

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ANKRAJLARIN DEĞİŞİK FORMASYONLARDAKİ
DAVRANIŞI**

79757

İnşaat Mühendisi Samih DEDEOĞLU

**F.B.E. İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Geoteknik Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı

: Prof.Dr. Sönmez YILDIRIM

Prof. Dr. i. Kutay ÖZAYDIN
Mühürü

Prof. Dr. Erol Güler
Mühürü

İSTANBUL, 1998

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	ix
KISALTMA LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xiv
ÇİZELGE LİSTESİ	xx
ÖNSÖZ	xii
ÖZET	xiv
ABSTRACT	xv
1. ANKRAJ SİSTEMİ	001
1.1 Giriş	001
1.2 Ankrajların Zemin Mühendisliği Problemlerindeki Yeri	002
1.3 Ankraj Çeşitleri	010
1.4 Zemin, Kaya ve Deniz Yapıları Ankrajları	011
1.5 Geçici, Kalıcı, Deneme ve Kontrol Ankrajları	013
1.6 Yük İletme Şekillerine Göre Ankrajlar	016
1.7 Aktif, Pasif ve Çekme Ankrajları	018
2. ANKRAJ SİSTEMİ ELEMANLARI VE YERLEŞTİRİLMESİ	021
2.1 Giriş	021
2.2 Ankraj Parçaları	022
2.2.1 Ankraj tutulu boyu (Kök)	022
2.2.2 Ankraj serbest boyu	023
2.2.3 Ankraj kafası	024
2.3 Ankraj Tendonu	027
2.3.1 Tendon tiplerinin karşılaştırmalı tanımı	027
2.3.2 Tendon karakteristikleri	029
2.3.3 Nihai ve çalışma gerilmeleri arasındaki ilişki	031
2.4 Ankraj Delgisi	033
2.4.1 Ankraj deliği oluşturulması ve temizlenmesi yöntemleri	033
2.4.2 Önenjeksiyon ile geçirimsizlik sağlanması ve su deneyi	036
2.5 Ankraj Tendonunun Hazırlanması ve Yerleştirilmesi	038
2.6 Enjeksiyon	041

3.	ANKRAJLARDA YÜK İLETME MEKANİZMASI VE GÖÇME ŞEKİLLERİ	049
3.1	Giriş	049
3.2	Tendondan Enjeksiyona Yük İletim Mekanizması	051
3.2.1	Bağ şiddeti üzerindeki etkenler	057
3.2.2	İzin verilebilir bağ ve iletim boyu	058
3.2.3	Tendon bağ boyunun seçimi	059
3.3	Enjeksiyon ve Zemin Arasındaki Bağ Mekanizması	060
3.4	Kaya Ortamındaki Ankrajların Göçme Mekanizması	064
3.4.1	Silindirik kök gövdeli ankrajlar	064
3.4.2	Çan kök gövdeli ankrajlar	068
3.4.3	Basınç tüplü ankrajlar	070
3.5	Kum veya Granüler Zeminlerdeki Ankrajların Göçme Mekanizması	072
3.6	Killi Zeminlerdeki Ankrajların Göçme Mekanizması	083
3.7	Zemin Kütlesinde Ankraj Göçmesi	096
3.8	Enjeksiyon Kolonunun Çatlaması veya Ezilmesi	100
3.9	Ankraj Grupları	101
3.10	Uzun Süreli Yükleme ve Krip Etkisi	102
3.10.1	Zemindeki krip etkisi	102
3.10.2	Ankraj elemanlarında krip etkisi	104
3.11	Tekrarlı Yükleme	107
3.12	Ankraj Eğiminin Etkisi	110
4.	ANKRAJLARDA UYGULANAN DENEY YÖNTEMLERİ VE İSTENİLEN KABUL ŞARTLARI	114
4.1	Giriş	114
4.2	Ankrajların Yükleme Deneylerini Etkileyen Etkenler	116
4.3	Germe Yöntemleri	117
4.4	Yük ve Uzama Ölçümü	121
4.5	Ankraj Germe İşlemi Sonuçlarının Yorumunu Etkileyen Faktörler	125
4.5.1	Ankraj davranışı gözlemleri	125
4.5.2	Ölçüm hatalarının kaynakları	126
4.5.3	Sürtünme çeşitleri	127
4.6	Tendon Gerilmesinin Genel Mekanizması	129
4.7	Tendon Gerilmesinin İdeal Mekanizması	131
4.8	Ankraj Uygulanan Deneyler ve Germe Yöntemleri	133
4.8.1	Yapım öncesi ankraj deneyleri	133
4.8.2	Yapım sonrası ankraj deneyleri	137
4.8.2.1	Arazi uygunluk deneyleri	137
4.8.2.2	Kabul edilebilirlik deneyleri	138
4.8.2.3	Ankraj deneyi ve germe işleminin içeriği	139
4.8.3	Uzun süreli gözlemler	140

5.	YABANCI ŞARTNAMELER VE UYGULANAN ANKRAJ DENEYLERİ	142
5.1	Giriş	142
5.2	DIN 4125 - Alman Şartnamesi	143
5.2.1	Kanıt deneyi	143
5.2.2	Arazi uygunluk deneyi	144
5.2.2.1	Saha-faaliyet alanı	144
5.2.2.2	Yöntem	144
5.2.2.3	Kalıcı ankrajların çevrimli yüklenmesi	149
5.2.2.4	Sınırlamalar	149
5.2.2.4.1	Krip hareketi	149
5.2.2.4.2	Serbest tendon boyu ve sürtünme kayıpları	150
5.2.2.5	Ölçüm aygıtları	151
5.2.2.6	Ankraj grupları	151
5.2.2.7	Deney raporu	151
5.2.3	Kabul edirlilik deneyi	151
5.2.3.1	Yöntem	151
5.2.3.2	Kayıtlar	153
5.2.3.3	Kabul kriteri	153
5.2.3.4	Ölçme aygıtları	155
5.2.3.5	Servis süresinin uzatılması	156
5.2.4	Uygunluk deneylerinin değerlendirilmesi ve sonuçlarının irdelenmesi	156
5.2.4.1	Sınır çizgileri	156
5.2.4.2	Sonuçların irdelenmesi	158
5.2.4.3	Tendon serbest boyunun belirlenmesi	158
5.2.5	Servis sırası deneyi	158
5.3	SIA 191 - İsviçre Şartnamesi (1977)	159
5.3.1	Deney ankrajları	159
5.3.1.1	Genel	159
5.3.1.2	Deney ankrajlarının sayısı	160
5.3.1.3	Deneylerin süresi	161
5.3.1.4	Ölçülen değişkenler ve incelik şartları	161
5.3.2	Ankraj deneyi	162
5.3.2.1	Deneyin uygulanışı	163
5.3.2.2	$V_p > 200 \text{ KN}$ Deney yüklü ankrajların değerlendirilmesi	165
5.3.2.2.1	V_v Limit yükünün belirlenmesi	165
5.3.2.2.2	Ankraj etkin serbest boyu' nun (l_f) belirlenmesi	166
5.3.2.2.3	Kalıcı (Δl_{bl}) uzamanın belirlenmesi	167
5.3.2.3	$V_p \leq 200 \text{ KN}$ Deney yüklü ankrajların değerlendirilmesi ve belirlenmesi	168
5.3.2.4	Kayıtlar	168
5.3.2.5	Ölçüm inceliği	169
5.3.2.6	Uzun süreli deneyler	169
5.3.3	Germe deneyi	169
5.3.3.1	Genişletilmiş germe deneyinin uygulanışı	170

5.3.3.2	Genişletilmiş germe deneyinin değerlendirilmesi	172
5.3.3.3	Basit germe deneyinin uygulanışı	172
5.3.3.4	Basit germe deneyinin değerlendirilmesi	173
5.3.3.5	Kayıtlar	174
5.3.3.6	Ölçüm inceliği	174
5.3.4	Koşulların ve işin kayıtları, kontroller	174
5.3.5	Ankraj sınıfları	175
5.4	U.S. Ulaştırma Bölümü Teknik Raporu (1984)	176
5.4.1	Giriş	176
5.4.2	Gözlemlenecek mekanizma	177
5.4.3	Deney ve germe araçları	179
5.4.4	Ön üretim deney ankrajları	182
5.4.4.1	Tasarım yükünün güvenlik faktörünü araştırmak için	183
5.4.4.2	Tasarım yükünü belirlemek	184
5.4.5	Üretim ankrajları deneyleri	188
5.4.5.1	Performans deneyleri	189
5.4.5.2	Kanıt deneyleri	190
5.4.5.3	Kalıcı ankrajların ankraj deneyi ve gerilmesi	190
5.4.5.4	Kabul kriteri	193
5.4.6	Kalıcı ankraj yükünün yapıya iletilmesi	195
5.4.7	Sıyrılma Deneyleri	196
5.4.8	Üretim ankrajı deneylerinin yorumlanması	198
5.5	B.S. 8081 - İngiliz şartnamesi (1989)	202
5.5.1	Giriş	202
5.5.2	Kanıt deneyleri	203
5.5.2.1	Genel	203
5.5.2.2	Malzemeler ve bileşenler	205
5.5.2.3	Deneme ankrajları	209
5.5.2.4	Maksimum yük	211
5.5.2.5	Yük-uzama verileri	211
5.5.2.6	Yük-zaman verileri	215
5.5.2.7	Uzama-zaman verileri	216
5.5.2.8	Yük veya uzama ölçümlerinin sayısı	217
5.5.2.9	Mevcut serbest tendon boyu	217
5.5.2.10	Kontrol	219
5.5.2.11	Ankrajların değerlendirilmesi	219
5.5.2.12	Mevcut serbest tendon boyu sınırları	219
5.5.2.13	Öngerme kayıp oranı	220
5.5.2.14	Uzama oranı	220
5.5.2.15	Paslanma koruması	221
5.5.3	Arazi uygunluk deneyleri	221
5.5.3.1	Genel	221
5.5.3.2	Kanıt yükleri	222
5.5.3.3	Yük-uzama verileri	222
5.5.3.4	Kanıt yükü-zaman verileri	224
5.5.3.5	Kanıt yükünde uzama-zaman verisi	224
5.5.3.6	Kalıcı yük-zaman verileri	224

5.5.3.7	Kalıcı yükteki uzama-zaman verileri	225
5.5.3.8	Mevcut tendon serbest boyu	226
5.5.3.9	Ankrajların değerlendirilmesi	226
5.5.4	Arazi kabul edilebilirlik deneyleri	226
5.5.4.1	Genel	226
5.5.4.2	Kanıt yükleri	226
5.5.4.3	Yük-uzama verileri	226
5.5.4.4	Kanıt yükü-zaman verisi	228
5.5.4.5	Kanıt yükünde uzama-zaman verisi	228
5.5.4.6	Kalıcı yük-zaman verisi	228
5.5.4.7	Kalıcı yükte uzama-zaman verisi	229
5.5.4.8	Mevcut tendon serbest boyu	230
5.5.4.9	Ankrajların değerlendirilmesi	230
5.5.4.10	Ankrajların etkileşimi	230
5.5.5	Ankrajların yapım sonrası davranışlarının gözlemlenmesi	232
5.5.5.1	Genel şartlar	232
5.5.5.2	Gözlemlemenin gerekliliği	235
5.5.5.3	Gözlemlemenin sürekliliği ve sıklığı	236
5.5.5.4	Gözlemlemenin kapsamı	237
5.5.6	Eklemeler	238
5.5.6.1	Ek.1 Yapının sistemine dayalı gözlemleme	238
5.5.6.2	Ek.2 Arazi koşullarına dayalı gözlemleme	238
5.5.6.3	Ek.3 Göçme biçimine bağlı gözlemleme	239
5.5.6.4	Ek.4 Şevlere bağlı gözlemleme	240
5.5.6.5	Ek.5 Çökmeye bağlı gözlemleme	240
5.5.6.6	Ek.6 Deney verilerinin değerlendirilmesi	241
5.5.6.7	Ek.7 Kanıt yükü etkenleri	242
5.5.6.8	Ek.8 Ankrajların uzun süreli davranışları için kabul kriteri	243
5.5.6.9	Ek.9 Göçen ankrajlara yapılan yeni işlemler	246
5.5.6.10	Ek.10 Kabul edilebilir kriş etkisi için sınır yük değeri	247
5.5.6.11	Ek.11 Servis sırasında çevrimli yükleme uygulanan zemin ankrajlarında kökün kalıcı yerdeğiştirmesi	249
5.5.6.12	Ek.12 Deney yöntemleri	251
6.	PRATİKTE KULLANILAN VE YABANCI ŞARTNAMELERE GÖRE UYGULANAN YÖNTEMLERLE ALINAN ŞANTİYE VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMELERİ	252
6.1	Giriş	252
6.2	Pratikte Arazide Kullanılan Ölçüm Sistemleri ve Deney Yöntemleri	253
6.2.1	Amaç	253
6.2.2	Kullanılan ölçüm sistemi	254
6.2.3	Kullanılan arazi deney ve gözlem yöntemleri	254
6.2.4	Kullanılan ölçüm sistemine ve deney yöntemlerine göre alınan deney sonuçları	260

6.2.4.1	Ankara şantiyesi	260
6.2.4.2	İstanbul-Merter şantiyesi	265
6.2.4.3	İstanbul Metro şantiyesi	274
6.3	Yabancı Şartnamelere Göre Arazide Uygulanan Ölçüm Sistemi ve Deney Yöntemi	286
6.3.1	Amaç	286
6.3.2	Tasarlanan ve uygulanan ölçüm sistemi	288
6.3.3	Uygulanan arazi deney yöntemi	290
6.3.4	Uygulanan ölçüm sistemi ve deney yöntemine göre alınan deney sonuçları	291
6.3.4.1	İstanbul-Zincirlikuyu şantiyesi	292
6.3.4.2	İstanbul-Maslak şantiyesi	307
6.4	Laboratuarda Uygulanan Ölçüm Sistemi ve Deney Yöntemi	324
6.4.1	Amaç	324
6.4.2	Ölçüm sistemi ve deney yöntemi	325
6.4.3	Uygulanan laboratuvar deneylerinden alınan sonuçlar	326
7.	SONUÇLAR DEĞERLENDİRMELER VE ÖNERİLER	
7.1	Giriş	332
7.2	Sonuçlar	332
7.2.1	Zincirlikuyu şantiyesi	337
7.2.2	Maslak şantiyesi	340
7.3	Değerlendirmeler	342
7.4	Öneriler	345
7.4.1	Ölçüm sistemi üzerine öneriler	345
7.4.2	Deney yöntemi üzerine öneriler	347
7.4.3	Gözlemleme yöntemleri üzerine öneriler	349
	KAYNAKLAR	352
	EKLER	358
Ek 1	Arazi Uygunluk Deneyleri	
	Akış Şeması - DIN 4125	358
Ek 2	Kabul Edilebilirlik Deneyleri	
	Akış Şeması - DIN 4125	361
Ek 3	Ankraj Deneyleri Akış Şeması - SIA 191	363
Ek 4	Germe Deneyleri Akış Şeması - SIA 191	365
Ek 5	Üretim Öncesi Yük Deneyleri	
	Akış Şeması - U.S. Ulaştırma Bölümü Teknik Raporu	367
Ek 6	Üretim Ankrajları Deneyleri	
	Akış Şeması - U.S. Ulaştırma Bölümü Teknik Raporu	369
Ek 7	Zemin Ankrajları Kanıt Deneyleri	
	Akış Şeması - B.S. 8081	373

Ek 8	Zemin Ankrajları Arazi Uygunluk Deneyleri Akış Şeması - B.S. 8081	374
Ek 9	Zemin Ankrajları Kabul Edilebilirlik Deneyleri Akış Şeması - B.S. 8081	375
	ÖZGEÇMİŞ	376



SİMGE LİSTESİ

a	: Adezyon katsayısı
a_s	: Şaft adezyon katsayısı
a_u	: Verim katsayısı
A	: Dayanım sabiti
A	: Tendondaki eksenel gerilme ile bağ gerilmesi arasındaki sabit
A	: Çelik tendonun kesit alanı
AL	: Germe ve deney ekipmanının gergin hale getirilmesi için gerekli yük
A_s	: Tendonun kesit alanı
A_t	: Tendonun kesit alanı
B	: Çimento tipine bağlı, deney tarihindeki birimsiz sabit
c	: Kohezyon katsayısı
c_a	: Enjeksiyon-zemin arası adezyon
cal l_{fs}	: Hesap ile belirlenen tendon serbest boyu
c_r	: Krip oranı
d	: Tendon çapı
d	: Etkin enjeksiyon kolonu çapı
d	: Ankrajın üzerindeki şaftın etkin çapı
d	: Gömülme derinliği
D	: Etkin ankraj çapı
D	: Kökün etkin çapı
D	: Çan çapı
D_u	: Çan çapı
E	: Elastisite modülü
E_a	: Ankraj malzemesi elastisite modülü
E_e	: Enjeksiyon elastisite modülü
E_e	: Tendonun elastisite modülü
E_g	: Zemin elastisite modülü
E_r	: Kayanın elastisite modülü
E_s	: Tendonun elastisite modülü
f_i	: ilk gerilme
f_{pu}	: Spesifik karakteristik mukavemet
f_t	: t anındaki kalıcı gerilme
f_y	: Çalışma koşullarında ve sıcaklığındaki % 0.1 kanıt gerilmesi
f	: Sürtünme kuvveti
F	: Güvenlik katsayısı
F	: Gerilme değeri
F	: İzin verilebilir ankraj yükü
F_0	: Çalışma yükü
F_e	: Tendonun kesit alanı
F_i	: İlk yük
F_k	: Enjeksiyon için sınır yük
F_p	: Kanıt yükü

F_s	: Tendon için limit yük
F_u	: Enjeksiyon serbest basınç dayanımı
F_w	: Güvenli çalışma yükü
k	: Akış hızı
k	: Katsayı
k_s	: Krip uzaması
K	: Ankraj şaftındaki zemin basıncı
K_0	: Sükunetteki toprak basıncı katsayısı
K_1	: Sabit
K_2	: Sabit
K_Δ	: Krip katsayısı
l	: Ankraj boyu
l_0	: Kök boyu
l_f	: Efektif serbest ankraj boyu
l_{fr}	: Hesaplanmış ankraj serbest boyu
l_{fr}	: Ankraj etkin serbest boyu
l_{fs}	: Tasarımda öngörülen tendon serbest boyu
l_v	: Kök boyu
L	: Kök boyu
L	: Çan bölgesi boyu
L	: Germe boyu
L_0	: Zemin-enjeksiyon bağ boyu
L_b	: Ankraj kök boyu
L_s	: Tendon serbest boyu
L_{tot}	: Toplam uzama
L_v	: Tendon bağ boyu
n	: Zeminin permeabilite katsayısı
n	: Katsayı
N	: Standart penetrasyon deneyi değeri
N_c	: Taşıma gücü faktörü
N_q	: Taşıma gücü faktörü
p'	: Enjeksiyon basıncı
p_g	: Enjeksiyon basıncı
P	: Etkiyen yük
P	: Tasarım yükü
P	: Uygulanan deney yükü
P_e	: Maksimum deney yükü
P_i	: Ankraj kafasındaki ilk sürtünme
$P_{i.x}$	: Sürtünmenin iki katı
P_z	: Etkiyen yük
R	: Sürtünme kuvveti
s_u	: Ortalama drenajsız kayma dayanımı
s_v'	: Ortalama etkin gömülülük basıncı
S	: Toplam uzama
S_{el}	: Elastik uzama
t	: Zaman

t	: Değme yüzeyindeki toplam kayma dayanımı
T	: En üst çevrim yükü
T_1	: Birinci uzama ölçümü zamanı
T_2	: İkinci uzama ölçümü zamanı
T_c	: Kritik krip gerilmesi
T_e	: Uç taşınması
T_f	: Bağlanmış kökün göçmesi
T_k	: 2mm. den büyük olmayan krip değeri için sınır yükü
T_s	: Şaft boyunca çevre sürtünmesi
T_u	: Çan boyunca çevre sürtünmesi
T_w	: Çalışma yükü
T_y	: Tendonun kesin akma dayanımı
V	: Ankraj kuvveti
V_0	: Ankraj kilitleme yükü
V_A	: İlk yük
V_G	: Hesaplanmış çalışma yükü - $F_e \cdot \sigma_G$
V_p	: Deney sırasındaki germe yükü - $F_e \cdot \sigma_p$
V_p	: Kanıt yükü
V_s	: Tendondaki gerilme $\sigma_{2.0}$ olduğu andaki yük
V_s	: Tendondaki gerilmenin akma gerilmesine ulaştığındaki yük
V_u	: Ankraj taşıma kapasitesi
V_v	: Kök için limit yük
w	: Su/çimento oranı
z	: Kökün tepesine kadar olan gömülülük derinliği
ε	: Şekil değiştirme
α_1	: Yük boşaltma eğrisinin eğiminin açısı
α_2	: Tekrar yükleme eğrisinin eğiminin açısı
δ	: Enjeksiyon ve zemin arasındaki sürtünme açısı
Δ	: Yerdeğiştirme
Δ_1	: T_1 anındaki okuma
Δ_2	: T_2 anındaki okuma
Δ_e	: Tendonun elastik uzaması
Δ_F	: Net öngerilme yük kaybını gösteren çelik gevşemesi
Δl	: Çanlar arası uzaklık
Δl	: Elastik uzama
Δl	: Ankraj kafasının sabit bir noktaya göre hareketi
Δl	: Tendonun toplam uzaması
Δl	: Etkiyen yüke karşılık oluşan uzama
$\Delta l'$	: Zeminde sıkışma
Δl_0	: Kök boyu elastik uzama değeri
Δl_{bl}	: Tendonun plastik uzaması
Δl_e	: Tendonun elastik uzaması
$\Delta l_e(x)$	: Tendonun $V(x)$ yükü altındaki elastik uzaması
Δl_K	: Ankraj plakasının eksenel doğrultuda hareketi

Δl_k	: Etkiyen yüke karşılık piston uzama
$\Delta l_p'$	: Deformasyon artışı
Δl_r	: Tendonun hesaplanmış elastik uzaması
Δ_s	: Yerdeğiştirme miktarı
Δt	: Zaman
Δt	: Gözlem süresi
ΔV	: Yük aralıkları
$\Delta V'$	: Yük kaybı
$\Delta V_p'$	: Yük kaybı
ϕ	: İçsel sürtünme açısı
ϕ	: Kayada çatlaklardaki sürtünme açısı
ϕ'	: Kayma direnci açısı
ϕ_a'	: Ankraj şaftı/zemin arası drenajlı sürtünme açısı
γ	: Birim ağırlığı
η_k	: Enjeksiyon için güvenlik sayısı
η_s	: Tendon için güvenlik sayısı
μ	: Boyutsuz katsayı
θ	: Ankraj doğrultusu
σ	: Gerilme
$\sigma_{2.0}$	: Tendonda % 0.2 uzama oluşturmaya neden olan gerilme değeri
σ_G	: Çalışma yükündeki gerilme değeri
σ_n	: Ankraj bölgesindeki normal efektif gerilme
σ_n'	: Ortalama efektif temas basıncı
σ_r	: Gevşeme oranı
σ_v'	: Ankraj kökü çevresindeki zeminde ortalama düşey etkin gerilme
τ	: Ortalama çalışma bağ gerilmesi
τ	: Kaya kayma dayanımı
τ_0	: Kökün üst kısmındaki bağ gerilmesi
τ_f	: Sıyrılma kapasitesi
τ_s	: Ortalama bağ değeri
τ_{ul}	: Nihai bağ değeri
τ_w	: Çalışma kayma gerilmesi
τ_x	: Kökün üst kısmından x birim uzağındaki bağ gerilmesi

KISALTMA LİSTESİ

DIN	Deutsches Institut für Normung
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein
PCI	Prestressed Concrete Institute
BS	British Standards
BSI	British Standards Institution
SPT	Standard Penetration Test
TPT	Compression Type Anchor
IRP	Conventional Tension Anchor
FAP	Fictitious Anchor Point
GUTS	Guaranteed Ultimate Tensile Strength
İTÜ	İstanbul Teknik Üniversitesi



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1-1a	Ankrajlar kullanılarak yumuşak zemine önkonsolidasyon uygulaması..... 004
Şekil 1-1b	Ankrajlar yardımıyla yan yatmış bir yapının önkonsolidasyon uygulamasıyla doğrultulması..... 004
Şekil 1-2	Kaldırma kuvveti etkisinde bir yeraltı yapısının ankrajlar yardımıyla tutturulması..... 004
Şekil 1-3	Mevcut bir metro yapısının diyafram duvarlar ve enjeksiyon ile askıya alınması..... 008
Şekil 1-4	Yük iletme şekillerine göre ankraj çeşitleri..... 016
Şekil 1-5	Aktif (öngermeli) ve pasif (ölü) ankrajlar.Uygulanan yükün fonksiyonu olarak bağlı deplasman..... 018
Şekil 2-1	Ankraj parçalarının şematik gösterimi..... 022
Şekil 2-2a	Tipik geçici ankraj kökü çeşitleri..... 023
Şekil 2-2b	Tipik kalıcı ankraj kökü çeşitleri..... 023
Şekil 2-3	Ankraj kafası yerleşiminde öngörülen tolerans değerleri..... 025
Şekil 2-4	Değişik ankraj kafası detayları..... 026
Şekil 2-5	Ankraj sistemi ve elemanları..... 027
Şekil 2-6	20°C ve nihai çekme dayanımının %70' inde tendon çeşitlerindeki gerilme boşalması..... 031
Şekil 2-7	Tek çatlaktaki akış değerinin, çatlak genişliğinin fonksiyonu olarak değişimi..... 037
Şekil 2-8	Çubuk tendonlarda kullanılan merkezleyiciler kesiti..... 038
Şekil 2-9	Çoklu tendonların genel düzeni ve merkezleyici detayı..... 040
Şekil 2-10	Su miktarının enjeksiyon üzerindeki etkisi..... 043
Şekil 2-11	Enjeksiyon dayanımının zamana göre artışı..... 045
Şekil 2-12	Tip I ve Tip III çimentolarının su/çimento oranlarına göre basınç dayanımlarının değişimi..... 046
Şekil 2-13	Enjeksiyon basıncı ile nihai ankraj kapasitesi arasındaki ilişki..... 048
Şekil 3-1	Tendon-enjeksiyon arasındaki idealize edilmiş davranış..... 053
Şekil 3-2	Şekil değiştirmiş çubuk ile enjeksiyon arasındaki etkileşim..... 053
Şekil 3-3	Çelik tendonu çevreleyen enjeksiyonun çatlaması..... 054
Şekil 3-4	Farklı "A" değerleri için tendon boyunca yük dağılımı..... 055
Şekil 3-5	Teorik bağ gerilmesinin, sıyrılma yükü altında kök uzunluğu boyunca dağılımı..... 056
Şekil 3-6	Tendon-enjeksiyon arasındaki bağın üç bileşeni..... 057
Şekil 3-7	220 tona gerilmiş tendonlarda, kök bölgesinde gerilme-uzama dağılımı..... 060

Şekil 3-8	E_a/E_g oranına göre, ankraj boyunca oluşan teorik bağ gerilmesi.....	063
Şekil 3-9	Çekme ankrajları çevresindeki zeminde oluşan teorik çekme gerilmesi dağılımı.....	064
Şekil 3-10	Kayma dayanımının kök boyu üzerinde derinlikle değişimi.....	067
Şekil 3-11	Kayada kullanılan çan kök gövdeli ankraj sisteminin çalışma mekanizması.....	069
Şekil 3-12	Kaya ortamında uygulanan sıkıştırılmış tüp ankrajın şematik gösterimi.....	070
Şekil 3-13a	Sıyırma deneyinde bağ dağılımının ilerleyişi-Yük artışı ile bağ gerilmesinin değişimi ve ilerleyişi.....	071
Şekil 3-13b	Sıyırma deneyinde bağ dağılımının ilerleyişi-Toplam çekme gerilmesinin değişimi.....	071
Şekil 3-14	Değişik zeminler için enjeksiyon basıncının nihai taşıma kapasitesi üzerindeki etkileri.....	077
Şekil 3-15a	Değişik zemin cinsleri ve sıklıklarında, farklı kök boylarına göre nihai taşıma kapasitesi değişimi.....	078
Şekil 3-15b	Çapın ve kök boyunun yüzey sürtünmesi üzerindeki etkisi.....	078
Şekil 3-16	Kumlu çakıllar ve çakıllı kumlarda, nihai ankraj kapasitesi ve SPT N değeri arasındaki bağıntı.....	079
Şekil 3-17	Maksimum yüzey sürtünme direnci ve SPT N değeri arasındaki bağıntı.....	080
Şekil 3-18	Kök boyunun, yük ve kumlu ortamdaki ankrajın hareketi üzerindeki etkisi.....	080
Şekil 3-19a	Sıkı kumlarda ankraj kökündeki yük dağılımı.....	081
Şekil 3-19b	Sıkı kumda uygulanan yüke ve zamana göre yüzeysel sürtünme direnci dağılımı.....	081
Şekil 3-20a	Nihai yükte, ankraj boyunun yüzey sürtünmesi dağılımı üzerindeki etkisi.....	082
Şekil 3-20b	Kök boyu ve kum sıklığına göre, nihai yükte ölçülmüş yüzeysel sürtünme direnci dağılımı.....	082
Şekil 3-21	Çan sayısına göre, ankrajın nihai sıyrılma yükünün teorik ve deneysel olarak karşılaştırılması.....	086
Şekil 3-22	Çan sayısına göre, izin verilebilir ankraj uzama miktarının (x), ankraj yükü üzerindeki etkisi.....	087
Şekil 3-23	Silindirik kök gövdeli ve çan kök gövdeli ankraj sistemlerinin yük-uzama eğrilerinin karşılaştırılması..	088
Şekil 3-24	Çan sayısı ile nihai yük arasındaki ilişki.....	089
Şekil 3-25	Kohezyonlu zeminlerde, iki ve tek enjeksiyonlu ankrajların, kök boyuna göre birim yüzey sürtünme değerleri.....	090
Şekil 3-26	Killi zeminlerdeki ankrajlar için ikincil enjeksiyonun kayma bağı üzerindeki etkisi.....	091

Şekil 3-27	Tekrar enjeksiyonlanabilir ankrajlarda nihai yük, ankraj kökü ve enjeksiyon basıncı arasındaki bağıntı.....	091
Şekil 3-28	Enjeksiyon basıncı, delgide kullanılan sıvı ve nihai yük taşıma kapasitesi arasındaki ilişki.....	092
Şekil 3-29	Killi ortamdaki çan köklü ankrajın çevresinde oluşan boşluk suyu basıncı.....	093
Şekil 3-30a	TPT basınç ankrajı ve IRP çekme ankrajındaki yük dağılımı.....	094
Şekil 3-30b	Basınç ankrajındaki gerilme değerleri.....	095
Şekil 3-30c	Çekme ankrajındaki gerilme değerleri.....	095
Şekil 3-31a	İzotropik kaya ortamında teorik ankraj sıyrılma konisi.....	097
Şekil 3-31b	Anizotropik kaya ortamında göçme yüzeyinin şekli ve yapısı.....	097
Şekil 3-32	Bitişik iki ankrajın teorik göçme konilerinin etkileşimi.....	098
Şekil 3-33a	Değişen eğimlerde yakın aralıkla yapılan ankraj uygulama yöntemleri.....	100
Şekil 3-33b	Değişen boylarda yakın aralıkla yapılan ankraj uygulama yöntemleri.....	100
Şekil 3-34	Enjeksiyon kolonunun ezilmesiyle ankraj duvarında meydana gelen genleşme mekanizması.....	100
Şekil 3-35	Kildeki ankrajlarda oluşan logaritmik zaman-yerdeğiştirme eğrisi.....	104
Şekil 3-36a	Çelikte krip etkisi: Krip uzama oranı-sürekli ankraj yükü.....	105
Şekil 3-36b	Krip ve gevşeme arasındaki ilinti.....	105
Şekil 3-37a	Çevrim sayısının ankraj yerdeğiştirmesi-değişken yük miktarına göre çevrimli yüklemeye etkisi.....	109
Şekil 3-37b	Çevrim sayısının ankraj yerdeğiştirme oranına etkisi..	109
Şekil 3-38	Killi zeminlerdeki ankrajlarda, ankraj kökündeki ortalama adezyonun teorik olarak K_0 ve θ ya göre değişimi.....	111
Şekil 3-39a	Aşırı konsolidasyon oranına göre ankraj yükünün değişiminin kutupsal gösterimi.....	112
Şekil 3-39b	Ankraj uç yükünün değişiminin kutupsal gösterimi...	112
Şekil 3-39c	Ankraj yüzey sürtünmesinin aşırı konsolidasyon oranına göre değişiminin kutupsal gösterimi.....	113
Şekil 4-1	Ankraj sisteminin, etkiyen yükler altında gösterebileceği idealize edilmiş davranış.....	115
Şekil 4-2a	Germe yöntemleri ve aygıtları - Çevirme kuvveti ile germe.....	118
Şekil 4-2b	Germe yöntemleri ve aygıtları - Doğrudan çekme kuvveti ile germe.....	118
Şekil 4-3a	Germe aygıtları - Tekli halat germe krikosu.....	119
Şekil 4-3b	Germe aygıtları - Çoklu halat germe krikosu.....	119

Şekil 4-4	İki bitişik halatın tekli germe sistemi ile gerilmesi sonucu oluşan etkileşim.....	120
Şekil 4-5	Çoklu-tendon germe sisteminde kullanılan kafa ve basınç plakaları.....	121
Şekil 4-6	Ankraj kökünün hareketinin doğrudan ölçülmesi.....	123
Şekil 4-7	Sürtünme etkisini gösteren yük-uzama eğrisi.....	127
Şekil 4-8	Sürtünme çeşitlerinin yük-uzama karakteristiği üzerindeki etkisi ve ilişkisi.....	128
Şekil 4-9	Ankraj tendonu üzerinde yükün ideal dağılımı.....	129
Şekil 4-10a	Ankraj sistemi göçmeye ulaşınca kadar yüklemenin arttırılması ile kök üzerinde oluşan etkilerin değişimi.....	130
Şekil 4-10b	Yük-ankraj başının hareketi arasındaki ilişki.....	130
Şekil 4-11	Hayali ankraj noktası kavramı.....	132
Şekil 4-12	Ankraj kök bölgesinde, kabul edilen gerilme yayılmasıyla beraber tendon gerilme mekanizması.....	132
Şekil 4-13	Normal yüksek çekme-çeliği için gerilme dayanım tepkisi.....	134
Şekil 5-1	Geçici ankrajın uygunluk deneyinden elde edilen yük/deplasman eğrisi.....	146
Şekil 5-2	F_p yükü altında $k_s=(S_2-S_1)/\log(t_2/t_1)$ değerini belirlemek için zaman-deplasman eğrileri(örnekler, kohezyonlu zemindeki geçici ankrajlarda uygunluk deneyinde uygulanmıştır).....	147
Şekil 5-3	F_p yükü altında k_s değerini belirlemek için zaman-deplasman eğrileri (örnekler, kohezyonlu zemindeki kalıcı ankrajlarda uygunluk deneyinde uygulanmıştır).....	148
Şekil 5-4	Şekil 5-3 de gösterilen uygunluk deneyi için krip deplasmanı/Kanıt yükü eğrisi.....	148
Şekil 5-5	Geçici bir ankrajda kabul edilebilirlik deneyi için bir örnek.....	152
Şekil 5-6	Yük-hareket eğrisi (örnek, geçici ankraj kabul edilebilirlik deneyinde uygulanmıştır).....	154
Şekil 5-7	Sabit uzama ile ankraj deneyi.....	163
Şekil 5-8	Sabit yükle ankraj deneyi.....	164
Şekil 5-9	Elastik ve kalıcı uzamaların eğrisi.....	167
Şekil 5-10	Sabit uzamalı, genişletilmiş germe deneyi.....	170
Şekil 5-11	Sabit yüklü, genişletilmiş germe deneyi.....	171
Şekil 5-12	Sabit uzamalı basit germe deneyi.....	173
Şekil 5-13	Sabit yüklü basit germe deneyi.....	173
Şekil 5-14	Gerilme dağılımı.....	178
Şekil 5-15	Kritik krip gerilmesinin belirlenmesi.....	185
Şekil 5-16	Çalışma yükünün belirlenmesi için krip eğrilerinin enterpolasyonu.....	186

Şekil 5-17	Arazi koşullarının bilinmediği veya daha önceden yapılmış uygulamaların olmadığı durumlarda kanıt deneyi için önerilen yükleme adımları ve gözlem süreleri.....	213
Şekil 5-18	Önceden yapılmış ankraj uygulaması bilgileri olan arazi ortamlarında yapılacak kanıt deneyleri için önerilen yük artış kademeleri ve gözlem süreleri.....	214
Şekil 5-19	Ölçme saati kullanılarak tendon uzamasının tipik ölçümü.....	217
Şekil 5-20	Ankraj kafasında tendonun hareketi için kabul kriteri.....	218
Şekil 5-21	Arazi uygunluk deneyi için önerilen yük artışları ve minimum gözlem süreleri.....	223
Şekil 5-22	Arazi kabul edilebilirlik deneyleri için önerilen yük artışları ve minimum gözlem süreçleri.....	228
Şekil 5-23a	Sadece ankraj kullanılarak köşelerde uygulanan ankrajlar.....	231
Şekil 5-23b	Şaft kullanılarak köşelerde uygulanan ankrajlar.....	231
Şekil 5-23c	Kesişmeyen tendonlar kullanılarak köşelerde uygulanan ankrajlar.....	232
Şekil 5-24	Ankrajlı şevlerde tipik gözlemlene sistemi.....	233
Şekil 5-25	Halat tendonlar için tipik gözlemlenen ankraj kafası.....	234
Şekil 5-26	Farklı yükler için tipik krip uzama kayıtları (DIN 4125 1976' dan sonra).....	248
Şekil 5-27	K_A Krip hareketinin belirlenme yöntemi (DIN 4125 1976' dan sonra).....	249
Şekil 5-28	T_K Sınır kuvvetinin belirlenmesi yöntemi.....	250
Şekil 6-1	İstanbul Metrosu inşaatında uygulanmış inklinometre ölçümünden elde edilen veriler ile oluşturulmuş duvar arkası ortamının davranışı.....	259
Şekil 6-2	Yapılmış olan sondaj çalışmalarının konumu.....	261
Şekil 6-3	Yapılmış olan sondajlardan elde edilen verilere göre hazırlanmış kazı alanının sondaj1-sondaj3 ve sondaj2-sondaj4' e göre jeolojik kesiti.....	262
Şekil 6-4	Ankraj deneyi raporu örneği.....	264
Şekil 6-5	Yapılmış olan sondaj çalışmalarının konumu.....	266
Şekil 6-6	Yapılmış olan sondajlardan elde edilen verilere göre hazırlanmış, kazı alanının BS1-DT6-BS2-BS3 sondajlarına göre jeolojik kesiti.....	267
Şekil 6-7	A1/16 no'lu ankrajın deney raporu.....	269
Şekil 6-8	A1/19 no'lu ankrajın deney raporu.....	270
Şekil 6-9	A1/29 no'lu ankrajın deney raporu.....	271
Şekil 6-10	A5/60 no'lu ankrajın deney raporu.....	272
Şekil 6-11	Yapılmış olan sondaj çalışmalarının konumu.....	276
Şekil 6-12	AD1E/1-8 ve AD1E/2-8 ankrajlarının deney raporları	278

Şekil 6-13	AD1E/3-8 ve AD1E/4-8 ankrajlarının deney raporları	279
Şekil 6-14	AD1E/5-8 ve AD1E/6-8 ankrajlarının deney raporları	280
Şekil 6-15	AD2E/9-45 ve AD2E/10-61 ankrajlarının deney raporları.....	282
Şekil 6-16	AD2E/11-63 ve AD2E/12-60 ankrajlarının deney raporları.....	283
Şekil 6-17	AD2E/13-63 ankrajının deney raporları.....	284
Şekil 6-18	Komparatörlü ölçme sistemi (SD-1).....	287
Şekil 6-19	SD-1 ölçme sistemi parçaları.....	288
Şekil 6-20	SD-1 parçalarının yerleşimi.....	289
Şekil 6-21	Zincirlikuyu şantiyesi sondaj yerleşim planı.....	293
Şekil 6-22	DA duvarı jeolojik kesiti.....	294
Şekil 6-23	BC duvarı jeolojik kesiti.....	295
Şekil 6-24	DA-29 ankrajı performans deneyi sonuçları.....	297
Şekil 6-25	DA-29 ankrajı performans deneyi yük-yerdeğiştirme grafiği.....	298
Şekil 6-26	DA-30 ve DA-31 ankrajları kanıt deneyi sonuçları.....	299
Şekil 6-27	DA-30 ankrajı kanıt deneyi yük-yerdeğiştirme grafiği.	300
Şekil 6-28	DA-31 ankrajı kanıt deneyi yük-yerdeğiştirme grafiği.	301
Şekil 6-29	AB-18 ankrajı performans deneyi sonuçları.....	302
Şekil 6-30	AB-18 ankrajı performans deneyi yük-yerdeğiştirme grafiği.....	303
Şekil 6-31	ve ankrajları kanıt deneyi sonuçları.....	304
Şekil 6-32	ankrajı kanıt deneyi yük-yerdeğiştirme grafiği.	305
Şekil 6-33	ankrajı kanıt deneyi yük-yerdeğiştirme grafiği.	306
Şekil 6-34	Maslak şantiyesi sondaj yerleşim planı.....	308
Şekil 6-35	"C" duvarı SK1-SK2 sondajları arası jeolojik kesit....	309
Şekil 6-36	"A" duvarı SK3-SK4 sondajları arası jeolojik kesit....	310
Şekil 6-37	C5-37 ankrajı performans deneyi sonuçları.....	312
Şekil 6-38	C5-37 ankrajı performans deneyi yük-yerdeğiştirme grafiği.....	313
Şekil 6-39	C5-38 ve C5-39 ankrajları kanıt deneyi sonuçları.....	314
Şekil 6-40	C5-38 ankrajı kanıt deneyi yük-yerdeğiştirme grafiği.	315
Şekil 6-41	C5-39 ankrajı kanıt deneyi yük-yerdeğiştirme grafiği.	316
Şekil 6-42	C6-36 ankrajı performans deneyi sonuçları.....	317
Şekil 6-43	C6-36 ankrajı performans deneyi yük-yerdeğiştirme grafiği.....	318
Şekil 6-44	C6-35 ve A6-4 ankrajları kanıt deneyi sonuçları.....	319
Şekil 6-45	C6-35 ankrajı kanıt deneyi yük-yerdeğiştirme grafiği.	320
Şekil 6-46	A6-4 ankrajı kanıt deneyi yük-yerdeğiştirme grafiği.	321
Şekil 6-47	Laboratuar deney sistemi.....	325
Şekil 6-48	Zincirlikuyu şantiyesi için laboratuar deneyi.....	327
Şekil 6-49	Zincirlikuyu şantiyesi için yapılan laboratuar deneyi σ - ϵ grafiği.....	328
Şekil 6-50	Maslak şantiyesi için laboratuar deneyi.....	329
Şekil 6-51	Maslak şantiyesi için yapılan laboratuar deneyi σ - ϵ grafiği.....	330

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2-1 Çubuk tendonlar için tasarım gerilmeleri ve güvenlik katsayıları.....	031
Çizelge 2-2 Tel tendonlar için tasarım gerilmeleri ve güvenlik katsayıları.....	032
Çizelge 2-3 Halat tendonlar için tasarım gerilmesi ve güvenlik katsayıları.....	032
Çizelge 2-4 Kaya ortamında uygulanan delme yöntemleri.....	034
Çizelge 2-5 Ankraj enjeksiyonlarında genellikle kullanılan kimyasal katkı maddeleri.....	046
Çizelge 3-1 İngiliz şartnamesine göre, katkısız çimento enjeksiyon ve çubuk tendonlar için izin verilebilir maksimum bağ gerilme değerleri.....	052
Çizelge 3-2 Küçük çaplı tendonların iletim boyu.....	059
Çizelge 3-3 Kaya ankrajlarında kullanılan kök boyu uzunlukları..	067
Çizelge 3-4 Farklı kaya cinsleri için nihai bağ dayanımı.....	068
Çizelge 3-5 Kohezyonsuz zeminlerde kökün yaklaşık boyutları....	075
Çizelge 3-6 Arazi deneylerinin analizi ile elde edilmiş zemin basınç sabiti (K_1) değerleri.....	076
Çizelge 3-7 Londra kilindeki deney ankrajlarına uygulanan deney ve nihai yükler.....	089
Çizelge 3-8 Koni yaklaşımı kullanılarak ankraj gömülme derinliğinin amprik olarak bulunması yöntemi.....	097
Çizelge 3-9 Koni yaklaşımına göre ankraj grubunun teorik göçme konisi derinliğinin amprik olarak belirlenmesi.....	098
Çizelge 4-1 Ankraj germe kayıtlarında belirtilmesi gereken değişkenler.....	124
Çizelge 4-2 Gerçek ve teorik öngerme yükü arasında beklenen olası hata.....	129
Çizelge 5-1 η_K ve η_S güvenlik sayıları.....	145
Çizelge 5-2 Uygunluk ve kabul edilebilirlik deneyi için yük kademeleri ve gözlem süreleri.....	145
Çizelge 5-3 Uygunluk ve kabul edilebilirlik deneyi için kanıt yükünde gözlem süreleri ve izin verilebilir hareket veya krip hareketi.....	155
Çizelge 5-4 Şekil 5-6 daki R ve S noktalarının koordinatları.....	157
Çizelge 5-5 Deney ankrajları sayısı için öneriler.....	160
Çizelge 5-6 Δt gözlem süreleri.....	165
Çizelge 5-7 Yük kaybı ile bağlantılı deformasyon artışının sınır değerleri.....	165
Çizelge 5-8 Geniştirilmiş germe deneyi uygulanacak ankrajların % olarak minimum sayısı.....	171
Çizelge 5-9 Ankrajın servis süresine ve risk derecesine göre güvenlik sayıları.....	175

Çizelge 5-10	Arazi koşullarının bilinmediği veya önceden yapılmış uygulamaların olmadığı durumlarda kanıt deneyi için önerilen yükleme adımları ve gözlem süreleri.....	213
Çizelge 5-11	Önceden yapılmış ankraj uygulaması bilgileri olan arazi ortamlarında yapılacak kanıt deneyleri için önerilen yük artış kademeleri ve gözlem süreleri.....	214
Çizelge 5-12	Kalıcı yük-zaman davranışı için kabul kriteri.....	215
Çizelge 5-13	Kalıcı yük altında uzama-zaman davranışı için kabul kriteri.....	216
Çizelge 5-14	Arazi uygunluk deneyleri için önerilen yük artışları ve minimum gözlem süreleri.....	222
Çizelge 5-15	Arazi kabul edilebilirlik deneyleri için önerilen yük artışları ve minimum gözlem süreleri.....	227
Çizelge 5-16	Yük-zaman ve yerdeğiştirme-zaman kabul kriterleri arasındaki ilişki.....	245
Çizelge 5-17	Ana ve yapım arazi uygunluk deneyleri için yük kademeleri ve gözlem süreleri (DIN 4125 1976' dan sonra).....	247
Çizelge 6-1	Ölçülen uzama değerleri ile beklenen min. ve max. uzama değerleri.....	265
Çizelge 6-2	Ölçülen uzama değerleri ile beklenen min. ve max. uzama değerleri.....	273
Çizelge 6-3	Ölçülen uzama değerleri ile beklenen min. ve max. uzama değerleri.....	281
Çizelge 6-4	Ölçülen uzama değerleri ile beklenen min. ve max. uzama değerleri.....	285
Çizelge 7-1	Uzama değişiminin (+) olma nedenleri olasılıkları....	334
Çizelge 7-2	Uzama değişiminin (-) olma nedenleri olasılıkları....	334

ÖNSÖZ

Özellikle yoğun yerleşim alanlarında gereksinim duyulan çok katlı yapıların inşaatında karşılaşılan ve dik yapılması gereken derin temel kazılarında tercih edilen ankrajlı kazı destek sistemleri son zamanlarda ülkemizde sıkça kullanılmaktadır. Bu çalışma ile ülkemizde, bu konuda belirsiz kalmış olan noktaları aydınlatmaya çalışmak ve yapılmış olan çeşitli yabancı çalışmalardan yararlanarak ülkemizde yapılan uygulamaların ne derece doğru olduğunu araştırmak amaçlanmıştır.

7 Bölüm halinde hazırlanmış olan bu çalışmanın 1. Bölüm'ünde ankraj sistemi hakkında genel bir bilgi verilerek sistemin çeşitleri açıklanmıştır. 2. Bölüm' de ankraj sistemini oluşturan elemanlar, bunların karakteristik özellikleri ve ankraj sisteminin yapımı sırasında dikkat edilmesi gereken noktalar incelenmiştir. Ankraj sisteminin yük iletme mekanizmasının, göçme şekillerinin, kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerdeki davranışlarının ele alındığı 3. Bölüm' de krip etkisine değinilmiştir. 4. Bölüm' de ise ankraj sistemlerinde genelde uygulanan ve uygulanması önerilen deneylerin yöntemleri ve bu deney sonuçlarının sağlaması istenen kriterler açıklanmıştır. DIN 4125-Alman Şartnamesi' nin, SIA 191-İsviçre Şartnamesi' nin, U.S.Ulaştırma Bölümü Teknik Raporu' nun, B.S.8081-İngiliz Şartnamesi' nin ankraj deneyleri ile ilgili bölümleri 5. Bölüm' de incelenmiştir. 6. Bölüm' de, ülkemizdeki uygulamalara oldukça benzer olan, uygulanması ve değerlendirilmesi en uygun görülen U.S.Ulaştırma Bölümü Teknik Raporu' na göre ankraj deneyleri uygulanmış, pratikte uygulayıcıların kullandıkları yöntemler ve elde ettikleri sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Bu deney sonuçlarının karşılaştırılması ile varılan sonuçlar, sonuçların değerlendirilmesi ve ülkemizde ankrajlı kazı destek sistemlerinde alınması gereken önlemler üzerine öneriler 7. Bölüm' de verilmiştir.

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde bütün sabrı ve titizliği ile bana yol gösteren, yapımı oldukça masraflı ve zor olan deneyleri uygulayabileceğim şantiyeleri bulmam konusunda bütün yardımını gösteren tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Sönmez YILDIRIM' a teşekkür ederim. Gerektiğinde benimle şantiyelerde arazi incelemesinde bulunarak yardımını esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Mustafa YILDIRIM' a teşekkürü bir borç bilirim. İstanbul Metrosu İnşaatı' ndaki incelemelerimde bana bütün olanakları sağlayan Sayın Jeoloji Yük. Müh. Sinan BİBEROĞLU' na, Sayın Maden Müh. Muammer ÇINAR' a, Sayın Jeoloji Müh. Nuran AĞCA' ya; şantiyelerinde ankraj deneylerini uygulamama izin veren ve yardımcı olan Sayın Jeoloji Müh. Fehmi ERSAN' a ve Sayın Jeoloji Müh. Ahmet AYDEMİR' e teşekkür ederim.

SD-1 ölçme sisteminin yapımında bitmez sabrını ve engin tecrübesini kullanarak bana yardımcı olan Sayın Refik GÖÇMEZ ustaya teşekkür ederim.

Bu çalışmamın her aşamasında bütün desteklerini gösteren ve çalışmamın en zor günlerinde beni cesaretlendirerek en büyük yardımı gösteren annem B. Serap DEDEOĞLU' na, babam Av.İlhan DEDEOĞLU' na, ağabeyim Elk. Müh. R. Bilgehan DEDEOĞLU' na ve kız kardeşim İkt. İrem DEDEOĞLU' na sonsuz teşekkürler.



ÖZET

Yerleşim alanları içinde yapılması gereken derin temel kazılarında tercih edilen ankrajlı kazı destek sistemlerinin, bulundukları ortamlara ve çevre koşullarına göre çok detaylı çalışmalar sonucu tasarlanması ve imal edilmesi gerekir. Ankraj sistemlerinin uygulanacağı zemin koşullarına göre belirlenmesi gereken ankraj sistemi yapısı, ankrajlı kazı destek sisteminin yerine getirmesi gereken görevlerini doğrudan etkilemektedir. Özellikle yük iletiminin sağlandığı ankraj kökünün yapısı, uygulamanın yapılacağı zeminin çok iyi incelenmesinden sonra belirlenmelidir. Ankraj sistemlerinin bulundukları zemin cinsine göre gösterdikleri davranışların farklılıkları yapılan deneyler ve gözlemler ile belirlenebilmektedir. Ülkemiz dışında ankraj sistemleri üzerinde yapılması gereken deneyler ve gözlemler şartnameler ile zorunlu hale getirilmiştir. Yabancı ülkelerdeki çalışmaların sonucunda zemin cinslerine göre gözlenen davranış özelliklerinin ele alındığı bu çalışmada yabancı şartnamelerce zorunlu hale getirilmiş olan deney çeşitleri de incelenmiştir. Ankraj sistemleri üzerinde yapılması zorunlu olan deneyler, kazı destek sistemlerinin davranışlarını belirlemede yardımcı olan temel deneylerdir.

