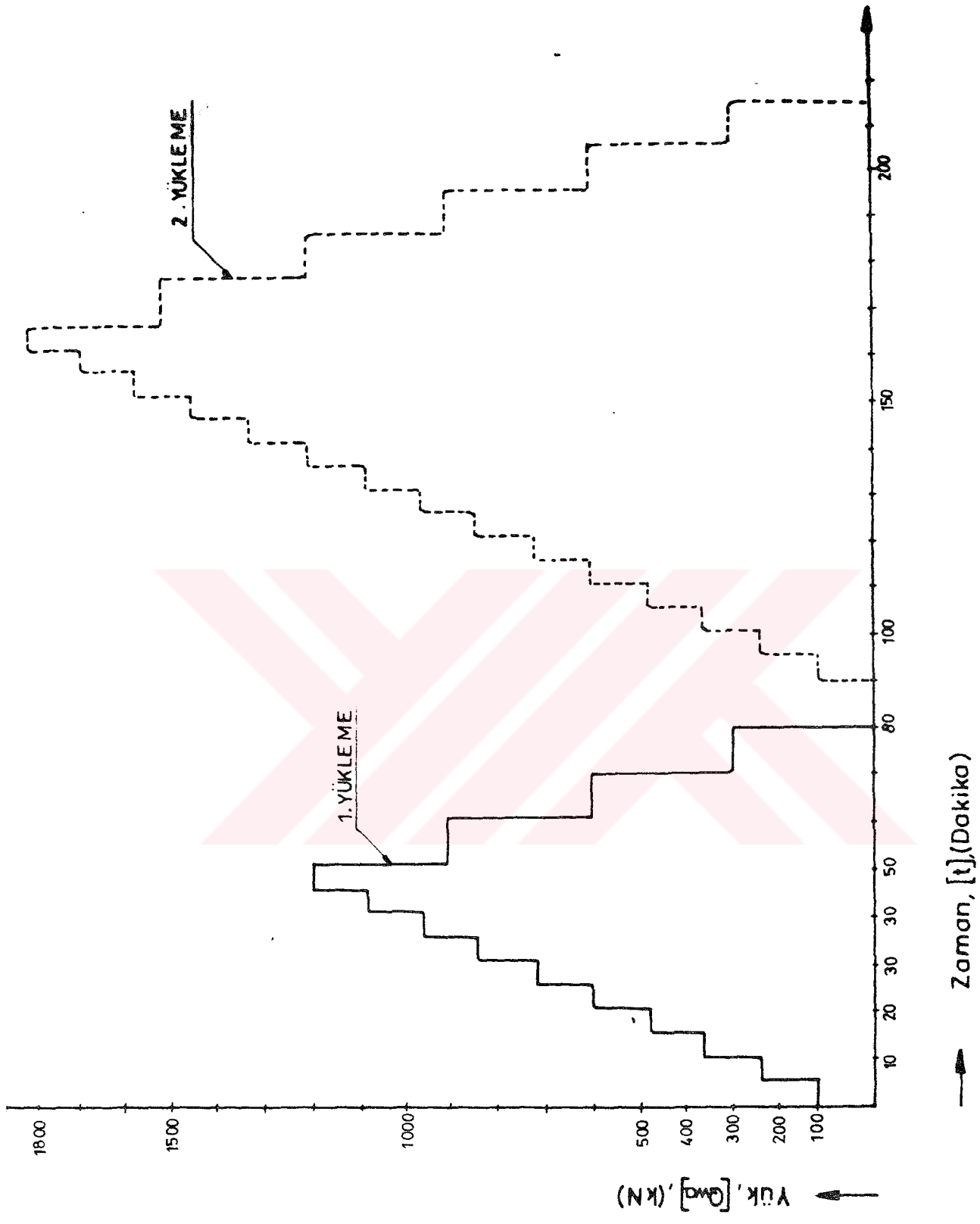
D2 KAZIĞI YÜK_ZAMAN GRAFIĞİ



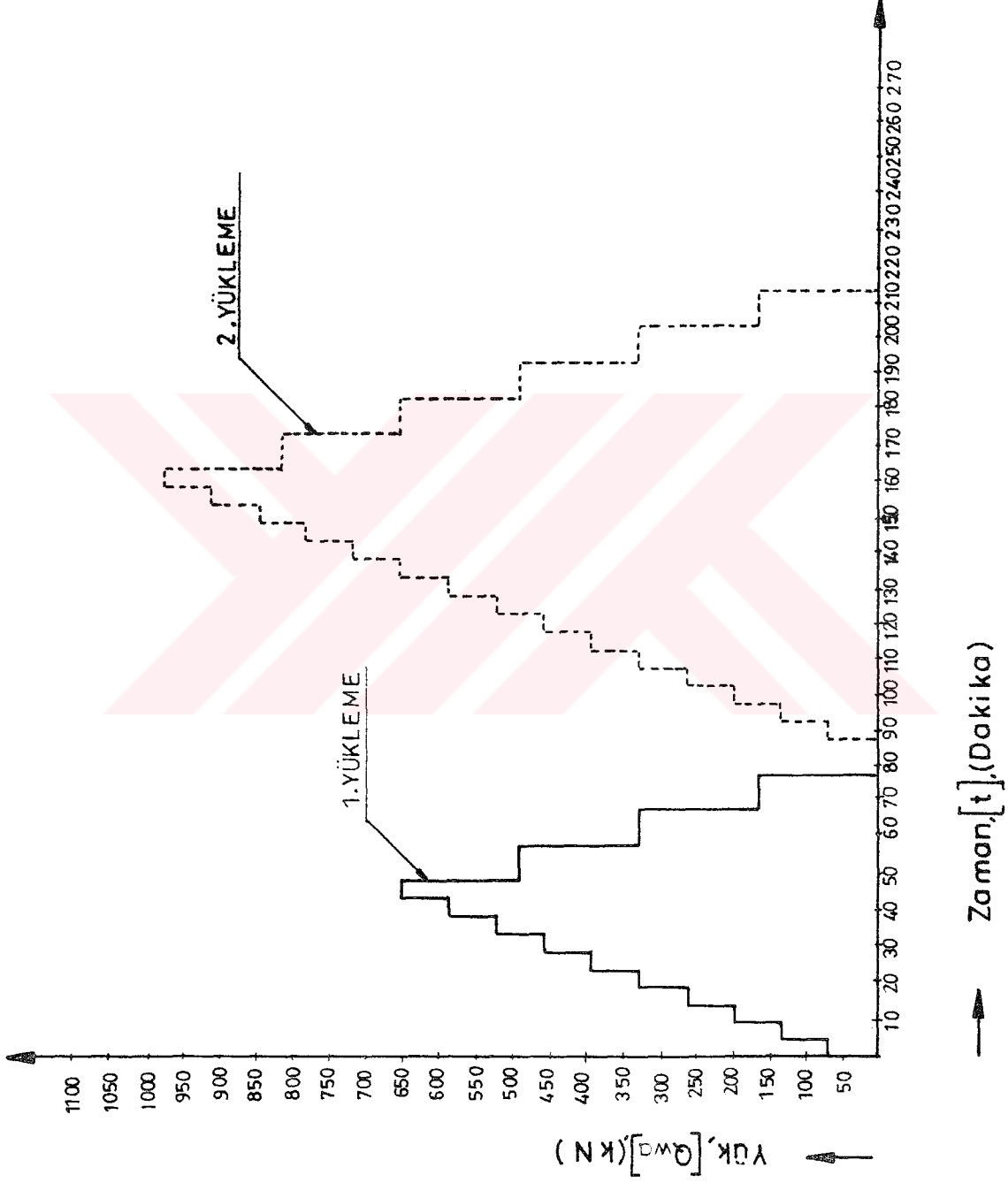


Zaman, [t], (Dakika)

Yük, [Qm], (kN)