DIN 4125-Alman Şartnamesi, SIA 191-İsviçre Şartnamesi, U.S.Ulaştırma Bölümü Teknik Raporu ve B.S. 8081-İngiliz Şartnamesi' nin tariflediği ankraj deneyleri incelenerek, uygulanması ve yorumlanması ülkemizdeki ankraj sistemlerine en yakın olan U.S.Ulaştırma Bölümü Teknik Raporu' ndaki ankraj deneylerinden performans deneyleri ve kanıt deneyleri ankraj sistemleri üzerinde uygulanmıştır. Kullanılan ölçüm sistemi ve istenilen şartların tam olarak sağlandığı deneylerden elde edilen sonuçlara göre kaya ortamında ve kumlu zeminlerde ankraj sistemlerinin davranışlarındaki eğilim incelenmiştir. Alınan uzama değişimi değerleri yük değişimi değerleri ile beraber incelenerek ankraj sisteminde oluşan etkiler yorumlanmaya çalışılmıştır. Bu çalışma, ülkemizdeki ankraj sistemlerinin pratikte ne derece kontrolsüz gerçekleştirildiğini de göstermektedir.

Özellikle büyük şehirlerde yapılan derin kazılarda kullanılan bu kazı destek sistemlerinin, tasarımlarını ve yapım aşaması deney ve gözlemlerme yöntemlerini tarifleyen bir şartname hazırlanmasının gerekliliği, incelenmiş olan değişik şantiyelerdeki uygulamalardan edinilen ilk izlenimdir. Üretim öncesi, üretim aşaması, üretim sonrası ve krip deneylerinden oluşan bir kontrol sistemi ile ankraj sistemlerinin davranış eğilimlerinin belirlenmesi tüm yabancı şartnamelerdeki ortak noktadır. Bu deneyler ışığında, ankraj sisteminin uzama değişimi ile beraber yük değişiminin de kontrolünün ankraj sisteminin davranışını yorumlamada yardımcı olacağı düşünülmektedir.

ABSTRACT

The anchored excavation support systems preferred in the deep excavations that take place in the centre of the cities, must be designed and constructed after detailed observations according to the environmental conditions and circumstances they will be in. Structure of the anchorage system that must be selected according to the environmental conditions they will be in, directly affects the function of the anchored support system. Particularly, the type of the fixed anchor zone, transferring the load, must be chosen after the complete observation of the ground. Differences in the behavior of the anchorage systems in different ground conditions are being controlled by tests and long-term monitoring tests of the anchorage systems. Apart from our country, in all other countries, the contractors are being forced to apply the anchorage tests and long-term monitoring tests defined by their standards. By the conclusions of the studies made in the foreign countries, the behavior of the anchorage systems in different environmental conditions have been observed by the anchorage tests defined in the foreign standards. The tests that must be done on the anchorage systems, are the basic tests that help in deciding the behavior of the anchored support system.

After the observation of the anchorage tests explained in DIN4125-German Standard, SIA 191-Swiss Standard, U.S.Department of Transportation Federal Highway Administration Technical Report and B.S. 8081-British Standard; the tests that seemed suitable to apply on the anchorage system in Turkey which are called performance tests and proof tests defined in the technical report of U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration have been applied. The tendency of the anchorage system behavior in cohesive and cohesionless grounds have been observed according to the results of the tests that have been applied to the anchorage system with the measuring devices as explained in the standard. The effects occurred on the anchorage system is tried to be explained by the observation of the tendon extension and load change in the anchorage system. This study shows, how controlled the anchorage systems are being applied in our country.

After the observation of different sites, the need of a standard explaining the design methods, anchorage tests and long-term monitoring tests for that kind of deep excavation supporting systems preferred in big cities, have been the first impression. Determination of the tendency in the behavior of the anchorage systems by a control system occurred of precontract tests, basic on-site suitability tests, long-term monitoring tests and creep tests, is the common point in all foreign standard. It is thought that monitoring of the load change with the extension change in the anchorage system, will be useful for the interpretation of the anchorage system behavior.

1. ANKRAJ SİSTEMİ

1.1 Giriş

Gelişen inşaat teknikleri ve doğan yeni gereksinimler sonucu oluşturulan ankrajlı yapım yöntemi aslında çok eskiden beri kullanılmasına karşın zemine uygulanması ve özellikle inşaat sektöründeki temel kazılarında destek sistemi olarak kullanılması yenidir. İkinci Dünya Savaşı' nın ardından her sektörde yaşanan ve dolayısıyla bundan doğrudan etkilenen inşaat sektöründe de çok büyük gelişmeler yaşanmıştır. Oluşan yapı gereksinimlerinin çokluğu ve büyüklüğü karşısında gerek doğacak büyük yapı yüklerinin, gerekse bu yapılar için oluşturulacak kazılarda doğabilecek denge sorunlarının karşılanması amacıyla ankrajlı yapı yöntemleri uygulanmaya ve geliştirilmeye başlanmıştır. Zemin ankrajları Fransa, Almanya, İsveç, İsviçre ve az da olsa Güney Amerika' da ilk olarak uygulanmıştır. 1960 lı yıllarda İngiltere, Kuzey Amerika ve Avustralya' ya kadar yayılmıştır. Ankraj uygulamalarının yaygınlaşmasının ve tercih edilmesinin birinci nedeni, inşa edilen karmaşık yapıların kimisinde kaldırma kuvvetleri, kimisinde ise devirici kuvvetlerin etkili olmasıdır. İkinci nedeni şev stabilitesi gibi bazı büyük problemlerin çözümüne en ekonomik yaklaşımları getirmesidir. İnşaat ve özellikle zemin alanında ilk olarak 1874' te Frazer, Londra-Birmingham demiryolunda bir kanal kıyısının desteklenmesi için dövme-demir üzerinde yaptığı deneyleri açıklamıştır. Yapılmış olan ilk uygulamalar arasında en dikkat çekici ve önemli olanı 1934 yılında Coyne tarafından Cezayir' deki Cheurfas barajının kuvvetlendirilmesi işidir.

Ankraj uygulamalarında amaç yapıya gelen yükün ankraj elemanları yardımıyla karşılanarak taşınması gereken yerlere güvenle iletilmesidir. Yüklerin karşılandıktan sonra iletilebilmesi için ankraj elemanlarının bu yüklere karşı yeterince dayanıklı olması gerekmektedir. Bu koşul sağlanmadığı durumda ankraj elemanları yükü iletmeden göçebilir.

Ankraj sistemi, herhangi bir doğrultuda uygun zeminin derinliklerine kadar yerleştirilmiş olan çelik tendon aracılığı ile yük ileten veya taşıyan bir sistemdir. Ankraj elemanları tarafından alınan yük ankraj sisteminin üç ana bölümü tarafından iletilir. Bunlar "ankraj kafası", "serbest boy" ve "kök" olarak adlandırılır.

Ankrajlar, kafa kısımlarından zemin yapısına bağlı bulunurlarken, tendonları çok farklı zemin veya kayada bulunan özel deliklere yerleştirilir. Bu, dikkatli tendon üretimi, ankraj delgisi, ankraj yerleşimi ve enjeksiyon, germe, kalite kontrol, gözlemlene gibi birbirleriyle ilişkili olan karmaşık ve çok özel şartlar gerektirmektedir. Ayrıca kalıcı ankrajlarda ve ankraj elemanlarına zararlı etkisi olan ortamlarda yapılan uygulamalarda paslanmaya karşı önlemler de gerekmektedir.

1.2 Ankrajların Zemin Mühendisliği Problemlerindeki Yeri

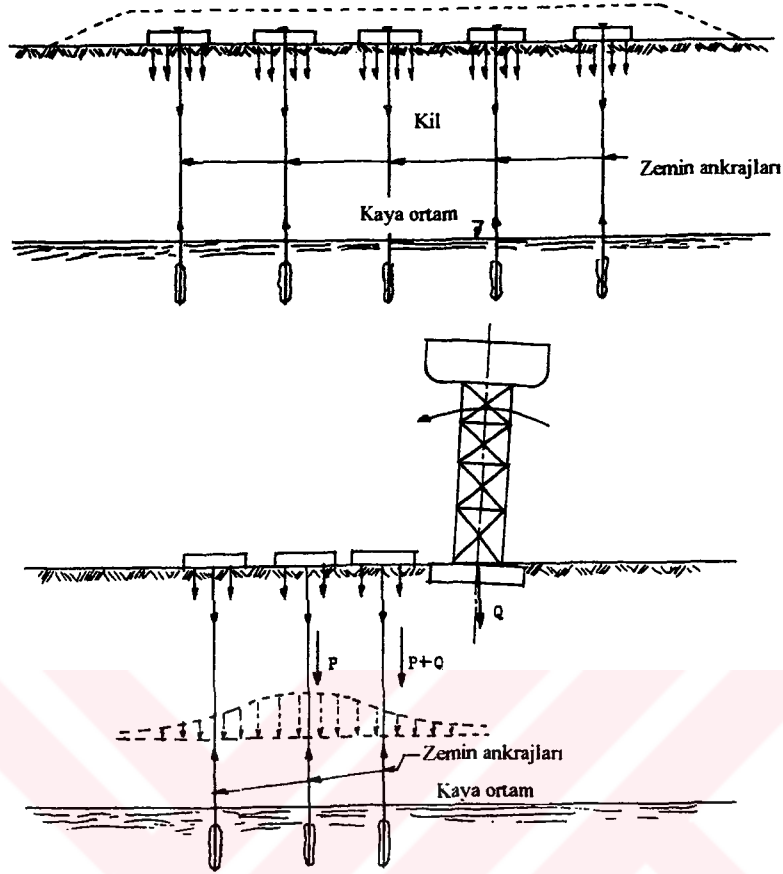
Ankrajlar yükü aktarmak üzere kullanılan yapılardır. Aktarılmak istenen yük yapılmış olan bir yapıdan kaynaklanabileceği gibi zeminin kendisinden de kaynaklanabilir. Örneğin yapılmış olan bir kuleye etki edecek yüklerin kule temeline iletilmesi sırasında yapıdan kaynaklanan yük, derin ve dik bir kazı yapılmak istendiği zaman kazı duvarlarına etkiyen yanal toprak basıncının iletilmesinde ise zeminden kaynaklanan yük iletimi söz konusu olmaktadır. Yük iletimi sırasında, yapının temeline gelen çekme kuvvetinin, zeminin çekmeye karşı çok zayıf olması nedeniyle ankrajlar aracılığı ile zemine iletilmesi; dayanma yapısına etkiyen zemin yüklerinin de ankrajlar tarafından alınıp tekrar zemine iletilmesi sağlanmış olur.

Öngermeli ankrajların ağır kalıcı yükler taşıyan yapılar gibi özel yapılarda da uygulanması söz konusu olmaktadır. Bununla beraber çok değişik amaçlar için de kullanılırlar. Ankrajların çeşitli zemin mühendisliği problemlerini çözmek üzere kullanıldığı alanları kısaca şöyle sıralayabiliriz:

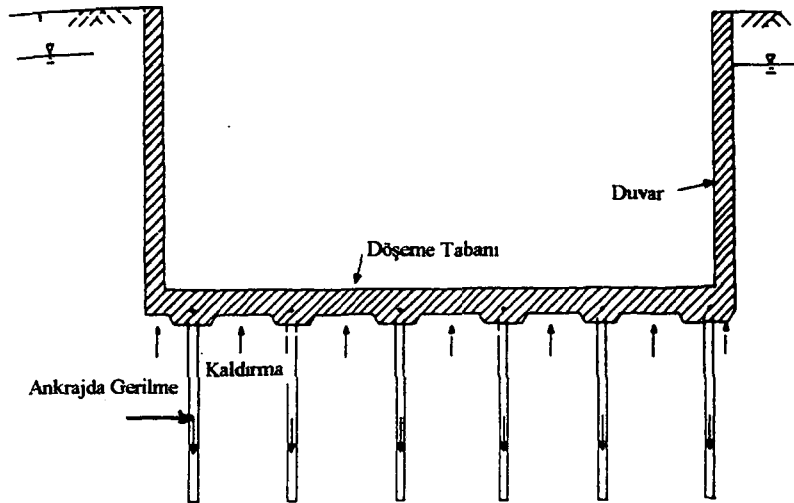
Zemine Önkonsolidasyon Uygulanması: Öngermeli ankrajlar, zeminin doğrudan yüklenerek konsolide edilmesi ve böylece zeminin yük taşıma kapasitesinin arttırılması için kullanılırlar. Yapılan bu işlem ön-yükleme işleminin aynısıdır. Fakat burada ki ek avantaj, elde edilmiş olan zemin koşullarına göre yüklemenin düzenlenmesi, yükleme seviyesinin ayarlanabilmesi ve çevre yapılara minimum etki verilmesidir. Ankrajlar ile önkonsolidasyon uygulamasında zeminde meydana gelecek oturmalar sonucunda ankraj kuvvetlerinde düşüşler de görülecektir. Bu nedenle, yapılmış olan ankrajlarda zaman zaman yükler kontrol edilmeli ve yük boşalmasına uğramış olan ankrajlara tekrar germe uygulanmalıdır. Bu uygulamanın maliyeti önyüklemeye oranla daha fazla görünmektedir. Fakat zamandan elde edilen kazanç çok daha fazladır. Ankraj uygulamalarıyla zeminin taşıma kapasitesinin arttırılması, yakın zamanda yapılmış olan dolgu zeminlerdeki havaalanı inşaatlarında uygulanmaktadır. Diğer kullanım alanları arasında, eksantirik yüklenme ile temelindeki farklı oturmalar sonucu yan yatmış yapıların düzeltilmesi vardır. Yukarıdaki her iki durum da Şekil 1-1 de gösterilmektedir.

Kaldırma ve Kabarma: Dış hidrostatik kuvvetler nedeniyle zeminde kabarma veya kaldırma kuvveti söz konusu olup, bunu engellemek üzere ölü yükün arttırılamadığı durumlarda uygulanır. Eğer kaldırma kuvveti küçük ve zeminde ankraj uygulamasına elverişli ise, gerilmemiş bağlar yeterli olabilir. Kaldırma kuvvetinin büyük ve özellikle de tendonların uzun olmasını gerektiren koşullarda öngerme de gerekir. Bu uygulama önkonsolidasyon uygulamasının temel altına uygulanmasına benzemektedir. Eğer düşey harekete karşı bir önlem alınmamış ise oturmalar ve dolayısıyla zemin dengeye ulaşınca kadar öngerme yükünde düşüşler beklenmelidir. Tabana ankrajlar ile bağlanmış olan döşeme eğer çevre duvarları ile de rijit olarak bağlı ise bu durumda ankrajlara uygulanacak olan öngerme yüküne dikkatli bir analiz yapıldıktan sonra karar verilmelidir. Yoksa uygulanacak ankraj kuvveti ile duvarlar ve çevresindeki zemin yüzeyi arasında kayma gerilmeleri oluşabileceği gibi yapı

bütün olarak zemin içine gömülebilir. Şekil 1-2 deki örnekte buna benzer bir uygulama görülmektedir.



Şekil 1-1 (a) Ankrajlar kullanılarak yumuşak zemine önkonsolidasyon uygulanması (b) Ankrajlar yardımıyla yan yatmış bir yapının önkonsolidasyon uygulamasıyla doğrultulması.



Şekil 1-2 Kaldırma kuvveti etkisinde bir yeraltı yapısının ankrajlar yardımıyla tutturulması.

Devirici Kuvvetler: Bazı yapılar, eksantrik yüklenmelerine neden olan tasarımlar veya yerine getirmeleri gereken görevler sonucu çok büyük devrilme momentleriyle karşı karşıya kalırlar. Bu problem özellikle kule, enerji nakil hatları, kayak atlama rampaları gibi oldukça yüksek fakat bunun tersine planda çok az yer kaplayan yapılarda görülür. Oluşan çok yüksek devrilme momentlerini karşılamak için yüksek kapasiteli ankrajlar uygulanması zorunluluğu olup bunların da ancak sağlam ve uygun kaya ortamlarda uygulanabilmesi olasıdır.

Kaya Boşlukları: Bilinen kaya bulonları kaya bloklarının bağımsız etkisini oluştururlar. Çok çatlaklı kaya ortamlarında kullanılan kaya bulonları uygulandıkları kaya ortamının tek bir kaya bloğu gibi davranmasını sağlarlar. Böylece kaya kütlesinin kesme kapasitesi ve dayanımı artar. Bazı küçük kesitli galerilerde, madenlerde ve tünellerde tavandan ve çevre duvarlarından kaya düşmesini engellemek için kullanılır. Bu uygulama, kalıcı iç kaplama yapılınca kadar geçici hizmet vermek üzere yapıldığı gibi, bazı tamamlanmış yapılarda ise tek kaya destek elemanı olarak kullanılır. Bulonlama işlemi çoğunlukla ucuz ve alışılmış olduğu için tercih edilen yöntemdir. Tünellerde uygulanan bu destekleme sisteminde dengeleyici kuvvetin şiddeti, tünelin boyutlarına, kaya çeşidine ve de kaya kütlesi içindeki kayma düzlemlerinin varlığı ve dağılımına bağlıdır.

Kaya ortamında gerçekleştirilen büyük tüneller, etkiyen kuvvetlerin gerilme ve hareketleriyle ilgili olarak değişiklik göstermelerine, bazı durumlarda da göçmelere neden olabilmektedir. Böyle durumlarda öngermeli kaya ankrajları uygulanarak yeraltı yapısının çevresinde germe kuvveti oluşturularak kendi kendisini taşıması sağlanır. Öngermeli kaya ankrajı uygulaması tünel çevresinde bir aktif kemer oluşturur ki bu kemer kayanın kendi kendisini taşımasını sağlar. Bütün kazı işlemlerinde, kazı çevresindeki basınç ferahlaması ve radyal deformasyon arasında karşılıklı bir ilişki vardır ki, zeminde deformasyon meydana geldiği anda kazı çevresindeki gerilmede azalma meydana gelir.

Teorik olarak, destek direnci ve zemin reaksiyonu arasında zeminde gevşeme meydana gelmeden bir optimum noktada dengeye ulaşılır.

Şev Koruması: Önkonsolidasyon yöntemine benzer bu uygulamada stabil olmayan şevin sürtünmesi ve buna bağlı olarak kayma mukavemeti öngerme ile arttırılır. Öngerme, kademeli bir şekilde uygulanarak olası ters bir etki ve zeminde ilk konumunda yüksek çatlak basınçları oluşmaması sağlanır. Bu yöntem oldukça yavaş ve pahalı olmasına karşın diğer zemin özelliklerinde değişiklik olmadan bozulmuş olan şevlerde temeli bulunan yapıların stabilitesini arttırır. Zemin ortamlarında olduğu gibi kaya şevlerinde ve uçurumlarda da öngerme uygulanması özellikle çatlak ve fisürler boyunca şevin iyileşmesini sağlar. Şev stabilitesi uygulamasında detaylara çok dikkat edilmesi gerekli olup, yapım sırasında stabiliteyi bozacak bir koşul oluşmaması sağlanmalıdır. Özellikle kötü ve yağışlı havalarda, etkiyen yüklerde büyük değişimler söz konusu olabilir.

Kaya şevlerinde ve uçurumlarda özellikle çatlak ve fisürler hakkında sağlanan bilgiler ve zemin suyunun etkileri tamamen uygulamanın başarısını etkiler. Kaya düşmelerini, süreksizlikler boyunca ayrılmaları kontrol etmek amacıyla uygulanan uçurum korumasında kaya ankrajları kullanılır ve ankrajların davranışı tamamen mevcut olan kayanın kalitesine bağlıdır.

Derin Bina Kazıları: Derin bodrum katı inşaatına, maliyet ve gereksinimler dikkate alınarak karar verilir. Derin bodrum katı ve düşük seviyelerde temel, temel yapısının maliyetinde düşüş anlamına gelmekte olup özellikle derinliğin artmasıyla taşıma kapasitesi artan zeminlerde bir gerekliliktir. Diğer yandan derinliğin artması zeminin desteklenme maliyetini oldukça yukarıya çeker.

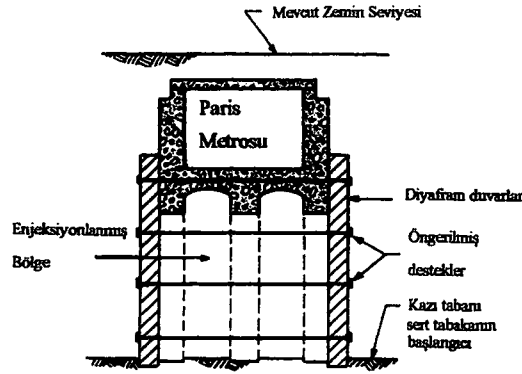
Tutulu destekleme sistemlerinin seçimi inşaa edilecek olan yapıya bağlıdır. Kalıcı bir içyapının tasarlanmış olduğu veya koşulların ankraj bölgesinin uzun süre devamlılığını garanti edemediği durumlarda geçici destekleme

sistemi, kazının amaçlanan görevinin diğer destekleme sistemlerinin uygulanmasını olanaksız kılması durumunda veya yapılan kazının yerine bir yapı yapılmayacak ise kalıcı destekleme sistemi kullanılır. Bu alandaki en etkileyici örnek New York'taki Dünya Ticaret Merkezi inşaatının kazısıdır. 950 m. uzunluğunda ve 0.9 m. kalınlığında yapılan diyafram duvarlar 21 m. geriye 6 sıra ankraj ile tutturulmuşlardır. Ankrajlar 45° eğimle ve 3000 kN. kapasiteli olarak uygulanmışlardır. Dört duvar yük hücreleri, eğim ölçerler, piezometre ve gerilme ölçerler ile izlenmişlerdir. Bu çalışma ankraj bağlarının duvar hareketi üzerinde oldukça büyük etkisi olduğunu göstermiştir. Bütün duvar yarı-rijit bir kütle gibi kazı seviyesine yakın bir nokta etrafında dönmüştür.

Uzun Kazılar: Bu tip kazılar daha çok yeraltı taşıma sistemlerinde veya alt-yapı inşaatlarında aç-kapa uygulamalarında gerçekleştirilir. Dar kazılarda karşıdan karşıya destekleme şantiye koşullarına uygun olduğu sürece kullanılabilir. Ancak kazı içindeki faaliyetleri kısıtlaması söz konusu olduğunda bu uygulama pratikte yapılması gereken işleri engelleyebileceğinden veya kazı genişliğinin artması halinde karşılıklı destekleme sisteminin maliyetinin artmasıyla hatta bu tür desteklemenin uygulanabilirliğinin olmaması durumunda bağlanmış destekleme sistemleri tercih edilir.

Yapıların Askıya Alınması: Askıya alma işlemi aslında yapıya etkiyen yüklerin mevcut temel altına yapılan yeni bir temel veya destek ile zeminin daha alt seviyelerine iletilmesini sağlar. Daha çok sık yerleşim birimlerinde uygulanan bu metodla mevcut bir binanın hemen bitişiğinde yapılan kazıda inilecek olan kazı kotunun yandaki binanın temel kotunun altında olması durumunda mevcut binanın temel yükünün yapılacak destek sistemleri ile iletilmesi gerekir. Aynı sistem ile, mevcut olan bir yapının altındaki zeminin yanal olarak desteklenmesiyle taşıma kapasitesi arttırılabilir. Şekil 1-3 de, Paris Metro tünelinin hemen yanında yapılan bir kazıda tünelin altındaki zeminin her iki yanına yapılan diyafram duvarların birbirine bağlanması ile yanal

olarak tutuluşu ve zemine enjeksiyon yapılarak taşıma kapasitesinin arttırılışı gösterilmektedir.



Şekil 1-3 Mevcut bir metro yapısının diyafram duvarlar ve enjeksiyon ile askıya alınması.

Mevcut Yapıların Kuvvetlendirilmesi: Zamanla, zemindeki yapılar çeşitli nedenlerden dolayı stabilitelerinin bir kısmını kaybedebilmektedir. Bu stabilite kaybı zemindeki efektif gerilme sistemindeki değişmeden, zeminin yapısında meydana gelebilecek değişikliklerden veya yükleme koşullarında doğabilecek değişimlerden kaynaklanabilir. Bu tür problemler daha çok eskimiş yapılarda görülür. Stabilitate kaybına karşı önlem almak için yapılacak olan uygulamada yapının doğasına, inşaa yöntemine, onarım derecesine, stabilitesine ve ankraj kuvvetlerine karşı göstereceği tepkiye çok dikkat edilmesi gerekir. Bu şekil bir çözüm 1966 yılında Fransa' da Ovaision Kanalı Köprüsü' nün kemerinin oluşturduğu devirici momentlerin inşaa süresince temel kayasına kadar yerleştirilen geçici ankrajlar ile dengelenmesi için kullanılmıştır.

Reaksiyon Kuvvetleri Oluşturulması: Zemin ve temel yapıları için kullanılan modern arazi deneyleri sırasında ankrajlardan yararlanılmaktadır. Yerleştirilmiş olan bir kazık için yapılması gerekli olan kazık yükleme deneyinde kazığa verilmesi gereken yük, kazık çevresine yerleştirilmiş olan ankajlar aracılığı ile uygulanabilmektedir.

Oldukça yaygın olarak kayaların deformasyon modüllerinin belirlenmesi için arazide yapılan yüzey plaka yükleme deneylerinde de ankrajlar aracılığı ile plakaya yük verilebilir.

Araziden alınan örnek üzerinde laboratuarda yapılan deneylerin tam olarak arazi gerçeğini yansıtamaması riskleri nedeniyle arazide yapılan diğer bir deney de arazi kesme deneyi olup oldukça maliyeti yüksektir. Burada iki kaya bloğu içlerinden geçen düşey doğrultudaki ankrajlar aracılığıyla zeminde kesme kuvveti oluşacak şekilde yükleme yapılır.

Hareketli Yapılarda Ankraj: ABD Prefabrik Binalar Federal Yapım Emniyet Standardı' na göre yapılacak olan mobil yapıların kasırga bölgelerinde 720 N/m^2 lik rüzgar kaldırma kuvvetine, 1200 N/m^2 lik yanal yüke karşı, diğer bütün bölgelerde 430 N/m^2 lik rüzgar kuvvetine, 720 N/m^2 yanal yüke karşı bağlanması gerekir. Buna göre bu yapıların temelleri kayma, devrilme ve kaldırma kuvvetleri gözönünde bulundurularak tasarlanmalıdır. Böyle durumlarda düşey ve yanal kuvvetler, kullanılacak olan zemin ankrajları ile karşılanmaktadır.

Donmuş Zemin Ve Ankrajlar: Bu konuda iki ayrı durum söz konusu olabilmektedir. Birincisi, ankraj ile tutturulmuş yapıyı tutan ankrajların bir kısmının yer aldığı zemin donmuş olabilir veya donabilir, ikincisi ise ankrajların kalıcı olarak dondurulmuş zeminlere yerleştirilmesi gerekebilir. Yapılan gözlemlerde, donma basıncı ve zemin basıncının her ikisinin de dayanma yapısının hareketinin engellenmesi veya serbest bırakılması ile arttığı veya azaldığı gözlenmiştir. Tendon kafasının hareketini sağlamak için iki tane çelik plaka kullanılır ve bu iki plakanın arası dayanıklı bulonlar ile aralık bırakılır. Plakalar arasındaki mesafe, buna bağlı olarak yük de bulonların sıkıştırılması veya gevşetilmesiyle değiştirilebilir. Donma etkisiyle dayanma yapısı arkasındaki zeminin drene edilmemesi durumunda zemin suyundaki donma sebebiyle hacimsel genleşme ve dolayısıyla ankraj elemanlarına gelen yükte artış,

donan zeminin gevşemesiyle suda oluşan hacim kaybı ile ankraj elemanlarına etki eden yükte azalma olacağından bu tür ortamlarda buna göre yukarıda belirtilen önlem alınmalı veya drenaj uygulaması yapılmalıdır.

1.3 Ankraj Çeşitleri

Ankrajların kullanım alanlarının genişliği, bunların sınıflandırılmasını güçleştirmektedir. Genelde ankrajlar uygulandıkları ortama göre sınıflandırılır. Bu durumda ankrajları üç ana gruba ayırabiliriz:

a) Zemin ankrajları, b) Kaya ankrajları, c) Deniz yapıları ankrajları

Ankrajlar bulundukları ortamdan başka ;

I) Servis sürelerine göre :

a) Geçici ankrajlar, b) Kalıcı ankrajlar, c) Deneme ankrajları, d) Kontrol ankrajları,

II) Yük iletme mekanizmalarına göre :

a) Dairesel kesitli kökü olan ankrajlar, b) Düşük basınçla genişletilmiş kökü olan ankrajlar, c) Yüksek basınçla genişletilmiş kökü olan ankrajlar, d) Me-kanik olarak genişletilmiş kökü olan ankrajlar,

III) Uygulama şekillerine göre

a) Aktif ankrajlar, b) Pasif ankrajlar, c) Çekme ankrajları,

olmak üzere üç farklı grup altında toplanabilir.

1.4 Zemin, Kaya ve Deniz Yapıları Ankrajları

Ankrajlar, oldukça geniş olan "çekme kuvveti etkisi altındaki temeller" konusunun sadece bir parçasını oluştururlar. Bu konu, çekme kuvveti eğilimindeki tüm zemin ve temel elemanlarını kapsar. Ankrajların geniş uygulama alanları nedeniyle sınıflandırılmaları oldukça zordur. Fakat ankrajların hesaplanmasını etkileyecek olan en önemli veri bunların çeşitleri ve uygulanacakları ortamlardır. Uygulanacakları ortamlar ankrajların yük kapasitesini, ankraj yapısının seçimini, gerekebilecek önlemleri, uygulanacak olan mekanik kuralları belirler. Öyle ki, ankraj sistemi zemin ortamında yapılıyorsa zemin mekaniği, kaya ortamında yapılıyorsa kaya mekaniği kuralları geçerlidir.

Zemin ortamındaki ankrajlar düşük-orta kapasiteli ankrajlar olup sert killerde, siltlerde, kumlarda ve çakıllarda uygulanırlar. DIN 4125' teki tanımına göre tutulu boyu (kök) yani yük iletme boyu zemin (kohezyonlu veya kohezyonsuz) içinde bulunan ankrajlardır. Dairesel kesitli çimento enjeksiyonlu, mekanik olarak genişletilmiş köklü (çan köklü), çeşitleri mevcut olup, çevre koşullarına göre birkaç haftalık veya bir kaç senelik servis süreleri olan geçici ve çok uzun süreli servis ömrü olan kalıcı ankrajlar kullanılabilmektedir. Zemin ankrajları bugün yapılmakta olan ankraj uygulamalarının %70-80 ini oluşturmaktadır. Zemin ankrajları kalıcı veya geçici olarak :

1. Derin kazılarda destekleme yapısını tutmak,
2. Zemin suyu veya kabarma etkisiyle kaldırma kuvvetine maruz kalan temel döşemesini bağlamak,
3. Stabil olmayan zeminlerin, ankraj ile ön yükleme yaparak, taşıma gücünü arttırmak,
4. Kazık yükleme deneylerinde reaksiyon kuvveti sağlayabilmek,
5. Güç iletme kulelerinde, özel çatılarda, kayak trampelenlerinde ve hareketli yapılarda etkili olan devirme kuvvetini karşılamak ve dengelemek,
6. Yeraltı depolama tanklarını bağlamak,

7. Aç-kapa kazılarında, tünel duvarlarında yanal destek sağlamak,
8. Nükleer yapıların döşemelerini stabilize etmek,
9. Onarım, tamirat ve kurtarma işlerini yürütebilmek,

için kullanılırlar.

Kaya ortamında uygulanan ankrajlar, zemin ortamında uygulananlara şekil ve uygulama kuralları yönünden çok benzerdir. Genelde, kaya malzemesinin yüksek dayanımına bağlı olarak kaya ortamındaki ankrajların taşıma kapasiteleri zemin ortamındakilerden çok daha fazla olmaktadır. DIN 4125' teki tanımına göre tutulu boyu (kök) kaya ortamı içinde bulunan ankrajlardır. Kaya malzemesinin özellikleri yönünden çok geniş bir yelpaze oluşturması nedeniyle genelleme yapmak pek mümkün olamamaktadır. Örneğin killi şistlerde, kireçtaşlarında, tebeşirlerde ve yüksek kırıklı kayalarda sorunlar görülebilmektedir. Kaya ankrajları ankraj uygulamalarının % 10-20 sini kapsamaktadır. Kaya ankrajları :

1. Kaya formasyonunu ve şevleri korumak, stabilize etmek,
2. Yer altı kaya oyukları ve galerilerinde kereste ve çelik destekler yerine destek sağlamak,
3. Yüksek kapasiteli ankrajlar kullanılmadan gerçekleştirilmesi bir hayli pahalı ve hatta imkansız olan barajları yükseltebilmek ve kuvvetlendirmek,
4. Kablo hatları, televizyon direkleri mesnetleri ve köprü mesnetleri gibi yüksek germe kuvvetlerinin zemine iletilmesini sağlamak,
5. Maden kuyusu ve diğer özel yapıları iyileştirmek,

gibi amaçlar için kullanılırlar.

Deniz yapılarında kullanılan ankrajlar kaldırma kuvvetine karşı koyabilmek amacıyla uygulanmaktadır. Derin ve sığ sularda teknelerin, gemilerin, yarı yüzen yapıların, su yatağındaki yapıların demirlenmesi amacıyla uygulanırlar.

Bu konuda ölü ağırlık, enjeksiyonlu tendon, serbest düşme, titreşimli yerleştirme, iterek yerleştirme gibi çeşitli ankraj tipleri kullanılmaktadır. Deniz yapıları ankrajları aynı zamanda nehirlerde de kullanılmaktadır ve bu grup ankrajlar ankraj uygulamalarının % 10 unu oluşturmaktadır. Deniz yapıları ankrajları :

1. Kıyı yapılarını korumak,
2. Geliştirilmiş alanları stabilize etmek,
3. Nehir yataklarını ve deniz kanallarını korumak,
4. Deniz ve nehir tesislerini kuvvetlendirmek,
5. Petrol iskelelerini korumak.,

için kullanılırlar.

1.5 Geçici, Kalıcı, Deneme ve Kontrol Ankrajları

Geçici (kısa süreli) ve kalıcı (uzun süreli) ankrajlar, servis ömürleri açısından değerlendirilirler. Servis ömürleri ankrajların yerine getirmesi istenilen göreve bağlıdır. Geçici ankrajların servis süreleri belirli olup bu süre amaca bağlı olarak bir kaç aydan bir iki seneye kadar değişebilir. Kalıcı ankrajlarda ise vereceği hizmet nedeni ile stabiliteyi sürekli olarak sağlaması gerekmektedir. Geçici ankrajlar daha çok yardımcı eleman olarak kullanılmakta olup bunların en geniş örneklerini derin kazılarda geçici destek sistemleri olarak görmekteyiz. Kalıcı ankrajlar ise yapılardaki stabilite sorunlarını ortadan kaldırmak amacıyla kullanılırlar. Kalıcı ankrajlar en çok baraj yapıları, enerji nakil hatları v.s. gibi yapılarda, stabilite sorunlarının sürekli olarak olduğu durumlarda bu sorunların karşılanması ve yapının en ekonomik ve güvenli şekilde yapılması için kullanılırlar.

Her iki grup farklı şartlar gerektirmektedir. Geçici uygulamalar, zorunlu yapısal analiz ve tasarımların yapılmasını, ankrajların boyutlandırma ve

denemelerinin yapılmasını, imal edilmiş ankrajlarda da yük taşıma kapasitesini irdelemek üzere arazi germe deneylerinin yapılmasını gerektirmektedir. Kalıcı ankrajlarda ise bunlara ek olarak sistem elemanlarının hazırlanıp korunması için gerekli koşulların sağlanması gerekmektedir. Bir çok şartname geçici uygulamaların serviste kalma süresini 2 yıl olarak vermektedir. Fakat bu değerin sınır değeri olarak ve zemin koşullarının çok iyi bir şekilde bilindiği ve kontrol edilebildiği ortamlar için geçerli olduğu unutulmamalıdır. Xanthakos, (1991) un tavsiye ettiği daha tutucu koşullar şu farklılıkları göstermiştir :

- Geçici uygulamalar : 6 aydan daha az süre serviste kalacak olan ankrajlardır. Bu süre içerisinde zararlı olacak şiddette bir paslanma başlamaz. Bu nedenle de paslanmaya karşı önlem almak ve gözlemlene yapmak gerekmemektedir.
- Yarı-kalıcı destekler : 6-18 ay servis verecek olan ankrajlardır. Bu durumlarda paslanmaya karşı önlem kesin olarak belirtilmiş olmayabilir. Fakat ankraj davranışının gözlenmesi ve imalat programı içerisine alınması önerilmektedir.
- Kalıcı uygulamalar : 18 aydan fazla serviste kalması gereken ankrajlardır. Bu uygulamalarda paslanmaya karşı önlem alınması ve gözlemlerin yapılması zorunludur. Önlemler ve gözlemler, uygulamanın ömrünün uzunluğuna bağlı olarak sürekli sağlanmalıdır.

Ankraj tasarımında, hem boyutlandırma, hem de çalışma yükü değeri, uygulamanın yapılacağı ortamın bütün koşulları gözönüne alınarak belirlenmelidir. Bu nedenle, izin verilebilir çalışma yükü belirlenirken, uzun süreli stabilite ve krip özellikleri, kök değme yüzeyindeki tutunma kapasitesindeki olası düşüşler gibi bütün etkenler ve birbirleri üzerindeki etkileri gözönünde bulundurulmalıdır. Bunlar, özellikle bir miktar kil veya silt içeren, şekil değiştirme veya boşluk suyu basıncında düşüşlerin gözlenebildiği ve dolayısıyla da tendondaki gerilmede kademeli olarak düşüşlerin görüldüğü zeminlerde önem

kazanmaktadır. Ayrıca, ankraj sistemine zararlı etkileri olan ortamlardaki ankrajlarda paslanma ve dolayısıyla da yük taşıma kapasitesinde önemli düşüşler görülebilir.

Deneme ankrajları, SIA 191 de tanımlandığına göre, ankraj ve kök tasarımı yardımcı olması yönünden geniş deneyler yapılan, özel olarak tasarlanmış ve normal olarak yerleştirilmiş ankrajlardır. Bunların sayısı 5.2.1.2 de daha ayrıntılı olarak verilmiştir.

Kontrol ankrajları ise, yine SIA 191 de tanımlandığına göre uzun süreli gözlemler yapılabilmesi için yapı içinde veya çevresinde uygulanan ankrajlardır.

Geçici ve kalıcı ankrajlarda uygulanacak kuvvetler arasındaki ilişki aşağıdaki gibi ifade edilebilir. (SIA 191)

Geçici Ankrajlar

$$V_p \leq 0.95 V_s$$

$$V_p \leq 1.15 V_G$$

$$V_G \leq (1/S) V_u$$

$$V_0 \leq 0.75 V_u$$

Kalıcı Ankrajlar

$$V_p \leq 0.95 V_s$$

$$V_p \leq 1.40 V_G$$

$$V_G \leq (1/S) V_u$$

$$V_0 \leq 0.75 V_u$$

Burada ;

F_e : Tendon kesit alanı,

V_p : Deney sırasındaki germe yükü, ($F_e \cdot \sigma_p$)

V_s : Tendondaki gerilme $\sigma_{2.0}$ olduğu zaman ki yük,

V_G : Hesaplanmış çalışma yükü, ($F_e \cdot \sigma_G$)

V_u : Ankraj taşıma kapasitesi,

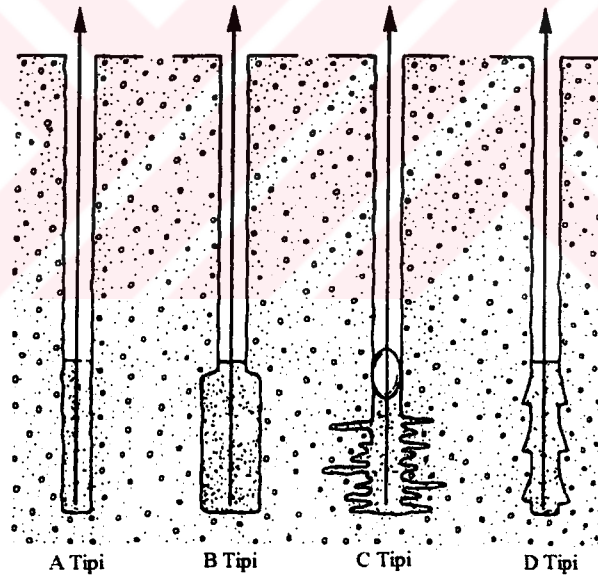
V_0 : $t=0$ anındaki germe yükü,

S : Risk katsayısı,

olarak tanımlanmaktadır.

1.6 Yük İletme Şekillerine Göre Ankrajlar

Genellikle ankrajların, yerleştirildikleri ortamlara kök bölgelerinden çimento harcı enjeksiyonu ile bağ oluşturarak tutunmaları sağlanır. Bağlayıcı malzeme olarak çimento harcının dışında başka malzemeler de kullanılmaktadır. Ankrajın yük taşıma kapasitesini bu bağlayıcı malzemenin dayanımının yanı sıra bağlayıcı malzemenin oluşturmuş olduğu kök şekli de etkilemekte ve hatta belirleyici rol oynamaktadır. Ankrajlar, kökleri aracılığı ile çevresinde bulunan zemine yük iletimini dört farklı şekilde gerçekleştirebilirler. Bu farklılıklar tamamen ankraj kökünün tasarım şekli ile ilgilidir (Şekil 1-4). Bu değişik yük iletim şekilleri ankrajın uygulanacağı ortamın koşullarına göre belirlenir. Her zemin koşulu için aynı sistem aynı ekonomiyi sağlamayabilir.



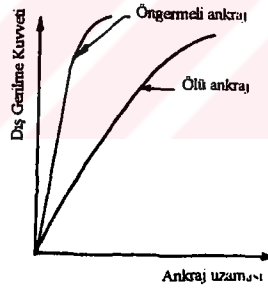
Şekil 1-4 Yük iletim şekillerine göre ankraj çeşitleri

- **A-Tipi** : Delik stabilitesi koşullarına göre gerekirse desteklenen, tremi-enjeksiyonlu, doğrusal, silindirik ve uniform çaplıdır. Bu tip, kaya, sert ve katı olan kohezyonlu formasyonlarda uygun olmaktadır.

- **B-Tipi** : Ankraj bölgesi genişletilmiş silindir formunda çimento harçlı delikte düşük enjeksiyon basıncı (genellikle $<1 \text{ N/mm}^2$) altında tüp veya bohça kullanılarak uygulanır. Bu uygulamada, asıl etkin kök bölgesinin çapı, çevre zemin malzemesine enjeksiyon basıncı ile minimum hareket verilip, enjeksiyon malzemesinin zemin boşluklarına girmesi sağlanarak arttırılmış olur. Bu genişletilmiş silindir kök yumuşak fisürlü kayalar ve kaba aluvyon ortamlar için uygundur, ancak yüklenicilerin çoğu bunu iyi derecelenmiş zeminlerde de kullanmaktadır.
- **C-Tipi** : Bu tipte, çimento şerbeti yüksek basınç ile ($>2 \text{ N/mm}^2$) verilerek çimento tanelerinin zemin taneleri arasına iyice ve dağınık olarak girmesi sağlanır. Böylece ankraj bölgesi genişletilmiş olur. Enjeksiyon kökü veya çatlak sistemi merkez delik çapının dışında oluşur. Bu ankraj sistemi sert kohezyonlu yığınlarda kullanılmış olmalarına karşın özellikle kohezyonsuz zeminler için uygundur. Tasarımı, tutulu bölge içinde uygun çap üzerinde üniform kayma varsayılarak veya denemeler sonucunda çıkarılan yarı amprik merkez kabul edilerek yapılır. Bu uygulamalarda hangi basınç oranında B veya C tipinin oluşacağını kestirilmesi oldukça güç olmaktadır, ancak bir çok kez her iki tipin de özelliklerini içeren kompozit sistemler imal edilebilmiştir.
- **D-Tipi** : A tipinde olduğu gibi tremi-enjeksiyonlu olan bu ankrajlarda bir farklılık vardır. Bu tip ankrajlar bir takım genişletme elemanları içerir. Bu genişletme elemanları mekanik olarak ankraj kökünde imal edilirler. Bu tip, katı-sert kohezyonlu yığınlarda kullanılmak için uygundur ve genişletme elemanları ankraj delik çapının dört katı kadar olmaktadır. Sıyrılma kapasitesi yanal kayma ile oluşur, ancak yerinden çıkmaya karşı çan ve uç taşıması karşı koyar.

1.7 Aktif, Pasif ve Çekme Ankrajları

Aktif ankrajlar, "öngermeli" olarak da anılırlar ve yapıya bir ilk yük uygularlar. Bu yük, özel krika ile yapıya uygulanır ve yapının ankraj elemanının kendisine göre deplasmana maruz kalması durumunda bile yapıya etkimeye devam eder. Pasif ankrajlar, "ölü" olarak da anılırlar ve bunlara bir öngerme işlemi uygulanmamıştır. Ancak kazı işleminin ilerlemesi ile tutulmuş olan yapıda, bir hareket olduğu anda doğan yükü karşılar. Aktif ve pasif ankrajlardan başka her iki uygulamanın da uygulama koşullarının kısmen sağlandığı ankrajlarda ise tüm öngerme yükü potansiyelinin (tasarım yükünün $1/2-2/3$ katı) bir oranı uygulanır. Sıkça kullanılan bu üçüncü "çekme ankrajı" uygulama şeklinde, ankraja ne tam olarak taşıma kapasitesi ölçüsünde germe kuvveti uygulanarak bir öngerme sağlanmakta, ne de germe kuvveti uygulanmayarak yük etkimesi durumunda yüke karşılık vererek büyük deplasman yapmasına izin verilmektedir. Aktif ve pasif ankrajların etkiyen çekme yükü ile kazının tamamlanması sonucunda oluşan deplasman arasındaki ilişki Şekil 1-5'deki gibidir.



Şekil 1-5 Aktif (öngermeli) ve pasif (ölü) ankrajlar. Uygulanan yükün fonksiyonu olarak bağıl deplasman.

Ankrajların uzun ve esnek elemanlar olması sebebiyle tendonun gerilerek tam yük kapasitesine ulaşması için ankraj kafasının oldukça fazla bağıl yerdeğiştirme yapması gerekmektedir. Bu nedenle başlangıç öngerme yükü, oluşması gereken bu yerdeğiştirme miktarını azaltır. Kazı sırasında kazı kademelerindeki ilerleme sonucunda ankrajlı yapıya etki edecek olan yüklerin tendon

tarafından karşılanması gerekecektir. Eğer ankraj tendonuna öngerme işlemi uygulanmamış ise tendon, yükü karşılamak üzere uzamaya başlayacak ve dolayısıyla da ankraj kafasında meydana gelecek olan hareket destek yapısına yansiyacaktır. Bu olumsuz durum ile karşılaşmamak için ankraj tendonlarına öngerme uygulanarak etkiyebilecek olan yük ve dolayısıyla oluşacak hareket önceden tendon üzerinde alınarak bu hareketin yapıya daha sonradan etkisi önlenmiş olmaktadır.

Aktif ankrajlar, şevlerin ve temel kazılarının öngerme ile iyileştirilmesini gerektiren yerlerde kullanılır. Pasif ankrajlar ise çatlak basınçlarının oluşabileceği durumlarda kullanılır ve çivi görevi görmesi istendiği durumlar için daha uygundur. Aktif ve pasif ankrajların arasında bir yük değerinde gerilmiş olan çekme ankrajları ise büyük hareketleri engellemek üzere tercih edilir ve dayanma yapıları ile birlikte kullanılırlar. Bunlarda küçük deplasmanlara ulaşarak aktif gerilme durumuna ulaşılması yapım koşulları ile sağlanır.

SIA 191'e göre;

Öngermeli ankrajlar, öngerme kuvvetinde sadece çok küçük değişikliklerin belirli değer aralıkları içinde olası olduğu ve çalışma yükünün neticesi olarak izin verilebilen ankrajlardır.

$t=0$ anında, uygulanan V_u yük taşıma kapasitesine bağıntılı V_0 yükü :

$$0.5 < V_0/V_u \leq 0.75 \quad (1.1)$$

Çekme ankrajlarında, başlangıçta ($t=0$) olası ve izin verilebilir germe kuvveti uygulanır. Büyük germe kuvveti ve gerilme değişimleri olasıdır.

$t=0$ anında, uygulanan V_u yük taşıma kapasitesine bağıntılı V_0 yükü :

$$0.25 < V_0/V_u \leq 0.5 \quad (1.2)$$

Ölü ankrajlarda, başlangıçta ($t=0$) hiç veya çok az germe kuvveti uygulanır.

$t=0$ anında hiç veya sıfıra çok yakın germe kuvvetleri uygulanabilir:

$$0 \leq V_0/V_u \leq 0.25 \quad (1.3)$$

koşulları sağlanmalıdır.



2. ANKRAJ SİSTEMİ ELEMANLARI VE YERLEŞTİRİLMESİ

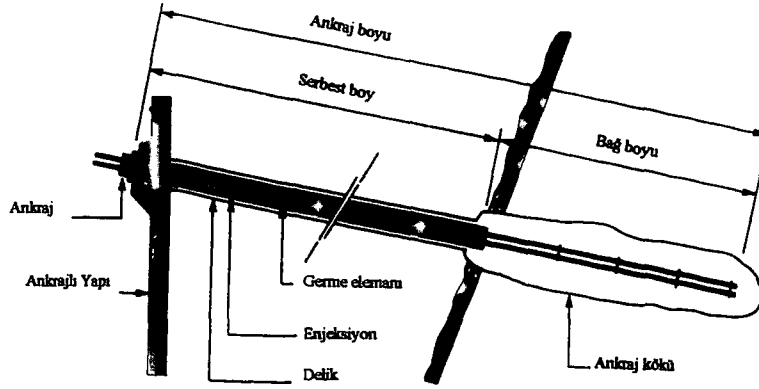
2.1 Giriş

Genel olarak ankrajların davranışları üç ana nedenden etkilenir:

1. Zemin karakteristikleri, özellikle de zeminin kayma mukavemeti;
2. Ankrajların yerleştirilme teknikleri ve özellikle bağ bölgesinin tutturulma yöntemleri;
3. Arazideki personelin uygulama üzerindeki etkisi.

Daha çok kalıcı ankrajlarda, tendon ve enjeksiyon malzemesi arasındaki bağ istenildiği gibi kuvvetli yapılamadığı sürece bu ankrajlarda sorunlar gözlenir. Bu nedenle düşünülen ankraj yerleştirme yöntemi için ön araştırma ile temel malzemesinin yapısı ve özellikle de dayanımı hakkında veriler elde edilmelidir. Zayıf ve gevşek zeminlerde ekonomik çözümler oluşturulamayabilir. Yapılacak olan bu ön araştırmalardan elde edilen verilere dayanılarak ankraj tasarımı gerçekleştirilir. Bu araştırmaların doğruluğu tamamen ankraj tasarımını ve tekniğini etkileyeceği için çok sağlıklı bir şekilde yapılması zorunludur. Örneğin zeminin taşıma kapasitesi, kayma mukavemeti hakkında elde edilecek yanlış veri belki sistemin yapıldıktan sonra göçmesine neden olacak, belki de uygulamayı tamamen ekonomik olmaktan uzaklaştıracaktır. Ankraj tasarımında dikkate alınan bu veriler ankraj elemanlarının seçimini sağlarken ekonomiklik ve güvenlik koşullarına uyulur. Ankraj elemanlarını üç ana parçaya ayırabiliriz; ankraj tutulu boyu (kök), ankraj serbest boyu ve ankraj kafası (Şekil 2-1). Ankraj elemanlarının tendon büyüklüğü, delgi ve enjeksiyon yöntemi ve enjeksiyon yapısı gibi detayları projenin tasarım gereklilikleri ile belirlenir ve her türlü ortamda farklı uygulamalar yapılarak koşulların uygunluğu sağlanır. Kullanılacak yöntemler arazi koşullarının yanısıra uygulanabilirlik ve çevresel koşullara göre de belirlenir. Bunun en belirgin örneği delgi

yöntemidir. Çevreye rahatsızlık vermeyecek bir sistemin seçimi de zemin koşullarına uygunluğu kadar önemlidir.



Şekil 2-1 Ankraj parçalarının şematik gösterimi.

SIA' e göre ankraj parçaları şu şekilde tanımlanmıştır: Ankraj tutulu boyu (kök), tendonun kuvvetlerini zemine; ankraj serbest boyu (tendon), ankraj kafasından alınan kuvvetleri köke iletmek; ankraj kafası da ankrajı bağlanmış bulunduğu yapıya tutturmak üzere görev yaparlar.

2.2 Ankraj Parçaları

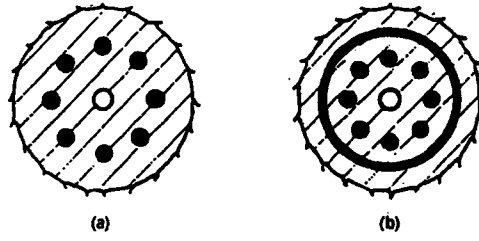
Şekil 2-1 de gösterilen bir ankraj sistemini oluşturan üç temel parça aşağıda ayrıntılı olarak ele alınmaktadır :

2.2.1 Ankraj tutulu boyu (Kök):

Ankraj kökü veya bağlanmış boy olarak da tanımlanabilir. Daha önce belirtilmiş olan yük iletme sistemlerinden birisine göre, bir ankrajın çekme kuvvetini bağ aracılığı ile etrafındaki zemine ileten tasarım boyunu gösterir.

Genelde tutulu boy çimento harcı enjeksiyonu ile oluşturulur ve hem kaya, hem de zemin ortamları için geçerli bir uygulamadır. Çimento harcı yükü iletecek olan bölgeyi oluştururken aynı zamanda da tendonun paslanmaya karşı korunmasını sağlar. Kalıcı ankrajlarda korozyona karşı daha fazla önlemler

alınması gerekir ve bunun için de ankraj kılıf içine alınarak etrafındaki zemin ortamından tamamen ayrılır. Şekil 2-2 de görülen iki ankraj kesiti kalıcı ve geçici ankrajların kök kesitleridir. Geçici ankraj kökünde (a) tendon üzerinden gelen çekme kuvveti çimento harcına, oradan da çevresindeki ortama iletilirken, kalıcı ankraj kökünde (b) tendon üzerinden gelen çekme kuvveti çimento harcına, çimento harcından paslanmaya karşı önlem amacıyla kullanılan kılıfa, bu kılıftan kılıfın dışındaki çimento harcına, oradan da çevresindeki ortama iletilir.



Şekil 2-2 a) Geçici; b) kalıcı ankraj için kök kesitleri

Ankraj kökü oluşturulurken bağın (çimento enjeksiyonu, reçine, v.s.) kendisinin yeterince dayanıklı olmasına dikkat edilmelidir. Tendondan gelen yük, bu çimento harcı ile oluşturulmuş olan bölge tarafından taşındıktan sonra çevreye iletilebilmelidir. Aynı zamanda kökün de çevresindeki ortama çok iyi bir şekilde işlemesi ile kökün tendondan almış olduğu yük çevresindeki ortama iletilirken kökte herhangi bir hareket meydana gelmemesi sağlanmalıdır. Bağın dayanımını su/çimento oranı etkilerken, bağın çevresindeki ortamın içine işlemesini enjeksiyon basıncı ve delgi işlemindeki başarı etkiler.

2.2.2 Ankraj serbest boyu:

Serbest tendon boyu olarak adlandırılan bu kısmın çevresindeki zemine değmesi içinde bulunduğu kılıf ile engellenir. Ankraj sistemine gelen yük serbest boy aracılığı ile köke iletilir ve bu yük iletimi sırasında tendon çevresindeki zemine değmediği için rahatça uzayabilir. Tendonun serbest olduğu boy, zeminin bir bütün olarak dengede olmadığı bölge olup bu bölgede tendonun

zemine bir bağlayıcı aracılığıyla değmesi durumunda yapıdan gelen yük denge de olmayan bu zemin bölgesine iletilerek sistemin göçmesine sebep olacaktır.

2.2.3 Ankraj kafası:

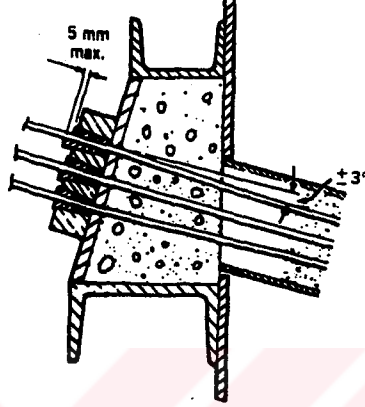
Ankraj kafası, yüklenmiş olan ankrajdan yapıya veya zemin yüzeyine yük iletimini sağladığı gibi tam tersi görevi de görmektedir. Ankraj tendonu bu ana parça ve yardımcı parçaları aracılığı ile yapıya bağlanır ve yük iletimine aracı olur.

Daha önce de belirtildiği gibi ankraj kafası ankraj sisteminin en önemli üç parçasından bir tanesidir. Ankraj kafasını, germe kafası, kamalar (gripler) ve yükü yapıya iletmek üzere kullanılan basınç dağıtım plakası oluşturur. Ankraj kafası parçaları genellikle öngermeli beton üreticileri tarafından veya uzman ankraj uygulayıcıları tarafından detaylandırılır ve kullanılan tendona uygun ankraj kafası kullanılır. Yüksek yük mertebelerinde beton bloklar gibi ikincil dağıtım elemanları kullanılır.

Ankraj kafası ile tendonlar mümkün olduğunca ($\pm 5\text{mm.}$) ortak merkezli olmalıdır. Ankraj kafası ile tendon eksenleri arasında 3° den fazla açısal sapma olması durumunda bu, yük iletimini etkileceğinden ankraj kafasının yerleştirilmesine ve imalatına dikkat edilmeli. Ankrajlara germe uygulanmadan önce ise ankraj kafaları kesinlikle kontrol edilmelidir. Ankraj kafalarındaki bir diğer sorun da kamaların (gripler) yuvalarına tam oturmama olasılığıdır. Bu sorunlar ile ilgili tolerans değerleri Şekil 2-3 deki gibidir.

Ankraj kafası daha önceden belirtilen görevlerin yanında aşağıda belirtilen özellikleri de sağlamak üzere detaylandırılmalıdır.

1. Tendon, spesifik karakteristik mukavemetin % 80-90 mertebesindeki değerlerde gerilebilir veya yük kitlemesi yapılabilir.
2. Germe koşullarına göre yük artış veya azalışları doğabilir.
3. Tendonun her bir halatı aynı anda gerilmiş olabilir fakat her bir halat ayrı ayrı konik yuvasında kamalar aracılığı ile kilitlenebilir.
4. Tendondaki yük değeri tekrar germe yaparak kontrol edilebilir. Bu arada uzamadan dolayı oluşabilecek yük kayıpları giderilebilir.

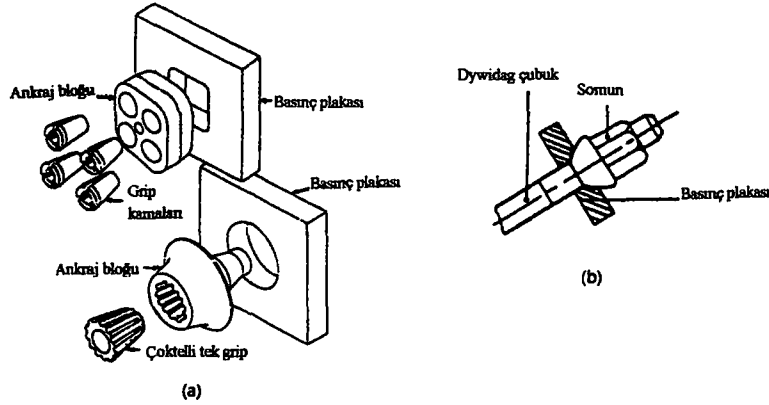


Şekil 2-3 Ankraj kafası yerleşiminde öngörülen tolerans değerleri.

Bazı koşullarda ankrajlar birbirlerine çok yakın olarak inşa edilirler. Dolayısıyla ankrajların grup olarak davranışları ile bireysel olarak davranışları ayrı ayrı incelenmelidir. Genel olarak ankraj yapıları, ankrajlardan bir tanesinin herhangi bir nedenden dolayı göçmesi ile diğer ankrajların aşırı olarak yüklenmeyecek ve yapıdaki gerilmeler artışı % 25' i aşmayacak şekilde tasarlanmalıdır.

Ayrıca ankraj kafası ankrajın sistemine uygun da olmalıdır. Ankraj sisteminde a) yük kontrolü yapıp sonradan germe gerekemeyebilir, b) yük kontrolü ve sonradan germe yapılabilir fakat yük boşaltması veya gevşetilmesi yapılmayabilir, c) yük kontrolü ve sonradan germe işlemlerinin her ikisi de gerekemeyebilir. Bu şartlardan birisinin veya hepsinin ankraj sistemi tarafından

sağlanması ankrajın özelliklerine ve servis süresine bağlıdır. Şekil 2-4 de değişik ankraj kafalarına ait detaylar verilmektedir.

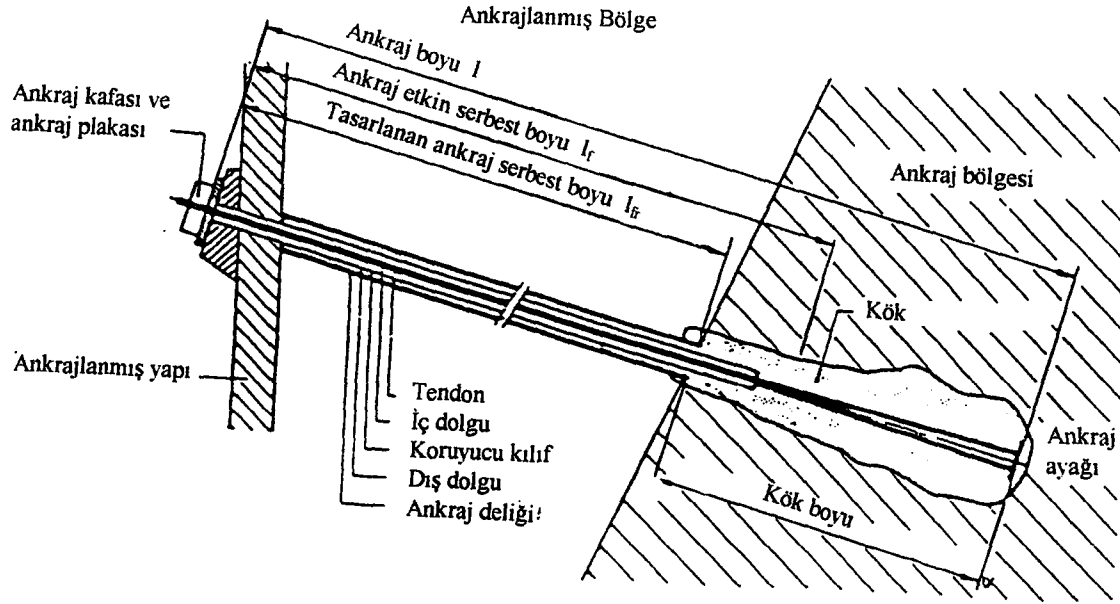


Şekil 2-4 Değişik ankraj kafası detayları.

Ankraj kafalarında en önemli nokta tendondan gelen yükün basınç yuvasına merkezi olarak iletilmesini sağlamaktır. Yapıya aksel olarak iletilmeyen yük yapı içinde ikincil gerilmelere, dönme ve hareketlere sebep olabilecektir. Bu nedenle ankraj kafası elemanlarının gerek imalatında, gerekse montajında bu noktaya dikkat edilmelidir.

Tanımlanan diğer ankraj parçaları ise; ankraj ayağı, ankraj boyu (l), tutulu ankraj boyu (l_v), efektif serbest ankraj boyu (l_f), hesaplanmış ankraj serbest boyu (l_{fr}) dur.

Ankraj ayağı ankrajın zemin içindeki bitim noktası, ankraj boyu (l) ankraj ayağı ile ankraj kafası arasındaki boy, efektif ankraj serbest boyu (l_f) ankraj gerildiği zaman serbest olarak uzama gösterebileceği boy (serbest tendonun boyu), hesaplanmış serbest ankraj boyu (l_{fr}) statik ve zemin mekaniği hesaplamaları sonucu bulunan ankraj bölgesine ankrajın girdiği nokta ile ankraj kafası arasındaki boydur (Şekil 2-5).



Şekil 2-5 Ankraj sistemi ve elemanları.

2.3 Ankraj Tendonu

2.3.1 Tendon tiplerinin karşılaştırmalı tanımı:

Ankraj tendonları çekme mukavemetleri $1200-2000 \text{ N/mm}^2$ aralığında değişen, tek tek veya grup halinde kullanılan çubuk, tel veya halatlardan oluşur. Teknik karakteristikleri ve yük altındaki kesin mekanik tepkisi ile ilgili veriler imalatçı tarafından verilir. Özellikle boyut ve kesit alanı, nihai dayanım, elastik limit ve gevşeme kaybı, mekanik bağ yapısının oluşumu değişkenlik gösterebilir.

Düz yüzeyli veya yivli çubuklar tendonların en basit tipini oluştururlar. Yüzeysel ve düşük kapasiteli uygulamalar için elverişli ve ekonomiktirler. Belirli bir sertliğe sahip oldukları için kontrol edilebilir uzunluklarda, bir hasar görmeden ankraj deliklerine yerleştirilebilmektedirler. Kimi zaman delgi çubuğu olarak da kullanılırlar. Çubukların germe işleminden sonra uzun kalıcı uzamalar yapmaları, zeminin ankraj göçmeden önce hareket etmesine olanak

sağlar. Amerika' da, PCI şartnamesinde yüksek-alaşımli çelik çubuklar, düz veya nervürlü olarak tanımlanırken İngiliz B.S. 4486' da düşük-alaşımli çelik 20-40 mm. çaplı olarak tanımlanmaktadır. 10-32 mm. çapında paslanmaz-çelik çubukları bulmak da mümkündür. 6.4-35.8 mm. çapları arasında, 3.2 mm. çap farkları ile üretilen çubukların en çok kullanılan çapları 26.5, 32 ve 36 mm. dir ve çeliğin mukavemeti 835/1030-1080/1230 N/mm² olarak verilmektedir. Çubuklar daha çok yüzeysel ve düşük kapasiteli uygulamalarda düşük maliyetler verdikleri için tercih edilirler. Çubuklar tek olarak uygulandıkları gibi çoklu gruplar olarak da uygulanabilmektedir. Birden fazla çubuk bir plaka üzerinde birleşerek yük iletirler. Bunlar tek bir germe aleti ile aynı anda gerilerek uzamaları kolayca kontrol edilmiş olur.

Tel ve halatlar, çekme mukavemeti, depolanma kolaylığı, imalat, şantiyeye nakil edilmesi gibi farklı konularda bazı avantajlar sağlamaktadır. Zeminin hareket etmesinden sonra düşük krip kaybı veya yük artışı sonucunda yüksek elastisite ve yüksek dayanım gösterirler. Öngerme telleri de halatlar da soğuk-çekme düz carbon çeliğinden imal edilirler. 1970' lerden sonra, halatlar sağladıkları avantajlar ve imalat özellikleri ile sundukları yüksek kapasiteler nedeniyle tercih edilmeye başlandılar. Çubuklar ve tellerden daha fazla talep gördü. Halatların genelde ortasında merkez tel, etrafında ise 12.7 ve 15.2 mm. çaplarında teller bulunur ve 4-20 adet telden oluşurlar. 7-telli halatlar 1570-1765 N/mm² çekme mukavemetine sahip olmalarıyla beraber 2000 N/mm² ye kadar dayanmaktadırlar. Tel tendonları çok farklı çaplarda bulmak mümkündür, fakat en çok kullanılanları 5-8 mm. olup 1670 N/mm² nihai taşıma kapasitesine sahiptirler ve genelde 10-100 lü gruplar halinde kullanılırlar.

İzin verilebilir gerilme değeri bazen spesifik karakteristik mukavemet (f_{pu}) cinsinden ifade edilirken, geniş ölçüde tendonun gerilme sınır değeri "elastik limit", % 0.1 kanıt gerilmesi cinsinden verilir. Littlejohn ve Bruce (1975) e göre % 0.1 kanıt gerilmesi % 83.5 f_{pu} ya denktir. Yüksek germe çelikleri gerilme-uzama grafiğinde genelde belli bir akma noktası göstermez. Bu nedenle

gerilme-uzama grafiğinin eğriliğini belirtmek için "kanıt gerilmesi" ifadesi kullanılır. Yüksek dayanımlı çeliğın gerilme-uzama eğrisinin belirli bir akma noktası olmaması nedeniyle kanıt gerilmesi, uygulanan yükün genelde % 0.2 gibi kalıcı uzamaya neden olduğu gerilme olarak kabul edilir.

2.3.2. Tendon karakteristikleri:

Yapılacak olan ankraj uygulamasında kullanılacak olan tendona veya bu uygulamada geçerli olacak çalışma yüküne ve izin verilebilir germe seviyelerine karar verirken, mekanik dayanım, elastik özellikler, krip etkisi ve gevşeme davranışı gibi tendonun karakteristikleri gözönünde bulundurulmalıdır.

Elastisite modülü de üretici tarafından verilir, fakat bu veriler $\pm$ % 5 hata ile verildiğı için deneylerde ve kayıtlarda farklılıklara neden olmaktadır. Bu E değeriindeki sapmalar, laboratuvar deney boyu ile buna oranla daha uzun olan arazideki uygulama boyları ile yapılan uygulamalar arasında açıkça görölmektedir. Tendonun elastisite modülü, halatın elastisite modülünden daha düşüktür fakat her iki değeri de birbiriyle bağlayan bir bağıntı mevcut değildir. Littlejohn ve Bruce (1977) bir nükleer istasyon inşaatında kullanılan öngerme halat ve tendonlar için şu değerleri belirtmiştir:

$$E_{\text{halat}} = 183.000-195.000 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{\text{tendon}} = 171.000-179.000 \text{ N/mm}^2$$

Bu farklılığın en belirgin sebebi, halat tellerinin, germe işlemi sırasında germe sisteminin germe kapasitesine bağılı olan karşılama etkisi ile açılmak istemesidir.

Genel tanımına göre **krip etkisi**, tendonun zaman içersinde sabit gerilme altında uzamasındaki değişimdir. Sabit yük altında gerilen bir tendon elastik

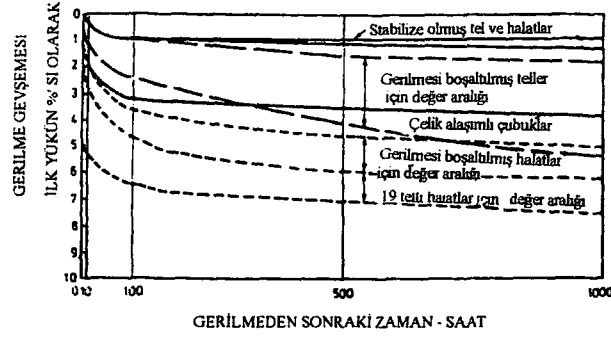
limitin altında bile olsa yavaş plastik şekil değiştirmeler oluşur. Bu durum hem kohezyonlu, hem de üniform olarak derecelenmiş kohezyonsuz zeminler için geçerlidir. Krip yerdeğiştirmesi ve zaman arasındaki ilişki yarı logaritmik bir çizimdeki doğrunun üstel bir fonksiyonu olarak ifade edilebilir.

Sabit yükleme ve tekrarlı yükleme durumlarında oluşan krip etkisi arasında farklılıkların olduğu bilinmektedir ancak tam olarak anlaşılabilmiş değildir. Krip etkisi sonucunda oluşabilecek tüm etkiler gözönünde bulundurularak uygulamalar yapılmalıdır.

Gevşeme davranışı, gerilme boşalması olup tendonda yük azalması olarak görülürken aynı anda uzama miktarında bir değişme gözlenmez. Krip davranışı gibi gevşeme davranışı da zamanın logaritmik fonksiyonudur ve içeriği, üretimi sırasında çeliğin gösterdiği davranışa, sıcaklık şartlarına ve zamana bağlıdır. Yükleme yapıldıktan sonra ilk bir kaç saat içinde yükün %5-10' u oranında azalmaya neden olabilir (Antill, 1967; Bannister 1959). Bu sebeple yükleme yapılırken bu kayıplar göz önüne alınarak fazla yükleme yapılarak doğabilecek yük kayıplarını bu ilave yükün karşılaması istenir.

Gerilme boşalması 20°C nin üzerindeki ısılarda hızlı olarak artış göstermekte olup bu nedenle sıcak jeolojik ortamlarda zemin ve yeraltı suyunun ısisının gözlemlenmesinde yarar vardır.

Nihai çekme dayanımının % 70' i oranında germe uygulanan çubuk, tel ve halatların içinde en düşük gerilme kaybı dengelenmiş tellerde ve halat da görülmüştür (Petros P. Xanthakos,1991). Antill, 1967' den alınan Şekil 2-6' da görüldüğü gibi genelde germeden 100 saat sonra gevşeme %' si ve zaman arasındaki ilişki doğrusallaşmaya, 1000 saat sonra ise yatay konuma gelmektedir.



Şekil 2-6 20°C ve Nihai çekme dayanımının %70'inde tendon çeşitlerindeki gerilme boşalması.

2.3.3 Nihai ve çalışma gerilmeleri arasındaki ilişki

Değişik üreticiler ve şartnameler tarafından karakteristik mukavemet ile çalışma gerilmesinin nasıl ilişkilendirildiği aşağıdaki gibidir:

Çizelge 2-1 Çubuk tendonlar için tasarım gerilmeleri ve güvenlik katsayıları

Çubuk	Çalışma Gerilmesi (% Nihai)	Deney Gerilmesi (% Nihai)	Ölçülmüş Güvenlik Katsayısı	Nihai Güvenlik Katsayısı	Kaynak
28-mm Lee Macalloy	70	-	-	1.43	İngiliz-Blanks (1955)
32-mm Macalloy	56	84	1.5	1.79	İngiliz-Jackson (1970)
32-mm Hollow	54	64	1.2	1.85	İsveç-Nordin (1968)
35-mm	50	75	1.5	2	ABD-Drossel (1970)
22-mm HS	47	52	1.1	2.1	ABD-Koziakin (1970)
HS çubukları	-	-	1.5	-	ABD-Wosser ve Darragh (1970)
35mm Bauer	44	54	1.2	2.27	ABD-Larson(1972)

Çizelge 2-2 Tel tendonlar için tasarım gerilmeleri ve güvenlik katsayıları

Çubuk (mm)	Çalışma Gerilmesi (% Nihai)	Deney Gerilmesi (% Nihai)	Ölçülmüş Güvenlik Katsayısı	Nihai Güvenlik Katsayısı	Kaynak
5	64	74	1.36	1.57	İngiltere-M&G (1965)
7	63	69	1.1	1.59	İngiltere-G&T (1970)
7	66	79	1.2	1.52	İsviçre-VSL (1966)
8	68	82	1.2	1.47	İsviçre-VSL (1966)
8	50	65	1.3	2.0	İsviçre-M&M (1972)
6.4	60	-	1.08	1.67	Kanada-G&B Ass. (1973)
6.4	60	70	1.17	1.67	ABD-E&V (1965)
7	60	62	1.03	1.67	Avusturalya-Raw. (1968)

Çizelge 2-3 Halat tendonlar için tasarım gerilmesi ve güvenlik katsayıları

Halat (mm)	Çalışma Gerilmesi (% Nihai)	Deney Gerilmesi (% Nihai)	Ölçülen Güvenlik Katsayısı	Nihai Güvenlik Katsayısı	Kaynak
15.2	55	61	1.1	1.82	İng/G.Anc.Ltd. (1973)
15.2	58	80	1.37	1.71	Fransa-Sol.(1968)
12.7	48	57	1.2	2.1	İsviçre-VSL(1966)
12.7	30	73	2.43	3.3	İsviçre-S&Th(1974)
12.7,15.2	60	-	-	1.67	Kanada-G.Braw.(1973)
12.7	65	80	1.23	1.54	Kanada-G.Braw.(1973)
15.2	50	80	1.6	2.0	Kanada-G.Braw.(1973)
12.7	52	78	1.5	1.93	ABD.-White(1973)
12.7	60	80	1.33	1.67	ABD-Buro(1972)
15.2	59	79	1.34	1.69	ABD-Sch.(1974)
12.7	60	85	1.42	1.67	Avustralya-

Çizelgelerde çeşitli tendon tiplerinin boyutlarına göre verilen tasarım gerilmeleri ve güvenlik katsayıları değerleri kalıcı ankrajlar içindir. Buradan anlaşılacağı gibi tel tendonlar, halat ve çubuklara oranla yüksek çalışma gerilmesi değerlerine ulaşırken kopmaya karşı güvenlik katsayısında tam tersi görülmektedir. Bugün ankrajların çalışma gerilmesinin 1.5 katında denenmesi genel bir kural olarak görülmemekte, uzun süre içinde oluşacak yük kayıplarını dikkate alarak kabaca buna karşılık gelecek % 10' luk bir ilave yük ile yüklenirler (Petros P.Xanthakos, 1991). Nihai emniyet faktörü, nihai çekme gerilmesi ve ölçülmüş güvenlik katsayısı arasında arazi deney yükünün doğrudan bir fonksiyonu olan ilişkilendirme yoktur.

2.4 Ankraj Delgisi

2.4.1 Ankraj deliği oluşturulması ve temizlenmesi yöntemleri

Ankraj delgi işleminin deneyimli ve bilgili bir ekip ile yapılmalıdır. Gerekliği kadar önceden yapılması gereken arazi araştırmaları ile ortam hakkında yeterli bilgi elde edilmelidir. Ankraj yuvasının hazırlanması, sırası ile, delgi ve temizleme, su deneyi, tendon hazırlanması ve yerleştirilmesi, enjeksiyon, germe ve deney, son olarak da paslanmaya karşı önlem alınması, işlerini içerir.

Yapılan araştırmalardan elde edilmiş olan verilere göre, işçilik aşamasındaki hatalar ankrajın işlevini tam olarak yerine getirebilmesini etkilemekte olup bu etkilenme genellikle enjeksiyonlama yönteminde ve aşamasında gözlemlenmektedir.

Ankraj yuvalarının hazırlanması için kullanılacak yöntem :

- Delgi ile geçilecek olan zeminin cinsine ve kullanılacak olan ankraj sistemine,
- Ankraj deliğinin boyutlarına, eğimine ve kök bölgesinin şekline,
- Delik yöntemi ve malzeme püskürtme şekline,

- Arazi koşulları ve delgi işlemi için kullanılacak olan takımlara,
- Ankraj yuvasındaki boyut ve yerleşim ile ilgili hata sınırlarına,

göre belirlenir. Ancak bu koşulların içinde en belirgin etkisi olan zemin cinsidir. Kullanılacak olan yöntem zemin koşulları ve cinsi dikkate alınarak yapılıyor olsa da diğer koşullar da bazı zamanlarda belirleyici olabilmektedir. Örnek olarak şehir merkezinde yapılacak olan bir ankraj uygulamasında çevreye verilecek olan gürültü ve hava kirliliği delgi yönteminin seçimini büyük oranda etkilemelidir.

Ortam, kaya ve zemin olarak ele alınabilir. Her iki çeşit ortam için değişik delgi sistemleri kullanılabilir. Bunlar, dönel sistem, darbeli sistem veya dönel-darbeli sistemler olarak üç ana grup altında incelenebilir. Birçok uygulayıcı, çapı 100 mm.-boyu 60 m. ye kadar olan kaya ortamındaki delikler için darbeli, daha derin veya zayıf kaya ortamları için dönel delme sistemini önermektedir. Delgi yöntemleri ve kullanılmaları uygun olan ortamlar Çizelge 2-4' de verilmektedir.

Çizelge 2-4 Kaya ortamında uygulanan delme yöntemleri

Paone et al. (1968)

Yöntem	Kayanın Delinmeye Karşı Direnci			
	Yumuşak	Orta	Sert	Çok Sert
Dönel-çengel uç	X	X		
Dönel-silindirik uç	X	X	X	
Dönel-elmas uç	X	X	X	X
Darbeli	X	X	X	X
Dönel-Darbeli	X	X	X	

Delgi yönteminin seçiminden sonra yapılması gereken diğer seçim ise çıkarılan malzemenin uzaklaştırılmasıdır. Bu malzemenin delikten uzaklaştırılması için de havalı, sulu veya çamurlu olmak üzere üç farklı sistem kullanılabilir. Çamur ile uzaklaştırma sisteminde kullanılan malzeme genelde

su/bentonit karışımıdır. Hava püskürtmeli sistemde malzemenin delikten dışarıya çıkarken yaymış olduğu toz çoğu kez bu sistemin kullanımını, özellikle merkezi yerleşim yerlerindeki uygulamalarda, zorlaştırmaktadır. Sulu sistemde bu sorun ortadan kalktığı gibi deliğin duvarlarında tam olarak bir temizlenme sağlandığı için kök bölgesinde, yapılacak olan enjeksiyon ile zeminin bağlanması sağlanmış olur. Sulu sistem daha çok yapışkan killi zeminlerde verimli olarak kullanılabilir. Fakat, yumuşak zeminlerde, su ile karşılaştığında gevşemelerin ve kısmen çökmelerin oluşabildiği ortamlarda, sorun tendonun yerleştirilmesi aşamasında anlaşılabileceği için tendon yerleştirilmeden önce mutlaka delik kontrolünün yapılması gerekmekte olup olabildiğince bu tip ortamlarda sulu temizle sistemi kullanılmamalıdır. Bu sistem, marn, tebeşir ve fisürlü tortulu şist gibi ortamlarda, delikte çökmeler oluşabileceğinden dolayı çok dikkatli uygulanmalıdır. Bentonit çamuru ile yapılan uygulamalar daha çok Fransa' da yaygın olup kaya üzerinde bulunan kum ve siltlerde kullanılır. Malzeme delikten uzaklaştırılırken bu yöntemlerden hangisi kullanılırsa kullanılsın delik içersinde malzeme artığı kalabilmektedir. Bu malzeme artığı, deliğin eğimli olması nedeniyle deliğin kök kısmının dibinde birikir. Daha sonra kök oluşturulurken yeterli kök boyunun oluşturulmasını engelleyebileceğinden dolayı genellikle gerekli olan uzunluktan 0.3 m.-0.6 m. daha fazla delgi yapılır. Delikten uzaklaştırılamayan malzemenin burada toplanarak ankraj sistemine olumsuz etkisi önlenir.

Ankraj deliğinin stabilitesi çok kritiktir. Gerek delgi, gerekse malzeme uzaklaştırılması işlemlerinde deliğin stabilitesini bozmayacak şekilde titizlikle çalışılması gerekmektedir. Örneğin, titreşimli delgi, gevşek granüler zeminde oturmalara neden olurken hava püskürtmeli malzeme uzaklaştırma sistemi, özellikle zayıf kum tabakalarında dengesizliğin artışına neden olur. Ankraj deliğinin delgisinde sapmalar oluşması da söz konusudur. Bu sapmalar kullanılan delgi kolları (tig), zemin koşulları gibi nedenlerden olabileceği gibi, delgi makinasının oturduğu zeminin durumundan da kaynaklanabilir. Delgi işlemi sırasında makinanın yumuşak zemin üzerinde bulunması makinanın

zemin içine gömülme olasılığını taşır. Bu sapmalar, kısa ankraj uygulamalarında sorun olmayabilir, ancak uzun uygulamalarda, sapmanın derinlere gidildikçe belirgin olarak artması ankraj sisteminde istenmeyen sonuçlar doğurabilir. Güney Afrika Şartnamesi'nde ankraj deliğindeki sapma miktarı $2^{\circ}30'$ olarak sınırlanmışken, Littlejohn ve Truman-Davies (1974) tarafından $0^{\circ}43'$ lık, Eberhardt ve Veltrop (1965) tarafından ise $1^{\circ}10'$ lık daha az bir sapma değeri önerilmektedir. Petros P.Xanthakos (1991) a göre ise aralıklı ankraj uygulamalarında (aralığı >2 m.) 2° , birbirine yakın olan uygulamalarda (aralığı <2 m.) 1° sapmaya izin verilebilmektedir. Ankraj deliğindeki sapmalar inklinometre aleti ile yapılacak olan ölçümlerle belirlenebilir.

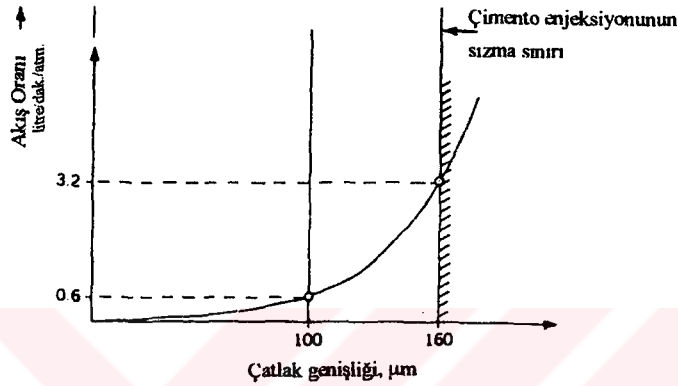
2.4.2 Önenjeksiyon ile geçirimsizlik sağlanması ve su deneyi

Ankraj deliğinin delinmesi işlemi tamamlandıktan sonra, delikte su deneyi yapılarak deliğin su kayıpları veya kazanımları belirlenir. Yapılan bu deney ile tendon deliğe yerleştirilip enjeksiyon uygulamasına geçildikten sonra deliğin çevre duvarlarındaki çatlaklardan enjeksiyon kaçıışı olasılığı belirlenmiş olacaktır. Olası enjeksiyon kaybının böyle bir deney ile önceden belirlenmemesi durumunda, uygulamada doğacak kaçaklar nedeniyle, özellikle kök bölgesinde ileride önemli sorunlarla karşılaşılabilir.

Deneyde elde edilen veriler bir kritere göre değerlendirilerek geçirimsizliğin sağlanması için önlem alınmasının gerekli olup olmadığına karar verilir. Genelde kabul edilen değere göre normal çimento tanelerinin çatlaktan geçebilmesi için çatlak genişliğinin $250 \mu\text{m}$. den daha fazla olması gerekir. Ancak yapılan deneylerde, $160 \mu\text{m}$. genişliğindeki tek bir çatlaktaki akış değerinin 3.2 litre/dakika/atm., $100 \mu\text{m}$. genişliğinde olan çatlakta ise 0.6 litre/dakika/atm. (Littlejohn, 1977) olduğu belirlenmiştir.

Bu deneyler sonucunda, deliğin su kaybının istenilen sınır değerlerden yüksek olduğu belirlenirse, ankraj için kullanılacak olan asıl enjeksiyondan önce,

önerjenksiyon uygulanarak delikte bulunan çatlaklar kapatılarak sonradan uygulanacak olan asıl enjeksiyonun sızıntısı önlenmiş olur. Bunun tersine ankraj uygulamasının yapılacağı bölgede artezyen basıncı oluşarak bu delikten su geliş sözkonusu olabilir. Böyle bir durumda basınçlı enjeksiyon kullanılarak su basıncının karşılanması çalışılır. Eğer bu yöntem etkili olamayacak ise önerjenksiyon uygulaması ile ankraj deliğine su girişi ve artezyen basıncı önlenir. Tek çatlak ile akış değeri arasındaki ilişki Şekil 2-7 de görülmektedir.



Şekil 2-7 Tek çatlaktaki akış değerinin, çatlak genişliğinin fonksiyonu olarak değişimi, (Littlejohn, 1977)

Littlejohn ve Bruce (1977) un önerilerine göre:

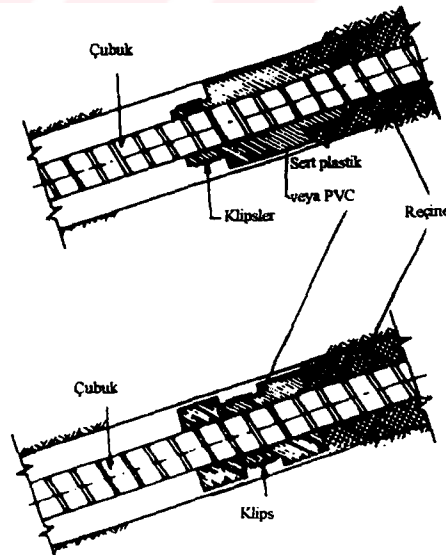
- 10 dakikalık deney süresince su kaybı 3.0 litre/dakika/atm. değerini geçerse önerjenksiyon gereklidir.
- Yukarıda verilen akış değerleri tek bir çatlak için olup çatlak sayısının artması ile (çatlak kalınlığı $<160 \mu\text{m}$.) bu değerin de artması kabul edilebilir.
- Arazi araştırmalarında, yeraltı su seviyesinin belirlenmiş olması gerekmektedir.
- İnce çatlaklı ortamlarda uygulanan yüksek basınç nedeniyle, türbülanslı akım, yüksek basınç farkları, doğal çatlaklarda genişlemeler oluşur ve bunlar da ortamın bozulmasına neden olabilir.

Geçirimsizlik önenjeksiyonu, çimento şerbeti olarak deliğin altından baş kısmına doğru, tremi yöntemi ile uygulanır. Tekrar delgi, 24 saat sonra yapılır ve su deneyi tekrarlanır. Eğer geçirimsizlik sağlanamamış ise basınçlı enjeksiyon ile çimento enjeksiyonunun kaya çatlaklarının içlerine kadar ulaşması sağlanır. Çatlaklı formasyonlarda uygulanması gereken bu su deneyi, ankrajın tasarımında gözönüne alınan koşulların dışında çalışmanın oluşmamasını sağlar. Olası enjeksiyon kayıpları sonucunda, kök bölgesinin istenilenin dışında oluşması ve dolayısıyla taşıma kapasitesinde azalma, hareketlerde düşünülenin üstünde değerler ile karşılaşılması önenjeksiyon ile engellenmiş olur.

2.5 Ankraj Tendonunun Hazırlanması ve Yerleştirilmesi

Ankraj tendonu, şantiye ortamında deneyimli personel ile hazırlanmalıdır. İmalat, taşıma ve yerleştirme sırasında, tendon ve bileşenleri temiz olmalı, mekanik veya yapısal bozukluk olmamalı ve paslanmaya karşı tüm tendon boyunca koruma sağlanmış olmalıdır.

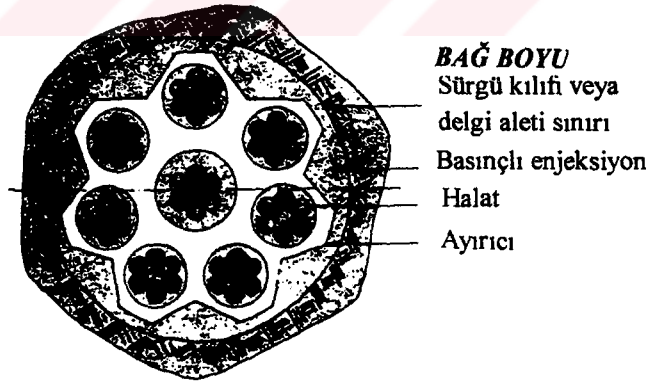
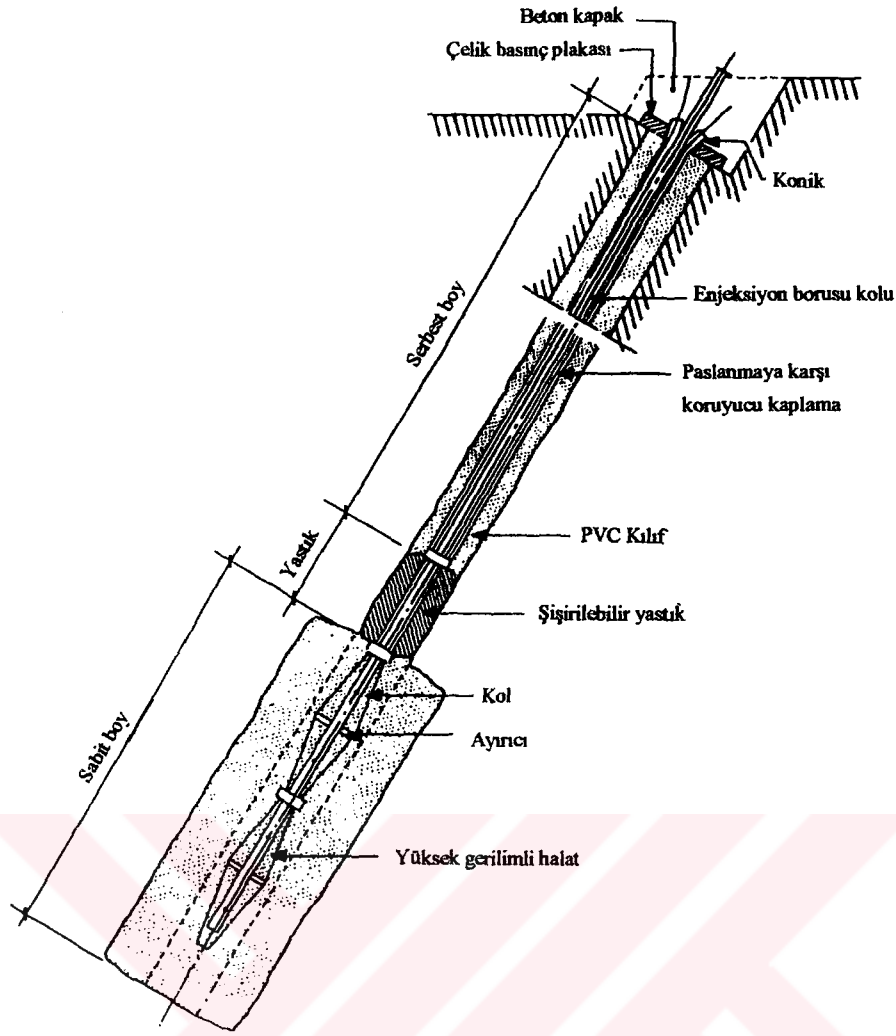
Tendonlar deliklere yerleştirilmeden önce uygulamaya hazır hale getirilir. Tekli çubuk tendona ait tipik kesitler Şekil 2-8 de verilmektedir.



Şekil 2-8 Çubuk tendonlarda kullanılan merkezleyiciler kesiti.

Burada kullanılan merkezleyiciler, tendonun delik içersinde tam merkezde bulunmasını sağladığı gibi uygulanacak olan enjeksiyonun da tendonu tam ve eşit oranda çevrelemesini sağlar. Aynı zamanda esnek çubukların kullanıldığı durumlarda merkezleyicilerin uygun aralıklarda kullanılması tendonun yapacağı sehim engeller. Çoklu halat veya tellerin işlemi, çubuk tendonlardan daha uzundur. Şantiyeye gresli ve kılıflanmış olarak getirilen tendon, uygulamaya hazırlanmadan önce kullanılacak olan ankraj boyu kadar parça, makarasından kesilir. Kök bölgesini oluşturacak olan uzunlukta tendonun üzerindeki kılıf çıkarılıp bir çözelti veya buhar kullanılarak, sürülmüş olan gres tendon üzerinden temizlenir. Çoklu halat veya tel uygulamalarında da merkezleyici ve aralayıcılar kullanılmalıdır. Genelde plastikten imal edilen bu merkezleyici ve aralayıcılar, halatları birbirlerine sabit bir aralık kalacak şekilde bağlayarak tendonların hem delik merkezinde yerleşmesini, hem de enjeksiyonun, tendon-delik duvarı, tendon-tendon arasına eşit oranda girmesini sağlar (Şekil 2-9).

Aralayıcılar yardımıyla tendonların herbiri, olması gereken konumunda en düzgün şekilde ve birbirlerine paralel olacaklardır. Bunlar ile tendonun kök bölgesine Şekil 2-9' da görüldüğü gibi boğumlu bir görüntü kazandırılıp bağın şiddeti arttırabilir. Merkezleyici ve aralayıcıların yerleşim mesafesi ile ilgili çok az bilgi olmasına karşın yapılmış olan uygulamalarda kök bölgesinde 2 m. veya daha az, serbest bölgede ise bunun iki katı mesafelerin kullanılması iyi sonuçlar vermiştir. Bunların serbest bölgede de kullanılması, tendonun birbirine karışmasını ve sürtünmesini önlemektir. Tendonun, kök bölgesinde sağlanan düzenli konumlarının serbest boyda sağlanamaması durumunda yük iletiminde, yükün bir noktada odaklanması şeklinde, sorunlar özellikle üst ankraj kafasının altında görülebilir. Kullanılan aralayıcılar ve merkezleyiciler bu tür sorunların oluşmasını engellemektedir.



Şekil 2-9 Çoklu tendonların genel düzeni ve merkezleyici detayı.

Merkezleyici ve aralayıcıların kullanımının, ankraj sistemindeki yük iletimi üzerindeki etkileri hakkında çok fazla veri olmamasına karşın deneyimler

bunların yük iletimi üzerinde iki etkisi olduğunu göstermiştir. Kök çevresinde kesintisiz bir enjeksiyon kaplaması ve tendon eksenine boyunca bir bütün olarak davranış gösteren, basınç halkaları şeklinde zincir oluşturarak kök bölgesinde kesme mukavemeti oluşturmaktadır. Diğer taraftan, kök boyunca boğum oluşturarak gerekli enjeksiyon kaplamasını sağlarken yük iletiminin verimini sağlayamayabilecek değişken kesitler oluşturur.

Tendonun deliğe yerleştirilmesi olabildiğince çabuk yapılmalıdır. Eğer yapılabiliyorsa deliğin delinmesi, tendonun yerleştirilmesi ve enjeksiyonlama işlemlerinin hepsi aynı gün yapılmalıdır.

Tendon deliğe yerleştirilirken gerekiyorsa, (tendon ağırlığının 200 kg.dan fazla olduğu hallerde) mekanik araçlar kullanılmalıdır. Tendonda paslanmaya karşı yapılmış korumaların zedelenmemesi için gerek elle, gerekse mekanik olarak yerleştirme yapılırken dikkat edilmelidir. Ankraj deliğinde kılıf uygulaması yapılmış ise, deliğin ağız kısmına tendonu zedelenmeden koruyucu ağız geçirilmelidir. Zaman ile özelliklerinde değişiklikler olan zeminlerdeki uygulamalarda delgi-yerleştirme-enjeksiyon işlemleri yeterince kısa zamanda yapılmalıdır. Özellikle göçmeye karşı duyarlı zeminlerde bu üç işlemin arka arkaya yapılması sağlanmalıdır. Eğer bu sağlanamıyorsa, deliğin içine yabancı malzeme girişini önlemek için tıkaç yapılmalıdır.

2.6 Enjeksiyon

Enjeksiyon uygulamasının ilk görevi, kök bölgesi içindeki tendonu zemine bağlamaktır. Görevlerinden ikincisi tendonu paslanmaya karşı korumak, üçüncüsü ise zemin veya kaya ortamında bulunan boşlukları doldurarak kök bölgesindeki çimento şerbetinin kaybolmasını önlemektir.

Yapılacak olan enjeksiyon uygulamasının kalitesi birçok değişkenden etkilendir. Değişen çimento türü (portland çimento, sülfata dayanıklı çimento,

çabuk priz alan çimento gibi) kaliteyi etkileyen faktörler olarak sayılabilir. Normal portland çimento (Tip I) birçok durumda yeterli olurken kimyasal etkilere karşı dayanımı düşüktür. Kimyasal etkinin olabileceği düşünülen ortamlarda Tip II çimento veya hızlandırıcılı Tip III çimento kullanılmalıdır.

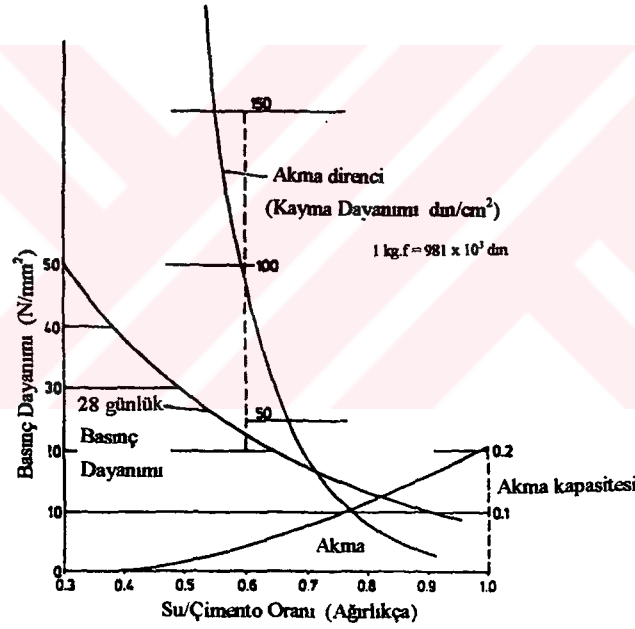
Genelde, yüksek alumina çimentolar deney ankrajları ve geçici ankrajlardan başka uygulamalarda kullanılmaz. Sulfatların önemi nedeniyle, kalıcı ankrajlarda BS 12, 1370, 4027 deki çimentolar kullanılması önerilmektedir. Kloridler paslanmaya neden olabilecekleri için bunların miktarı çimento ağırlığının Thomas H.Hanna, (1982) ya göre % 0.1' inden, Petros P.Xanthakos, (1991) a göre % 0.02' sinden fazla olmamalıdır. Sulfat miktarı da dikkat edilmesi gereken bir nokta olup, çimento ağırlığının Thomas H.Hanna, (1982) ya göre % 4' ünü, Petros P.Xanthakos, (1991) a göre % 0.10' unu geçmemelidir.

Enjeksiyon malzemesinin hazırlanması sırasında çimentodan başka kullanılacak olan suyun da kalitesi, saflığı ve içeriğinin araştırılması gerekir. Özellikle tendonun enjeksiyona degeceği uygulamalarda, yüksek klorid içeren sular kullanılmamalıdır. İçme suyu olarak uygun olan sular ankraj uygulamaları için de kullanılabilir. İçerisinde % 0.1' den fazla sülfat, % 0.5' den fazla klorid, şeker veya çökelik madde bulunduran suların, özellikle öngermeli ve yüksek dayanımlı ankraj uygulamalarında kullanılması tehlikelidir. Su/çimento oranının seçimi, enjeksiyon kalitesi üzerinde belirleyici rol oynar. Su/ çimento oranı, enjeksiyonun delikten aşağıya basılabilmesini kolaylaştıracak akışkanlık ve yeterli dayanım, sızdırmazlık, düşük büzülme, yüksek kalıcılık sağlayacak değerde uygulanmalıdır. Yüksek oran, akışkanlığı kolaylaştırırken düşük oran sızıntıyı azaltıp, yüksek dayanımı, yapısal bütünlüğü ve geçirimsizliği sağlar. Su/çimento oranından etkilenen özellikler Şekil 2-10' da gösterilmektedir. Su/çimento oranı genellikle uygulayıcılar tarafından 0.45 olarak alınmakta olup, 0.35-0.55 değerleri arasında değişmektedir. Enjeksiyonun dar delikler içersindeki yerleşiminin zorluğu da gözönüne alındığında 0.40-0.45 aralığının en etkin oranlar olduğu konusunda görüş birliği vardır. Bu

konu ile geniş bilgi Bureau Securitas (1972), White (1973) de verilmektedir. Gerekli bulunduğu zamanlarda enjeksiyona katılacak olan katkılar ile enjeksiyon özelliklerinde istenilen değişiklikler elde edilebilir. Bu özellikler, priz hızlandırılması, akışkanlığın arttırılması, sızıntının azaltılması gibi olup katkı maddeleriyle sağlanan yeni koşulların yanısıra birtakım deneyler ile :

- Kırılma dayanımı,
- Katkı malzemesi yoğunluğu,
- Genişleme, sızıntı, büzülme ve oluşma süreleri,
- Viskozite.

özelliklerinin araştırılması gerekir.



Şekil 2-10 Su miktarının enjeksiyon üzerindeki etkisi.