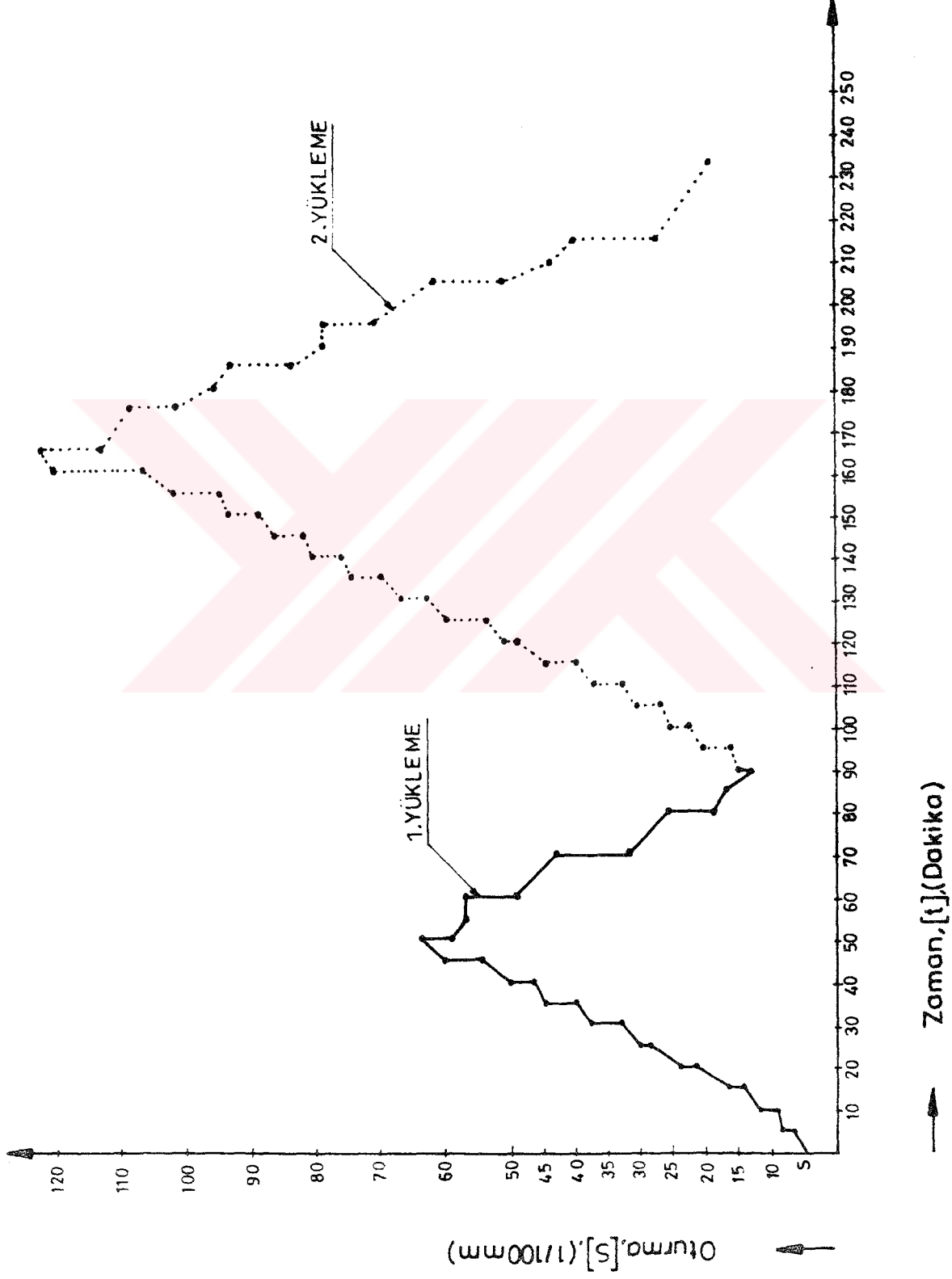


D5 KAZIĞI YÜK ZAMAN GRAFİĞİ

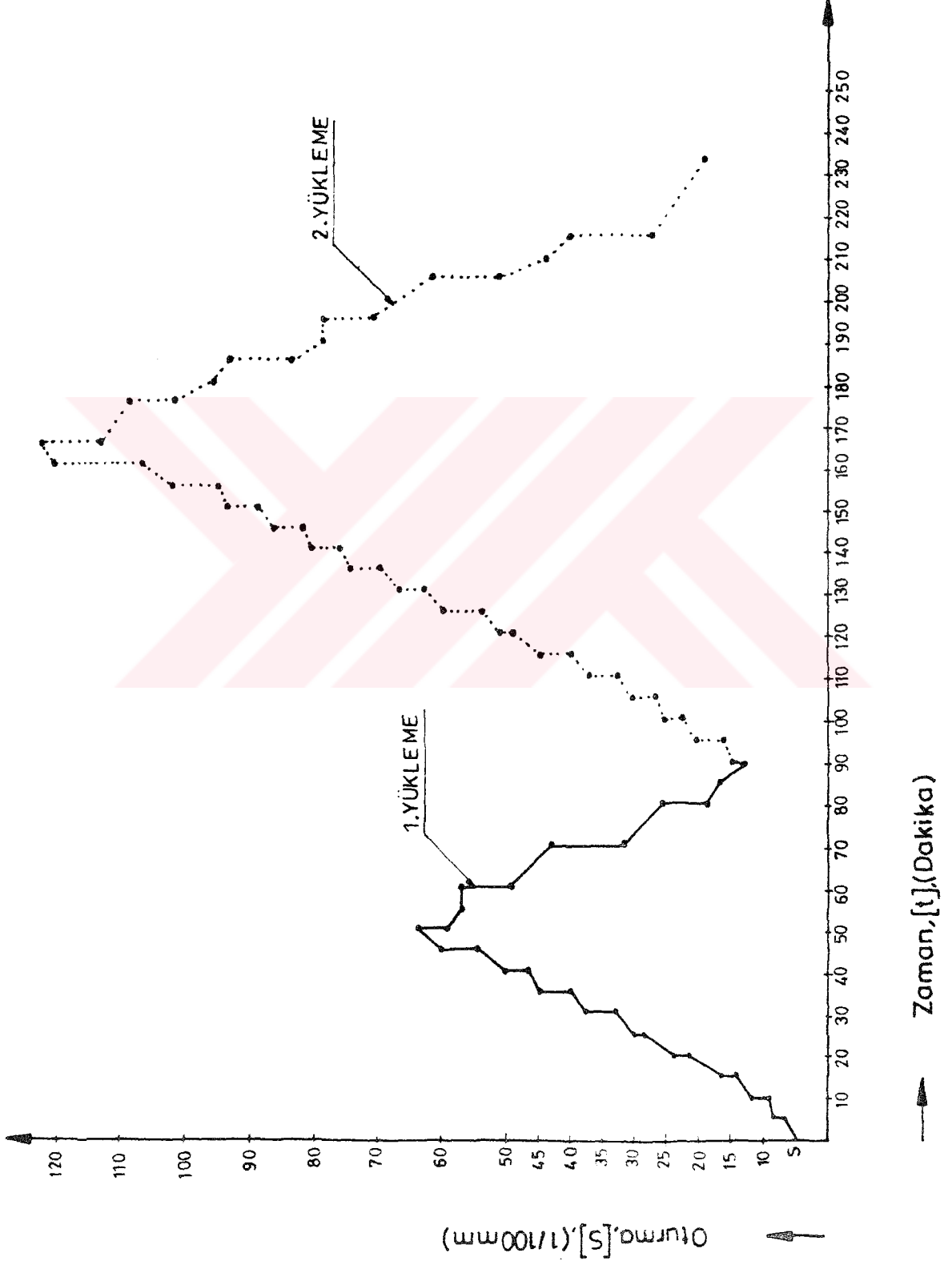


EK 9 : TEST KAZIKLARINA AIT OTURMA - ZAMAN EGRİLERİ

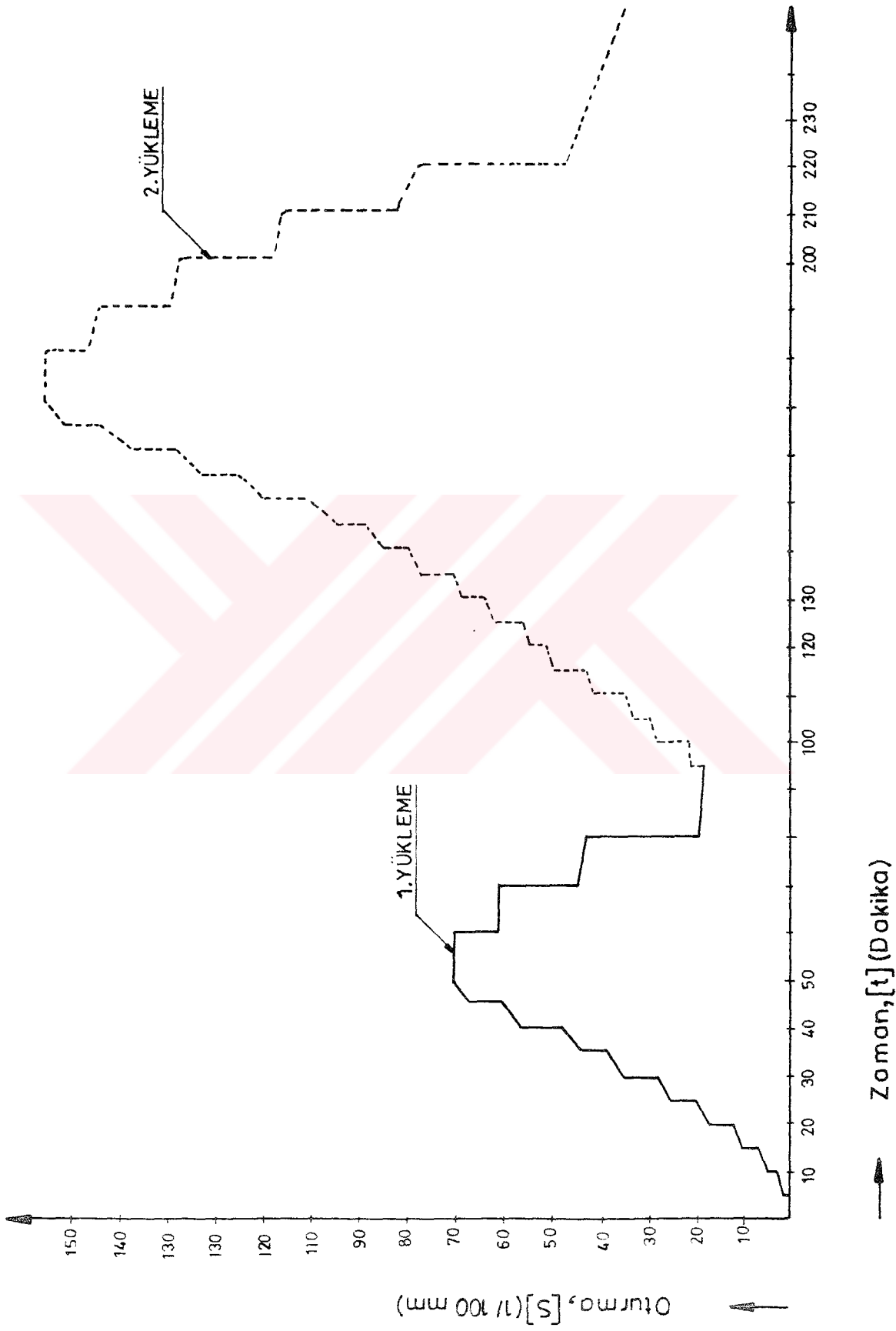
D1 KAZIĞI OTURMA - ZAMAN GRAFIĞİ

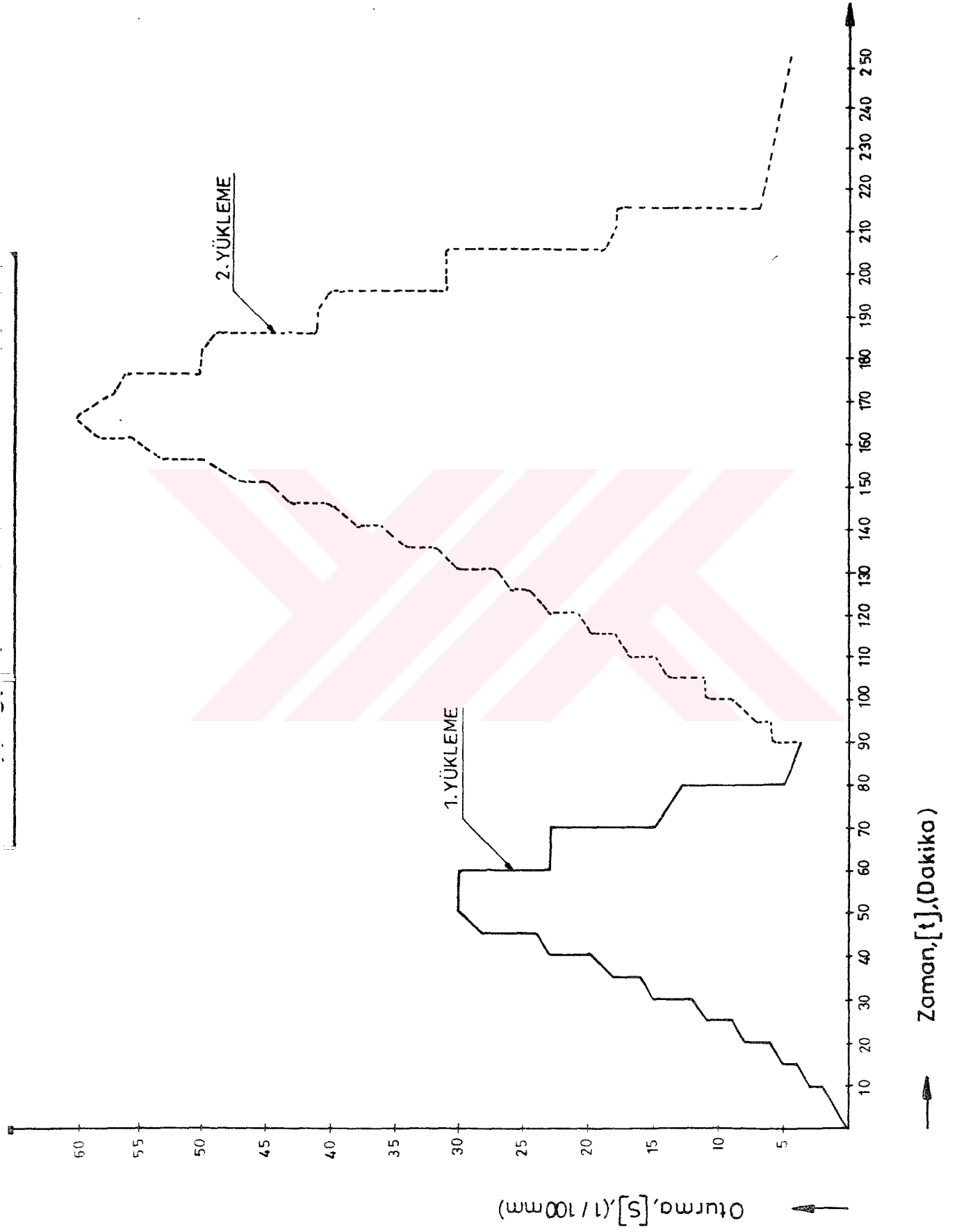


D2 KAZIĞI OTURMA - ZAMAN GRAFIĞİ

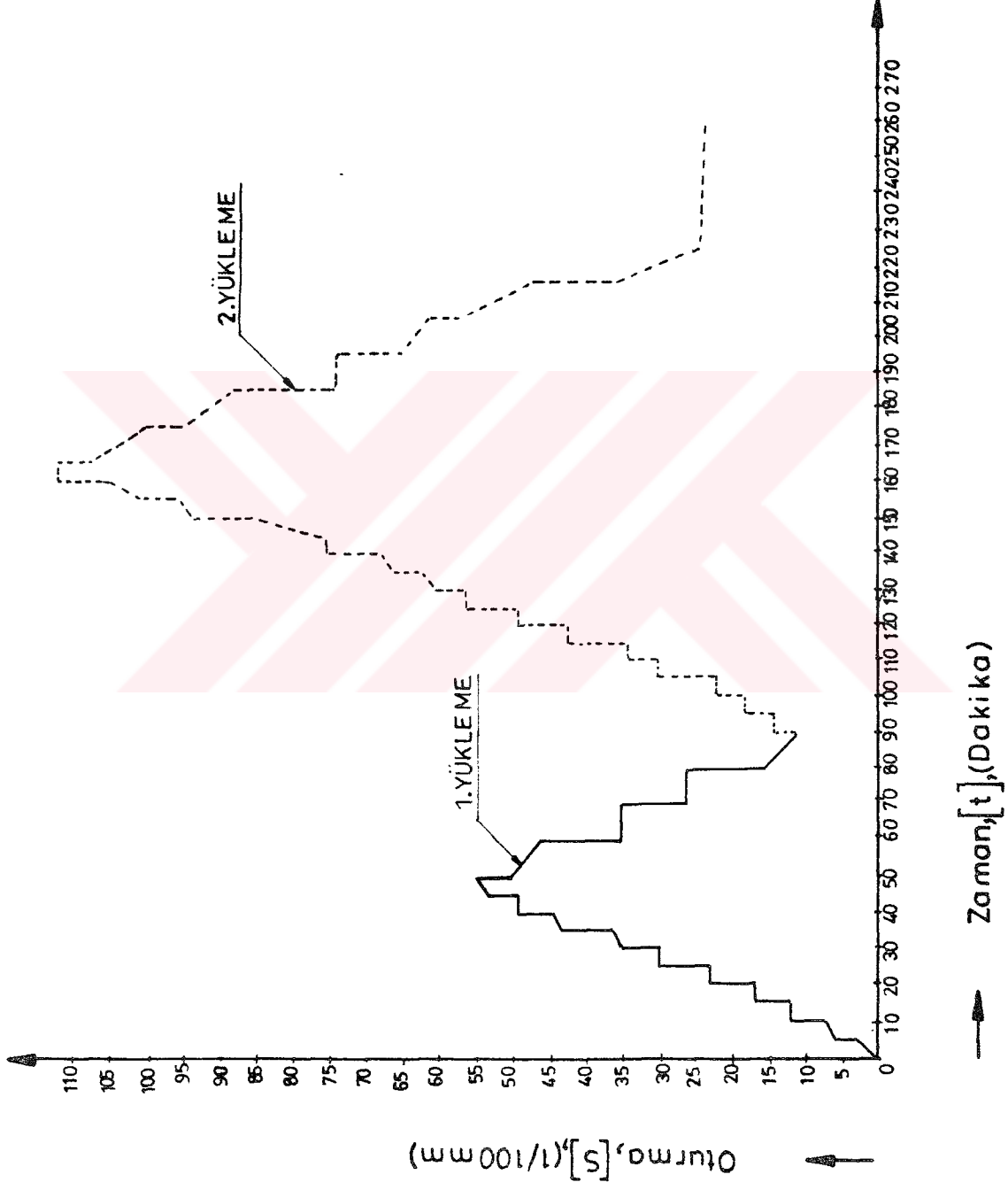


D3 KAZIĞI OTURMA-ZAMAN GRAFIĞİ





D5 KAZIĞI OTURMA_ZAMAN GRAFIĞİ

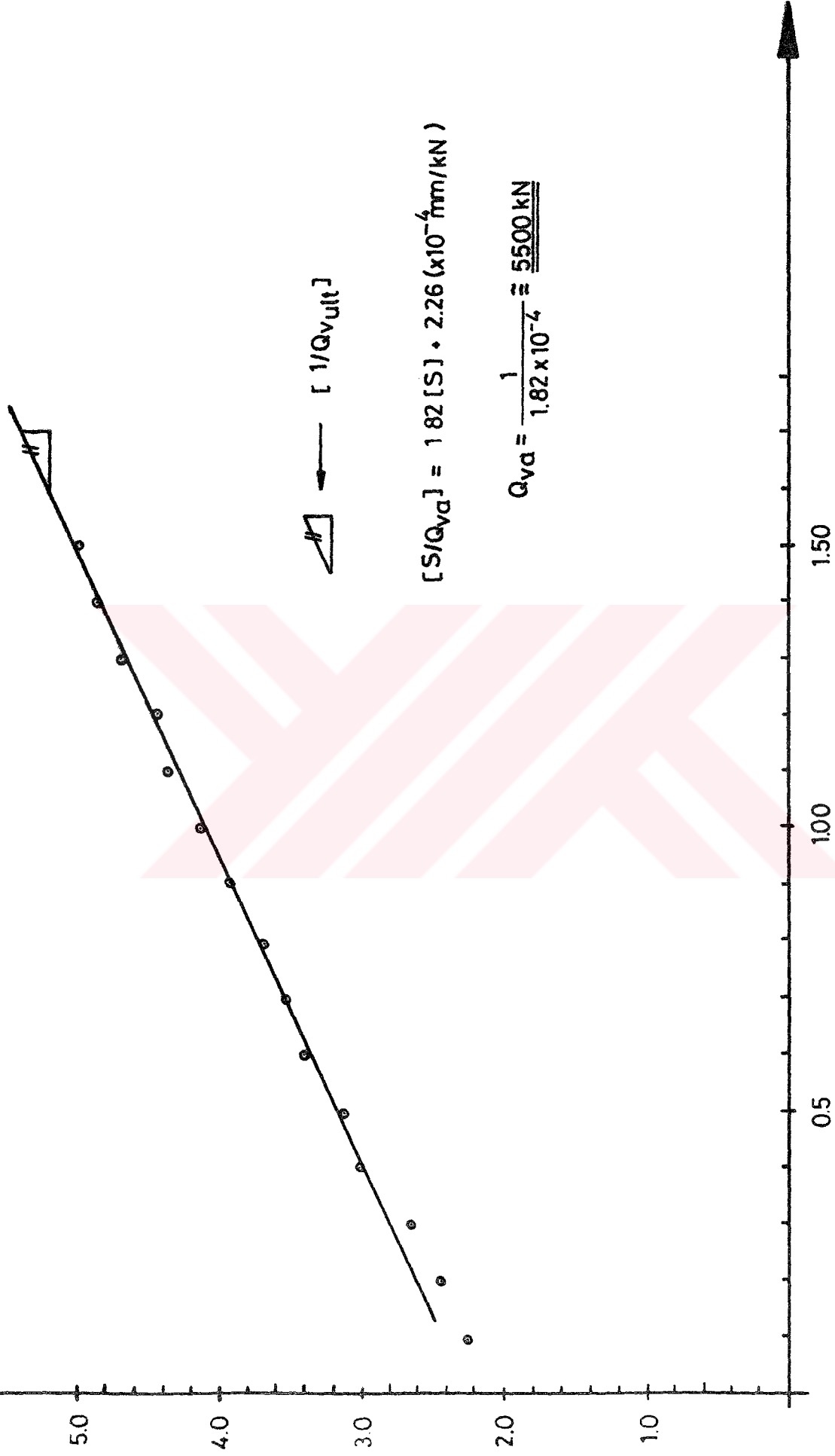


**EK 10 : NİHAİ TAŞIMA GUCU HESABINDA KULLANILAN GRAFİKSEL /
YARI AMPRİK YÖNTEMLERİN TARIFLEDİĞİ HESAP EGRİLERİ**

CHIN YÖNTEMI İLE HESAP

D1 KAZIĞI CHIN YONTEMİ

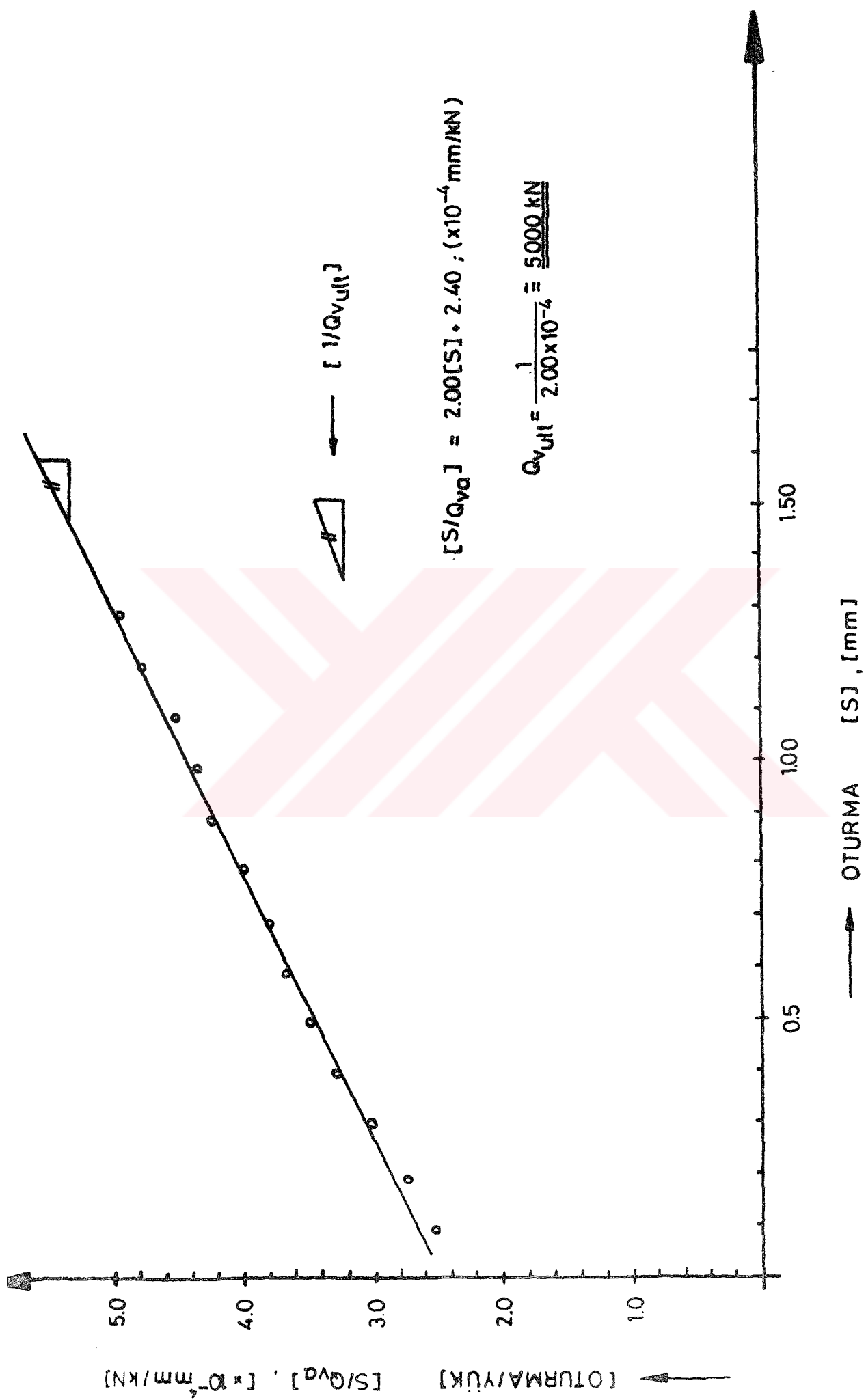
[S/Q_{vd}] , [10⁻⁴mm/kN] [OTURMA/YÜK]



→ [1/Q_{vd}]

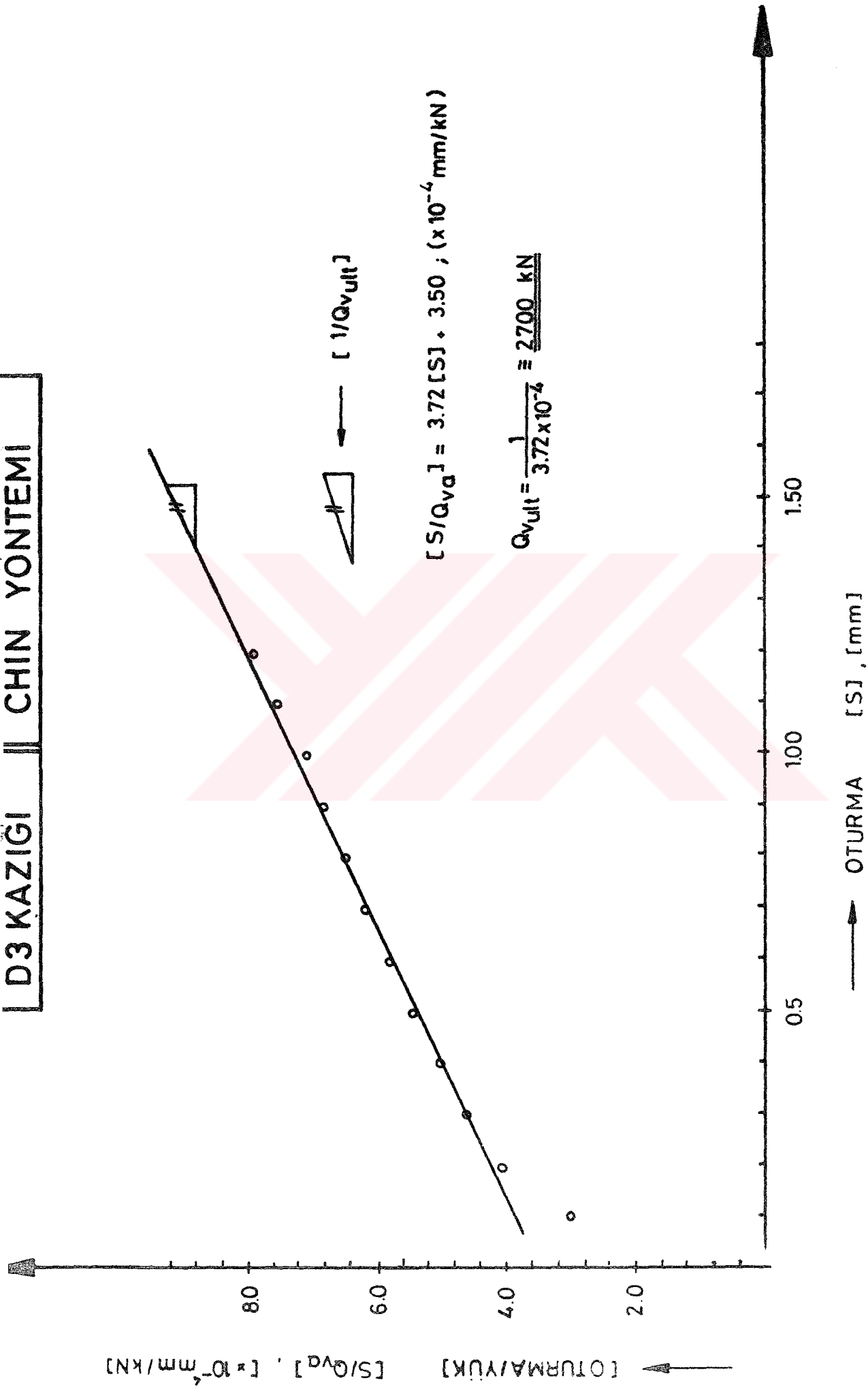
$$[S/Q_{vd}] = 182 [S] \cdot 2.26 (x10^{-4} \text{mm/kN})$$

$$Q_{vd} = \frac{1}{1.82 \times 10^{-4}} \approx \underline{\underline{5500 \text{ kN}}}$$