Enjeksiyon karışımı hazırlanırken, enjeksiyon kalitesinin üniformluğunu etkileyeceği için karışım araçlarının seçimine özen gösterilmelidir. Su, çimento ve eğer kullanılmış ise katkı malzemesinin birbirleri ile reaksiyonunun tam olarak gerçekleşmesini sağlamak amacıyla, karışım içersinde topaklanmanın engellenmesi gerekir. Kullanılan karıştırma sistemi, enjeksiyon kalitesini

etkiler. Genelde, çimento, su ve katkı malzemelerinin karışımında, karışım aracı içerisine ilk olarak suyun konulması uygulayıcılar tarafından daha uygun bulunmaktadır. Mekanik karıştırma işlemi en az iki dakika devam etmelidir. Eğer karışım içinde oluşabilecek topaklanma engellenemezse, çimento ve suyun birbirleri ile istenilen karışımı ve dolayısıyla da istenilen dayanım sağlanamaz.

Kullanılan enjeksiyonun karışımının iyi olmasının ötesinde başka koşulları da sağlaması gerekmektedir. Karışımın, pompalanabilirlik özelliği yüksek, akışkanlığı düşük, yerleşimden sonraki genişleme özelliği çok düşük veya sıfır olmalıdır. Karışımın istenilen en önemli özellik, karışımın, tendondan gelecek olan yükü güvenlik sınırları içerisinde delik duvarına iletmesidir. Bu nedenle enjeksiyon malzemesinin, 7. ve 28. günde kırılmak üzere her delikten alınacak olan örneklerle, basınç dayanımı ölçülmelidir. İstenilen 28. gün basınç dayanımı değeri için değişik öneriler verilmektedir. Thompson' a (1970) göre 17 N/mm^2 , Littlejohn' a (1970) göre 28 N/mm^2 olmakla beraber bu değerler arasında değişiklik göstermektedir. Enjeksiyonun dayanımı, su/çimento oranının dışında, boşluk oranı, çimento tipi ve katkı malzemelerinin varlığından da etkilenebilir. Sadece su/çimento oranı (w) dikkate alınıp, diğer değişkenler göz ardı edilerek, Abram' ın eşitliğine göre serbest basınç dayanımı:

$$F_u = \frac{A}{B^{1.5w}} \quad (2-1)$$

olarak yaklaşık olarak belirlenebilir.

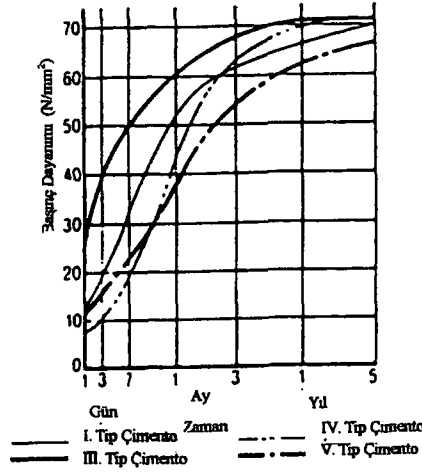
F_u = Enjeksiyonun serbest basınç dayanımı.

A = Dayanım sabiti= 98.4 kg/cm^2

B = Çimento tipine bağlı, deney tarihindeki birimsiz sabit.

w = Su/çimento oranı.

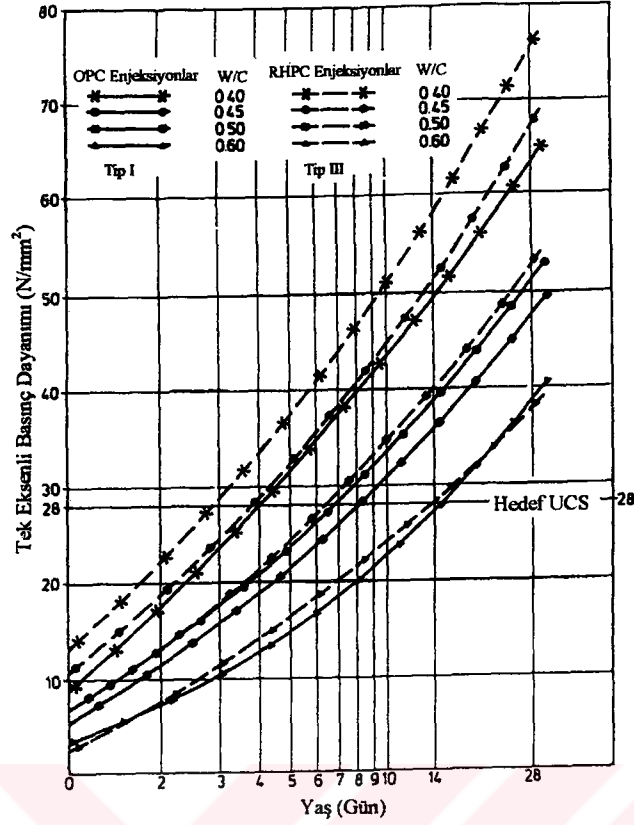
28.günde çimento Tip I için $B=5$ dir. Normal kür koşullarında enjeksiyon nihai dayanımına uzun sürede (1 yılda) ulaşır (Şekil 2-11).



Şekil 2-11 Enjeksiyon dayanımının zamana göre artışı. (Littlejohn,1982)

Tip I çimentonun 28. gün dayanımı nihai dayanımının % 60-70 ini oluştururken, Tip III çimento bu değere 7. günde ulaşır. Tip I ve III çimento ile üretilmiş enjeksiyonların su/çimento oranına göre basınç dayanımları eğrileri Şekil 2-12 de gösterilmiştir. Bu eğride dikkat edilmesi gereken nokta su/çimento oranı her iki tip çimento için de 0.6 değerine ulaştığında, ikisinin de basınç dayanım değerleri birbirine yaklaşmakta olduğudur.

Enjeksiyonda gerekli olan özelliklerin katkı malzemeleri ile sağlanması alışılmış bir yöntemdir. Katkı maddeleri ile akışkanlık, düşük büzülme, çabuk yerleşme ve hızlı priz özellikleri kazandırılabilir. Avrupa' da, önenjeksiyon karışımının içersine, quartz, kireçtaşı tozu, ince kum ve talaş, katkı maddesi olarak karıştırılmaktadır. Bu uygulamanın en önemli nedeni ekonomidir. Çizelge 2-5 de, çimento enjeksiyonu ile yaygın olarak kullanılan kimyasal katkı maddeleri verilmektedir.



Şekil 2-12 Tip I ve Tip III çimentoların su/çimento oranlarına göre basınç dayanımlarının değişimi.

Çizelge 2-5 Ankraj enjeksiyonlarında genellikle kullanılan kimyasal katkı maddeleri.

Littlejohn ve Bruce (1977)

Katkı	Kimyasal	Optimum Dozaj (Çimento Ağırlığı %'si)	Etki
Hızlandırıcı	Kalsiyum Klorid	1.0-2.0	Yerleşimi ve sertleşmeyi hızlandırır
Geciktirici	Kalsiyum lignosülfanat	0.2-0.5	Akışkanlığı artırır
	Tartarik asit	0.1-0.5	
	Şeker	0.1-0.5	
Akışkanlaştırıcı	Kalsiyum lignosulfanat	0.2-0.3	
	Temizleyici	0.5	Hava sürükler
Genişletici	Alüminyum tozu	0.005-0.02	≤%15 genleşme

Geddes ve Soroka (1964) nın yapmış olduğu çalışmalarda, alüminyum tabanlı katkıların, enjeksiyonun işlerliği ile tutunma dayanımını arttırdığına dikkat çekilmiş olup bir çok uygulayıcı tarafından da bu etki gözlemlenmiştir. Bu

etki, enjeksiyonun bağ kapasitesini arttırarak yük iletme boyunda düşüşlere olasılık vermektedir. Tüm katkı maddelerinde olduğu gibi bu tip malzemele- rin de katkı oranı çok dikkatli olarak uygulanmalıdır. Katkı malzemelerinin oranları ve enjeksiyon üzerindeki etkileri, alınacak olan örnekler üzerinde yapılacak olan deneyler ile belirlenmeden kullanılmamalıdır.

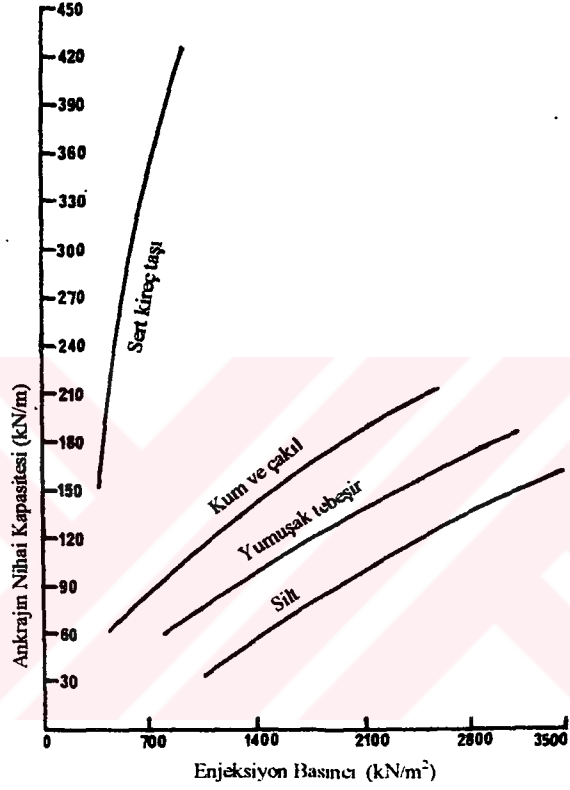
Enjeksiyon, daha önce de açıklandığı gibi, özellikle zayıf ve çatlaklı ortam- larda, iki farklı aşamada uygulanmaktadır. Bu uygulama, kök bölgesinin iste- nilen dolulukta olmasını sağlayabilirken, birinci ve ikinci uygulamaların bir- birleri ile kaynaşması tam olamayacağı için iki kademe arasında, özellikle de kök bölgesinin başladığı kritik noktada oluşacak süreksizlikte paslanma sorunu ile karşılaşılabilir. Ayrıca, sağlam ortamlarda enjeksiyon uygu- lamasında yüksek basınç değerlerine gerek olmazken, zayıf ve çatlaklı ortam- larda önerilen basınç değeri $0.30-0.70 \text{ N/mm}^2$. Şekil 2-13'de, nihai ankraj ka- pasitesinin enjeksiyon basıncı ile ilişkisi verilmektedir. Yapılmış olan araştır- malar ile sıyrılma mukavemetinin enjeksiyon basıncı ile ilişkili olduğu anla- şılmış ve bu ilişkinin gevşek ve yumuşak zeminlerde daha da önem kazandığı gözlemlenmiştir.

Ankrajlı destek sisteminin hızlı bir şekilde çalışır duruma geçmesi gereken durumlarda, enjeksiyon malzemesi olarak kartuş halinde reçine kullanılır. Bu malzeme kartuş halinde kullanılır. Ankraj deliği içersine atılan kartuş, pol- yester ile beraber yeterli miktarda sertleştirici ve katalizör içerir. Polyester ile diğer malzemeler birbirlerinden ince bir zar ile ayrılır. Bu zar, delik için- deki tendonun çevrilmesi ile kırılır ve sertleştirici, polyester ve katalizör bir- biri ile karıştırılır. Katılaşma süresi, kullanılacak olan değişik sertleştiriciler ile farklılık gösterir. Bu uygulama genelde, kısa ve düşük kapasiteli ankraj- larda uygulanmakta olup bunlar kaya bulonları sınıfı içersinde sayılabilirler. Reçine kullanılan ankraj sistemlerinde:

- Reçinenin delik içersinde kalıp kalmayacağı,

- Uygun bağın oluşabilirliği,
- Paslanmaya karşı tendonu koruyabilirliği,
- Reçinenin delik içersindeki tüm boşlukları doldurabilirliği,
- Krip hareketinin istenilen sınırlar içersinde olup olmadığı,

yapılacak olan deneyler ile araştırılmalıdır.



Şekil 2-13 Enjeksiyon basıncı ile nihai ankraj kapasitesi arasındaki ilişki.

3. ANKRAJLARDA YÜK İLETME MEKANİZMASI ve GÖÇME ŞEKİLLERİ

3.1 Giriş

Ankraj uygulamalarının yapıldığı ortamların, diğer bütün çalışmalarda olduğu gibi, zemin veya kaya olması, projelendirme sırasında karşılaşılan en büyük değişkendir. Projelendirme sırasında ortam ile ilgili verilerin elde edilmesi gerekirken, diğer bütün geoteknik uygulamalarda olduğu gibi bu verilerin bazıları ancak birtakım varsayımlar sonucunda hesaba katılabilirler. Yapılmış olan varsayımların gerçeğe yakınlığı, yapılacak olan projelendirmenin doğruluğunu belirleyici rol oynayacaktır. Bu nedenden dolayı, ankraj sistemlerinin çalışma mekanizması, arazide veya laboratuvarında yapılmış olan deneyler ile açıklanmaya çalışılmıştır. Bu deneylerde, ankraj elemanları üzerine gelen yüklerin ne şekilde etki ettiği, iletiği, elemanlar üzerinde ne gibi etkileri bulunduğu ve olası bir göçme durumunda sistemin ne şekilde çalışacağı belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılmış olan model deneyler ile ankraj sistemlerinin uygulandığı koşullar sağlanarak bunların mikro ölçekte değerlendirilmesi sağlanmıştır. Aşağıda ankraj sistemlerinin yükü yapıdan alarak güvenli bölgeye iletme mekanizmasının işleyişi ve bu arada meydana gelen değişiklikler ve etkiler ele alınacaktır.

Ankraj sisteminin çalışma mekanizmasının ve sorunlarının neler olduğunu belirleyebilmek için sistem sınır seviyede çalıştırılarak ve hatta birçok şartname önerildiği gibi projelendirme öncesinde uygulanacağı ortamda göçertilerek elde edilen verilere göre ankraj sisteminin göstereceği davranış hakkında bilgi sağlanabilir.

Sistem farklı zeminlerde ve farklı etkiler altında kaldığında, zorlanmanın ve özellikle sorunun olduğu noktada davranış farklılığı görülecektir. Yapılmış bir uygulamadan örnek vermek gerekirse; 1600 adet ankraj uygulamasının

yapıldığı bir aç-kapa yapısının desteklenmesi işinde ankrajların germe işleminde beklenen davranışları göstermesine rağmen, aynı uygulamada sadece yanyana üç ankraj uygulanan yükü taşıyamamış ve göçmüştür. Bunun üzerine yeni delgi yapılmış, yeni ankraj yerleştirilmiş ve yük uygulanmıştır, ancak ankrajlar yükü bu ikinci uygulamada da taşıyamamıştır. Üçüncü delgi işleminde ankraj boyları 7 şer m. uzatılarak ankraj kökleri 7 m. daha derinde aynı kök boyunda oluşturulmuştur. Yapılan germe işlemi sonucunda ankraj sistemi uygulanan yükü istenen sınırlar arasında taşımıştır. Bu sorunun, ankraj boyunun uzatılması ile ortadan kalkması, sorunun kök bölgesinde olduğunu göstermektedir. Bu da, ankraj sistemlerinin sorunlarının, davranışlarının ve hatta göçme mekanizmalarının, uygulandıkları ortamın özellikleri sonucu oluşabildiğini göstermektedir.

Bir ankraj sistemi:

- Enjeksiyon-tendon bağının göçmesi,
- Zemin-enjeksiyon bağının göçmesi,
- Zemin kitlesinin göçmesi,
- Tendonun kendisinin veya bileşenlerinden birisinin göçmesi,
- Tendonu çevreleyen enjeksiyon kolonunun ezilmesi,
- Bir grup ankrajın göçmesi,

sorunlarından bir veya birkaç tanesi nedeniyle hizmet dışı kalabilir. Bir ankraj sisteminin göçmemesi için, ankraj elemanlarının her birisinin kendi görevini güvenlik sınırları içinde yapması gerekmektedir.

Ankraj Tasarım Kavramı: Ayrıntılı olarak ankraj sisteminin tasarlanması şu sırada yapılmalıdır:

- Ankraj eğiminin belirlenmesi,
- Uygun tendon tipinin, boyutunun ve düzeninin belirlenmesi,

- Ankraj kafalarının yataydaki ve düşeydeki uzaklıklarının belirlenmesi,
- Ankrajın serbest boyunun ve kök boyunun belirlenmesi,
- Ankrajın statik veya çevrimli yüklemeye karşı direncinin tahmin edilmesi,
- Uygun bir ankraj deney programının belirlenmesi,
- Paslanmaya karşı koruma sisteminin ve detaylarının belirlenmesi,
- Ankraj yapısının bir bütün olarak dengesinin kontrol edilmesi.

3.2 Tendondan Enjeksiyona Yük İletim Mekanığı

Ankraj sistemlerinde, enjeksiyon-zemin arasındaki etkileşimin tendon-enjeksiyon arasındaki etkileşimden çok daha önemli ve sorunlu olması nedeniyle, tendon-enjeksiyon arasındaki etkileşim ile ilgili fazla araştırma yapılmamış olmakla beraber elde çok da fazla bilgi bulunmamaktadır.

Elde edilmiş olan verilere göre, yük iletimi sırasında tendon ile enjeksiyon arasındaki etkileşimde enjeksiyon kalınlığı, kalitesi ve yükün şiddeti gibi etkenler belirleyici rol oynamaktadır.

Düz çelik tendonlarda bağ, kayma oluşmadan önce adezyona, kayma oluşuktan sonra ise sürtünmeye dayalıdır. Tendonun yüklenmesi ve tendonun enjeksiyona göre bağıl hareketi ile, tendon ile enjeksiyon arasındaki bağda zorlanma görülür; ancak tendonun enjeksiyona göre daha fazla hareket etmesi durumunda tendon ile çevresindeki enjeksiyon arasındaki bağ tamamen ortadan kalkıp direnç sürtünme ile sağlanır. Yani, tendon ile enjeksiyon arasında başlangıçta adezyon bağ direnci oluşurken, bu adezyonun yenilmesi durumunda tendon ile enjeksiyon arasında oluşan sürtünme ile bağ direnci sağlanır.

Tendonların uzun ve elastik malzemeler olması nedeniyle, tendonun enjeksiyona göre uzama miktarı tendon boyunca farklılık gösterir. Yukarıda belirtildiği gibi, hareketlerin küçük olduğu durumlarda direnç öncelikle adezyon ile

sağlanır. Çalışma yükü altındaki ankrajlarda bu, kök boyunun alt ucuna yakın bölgede oluşur. Tendonun elastik uzamasından dolayı bağıl hareketlerin büyük yük olduğu kök boyunun üst ucunda, sürtünme ve hatta kenetlenme direnci etkileri görülecektir (Şekil 3.1). Zemin ankrajlarının büyük çoğunluğunda, enjeksiyon kolonu da tendonda olduğu gibi çekme altındadır. Bu nedenle, bağ mekanizması çelik ve enjeksiyonun bireysel elastik özelliklerine bağlıdır. İzin verilebilir tendon-enjeksiyon bağı gerilmeleri için oluşturulan standartlar ve sınırlamalar bilinen zemin koşulları içinde yapılmış olan deneylere dayanarak belirlenmiştir. Buna göre, kanıt yükü altında, 30 N/mm^2 enjeksiyon dayanımlı uygulamalarda önerilen izin verilebilir bağ gerilmesi şu değerleri aşmamalıdır (Petros P.Xanthakos, 1991):

Temiz düz tel veya düz çubuk tendonlar için 1.0 N/mm^2 .

Temiz kıvrımlı tel tendonlar için 1.5 N/mm^2 .

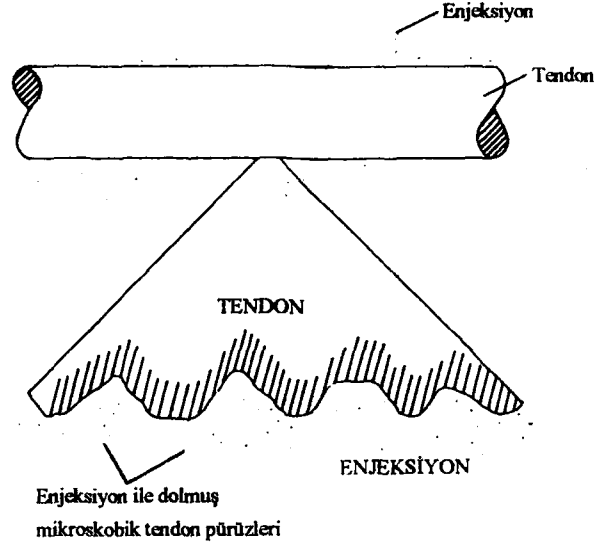
Temiz halat veya nervürlü çubuk tendonlar için 2.0 N/mm^2 .

Bağ gerilme sınırlamaları ile ilgili daha detaylı veriler Çizelge 3.1 de verilmiştir (Petros P.Xanthakos, 1991).

Çizelge 3.1 İngiliz şartnamesine göre, katkısız çimentolu enjeksiyon ve çubuk tendonlar için, izin verilebilir maksimum bağ gerilme değerleri.

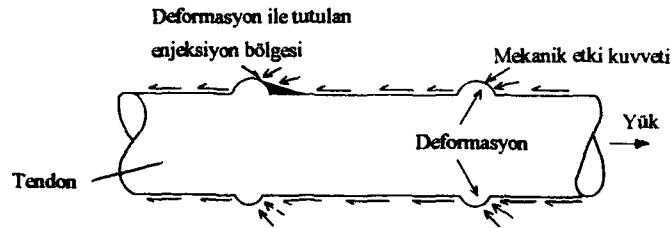
	Enjeksiyonun Karakteristik Dayanımı ($f_{cu} \text{ N/mm}^2$)			
	20	25	30	40+
Çubuk Tipi	Maksimum Bağ Gerilmesi (N/mm^2)			
Düz	1.2	1.4	1.5	1.9
Nervürlü	1.7	1.9	2.2	2.6

Sürtünme direnci, enjeksiyon kolonunun tendonu çevreleme derecesine bağlıdır. Tendonu çevreleyen enjeksiyon kolonu bütünlüğü, sürtünme derecesini etkilediği için ankraj deliğinde, enjeksiyon öncesinde göçmeler meydana gelmemesine dikkat edilmelidir. Enjeksiyonda akımların ve kırılmaların görülmesi durumunda, tendondaki bağıl hareketlerde artış olmaktadır.

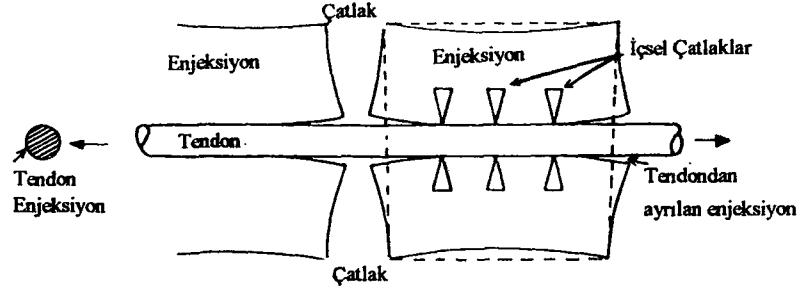


Şekil 3.1 Tendon-enjeksiyon arasındaki idealize edilmiş davranış.

Şekil 3.1 de gösterildiği gibi mikroskobik olarak görülen tendonun pürüzlü yüzeyi nedeniyle, tendon-enjeksiyon arasında, adezyon, sürtünme ve kenetlenme sağlanır. Tendonun deforme olması ve enjeksiyona göre göreceli hareket etmesi, enjeksiyon kolonunun yarılmasına veya ezilmesine ve tendonun sıyrılmasına neden olur (Şekil 3.2). Tendona çekme kuvveti uygulandığı zaman reaksiyon kuvvetleri enjeksiyon içinde oluşan kayma gerilmeleri ile karşılanırken. Çekme gerilmeleri enjeksiyonun çekme dayanımını aşması durumunda enjeksiyonda çatlaklar oluşur (Şekil 3.3).



Şekil 3.2 Şekil değiştirmiş çubuk ile enjeksiyon arasındaki etkileşim.



Şekil 3.3 Çelik tendonu çevreleyen enjeksiyonun çatlaması.

Daha önce de belirtildiği gibi tendon üzerindeki bağ gerilmelerinin dağılımı çeşitli etkilere bağlıdır. Hawkes ve Evans (1951), etkiyen P yükü ile L kök boyu üzerinde oluşan bağ dağılımını, şu ifadeler ile vermiştir:

$$\tau_x = \tau_0 e^{-(Ax/d)} \quad (3.1)$$

$$P = \frac{\pi d^2 \tau_0}{A} \quad (3.2)$$

Burada;

τ_x : Kökün üst kısmından x birim uzağındaki bağ gerilmesi.

τ_0 : Kökün üst kısmındaki bağ gerilmesi.

d : Tendon çapı.

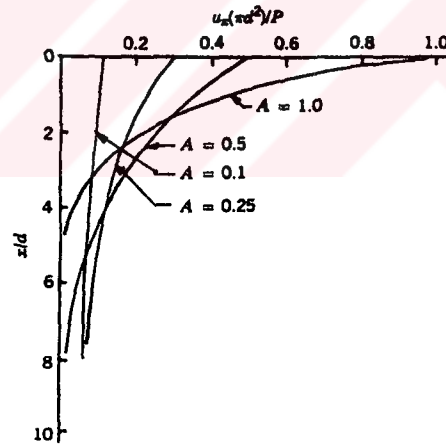
A : Tendondaki eksenel gerilme ile bağ gerilmesi arasındaki sabit. Beton içindeki çelik ankrajlar için *A=0.28 kabul edilir.

Eşitlik 3.1 ve 3.2 nin birleştirilmesi ile:

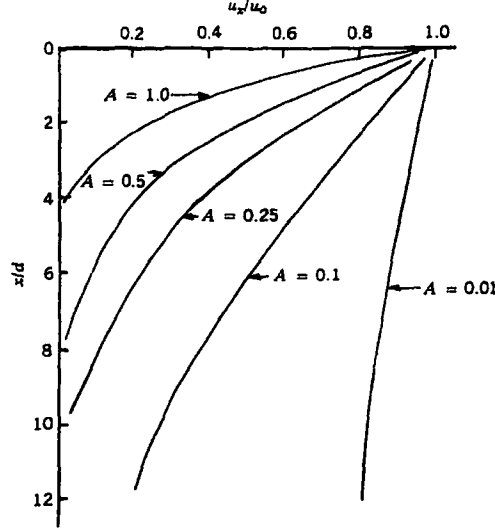
$$\frac{\tau_x \pi d^2}{P} = A e^{-(Ax/d)} \quad (3.3)$$

*A değeri, tendonun fiziksel özelliklerine ve tendon çeşidine bağlı olarak değişim gösterebilir.

elde edilir. Bu denklem, Şekil 3.4 de A 'nın farklı değerlerine göre çizilmiştir. Buradan görüldüğü gibi, A 'nın küçük değerleri için bağ gerilmesi tendon üzerinde düzenli olarak dağılmaktadır. Tendonun kök içindeki gömülü boyunun kısılması, bağ gerilmesinin artışına neden olacaktır. Tendonun gömülü boyunun uzaması, bağ dayanımının doğrusal olarak artışını sağlamaz. Tendon gerildiği zaman, etkiyen yükün köke iletilmesi, kökün başından alt ucuna doğru olur. Bu nedenle kökün üst ucundaki gerilme değeri ile, alt ucundaki gerilme değerleri birbirine eşit değildir. Kök boyunun aşırı uzatılması sonucunda, uç kısmında gerilmeler maksimum düzeye çıkmışken, alt ucunda sıfır olabilmektedir. Genelde etkiyen yükteki artış ile tendon ile enjeksiyon üzerindeki bağ gerilmesi ankrajın alt ucuna doğru artış gösterir. Tendonun kök boyu üzerinde bağ gerilmesi maksimum değere ulaştıktan sonra tendon enjeksiyona bağlı olarak hareket etmeye ve sıyrılmaya başlar ve sürtünme gerilmesi oluşur. Şekil 3.5' de de sıyrılma yükü altında, tendonun kök boyu üzerindeki, eşitlik 3.1 de belirtilen teorik bağ gerilmesinin dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Farklı "A" değerleri için tendon boyunca yük dağılımı



Şekil 3.5 Teorik bağ gerilmesinin, sıyrılma yükü altında kök uzunluğu boyunca dağılımı

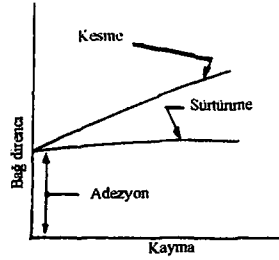
Tendon-enjeksiyon ilişkisinde karşılaşılan üç bileşenden söz edebiliriz:

Adezyon: Bu etkileşim, tendonu çevreleyen enjeksiyonun, tendonun düzgün olmayan yüzeyine fiziksel olarak girmesi ile oluşur. Bu etkileşim, moleküler birleşme ile de desteklenir. Adezyonun yitirilmesi, bu etkileşimlerin her ikisinin de mikroskobik ölçeklerde ortadan kalkması ile olur.

Sürtünme: Bu mekanizma, yanal çevre gerilmesine, çeliğin yüzey pürüzlülüğüne ve tendonun sıyrılma şiddetine bağlıdır.

Mekanik Kenetlenme: Nervürlü çubuklar, betonarme uygulamalarında olduğu gibi sıyrılmaya karşı direnç gösterirler. Çubuk üzerinde bulunan çıkıntılar, tendonun enjeksiyon içinden sıyrılmasını önleyerek bu çıkıntılar aracılığıyla enjeksiyona yükün daha verimli olarak iletilmesini sağlamaktadır. Tendonun enjeksiyona daha sağlam bağlanması nedeniyle, enjeksiyon kolonunun yarılması veya çatlaması beklenebilir. Şekil 3.6 da tendon-enjeksiyon arasındaki bağ mekanizmasının her üç bileşeni de sıyrılmanın fonksiyonu olarak

gösterilmiştir. Kök içersindeki gömülme boyu kısa olan ankrajlarda adezyon ile kaymaya karşı koyulurken, gömülme boyu ve sıyrılma miktarı arttıkça bağın her üç bileşeni de etkin hale geçecektir.



Şekil 3.6 Tendon-enjeksiyon arasındaki bağın üç bileşeni.

3.2.1 Bağ şiddeti üzerindeki etkenler

Çubuk tendonlar ile enjeksiyon arasındaki bağın oluşumu, korunması ve şiddeti üzerinde etkili olan etkenler Littlejohn ve Bruce (1977) tarafından şu şekilde sıralanmıştır:

1. Bağ direnci, düşünülenin tersine, tendon çevresindeki enjeksiyonun dayanımı ile doğrusal olarak orantılı değildir. Bağ, enjeksiyon dayanımının artışı ile artarken, bu artış miktarı dayanımın büyük değerlerinde daha düşüktür. Enjeksiyon dayanımı 21 N/mm^2 den düşük olan enjeksiyonlarda, bağ belirgin olarak doğrusal orantılı artış gösterir. Dayanımın yüksek değerlere ulaştığı enjeksiyonlarda ($> 42 \text{ N/mm}^2$) yapılmış olan deneylerde bağın şiddetinde çok düşük (bazen sıfır) artış gözlenmiştir.
2. Kök içindeki gömülme boyunun, bağ şiddeti üzerinde doğrusal bir etkisi yoktur. Gömülme boyu uzunluğunun iki katına çıkarılması durumunda, bağ şiddetinin de iki katına çıkacağı beklenmemelidir.
3. Kür koşullarındaki değişimler, enjeksiyonun basınç dayanımı üzerinde düşüşlere neden olabilmektedir.
4. Çubuklar arası mesafenin bağ üzerindeki etkisi hakkında çok fazla veri bulunmamakla beraber, bu aralığın çapın 1 veya 3 katı olarak alındığı deneylerde çok büyük farklılıklar oluşmadığı gözlenmiştir.

Tel ve halat tendonlarda ise bağ şu etkenlerden etkilenir:

1. Halatın dış tellerinin helezonik olarak düzenlenmesi, tendonun sıyrılma etkisi altındayken, enjeksiyon kolonu içinde bir kanal boyunca kendi ekseninde etrafında dönmesini sağlar, ancak bu dönüşün bağ şiddeti üzerindeki etkisi tam olarak bilinmemekle beraber 15° ye yakın olduğu gözlenmiştir.
2. Enjeksiyon dayanımının her 7 N/mm^2 artışında bağ şiddetinin % 10 artması, $16\text{-}52 \text{ N/mm}^2$ aralığında dayanıma sahip enjeksiyonlar için geçerlidir. Yapılan deneyler, tel veya halat tendon kullanılan uygulamalarda oluşan bağın, enjeksiyon dayanımına duyarlılığının, çubuk tendon kullanılarak yapılan uygulamalardan daha fazla olduğunu göstermiştir.
3. Sıyırma deneylerinde, 0 dan 17 kN/m^2 ye kadar yanal basınç uygulanan tel ve halat tendonlarda bağ dayanımı lineer olarak artış göstermiştir. Bu, enjeksiyonun tendonu çevrelemesinin önemini gösterir. Bunun tersine, enjeksiyonda oluşabilecek büzülmelerin ise olumsuz olarak etkileyebileceği gözlenmiştir.

3.2.2 İzin verilebilir bağ ve iletim boyu

İletim boyu, ilk öngerme yükünün enjeksiyon kolonuna bağ aracılığı ile iletilmesini sağlamak için gerekli olan minimum uzunluktur. Bu bölümde incelenecek olan izin verilebilir bağ değerleri ve gerilmeler güvenli iletim boyunun belirlenmesine yardımcı olacak verilerdir.

Gömülme boyu, alışılmış uygulamaya göre, tendon çapının fonksiyonu olarak belirlenir. Ancak deneyler, küçük çaplı tendonlarda iletim boyunun tendon çapı ile orantılı olmadığını göstermiştir. Bu nedenle, enjeksiyon dayanımı $35\text{-}48 \text{ N/mm}^2$ ve nihai yükün % 70 ile yüklü halatlar için Çizelge 3.2 deki değerler iletim boyu olarak uygulanır (Littlejohn ve Bruce, 1977). Sıkılaştırılmış Dyform halatları üzerinde yapılan deneylerde halatlar, dayanımı $41\text{-}48 \text{ N/mm}^2$ olan enjeksiyon içine yerleştirilmiş, nihai yükün %70'i ile yüklenmiş

ve iletim boyu tendon ϕ apının 30-36 katı olarak belirlenmiştir. Yapılmış olan araştırmalar ile, sıkılaştırılmış halatların, 7-telli normal halatlardan % 25 daha fazla iletim boyu sağladığı, ani yük boşalmasının da iletim boyunda % 25 lik uzamaya neden olduğu gözlenmiştir (Petros P. Xanthakos, 1991).

Çizelge 3.2 Küçük ϕ aplı tendonların iletim boyu.

Littlejohn ve Bruce, (1977)

Halatın ϕ apı (mm)	İletim Boyu	
	(mm)	(ϕ ap)
9.3	200 (± 25)	19-24
12.5	330 (± 25)	25-28
18.0	500 (± 50)	25-31

Tek olarak kullanılan düz ve nervürlü ϕ bukların izin verilebilir bağ gerilmeleri daha önce Çizelge 3.1 de verilmişti. Grup olarak kullanıldıkları zaman bu değerlere azaltma katsayısı uygulanır. Bu katsayılar 2, 3 ve 4 adet ϕ buk için sırasıyla 0.8, 0.6, ve 0.4 dür..

Halatların spiral kenetlenmeleri yardımıyla, tekli tellerden daha yüksek bağlar oluşturdıkları söylenebilir. Yapılmış olan deneylerde, 1.5 m gömülme boyunun halatlar için yeterli olduğu görülmüştür (Golder Brawner Assocs. 1973).

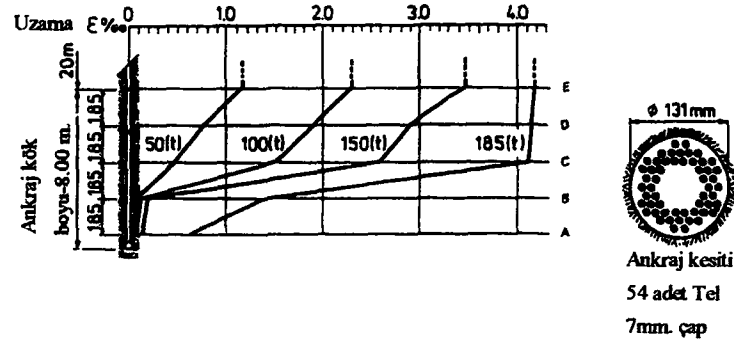
3.2.3 Tendon bağ boyunun seçimi

Bir çok şartnameye göre çimento enjeksiyonlu uygulamalar için, arazide yerleştirilen ve bağ oluşumu sağlanan tendonlarda bağ boyu 3 m. , fabrika kontrollü koşullar altında bağ oluşumu sağlanan tendonlarda bağ boyu 2 m. alınır.

Tendon çevresindeki enjeksiyonun en az 20 mm. olması merkezleyiciler kullanılarak sağlanmalı ve ϕ elik tendonun kesit alanı delik ϕ apının %15' ini

geçmemelidir. Çünkü, tendonun delik içindeki yoğunluğu, bağ şiddetini etkilemektedir.

Tendona gelen yükün kök içersinde kök boyunca dağılımının farklı olduğu daha önce belirtilmişti. Bu konuyla ilgili olarak Muller (1966) tarafından yapılmış olan deneylerde 220 ton'a kadar gerilen ankrajlarda 8 m. lik kök üzerinde bağ dağılımının düzensizliği Şekil 3.7'deki gibi gözlenmiştir.



Şekil 3.7 220 tona gerilmiş tendonlarda, kök bölgesinde gerilme-uzama dağılımı.

3.3 Enjeksiyon ve Zemin Arasındaki Bağ Mekanikliği

Ankraj sistemlerinin yapım esaslarında, ankraj kökünün, denge sorunu ve hareket etme olasılığı olan zemin kitlesinin dışına yapılması zorunluluğu vardır. Bir derin kazı ele alındığında, kazı alanının çevre duvarlarının arkasındaki denge sorunu olan zemin kitlesi ankraj sistemi ile tutulduğu zaman hareket etme olasılığı olan zemin bloğundan gelecek olan yükün ankraj elemanları ile hareket edebilecek olan kitlenin arkasına iletilmesi gerektiği için ankraj kökleri bu kitlenin de dışında kalacak şekilde geriye kadar uzatılır.

Kök boyu L , etkin enjeksiyon kolonu çapı d ve ortalama çalışma bağ gerilmesi τ olan ankraj sistemine etkiyen yükün P :

$$P = \pi \cdot d \cdot L \cdot \tau \quad (3.4)$$

olduğu kabul edilebilir (Fargeot, 1972; Mascardi, 1973; Coates, 1970; White 1973). Böyle bir analize göre, enjeksiyon-zemin arasındaki bağda noktasal çözülme olmadığı, göçmenin enjeksiyon-zemin değme yüzeyinde kayma şeklinde olduğu, bütün kök boyunca düzenli olarak bozulmuş bağ gerilmesi olduğu kabul edilir. Aslında bütün kök boyunca gerilme dağılımının eşit olmadığı bilinmektedir. Kökün bir bölgesinde aşırı yüklenme nedeniyle kayma göçmesine çok yaklaşılrken, yüklenmenin daha düşük olduğu bölgeler buradaki aşırı yüklenmeyi alarak sistemin tekrar dengeye gelmesini sağlamaktadır. Bu analizlerde:

1. Yükün enjeksiyondan zemine iletiminin kök boyunca düzgün olarak gerçekleştiği,
2. Delik çapı ve ankraj kökü çapının birbirine eşit olduğu,
3. Düz yüzeyli deliklerde kaymanın, enjeksiyon-zemin değme yüzeyinde, pürüzlü delik yüzeylerinde ise değme yüzeyine yakın bölgede oluştuğu,
4. Göçme mekanizmasının etkileyecek süreksizliklerin ve zayıflıkların olmadığı,

düşünülmektedir.

Değme yüzeyindeki toplam kayma dayanımı veya bağ, eşitlik 3-4 'e uygun olarak adezyon ve sürtünme bileşenlerinin toplamı olarak ifade edilebilir :

$$\tau = c_a + \sigma_n \tan \delta \quad (3-5)$$

Burada;

c_a : enjeksiyon-zemin arası adezyon,

σ_n : ankraj bölgesindeki normal efektif gerilme,

δ : enjeksiyon ve zemin arasındaki sürtünme açısıdır.

Ankraj deliğinin açılması, tendonun yerleştirilip enjeksiyonlanması ve yükün uygulanması ile zeminde çok karmaşık bir yüklenme düzeni oluşur. Zeminin göstereceği davranış, oluşan bu yüklenme düzenine göre belirir.

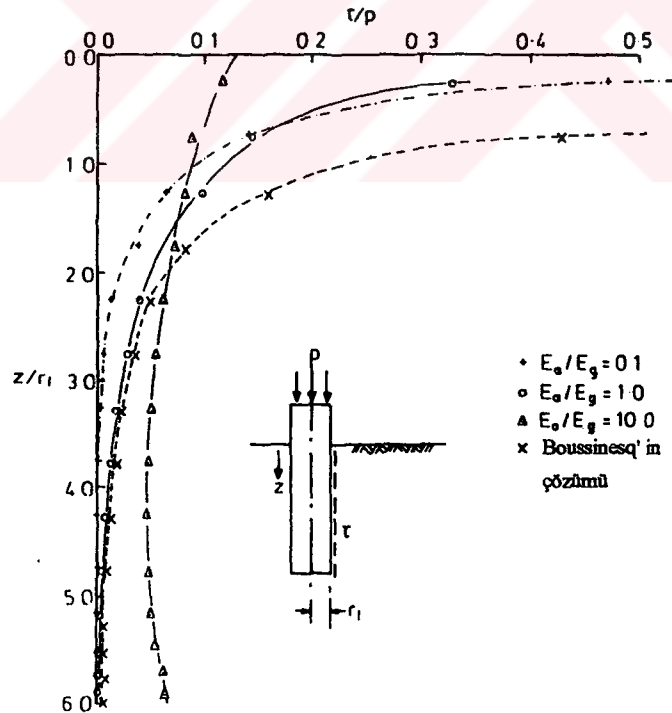
Zemin ile enjeksiyon arasında oluşabilecek göçme mekanizmasında, ankraj deliğinin duvarlarının pürüzlülüğü, enjeksiyonun delik yüzeyine işleme miktarı, zemin dayanımı ve ankraj deliklerinin birbirine olan yakınlığı gibi etkenler rol oynar. Bu koşullar altında, enjeksiyon-zemin değme yüzeyindeki kayma dayanımının da kökün boyutlarının bir fonksiyonu olduğunu söyleyebiliriz. Ankraj delgisi yapılırken, delik çevresinde oluşan gerilme boşalması veya mekanik bozulmalar, zeminin kayma gerilmelerine, büzülme miktarına ve süreksizliklere olan duyarlılığı ile ilişkili olduğu için sayısal olarak ifadesi çok zordur. Zemin özelliklerine göre seçilmiş olan enjeksiyon sisteminin, bölüm 1.6' da açıklanan dört sistemden birisi olması durumunda enjeksiyon ile delik yüzeyi arasındaki girişimin olduğu kadar uygulanmış olan enjeksiyon basıncı ile zeminde oluşabilecek iyileşmenin de etkisi büyüktür. Ankraj sistemine yük uygulandığında tendon ile alınan yükün zemine enjeksiyon ile iletimi sağlanır. Yük iletimi sağlanırken, oluşacak olan göçme mekanizması kökün bulunduğu ortama da bağlıdır. Bir göçmenin oluşacağı noktayı tam olarak belirlemek oldukça zordur. Bu göçme, kaya ortamlarda enjeksiyonda veya enjeksiyon-kaya değme yüzeyinde olabileceği gibi, yumuşak kaya veya sert kil gibi yumuşak ortamlarda enjeksiyon-zemin değme yüzeyinin birkaç mm. dışında zemin içinde de olabilir. Değme yüzeyinin kırılğan olduğu ortamlarda görülen enjeksiyon-zemin arasındaki göçme durumunda yükün limit değerlere ulaşmaya başlaması ile bağda çözümler oluşur.

Adezyon veya sürtünme ile sağlanan bağ dayanımı, uygulamanın yapıldığı ortam koşullarına bağlıdır. Kumlu zeminlerde, bağıl yoğunluğun artması içsel sürtünme açısından artışa neden olur ve bu da değme yüzeyindeki sürtünme dayanımında artışı sağlar. Kohezyonlu zeminlerde ise plastisitede düşüş veya

kıvamın artması yüksek kayma dayanımı ve buna bağlı olarak da bağ kapasitesinde artış sağlar.

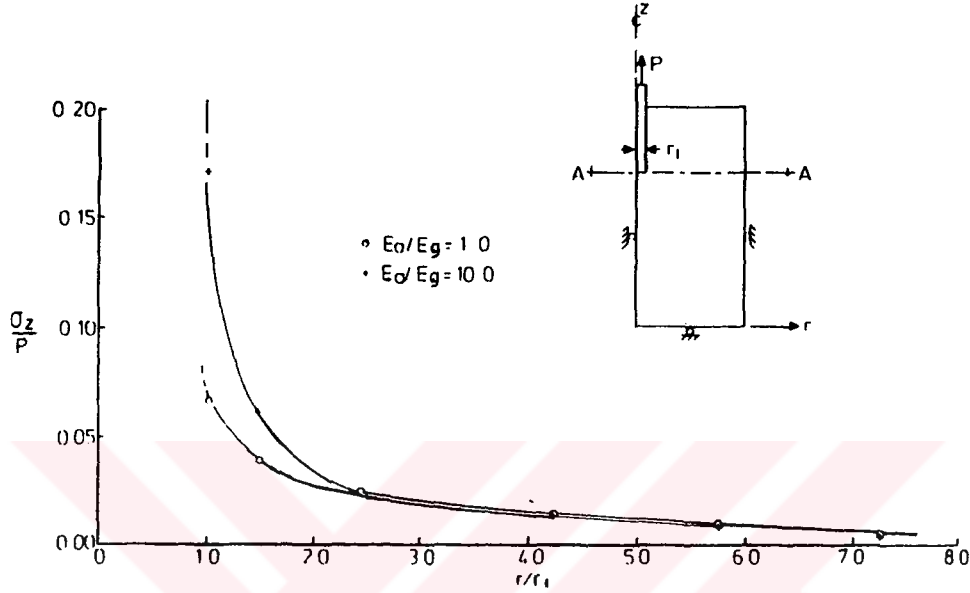
Bu etkenlerin dışında arazide yapılan uygulamaların da enjeksiyon-zemin arasındaki bağ üzerinde etkisi vardır. Kumlu zeminlerde kılıflamayı sağlamak için kullanılan dönel-darbeli delgi makinaları ile normal gerilmelerin artması sürtünmenin artmasına neden olur. Kohezyonlu zeminlerde kılıf kullanılmadan veya kılıf kullanıp su püskürtme yöntemi kullanılarak yapılan delgi delik çevresinin gevşemesine neden olarak kayma dayanımını düşürür.

Enjeksiyon-zemin arasında oluşabilecek olan göçme mekanizması üzerinde bir çok değişken etkili olurken, Coates ve Yu' nun (1970) yapmış olduğu bir deney, ankraj malzemesi elastisite modülü (E_a)/zemin elastisite modülü (E_g) oranının bağ gerilmesinin dağılımı üzerindeki etkisini göstermiştir (Şekil 3-8 de, hesaplanmış olan değerler ile çizilen grafik, kök boyu/çap=6 olan ankrajlardan alınan sonuçlara göredir.).



Şekil 3-8 E_a/E_g oranına göre, ankraj boyunca oluşan teorik bağ gerilmesi

Buradan yapılan yoruma göre E_a/E_g oranının düşük olduğu ortamlarda (yumuşak zeminlerde) ankrajın üst ucunda gerilme yığılması, oranın büyük olduğu ortamlarda ise daha düzenli bir gerilme dağılımı olduğu söylenebilir. Çekme ankrajları üzerinde yapılan deneylerde kök çevresindeki zeminde, üst ucuna yakın bölgede en büyük olmak üzere çekme gerilmeleri olduğu ve bu gerilme değerlerinin alt ucuna doğru düştüğü gözlenmiştir (Şekil 3-9).



Şekil 3-9 Çekme ankrajları çevresindeki zeminde oluşan teorik çekme gerilmesi dağılımı.

3.4 Kaya Ortamındaki Ankrajların Göçme Mekanizması

3.4.1 Silindirik kök gövdeli ankrajlar

Ankrajlarda kullanılan kök yapısının enjeksiyon-zemin arasındaki bağ dayanımı konusu bölüm 3.3 de incelenmiştir. Bu kök yapıları, uygulandıkları ortamlara göre değişiklik gösterirler. "Yük iletme şekillerine göre ankrajlar" başlığı altında açıklanan dört tip kök yapısına göre ankrajlardan A-Tip'i silindirik kök gövdeli sistem, kaya ortamında hem uygulama kolaylığı, hem de maliyet düşüklüğü açısından en çok kullanılan sistemdir. Silindirik kök gövdeli ankrajların yük iletiminin uygunluğu ve yaygın olarak kullanılması, yapılan

araştırmalar da bu sistemin kullanımını öne çıkarmıştır. Kaya ankrajlarında yapılan gerek teorik, gerekse deneysel çalışmalar bu sistem üzerine olmuştur.

Kaya ankrajlarındaki birim bağ dayanımı, kayanın dayanımına, kullanılan ankraj sistemine ve ankraj yapım yöntemine bağlıdır. Littlejohn ve Bruce, (1976), kayanın dayanımı ile ortalama bağ dayanımı arasında bağıntı kurmak üzere çalışmalar yapmış ve ortalama bağ dayanımının kayanın minimum kayma dayanımının yarısından daha az olamayacağını belirtmişlerdir. Bu yaklaşım, eksenel basınç dayanımı 7 N/mm^2 den küçük olan yumuşak kayalar ve delgisi dönel-darbeli yöntem ile yapılan uygulamalar için geçerlidir. Kayma dayanımını belirlemek üzere deney yapılmamış kaya ortamları için alınacak olan nihai bağ direnci en fazla 4.2 N/mm^2 olmak üzere, masif kayanın eksenel basınç dayanımının %10' u olarak alınır. Bu varsayımın doğruluğu, ortamın çatlak yapısına bağlıdır. Çatlak sistemi, mevcut bağ dayanımını düşürüp, bağın mobilize olmasını sağlayan hareketin artmasına neden olur. Yumuşak kayalarda, dayanımın belirlenmesi için standart penetrasyon deneyi kullanılırken çatlaklı granitteki nihai bağ değeri de S.P.T. deneyinden elde edilen N değeri ile Suzuki et al., (1972) tarafından:

$$\tau_{ul} = (0.007 N + 0.12) \text{ N/mm}^2 \quad (3.6)$$

tebeşirdeki nihai bağ değeri de Littlejohn, (1970) tarafından:

$$\tau_{ul} = (0.01 N) \text{ N/mm}^2 \quad (3.7)$$

olarak verilmiştir (N sayısı 0.3 m. ilerleme sağlanması için uygulanan düşü sayısı).

Ankraj sistemini etkileyen, kayadaki süreksizlikler, zayıflıklar ve yapım boyutlarındaki hatalar ile yapım kalitesi gibi etkenlerin olumsuz sonuçlar oluşturmaması için yükü zemine iletecek olan kökün boyu genellikle minimum

3m. alınarak tasarımlar yapılır. Alt sınır olarak belirlenen bu uzunluğun üzerinde değerler, Littlejohn ve Bruce, (1976) tarafından verilmiştir (Çizelge 3.3). Bölüm 3.3' de belirtildiği gibi, kök üzerindeki bağ gerilmesinin dağılımı, tendon ile kök çevresindeki kaya ortamının elastisite modülleri arasındaki ($E_{\text{enjeksiyon}}/E_{\text{kaya}}$) orana bağlıdır. Bu oranın yüksek değerlerinde bağ gerilmesinin kök üzerindeki dağılımı dengeli olarak gelişmektedir. Barardi yapmış olduğu çalışmalar sonucunda bağ gerilmesi dağılımının kök boyuna değil kök çapına ve çevresindeki ortamın elastisitesine bağlı olduğunu belirtmiştir. Müller (1966) tarafından yapılan, 8 m. kök boyu olan ankrajların kullanıldığı bir deneyde bağ dağılımının nasıl gerçekleştiği konusunda bilgi elde edilmiştir. Düşük yüklerde yük, kökün üst 5.5 m. sinde düzgün dağılmış olarak karşılanırken, yükün 185 tona çıkması ile kökün dibinden 4.1 m. yukarıda bağ gerilmeleri oluştuğu, bağdaki çözümlerin üst 3.7 m. de gözlendiği belirtilmiştir. Yapılmış olan çalışmalara göre yüksek kapasiteli ankrajlarda, yükün artması ile bağ çözümlerinin kökün üst ucundan kök derinliklerine doğru ilerleyeceği söylenebilmektedir.

Silindirik ankrajın çevresindeki üç eksenli gerilmenin oluştuğu bölgede Coates ve Yu, (1970) tarafından sonlu-elemanlar yöntemi kullanılarak araştırmalar yapılmıştır.

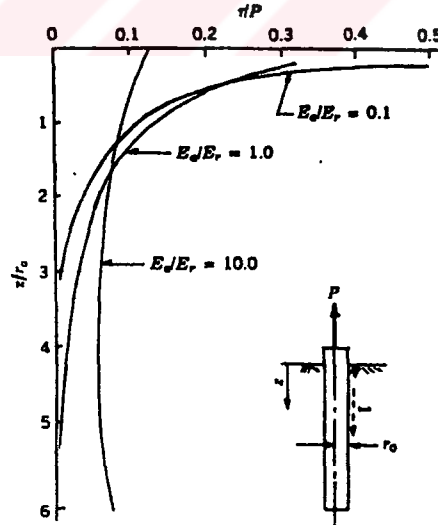
Sonuçlar, ankraj malzemesi ve kaya malzemesinin elastisite oranlarının, bağ gerilmesi dağılımı ile ilişkisinin Şekil 3-10' daki gibi olduğunu göstermiştir. Şekil 3-10' daki grafik, kök boyunun kök çapının altı katı, E_a/E_r oranının 0.1, 1.0 ve 10.0 olduğu ankrajlarla tarafından belirlenmiştir. Bu oranın düşmesi, sağlam kaya ve zayıf enjeksiyon ile düzensiz bağ dağılımı, oranın artması yumuşak kaya ve sağlam enjeksiyon birleşimi ile daha düzenli bağ dağılımı anlamına gelmektedir. Littlejohn, normal enjeksiyonun E_a değerini 20-70 kN/mm² aralığında varsayarken, diğer araştırmacılar bu değerini 10-20 kN/mm² olduğunu ileri sürmektedirler. Genelde ise elastisite modülü 15

kN/mm^2 olarak alınmaktadır. E_a/E_r değeri ise genelde 0.1-1.0 aralığında olduğu görülmekte olup bu aralıkta bağ dağılımı düzensizdir.

Çizelge 3-3 Kaya ankrajlarında kullanılan kök boyu uzunlukları.

(Littlejohn ve Bruce,(1976) dan sonra)

Kök Boyu (metre)		Kaynak
Minimum	Aralık	
3.0	4.0-6.5	İsveç-NORDIN (1966)
3.0		İtalya-BERARDI (1967)
		Kanada-HANNA&SEETON (1967)
		U.K.-LITTLEJOHN (1972)
		Fransa-FENOUX et al. (1972)
4.0	3.0-10.0	Güney Afrika-Şartname (1972)
(Çok sert kaya)		
6.0	3.0-6.0	Güney Afrika-Şartname (1972)
(Yumuşak kaya)		
5.0		Fransa-Bureau Securitas (1972)
5.0		USA-WHITE (1973)
3.0		Almanya-STOCKER (1973)
3.0		İtalya-MASCARDI (1973)
3.0		U.K.-Universal Anchorage Co.Ltd. (1972)
3.0		U.K.-Ground Anchors Ltd. (1974)
3.5		U.K.-Associated Tunnelling Co. Ltd. (1973)
(Tebeşir)		



Şekil 3-10 Kayma dayanımının kök boyu üzerinde derinlikle değişimi.

Çizelge 3-3 de verilmiş olan kök boylarının üzerinde boylar homojen olmayan ortamlarda ve kök boyunun yeterliliğinin deneyler ile kontrol edilmediği uygulamalarda kullanılır. Bununla birlikte kök boyunda kullanılacak uzunluk 10 m. olarak sınırlandırılmıştır, çünkü 10 m. nin üzerinde yapılacak olan kök boylarının ankraj kapasitesi üzerinde çok fazla bir etkisi olmadığı gözlenmiştir. Verilmiş olan kök boylarının altında uzunluklar da, yapılacak olan deneyler ve uygulanacak olan güvenlik sayılarının yeterliliğine bağlı olarak kullanılabilir. Kök boyu için alt sınır 3 m. olarak belirlenmiştir. Ankraj kökünün kısa olduğu uygulamalarda, eğer zemin koşulları çok iyi bilinmiyorsa sorunlar çıkabilmektedir. Kök boyu çevresindeki ortamda, dikkate alınmamış bir süreksizlik veya zayıf bölgenin çıkması, ankraj kapasitesini çok büyük oranda etkileyebilmektedir.

Değişik kaya ortamları için tasarım veya pratikte kullanılmak üzere Littlejohn ve Bruce, (1977) tarafından verilen enjeksiyon-kaya arasındaki bağ değerleri Çizelge 3.4' deki gibidir.

Çizelge 3-4 Farklı kaya cinsleri için nihai bağ dayanımı

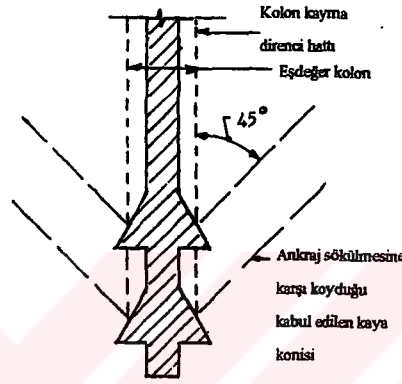
Kaya Cinsi	Nihai Bağ Dayanımı
	N/mm ²
Granit ve bazalt	1.72-3.10
Dolomit kireçtaşı	1.38-2.07
Yumuşak kireçtaşı	1.03-1.38
Arduvaz ve sert şeyller	0.83-1.38
Yumuşak şeyller	0.21-0.83
Kumtaşları	0.83-1.03
Çatlaklı marn	0.17-0.25

3.4.2 Çan kök gövdeli ankrajlar

"Yük iletme şekillerine göre ankrajlar" başlığı altında açıklanan D-Tip' i çan gövdeli kök sistemi, katı-sert kohezyonlu yığınlarda kullanılır. Bir çok uygulayıcı tarafından kısmen yumuşak kayalarda benzer şekilde kullanılmaktadır.

Şekil 3-11' de görülen bu sistemde, ankrajın nihai kapasitesi, sadece enjeksiyon gövdesine etkiyen kayma göçmesi mekanizmasına bağlı olmayıp, hem kayanın hem de enjeksiyonun ezilme dayanımlarına bağlıdır.

Birkaç tabaka düzlemi olan katı ve masif kayada, kuvvetlerin, yükün uygulandığı doğrultudan 45° açı ile iletildiği kabul edilebilir. Böyle bir mekanizma ile çalıştığı kabul edilen çan kök gövdeli sistemlerde, her çandan iletilen konik gerilme alanlarının üst üste gelmesi sonucunda deliğin alt kısımlarına doğru genişleyen tek bir koninin varlığından söz edilebilir.



Şekil 3-11 Kayada kullanılan çan kök gövdeli ankraj sisteminin çalışma mekanizması.

Sıyırılma direnci, oluşan büyük koni tarafından sağlandığı için ankraj, kaya ortamının ne kadar derinine uzanırsa, ankraj-kaya etkileşimi ile taşınabilecek olan nihai yük o kadar artacaktır. Tabakalı ve çatlaklı kaya ortamında oluşacak olan koninin şekli ve büyüklüğü, tabakaların ve çatlak sisteminin dağılımına göre farklılık gösterecektir.

Yüksek kapasiteli ankrajların göçme mekanizmasının koni göçmesine bağlı olması nedeniyle, yüzeye yakın bölgelerde kök bölgelerinin oluşturulmaması gerekmektedir. Sığ ankraj uygulamalarında göçmenin konik şekilde gerçekleşmesine karşın, oluşan konik yapının açısında farklılıklar olduğu gözlenmiştir.

Çan kök gövdeli ankraj sisteminde dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan bir tanesi, yükün tendon-enjeksiyon-kaya arasındaki iletimi sırasında oluşan bağ dayanımının olabildiğince düzenli olarak sağlanması ve noktasal gerilme yığılmalarının oluşmasının engellenmesidir.

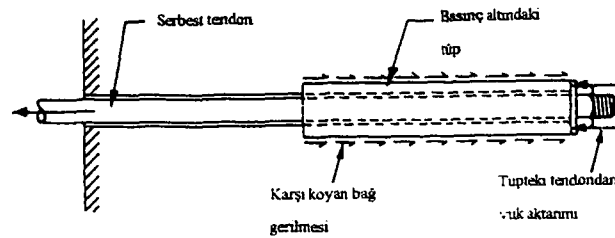
Genelde uygulamalarda, ankraj çapı 115 mm., çan çapı 300 mm. alınır. Koni- nin nedeniyle, L kök boyu, P etkiyen yük, D_u çan çapı ve τ_w çalışma kayma gerilmesi arasında amprik olarak;

$$L = \frac{P}{(2/3)\pi D_u \tau_w} \quad (3-8)$$

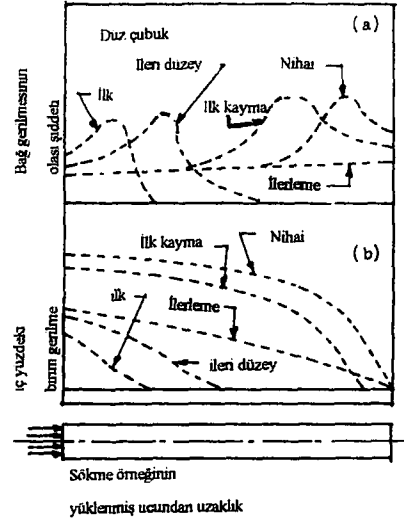
bağıntısının geçerli olduğu kabul edilmektedir (Petros P. Xanthakos,1991). τ_w çalışma gerilmesi, enjeksiyonun veya kayanın nihai kayma dayanımının küçük olanının en az 2 veya 3 güvenlik sayısı uygulanarak elde edilmiş değeri olarak alınır.

3.4.3 Basınç tüplü ankrajlar

Bu ankraj sisteminde tendondan gelen yükün ankraj çevresine iletimi, basınç tüpünün şişerek delik duvarı ile arasında oluşan bağın artması ile sağlanır (Şekil 3-12). Çekme tipi ankrajlarda, çekme kuvvetinin artması ile, tendon boyunca oluşan kayma dayanımı bölgesinin değişimi (Şekil 3-13), basınç tüplü uygulamalarda görülmemektedir.



Şekil 3-12 Kaya ortamında uygulanan sıkıştırılmış tüp ankrajın şematik gösterimi.



Şekil 3-13 Sıyırma deneyinde bağ dağılımının ilerleyişi: a) Yük artışı ile bağ gerilmesinin değişimi ve ilerleyişi; b) Toplam çekme gerilmesinin değişimi

Ivering, (1981) tarafından yapılan deneyler, tüpteki aksenal basınç gerilmesi elastik limiti geçinceye kadar basınç altındaki enjeksiyonlu tüp boyundaki bağ dalgalanmasında belirgin hareketlenme olmadığını göstermiştir.

Bu ankraj sisteminde görülen bazı sorunlar ve göçme mekanizması uygulayıcılar tarafından değişik kaynaklarda belirtilmiştir. Göçme olaylarının çoğunluğunun tüp üzerindeki basıncın az olduğu durumlarda gözlemlendiğine ve aniden oluştuğuna dikkat çekilmiştir (tasarım yükünün % 10' u civarında). Ivering, (1981), laboratuarda yapmış olduğu model deneylerde bunu araştırmış ve tüpün içinde olabildiğince fazla enjeksiyonlanmamış alan bulunmasına karşın göçmenin enjeksiyon-kaya değme yüzeyi arası yerine tüpün dış yüzü ile çevreleyen enjeksiyon arasındaki bağın yetersiz oluşu nedeniyle olduğunu gözlemlemiştir. Bu sonuca göre, düzgün dış yüzeyli basınç tüplerinde, yanıl genişleme ve radyal basınç ile yeterli bağ direnci oluşmadan, öngörölmüş olan yoğunluktaki basınç gerilmeleri oluşmalı ve tüpün Şekil 3.13' deki gibi bel vermesine neden olmalıdır. Basınç tüplü ankraj sistemlerinde oluşabilecek olası göçmeye karşı önlemler :

1. Tüp boyunun uzatılması,
2. Yüzey pürüzlülüğünün arttırılması,
3. Tüpe çelik aralayıcılar kaynaklanması,
4. Kama şeklinde tüp oluşturulması,

şeklinde sıralanabilir.

3.5 Kum veya Granüler Zeminlerdeki Ankrajların Göçme Mekanizması

Kohezyonsuz zeminlerde ~1334 kN.luk yükler 4-8 m. lik kök boyları ve 10-15 cm. lik şaft çapları ile taşınmaktadır. Bu zeminlerde uygulanan ankraj sistemlerinin nihai yükleri; a) zeminin sıkılığına ve üniformluk derecesine; b) kök boyutlarına ve geometrisine (özellikle boyuna); c) enjeksiyon yöntemi ve basıncına; d) yüksek normal gerilmeler sonucu oluşan zemin genişlemesi ve enjeksiyon-zemin arasındaki büyük sürtünmeye e) az da olsa delgi yöntemi ve aletlerine, bağlıdır.

Tasarımda kök bölgesi ve yük değerleri belirlenmeden önce zemin hakkında dane analizini, derecelenme eğrisini, içsel sürtünme açısını ve kum tabakasının kalınlığını içeren geniş araştırma yapılması gerekmektedir.

Kumlu ortamlarda, "Yük iletme şekillerine göre ankrajlar" başlığı altında açıklanan A, B veya C-Tipi' ndeki kök sistemli ankrajların herhangi bir tanesi uygulanabilir. Bu ankraj sistemleri uygulanabilir olmalarına karşın, ortamın sıkılık derecesine, porozitesine ve dane boyutlarına göre değişik kapasitelere sahip olabilirler.

Granüler zeminlerde uygulanan ankrajlar için iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Birincisi, zemine düşük basınçlı enjeksiyon verilerek, kök çevresindeki zemin boşluklarının doldurulması sağlanır. Bu işlem ile amaç, kök çevresindeki zeminin boşlukları içine işleyen enjeksiyonun ankraj deliği çapından

daha geniş çapta bir kök oluşturmaktadır. Yük, çevre sürtünmesi ve uç taşıması ile karşılanır.

Uygulanacak olan enjeksiyonlama sisteminin basınçlı olması ile enjeksiyon zemin daneleri arasına işleyecek ve bu sırada basınç ile ilerleyen enjeksiyon malzemesi kök çevresindeki zeminde konsolidasyona ve sıkılaşmaya neden olarak kapasite artışını sağlayacaktır. Permeabilitesi 10^{-1} - 10^{-2} cm/s olan zeminlerde 0.069 - 0.28 N/mm² değerinde enjeksiyon basıncı ile enjeksiyonun zemin daneleri arasına işleyerek B-Tipi kök oluşturmaları sağlanır. Üiform dağılımı olmayan kaba kumlarda kullanılan basınçlı enjeksiyon ile genelde C-Tipi kök sistemi oluşturulur. İyi derecelenmiş kumlu zeminlerde enjeksiyonun boşluklara giremediği, ancak enjeksiyonun basıncı ile sıkılaşma olduğu gözlenmektedir. Bu da ikinci yöntemin temelini oluşturur. Kontrollü olarak uygulanan yüksek basınç ile enjeksiyon zeminde bölgesel çatlaklar oluşturarak bu çatlaklar yardımıyla boşluklar arasına ilerleyebilir. Bu tip enjeksiyonlama sisteminde ankrajın merkezine yerleştirilen "tıkaç tüpü" aleti kullanılır. Bunun en büyük özelliği, enjeksiyonun kök boyunca oluşturulabilmesi ve istenildiği zaman ikinci bir enjeksiyon uygulamasının yapılmasını sağlayabilmesidir.

L kök boyu (m), ϕ içsel sürtünme açısı ve n zeminin permeabilitesine, enjeksiyon basıncına ve gömülme derinliğine bağlı bir katsayı olmak üzere Littlejohn (1970), tarafından düşük basınçlı enjeksiyon uygulamaları için önerilen amprik eşitlik:

$$P = L \cdot n \cdot \tan \phi \quad (3-9)$$

şeklinde dir. Littlejohn n için, $k > 10^{-4}$ m/s ise 400 - 600 kN/m, $k = 10^{-4} - 10^{-6}$ m/s ise 130 - 165 kN/m, değerlerini önermektedir. Petros P. Xanthakos, (1991) a göre, eşitlik (3-9) hem B-tipi genişletilmiş, hem de silindirik köklü ankraj sistemleri için geçerlidir. Petros P. Xanthakos (1991), bu denklemde

n ile ifade edilen sabitin her iki sisteme göre farklı değerler aldığını söylemektedir. B-Tipi genişletilmiş köklü sistemlerde n değerinin 400-600 kN/m. olup, permeabilitenin 10^{-1} - 10^{-2} cm/s, kökün üst ucuna kadar olan gömülü derinliğin 6-14 m., ortalama etkin kök çapının 380-610 mm., olduğu koşullar için; silindirik köklü ankraj sistemlerinde n değerinin 130-165 kN/m olup, permeabilitenin 10^{-2} - 10^{-4} cm/s, kökün üst ucuna kadar olan gömülü derinliğin 5.5-9 m., ortalama etkin kök çapının 280-310 mm., olduğu koşullar için geçerli olduğunu söylemektedir. Aşırı konsolide sıkı alüvyonlarda ise, n değerinin belirlenmesi ilk olarak normal konsolide malzemeler üzerinde yapılmış ise, tahmini yük kapasitesi ile gerçek yük kapasitesi arasındaki sapmaların oldukça büyük olacağı belirlenmiştir (Littlejohn, 1980). Eşitlik (3-9) un önemli zemin parametreleri içermemesi nedeniyle, kök boyu ve ankraj kapasitesi ile ilgili elde edilen sonuçların geneli yansıttığı görülmektedir.

Enjeksiyonun zemin içine işlemesi için uygulanan basıncın ankrajın yük kapasitesini arttırdığını daha önce belirtmiştik. Zeminin permeabilite değerine göre, enjeksiyon basıncının etkisi de farklı olmaktadır. Permeabilitesi, 10^{-1} - 10^{-2} cm/s olan zeminlerde enjeksiyonun boşluklara sızdığı görülürken, 10^{-3} - 10^{-4} cm/s olan ortamlarda ise delik çevresi yakınlarında zeminde sıkılaşma etkisi görülür. Enjeksiyon basıncını da dikkate alan bir eşitlik ile nihai yük değeri amprik olarak :

$$P = p' \cdot \pi \cdot D \cdot L \cdot \tan \phi \quad (3-10)$$

Burada, D etkin ankraj çapını, L kök boyunu göstermektedir. p' değeri ankraj kökünün tepesine kadar olan gömülülük derinliğinin her 0.3 m. si için 0.014 N/mm^2 alınan enjeksiyon basıncıdır. Bu ifade, enjeksiyon basıncının artışı ile ankraj kapasitesinin artışı gösterdiği gibi bilinen ankraj boyutlarına da bağlıdır. Bu ifadenin kullanımı p' parametresinin tanımına uygun gerçek enjeksiyon basınçlarının kullanıldığı uygulamalar için uygundur.

Ankraj boyutlarının bilinmesi durumunda, δ shaft sürtünmesi, D kökün etkin çapı, d ankrajın üzerindeki shaftın etkin çapı, γ zeminin birim ağırlığı, Z kökün tepesine kadar olan gömülülük derinliği, L kök boyu, N_q taşıma gücü faktörü ve σ'_n kök boyu üzerindeki ortalama efektif temas basıncı, olmak üzere taşıma gücü teorisine göre :

$$P = \pi \cdot D \cdot L \cdot \sigma'_n \tan \delta + \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \cdot \gamma \cdot Z \cdot N_q \quad (3-11)$$

eşitliği yazılabilir. Yukarıdaki yaklaşımda ankrajın taşıma gücü, çevre sürtünmesi ve uç taşıması dikkate alınarak bulunmaktadır. Bu eşitlikte kullanılan " D " boyutu, zeminin porozitesine ve enjeksiyonun permeabilitesine bağlıdır. Bu nedenle D değerini tam olarak belirleyebilmek uygulamalarda oldukça zordur. Bununla ilgili elde edilen veriler Çizelge 3-5 de verilmiştir. Ayrıca taşıma gücü faktörü N_q nün değeri de kayma direnci açısı ϕ' ne ve zeminin gerilme tarihçesine bağlıdır.

Çizelge 3-5 Kohezyonsuz zeminlerde kökün yaklaşık boyutları

Zemin Cinsi	D/d	Basıncı	Gözlemler
Gevşek kum ve çakıl	≤ 4	düşük	Enjeksiyon işlemesi
Orta sıkılıkta kum	1.5 - 2.0	$< 1,000 \text{ kN/m}^2$	Belirgin enjeksiyon
Çok sıkı kum	1.1 - 1.5	$< 1,000 \text{ kN/m}^2$	İşlemesi yok

Bu yaklaşım, sınırlı kullanım görmüş olup, bundan sonraki yaklaşımlarda, uç taşıması dikkate alınmadan, çevre sürtünmesi yüküne dayandırılmıştır. Enjeksiyon basıncı, özellikle iyi derecelenmiş zeminlerde, kökü çevreleyen zeminde yüksek etkin gerilmenin oluşmasına neden olabileceğinden dolayı çok önemlidir. Yapılmış arazi deneyleri sonucunda, nihai ankraj dayanımının, K , ankraj shaftındaki zemin basıncını, ϕ , zeminin içsel sürtünme açısını ve σ'_v de kökün yakınındaki ortalama etkin gömülülük basıncı göstermek üzere :

$$P = K_1 \cdot \pi \cdot D \cdot L \cdot \sigma'_v \cdot \tan \phi \quad (3-12)$$

şeklinde ifade edilebileceği görülmüş. K_1 sabitinin değeri, enjeksiyon basıncı, zeminin bağıl yoğunluğu ve ankraj yapım yöntemi gibi çeşitli iç etkenlere bağlı olarak değişmektedir (Çizelge 3-6). D , kök çapının kesin olarak bilinemediği durumlarda :

$$P = K_2 \cdot \pi \cdot d \cdot L \cdot \sigma'_v \cdot \tan \phi \quad (3-13)$$

eşitliğinin kullanımı önerilmiştir. Burada d , ankrajın etkin delik çapını belirtirken, K_2 değeri, $0.3-0.6 \text{ N/mm}^2$ enjeksiyon basıncı için, kaba silt ve ince kumlarda 4, sıkı kum ve çakıllarda 9 olmak üzere ortalama 6 dır. K_1-K_2 değerleri ile $D-d$ değerleri karşılaştırıldığı zaman $K_1 D$ ile $K_2 d$ sonuçlarının çok farklı olmadığı görülmüştür.

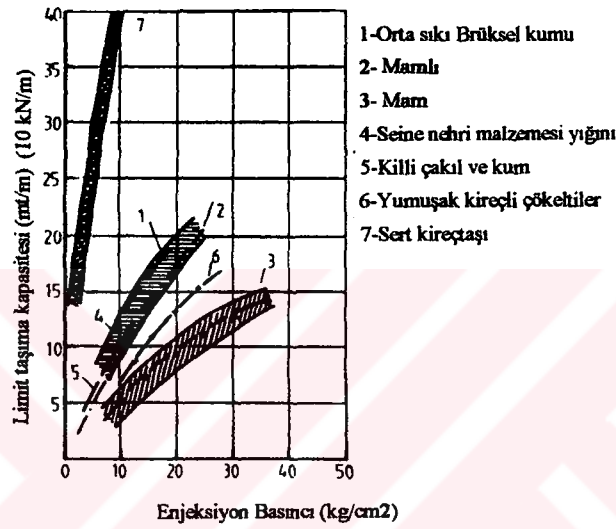
Çizelge 3-6 Arazi deneylerinin analizi ile elde edilmiş zemin basınç sabiti (K_1) değerleri

K_1 Sabiti	Zemin Cinsi	Enjeksiyon Basıncı
1.4 - 2.3	Sıkı kumlu çakıl	Düşük basınç
0.5 - 1.0	İnce kum ve kumlu silt	Düşük basınç
1.4	Sıkı kum	Düşük basınç

Enjeksiyon sırasında değme yüzeyinde çimento danelerinin yığılması ile sadece suyun geçebildiği filtre tabakası oluşur ve bunun sonucunda da enjeksiyon basıncının bir kısmı zemine iletilmiş olur. Enjeksiyonlama işi tamamlandıktan sonra çimento karışımının kayma dayanımı ile zemin direnci, sistemde kalıcı basınç sıkışması olmak üzere birleşir. Yüksek enjeksiyon basıncı uygulandığı zaman bu basıncın bir kısmı zeminde, zemin-enjeksiyon arasında sıkışır. Bu etki, eşitlik 3-12 de yeniden düzenlenerek :

$$P = p_g \cdot \pi \cdot D \cdot L \cdot \tan \phi \quad (3-14)$$

şeklini alır. Burada, p_g , enjeksiyon basıncı ve ϕ , içsel sürtünme açısı olmak üzere alınmış olur. Genelde bu eşitlik ile elde edilen değerin gerçek değerlerden daha fazla olduğu belirlenmiş ve p_g değerinin $2/3$ ünün kullanılması önerilmiştir, (Littlejohn, 1980). Kalın daneli zeminlerde, zemin enjeksiyon arasındaki yüzeyde enjeksiyon tutulamadığı için kayıp olabilmektedir. Enjeksiyon kaybının yanı sıra enjeksiyon basıncında da düşüş gözlenir. Yüksek enjeksiyon basıncının ankraj taşıma kapasitesi üzerindeki etkileri Jorge (1970) tarafından Şekil 3-14 deki gibi verilmiştir.



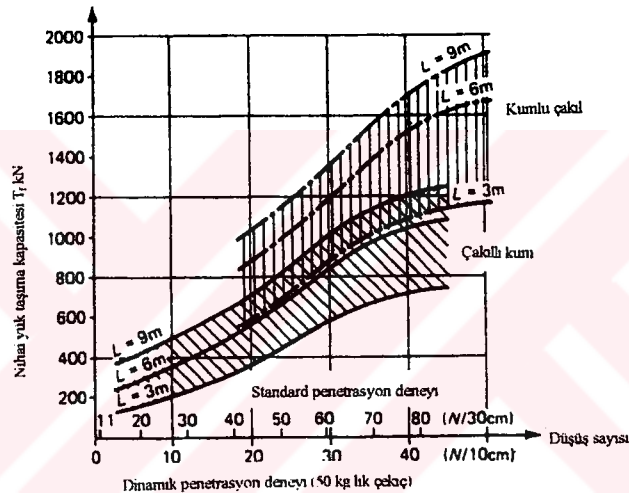
Şekil 3-14 Değişik zeminler için enjeksiyon basıncının nihai taşıma kapasitesi üzerindeki etkileri.

Ostermayer ve arkadaşları tarafından Münih Üniversitesi'nde (1974,1976) yapılan çalışmalar gevşek daneli zeminlerde nihai yükün, sıkılık, uniformluk katsayısı ve kök boyu ile arttığını göstermiştir. Kök boyları 2-10 m. aralığında olmak üzere farklı ve yatayla 20° açılı olan 30 ankraj üzerinde uygulanan göçme deneylerinin sonuçları Şekil 3-15 (a)'daki gibidir.

Deneylerden elde edilen sonuçlar Ostermayer, (1974) in yapmış olduğu yorumların doğruluğunu göstermiştir. Belirli bir zeminin nihai yük kapasitesi zeminin yoğunluğu ile hızla artar ve aynı göreceli yoğunluk için yük kapasitesi uniformluk katsayısının artışı ile artar. Ankrajın yük taşıma

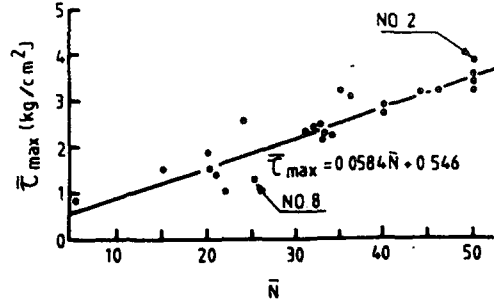
Yapılan deneyler ile yüzey sürtünme değerinin kumlu zeminlerde 500 kN/m^2 , kumlu çakıllarda ise 1000 kN/m^2 olduğu belirlenmiştir.

Granüler zeminler çok değişik sıklık derecelerinde bulunabildikleri için, bu tür zemin koşulları için genel sonuçlar çıkarmak zordur. Günümüzde granüler zeminlerin sıklıklarının belirlenmesi için kullanılan en yaygın yöntem Standart Penetrasyon Deneyidir (SPT). Granüler zemin için yorumlamaların yapılabilmesini sağlayan bu N değeri ile sıyrılma dayanımı arasında zemin koşulları ve kök boyunu da dikkate alan bağıntı kurma çalışmaları yapan Ostermayer ve Scheele, (1977), Şekil 3-16 daki sonuçlara ulaşmışlardır.

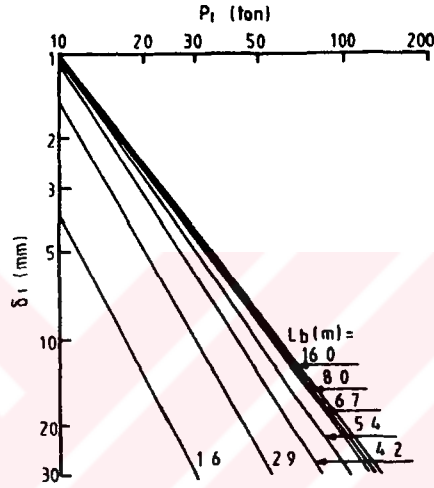


Şekil 3-16 Kumlu çakıllar ve çakıllı kumlarda, nihai ankraj kapasitesi ve SPT N değeri arasındaki bağıntı.

Fujita et al., (1977) tarafından kum tabakasında analitik model ve uygulanan 30 arazi deneyi sonuçları kullanılarak ortalama maksimum yüzey sürtünme direnci ve SPT N değeri arasında kurulan ilişki Şekil 3-17 deki gibi bulunmuştur. Bununla beraber nihai sıyrılma dayanımı üzerinde etkisinin çok az düşüğü kök boyu için kritik bir değer Şekil 3-18 deki gibi ifade edilmiştir. Bu araştırmada görüldüğü gibi, kök boyunun 6 m. nin üzerine çıkarılması ile ankrajın sıyrılma kapasitesi üzerinde çok önemli bir artış olmamaktadır. Benzer sonucu Ostermayer, (1974) de yapmış olduğu çalışmalarda elde etmiştir.



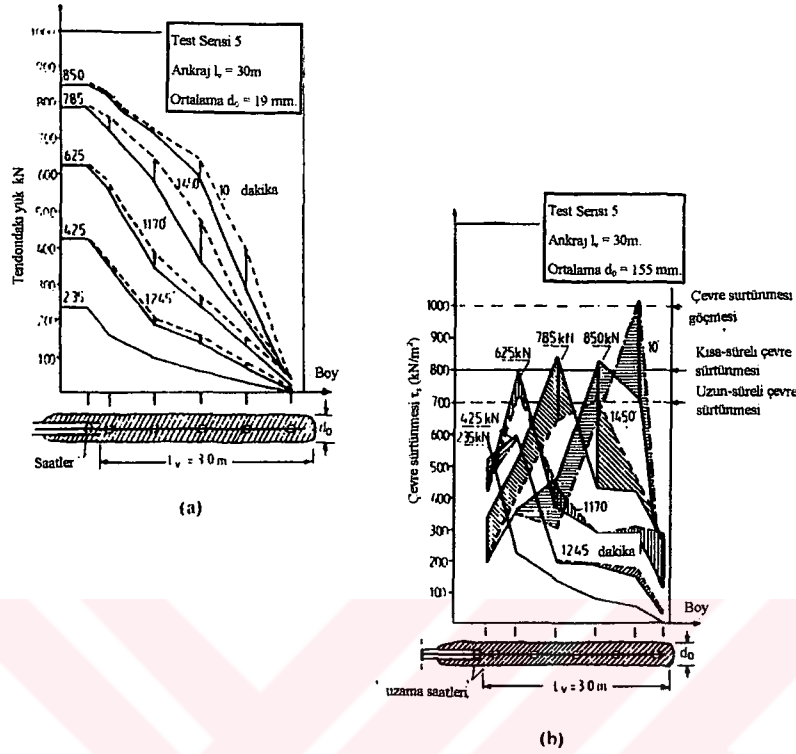
Şekil 3-17 Maksimum yüzey sürtünme direnci ve SPT N değeri arasındaki bağıntı.



Şekil 3-18 Kök boyunun, yük ve kumlu ortamdaki ankrajın hareketi üzerindeki etkisi.

Kök çevresinde oluşan bağın, kök boyunca düzenli olarak dağılmadığı bilinmektedir. Kök çevresinde oluşan bağ dağılımının düzensiz olduğunun bilinmesine karşın tasarım üniform sürtünme direncine göre yapılmaktadır. 3 m. kök boyu olan ankrajda yük dağılımı Ostermayer ve Scheele, (1977) tarafından Şekil 3-19 (a) daki gibi verilmiş ve yükün dağılımının uygulanan yüke ve yükün uygulanma süresine bağlı olduğu söylenmiştir. Ayrıca birim yüzey sürtünme direncinin dağılımı, Şekil 3-19 (b) de görüldüğü gibidir. Maksimum değer in yükün artması ile kök boyunun başından sonuna doğru ilerlediği daha önceki ankrajlardaki gibi gerçekleşmektedir. Ankraj üzerine etkiyen yükün

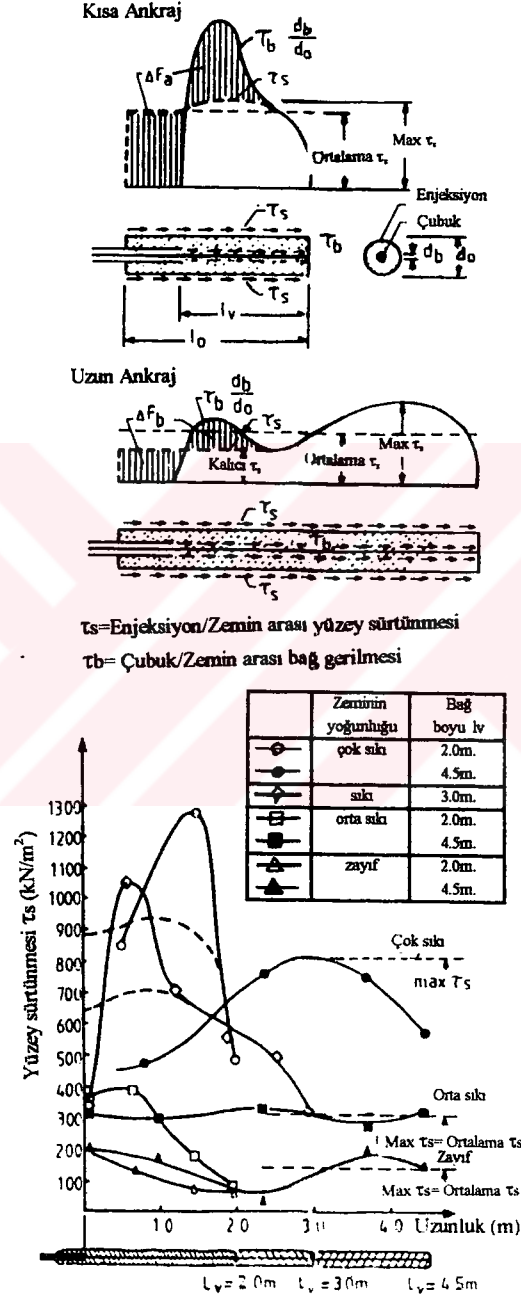
güvenlik sınırları içinde kalınarak zemine iletilmesi için gerekli olan en önemli etkenin kök boyu olduğu bilinmektedir.



Şekil 3-19 a) Sıkı kumlarda ankraj kökündeki yük dağılımı, b) Sıkı kumda uygulanan yüke ve zamana göre yüzeysel sürtünme direnci dağılımı

Bu konu ile ilgili çalışmalar da yapan Ostermayer ve Scheele, (1977) tendon bağ boyunun (L_v), zemin-enjeksiyon bağ boyundan (L_o), kök boyunun üst kısmındaki plastik bağ çözülmesi boyu nedeniyle, daha kısa olduğunu göstermiştir (Şekil 3-20(a)). Burada tendon bağının ve enjeksiyon-zemin bağının dağılımı kısa ve uzun ankrajların her ikisi için de gösterilmektedir. Tendon bağ gerilmesi yığılması görülür ve uygulanan yük arttıkça ankraj boyundaki bu ilerlemeler ankraj kök boyunun uzaması ile düşen τ_s ortalama bağ değerini artırır. Bu davranış Ostermayer ve Scheele, (1977) in kök boyu 2 m., 3 m. ve 4.5 m. olan ankrajlar üzerinde yaptıkları araştırmalarda elde ettikleri veriler ile gözlenmiştir (Şekil 3-20 (b)). Gevşek, orta sıkı ve çok sıkı kumlu-çakıllı ortamlar için, sırasıyla 150, 300 ve 800 kN/m² olarak gösterilmiş olan

maksimum sürtünme değerlerinin farklılıkları, ortamının yoğunluğunun kapasite üzerindeki etkisini göstermektedir. Gevşek ve orta sıkı ortamda, 4.5 m. kök uzunluğu olan ankrajın enjeksiyon-zemin arasındaki sürtünme dağılımının üniforma yakın olduğu, ancak sıkı ve çok sıkı ortamlarda maksimum sürtünme değerinin oldukça kısa boyda olduğu görülmektedir.



Şekil 3-20 a) Nihai yükte, ankraj boyunun yüzey sürtünmesi dağılımı üzerindeki etkisi b) Kök boyu ve kum sıkılığına göre, nihai yükte ölçülmüş yüzeyel sürtünme direnci dağılımı.

Bu araştırmalardan elde edilen en önemli sonuçlar aşağıda sıralanmaktadır:

1. Çok sıkı kumlarda maksimum yüzey sürtünme değeri ankrajın çok kısa bir bölümünde oluşurken, zeminin sıkılığının düşük olduğu orta sıkı ve gevşek kumlarda, teorideki gibi yüzey sürtünmesi üniform dağılıma yakındır (Coates ve Yu, 1967).
2. Ankraja uygulanan yük arttırıldıkça yüzey sürtünmesinin maksimum değeri ankrajın alt ucuna doğru kayar.
3. Kısa ankrajlarda mobilize olan yüzey sürtünme değerinin ortalaması, uzun ankrajlardaki ortalama yüzey sürtünme değerinden daha büyüktür.
4. Kumlu ortamın sıkılık derecesinin ankrajın taşıma kapasitesini belirleyici olması nedeniyle çok önemlidir. Gevşek ve çok sıkı kumlarda uygulanan ankrajlarda oluşan yüzey sürtünmesinin ortalama değerleri arasında beş kat fark vardır.

3.6 Killi Zeminlerdeki Ankrajların Göçme Mekanizması

Killi zeminler, ankraj uygulamaları için en elverişsiz ortamı oluşturmaktadır. Krip etkisi, ankraj deliğindeki gevşeme ve çan köklü ankrajların uygulanabilirliği konusundaki bulguların yetersizliği böyle ortamlarda yapılacak olan uygulamaları ve neden olabileceği sonuçların tahminini zorlaştırmaktadır.

Killi zeminlerin taşıma güçlerinin düşük olması nedeniyle ankraj kapasitelerini arttırabilmek üzere ankraj sisteminin gerek uygulanışında, gerekse üzerinde birtakım düzeltmeler yapılabilir. "Yük iletme şekillerine göre ankrajlar" başlığı altında incelenen değişik ankraj tiplerinden, düşük enjeksiyon basıncı ile silindirik kök gövdeli, çoklu çan gövdeli ve yüksek enjeksiyon basıncı ile tek veya çok aşamada enjeksiyonlanmış silindirik kök gövdeli sistemler kullanılabilir. Bu uygulamalar ile, zeminin düşük taşıma kapasiteli olmasına karşın ankraj kapasitesinin arttırılması sağlanmaya çalışılmaktadır.

Silindirik kök gövdeli ankraj sistemlerinin kullanılması durumunda, bazı farklılıklarla kaya ortamında gözlenen davranışa benzer davranış beklenir. Bu farklılıklardan birincisi, mobilize olan birim sürtünmenin kil dayanımına bağlı olması; ikincisi, ankraj duvarlarının rijit olmaması ve bu nedenle basınç ankrajlarının kullanıldığı durumlarda çevre duvarlarında göçme, dolayısıyla da ankrajda hareket oluşması; üçüncüsü, ankraj deliğinin davranışının zemin cinsine, minerolojisine ve delgi yöntem ve hızına çok duyarlı olmasıdır. Tremi-enjeksiyonlu silindirik kök gövdeli ankrajlar için ilk yaklaşımda sıyrılma kapasitesi teorik olarak:

$$T_f = \pi \cdot D \cdot L \cdot a \cdot s_u \quad (3-15)$$

eşitliği ile tahmin edilebilir. Burada;

s_u : Kök boyunca ortalama drenajsız kayma dayanımı,

a : Adezyon katsayısıdır.

$s_u > 90 \text{ kN/m}^2$ olan Londra kilinde " a " değeri 0.30-0.35 aralığında alınırken, $s_u > 95 \text{ kN/m}^2$ olan Güney Afrika' da killi siltlerde 0.45 olarak alınır. Güney İtalya' da, silindirik kök gövdeli ankraj uygulamalarda, aşırı konsolide sert killerde " a " değeri 0.28-0.36 olarak alınır (Petros P.Xanthakos,1991). Burada, killi zeminin kayma dayanımının artması ile " a " adezyon katsayısının düştüğünü söyleyebiliriz.

Çan kök gövdeli ankrajların nihai yük taşıma kapasitesi aşağıdaki eşitlik ile tahmin edilmeye çalışılır:

$$T_f = T_u + T_e + T_s \quad (3-16)$$

Burada;

T_u : Çan boyunca oluşan çevre sürtünmesi,

$$T_u = \pi.D.L.a_u.s_u \quad (3-17a)$$

T_e : Uç taşıması,

$$T_e = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2).N_c.s_u \quad (3-17b)$$

T_s : Şaft boyunca oluşan çevre sürtünmesi,

$$T_s = \pi.d.l.a_s.s_u \quad (3-17c)$$

eşitlikleri ile belirlenir. a_u , ortamın örselenmesine bağlı bir verim katsayısı olup 0.75-0.95 arasında değişir. N_c , 6-13 arasında olup ortalama 9 alınan yaklaşık taşıma gücü faktörü, s_u , kilin drenajsız kayma dayanımı, D , genellikle 350-400 mm. olmak üzere çan çapı, L , 3-7.5 m. olan, genelde 6 m. olarak uygulanan çan bölgesi boyu, d , 130-150 mm. olan şaft çapı, l , 1.5-3 m. arasında değişen şaft boyu, a_s , şaft adezyon katsayısıdır.

Çan kök gövdeli ankrajların killi ortamlardaki davranışları çok karmaşıktır. Ankrajın teorik yük taşıma kapasitesinin tahmini için Swain (1976) ve Basset (1977) çalışmalar yapmıştır. Değişen aralıklar ile hazırlanmış olan üçlü çan kök gövdeli ankrajlarda, T_u ve T_e birbirine eşitlenmiş ve eşitlik 3-18 kullanılarak ankraj yük kapasitesinin tahmini ve bunların laboratuvar deneyleri ile incelenmesi sonucu elde edilen veriler Şekil 3-21 deki gibi belirlenmiştir.

$$\pi.D.L.a_u.s_u = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2).N_c.s_u \quad (3-18)$$

Bu denklemin düzenlenmesi ile aşağıdaki 3-19 eşitlikleri elde edilerek, çan kök gövdeli ankraj sisteminde kullanılacak olan çanların arasındaki Δl aralığının maksimum değeri bulunabilir. Çanlar arasında kritik bir aralığın olduğu belirlenmiştir.

$$\Delta L < \frac{(D^2 - d^2)}{4 \cdot D \cdot a_u} \cdot N_c \quad (3-19a)$$

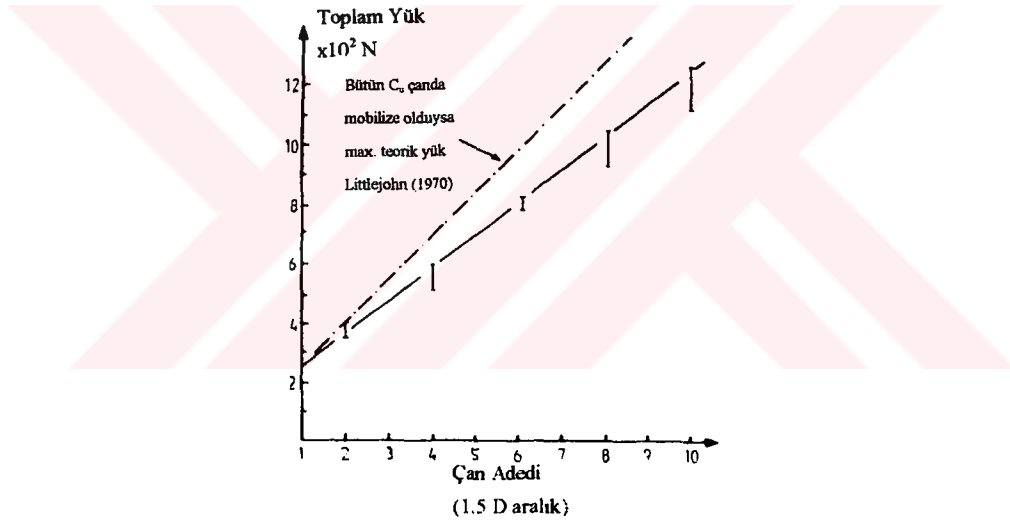
veya

$$\frac{\Delta L}{D} < \frac{(D^2 - d^2)}{4 \cdot D^2 \cdot a_u} \cdot N_c \quad (3-19b)$$

$(D^2 - d^2)/D^2$ oranı yaklaşık olarak 1, $a_u = 0.75$ ve $N_c = 9$ alınırsa 3-19a eşitliği şu şekilde gösterilebilir :

$$\Delta L < 3D \quad (3-20)$$

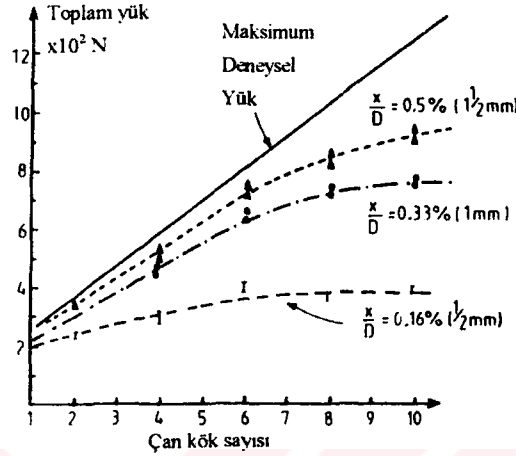
Bu ifade de çan kök gövdeli ankrajların kritik çan aralığıdır.



Şekil 3-21 Çan sayısına göre, ankrajın nihai sıyrılma yükünün teorik ve deneysel olarak karşılaştırılması.

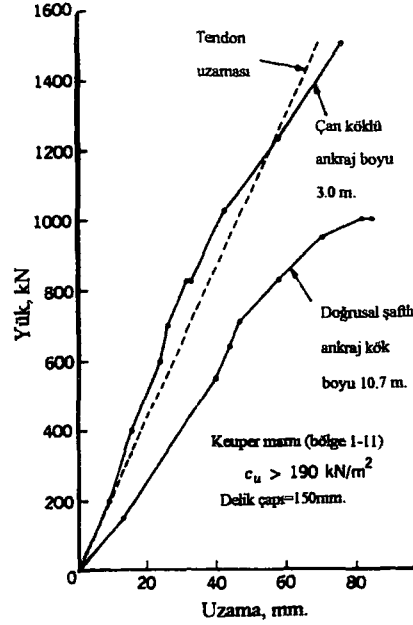
Nihai kapasitenin ankraj boyuna bağlı olarak doğrusal bir şekilde artış gösterdiği söylenebilir. Değişik hareket miktarlarını sağlaması istendiği zaman izin verilebilir yük değerlerinde önemli düşüşler gerekmektedir (Şekil 3-22). Çan çapının % 0.16 sı kadarlık hareket için, altı adet çanın üzerindeki uygulamalarda yükte çok az artış gözlenmiştir. Çan kök gövdeli ankraj sistemlerinin silindirik gövdelilerden daha yüksek kapasiteli oldukları bilinmektedir.

Bunların arasındaki farkı belirlemek üzere Neely ve Montague-Jones (1974) sert kilde sıyrılma deneyleri uygulamış ve çan köklü ankrajın, silindirik gövdeliden 2.2 kat daha fazla yük taşıdığını gözlemlemişlerdir. Aynı zamanda kök boyu olarak silindirik gövdeli ankrajının yarısı (4.57 m.) uygulanmıştır.



Şekil 3-22 Çan sayısına göre, izin verilebilir ankraj uzama miktarının (x), ankraj yükü üzerindeki etkisi.

Silindirik kök gövdeli ankrajlar ile çan kök gövdeli ankrajların yük taşıma kapasitelerinin karşılaştırılması için Wroth (1975) tarafından yapılan deney sonuçları Şekil 3-23 de gösterilmiştir. Aynı zemindeki ankrajların her ikisinin de shaft çapı 150 mm. olarak uygulanmıştır. Kök boyu 10.7 m. olan silindirik köklü ankraj 1000 kN. luk yükte göçerken, 3 m. çanlı kök boyu olan ankraj 1500 kN. da göçmeye halen ulaşmamıştır. Kuzey Londra' da otoyol altgeçidi inşaatında, drenajsız kayma dayanımı 175 kN/m² olan killi zeminde uygulanan çan kök gövdeli ankrajlarda Bastable (1974) yapmış olduğu deneylerle çan sayısı ile yük kapasiteleri arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Çan aralığı 1.15 m., çan çapı 540 mm. olan ankrajların çan sayısı 2-7 adet arasında değişmektedir. Deney yüküne kadar çevrimli olarak yapılan yüklemeden sonra, uzamalar artarken yükün sabit kaldığı göçmeye neden olan nihai ankraj yüküne kadar yük uygulanmaktadır.



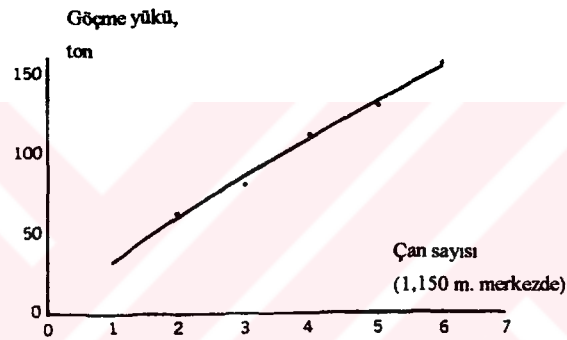
Şekil 3-23 Silindirik kök gövdeli ve çan kök gövdeli ankraj sistemlerinin yük-uzama eğrilerinin karşılaştırılması

Deney yükleri ve göçme yükleri Çizelge 3-7 de verildiği gibidir. Bu deneylerde, deney yükleri uygulandığında ankrajlarda 7-15 mm. lik, göçme yükleri uygulandığında ise 40-50 mm. lik hareket gözlenmiştir. Şekil 3-24 de nihai yükün çan sayısı ile ilişkisi verilmiştir. Çan kök gövdeli ankrajların uygulanabileceği killi zeminlerin drenajsız kayma dayanımının 90 kN/m^2 den fazla olması tercih edilmektedir. Drenajsız kayma dayanımının $60-70 \text{ kN/m}^2$ olan zeminlerde ankraj deliğinde göçme ve gevşeme nedeniyle daralmalar gözlenirken 50 kN/m^2 den küçük değerlere sahip zeminlerde çan kök gövdeli uygulamaların yapılmaması gerektiği ileri sürülmektedir.