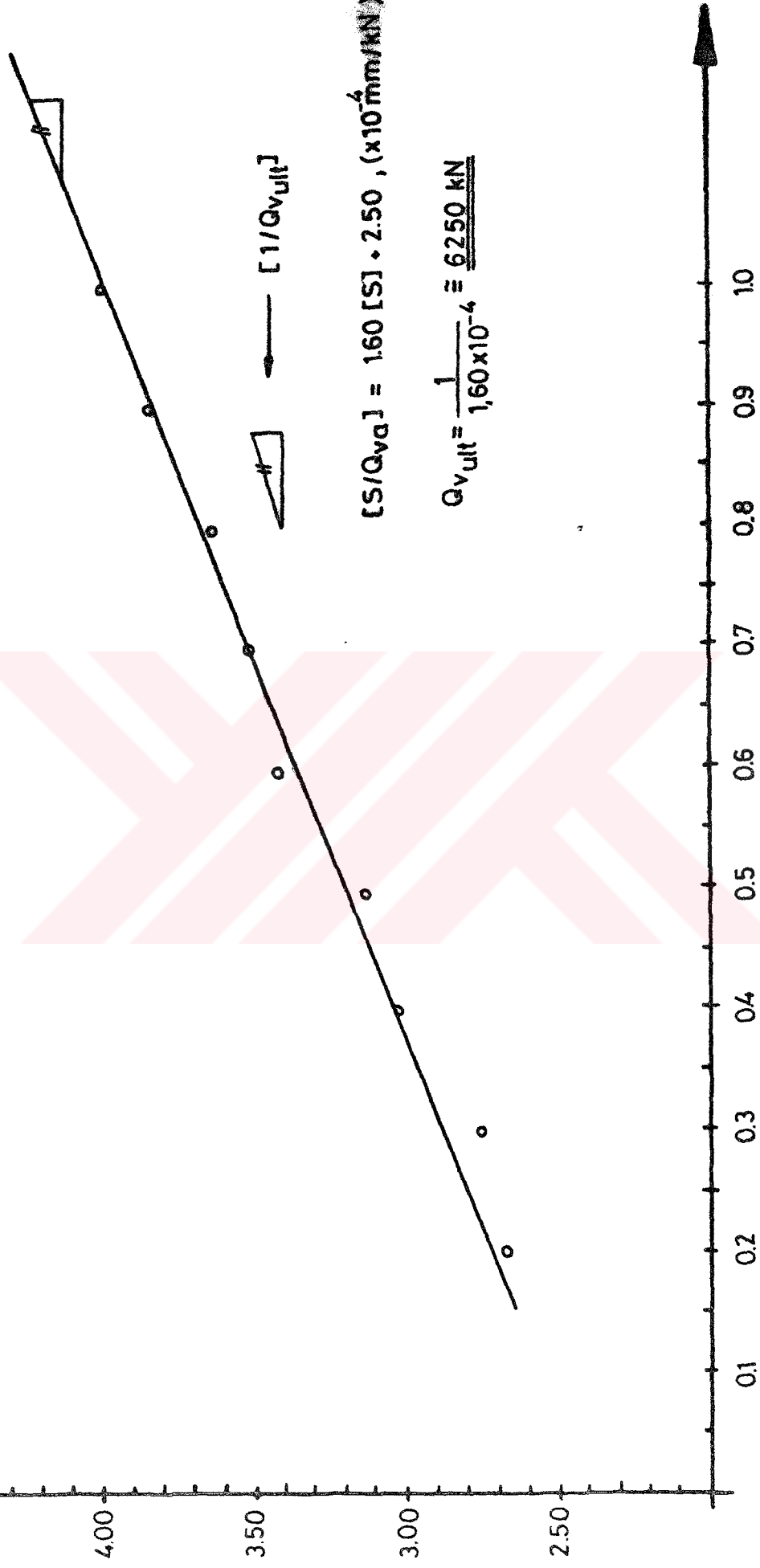
[OTURMA/YÜK] [S/Q_{vd}], [x 10⁻⁴ mm/kN]

D3 KAZIĞI CHIN YONTEMİ



D4 KAZIĞI CHIN YÖNTEMİ

[OTURMA/YÜK] , [$\times 10^{-6}$ mm/kN]



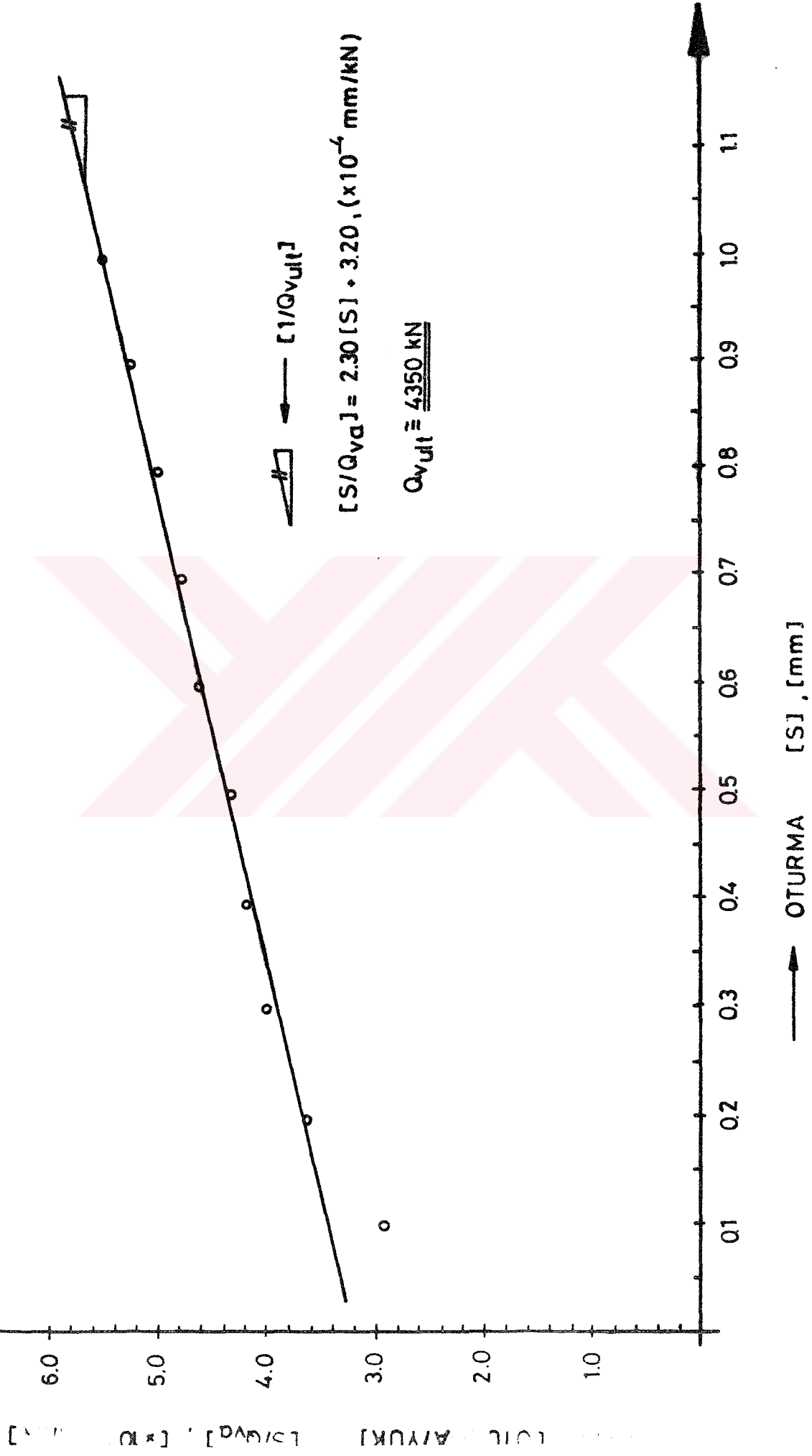
$$[S/Q_{vd}] = 160 [S] \cdot 2.50, (\times 10^{-4} \text{mm/kN})$$

$$Q_{vult} = \frac{1}{160 \times 10^{-4}} \approx \underline{\underline{6250 \text{ kN}}}$$

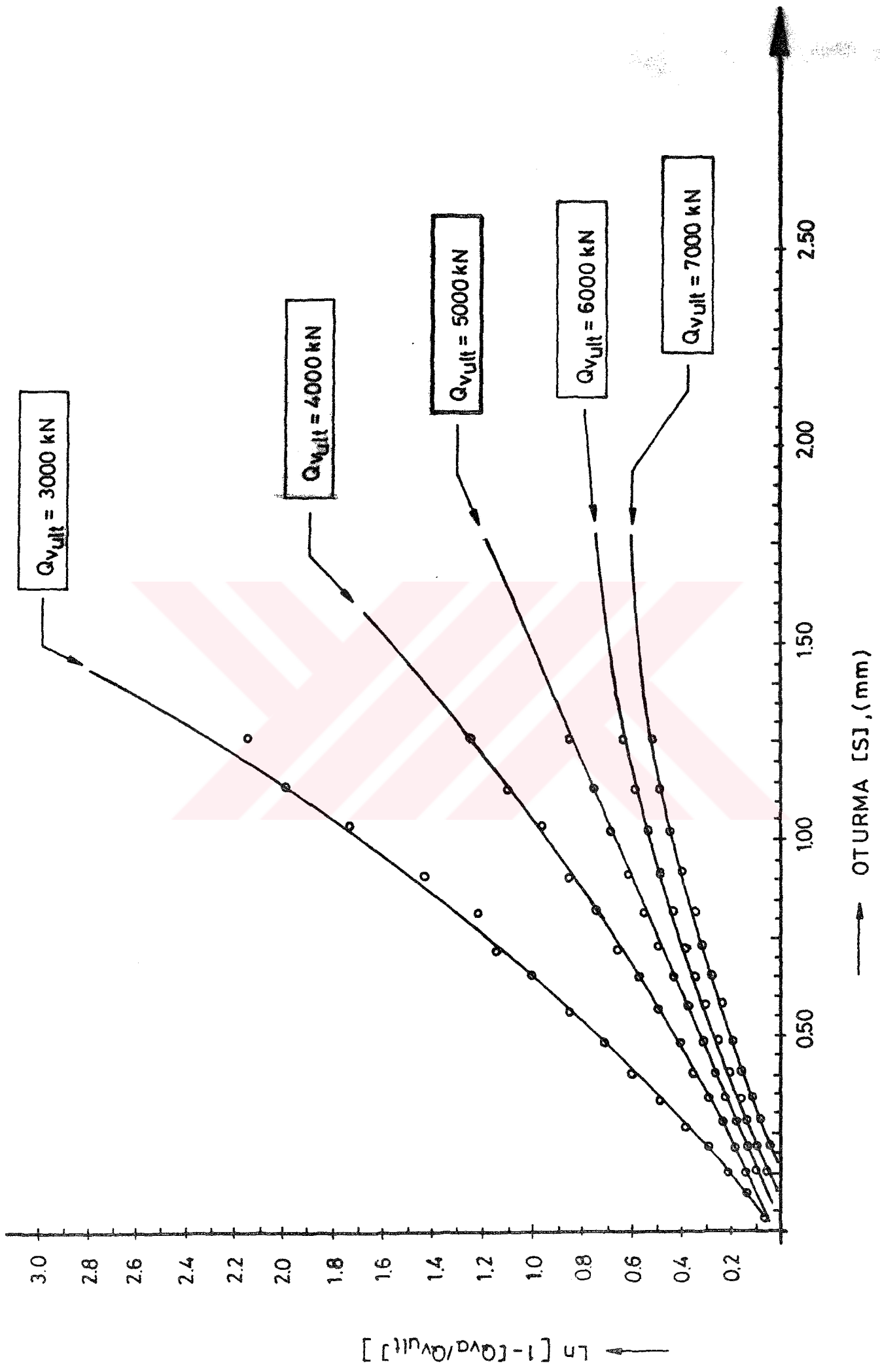
OTURMA [S], [mm]

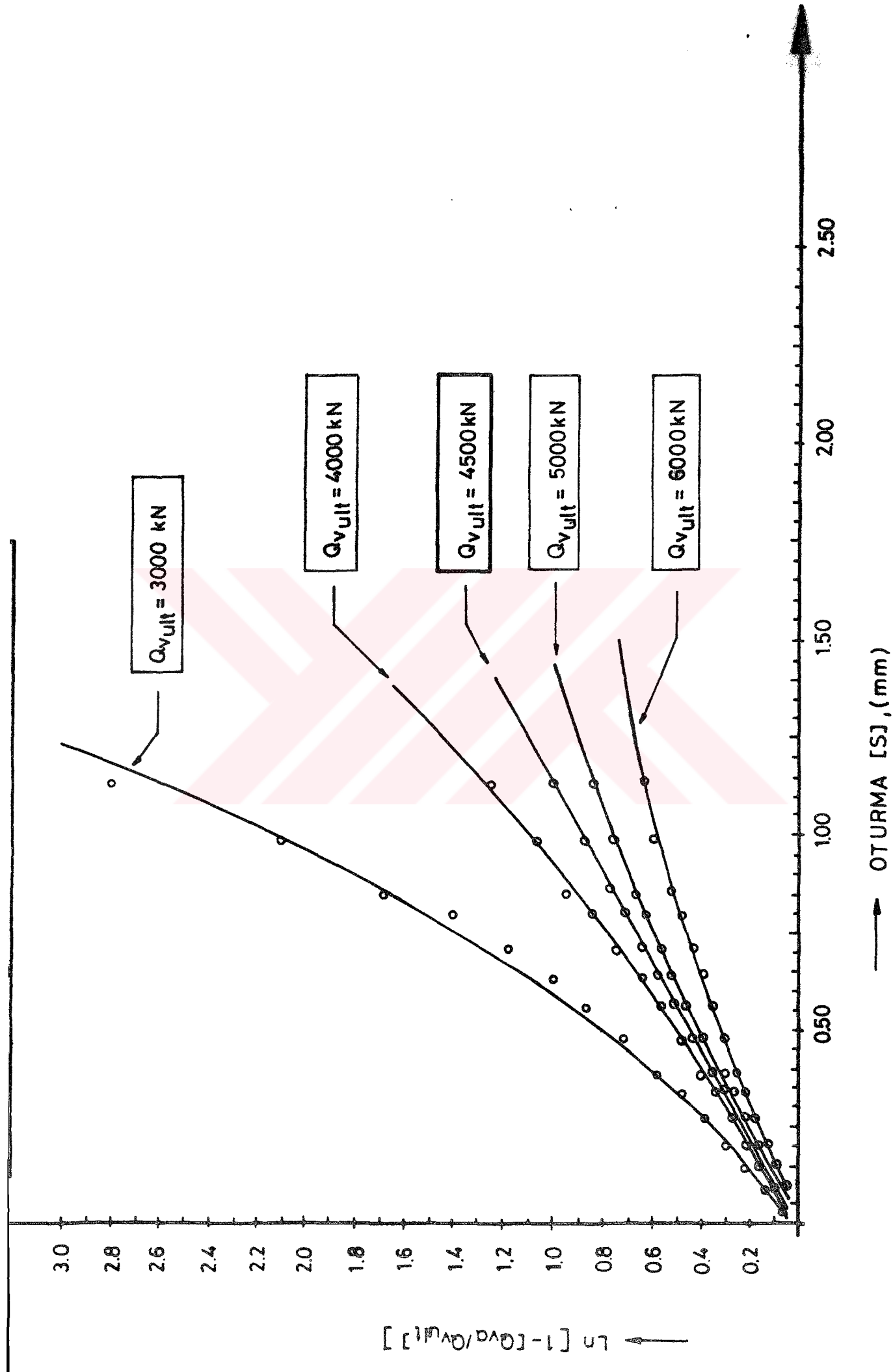
0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0

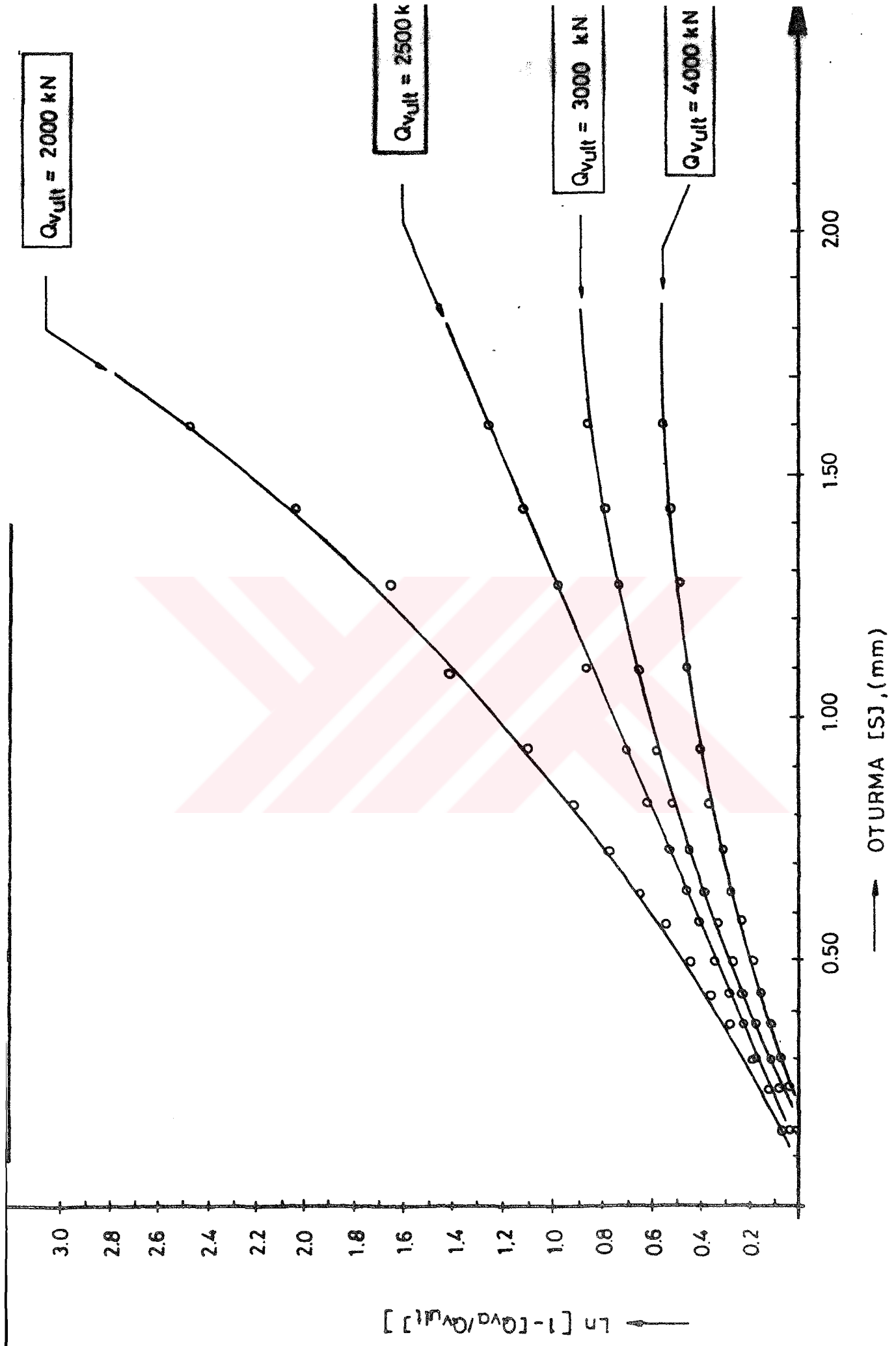
D5 KAZIĞI CHIN YÖNTEMİ

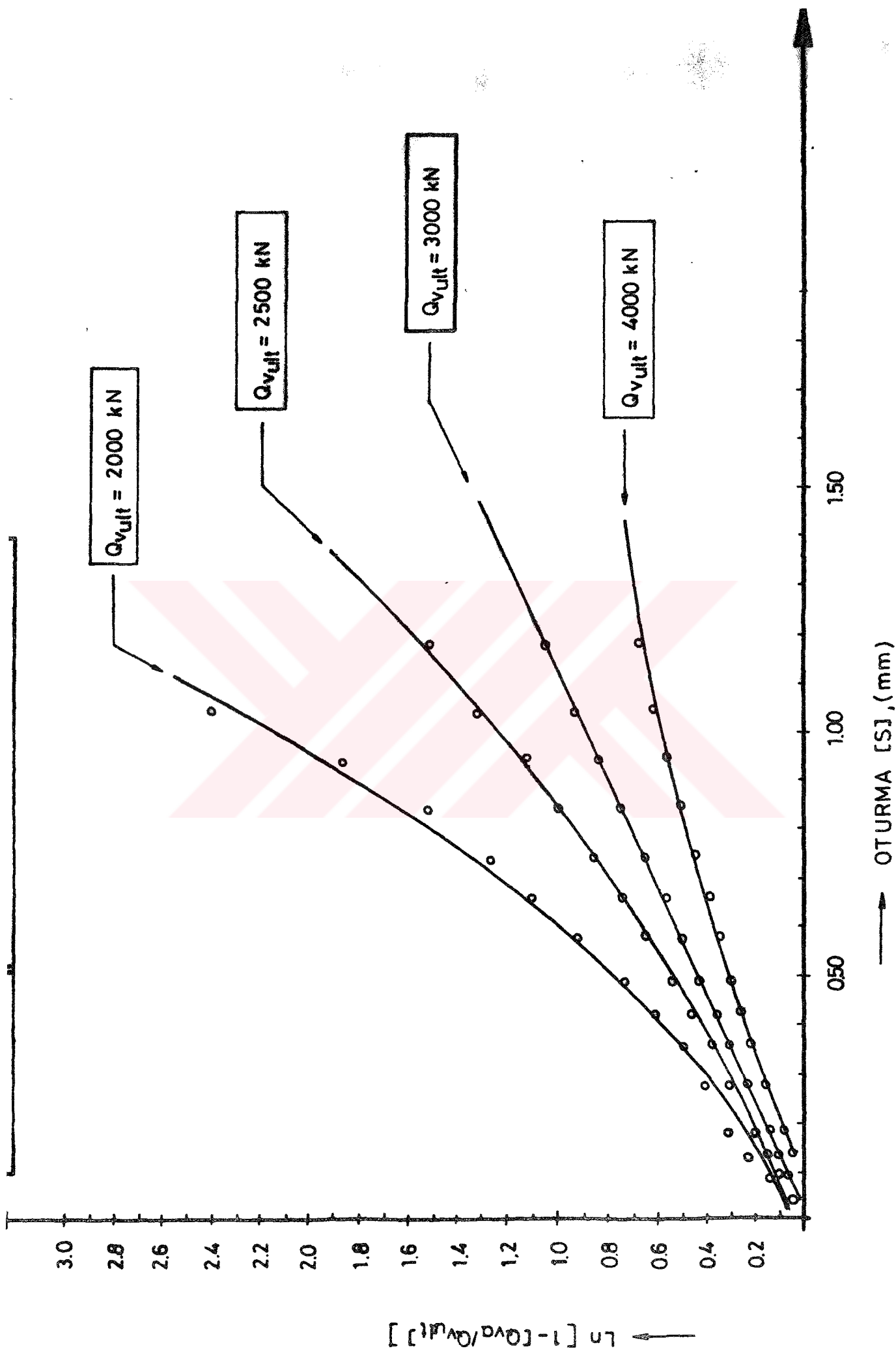


V A N D E R V E E N S Y Ö N T E M İ İ L E H E S A P



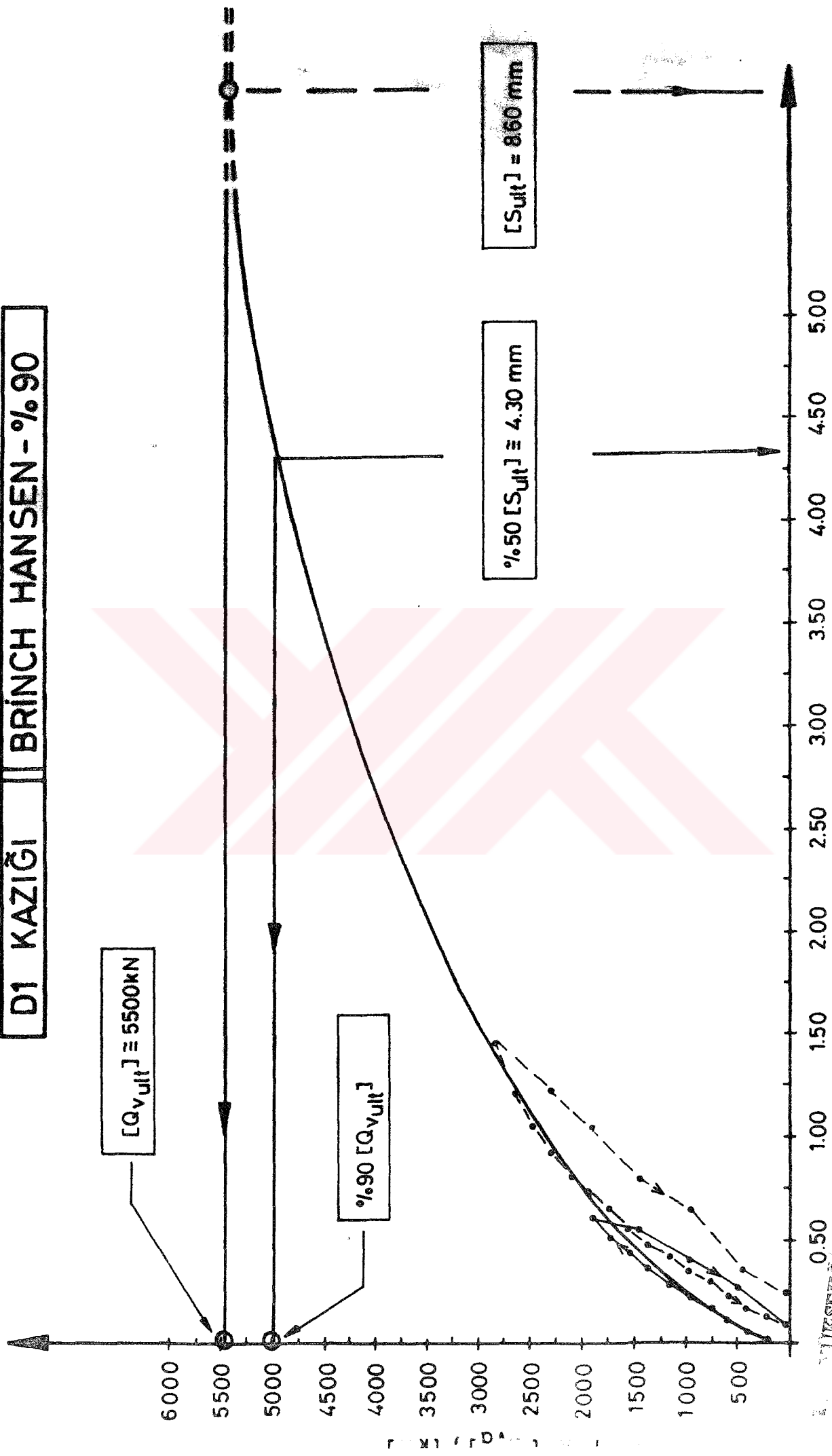






BRINCH HANSEN (%90) KRITERİ İLE HESAP

D1 KAZIĞI BRINCH HANSEN - %90



[Q_{vult}] ≅ 5500 kN

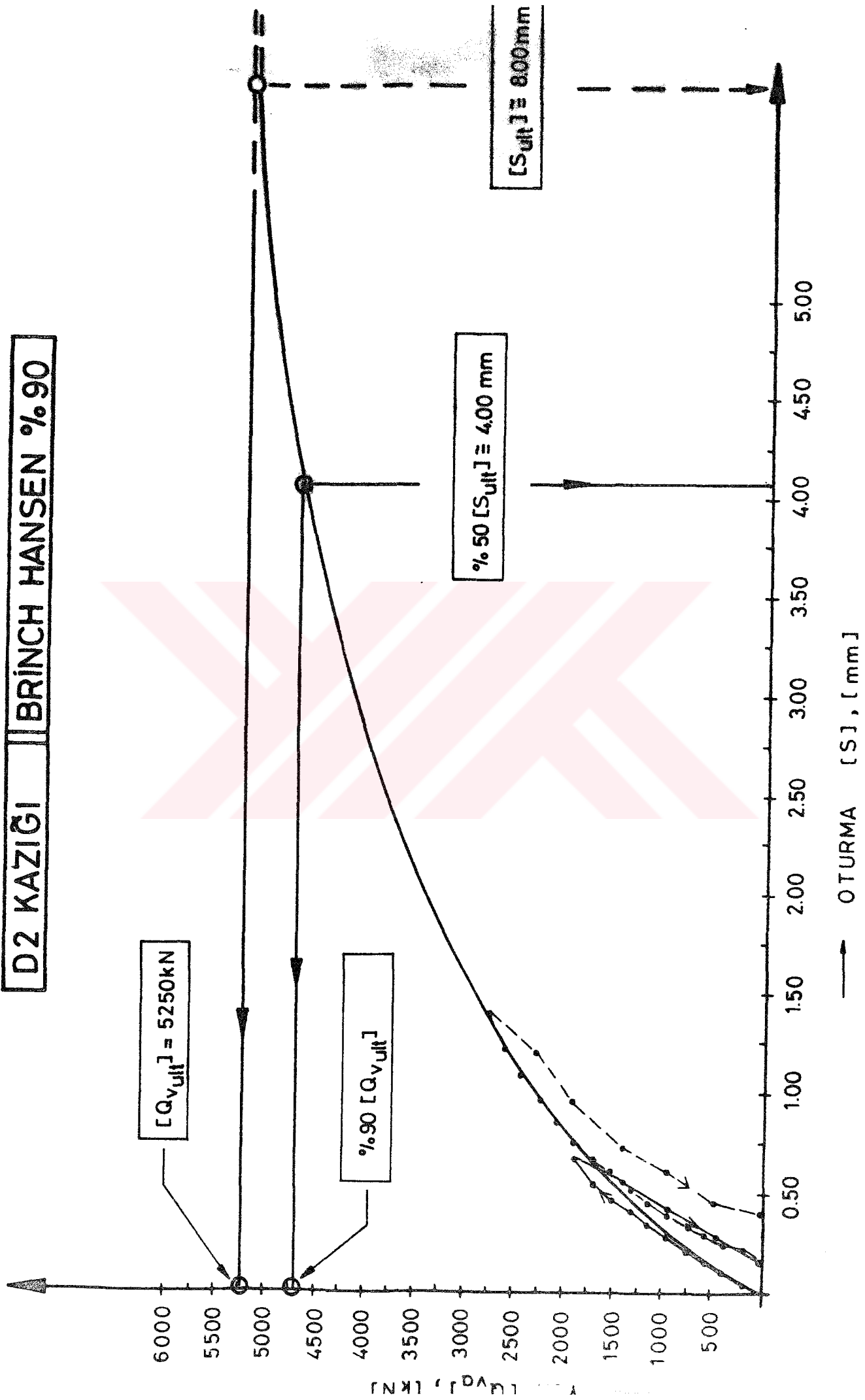
%90 [Q_{vult}]

%50 [S_{ult}] ≅ 4.30 mm

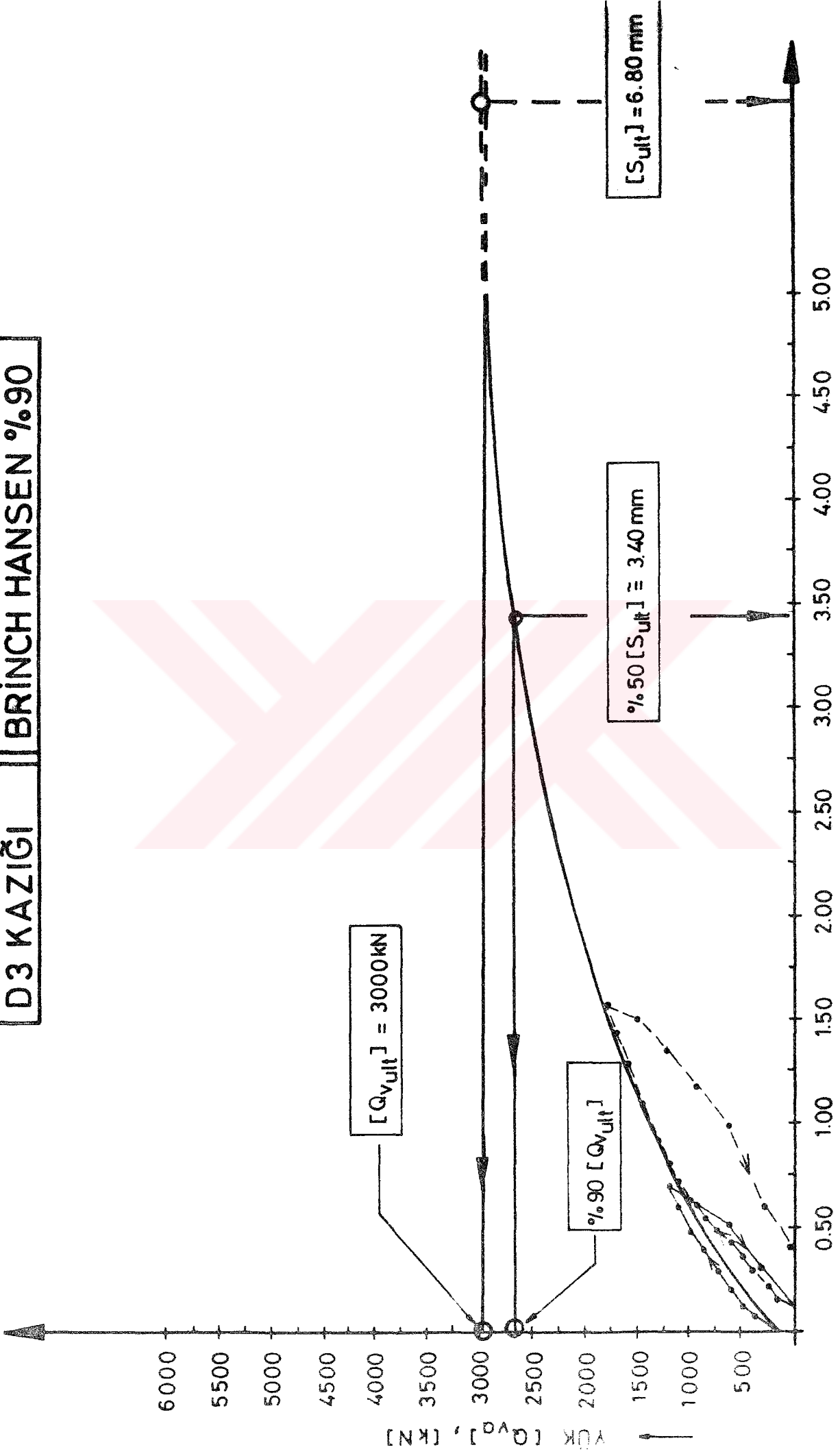
[S_{ult}] = 8160 mm

OTURMA [S], [mm]

D2 KAZIĞI BRINCH HANSEN %90

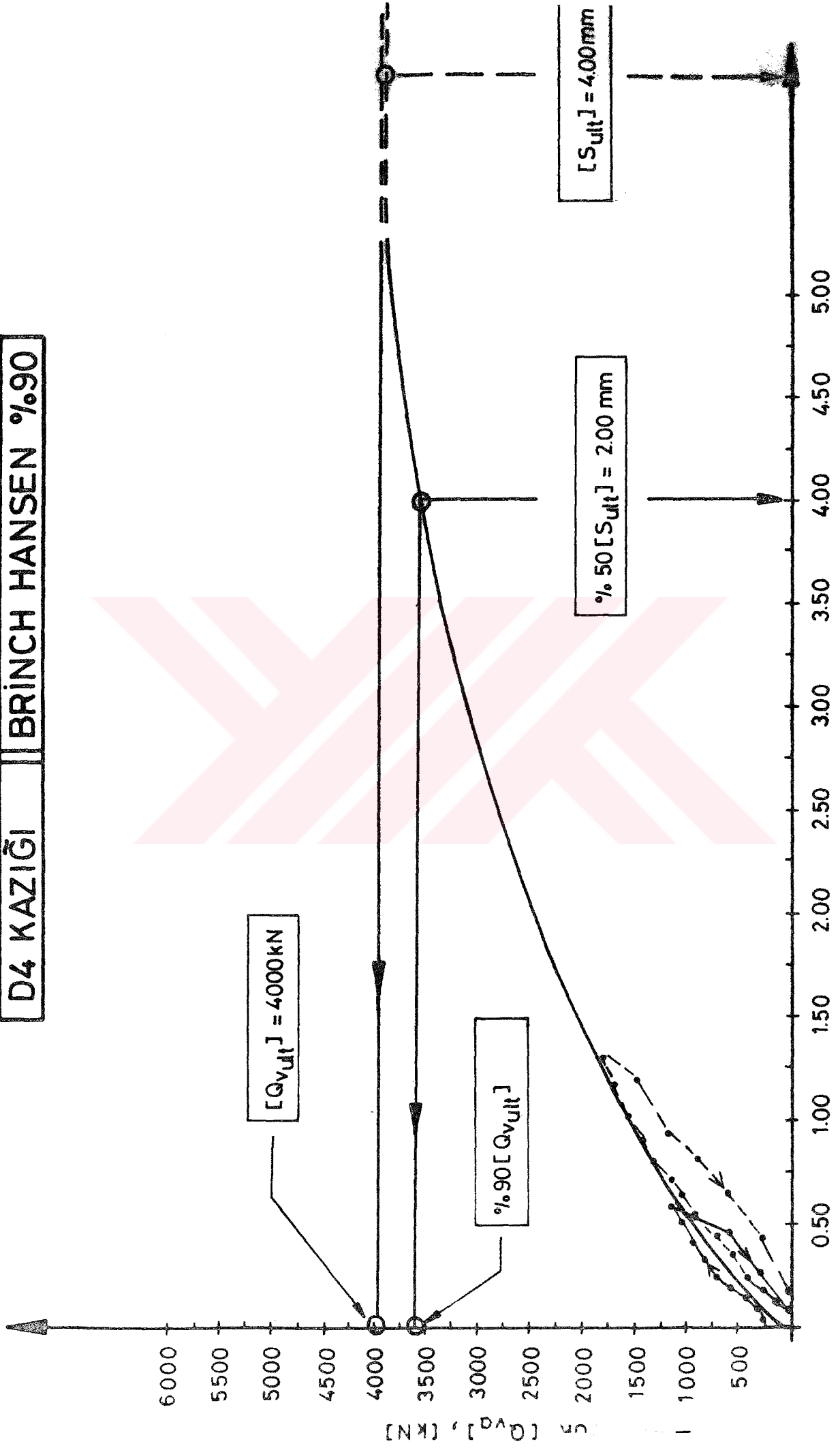


D3 KAZIĞI BRINCH HANSEN %90



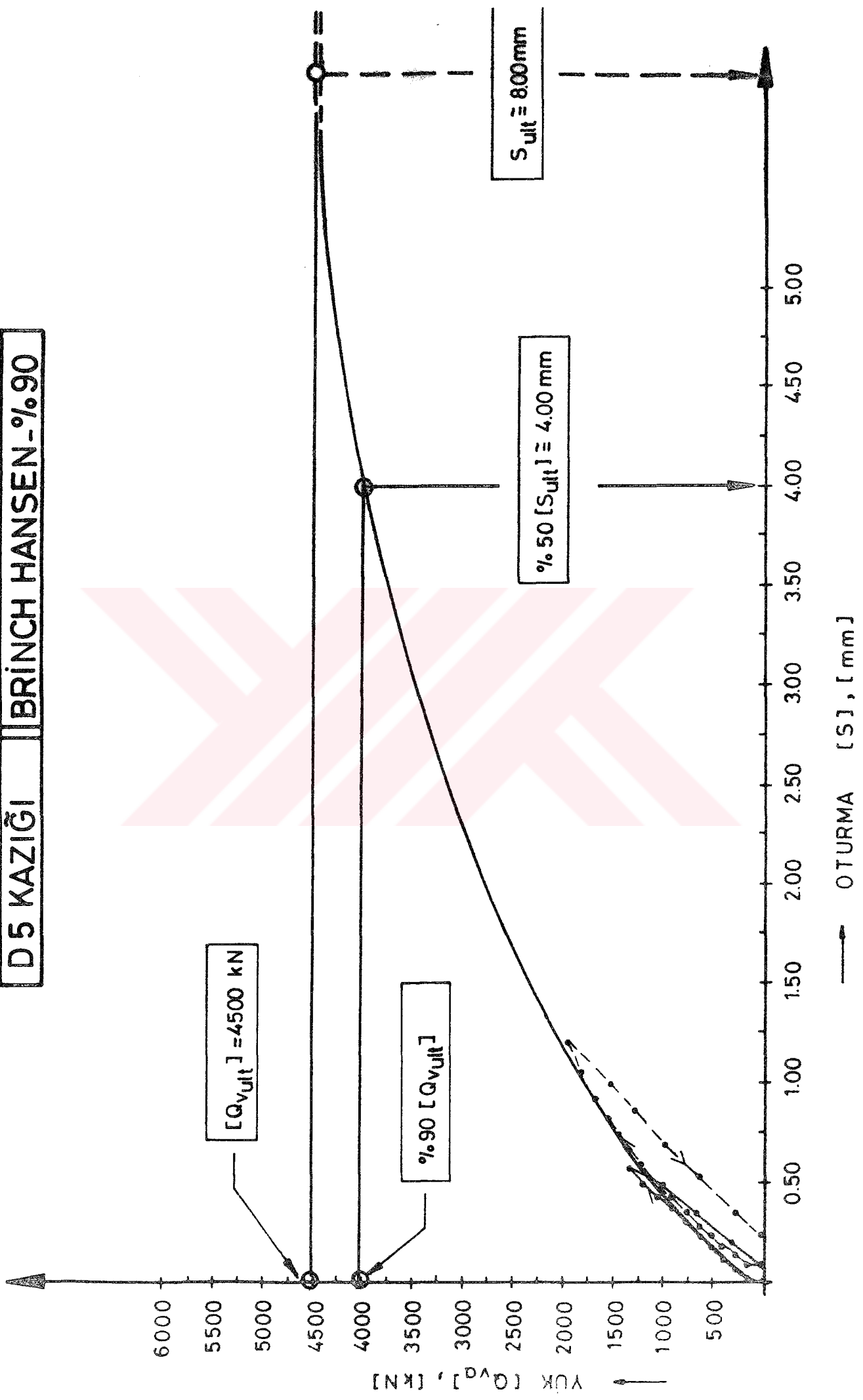
— OTURMA [S], [mm]