Bazı uygulayıcılar, çan kök gövdeli ankrajları uygulandıktan sonra her birinin çaplarının kontrolünün pratik olmaması nedeniyle silindirik gövdeli, yüksek enjeksiyon basınçlı, iki veya tek enjeksiyonlamalı ankraj sistemlerini tercih etmektedirler. Yüksek basınç uygulamasıyla, killi zemin içinde hidrolik etkiyle bölgesel çatlaklar açılmaktadır. Enjeksiyon buralara girerek zemine tutunarak sıkışır.

Çizelge 3-7 Londra kilindeki deney ankrajlarına uygulanan deney ve nihai yükler.

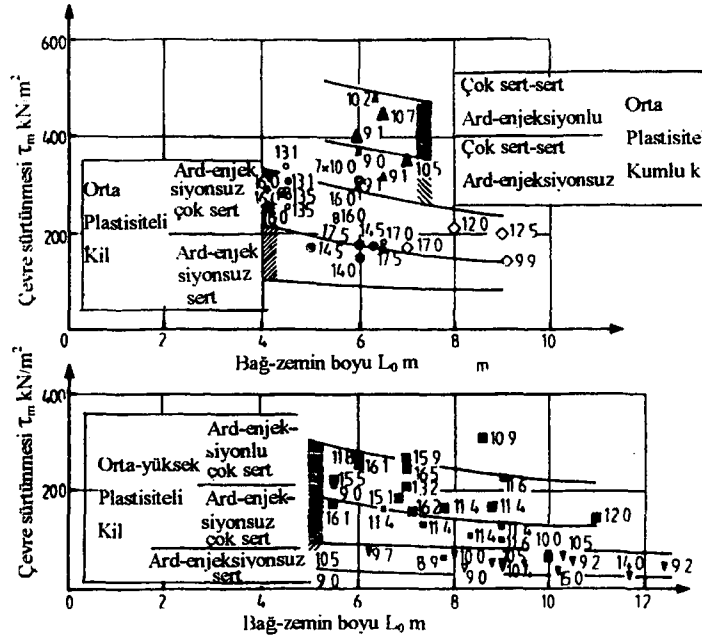
Deney Ankraji	Deney Yüğü (kN)	Çan Sayısı (Adet)	Nihai Yüğü (kN)
1	445	2	650
2	840	4	1160
3	1310	6	1540
4	415	2	650
5	1050	5	1300
6	1550	7	
7	675	3	
8	630	3	790
9	940	5	
10	1510	7	



Şekil 3-24 Çan sayısı ile nihai yüğü arasındaki ilişki.

Ostermayer, yapmış olduğı araştırmalarda şu sonuçları elde etmiştir:

1. Birim yüzey sürtünmesi, zemin dayanımının artması ve plastisitenin düşmesi ile artar;
2. Birim yüzey sürtünmesi kök boyu ile düşer;
3. İkincil enjeksiyon, birim yüzey sürtünme değerini %25 arttırmaktadır. İkincil enjeksiyonun yüksek basınçla uygulanması ile yüzeysel sürtünmede çok yüksek artışların olabileceğı Ostermayer (1974) tarafından Şekil 3-25 de gösterilmiştir.

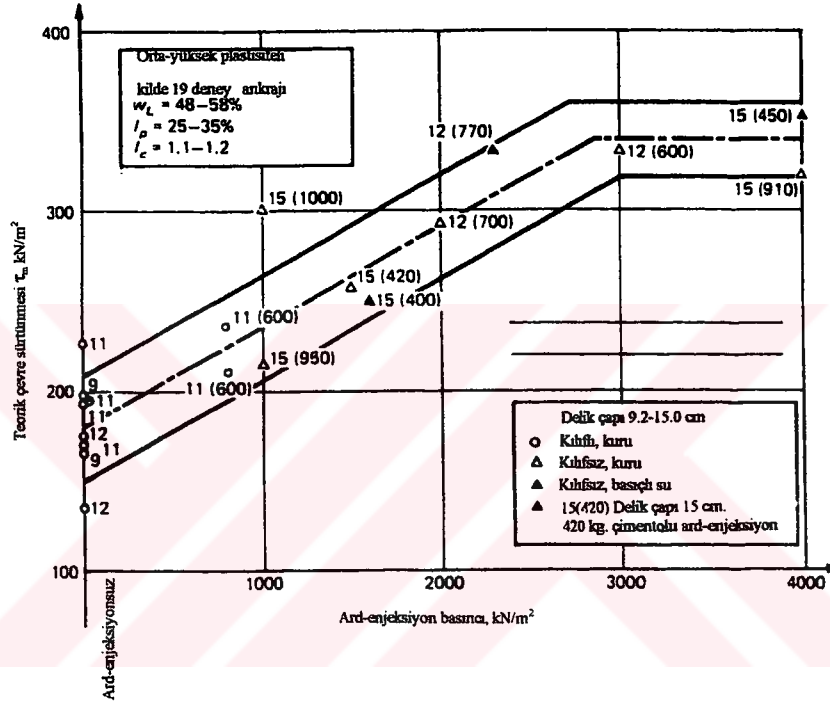


Şekil 3-25 Kohezyonlu zeminlerde, iki ve tek enjeksiyonlu ankrajların, kök boyuna göre birim yüzey sürtünme değerleri.

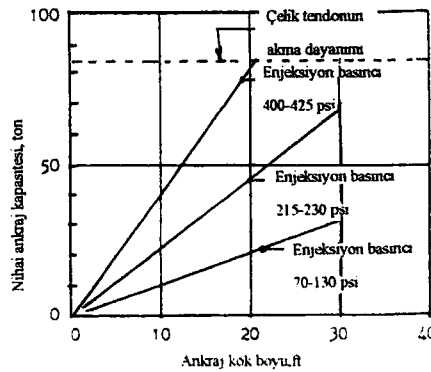
İkincil enjeksiyon, ilk olarak Batı Almanya'da Ostermayer (1974) tarafından uygulanmıştır. Bu yöntemde, yüksek enjeksiyon basıncı kilde bölgesel çatlaklar oluşturmak üzere kullanılır ve ankraja normal efektif gerilme olarak etkir. Orta katı ve sert killerde, değme yüzeyindeki kayma dayanımını 120 kN/m² den 300 kN/m² ye kadar yükseldiği gözlenmiştir. 80-160 mm. delik çaplı ankrajlarda değişik ortamlarda alınan verilere göre, en düşük kayma dayanımı ikincil enjeksiyonsuz olarak orta ve yüksek plastisiteli killerde ($I_c = 0.8-1.0$) 30-80 kN/m² dir. En yüksek değerlere ise (> 400 kN/m²) çok katı-sert kıvamda ($I_c = 1.25$) ve orta plastisiteli kumlu siltlerde ikincil enjeksiyon ile ulaşılmıştır. Bu yöntemin çok sert killerde kayma dayanımını %25-50 oranında arttırdığı gözlenmiştir. Şekil 3-26 da orta ve yüksek plastisiteli killerde ikincil enjeksiyon etkisi gösterilmektedir.

Jorge (1969) tarafından gerçekleştirilen tekrar enjeksiyonlanabilir ankrajlar drenajsız kayma dayanımı 27-76 kN/m² olan ve marn formasyonu içeren jips-te, ankraj kök boyu 4, 6 ve 8 m., ankraj delik çapı 114 ve 122 mm. olarak

uygulanmıştır. İlk olarak düşük basınç ile enjeksiyon uygulanmıştır ve hemen arkasından göçmeye kadar ankrajlar gerilmiştir. Tekrar enjeksiyonlama ve göçmeye kadar germe işlemi ikişer defa uygulanmış ve her seferinde daha fazla basınç kullanılmıştır. Nihai yük kapasitesi, ankraj kök boyu ve enjeksiyon basıncı Şekil 3-27 de verildiği gibidir. Görüldüğü üzere her üç enjeksiyon kademesi için de nihai yük kök boyu ile doğrusal orantılı olup, 6 m. kök boyu olan ankrajın 3. enjeksiyon kademesindeki nihai yük taşıma kapasitesi 1. enjeksiyonlama ile elde edilen nihai yük taşıma kapasitesinin üç katıdır.

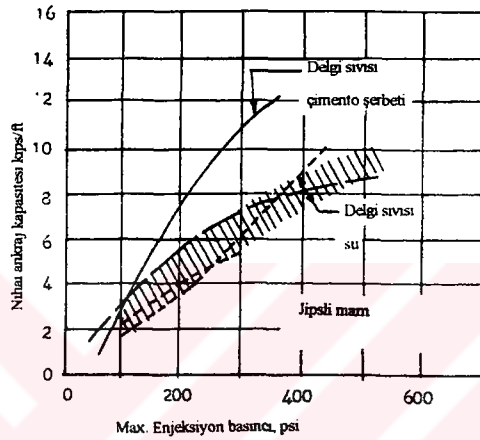


Şekil 3-26 Killi zeminlerdeki ankrajlar için ikincil enjeksiyonun kayma bağı üzerindeki etkisi



Şekil 3-27 Tekrar enjeksiyonlanabilir ankrajlarda nihai yük, ankraj kökü ve enjeksiyon basıncı arasındaki bağıntı.

Aynı zemin koşulları için Jorge (1969), delgi sıvısının deliği yumuşatmasıyla oluşturabileceği nihai yük taşıma kapasitesi değişimini incelemiştir. Şekil 3-28 de, nihai yük taşıma kapasitesi ve enjeksiyon basıncı arasındaki ilişki iki farklı delgi sıvısı olan su ve çimento bulamacı için incelenmiştir. Düşük enjeksiyon basınçlarında her iki delgi sıvısının nihai yük kapasitesi üzerinde aynı etkiye bulunduğu görülürken, yüksek basınçlarda delgi sıvısı olarak çimento bulamacı kullanılan uygulamalarda nihai yük kapasitesinde %30 luk artış görülmektedir.

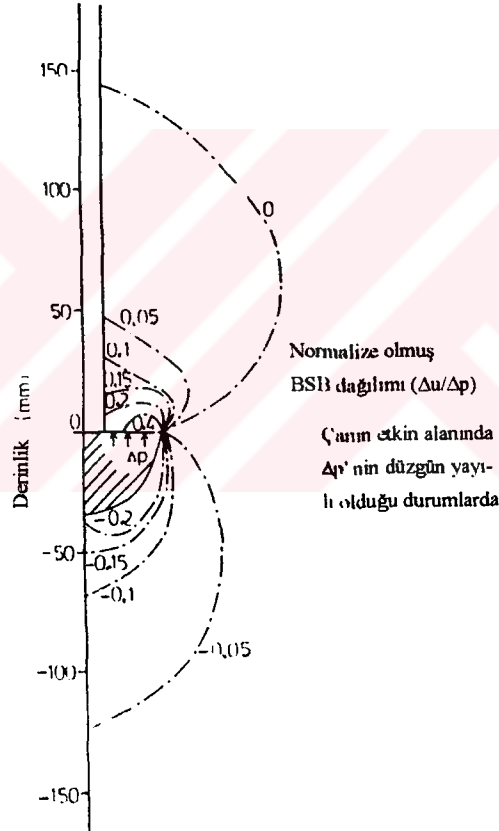


Şekil 3-28 Enjeksiyon basıncı, delgide kullanılan sıvı ve nihai yük taşıma kapasitesi arasındaki ilişki.

Ostermayer (1974), yaptığı deneyler sonucunda, ankrajın taşıma kapasitesi üzerinde delgi tekniğinin önemli olduğunu belirtmiştir. Su püskürterek yapılan delgi işleminde kılıf kullanılsın veya kullanılsın, ankraj deliğinde yumuşama olacağından dolayı nihai kapasitede düşüşe neden olmaktadır. Ankraj kökünün boyu ve çapının, ankraj üzerindeki etkisi araştırılmakta olup, 80-160 mm. çap aralığındaki uygulamalarda, yük kapasitesinin çap artışı ile doğrusal olarak arttığı gözlenmiştir.

Yüzeysel sürtünmenin kök boyu üzerindeki dağılımı konusunda ise çok fazla bilgi bulunmamaktadır.

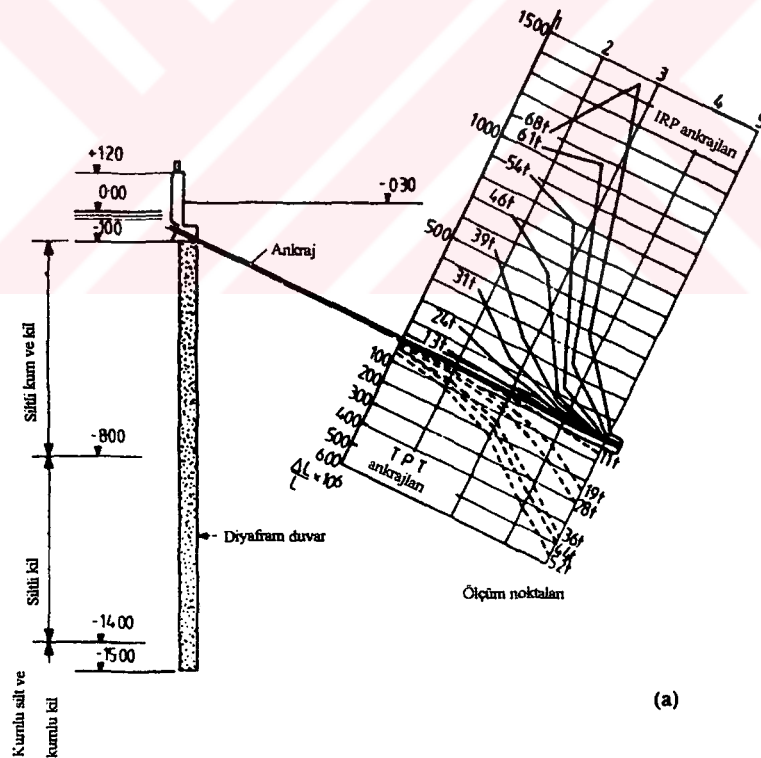
Killi ortamlardaki çan köklü ankrajlar konusunda Tanaka (1980) ayrıntılı araştırmalar yapmıştır. Yaptığı araştırmalarda tek çanlı ankraj kullanarak zeminin konsolidasyonunu sonlu farklar ve sonlu elemanlar yöntemleri ile incelemiştir. Üzerinde titizlikle durduğu nokta, ani yükleme sırasında oluşan boşluk suyu basıncı ve bunu izleyen konsolidasyon hareketi olmuştur. Laboratuvar deneyleri ile elde edilen sonuçlar ve teorik veriler karşılaştırıldığı zaman çok fazla farkların olmadığı görülmüştür. Şekil 3-29 da yükün artışı ile oluşan konsolidasyon süreci görülmektedir. Çanın üst kısmında boşluk suyu basıncı pozitif değerler alırken, alt kısmında negatif değerler almaktadır. Şekilden de görüldüğü üzere, çanın yakınında hidrolik basınç eğrileri maksimum iken çandan uzaklaştıkça oluşan hidrolik basınç düşmektedir.



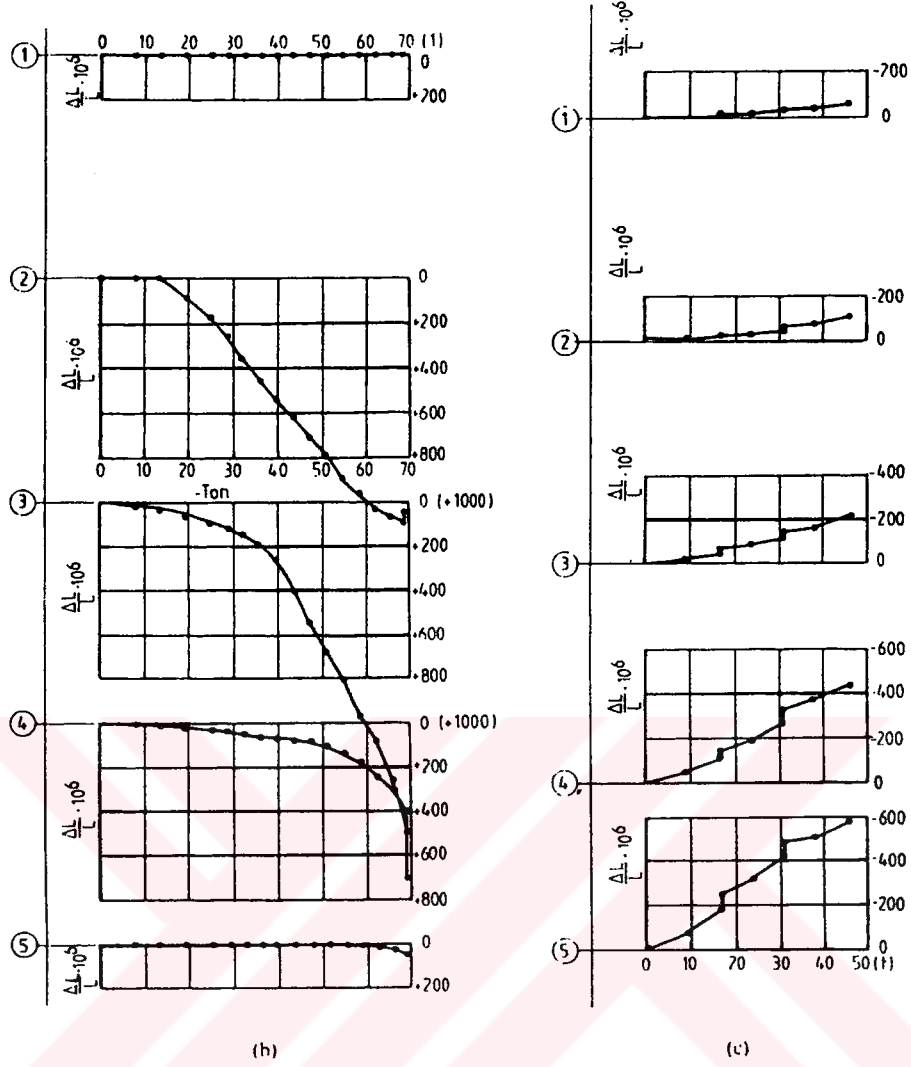
Şekil 3-29 Killi ortamdaki çan köklü ankrajın çevresinde oluşan boşluk suyu basıncı.

Mastrantuono ve Tomiolo (1977) tarafından yapılan bir başka araştırmada, aynı zemine yerleştirilen basınç ve çekme ankrajlarının davranışları incelenmiştir.

TPT basınç ankrajı paslanmaya karşı korunmuş, IRP çekme ankrajı ise özel önlemler alınmamış olan sıradan bir uygulama ile yerleştirilmiştir. Ankraj tendonu üzerine yerleştirilen gerilme-ölçerler ile ankraja yük etkidiği zaman tendon üzerinde oluşan yük dağılımı belirlenebilmiştir. Elde edilen veriler Şekil 3-30 (a) daki gibi olup, kök boyunca etkiyen 5 farklı durum için gerilme dağılımı uygulanan yükün fonksiyonu olarak Şekil 3-30 (b) ve (c) de hem basınç, hem de çekme ankrajı için verilmiştir. Görüldüğü üzere, basınç ankrajında gerilmeler alt uçta yüksek iken üst uca doğru azalmaktadır. Çekme ankrajında ise bunun tam tersine bir çalışma görülmektedir. Ayrıca çekme ankrajındaki gerilme değerleri, basınç ankrajındaki gerilme değerlerinden çok daha yüksek olmakla beraber çekme ankrajları potansiyel olarak paslanmaya karşı daha duyarlıdır.



Şekil 3-30 a) TPT basınç ankrajı ve IRP çekme ankrajındaki yük dağılımı,



Şekil 3-30 b) Basınç ankrajındaki gerilme değerleri, c) Çekme ankrajındaki gerilme değerleri.

Ankraj sistemleri üzerinde bilinen etkenlerden başka birçok faktörden etkilenilmektedir. Araştırmalardan bazıları, boşluk suyu basıncının değişimi, hızlı ve yavaş yüklemenin nihai yük dayanımı ve ankrajların hareketleri üzerindeki etkilerini incelemeye yönelik yapılmışlardır.

Rice ve Hanna (1981), tarafından bu etkiler silindirik kesitli ve çan köklü sistemler için aşağıda özetlenmektedir:

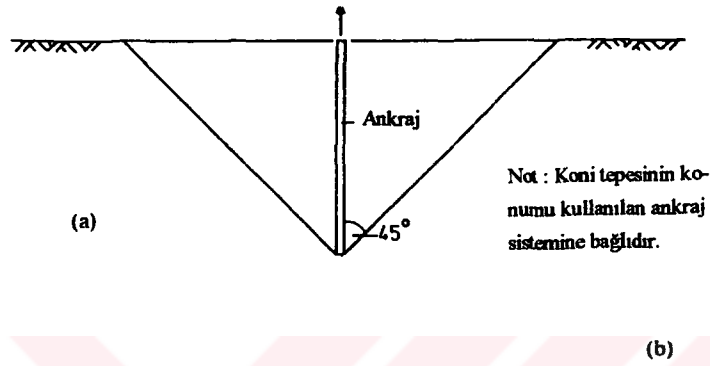
1. Yapımdan sonraki bir ay içerisinde oluşan hızlı yükleme ile ankraj şaft dayanımında belirgin bir artış gözlenebilirken geniş şaftlarda bu artış oranı azalır.
2. Başlangıçtaki yükleme deneyleri sırasında yoğrulmaya ilişkin mukavemet kaybı gözlenmeyebilir. Bir özel durumda, şaftta bu türden bir kayıp gözlenmeden önce bir kaç kere deney yapmak gerekmiştir.
3. Hızlı yüklemenin ilerki zamanlarında yapılan ölçümler ile elde edilen nihai şaft dayanımı ile toplam ve efektif gerilme analizleri uyum içerisinde değildir.
4. Bir kaç saat içerisinde tamamlanan hızlı deneylerde ankraj çevresinde negatif boşluk basıncı oluşur. Bu nedenle yük değerlerinin kısa süreler içinde değişiklik gösterebileceği durumlarda efektif gerilme analizi uygun olmamaktadır.
5. Uzun süreden sonra yapılmış yavaş deneylerde nihai şaft direnci yaklaşık 1' e eşit zemin basıncı katsayısına eşdeğer değerler vermektedir, ancak hızlı deneylerde belirgin yük kaybı meydana gelmektedir.
6. Çan kök gövdeli ankrajlarda taşıma kapasitesi katsayısı teorik değerden daha düşüktür. Bunun nedeni, deney sırasında çan çevresinde oluşan çekme çatlakları olabilir.

3.7 Zemin Kütlesinde Ankraj Göçmesi

Zemin ortamında yapılan ankraj uygulamalarında, göçmenin ankrajın çevresindeki ortamda meydana gelme olasılığı, ankraj boyunun yeterince uzun olması ve kökün ankraj yapısından oldukça uzakta olması nedeniyle düşüktür.

Kaya ortamında uygulanan ankraj sistemlerinde, kayanın kayma dayanımının zeminden çok yüksek olması ve dolayısıyla bu ortamlarda yapılan uygulamalarda kullanılan ankraj yükünün çok yüksek olması nedeniyle kaya kütlesiyle beraber ankraj sisteminin göçmemesi için ankraj derinliğinin çok dikkatli seçilmesi gerekir. Bu seçim yapılırken ankraj sisteminin tek olabileceği gibi

grup halinde de uygulanabileceği dikkate alınmalıdır. Kaya ortamında bulunan ankraj sisteminin göçme şekli olarak değişik düşünceler var olup bunların içinde en çok üzerinde durulan Şekil 3-31 de görülen ters koni şeklindeki kaya bloğu modelidir. Kaya ortamları genelde süreksiz, bozulmamış ve homojen yapıda olmayıp çatlak sistemlerinin ve süreksizliklerin çokça bulunduğu ortamlar olduğu için koni yaklaşımında kaya mekaniğinin uygulanması gerekir.



Şekil 3-31 a) İzotropik kaya ortamında teorik ankraj sıyrılma konisi; b) Anizotropik kaya ortamında göçme yüzeyinin şekli ve yapısı.

Fisürlü kayalar hariç, homojen kaya ortamında uygulanan ankrajlar için ankraj derinlik tahmininde kullanılan basit eşitlikler Çizelge 3-8 de verilmiştir.

Çizelge 3-8 Koni yaklaşımı kullanılarak ankraj gömülme derinliğinin amprik olarak bulunması yöntemi (Hobst,1965)

Kaya türü	Koni derinliği
Homojen	$\sqrt{\frac{F \cdot P}{4 \cdot 4 \tau}}$
Düzensiz fisürlü	$\sqrt[3]{\frac{3 F \cdot P}{\gamma \pi \tan \phi}}$
Düzensiz fisürlü ve su altında	$\sqrt[3]{\frac{3 F \cdot P}{(\gamma - 1) \pi \tan \phi}}$

Bu çizelgede;

τ = Kaya kayma dayanımı

F = Güvenlik katsayısı (2-3)

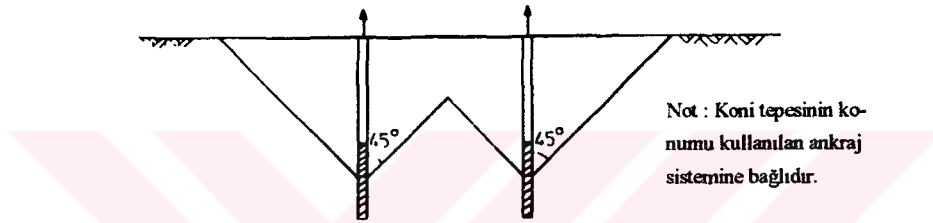
ϕ = Kayada çatlaklardaki sürtünme açısı

γ = Kaya birim ağırlığı

P = Ankraj yükü

dür.

Birbirine yakın uygulanan ankrajların konileri Şekil 3-32 deki gibi birbirleri ile etkileşime girebilir. Bunların gömülme derinliklerinin belirlenmesi için kullanılabilecek eşitlikler Çizelge 3-9 da verilmiştir.



Şekil 3-32 Bitişik iki ankrajın teorik göçme konilerinin etkileşimi.

Çizelge 3-9 Koni yaklaşımına göre ankraj grubunun teorik göçme konisi derinliğinin amprik olarak belirlenmesi (Hobst,1965).

Kaya türü	Koni derinliği
Homojen	$\frac{F \cdot P}{2 \cdot 8 \cdot \tau \cdot s}$
Düzensiz fisürlü	$\sqrt{\frac{F \cdot P}{\gamma \cdot s \cdot \tan \phi}}$
Düzensiz fisürlü ve su altında	$\sqrt{\frac{F \cdot P}{(\gamma - 1) s \cdot \tan \phi}}$
S = Ankraj aralığı	

Bu varsayımları doğrulayacak çok fazla arazi deneyi yapılmamakla beraber Saliman ve Schaefer (1968) in yaptığı deneyde göçme, konik şekilli kaya kütlelerinde meydana gelmiştir. Brown (1970) tarafından yapılan deneylerde ise göçmenin yatay tabakalar boyunca gerçekleştiği ve konik göçme kamasının oluşmadığı belirtilmiştir. Littlejohn et al. (1977) tarafından uygulanmış

olan 57 adet ankraj üzerinde yapılan deneylerden göçmenin, 1.5 m. gömülülük derinliğine kadar kaya kütlesinde, daha yüksek gömülülük derinliklerinde bağda oluştuğu sonucuna varılmıştır. Göçme bloğunun şeklinin ise kaya kütlesinin yapısına bağlı olduğu görülmüştür. Çatlaksız kaya ortamında nihai sıyrılma dayanımı aşağıdaki gibi tahmin edilebilir:

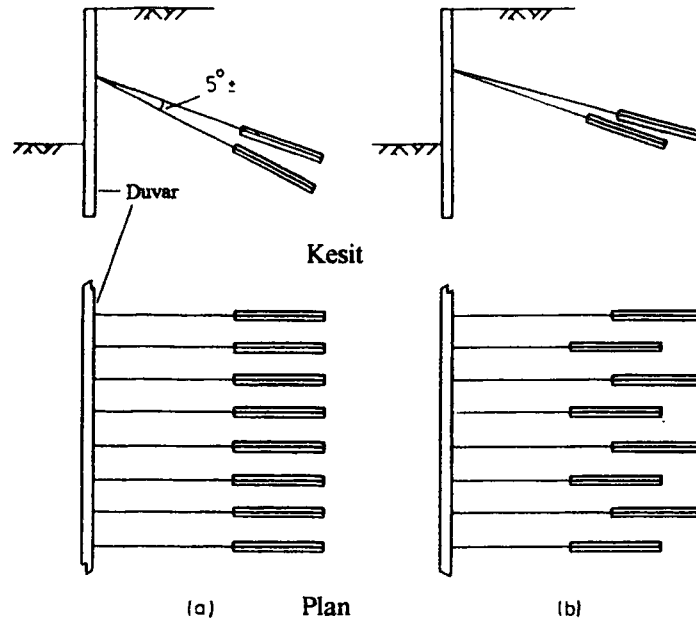
$$P \text{ (kN)} = 600 \cdot d^2 \quad (3-21)$$

Burada;

d : Metre cinsinden gömülme derinliğidir.

Ankrajların birbirlerine yakın aralıklar ile uygulanması gereken durumlarda gerilmelerin oluştuğu kök bölgesindeki kaya bloğunda bitişik ankrajların gerilme ve yerdeğiştirme etkilerinin birbirleri ile etkileşmesi kaçınılmaz olur. Böyle durumlarda, sistemde oluşabilecek hareketi kontrol edebilmek için ankraj boyları şaşırtmalı olarak uzunlu-kısalı yapılmalıdır. Bu yapılacak uygulama ile özellikle çatlaklı kaya ortamlarında süreksizlikler boyunca oluşan gerilmelerin düşürülmesi de sağlanır. Bundan başka diğer bir çözüm de ankrajların şaşırtmalı olarak farklı eğimlerde uygulanmasıdır (Şekil 3-33).

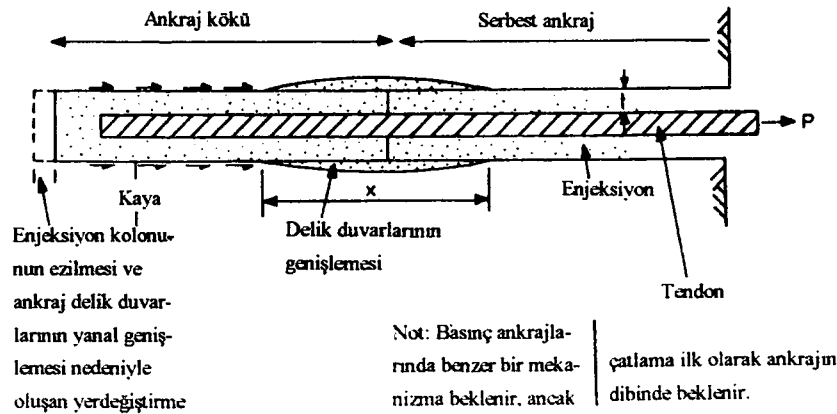
Kaya ortamının yapısında ileride olabilecek olan değişikliklerin de dikkate alınması gerekir. Bu değişiklikler, yüklemede meydana gelen değişimlerden, yer altı suyunun etkisinden veya yer altı suyunun seviyesinin değişiminden kaynaklanabilir. Ankrajın uygulandığı ortamda meydana gelen değişiklik sisteme hemen yansır. Zeminde, kaya ortamında özellikle süreksizlikler çatlaklar nedeniyle meydana gelen yerdeğiştirmeler nedeniyle gözlenen yapısal değişimler ankraj sisteminin yüklenmesinde değişikliklere neden olduğundan ankraja uygulanmış olan öngerme yükünde değişim beklenir.



Şekil 3-33 Yakın aralıkla yapılan ankraj uygulama yöntemleri a) Değişen eğimlerde; b) Değişen boylarda

3.8. Enjeksiyon Kolonunun Çatlaması veya Ezilmesi

Şekil 3-34 deki çekme ankrajında, ankrajın uygulandığı ortamın deformasyon modülü E_R olarak gösterilmiştir. Zayıf kaya ortamında E_R , enjeksiyonun deformasyon modülüne göre daha küçük olacaktır. Aynı zamanda, kayanın



Şekil 3-34 Enjeksiyon kolonunun ezilmesiyle ankraj duvarında meydana gelen genişleme mekanizması.

düşük kayma dayanımı ile sınırlı yanal deformasyon dayanımı ve kaya-enjeksiyon değme yüzeyi arasında düşük sürtünme dayanımı vardır. Tendonun yüklenmesiyle beraber, ankraj kökünde sıyrılmaya karşı tam dayanım sağlanması için büyük ölçüde hareket olmalıdır, dolayısıyla, enjeksiyon kolonu aldığı yükü kaya ortamına iletmeye başladıkça çevresel genişleme oluşur. Enjeksiyonda gerilme düzeyi, enjeksiyonun basınç dayanımının en üst seviyesine ulaştığında enjeksiyonda ezilme meydana gelir. Çekme ankrajlarında bu, ankraj kökünün üst ucunda oluşur ve kök ile serbest boya doğru ilerler. Ezilmiş enjeksiyonda gözlenen yanal hareket, uygulanan yükü mobilize edebilecek belirgin sürtünme direnci oluşuncaya kadar devam edecektir. Çevresel genişlemenin miktarı kayanın sertliğine bağlıdır. Bunun tahmini için kullanılacak en etkin yöntem pressiyometre deneyidir. Ankrajın yüke karşı dayanımda etkin olabilmesi için ankraj sisteminde ek harekete gerek olmaktadır. Bu etkinin azaltılabilmesi için iki değişken kontrol edilmelidir. İlk olarak uygulanan yükün şiddeti kök boyunca oluşan ortalama bağ gerilmesini zorlar, ikinci olarak ise tendon çevresindeki enjeksiyon kaplaması enjeksiyondaki ortalama gerilmeyi kontrol eder. Ankraj kökünde paslanmaya karşı çift kat uygulanan koruma, enjeksiyon kaplamasında düşüşe neden olacağından dolayı zayıf kaya ortamlarında oldukça olumsuz sonuçlar doğabilir.

3.9 Ankraj Grupları

Kazık gruplarında olduğu gibi yakın aralıklar ile uygulanan sistemlerde birbirleriyle etkileşimleri nedeniyle grup ankrajların davranışları ve kapasiteleri tek başlarına gösterdikleri davranışlardan ve sahip oldukları kapasitelerden düşük olabilmektedir. Yapılmış olan deneysel çalışmalarda da ankraj gruplarında yükün dağılımının üniform olmayıp veriminin tekil ankrajdan daha düşük olduğu gözlenmiştir.

Ankraj gruplarında uygulanan ankrajların aralarındaki yakın aralıkların, ankraj kökü boyunca oluşan bağ şiddeti ve dağılımı üzerindeki etkisinin ne

olduğu tam olarak bilinmemektedir. Bu nedenle ankraj kökleri arasında ankraj kök çapına bağlı bir minimum uzaklık önerilmektedir.

3.10 Uzun Süreli Yükleme ve Krip Etkisi

Krip, ankraj sistemi üzerindeki statik yüklemenin zamana bağlı olarak oluşturduğu etkidir. Uzun süreli yükleme sonucunda ankrajda zamanla farklılık gösteren ölçüde hareket gözlenebilir. Bu etkiler, a) zeminde, b) ankraj elemanlarında-enjeksiyonda krip, çelik gevşemesi, çelik-enjeksiyon bağının bölgesel kopması, duvar ile ankrajı bağlayan tendon bağlantı elemanlarında krip-gözlenebilir. Ankraj sistemlerinin tasarımı ve uygulaması, krip etkisi gözönünde bulundurularak yapılmalıdır. Sistemde, zamanla oluşabilecek yer değiştirmeler, sistem için öngörölmüş sınır değerlerin üzerinde olmamalıdır.

3.10.1 Zemindeki krip etkisi

Kohezyonlu zeminlerde ve hatta iyi derecelenmiş kohezyonsuz zeminlerde, göçme yüküne ulaşılmadan büyük krip hareketleri gerçekleşebilmektedir. Bu gibi zeminlerde, daneler arası boşluklar çok küçük olduğu için, boşluklarda bulunan suyun dış yükler etkisiyle çıkışı zamana bağlı olup oldukça uzun sürmektedir. Zeminin permeabilitesi, sabit yük altında zeminin davranışını belirleyici rol oynamaktadır. Benzer etkin kayma dayanımı parametreleri içeren kum ve kilden permeabilitesi daha düşük olan kil sabit yük altında zamana bağlı bir dayanım ve davranış göstermektedir. Kum ise, daneler arasındaki boşluk suyunun daha kolay boşalması ile zemin üzerine etkiyen yükten hemen etkilenerek anında davranış ve şekil değişikliği gösterir. Doygun kil yüklendiği zaman, yükün yaklaşık olarak tümü kısmı boşluk suyu tarafından karşılanır.

Kısa süreli yüklemelerde, killi zeminin su içeriğinde ve hacminde hızlı değişimler gözlenmez, ancak yükün artışı gerilme bölgesinde zeminde plastik yer

değiştirmelere neden olur. Zamanla, zemin yapısıyla beraber efektif gerilmelerde belirgin değişimler gözlemlendikten sonra kil plastik akış durumuna geçer.

Özellikle kalıcı ankraj sistemlerinin tasarımları, zamana bağlı davranış gösteren zeminlerin sabit yükler altında gösterecekleri krip etkisi göz önünde bulundurularak, yapılmalıdır. Krip hareketi ve zaman arasında kurulan bağıntılara göre elde edilen matematiksel ifadelerin yarı logaritmik ölçekte çizilmesi ile bir doğru elde edilmiştir (Ostermayer,1974). Elde edilen bu doğrunun eğimi krip sabitini verir ve bir sonraki yük adımında artar. Yük altında, yer değiştirme zamanla düşmeyip devam ettiğinde nihai yüke ulaşıldığı düşünülmektedir.

Bu durum ankrajın göçmesinin tanımlanmasını ve çalışma yükünün belirlenmesini sağlar.

Ostermayer (1974) ve Alman Şartnamesi' nin tavsiye ettiği gibi, K_{Δ} krip katsayısı :

$$K_{\Delta} = \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{\log(t_2/t_1)} \quad (3-22)$$

şeklinde hesaplanır. Bu eşitlikte yeralan bütün değişkenler Şekil 3-35 de gösterilmiştir. Bu eşitlikte, ankraj elemanlarından kaynaklanan krip etkisi ayrılmamıştır.

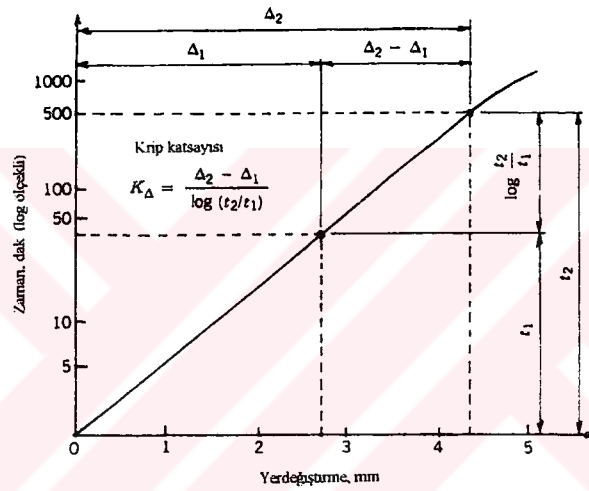
Yük uygulandıktan sonra krip etkisi hemen büyük bir değer olarak gözlenmez, ancak zamanla krip etkisi hızlı olarak artar :

1. Orta-yüksek plastisiteli, sert killerde göçme yükünün % 40' ında.
2. Orta-yüksek plastisiteli,sert-çok sert killerde göçme yükünün % 55' inde.
3. Orta-yüksek plastisiteli,çok sert-katı killerde göçme yükünün % 80'inde.

4. Üniform dağılımlı kumlarda göçme yükünün % 80' inde.

Yukarıda verilen sınır değerler, silindirik enjeksiyon şaftının çevresinde plastik akışın oluştuğu ve kalıcı ankrajlarda kaçınılması gereken sınırlardır. Ostermayer (1974), çan köklü ankraj sistemlerinde daha büyük krip hareketleri belirlemiştir.

Çok miktarda organik bileşenler içeren, gevşek kumlarda veya yoğunluğu 0.9 dan küçük veya likit limiti % 50 den az olan kohezyonlu zeminlerde krip etkisi ve ankrajların birbirleri üzerindeki etkisi tam olarak bilinmiyorsa kalıcı ankrajların yapımı tavsiye edilmemektedir.



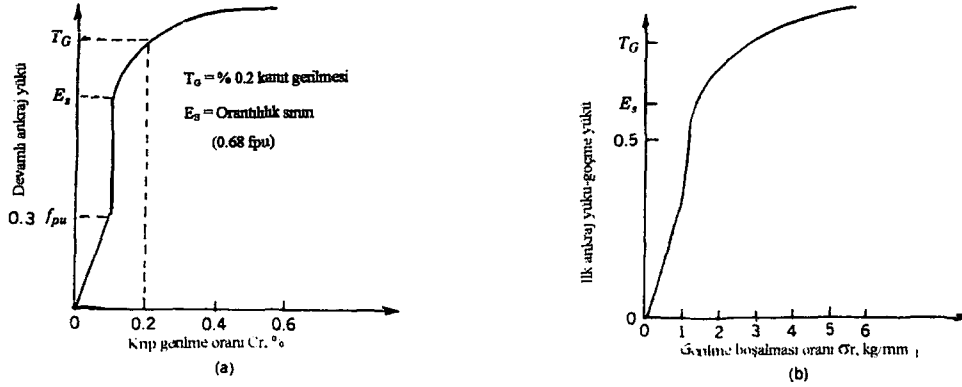
Şekil 3-35 Kildeki ankrajlarda oluşan logartmik zaman-yerdeğiştirme eğrisi.

3.10.2 Ankraj elemanlarında krip etkisi

Ankraj enjeksiyonları, özellikle akışkanlığı arttırıcı katkıların kullanıldığı bazı durumlarda krip etkisine karşı duyarlı olabilmektedir. Genellikle çimento esaslı enjeksiyonlarda, sürekli yük altında belirgin krip etkileri gözlenmektedir.

Gevşeme ve krip, tendonun zamana göre davranışını ifade eder ve yaklaşık olarak öngerilme kaybına eşittir. Yapılan laboratuvar deneyleri ile tendon üzerinde oluşan gevşeme ve krip etkileri çelik cinsine göre belirlenir ve ankrajın

servis süresi boyunca karşılaşıacağı öngerilme kaybı önceden tahmin edilebilir. Gevşeme davranışı Şekil 3-36 da şematik olarak gösterilmektedir. Çeliğin normal elastik davranışında gerilme artışı ile beraber şekil değiştirme de artar. F gerilme değerinde gevşeme gözlemlendiğinde, şekil değiştirme miktarında değişim olmazken gerilme düşüşü ve buna bağlı olarak yük kaybı gözlenir.



Şekil 3-36 a) Çelikte krip etkisi : Krip uzama oranı-sürekli ankraj yükü.
b) Krip ve gevşeme arasındaki ilinti.

Burada ortaya çıkan Δ_F , net öngerilme yük kaybını gösteren çelik gevşemesi iken, Δ_e miktarı da krip etkisine gevşemenin katkısıdır. Böylece, elastik bölgede ve benzer koşullarda, krip ve gevşeme en basit haliyle birbiriyle bağlanabilir:

$$\sigma_r = E \cdot c_r \quad (3-23)$$

σ_r : Gevşeme oranı

c_r : Çelik tendonun krip oranı

E : Çeliğin elastisite modülü

Littlejohn ve Bruce (1977), gevşeme ile ilgili şu önemli sonuçlara varmıştır :

1. 1000. saat sonunda elde edilen gevşeme değerlerinin nihai değerlere yakın olduğu varsayımı oldukça uzak bir yaklaşımdır.

2. Stabilize tel kullanımı, f_{pu} ' nun % 75' indeki öngerilme yük kaybının % 5-10 dan % 1.5 a kadar düşmesini sağlayabilmektedir.
3. Gevşeme oranı, ilk gerilmeye ve çelik tipine göre değişir. % 50 f_{pu} ' luk ilk gerilme kadar gevşeme çok küçüktür. % 55 f_{pu} ' nun üzerindeki gerilmelerde gevşeme için:

$$\frac{f_t}{f_i} = 1 - \frac{\log t}{10} \left(\frac{f_i}{f_y} - 0.55 \right) \quad (3-24)$$

eşitliği yazılabilir. Burada;

f_t : t anındaki kalıcı gerilme

f_i : ilk gerilme

f_y : Çalışma koşullarında ve sıcaklığındaki % 0.1 kanıt gerilmesi

t : ilk gerilme uygulandıktan sonraki "saat" olarak süre

4. % 70 f_{pu} ' luk ilk gerilme ile, 1000. saateki tekrar germe toplam gevşeme miktarını 1/4 ü oranında düşürürken, % 80 f_{pu} ' luk ilk gerilme ile düşüş 1/2 oranında olur. En belirgin ve önemli parametre, tendonda oluşacak kalıcı gerilme değeri olduğundan dolayı gevşeme kaybı uygulama öncesi kesin olarak belirlenememektedir.
5. Öngerilmeli halatın yanal çözülme eğilimine bağlı olarak gevşemesi üzerinde halat krikosunun etkisi önemli bir etkindir. Kriko kuvvetinin dönel bir bileşeninin varlığı, gevşeme kaybını kompanse etmekte etkili olabilir.

Çelikteki krip etkisinin, zeminde oluşan krip etkisi gibi deneysel olarak ölçülmesi ve teorik olarak açıklanması zordur. Şekil 3-36 (a) da, çelikteki krip uzama oranı devamlı yüke göre gösterilmektedir. Buradan görüldüğü gibi, krip düşük gerilme değerlerinden başlamaktadır. C_r , krip oranı % 0-30 f_{pu} aralığının üzerinde artar, orantı sınırı olan 0.68 f_{pu} ya kadar sabit kalır ve yüksek yüklerde ise hızlı bir şekilde artar. Sürekli uzama artışı ise % 0.2

elastik limitinin (kanıt gerilmesi) üzerinde görülmektedir. Fenoux ve Portier (1972) tarafından, orantı sınırına yakın deney gerilmesinde ankraj serbest boyunda 2 dakikada 0.2 mm/m krip etkisi belirlenmiştir.

Krip oranları orantı sınırının altındaki gerilmeler için çelik cinsinden bağımsız olarak kabul edilebilir. Bu bölgede krip :

$$\text{Kitlemeden sonra } t \text{ anında krip} = c_r \cdot \log t \quad (3-25)$$

Düşük gerilme değerlerindeki krip ve gevşeme oranları arasındaki doğrusal orantı Şekil 3-36 (b) deki gibidir.

3.11 Tekrarlı Yükleme

Tekrarlı yükleme, ankraj çevresindeki zeminde çevrimli kayma gerilmeleri oluşturur. Kumlu zeminlerde, birkaç çevrimden sonra danelerin tekrar dizilimi nedeniyle zeminde sıkılaşma gözlenir. Buna eşdeğer hacim değişimi olmaksızın normal gerilme değeri düşmelidir. Moussa (1976) kuru kumda yaptığı çevrimli yüklemeler ile çevrim sayısının artmasıyla düşey gerilmenin kademeli olarak düştüğünü göstermiştir. Youd ve Craven (1975) benzer koşullarda yaptığı deneylerde çevrim sayısının artışı ile artan sıkılık sonucunda düşey gerilme sabitleri elde etmiştir. Çevrimli yükleme ile kök bölgesi çevresinde oluşan düşey gerilmedeki kademeli düşüşün ardından eleman göçünceye kadar ankraj bağ sürtünmesi düşer. Kilde, çevrimli kayma gerilmeleri, etkin gerilmeyi azaltıp bağın düşmesi ile sonuçlanan boşluk suyu basıncının kademeli olarak kümülatif artışı ile beraber gözlenir. Çevrimli kayma gerilmeleri kilde yoğurulma etkisine, dolayısıyla da kayma dayanımında düşüşe neden olabilir.

Tekrarlı yüklemenin etkilerinin belirlenmesi için yapılmış çok fazla deney bulunmamakla beraber, yapılmış olan arazi çalışmalarında nihai statik sıyrılma yükünün altındaki yük değerlerinde tekrarlı yükleme sonucu ankrajın göçme

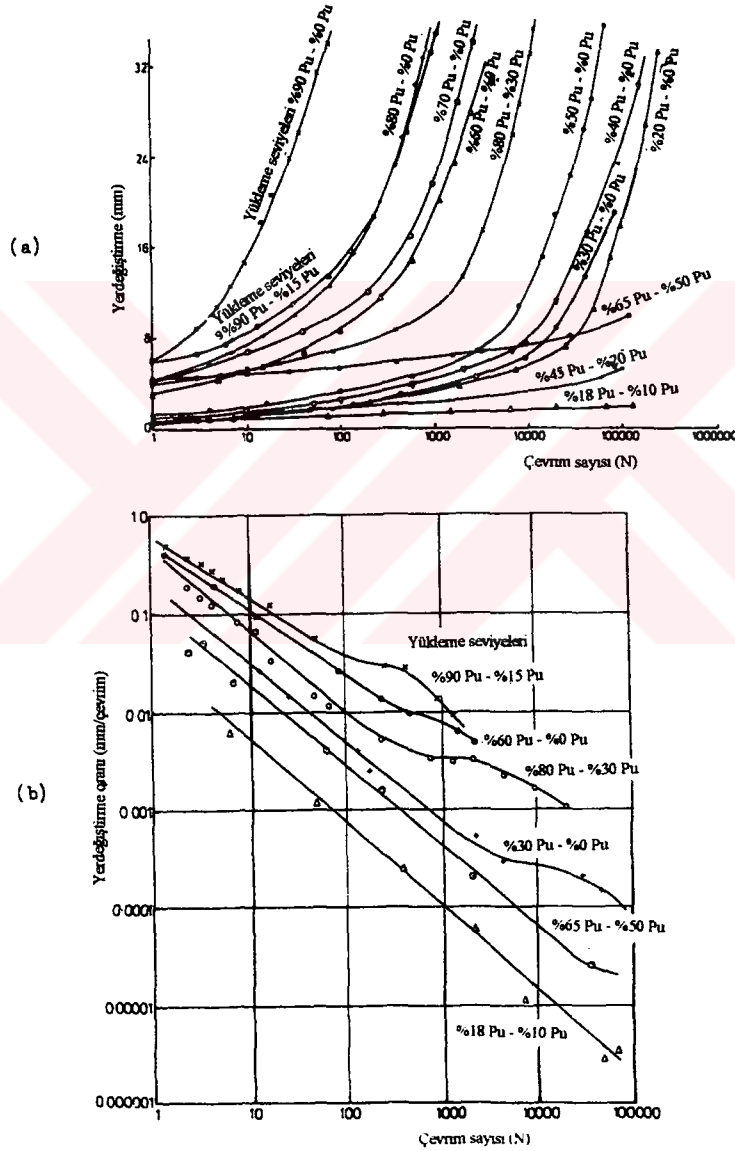
olasılığı belirlenmiştir. Ankrajlı sisteme etkiyen yüklerin çevrimli olarak değişim gösterme nedenleri, ankraj uygulamasının yapıldığı ortama göre değişir. Özellikle deniz yapılarında dalga ve gel-git olayları, yüksek yapıların desteklenmesinde rüzgar etkisi gibi özel etkenler olduğu gibi ısı değişimleri de tekrarlı yüklemeye neden olabilir.

Carr (1971), çevrimli yüklemenin ankraj sisteminde meydana getirdiği yerdeğiştirme miktarını arttırdığını ve çevrim sırasında yükün yarıya kadar değil de sıfıra indirilmesinin yerdeğiştirme miktarını daha da arttırdığını söylemiştir. Abu Taleb 1974, öngerilmeli ankrajlar üzerinde yaptığı çalışmalarda çevrimli yüklemenin öngerilme kuvvetini düşürdüğünü belirlemiştir. Al-Mosawe (1979), plakalı, ölü ankraj ile öngermeli ankrajların çevrimli yüklemeye karşı davranışlarını karşılaştırmış ve öngermeli ankrajların ömürlerinin ölü ankrajlara oranla 10 kat daha fazla olduğunu belirlemiştir. Şekil 3-37 (a) da yük çevriminin ankraj hareketine toplam etkisi gösterilmektedir. Bu veriler 38 mm. çapında, kuru, orta sıkı, plakalı ankrajlar üzerinde yapılan deneylerden elde edilmiştir (Al-Mosawe,1979). Yükleme dakikada bir çevrim olacak şekilde yapılmıştır. Şekil, ankraj hareketini uygulanan maksimum yük ve çevrim yükü cinsinden göstermektedir. Uygulanmış olan yükün her çevrim kademesi sonunda tamamen sıfıra indirilmesi durumunda etki çok daha fazla olur. Şekil 3-37 (b) de ise çevrim sayısının fonksiyonu olarak her çevrimde ankraj sisteminde meydana gelen yerdeğiştirme miktarındaki değişim gösterilmektedir.