D4 KAZIĞI BRINCH HANSEN %90



— OTURMA [S], [mm]

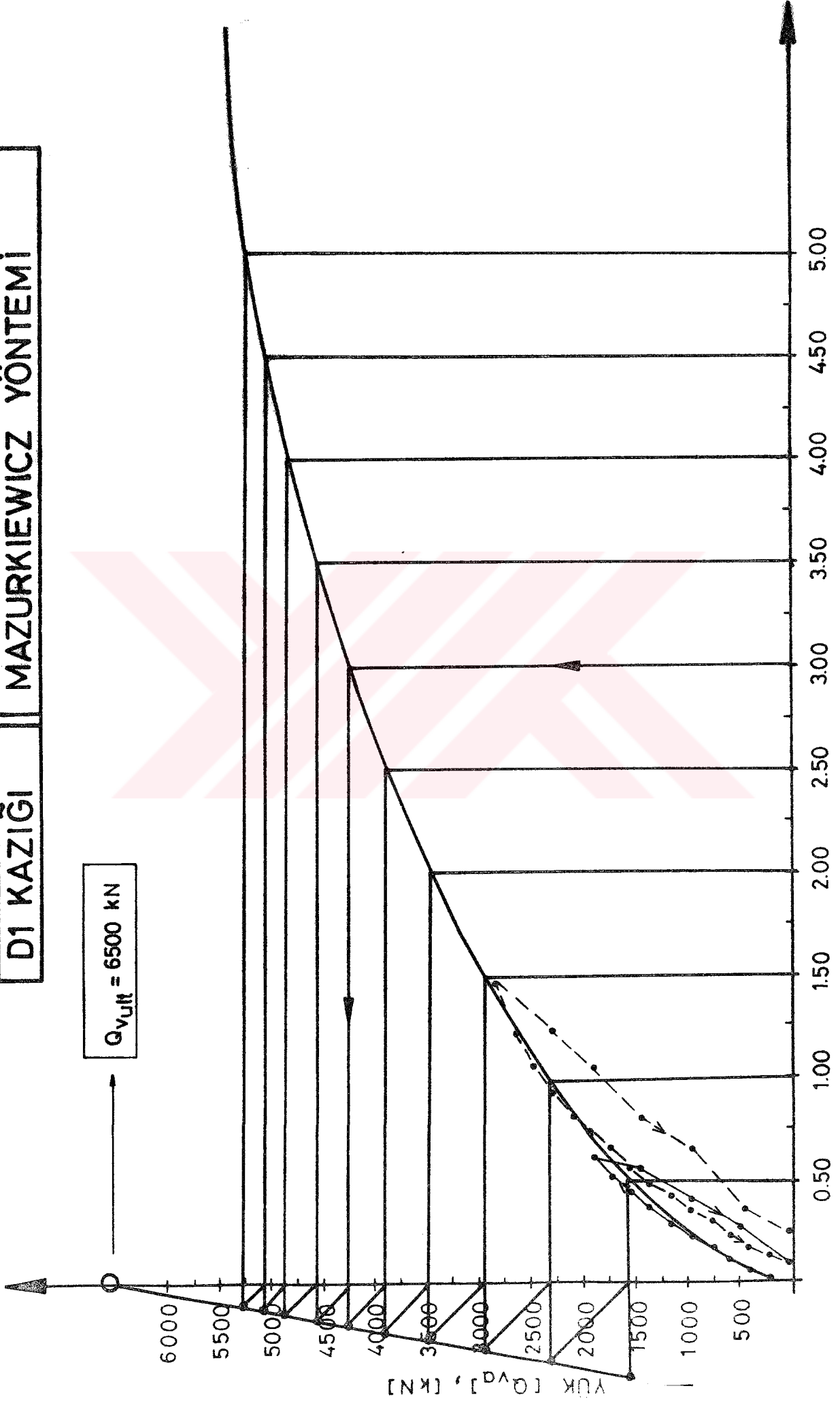
D5 KAZIĞI BRINCH HANSEN -%90



MAZURKIEWICZ YÖNTEMI İLE HESAP

D1 KAZIĞI MAZURKIEWICZ YÖNTEMİ

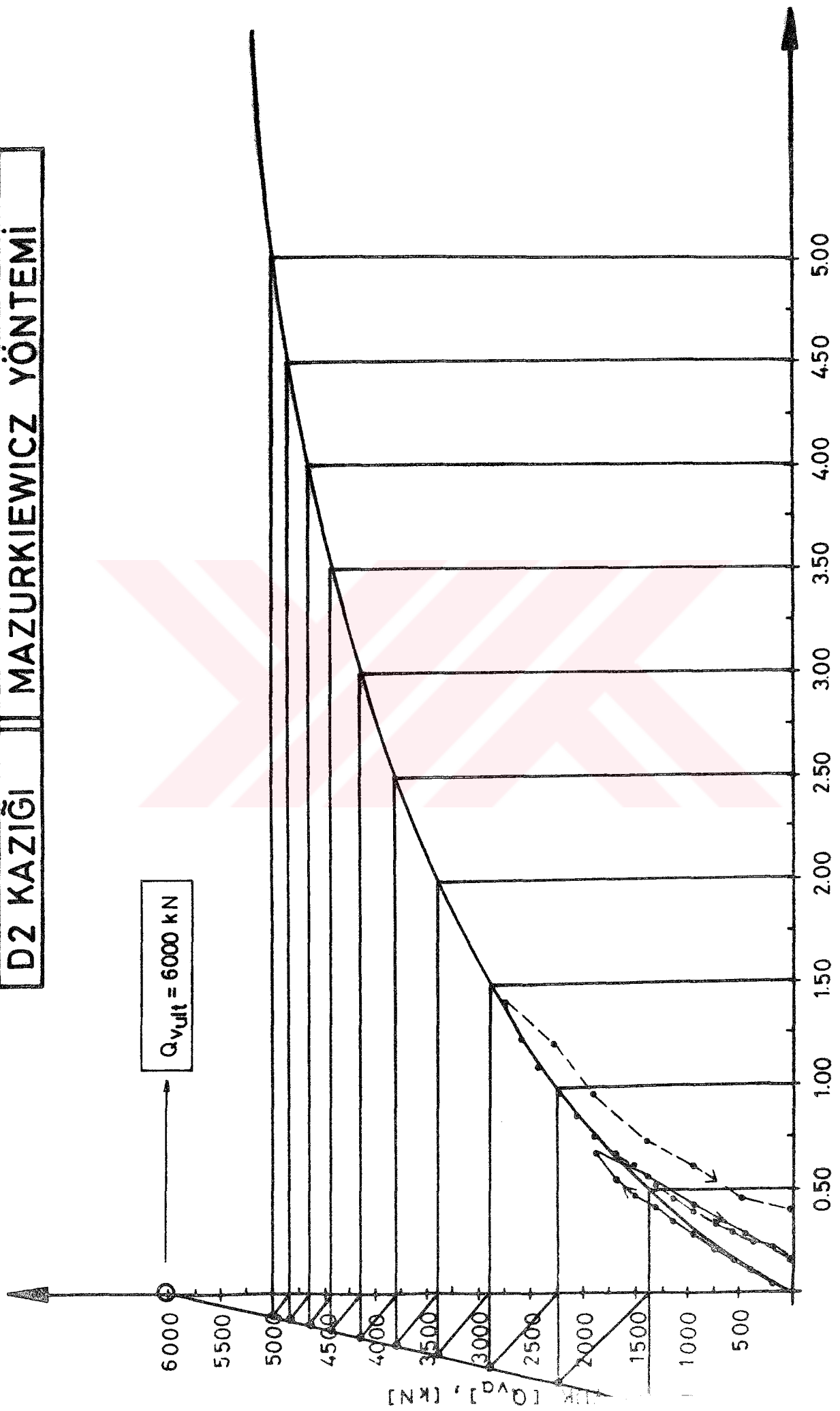
$Q_{v,ult} = 6500 \text{ kN}$



— OTURMA [S], [mm]

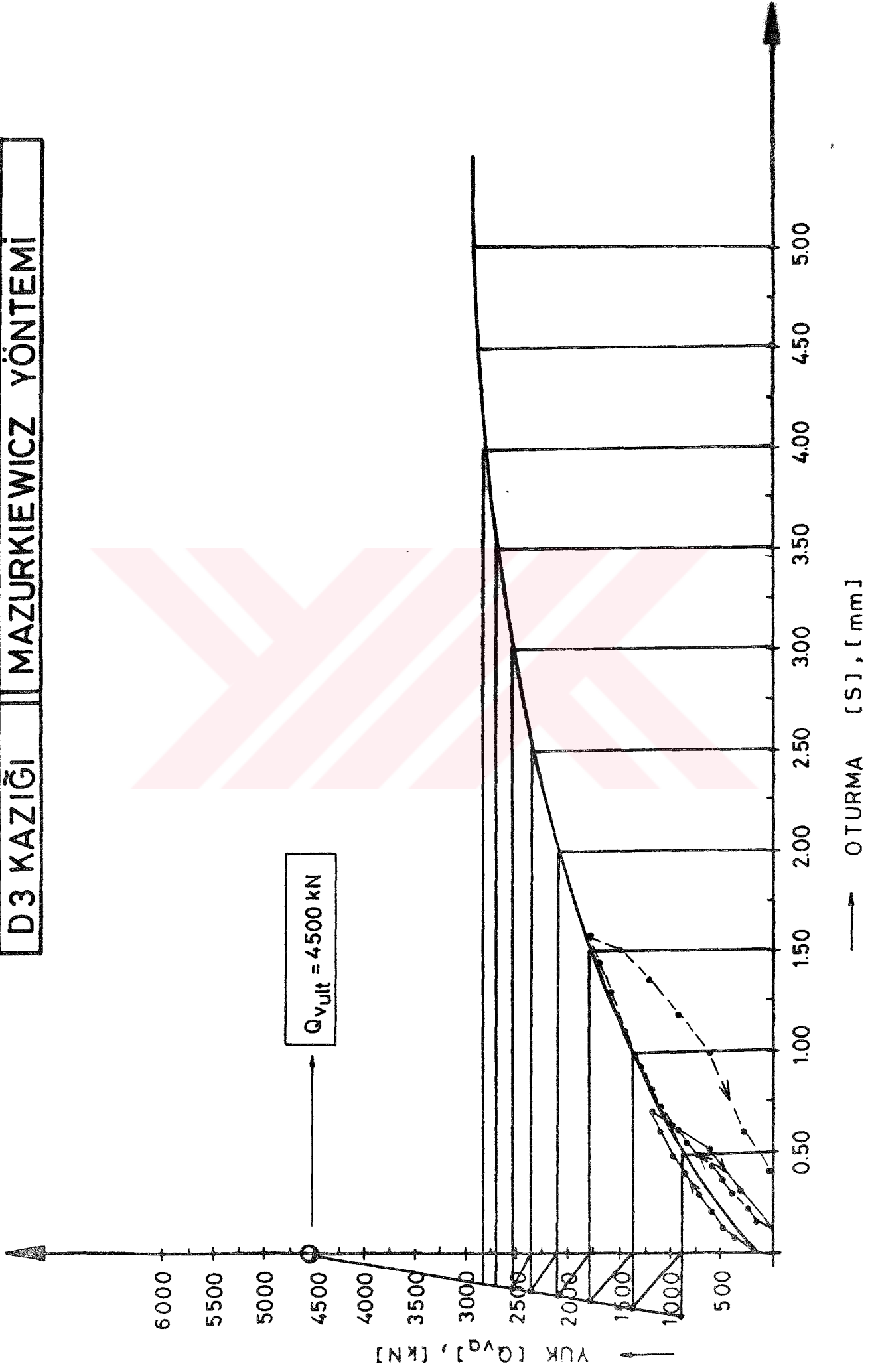
D2 KAZIĞI MAZURKIEWICZ YÖNTEMİ

$Q_{vult} = 6000 \text{ kN}$

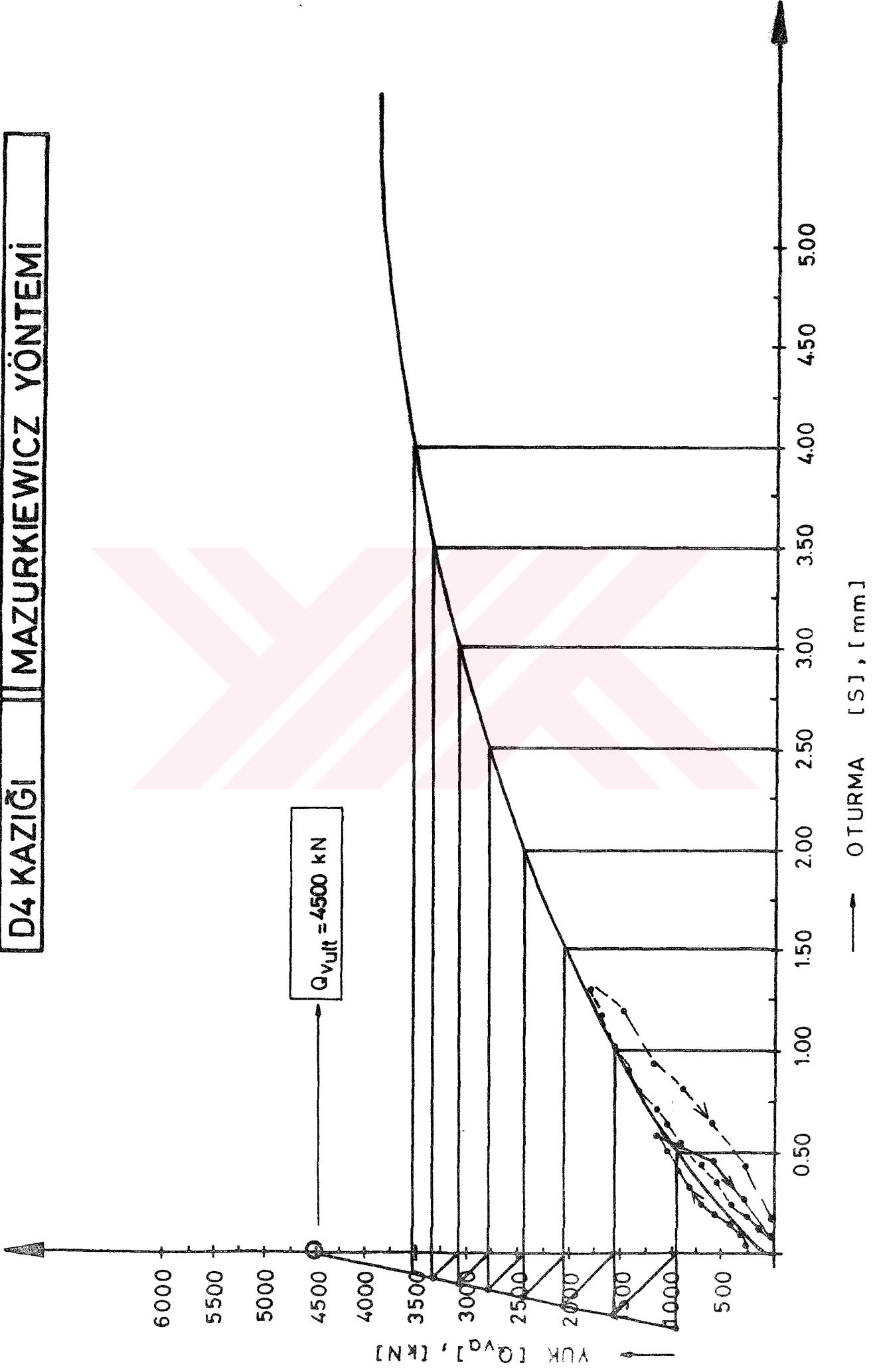


OTURMA [S], [mm]

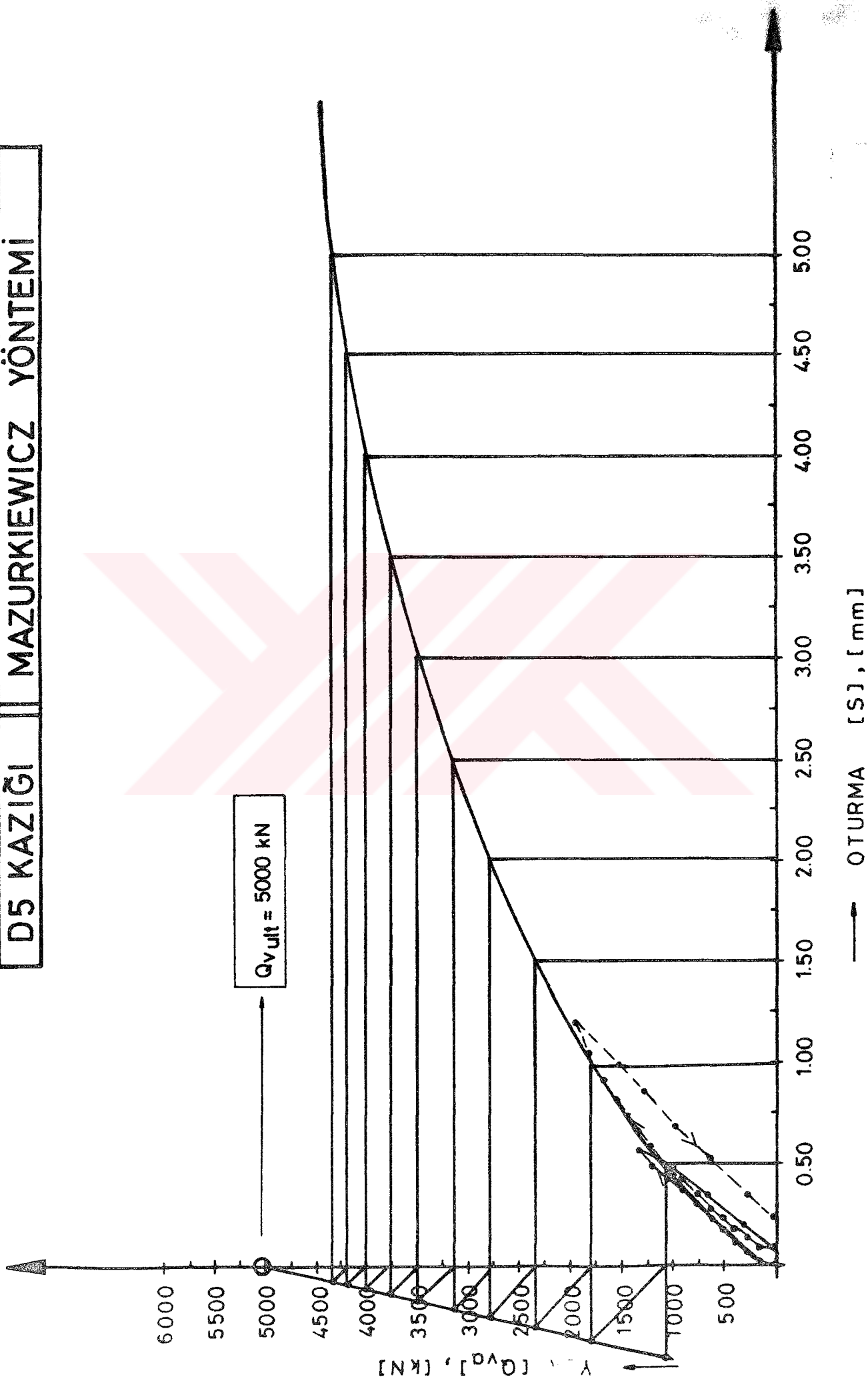
D3 KAZIĞI MAZURKIEWICZ YÖNTEMİ



D4 KAZIĞI MAZURKIEWICZ YÖNTEMİ



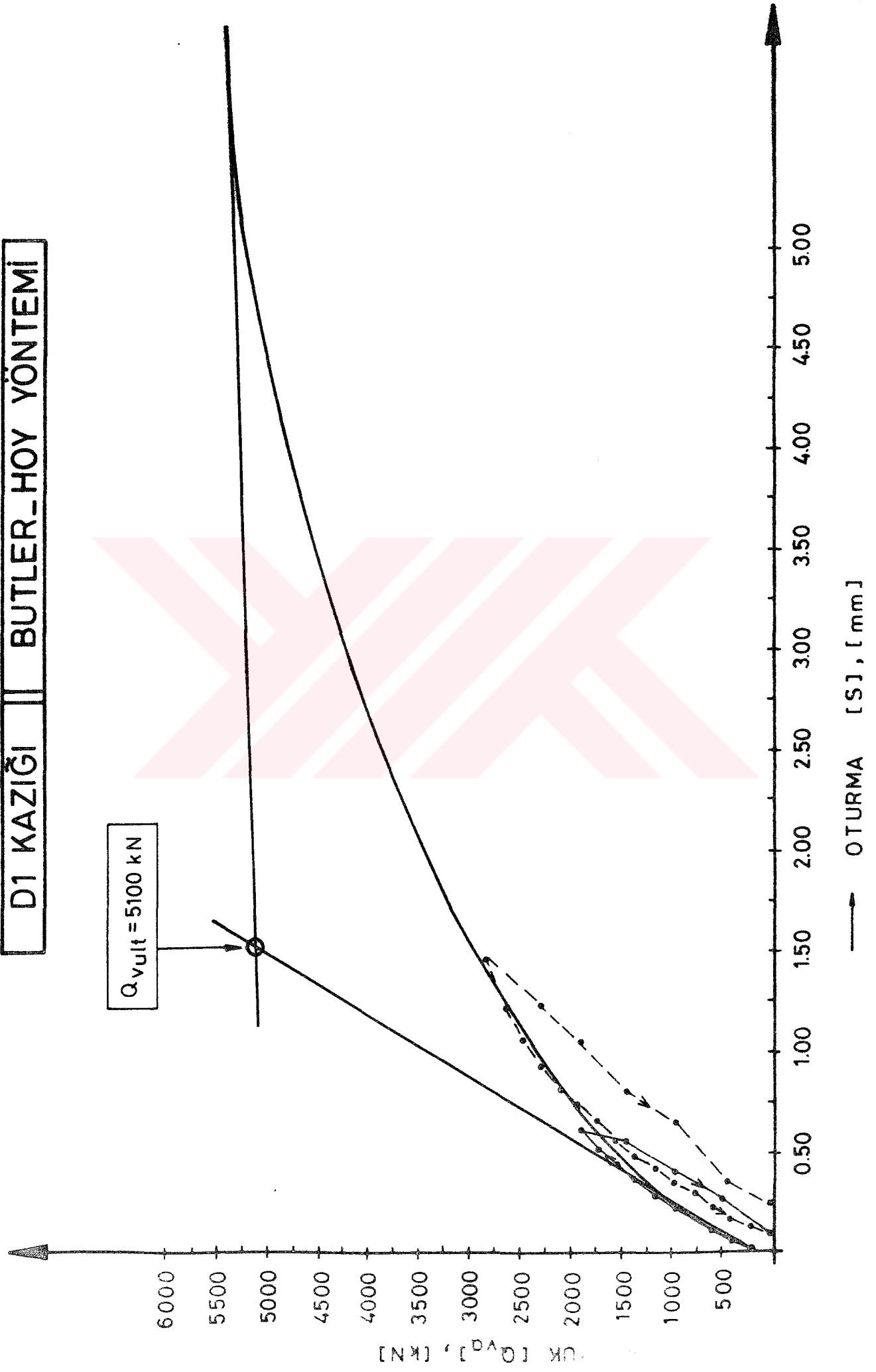
D5 KAZIĞI MAZURKIEWICZ YÖNTEMİ



BUTLER - HOY YONTEMI İLE HESAP

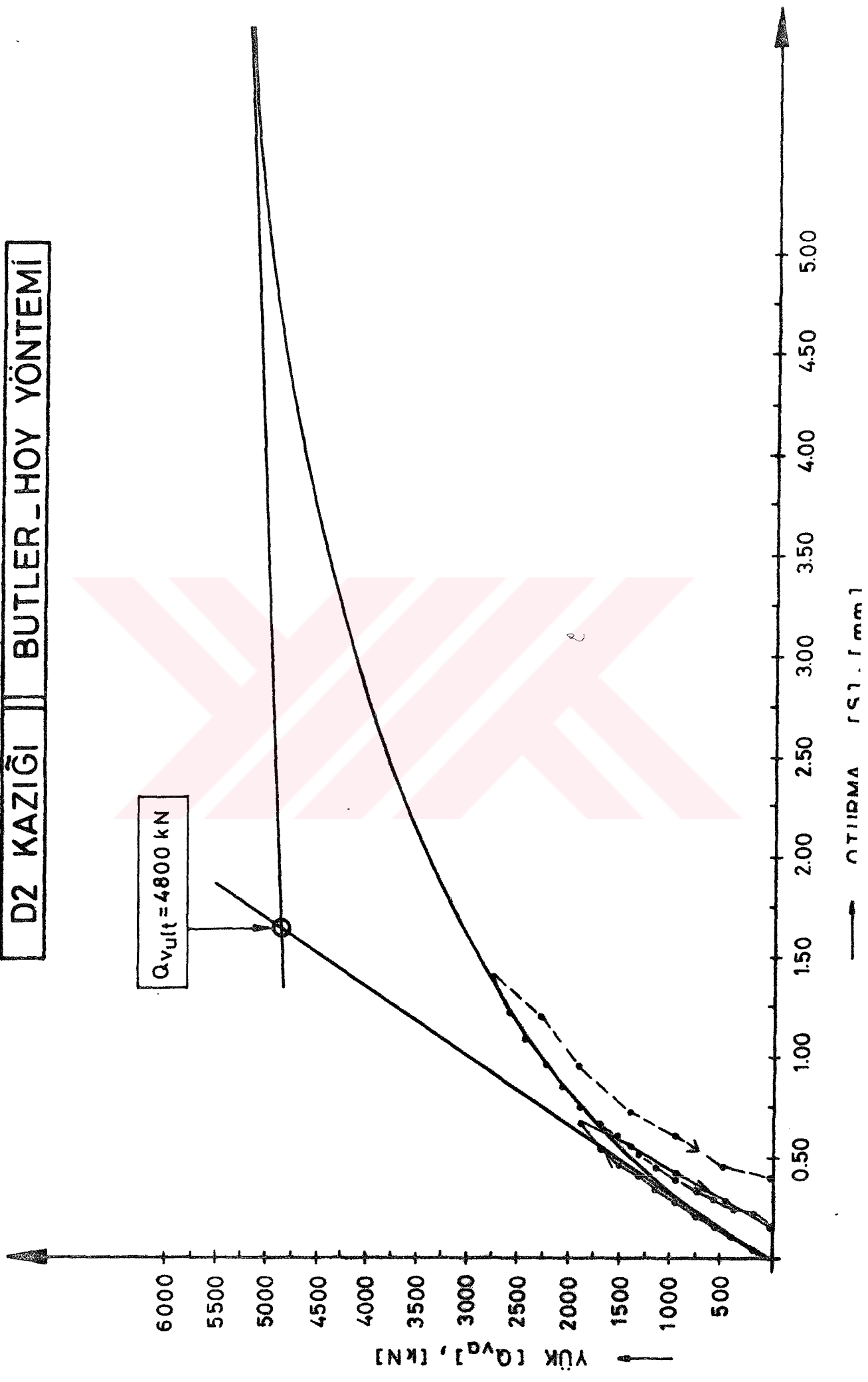
D1 KAZIĞI BUTLER-HOY YÖNTEMİ

$Q_{vult} = 5100 \text{ kN}$

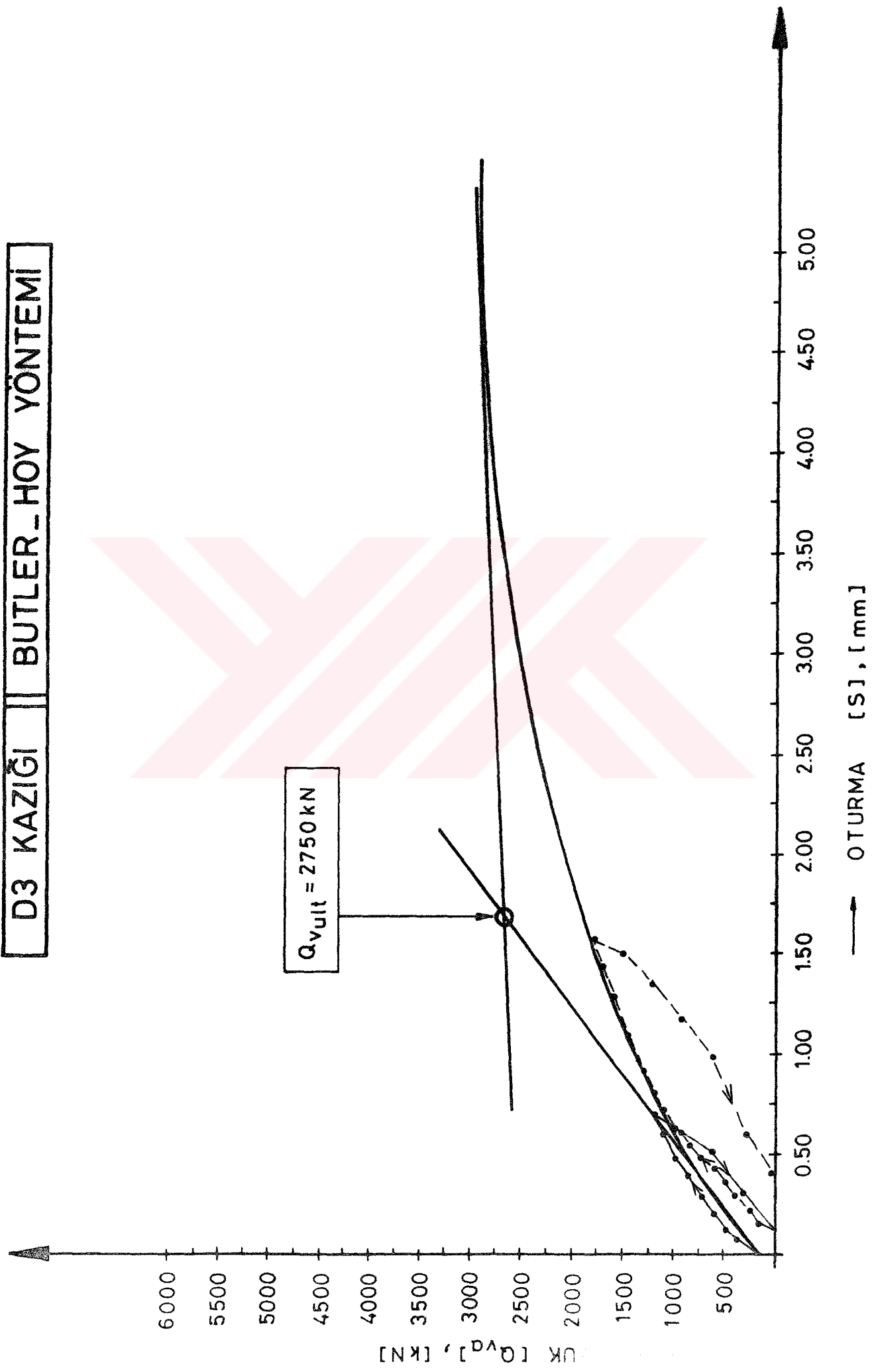


D2 KAZIĞI BUTLER_HOY YÖNTEMİ

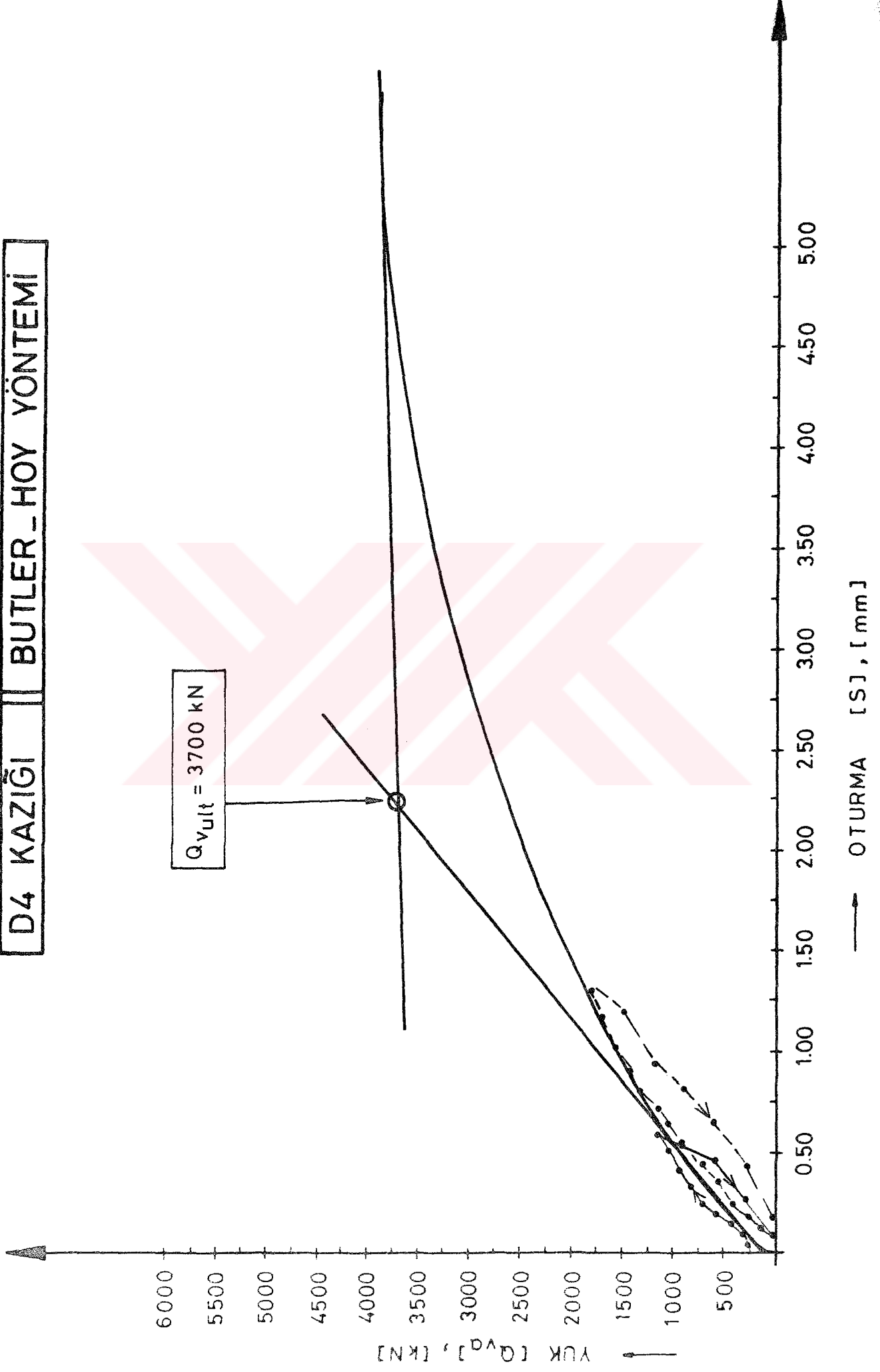
$Q_{ult} = 4800 \text{ kN}$