Elde edilmiş olan verilere ve yapılmış olan gözlemlere göre ankraj sisteminin çevrimli yükleme altında göstereceği davranış konusunda şu sonuçlara varılmıştır :

1. Ankrajların çevrimli yüklenmesi, sistemde ek yerdeğiştirmelerin oluşmasına neden olur.

2. Yük değişiminin olduğu aralık önemli olup, ankraj sisteminin servis süresini belirler.
3. Ankraj sistemine öngerilme uygulanması çevrimli yüklemenin etkileri nedeniyle sistemin servis süresini, ölü ankraj sistemine oranla uzatır.
4. Granüler zeminlerde, ankraj çevresindeki dane sıralanmasında kademeli bozulma olur. Bu, ankraj hareketine bağlı olarak oluşan yoğunluk değişimine ve ankraj shaftındaki normal gerilme düşüşüne dayanır.



Şekil 3-37 Çevrim sayısının a) Ankraj yerdeğiştirmesi-değişken yük miktarına göre çevrimli yüklemeye; b) Ankraj yerdeğiştirme oranına; etkisi.

Çevrimli yüklemeyle karşılaşacak olan çok özel ve önemli uygulamalarda statik yükleme ile alışılmış tasarım yapılmamalıdır. Yüksek basınç ile enjeksiyon uygulanmış ankrajlarda çevrimli yüklemenin etkisi; killi ortamlarda yapılmış olan uygulamalarda yavaş ve çevrimli yüklemenin etkisi bilinmemektedir ve araştırmalara açıktır.

3.12 Ankraj Eğiminin Etkisi

Ankraj sisteminin yapımı sırasında yapım koşulları ankrajların değişik eğimlerde uygulanmasını gerektirebilir. Özellikle, günümüzde ankraj sistemlerinin uygulaması yapılmadan arazide, arazi koşulları içinde deney ankrajları uygulanması gerekmektedir. Bu deney ankrajları, uygulama kolaylığı nedeniyle genellikle düşey doğrultuda olmakta ve dolayısıyla yük de düşey doğrultuda uygulanmaktadır. Deney ankrajlarından elde edilen veriler ile sistem içinde kullanılacak olan yatay ile belli bir açıda yapılacak olan ankrajların olası davranışları önceden yorumlanmaya çalışılır. Bu belirsizliğin araştırılması için iki farklı durum incelenmesi gerekmektedir. Öncelikle, yüksek enjeksiyon basıncı ile kök oluşturularak arazinin mevcut sistemi değişip bölgesel olarak yüksek gerilme oluşur. Böylelikle ankrajın performansı yeni gerilme rejimine göre kontrol olur ve zemindeki ankraj uygulanmadan önceki gerilme durumunun ankraj davranışı üzerindeki etkisi çok azdır. Eğer deneyler ile bu mantığın doğruluğu belirleniyorsa, düşey deney ankrajlarından elde edilen veriler ile eğimli ankrajların davranışları hakkında tahminler yapılabilir. Diğer yandan, ankraj sisteminin kökü basınçlı enjeksiyon ile yapılmıyor ise, bu ankrajın ankraj-zemin değme yüzeyindeki zemin dayanımını mevcut doğal arazi gerilme durumu belirleyecektir. Bu durumda düşey doğrultuda uygulanan deney ankrajı sonuçları ile eğimli ankrajın davranışının ve performansının tahmininin yapılması doğru sonuç vermeyecektir.

Hanna (1973), Chandler (1968) in killi ortamlardaki kazıklar için etkin gerilme yaklaşımını temel alarak killi ortamlardaki ankrajların sıyrılma dayanımını aşağıdaki eşitlik ile vermektedir:

$$P = A \cdot \mu \cdot \sigma_v' \cdot K_o \cdot \tan \phi_a' \quad (3-26)$$

Burada;

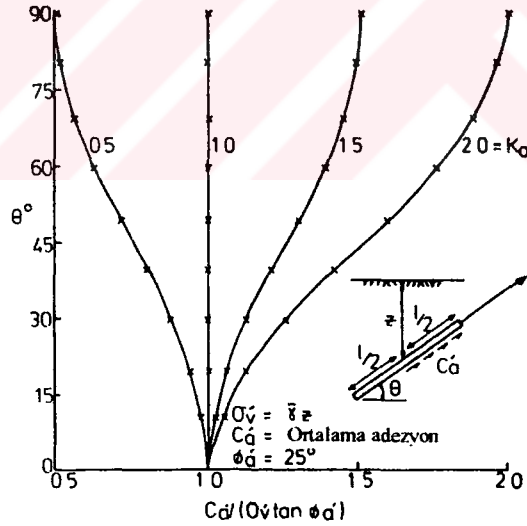
σ_v' : Ankraj kökü çevresindeki zeminde ortalama düşey etkin gerilme.

μ : Boyutsuz katsayı.

K_o : Sükünetteki toprak basıncı katsayısı.

ϕ_a' : Ankraj şaftı/zemin arası drenajlı sürtünme açısı.

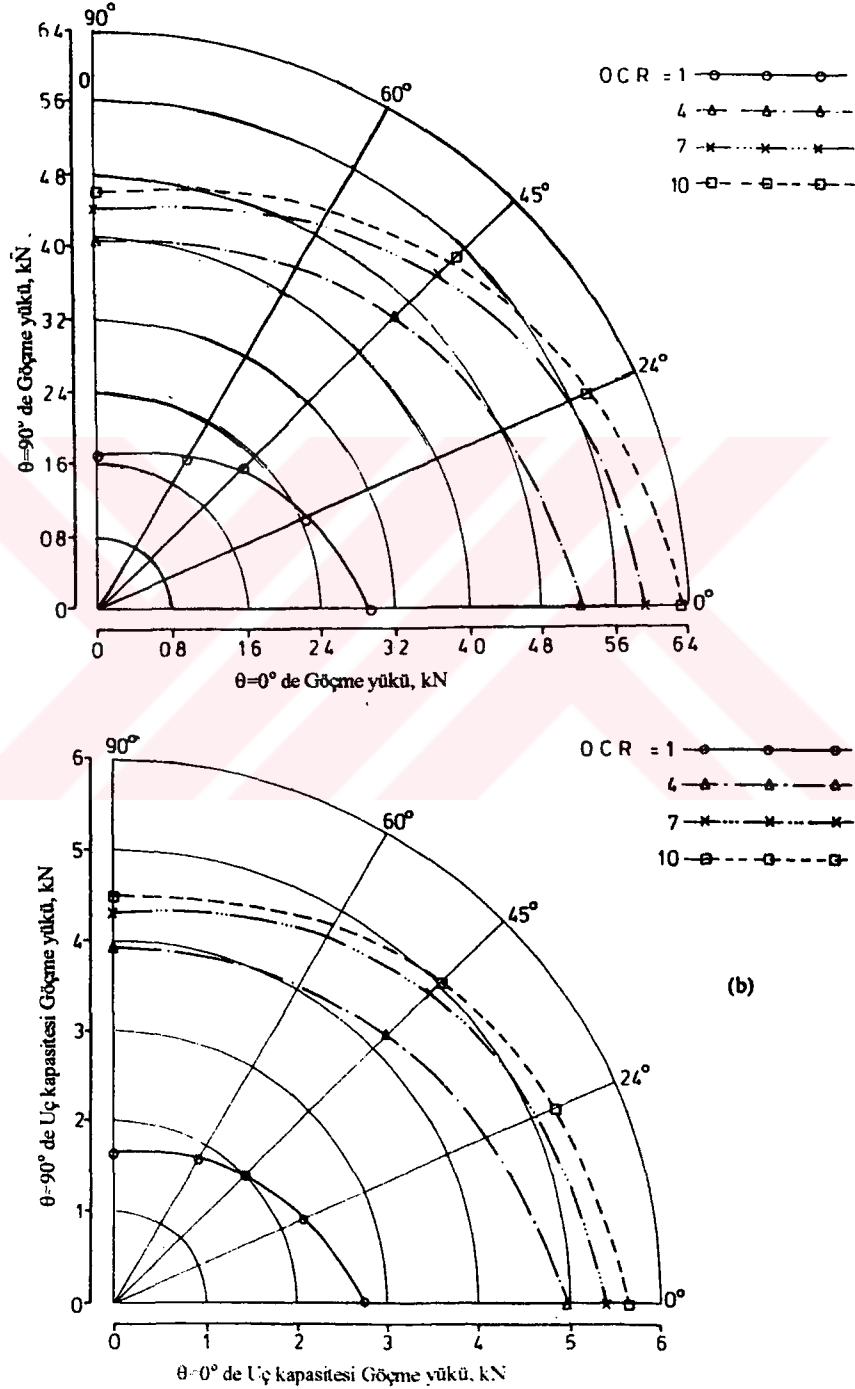
Ankraj şaftının düzgün bir düzlem olmaması nedeniyle şiddeti ve doğrultusu K_o değerine bağlı olan ilk kayma gerilmesinin bu düzlem üzerine etkimesi gerekir. Şekil 3-38 de hesaplanmış olan değişken adezyonun K_o ve ankraj doğrultusu, θ ya göre değişimi verilmiştir.



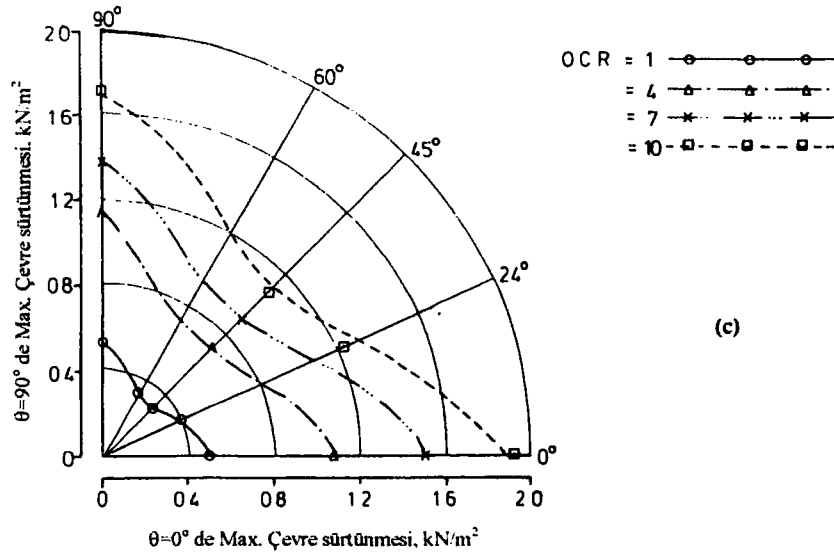
Şekil 3-38 Killi zeminlerdeki ankrajlarda, ankraj kökündeki ortalama adezyonun teorik olarak K_o ve θ ya göre değişimi.

Daha geniş veriler, Elhaggan (1978) tarafından yapılmış olan detaylı ve büyük ölçekli laboratuvar deneylerinden elde edilmiştir. Bu deneyler 300 mm.

kök boyu ve 73 mm. çapı olan silindirik kök gövdeli ankrajlarda yapılmıştır. Ankraj boyu boyunca yük dağılımı ölçülmüş ve kök boyunun ortasına sabit etkin düşey basınç uygulanıp, ankrajın eksenel yüklenmesi düşeyden yataya doğru değişik konumlar için denenmiştir. Nihai ankraj yükünün, ön taşıma yükünün ve sürtünme yükünün yükleme doğrultusuna göre değişiminin kutupsal gösterimi Şekil 3-39 daki gibidir.



Şekil 3-39 a) Aşırı konsolidasyon oranına göre ankraj yükünün değişiminin kutupsal gösterimi. b) Ankraj uç yükünün değişiminin,



Şekil 3-39 c) Ankraj yüzey sürtünmesinin aşırı konsolidasyon oranına göre değişiminin, kutupsal gösterimi.

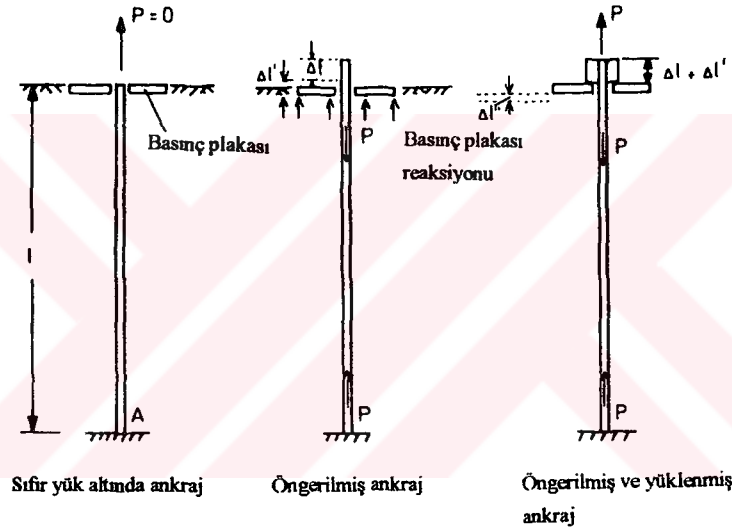
4. ANKRAJLARDA UYGULANAN DENEY YÖNTEMLERİ ve İSTENİLEN KABUL ŞARTLARI

4.1 Giriş

Bu bölümde, ankrajların yük-yerdeğiştirme davranışı ele alınacaktır. İlk başta oldukça basit görülen bu konu, ileride ele alındığında görüleceği gibi oldukça karmaşık ve önemlidir. Ankrajlı yapının göstereceği davranış, ankrajda oluşacak olan yük dağılımından etkilenir. Bu nedenle, ankrajın deneyler sonucu elde edilen yük-uzama eğrisinin şeklini etkileyen değişik etkenlerin hepsinin incelenmesi gerekmektedir. Yükleme deneyleri ankraj sistemlerinin uygunluklarını belirlemek için yapılan en önemli deneylerdir. Bu deneyler ile ankraj, uygulandığı ortam içersinde gerçek koşullarda denenmiş olup teorik olarak yapılan tahminlerin doğruluğu kısmen kontrol edilmiştir olur. Bu deneylerde incelenmesi gereken birbiriyle ilişkili üç ayrı kısım vardır. Bunlar; ankraj elemanları, zemin veya kaya ortamı ve germe aygıtlarının mekanik etkileridir.

Ankraj sistemi, uygulandığı ortama bağlı olarak hareket etmesiyle çalışır. Daha önce 1. Bölüm de açıklandığı gibi kullanılan ankraj sistemlerinin hepsine öngerme kuvveti uygulanmayabilir. Bu tip pasif ankrajlara, bulundukları ortamda hareket meydana gelmedikçe yük etki etmez. Mühendislik uygulamalarında, genelde belli sınırlar içinde kalmak koşuluyla sistemin hareketine izin verilebilmektedir. Ancak, günümüzde yapılan yapıların ve dolayısıyla etkisinde kalacakları yüklerin büyüklüğü nedeniyle ankrajlara öngerme kuvveti uygulanarak sistemin servis süresince meydana gelebilecek yüklerin neden olacağı hareket miktarı en düşük seviyede tutulur. Ankraj sistemine yük etkimeye başladıktan sonra çelik tendonda serbest boy boyunca elastik uzama gözlenir. Kullanılan tendon için geçerli olan sınır yük değerine kadar serbest boyda oluşacak uzama miktarı ise birçok yapının dayanamayacağı büyüklükte (cm. boyutunda) olacaktır.

Bir ankraj uygulamasının davranışı genel olarak Şekil 4.1 de görüldüğü gibidir. Yükleme plakası aracılığı ile, A noktasından tutturulmuş olan l boyunda ankraja P yükü uygulandığında, ankraj Δl elastik uzamasını gösterir. Bu yükleme ile aynı zamanda zeminde de $\Delta l'$ kadarlık bir sıkışma oluşur. Germe krikosu, çıkarıldıktan sonra ankraja öngerme yükü uygulanarak sistem bu yük ile kilitlenir. P şiddetinde bir dış yük ve öngerme yüküne eşdeğer bir yükün sisteme etkimesi reaksiyonu dengeler ve zeminde $\Delta l''$ büyüklüğünde etkiye neden olur. Ankraj deneyinin uygulanmasının en önemli amacı ankraj kafasının uygulanan yüke ve zamana göre hareketini belirlemektir. Şekil 4.1 de gösterilen durumun idealize edilmiş olduğu ve gerçekteki uygulama sonuçları ile kısmen farklılıkları olduğu alınan verilerden görülmüştür.



Şekil 4-1 Ankraj sisteminin, etkiyen yükler altında gösterebileceği idealize edilmiş davranışı.

Bu bölümde, ankraj sistemlerine uygulanan germe işlemi, deney metodları ve istenilen kabul koşulları, uzun süreli gözlemlenmesi incelenecektir. Ankraj sisteminde kullanılan deneyler ile kapasite ve davranış kontrolü yapılırken, deneyler sonunda sağlaması istenilen koşullar ankrajlı yapının kısa veya uzun süreli göstereceği davranışın uygunluğunun ve ankrajın etkinliğinin kontrolünü sağlar. Tasarım aşamasında veya uygulamada yapılmış olan bir hatadan

dolayı sistemde oluşabilecek tehlikeli etkiler daha önceden germe işlemi veya deney sırasında belirlenmiş olur ve gerekli önlemler alınır.

4.2 Ankrajların Yükleme Deneylerini Etkileyen Etkenler

Ankraj sisteminde kullanılan çelik tendonun uzama-gerilme davranışı özelliği zamana ve gerilmeye bağlıdır. Çelik tendonun kısa bir parçası üzerinde yapılan deneyler ile bu tendonun gerilme-uzama davranışı belirlenir. Yapılan deneyler ile çeliğin akma gerilmesi, deformasyon modülü ve % 0.1 kanıt gerilmesi belirlenebilir. Bu deneyler ile belirlenmiş olan değerler ve uzun tendon üzerine uygulamada yapılan yükleme sonucu elde edilen değerler birbirlerinden farklı olabilmektedir. Bu farklılık düşük gerilmelerde oluşur ve çok az miktarda devam edip, orantılılık sınırının üzerinde hızla artar.

Ankrajlarda gözlenen mekanik sorunlar, ankrajın çalışma verimini etkileyebileceği gibi yapılan deneylerin sonuçlarını da etkilemektedir. Ankraj deliğinin tam düz delinememesi durumunda tendon delik duvarlarına temas ederek sürtünmeye neden olacağı gibi çevresinde oluşması gereken enjeksiyon duvarının kalınlığı istenildiği gibi olmayacaktır. Buna çözüm olarak tendon çevresine merkezleyiciler yerleştirilir. Serbest boyda, tendon çevresi, içi özel gres ile dolu ince plastik kaplama ile çevrelenir. Alınan hertürlü önleme karşın tendon boyunca sürtünme direnci oluşabilir ve bu da köke iletilen yükte düşüşe neden olabilir.

Benzer sorun germe krikosunda da gözlenebilir. Uygulanan yükün eksantrisitesi, şiddeti, hidrolik sistemindeki yağın temizliği gibi etkenler piston sürtünmesini etkiler. Uygulanan yükün ve mekanizmadan kaynaklanan kayıpların bilinmesi için krikoların kalibrasyonları periyodik olarak yapılmalıdır. Buna karşın laboratuvar koşullarında yapılan kalibrasyon ile arazide elde edilen verim tam olarak birbirini karşılayamamaktadır. Arazide ankrajlar arasında elde edilen sonuçlarda dahi farklılıklar gözlenmektedir. Kriko mekanizmasında

gözlenen sürtünme etkisi, uygulanan yükün % 3 ü ile % 7 si arasında değişim göstermektedir.

Ankraj kafasının tasarımından dolayı, delik içersinden gelen tendon, ankraj kafasından geçerken genişleyerek geçer ve sürtünme kayıplarının düşmesine neden olur. Bu sürtünme kayıpları yağlama ile giderilebilir. Bundan başka tendon kabloları paralel olarak ankraj plakası üzerindeki bir delikten geçebilir. Bu delik, tendon ile ankraj plakasının birbirine değmesini önler ancak basınç plakasının tam oturmaması veya germe işlemi sırasında hareket etmesi nedeniyle sürtünme etkisi oluşur. Oluşacak olan bu sürtünme, deney ankrajları uygulamasında meydana gelirse elde edilecek veriler gerçek davranışı yansıtamayacaktır.

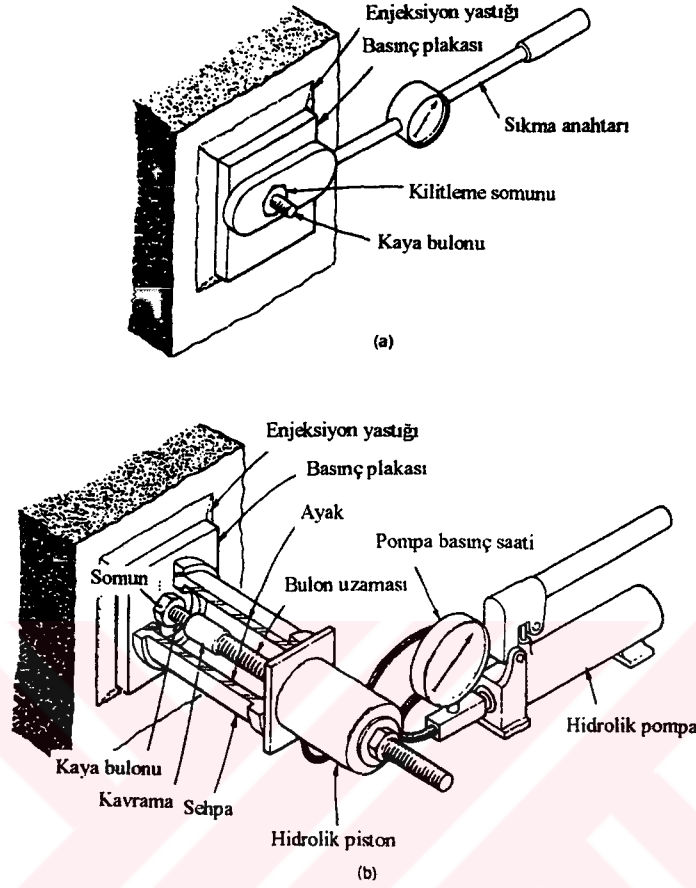
Germe işlemi sırasında, çeşitli nedenlerden dolayı krikoda meydana gelen hareket ile kilitleme elemanlarına iletilen yükte kayıplar oluşur. Kilitleme elemanları ile tendon arasındaki hareket, kilitleme elemanları ile basınç plakası arasındaki hareket, basınç plakasının sapması ve yapıda oluşan küçük hareketler de yük kayıplarına neden olur.

4.3 Germe Yöntemleri

Ankraj sistemlerine uygulanan öngerme kuvveti ankraj sisteminin kapasitesine ve tipine göre değişiklik gösterir. Germe yöntemi olarak, tendona çevirme kuvveti (tork) uygulanan veya doğrudan çekme kuvveti uygulanan yöntemlerden bir tanesi seçilir (Şekil 4-2).

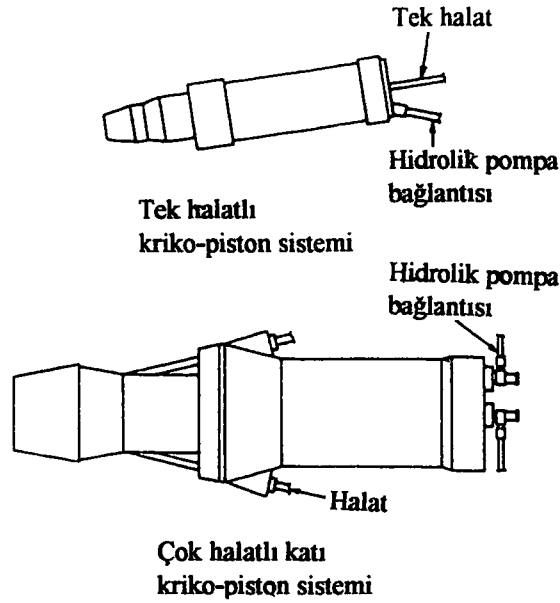
Tendona çevirme kuvveti uygulayarak gerilen sistemler kaya bulonları, tekli çubuk tendonlar veya düşük kapasiteli ankrajlardır (150 kN'a kadar). Bu tip germe kuvveti uygulanan sistemlerde yük kayıpları uygulanan yükün %25 ine çıkabilecek kadar fazla olacağından dolayı çok tercih edilen bir yöntem değildir. Birçok şartnamede bu germe yönteminde kullanılacak olan germe

aygıtlarında $\pm \% 5$ incelik istenir, ancak arazi koşullarında oluşan hatalar bunun çok üstüne çıkmaktadır.



Şekil 4-2 Germe yöntemleri ve aygıtları a) Çevirme kuvveti ile germe b) Doğrudan çekme kuvveti ile germe

Çekme kuvveti uygulanarak germe uygulanan sistemler, daha çok ankraj uygulamalarında ankrajların kapasitelerine, kullanılan tendon çeşitlerine uygun oldukları için tercih edilirler. Çekme kuvveti uygulayacak olan krika, kullanılmış olan halat sayısına göre çoklu veya tekli yuvaya sahip olabilir (Şekil 4-3). Çoklu-halat krikosunda bir ankraj yapısında kullanılan birden fazla halat aynı anda gerilebilirken, tekli-halat krikosunda halatlar ayrı ayrı gerilir. Germe yöntemi hangisi olursa olsun, germe işlemi için yapının ortasına ve yükleme doğrultusuna normal konumda basınç plakası yerleştirilmesi gerekir.



Şekil 4-3 Germe aygıtları a) Tekli-halat germe krikosu b) Çoklu-halat germe krikosu

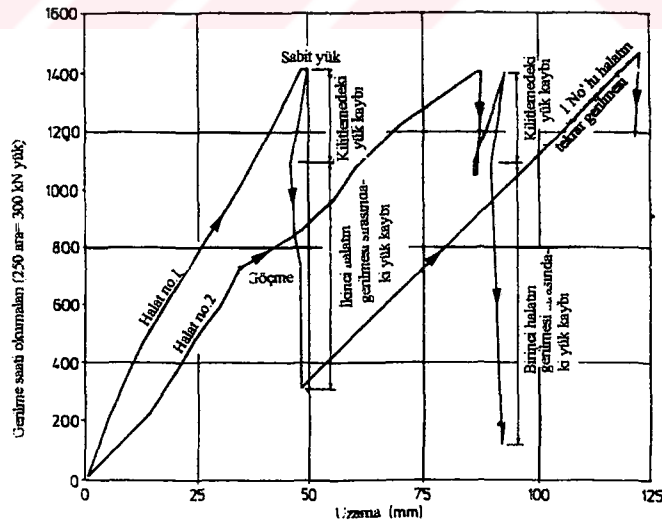
Ankraj sistemlerine germe uygulanabilmesi için öncelikle kök bölgesine uygulanmış olan enjeksiyonun dayanımını büyük ölçüde sağlamış olması gerekmektedir. Yük uygulandığı zaman bunu alarak yapıya etkimesini sağlayacak olan kökün gelen yüke dayanım göstermesi gerekmektedir. Bu nedenle genelde şartnamelerde çimento enjeksiyonu için 20 N/mm^2 (IV. tip çimento) ile 30 N/mm^2 (I. tip çimento) arasında değişen dayanım değerleri istenir. Bu da çimento için 7. gün dayanımına eşittir. Bugün yapılan uygulamalarda priz hızlandırıcı katkı maddeleri ile bu priz süreleri daha aza indirilebilmektedir.

Ankraj kafasındaki hareketi ve oturmayı en aza indirmek için basınç plakası yapıya tam temas ederek yuvasına oturmalıdır ve germe yükünü yapıya düzgün olarak dağıtabilecek büyüklükte olmalıdır. Basınç plakası tendonu ortalamak yük iletiminde eksantrisite oluşması önlenmelidir. Çoklu halatların uygulandığı sistemlerde serbest boy boyunca halatların birbirine değmediğinden ve birbirine karışmadığından emin olunması gerekir.

Tekli-halat germe krikosu ile yapılan germe işlemlerinde elde edilen verimin çok iyi olmadığı yapılan araştırmalar ile belirlenmiştir. Mitchell (1974) tarafından yapılan incelemelerde, ayrı ayrı gerilen bitişik iki tendonun birbirinden etkilendiği gözlenmiştir. İkinci tendon gerilirken birinci tendondaki yükte düşüş görülmüştür (Şekil 4-4).

Aynı araştırmacının bir başka gözlemine göre, altı-halatlı bir uygulamada her artan yüklemeli kademe sonunda, en yüksek ve en düşük yük kaybı sırasıyla birinci ve sonuncu halatta olmuştur. Aynı sonuca Barley (1974) ve Littlejohn-Bruce (1977) da varmıştır. Bütün halatların istenilen yük seviyesine getirilerek düzensiz yük dağılımı etkisinin en aza indirgenebilmesi için halatlar arasında son bir yükleme çevrimi yapılabilir.

Diğer taraftan, çoklu-halat germe sistemi, uygulamanın kolaylığı açısından tercih edilmektedir. Ancak, bu sistemde tendonların bireysel olarak kontrolü, veri eldesi, kitleme aşamasında tendonlara eşit yük dağılımı sağlanamamaktadır. Tendonlara eşit yük dağılımının sağlanamaması, serbest boyun 10 m. den küçük olduğu uygulamalarda önem kazanmaktadır. Çoklu-halat germe sistemlerinde kullanılan değişik ankraj kafaları Şekil 4-5 de gösterilmektedir.



Şekil 4-4 İki bitişik halatın tekli germe sistemi ile gerilmesi sonucu oluşan etkileşim.

sistemde şu uzama değerleri ölçülen değere dahil olur: a) gripler (kamalar) tam yuvalarına oturuncaya kadar kamaların yuvalarına gömülme etkisi, b) kitlemeden sonra ankraj kafasının ve basınç plakasının yerleşmesi etkisi, c) taşıdığı yükün neden olacağı elastik uzama etkisi. Bunlara ek olarak ısı değişimi gibi çevresel etkilerden ve tendonun öngerilmesindeki yapım koşullarından dolayı uzun süreli değişimler görülebilir.

Yükleme sırasında yükün kademeli olarak yüklenmesi alışlagelmiş olmakla beraber, yük kademelerinin sayısı konusunda ortak bir görüş bulunmamaktadır. Mitchell (1974), yükleme veya yük boşaltma sırasında alınan ölçümlerin dört veya beş eşit yük kademesinde olmasını tavsiye ederken, diğer araştırmacılar çalışma yükünün %10-20 lik kademelerindeki davranışı göstermeyen yük-uzama eğrisinin teknik açıdan bir değerinin olmadığını söylemektedirler. Littlejohn ve Bruce (1977), herhangi bir germe işleminde en az beş yük kademesinde ölçüm yapılması gerektiğini, ancak detaylı araştırmaların yapıldığı özel deneylerde maksimum yükün % 10 una yakın değerlerde yük artışları sağlanması gerektiğini tavsiye etmişlerdir.

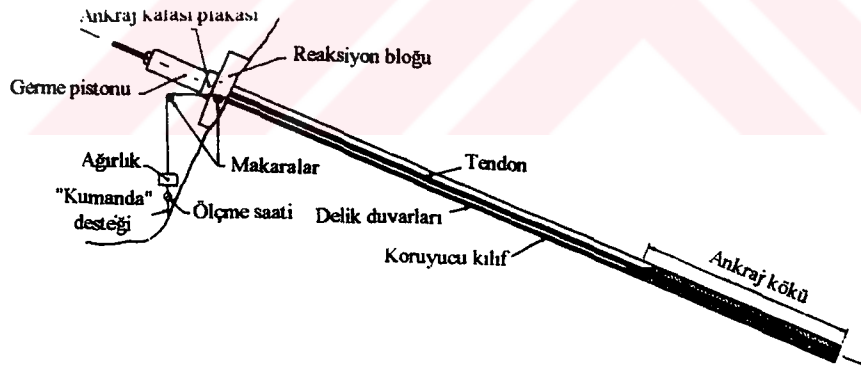
Ankraj sistemine uygulanmış olan yükün değerini belirlemek üzere çevresel etkenlere, maliyete ve etkiyen yükün cinsine göre, yük hücreleri kullanılır. Ankraj sistemlerine uygun olarak mekanik esaslı (≤ 2000 kN), strain-gauge li (≤ 5000 kN) ve titreşim telli (≤ 10000 kN) sistemler kullanılır.

Ölçümde fotoelastik yöntemler, hidrolik aygıtlar ve yaylar da kullanılmaktadır. Kullanılan aygıtlara bakmaksızın ölçümden istenilen hassaslık % 1 dir ve yük hücresinin yerleşimi sırasında yüke normal konumda yerleştirilmesine özen gösterilmesi gerekmektedir. Yük hücresinin doğru yerleştirilememesi durumunda eksantrisite ve dolayısıyla okunacak olan yük değerinde hata oluşacaktır. Servisteki ankraj sisteminin taşıdığı yükün kontrol edilmesi için öngerme ekipmanının yük boşaltma sehpası ile kullanılması çok daha ekonomik

olacaktır. Ancak bu sistem ile elde edilecek veriler operatörün tecrübesiz olması durumunda oldukça kaba sonuçlar verecektir ($\sim\% 2$ hata).

Kalıcı ankrajlar ve deney ankrajları gibi önemli uygulamalarda ankraj başlığındaki basınç plakasının hareketini izlemek için yerleştirilen dial-gauge'ler gibi oldukça duyarlı sistemler kullanılır. Kalıcı ankrajlarda basınç plakasının hareketinin uzaktan da kontrol edilebilmesine olanak veren sistemler bulunmaktadır.

Ankraj sistemine germe kuvvetinin uygulanması ile meydana gelen uzama ve hareket sadece serbest boyda meydana gelen tendon uzaması ve ankraj kafasındaki elemanların hareketi olmayıp, kök bölgesinde oluşan hareketi de içerir. Ankraj kökünde meydana gelen hareketin belirlenmesi için Şekil 4-6 da gösterilen bir sistem kurularak, ankraj kökünde sabitlenen tel serbest boy üzerinden ankraj ağzına kadar getirildikten sonra çok düşük bir gerilme kuvveti ile gergin hale getirilir. Serbest ucuna yerleştirilen dial-gauge yardımı ile kökte meydana gelen hareket saatten okunur.



Şekil 4-6 Ankraj kökünün hareketinin doğrudan ölçülmesi.

İstanbul'da bir aç-kapa yapısında yapılan ankraj uygulamasında, ankraj duvarında yapım sonrasında çok büyük hareketlerin gözlenmesi nedeniyle ankraj sistemlerinin kök bölgelerinde büyük hareketlerin meydana geldiği tahmini ile ankrajlar doğrultusunda yatay, düşey doğrultuda ise düşey ekstansometreler kullanılarak kök bölgesinin hareket miktarları zamana bağlı olarak

belirlenmiştir. Kullanılan bu ekstansometre aletinin maliyetinin yüksek olmasına karşın kök boyu üzerinde birkaç noktadan veri alınarak duyarlı sonuçlar elde edilmiştir.

Germe işlemi sırasında tutulması gereken kayıta bulunması gerekenler Çizelge 4-1 de gösterildiği gibidir. Germe işlemini yapan personel, kullanılan ağıt, uygulamanın yapıldığı koşullar gibi sistemin verimini etkileyebilecek tüm etkenler kayıt edilmiş olmalıdır. Germe-uzama kayıtlarının tutulmasına farklı uygulayıcılar farklı ilk yükten başlamaktadırlar. Longtom ve Mallet (1973) yükün % 10-20 sinde uzama okumalarının alınmasını önerirken, Nicholson Ankraj Şirketi (1973) nin de içinde bulunduğu firmalar deney yükünün % 10 unda, Short (1975) çalışma yükünün % 25 inde okumaların alınmasını tavsiye etmektedir. Çekoslovak ve Alman Şartnameleri' nin de içinde bulunduğu bazı şartnamelere göre ise deney yükünün % 10 undan itibaren uzama değerlerinin alınması gerekmektedir.

Çizelge 4-1 Ankraj germe kayıtlarında belirtilmesi gereken değişkenler.

Genel Sınıflandırma Verileri			
Proje	Uygulayıcı	Mühendis	Kontrol
Tarih	Başlama saati	Bitiş saati	Germe personeli
Ankraj No.	Serbest boy	Kök boyu	Kaya çeşidi
Tendon Tipi	Çeliğin E-modülü	Çalışma yükü	Deney yükü
Kriko Tipi	Piston alanı	Maksimum kapasite	Son kalibrasyon tarihi
Pompa Tipi	Basınç saati aralığı	Basınç saati hassaslığı	Son kalibrasyon tarihi
Ankraj Kafası Tipi	Kilitleme mekanizması	İlk oturma basıncı	Halat gevşemesi
Germe İşlemi Süresince Yapılan Gözlemler			
Kalıcı Basınç Plakasının Hareketi	Tendon uzaması	Kriko basıncı	Kilitlemedeki tendon gevşemesi

4.5 Ankraj Germe İşlemi Sonuçlarının Yorumunu Etkileyen Faktörler

4.5.1 Ankraj davranışı gözlemleri

Yük uzama sonuçları, yapılan ölçümlerin ve tahminlerin bazı hatalar içerdiğini göstermiştir. Ankraj sisteminin en büyük özelliği doğrusal veya doğrusal olmayan karakteristiklerine bakmaksızın yük-uzama eğrisinin elastik davranışlıdır. Sağlanan şartlar ne kadar iyi, ölçme aletleri ne kadar duyarlı olursa olsun alınan germe verileri değerlendirildiği zaman tam doğrusal bir grafik elde edilememektedir. Germe verilerinin dağılımının düzenli sapmalar göstermesi iki şekilde yorumlanabilir:

1. Ankraj kök bölgesinde, enjeksiyon-tendon arasında bağ çözülmesi,
2. Ankraj kök bölgesinin hareketi.

Bu olasılıklardan ikincisi zayıf kaya ve zemin ortamlarında sağlam kayalara oranla daha sık görülen bir etkidir. Sağlam kayalarda görülmesi olağan değildir. Olası kök hareketinin doğrudan ölçümü için bazı önlemler alınmadıkça, ankrajın yük-uzama karakteristiklerinin aynı şekilde tekrarlanabilmesini sağlamak için en az bir kere çevrimli yükleme yapılarak bu etkinin varlığı saptanmalı veya azaltılmalıdır.

Eğer kök bölgesi hareketi ve üst sıra ankrajlar için düzenleme yapılmış ise, yorumlar kök bölgesinde bölgesel veya bütün olarak bağ kopmasında yoğunlaştırılmalıdır.

Çevrimli yükleme a) ankraj kökünün hareketinin bir miktar ölçümünü sağlar, b) geri analizi kolaylaştırır, c) Elastik yük-uzama karakteristiklerinin tekrarlanabilir olduğu, sınırı doğrular.

Ankrajın gerilmesi sırasında elde edilen yük-uzama verileri, ankrajın davranışını ve göçme şeklini gösterir. Ani yük kaybı ile veya çevrimli yükleme ile sürekli meydana gelen toplam kalıcı yerdeğiştirme, ankraj kökünün içerden göçmüş olabileceğini gösterir. Bu göçme zemin-enjeksiyon veya enjeksiyon-tendon arasında oluşabilir. Hangi göçme şeklinin söz konusu olduğunu belirlemek için tendonların hepsi tekli germe krikosu ile gerilerek yük-uzama verileri karşılaştırılır.

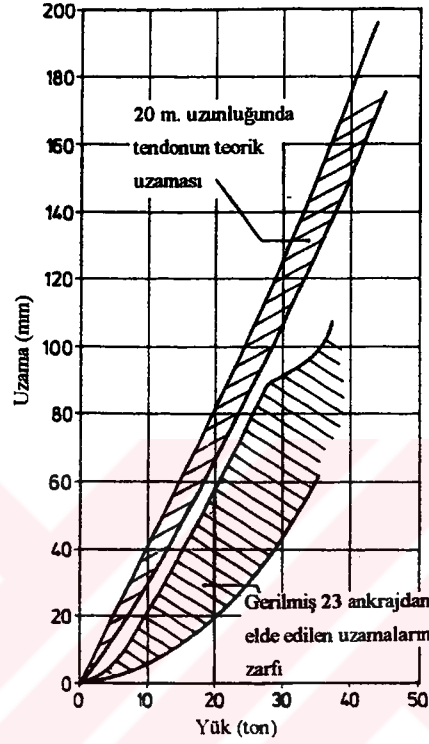
4.5.2 Ölçüm hatalarının kaynakları

Yapılan gözlemler sonucu elde edilen sistem verileri ve olması beklenen teorik sonuçlar arasındaki farklılıklar ile her uygulamada karşılaşılabilmektedir. Ankraj sisteminin uzama ve çevresindeki zeminin hareket miktarı sonucuna göre bu farklılıkların kabul edilebilirliğine karar verilir. Çoğu şartnamede teorik ve ölçülen uzama verileri arasındaki fark yaklaşık % 10 mertebesinde-dir.

Bu farklılığın en önemli nedeni laboratuarda kısa çelik tendon ile belirlenen elastisite modülünün uygulamada kullanılan uzunluktaki tendonun elastisite modülünü kesin olarak ifade edememesidir. Diğer farklılıklar ise elastisite modülünün belirlenmesi için kullanılan deney ekipmanlarının ve deney metodunun hatalarını yansıtmaktadır. Janische (1968), yaklaşık 100 m. uzunluğundaki halatlarla arazide yaptığı uzama deneyleri ile E değerinin 180000-220000 N/mm² aralığında veya % 12 den fazla farklılık gösterdiğini belirlemiştir. Bunun nedeni konusunda ileri sürülen olasılıklardan birisine göre, çok halatlı tendonun gerilmesi, laboratuarda tek tendonun gerilmesinden daha uzun zaman almaktadır ki bu da plastik deformasyonun oluşmasına neden olurken uzama miktarını arttırıp elastisite modülünün düşmesine neden olur. Bu değişim üreticiler tarafından $\pm$ % 7.5 olarak verilmektedir.

Teorik beklenti ile alınan uzama değerleri arasındaki farklılığın bir diğer nedeni de serbest boy üzerinde oluşan sürtünme etkisidir. Bu sürtünme, etkiyen

kuvvetin bir kısmının dağılarak uzama miktarının düşmesine neden olabilir. Şekil 4-7 de Hennequin and Cambefort (1966) tarafından yapılan bir germe deneyinde elde edilmiş olan yük-uzama grafiği teorik uzama değeri ile karşılaştırılmıştır. Burada da görüldüğü gibi ölçülen uzama değerleri teorik uzamanın altında gerçekleşmiştir.



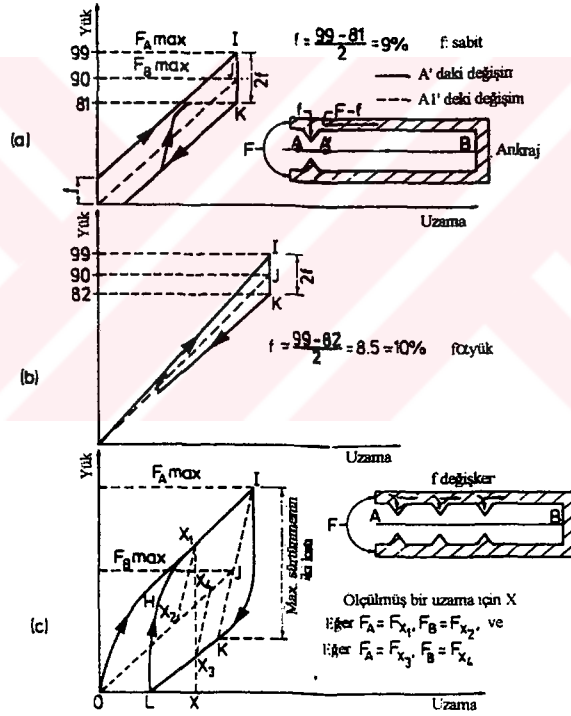
Şekil 4-7 Sürtünme etkisini gösteren yük-uzama eğrisi.

4.5.3 Sürtünme çeşitleri

Fenoux ve Portier (1972), yaptıkları araştırmalar sonucunda ankraj sisteminde üç çeşit sürtünme etkisi belirlemişlerdir.

1. Sabit değer,
2. Uygulanan yük ile orantılı,
3. İlgili parametrelerden bağımsız ve değişken.

Bu üç değişik tip sürtünmenin yükleme-uzama eğrisi üzerindeki etkisi Şekil 4-8 de ayrı ayrı gösterilmiştir. Ankraj tepesindeki sürtünme: a) yeterli yağlama ile önlenemeyen, basınç plakasının altındaki tendon elemanlarının çarpılması nedeniyle tendon-enjeksiyon arasında (% 3-6), b) ankraj bloğu ve basınç plakası düzgün yerleşmemiş ise % 50 ye varan tendon-basınç plakası arasında görülür. Eğer sürtünme sabit ise Şekil 4-8(a) daki eğri elde edilir. Uygulanacak olan çevrimli yükleme ile f sürtünme kuvveti de belirlenebilir. Genellikle sürtünme kuvvetinin sabit olmadığı ve yükle orantılı olarak değişiklik gösterdiği ve Şekil 4-8(b) deki gibi bir eğri elde edildiği gözlenmiştir. Ankraj sistemi üzerinde çok değişken ve farklı nedenlerden kaynaklanan sürtünme kuvvetlerinin olduğu durumlarda elde edilen eğri Şekil 4-8(c) deki gibi oldukça karmaşıktır.



Şekil 4-8 Sürtünme çeşitlerinin yük-uzama karakteristiği üzerindeki etkisi ve ilişkisi.

Pratik ve teorik değerler arasındaki hatalar konusunda Longbottom ve Mallet (1973), yaptıkları araştırmalar ile yükün en fazla % 15 değişim gösterebileceğini söylemişlerdir. Bu araştırmanın içeriği Çizelge 4-2 de ana hatları ile

verilmiştir. Burada ifade edilen hataların hepsinin aynı anda ve aynı doğrultuda gerçekleşmesi olasılığı çok düşüktür. Pratikte karşılaşılabilecek en fazla hatanın $\pm \% 7.5$ mertebesinde olabileceğini belirtmişlerdir.

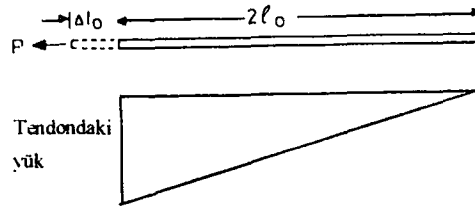
Çizelge 4-2 Gerçek ve teorik öngerme yükü arasında beklenen olası hata.

Kaynak	Değişim (%)
Değişik manometre çeşitleri	± 1
Tipik manometre hataları	± 2
İçsel kriko sürtünmesi	± 2
Uzama okumasında hata	± 1
Tendonun gerilme-dayanım ve üretim toleransı	± 6
Hesaplama hatası	± 3

4.6 Tendon Gerilmesinin Genel Mekanizması

Şekil 4-9 daki gibi, bir çekme ankrajının yükünün kök boyu boyunca adezyonun üniform dağıldığını kabul edersek, kök boyunun elastik uzaması :

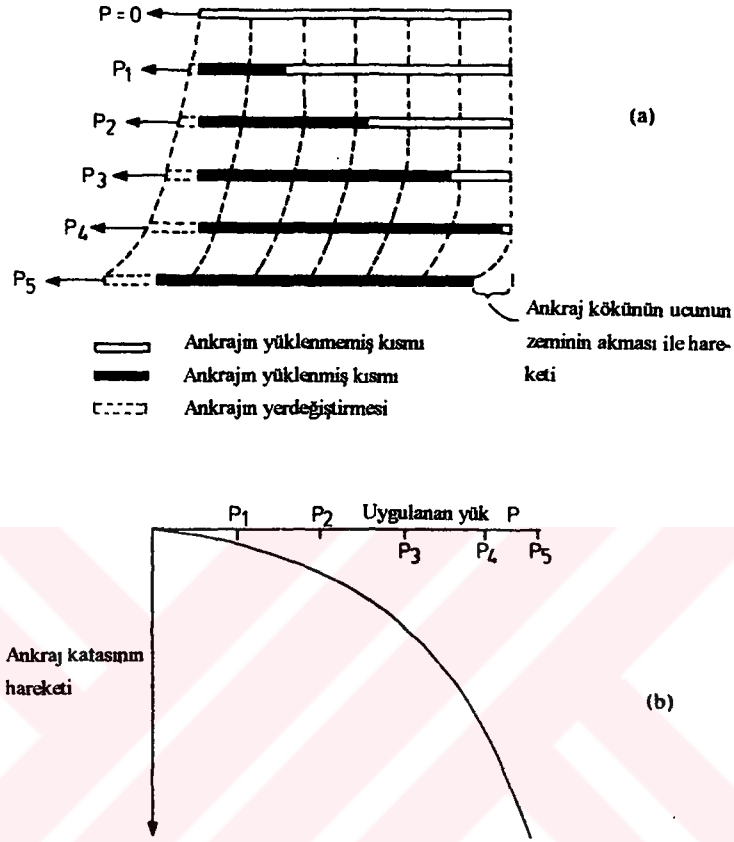
$$\Delta l_0 = \frac{2p_z l_0}{2AE} = \frac{p_z l_0}{AE} \quad (4-1)$$



Şekil 4-9 Ankraj tendonu üzerinde yükün ideal dağılımı

olmalıdır. Ankrajın "karakteristik boyu", kökün üst ucunda üniform dağılı adezyonun ağırlık merkezine kadardır. Daha önce de belirtildiği üzere ankraj sistemine etkiyen yükün şiddetine göre, kök bölgesinde oluşan adezyon ve kök hareket miktarı değişim göstermektedir. Şekil 4-10(a) da görüldüğü gibi

uzamakta ve sonuçta adezyon bölgesinin uzayıışı ile beraber kökte yer değış-tirme meydana gelmektedir. Yük-uzama eğrisinin şekli ise Şekil 4-10(b) deki gibi eğriseldir. Uygulanan yükün sabit tutulması halinde meydana gelen yer değıştirmenin de krip etkisi olduğu daha önce belirtilmişti.



Şekil 4-10 a) Ankraj sistemi göçmeye ulaşincaya kadar yüklemenin arttırılması ile kök üzerinde oluşan etkilerin değışimi. b) Yük-ankraj başının hareketi arasındaki ilişki.

Ankraj davranışını etkileyen bir çok etken olduğu için, ankrajın zamana bağılı olarak ve yerinde yapılacak deneyler ile davranışının belirlenmesi gerekirken daha basite indirgenmiş mekanizmalar ile belirlenir. Fenoux ve Portier (1972) in önerisine göre altı ana adımdan oluşan deney kullanılmalıdır.

1. Yük, kademeli olarak arttırılır ve kısa bir süre için sabit tutulur,
2. Yük, bir artış kademesi kadar düşürülür,
3. Yük, iki artış kademesi kadar düşürülür ve yerdeğıştirme ölçülür,
4. Yük, bir artış kademesi kadar arttırılır,

5. Yük, kademeler halinde arttırılır,
6. Ankrajdaki yk boşaltılır ve kalıcı yerdeğiştirme elde edilmiş olur.

Bu aşamalar, arazi grafiği hazırlanmasında yardımcı olmaktadır. Böyle bir deneyden elde edilen eğri ile şunlar belirlenebilir :

1. Ankraj kafasındaki ilk sürtünme, P_i ,
2. Maksimum deney yükü, P_e ,
3. $P_i \cdot X$, sürtünmenin iki katı,
4. Sabit ankraj boyuna ulaşan maksimum yük,
5. X'Y' doğrusu sürtünme etkileri hariç tutulduğu zaman ölçülen deformasyon miktarına karşılık gelen yükü gösterir.