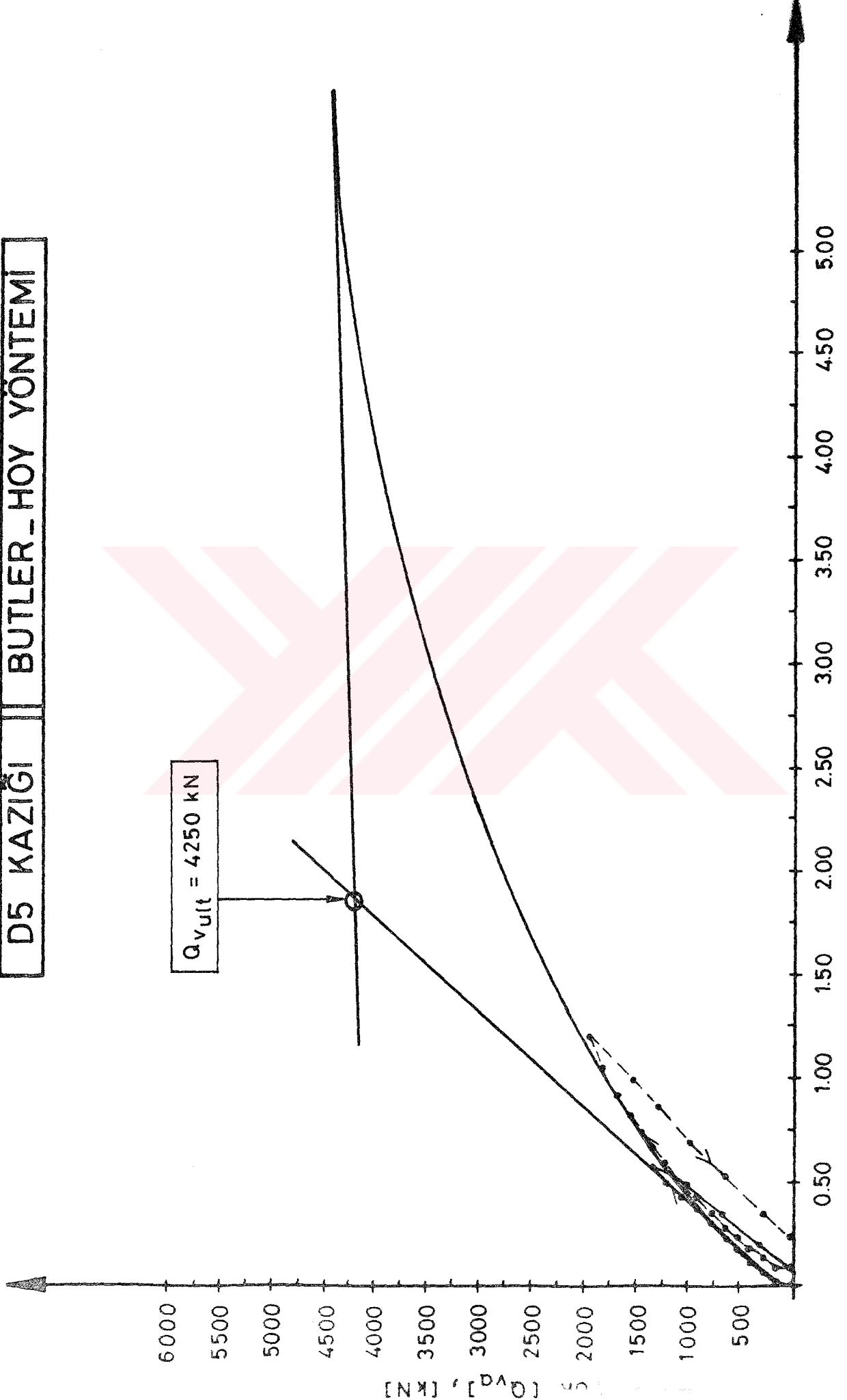
D3 KAZIĞI BUTLER-HOY YÖNTEMİ



D4 KAZIĞI BUTLER_HOY YÖNTEMİ

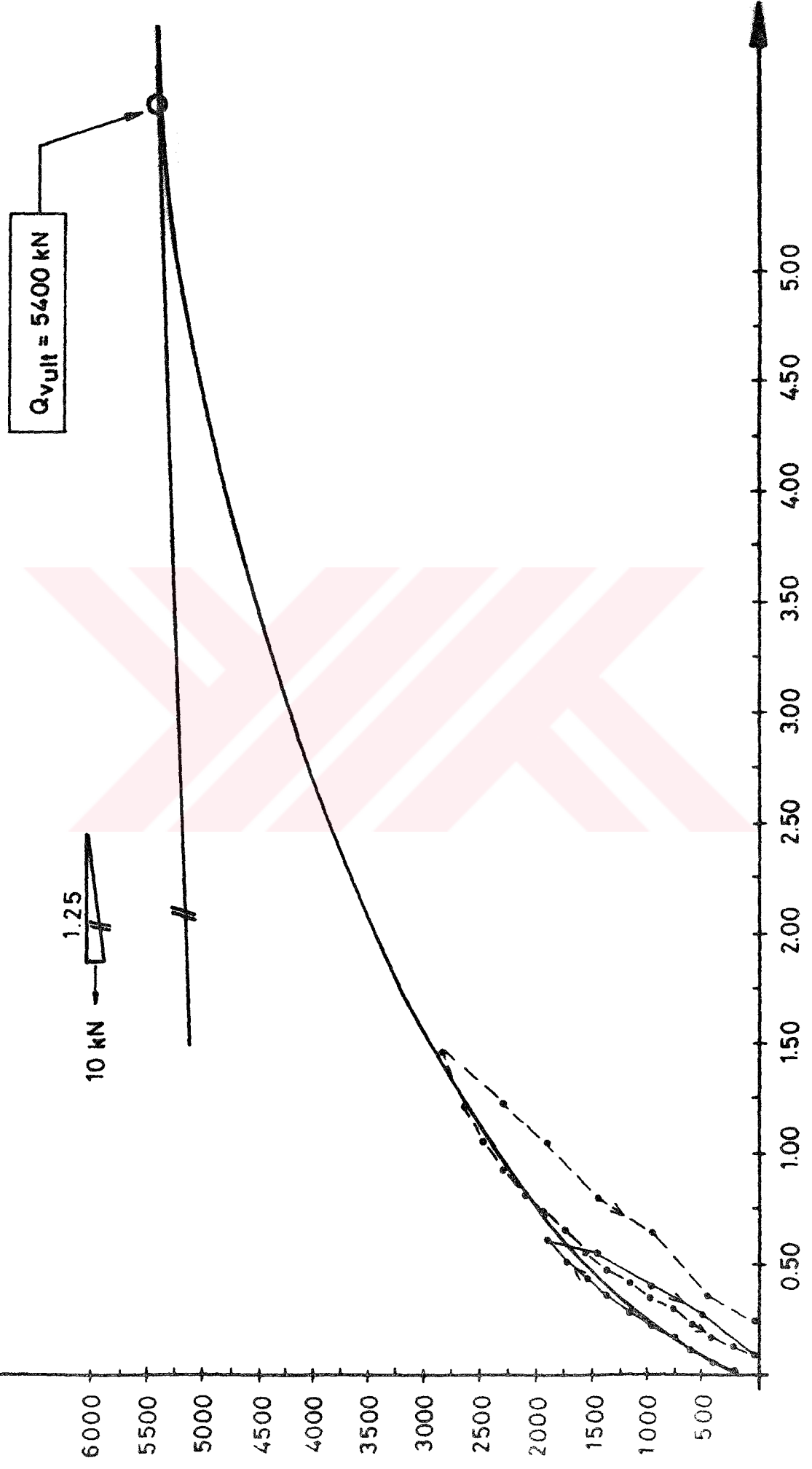


D5 KAZIĞI BUTLER-HOY YÖNTEMİ



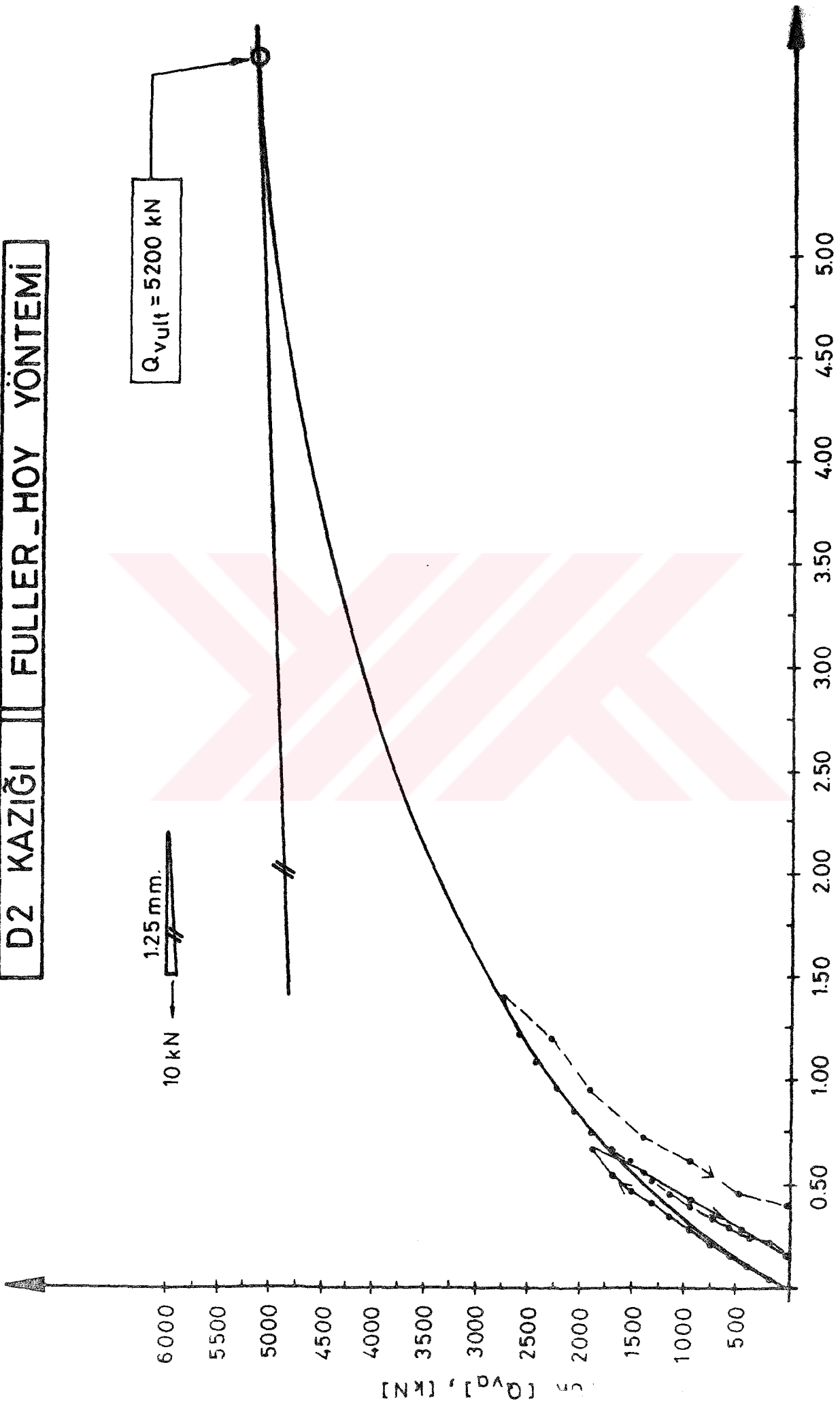
FULLER - HOY YÖNTEMI İLE HESAP

D1 KAZIĞI FULLER-HOY YÖNTEMİ



→ OTURMA [S], [mm]

D2 KAZIĞI || FULLER_HOY YÖNTEMİ



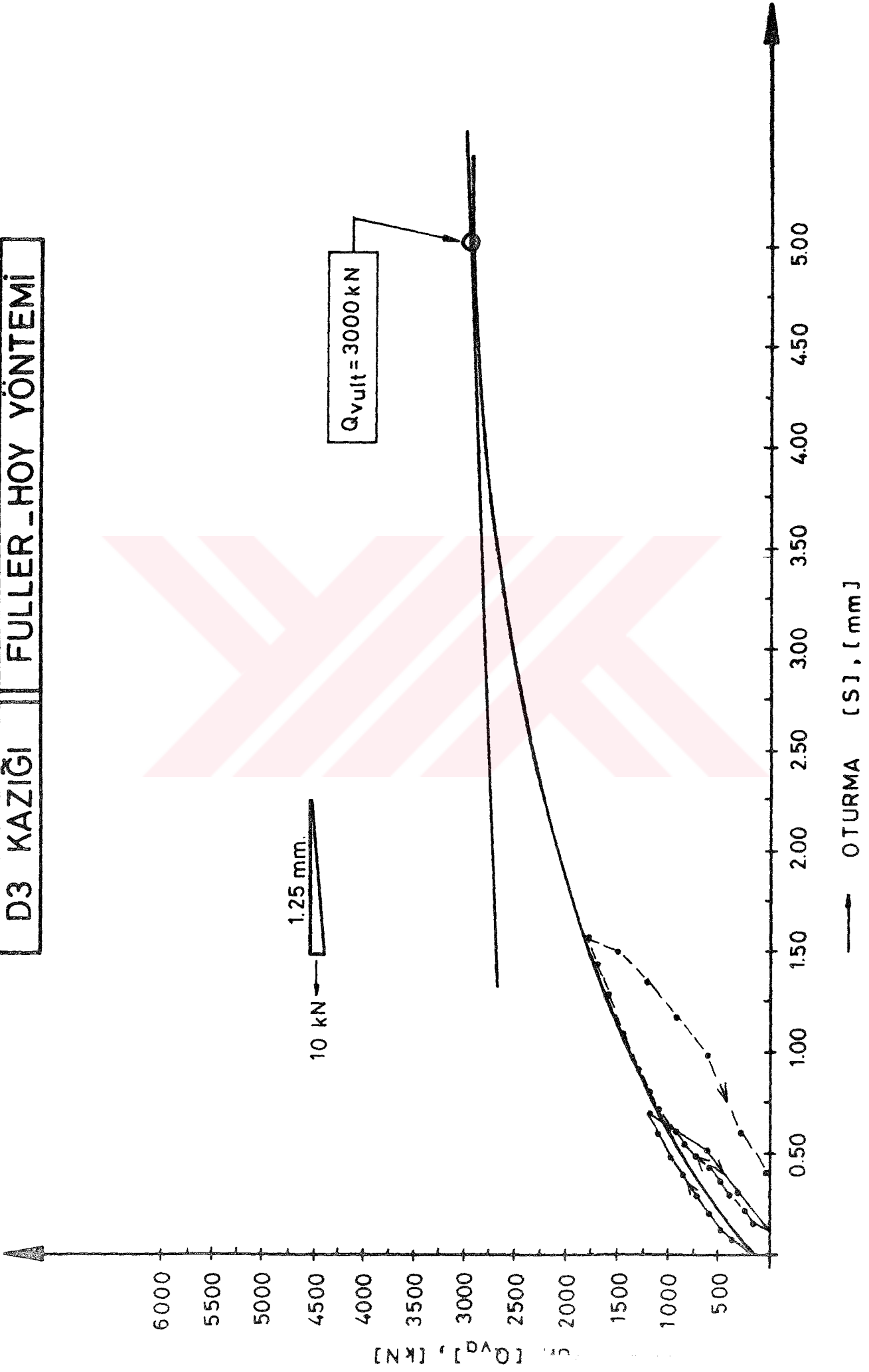
OTURMA [S], [mm]

$Q_{vult} = 5200 \text{ kN}$

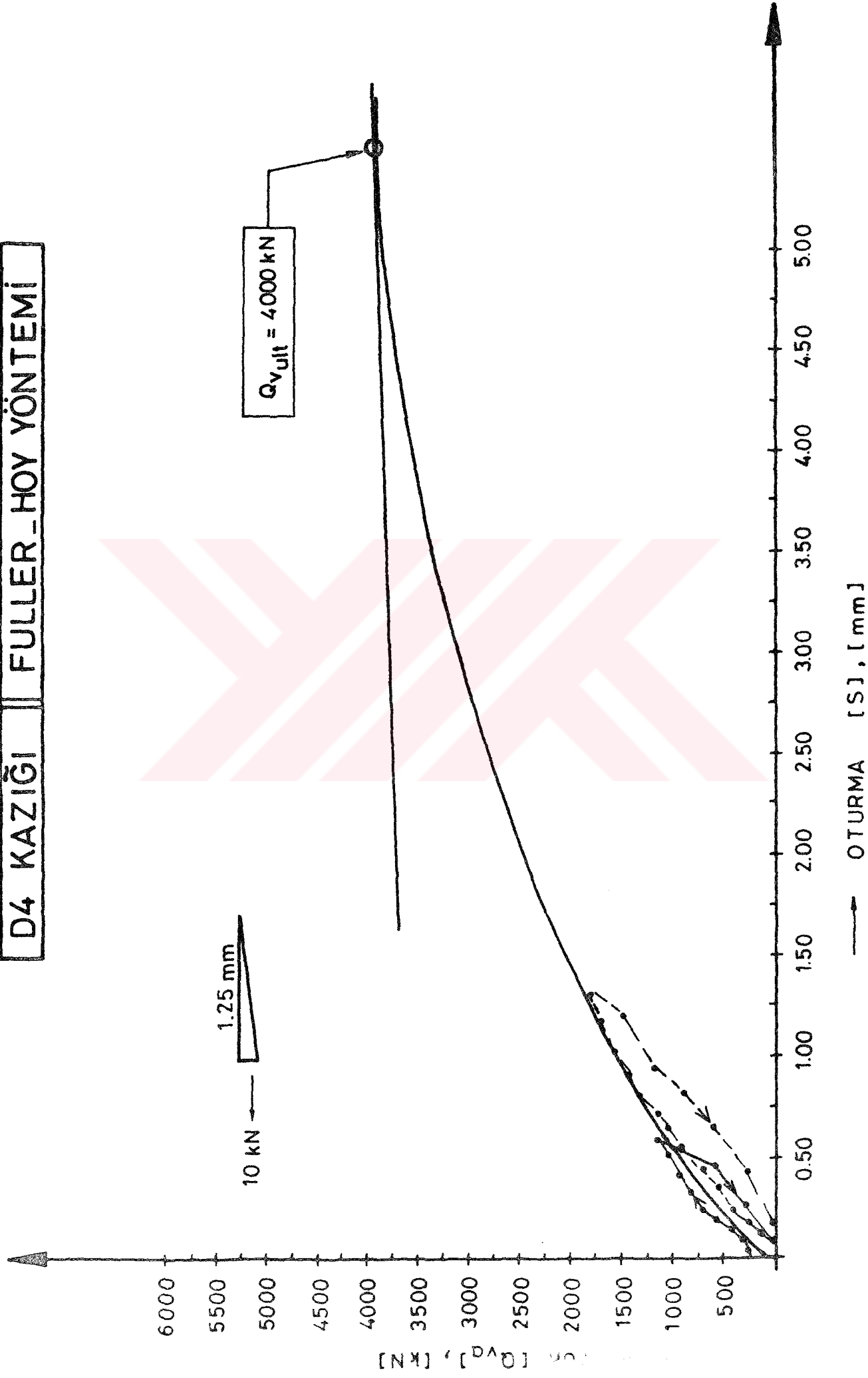
10 kN
1.25 mm.

Q_{vult} , [kN]

D3 KAZIĞI FULLER_HOY YÖNTEMİ



D4 KAZIĞI FULLER_HOY YÖNTEMİ

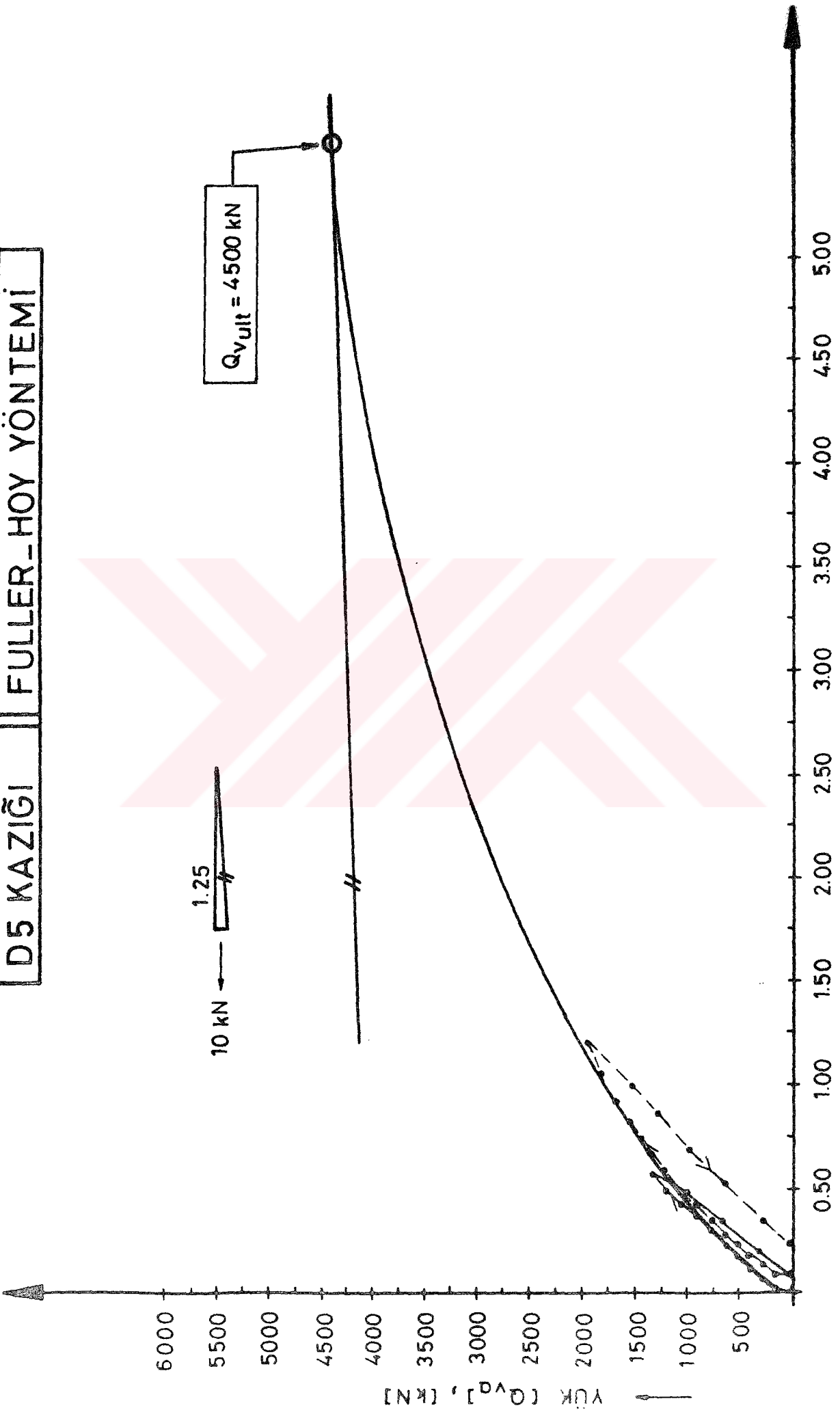


10 kN
1.25 mm

$Q_{v_{ult}} = 4000 \text{ kN}$

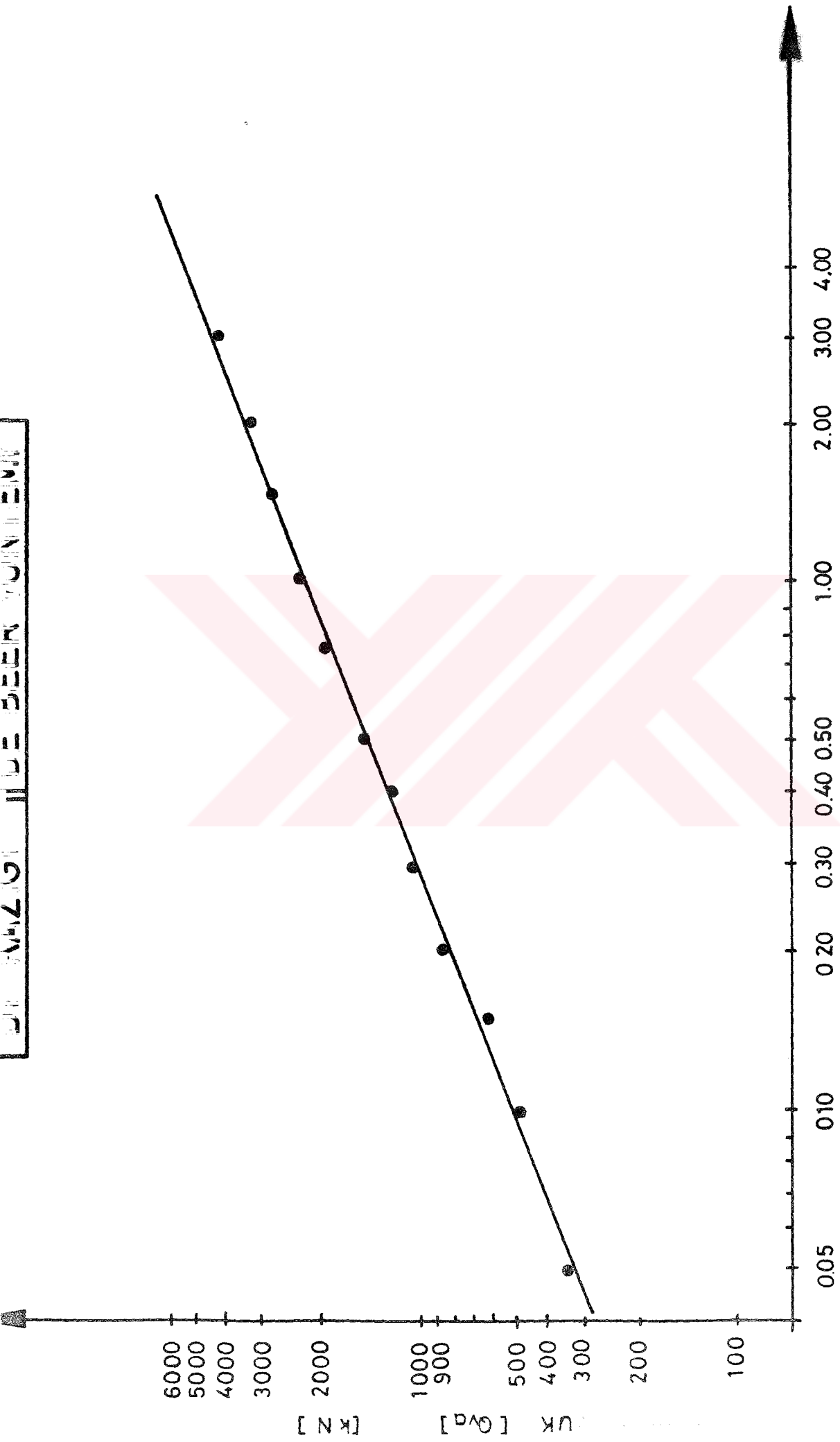
OTURMA [S], [mm]

D5 KAZIĞI FULLER-HOY YÖNTEMİ

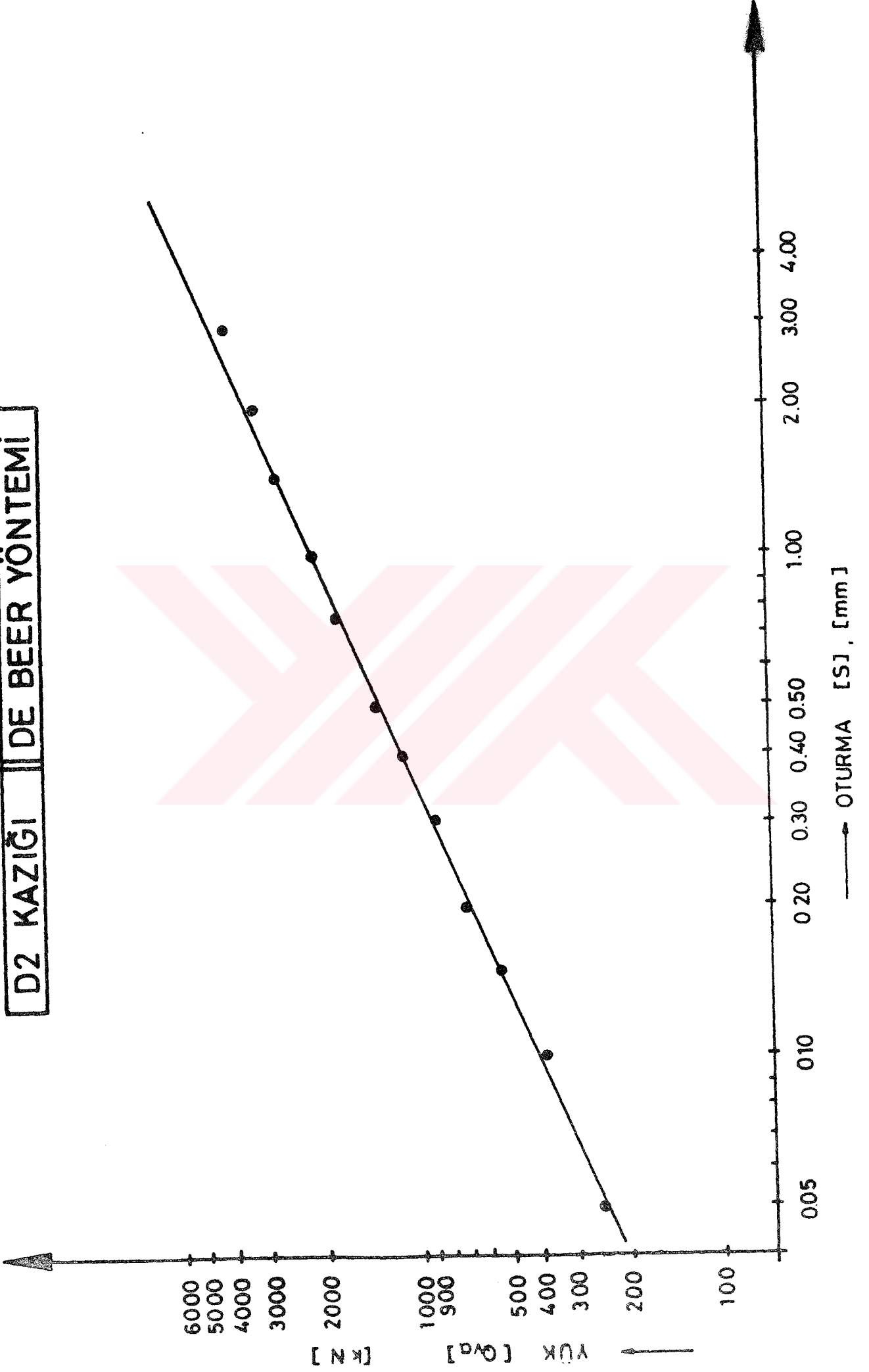


OTURMA [S], [mm]

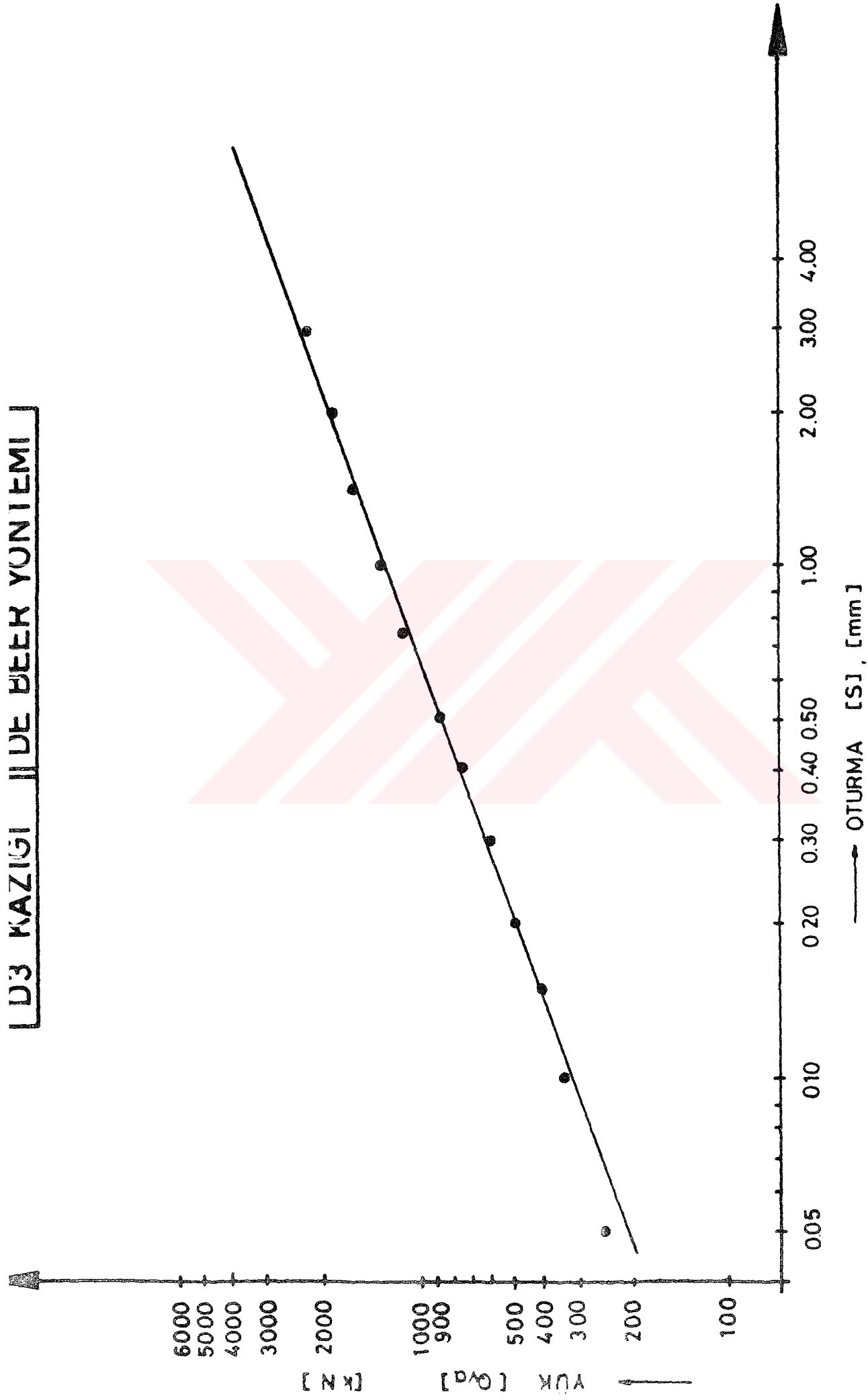
DE BEER YÖNTEMİ İLE HESAP



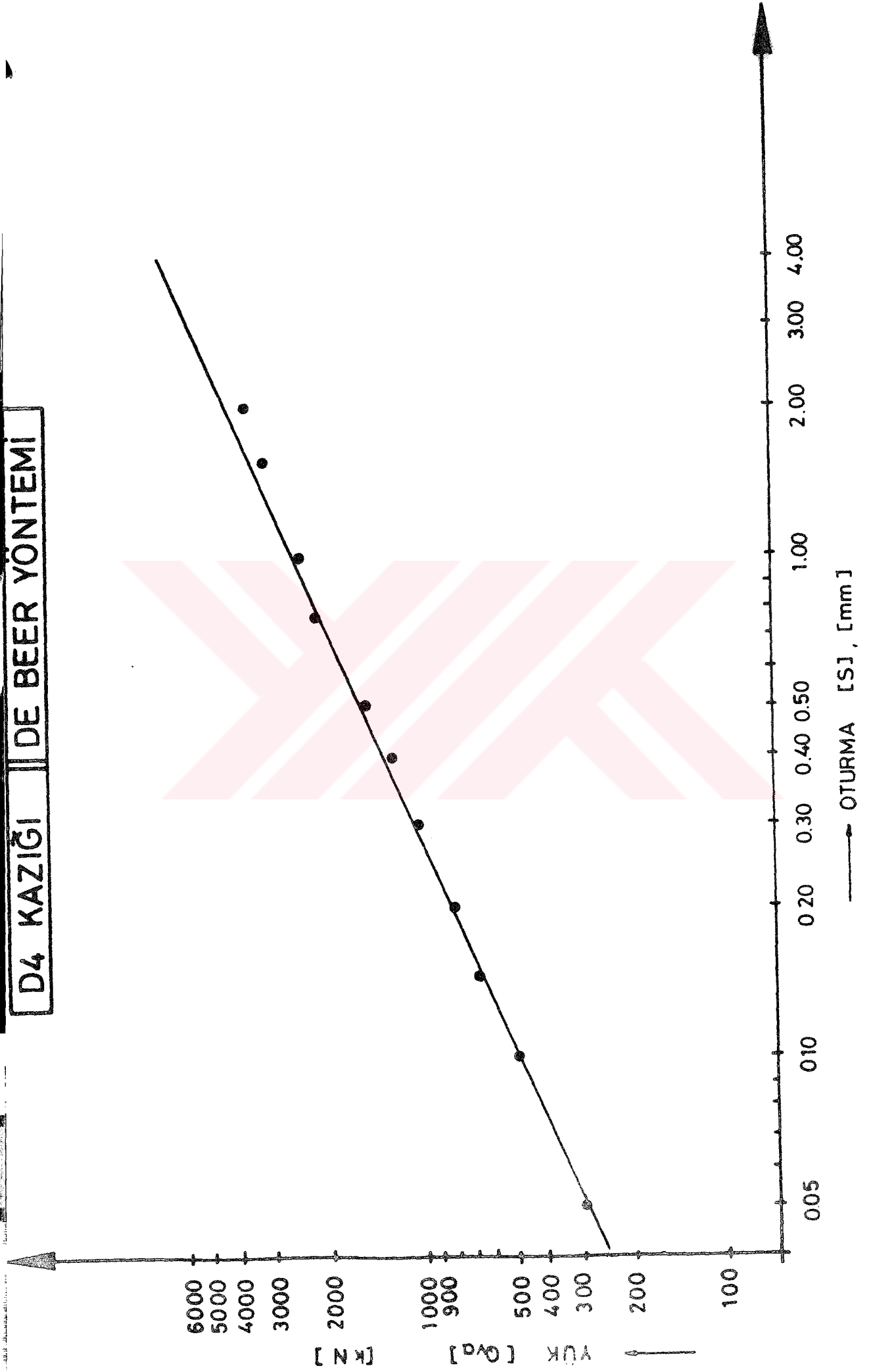
D2 KAZIĞI DE BEER YÖNTEMİ



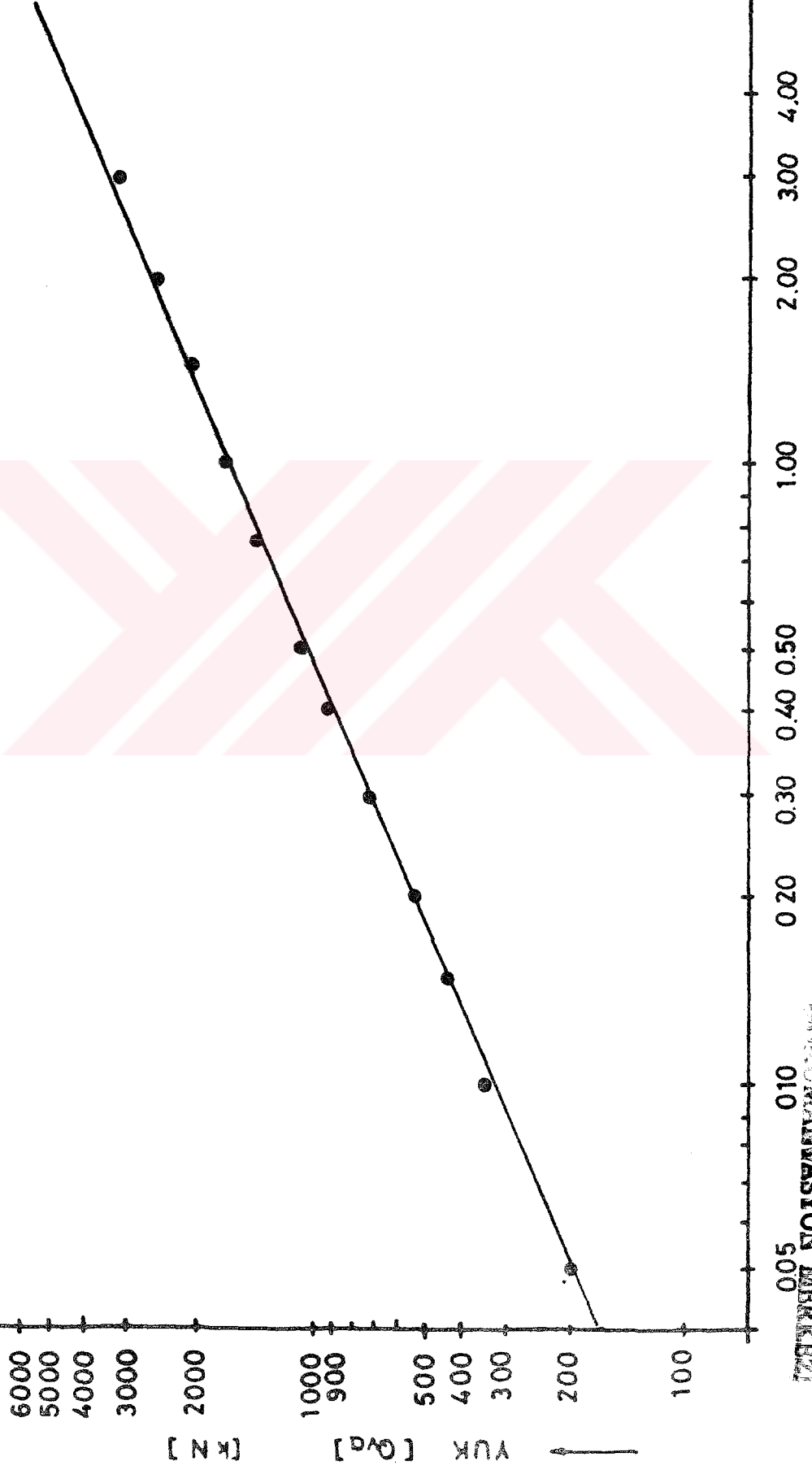
D3 KAZIĞI İLDE BEER YONTEMİ



D4 KAZIĞI DE BEER YÖNTEMİ



D5 KAZIĞI DE BEER YÖNTEMİ



Y.G. YÖNSEKİCİ
MÜHÜR
MÜHÜR
MÜHÜR

OTURMA [S], [mm]

ÖZGEÇMİŞ

1970 yılında Ankara'da doğan ODBAY, ilk ve orta öğrenimini sırasıyla Ankara Ayrancı İlkokulu ve İstanbul Suadiye Lisesi'nde tamamladıktan sonra 1987 yılında İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne kaydolup 1991 yılı Haziran döneminde mezun oldu. 1993 yılında Y.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı - Geoteknik Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Eğitimi yapmaya hak kazandı. "Betonun Mühendislik Özellikleri" konusunda yayınlanmış 10'u aşkın teknik makalenin "Beton Kalite Kontrolü", "Kaya Mekaniği", "Geoteknik" ve "Çok Yüksek Dayanımlı Beton" konularında 70'i aşkın yayınlanmamış araştırma ve teknik raporun ortak yazarı olan Oğuzhan ODBAY halen STFA Kalite Expertiz ve Gözetim Hizmetleri Limited Şirketi'nde "Yapı Malzemeleri Laboratuvar Şefi" olarak görevini sürdürmektedir.