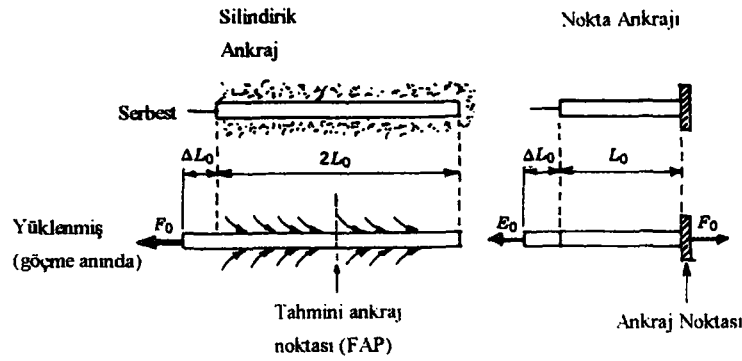
Tendonda meydana gelen uzamanın ölçümü için en kolay ve kaba yöntem, germe pistonunun uzama miktarıdır, ancak başta halatta meydana gelen kaymalar olmak üzere pistonun uzaması gerçek tendon uzamasını göstermeyebilir. Littlejohn ve Bruce (1976) bazı veya bütün halatların, kalıcı basınç plakalarının bir miktar üzerinde işaretlenmelerini ve bu işaretlerin konumlarındaki değişimin karşılık geldikleri yk değerlerindeki hareket miktarlarını göstereceğini belirtmişlerdir. Daha detaylı veri için Dial-gaugeler kullanılmalıdır. Kök bölgesinin hareketinin belirlenmesi için en etkili yöntemlerden birisi kök bölgesine kadar uzanan ekstansometre uygulamasıdır (Hanna, 1973).

4.7 Tendon Gerilmesinin İdeal Mekanizması

Daha önce belirtilen, kök boyu üzerinde düzgün yayılı bağ dayanımı en ideal, ancak, sadece yumuşak ve gevşek zeminlerde gözlenebilecek olan bir davranıştır. Diğer taraftan, etkiyen yk nedeniyle serbest boy üzerindeki uzamanın ilerlemesi ve hatta kök boyunun bir kısmında da etkisini göstermesi beklenir. şekil değişirmiş tendonun en son noktası "Hayali Ankraj Noktası" (F.A.P.)

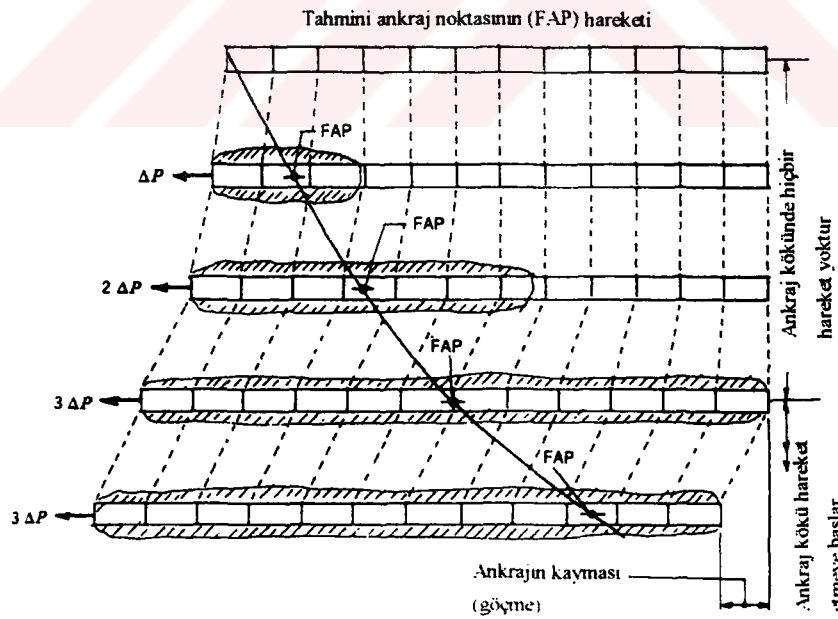
olarak adlandırılıp, ankraj sisteminin esnek ve F.A.P.' den rijit olarak zemi-
ne bağlı olduğu düşünülebilir (Şekil 4-11).

Noktasal taşıma etkisi gözardı edilirse, Şekil 4-11 deki her iki ankraj sistemi
de aynı yerdeğiştirmeyi gösterir. Bu, F.A.P.' nin, ankraja etkiyen gerilmele-
rin ağırlık merkezinde ve kök boyunun tam ortasında olduğu anlamına gelir.



Şekil 4-11 Hayali ankraj noktası kavramı.

Artan yükleme karşısında gerilmenin kök boyunca ilerleyişini gösteren geril-
me mekanizmasına göre (Şekil 4-12):



Şekil 4-12 Ankraj kök bölgesinde, kabul edilen gerilme yayılmasıyla beraber tendon gerilme mekanizması.

1. Düşük yüklerde, kökün üst kısmında gerilme varken, yanal sürtünme ve kayma bağı oluşur ve daha ileride yük iletimi olmaz. Kökün dibinde etkilenme ve hareket gözlenmez.
2. Yük arttıkça, dayanım gösteren üst uçtaki bağ ilerler ve kök tendonu uzar.
3. Bütün bağ mobilize olduktan sonra kök alt ucundan hareket etmeye başlar. Bu anda F.A.P. tam ortadadır. Bağ dayanımı aşıldıktan sonra, bütün bağ boyu sabit gerilme altında hareket etmeye başlar ve bu anda ankraj, gerilmede düşüş olmadan 10 cm. dışarıya çekilebilir.

4.8 Ankrajlara Uygulanan Deneyler ve Germe Yöntemleri

Ankraj uygulamalarında kullanılan germe ve deney yöntemleri her ülkenin kullandığı şartnamede farklılıklar göstermesine karşın temel olarak aynı amaçlara yöneliktir. Ankraj uygulamalarında yapılması zorunlu olan deneyler, yapım öncesi deneyler, yapım sonrası deneyler ve uzun süreli gözlemler olmak üzere üç ana başlık altında toplanır. Ankrajın gerilmesi ve deney uygulanması sırasında üzerinde durulan ortak nokta, ankrajın tasarım yükünden fazla yük değerine kadar yüklenmesi ve bu yüklemenin kademeli olarak aralıklarla yapılmasıyla beraber gözlenen uzama değerlerinin okunmasıdır. Bu sistem temel alınarak, uygulanacak olan yük kademeleri, gözlem aralıkları ve deney sayıları farklılıklar göstermektedir.

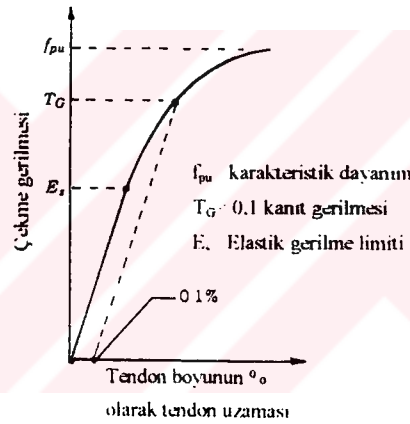
4.8.1 Yapım öncesi ankraj deneyleri

Ankraj uygulamalarında önemli bir yeri olan yapım öncesi deneyler hem kalıcı, hem de geçici ankraj uygulamaları için ankrajların imalatı yapılmadan uygulanması gereken deneylerdir. Bu deneylerin iki ana amacı vardır: a) belli zemin çeşidi ve koşulları için bir zemin ankrajı kullanıldığında tahmin edilen ve istenilen etki ve davranışları gösterebileceğini önceden kanıtlamak, b) imal edilmiş ve ankraj sisteminde kullanılacak olan tendon, ankraj kafası gibi

eleman ve parçaların tasarım şartlarını sağladığını ve istenilen davranışı göstereceğini doğrulamak.

Ankraj sisteminde kullanılacak olan parçalar üzerinde genellikle, fabrikada veya laboratuarda deney uygulanırken bazı durumlarda uygun şartlarda arazide de deney uygulanır. Bu deneyler ile ankraj elemanlarının arazide gösterdikleri davranışlar ile laboratuvar ortamında gösterdikleri ideal davranışlar arasında farklılık olup olmadığı belirlenmiş olur.

Şekil 4-13' te bir tendonun gerilme-dayanım davranışı gösterilmektedir. Burada da görüldüğü gibi, eğrideki doğrusal kısım orantılılık kısmı olup, dorusal olmayan kısım orantısız uzamaya karşılık gelir ve bu uzama değeri kanıt yükü kaldırıldıktan sonra da tendon üzerinde mevcut kalır.



Şekil 4-13 Normal yüksek çekme-çeliği için gerilme-dayanım tepkisi

Şekil 4-13' e göre, T_G olarak belirtilen % 0.1 uzamaya karşılık gelen kanıt gerilmesi, uzama ekseninde, uzama miktarının % 0.1'e denk gelen noktasından eğrinin doğrusallık gösteren kısmına çizilen paralel ile eğrinin kesiştiği noktadaki gerilme değeri olarak tanımlanmaktadır.

Şekil 4-13' deki eğrinin elde edilebilmesi için şu adımlar izlenmelidir:

1. Örnek üzerine, boy 0.6 m.' ye sabitlenerek tendonun karakteristik mukavemeti f_{pu} ' nun % 10' una eşdeğer ilk yük uygulanır.
2. Ekstansometre sıfıra ayarlanır.
3. Yük, belirlenmiş olan kanıt gerilmesine kadar arttırılır ve 10 saniye beklenir. Toplam uzama okunur ve kayıt edilir.
4. Yük, ilk gerilme değerinin bir miktar altına kadar azaltılır ve daha sonra ilk gerilme değerine kadar arttırılır. Kalıcı uzama kayıt edilir.
5. Sonuçlar, uygulanan en yüksek yüke kadar oluşan gerilme-dayanım eğrisini verir. Elastisite modülü de gerilme-dayanım eğrisinin doğrusal kısmının eğiminden belirlenebilir.

Littlejohn ve Bruce (1977) un elde ettikleri verilere göre, sıcaklık değişiminin çeliğin nihai dayanımı üzerinde etkisi vardır. Bu etki de her 1°C nin 2 N/mm² lik gerilme değişimine neden olması şeklindedir. Düşük sıcaklık değerlerinde artan dayanım nedeniyle, sıcaklık değişiminin oluşacağı deney uygulamalarında elde edilecek verilerde oluşacak farklılıklar sıcaklık etkisi dikkate alınarak değerlendirilmelidir.

Birçok yapım şartnamesinde, tendon, kitleme elemanları (gripler), ankraj bloğu ve yük dağıtma plakası gibi ankraj bağlantı elemanlarına deney uygulanması konusunda gereklilikler bulunmaktadır. Hem ankraj başında bulunan tel, çubuk veya halatı kavrayan kitleme elemanları, hem de bir bütün olarak ankraj başı tek bir deney yöntemi ile kontrol edilir.

Öngermeli ankrajlarda uygulanan deneyler için İngiliz Şartnamesi (B.S.) tarafından önerilen ve en çok kullanılan üç deney yöntemi şunlardır :

1. Tendonun yük verimi kısa süreli statik germe deneyi ile belirlenir. Yük verimi, deney göçme yükünün ortalama nihai gerilme dayanımına oranı olarak tanımlanmaktadır. Bu oranın % 92 den düşük olmaması gerekmektedir.

2. Ankraj tendonunun dinamik etkiler karşısında gösterdiği tepkinin belirlenmesi için 2×10^6 çevrimden az olmamak üzere 10Hz frekansıya, $0.60-0.65 f_{pu}$ aralığında dalgalanma gösteren yükleme yapılır. Tendon, yorulma etkileri altında, başlangıç kesit alanındaki azalma % 5' den fazla olmamalıdır. Bu deney, ankraj sistemindeki gerilmede dalgalanma etkisinin gözleneceği durumlarda uygulanır.
3. Ankraj sistemine etkiyen yükün yük dağıtma plakasına ve bloğa iletimi, tüm ankraj başına uygulanan kısa süreli statik sıkıştırma yükü ile denenir. Yük dayanma bloğu, sürekli olarak en az $1.1 f_{pu}$ değerinde yük taşımalıdır.

Ankraj sisteminin doğrulanması amacıyla bütün kalıcı ankraj uygulamalarında, yapım öncesi iki veya üç adet deney ankrajı imal edilir. Bu ankrajlara, tasarım yükünün iki katına kadar ankrajın sıyrılması nedeniyle göçmeye ulaşması sağlanıncaya kadar yükleme yapılması ve kabul edilen değil arazideki gerçek güvenlik katsayısının doğrulanması gerekir. Bu deney, arazi koşulları bilinen durumlarda uygulandığında faydalı sonuçlar verir. Deney ankrajlarının deneyden sonra sökülmesinin zor ve maliyetinin yüksek olmadığı durumlarda sökölüp üzerinde inceleme yapılması yapılacak olan uygulama açısından yarar sağlayabilir. Sökülen ankraj üzerinde yapılacak olan incelemeler a) serbest boyun durumu, b) kökün boyu, şekli, dağılımı, durumu ve göçme biçimi, c) paslanmaya karşı alınmış önlemin durumu, şeklinde sıralanabilir.

Bu deneyler tasarım yükü deneyleri olup, daha önceden uygulama yapılmamış bir ortamda, hiç kullanılmamış uzunlukta, delgi ve enjeksiyon aşamalarında sorunların beklendiği durumlarda yapılması bir zorunluluktur. Bu ankrajlar, ankraj yapısında kullanılacak olan ankrajlara dahil olmayıp, yapımdan çok daha önce uygulanırlar. Bu deney ankrajları göçmeye ulaşıncaya kadar yüklenecekleri için tendon kesit alanları, uygulamada kullanılacak tendon kesitlerinden daha büyük olabilir, ancak diğer bütün özelliklerinin ankraj yapısında kullanılacak olanlar ile aynı olması gerekir. Bu benzerlik a) delgi yöntemi ve

delik çapı; b) kök boyu ve derinliği; c) hazırlama, yerleştirme ve enjeksiyonlama, işlemlerinin tasarlandığı şekilde yapılmasına dikkat edilerek sağlanmalıdır.

4.8.2 Yapım sonrası ankraj deneyleri

Ankraj uygulaması yapılacak olan arazi ile ilgili geoteknik verilere dayanarak tasarımı yapılan ankrajlar, yapım öncesi deneyleri ile göçertilerek, hesaplarda kullanılan veriler doğrulandıktan sonra ankrajların uygulamasına geçilir. Uygulamanın yapılması sırasında ankraj sisteminin davranışını etkileyebilecek birçok değişken vardır. Bu değişkenlerin en başında zemin veya kaya ortamının göstereceği farklılıklardır. Uygulama sırasında karşılaşılabilecek değişik koşulların varlığını belirleyebilmek amacıyla genelde uygulanan iki farklı deney kullanılır. Bu deneyler "Arazi Uygunluk Deneyleri" ve "Kabul Edilebilirlik Deneyleri" dir.

4.8.2.1 Arazi uygunluk deneyleri

Bu deneylerin uygulanmasının amacı, ankraj sisteminin uygulandığı arazide karşılaşılabileceği özel koşullara karşı uygunluğunun gözlenmesidir. Statik yükleme altındaki yük-zaman arasındaki ilişki belirlenir ve ankrajın etkinliğinin analiz edilmesi için kullanılır. Eğer gerekli ise, bu deneyin uygulandığı ankrajlar üretim ankrajları olarak kullanılabilir. Bu ankrajların üretim ankrajları ile aynı şekilde ve aynı zemin ortamına uygulanmaları gerekmektedir. Bu deneyde kullanılan ankrajların uygulanması ve gözlemlenmesi uzun zaman alır ve maliyetleri yüksektir. Ancak, bu deneyden elde edilen sonuçların sağladığı yararlar karşısında, özellikle uzun süreli ankraj uygulamalarında, maliyetlerine bakılmaksızın yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar. Arazi uygunluk deneylerinin uygulanmasına, işin büyüklüğü, arazi koşullarının karmaşıklığı, zemin karakteristiklerinin üniformluğu, ankraj yük kapasitesi ve benzer

koşullarda yapılmış olan daha önceki uygulamalarda edinilen deneyimlere bakılarak karar verilmelidir.

Genel olarak, bir zemin ankrajı sisteminin uygunluğu, bilinen zemin çeşitlerindeki iki veya daha fazla ankraj üzerindeki deneyden analiz edilir. Bütün iş uzman elemanlar tarafından izlenmelidir. Bu deneyler sıkça, yapım öncesi deneyler ile beraber bir seferde uygulanır.

4.8.2.2 Kabul edilebilirlik deneyleri

Ankraj uygulamalarının yapıldığı zemin koşullarında ve uygulama aşamasındaki değişimlerin gerçek yük taşıma kapasitesini etkilemesi nedeniyle, imalatı yapılmış olan ankraj sistemlerinin bir sistem içersinde deneyden geçirilmesi gerekir. Yapılması gereken bu deneyler "Ankraj Kabul Edilebilirlik Deneyleri" olarak uygulanırlar ve sistemin ilk gerilme işlemi ile beraber yapılarak 24 saat boyunca kalite kontrol gözlemlerini içerirler. Bu deneyler, "Yapım Öncesi Deneyleri" ve "Uygunluk Deneyleri" temel alınarak yapılır.

Bu deneyde asıl amaç olarak, kısa bir süre için sisteme, genelde çalışma yükünün % 150 si veya temel alınan şartnamede belirtilen yük değeri ile yapılan, aşırı yükleme uygulanarak güvenlik katsayısının kontrolü sağlanır. Ayrıca, elde edilen veriler kullanılarak çizilen yük-uzama eğrisi aracılığıyla ölçülen ve beklenen davranışın karşılaştırması yapılabilir. Bu deney, germe işleminden sonra uygulanan servis yükünün sabit kalmasını da sağlar. Üretim öncesi deneylerden kökün hareket miktarı ve şekli belirlenecek olursa, kabul edilebilirlik deneyleri arttırılır ve öngerme kayıplarının zamanla değişimini gözlemek üzere önlemler alınır.

Kabul edilebilirlik deneylerinin uygulanması ve istenen kriterler konusunda değişik şartnamelerde ayrıntılı belirlemeler yapılmıştır. Bu şartnamelerden en çok bilinen ve uygulamalara esas oluşturanlar, İngiliz Şartnamesi (B.S.),

Alman Şartnamesi (DIN 4125,1972), Fransız Şartnamesi (Bureau Securitas, 1972), Amerikan Şartnamesi (PCI, 1974), Güney Afrika Şartnamesi (1972), dir.

Bu şartnamelerde tanımlanmış olan deney yöntemleri ve kabul kriterleri 5. Bölümde ele alınmıştır.

4.8.2.3 Ankraj deneyi ve germe işleminin içeriği

Ülkelerin kendilerince belirledikleri ve uygun gördükleri şartnamelere göre yapılan ankraj germe işlemi ve deneyleri, açıkça görülebilecek farklılıklara sahip olmalarıyla beraber, hepsinde kabul edilmiş olan aşırı yüklemenin önemi gibi ortak noktalar da içermektedir. Yapılan ölçümlerin ortak amacı, güvenlik katsayısının belirlenmesi ve ankrajın davranışı hakkında yorum yapılabilmesini sağlayacak olan gerilme tarihçesinin belirlenmesidir. Deney yöntemleri arasındaki farklılık genelde, yük artış kademeleri, yük artış miktarları, gözlem süreleri ve deney yapılmasının karar verildiği ankraj sayısıdır.

Tipik bir ankraj deneyi ve germe işlemi en az şu amaçları içermelidir :

1. İlk yapım kayıtları olarak, germe deneyine başlamadan önce, aşağıdaki ankraj boyları için merkezden geçen sınır çizgilerin olduğu teorik yük-uzama eğrisi hazırlanmalıdır.

- a) Ankraj kök boyunun % 50 si serbest boya eklenmiş uzunlukta,
- b) Serbest boyun % 80' ine eşdeğer uzunlukta
- c) Ankraj serbest boyu kadar (teorik elastik doğru)

Bu doğrular, değişik koşullar altında elastik hareket miktarını sınır değerleridir.

2. Uygun deneyler alınmalı ve yük-uzama verileri ile yaklaşık bir eğri oluşturulmalıdır.
3. Eğer deney programı, krip deneylerini de içeriyorsa, krip karakteristiklerinin belirlenmesi için yarı logaritmik grafikte eğriler çizilmelidir.
4. Yük-uzama eğrileri analiz edilerek yükün kök bölgesinde karşılanıp karşılanmadığı ve ankraj sisteminin göçme durumuna ne kadar yakın olduğu, sabit yük altında ankrajın davranışı incelenmelidir.
5. Yapım öncesi deney ankrajları tasarım parametrelerinin elde edilmesini ve ilk teorik kriterlerdeki değişiklikleri belirler. Üretim ankrajlarının kabul edilebilirlik deneyleri, yapım öncesi deneylerin sonuçlarının doğruluğunu ve verilerin karşılaştırılmasını sağlar. Uygunluk deneyleri kayıtların artmasını ve yük-uzama, yük-zaman verilerinin elde edilmesini sağlar.
6. Krip deneylerinin yapıldığı uygulamalarda, uzun süreli zemin davranışı karakteristiğinin zamanla neden olacağı potansiyel yük kaybı tahmininin yapılması sağlanabilir.

4.8.3 Uzun süreli gözlemler

Ankraj sisteminin uzun süreli gözlemlenmesi, üretilmiş olan ankrajların servis sırasındaki davranışlarını gözlemlemek için gereklidir. Bu deney programı, zemin cinci, ankraj tipi ve geometrisi, zamana bağlı öngerme kaybı ve krip uzaması değerlerini içerir.

Ankraj sistemindeki uzun süreli kayıplar, çeliğin gevşemesi ve ankrajda oluşan krip etkisinin birleşimi nedeniyle oluşur. Çeliğe ait gevşeme değerleri üretici firma tarafından detaylı olarak verilmiş olmasına karşın uzun süreli krip kayıplarının belirlenmesi ve tahmin edilmesi oldukça zor olmaktadır. Bu veriler en doğru biçimde, gerçek boyutlarda ve yerinde üretilmiş olan ankrajlar üzerinde yapılan krip deneylerinden elde edilir.

Gözlemlene yöntemleri ve şartları genellikle uygulamanın yapıldığı ülkeye ait şartnamelerde belirtilir. İngiltere' de yapılan uygulamalarda önerilen aralıklı gözlemlene yöntemi aşağıdaki gibidir :

1. Geçici ve kalıcı ankraj uygulamalarının her ikisinde de ankraj sistemi gerildikten 24 saat sonra yük kayıplarının belirlenmesi gerekir,
2. İlk 10 ankraj 1 ay boyunca haftalık olarak, daha sonraki 3 ay boyunca da aylık olarak kontrol edilmelidir,
3. Eğer 4 ay sonunda elde edilen sonuçlar olumlu ve yeterli ise, üretim ankrajlarının % 5' i 6 ayda ve tekrar 12 ayda kontrol edileceklerdir.

İzin verilebilir yük değişim oranı $\pm 0.1 T_w$ dur. Şistli ortamlarda bulunan, birçok ankraj sırası ile tutturulmuş dayanma yapılarında yük kaybı, şistli ortamın normal konsolidasyonu sonucu, duvarda hareket görülmeden oluşabilir. Böyle durumlarda ankrajın tekrar gerilmesi gerekmemektedir.

Bir çok durumda gözlemlene, ankraj-yapı-zemin sistemini bir bütün olarak kalite kontrol ve yapı davranışı açısından incelemek üzere gereklidir. Bu araştırma, özellikle şehir içi uygulamalarında, yapının çevresine etkisini kontrol etmek amacıyla projenin bütün olarak davranışını değerlendirmek üzere, oldukça önem kazanmaktadır.

5. YABANCI ŞARTNAMELER ve UYGULANAN ANKRAJ DENEYLERİ

5.1 Giriş

Bir çok zemin yapısında olduğu gibi ankrajlı yapılar da, geoteknik araştırmaların sonucu elde edilen verilere ve bir çok varsayımlara dayandırılan yapı hesapları ile tasarlanmaktadır. Ankrajlı yapıların kullanım alanlarının genişliği ve maliyetlerinin oldukça yüksek değerlerde oluşması nedeniyle böyle yapılarda karşılaşılabilecek yapım sonrası sorunların en aza indirilmesi amacıyla genelde üç farklı yöntemle yapılan deneyler değişik ülkelerde temelde aynı, uygulama biçimi ve detaylarında farklılıklar göstererek uygulanmaktadır.

Ankrajlı yapıda kullanılacak olan en küçük elemandan, tek bir ankraj sistemine ve ankrajlı yapının bütün olarak davranışına kadar, tasarım öncesi, uygulama öncesi, uygulama aşaması ve uygulama sonrası olmak üzere 4 farklı aşamada deney gerektiren ve herbirinde bir çok değişkeni ve tasarım aşamasında yapılmış olan varsayımları kontrol etmeyi amaçlayan deneyler, ankraj uygulamasının yapılacağı ortam ve kullanılacak olan ankraj sistemine göre farklılıklar gösterebilmektedir.

Bu deneylerin uygulanması ve değerlendirilmesi sırasında izlenmesi gereken yol ve uyulması gereken kurallar her ülkenin kendisine göre belirlemiş olduğu şartnamelerde açıkça belirtilmiştir. Bu şartnamelerden en çok bilinen ve referans olarak alınanlar, DIN 4125 (1990), SIA 191 (1977), U.S. Ulaştırma Bölümü Teknik Raporu (1984) ve BSI (1989) dur. Türkiye' de hazırlanmış bir şartnamesi bulunmayan, ankrajlı yapılarda uygulanacak deneyler ve karşılaştırılacakları kriterler, çoğunlukla U.S. Ulaştırma Bölümü Teknik Raporu (1984) örnek alınarak uygulanmaktadır.

5.2 DIN 4125 - Alman Şartnamesi (1990)

Zemin ankrajlarının tasarımı, yapımı ve deneyleri sırasında izlenmesi gereken işlemlerin açıklandığı bu şartnamede ankrajlar için uygulanması zorunlu olan deneyler dört başlık altında toplanmıştır. Bunlar:

- **Kanıt deneyi** : Belirlenmiş olan bir ankraj tipinin, uygulanacağı belirli zemin (kohezyonlu veya kohezyonsuz) veya kaya koşullarına uygunluğunu doğrulamak üzere kalıcı ankrajlar üzerinde uygulanır.
- **Arazi uygunluk deneyi** : Bu deneyin amacı, belirlenmiş olan ankraj tipinin mevcut koşullar altında tasarım çalışma yükünü ve kanıt yükünü, kendini çevreleyen zemine iletebilirliğini göstermektir. Aynı zamanda enjeksiyonun taşıma kapasitesinin ve deplasman değerinin doğrulanmasını ve hesap ile tendonun serbest boyunun belirlenmesini sağlar.
- **Kabul edilebilirlik deneyi** : Kabul edilebilirlik deneyi, ankrajın yerleştirildikten sonra taşıma kapasitesini sağladığını doğrulamayı amaçlar.
- **Servis deneyi** : Servis deneyi, ankrajın kabul edilebilirlik deneyinden sonraki taşıma kapasitesini veya ankrajlı bir yapı elemanının işlevliğini kontrol etmek amacıyla kabul edilebilirlik deneyinden sonra uygulanır.

5.2.1 Kanıt deneyi

Bütün ankraj sistemlerine, işlevliklerinin kanıtlanabilmesi için kanıt deneyi uygulanır ve genelde şunları içermelidir:

- a) Ankrajın tasarımı, yapım koşulları ve paslanmaya karşı korunması,
- b) Nakledilme, depolama ve yerleştirme sırasında taşınma kolaylığı,
- c) Sahada, ankraj kafasına paslanmaya karşı önlem gereksinimi,
- d) Germe deneyleri,
- e) Germe deneylerinden sonra paslanmaya karşı gereksinim,

f) Germe deneyinden sonra enjeksiyonun boyutu ve durumu (çatlak oluşumu kontrolü de dahil).

Kanıt deneyinin uygulanma alanı ve türü, ankraj yapımına ve çevreleyen zemine bağlıdır.

Deney gerçek boyutlardaki ankrajlar üzerinde uygulanmalıdır. Zemin ankrajlarına, önerilen ortamla aynı özelliklerdeki zeminde, kaya ankrajlarına kayanın belirlenmiş özelliklerine eşit olan özelliklerdeki beton blok içinde d-f arasındaki maddelerde tanımlandığı gibi deney uygulanabilir. Ankraj bileşenleri üzerindeki kanıt deneyleri modeller üzerinde gerçekleştirilebilir.

5.2.2 Arazi uygunluk deneyi

5.2.2.1 Saha-faaliyet alanı

Her şantiyede en az üç ankraja uygunluk testi uygulanacaktır. Zemin araştırmalarına göre olumsuz sonuçlar verebilecek konumda bulunan ankrajlar seçilmelidir. Geçici ankrajlarda, eğer bulunduğu zemin koşulları ile aynı veya yakın zemin koşullarına sahip olan bir ortamda daha önceden benzer bir deney gerçekleştirilmiş ise uygunluk deneyi uygulamasından vazgeçilebilir.

5.2.2.2 Yöntem

Germe deneyinde, ankrajın yapıya bağlandığı noktanın yükleme doğrultusundaki yerdeğiştirme miktarı sabit bir noktadan ölçülecektir.

F_w güvenli çalışma yükü olmak üzere, $0.2F_w$ değerini aşmayan F_i ilk yükünden itibaren yük kademeli olarak $0.5F_w$, $0.75F_w$, $1.0F_w$ ve $1.25F_w$ değerlerine arttırılarak $\eta_K.F_w \leq 0.9F_S$ değerine eşit olan F_P kanıt yüküne ulaşılır. F_S

tendonun akma noktasından belirlenen limit yük değeri olup, enjeksiyon ve tendon için kullanılan, yük koşullarına göre farklı değerler alan η_K ve η_S güvenlik sayıları Çizelge 5-1 de verilmektedir. Bütün bu yük kademelerinin herbirisine ilk gelindiğinde gözlem için Çizelge 5-2 de verilen minimum süre boyunca yük sabit tutulur ve daha sonra yük kademeli olarak F_i yüküne kadar boşaltılarak ankrajın elastik veya plastik davranışı kontrol edilmiş olur. Bunun arkasından yük tekrar kademeli olarak Şekil 5-1 deki gibi bir sonraki üst yük kademesine yükseltilir.

Çizelge 5-1 η_K ve η_S Güvenlik sayıları

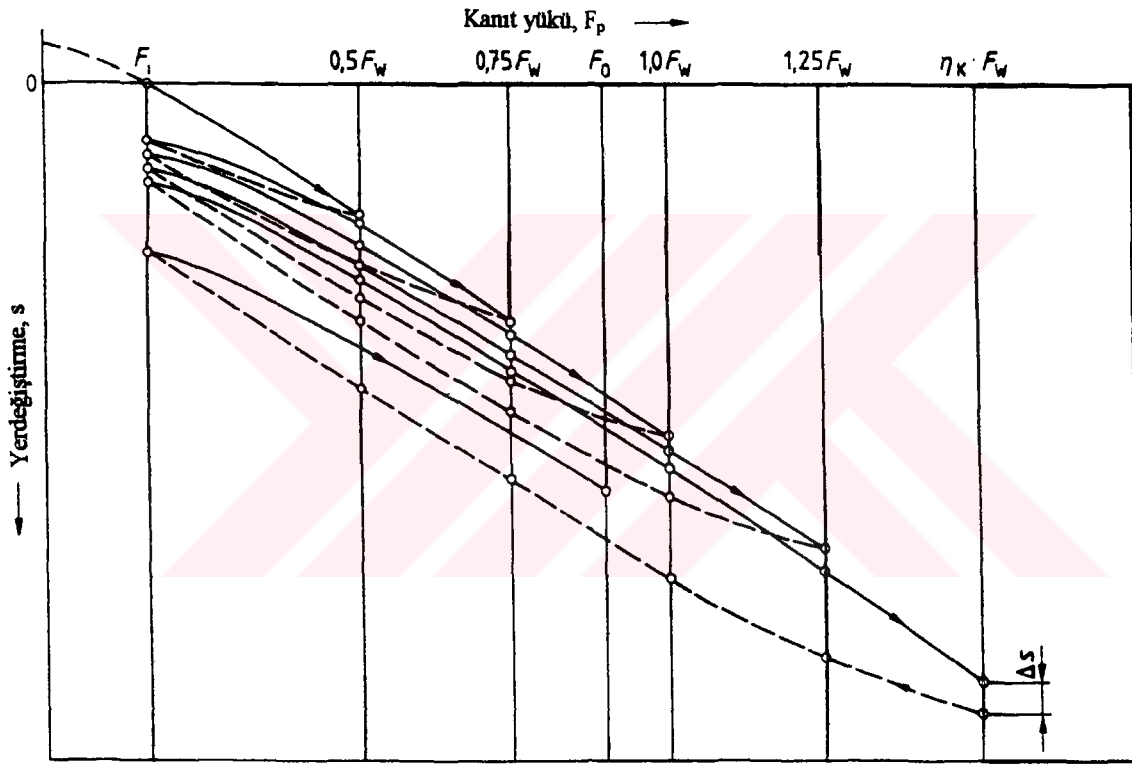
1	2	3	4	5
Yük koşulları	Enjeksiyon için η_K		Tendon için η_S	
	Toprak basıncı		Toprak basıncı	
	Aktif	Sukunette	Aktif	Sukunette
1	1,5	1,33	1,75	1,33
2	1,33	1,25	1,5	1,25
3	1,25	1,2	1,33	1,2

Çizelge 5-2: Uygunluk ve kabul edilebilirlik deneyi için yük kademeleri ve gözlem süreleri.

	1	2	3	4	5	6	7	8
	Minimum gözlem süresi; (dakika olarak)							
	Uygunluk Deneyi				Kabul Deneyi			
	Geçici Ankrajlar		Kalıcı Ankrajlar		Geçici Ankrajlar		Kalıcı Ankrajlar	
Kanıt yükü, F_p (Yük Kademeleri)	Kohez- yonsuz zemin, kaya	Kohez- yonlu zemin	Kohez- yonsuz zemin, kaya	Kohez- yonlu zemin	Kohez- yonsuz zemin, kaya	Kohez- yonlu zemin	Kohez- yonsuz zemin, kaya	Kohez- yonlu zemin
$F_i \leq 0,2 F_w$	1	1	1	1	1	1	1	1
$0,5 F_w$	1	1	15	30	-	-	-	-
$0,75 F_w$	1	1	15	30	1	1	1	1
$1,0 F_w$	1	1	60	120	1	1	1	1
$1,25 F_w$	1	1	60	180	5	15	1	1
$\eta_k F_w$	15	30	120	1440	-	-	5	15

Çizelge 5-1 de verilen üç farklı yük durumu DIN 1054' de açıklandığı gibi :

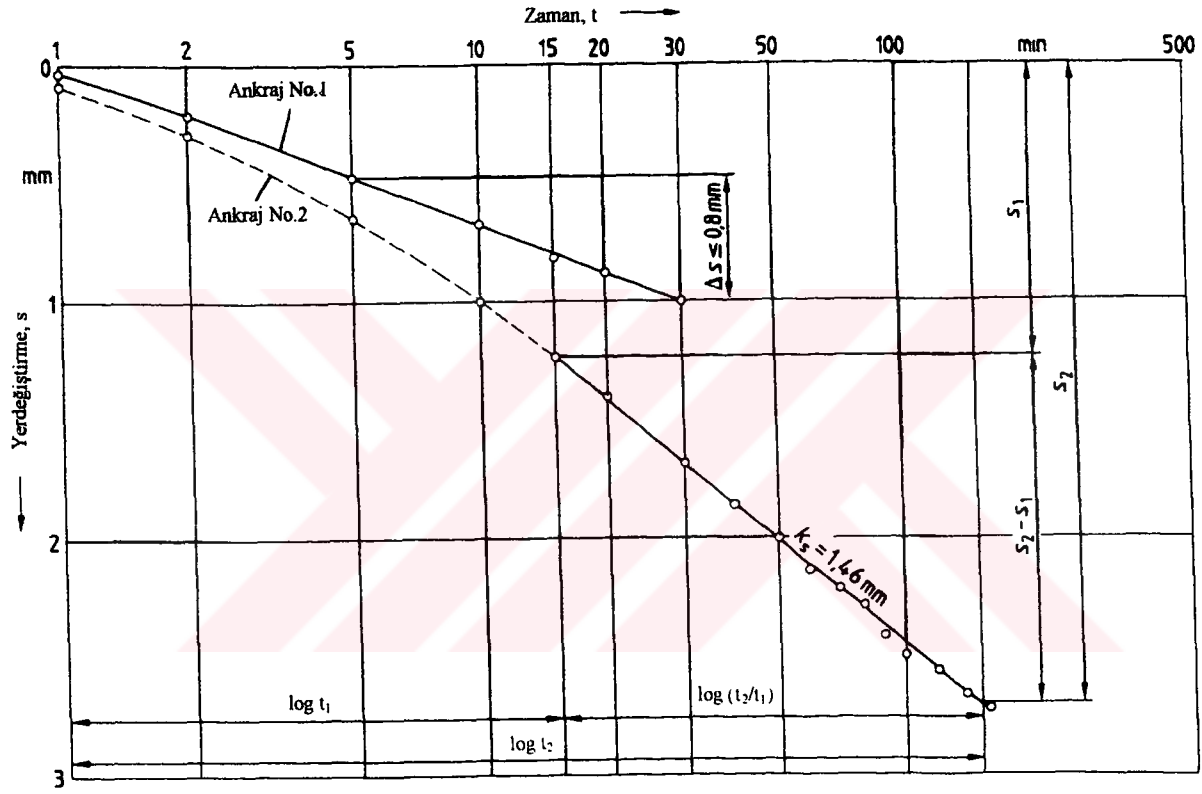
- Yük durumu 1, yapının tamamlanmışlık, kazının da tamamlanacaklık durumuna bağlıdır,
- Kazı durumunda, yapının tamamlanma durumuna kadar olan bütün ilk aşamaları ve yeniden doldurma işleminin tamamlanmasına kadar olan alt aşamalar yük durumu 2' yi oluşturur,
- Kaya ankrajlarında, temsili örnekler kullanılarak düzenli olarak ankraj yükü kontrol edilmesi yük durumu 3' ün bütün yapım aşamalarını içerebilmesini sağlar.



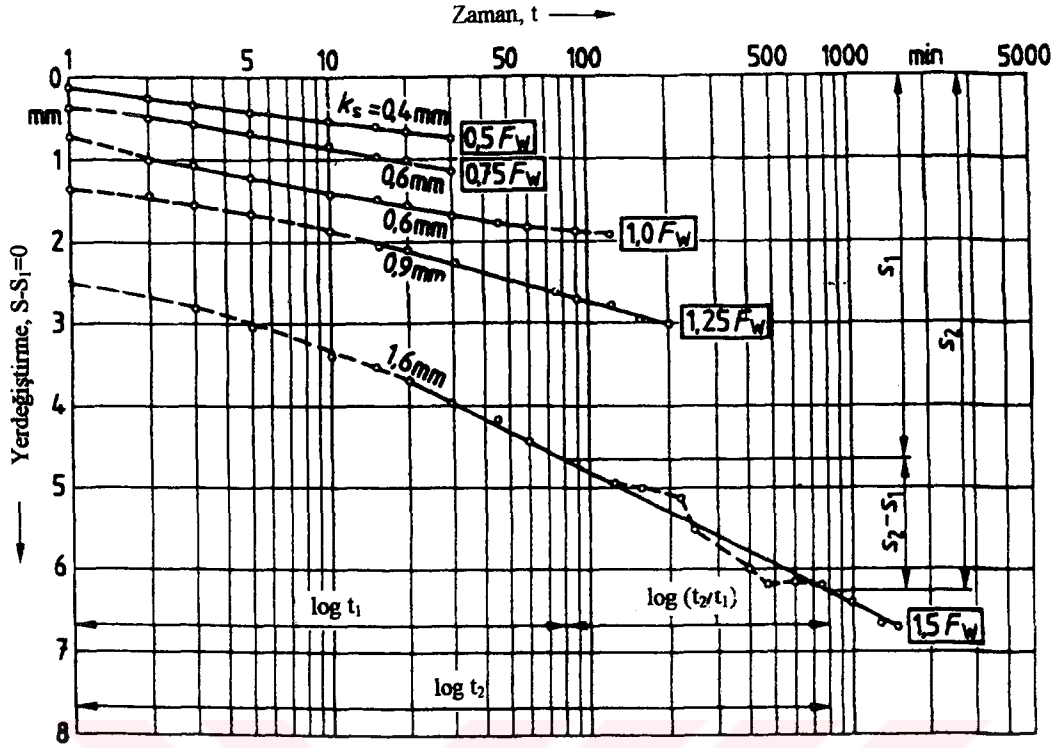
Şekil 5-1 Geçici ankrajın uygunluk deneyinden elde edilen yük/deplasman eğrisi

Eğer deney yapıldığı sırada ankrajın güvenli çalışma yükü (F_w) bilinmiyorsa veya enjeksiyon sınır yükü F_K limit yüküne ulaşılması belirli değilse Çizelge 5-2 de verilen yük kademelerinin altında değerler kullanılacaktır.

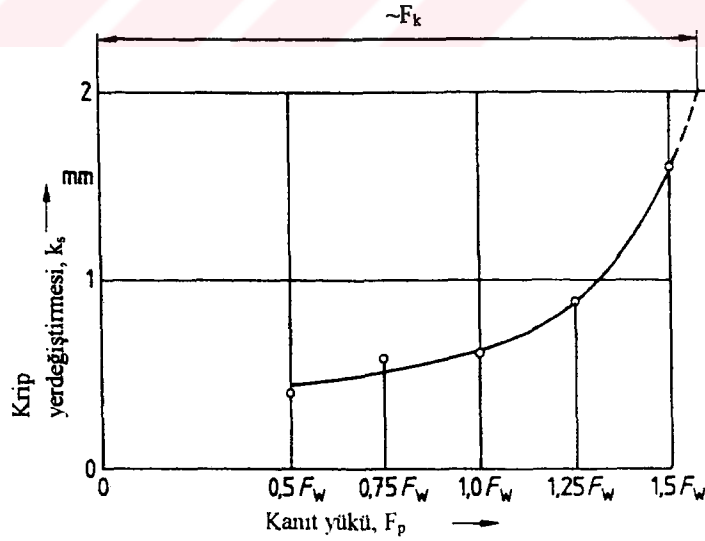
Kanıt yükünün sabit tutulması ile belirli zamanlarda (1, 2, 5, 10, 15, 30 dakikalar) beş dakikadan fazla olmak üzere verilen gözlem süresinde deplasman değerleri belirlenerek geçici ve kalıcı ankrajların her ikisi için de Şekil 5-2 ve 5-3 deki gibi yarı logaritmik hareket-zaman eğrisi çizilecektir. Eğrilerin doğrusal kısımları için, k_s krip uzaması belirlenerek Şekil 5-4 deki gibi yük aşamalarının fonksiyonu olarak çizilecektir.



Şekil 5-2 F_p yükü altında $k_s = (s_2 - s_1) / \log (t_2/t_1)$ değerini belirlemek için zaman-deplasman eğrileri (örnekler, kohezyonlu zemindeki geçici ankrajlarda uygunluk deneyinde uygulanmıştır.)



Şekil 5-3 F_p yükü altında k_s değerini belirlemek için zaman-deplasman eğrileri (örnekler, kohezyonlu zemindeki kalıcı ankrajlarda uygunluk deneyinde uygulanmıştır.)



Şekil 5-4 Şekil 5-3 de gösterilen uygunluk deneyi için krip deplasmanı/kanıt yükü diyagramı.

Çizelge 5-2 de verilen minimum gözlem süreleri şu durumlarda arttırılabilir:

- a) Δs deplasmanının artışı kohezyonsuz zemin ve kayada 5. ve 15. dakikalar arasında 0.5 mm. yi, kohezyonlu zeminlerde de 5. ve 30. dakikalar arasında 0.8 mm. yi aşarsa, veya
- b) Şekil 5-2 veya 5-3 deki zaman-hareket eğrisinin eğimi zamanın logaritması ile doğru orantılı olarak artarsa, veya
- c) Kohezyonsuz zemin ve kaya için k_s 1 mm. yi aşarsa.

a) ve b) koşullarında gözlem süresi k_s sağlanıncaya kadar uzatılacaktır.

c) koşulunda, kohezyonlu zemin için belirlenen gözlem süreleri sağlanmalıdır.

5.2.2.3 Kalıcı ankrajların çevrimli yüklenmesi

Yukarıdaki yöntemle göre uygulanan uygunluk deneyinin ardından, kalıcı ankrajlar $1.0F_W$ yük seviyesine kadar yüklenip $0.5F_W$ seviyesine kadar yük boşaltılacaktır ve bu çevrim, çevrimler arasında beklemeksizin 20 defa uygulanacaktır. $1.0F_W$ ve $0.5 F_W$ yük seviyelerindeki hareket en az her beş çevrim sonunda ölçülecektir. Son olarak yük F_1 değerine düşürülecek ve F_0 çalışma yükü uygulanacaktır.

5.2.2.4 Sınırlamalar

5.2.2.4.1 Krip hareketi:

Geçici ankrajlar için kanıt yükü altındaki ankraj aşağıdaki koşulları sağlamalıdır:

- a) Δs deplasmanında artış, kohezyonsuz zemin ve kaya ortamında 5. ve 15. dakika arasında 0.5 mm. yi, kohezyonlu zemin ortamında da 5. ve 30.

dakika arasında 0.8 mm.yi geçmemelidir (her iki değer de yaklaşık olarak 1 mm. veya daha az krip hareketini verir);

b) Şekil 5-2 de belirtilen k_s değeri 2 mm. yi geçmemelidir.

Kalıcı ankrajlar için, kanıt yükü altındaki ankraj, Şekil 5-3 ve 5-4 de belirtilen k_s değeri 2 mm. yi geçmemelidir.

Eğer hem geçici ankrajlara, hem de kalıcı ankrajlara uygunluk deneyi uygulanırsa, kanıt yüküne ulaşılır ve a) ve b) maddelerindeki koşullar sağlanırsa, F_k açısından gerekli güvenlik kanıtlanmış sayılır (Şekil 5-2 deki diyagramda, a) koşulu 1 no.' lu ankraj ile, b) koşulu 2. no.'lu ankraj ile gösterilmiştir). Eğer bir ankraj için, F_k ya düşük bir yük seviyesinde ulaşılmışsa, uygunluk deneyi ile kapsanan, bütün ankrajlar için izin verilebilir ankraj yükü olan F değeri, deneyden elde edilen en düşük değer esas alınarak aşağıdaki eşitlik ile belirlenecektir.

$$F \leq \frac{F_k}{\eta_k} \quad (5-1)$$

5.2.2.4.2 Serbest tendon boyu ve sürtünme kayıpları

Öngerme sırasında, hesap ile belirlenen serbest tendon boyu (cal l_{fs}), yük-uzama eğrisinden 5.2.4.3. deki yöntem kullanılarak belirlenecektir. Böylece tasarımda öngörülen l_{fs} tasarım serbest boyundan çok farklı bir boy elde edilmediği ve sürtünme kayıplarının düşük olduğu kanıtlanmaktadır. Eğer elastik uzama 5.2.4.1. de verilen a) ve b) sınır eğrilerinin arasında kalıyorsa bu koşul sağlanmış kabul edilmektedir.

5.2.2.5 Ölçüm aygıtları

Germe deneyinde, yükler, yük hücreleri (max. ölçek değerinin %1 i hata sınırlı) ile, hareketler ise 0.01 mm. ölçek aralıklı dial gauge'ler kullanılarak ölçülmelidir.

5.2.2.6 Ankraj grupları

Çalışma yükleri 700 KN.'a kadar olup enjeksiyonlarının merkezden merkeze uzaklığı 1 m. veya çalışma yükleri 1300 KN.'a kadar olup merkezden merkeze uzaklığı 1.5 m. olan ankraj gruplarında (genelde üç tane) komşu ankrajlar aynı anda yüklenecek ve gözlenecektir.

5.2.2.7 Deney raporu

Uygunluk deneyinin sonuçları rapor halinde düzenlenecektir.

5.2.3 Kabul edilebilirlik deneyi

5.2.3.1 Yöntem

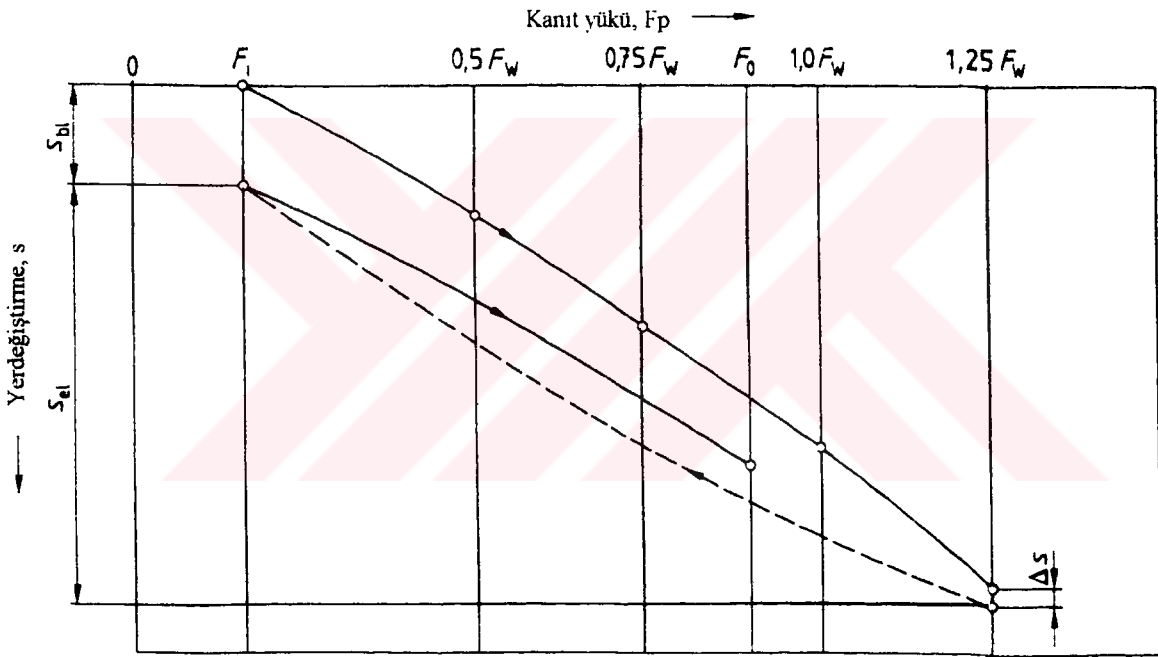
Ankrajların herbirisine kabul edilebilirlik deneyi uygulanacaktır. Bir F_i ilk önyükleme yükünden başlayarak geçici ankrajlarda $1.25 F_w$ değerine (Şekil 5-5), kalıcı ankrajlarda $\eta_k.F_w$ değerine (max. $0.9 F_s$) eşit kanıt yüküne kadar aşamalı olarak yüklenecektir. Daha sonra ankrajdaki yük boşaltılacaktır. Her yük aşamasında, ankrajın uzama miktarı, yükün fonksiyonu olarak ankrajın yapıya bağlandığı ucundan, 5.2.3.4. de açıklanan aygıtlar ile ölçülecektir.

Kanıt yükünün sabit tutulması ile kohezyonsuz zemin ve kaya ortamında en az beş dakika, kohezyonlu zemin ortamında 15 dakika (örn.: 1,2,5,10 ve 15.

dakikalar) boyunca uzama miktarı ölçülecektir. Minimum gözlem süresi şu durumlarda uzatılacaktır:

- Kohezyonsuz zemin ve kaya ortamında 2. ve 5. dakikalar arasındaki sürede hareket 0.2 mm. yi geçerse veya
- Kohezyonlu zemin ortamında 5. ve 15. dakikalar arasındaki sürede uzama 0.25 mm. yi geçerse (her iki değer de 0.5 mm. den fazla krip hareketini göstermektedir.).

Bu gözlemler, 5.2.2.2. de tanımlanan " k_s " için kesin değer belirleninceye kadar devam edecektir.



Şekil 5-5 Geçici bir ankrajda kabul edilebilirlik deneyi için bir örnek.

Heterojen zemin ve kaya ortamları için kohezyonlu zeminler için tanımlanan yöntem uygulanacaktır.

Bu deneyin ardından, ankraj kafasında meydana gelecek kayma miktarı da hesaba katılarak F_0 değerine ulaşıncaya kadar gerilecektir.

5.2.3.2 Kayıtlar

Kabul edilebilirlik deneyinin sonuçları tablo şeklinde kayıt edilecektir. Kayıtlar, uygun kanıt yükleri için, izin verilebilir elastik deplasman (Şekil 5-6'da a ve b doğruları ile ifade edilen) limitlerini, 2. ve 5. dakikalar arası ve 5. ve 15. dakikalar arası gözlemlerindeki deplasman değişimlerini ve F_i yüküne kadar yük boşaltığında da kalıcı deplasmanı verecektir.

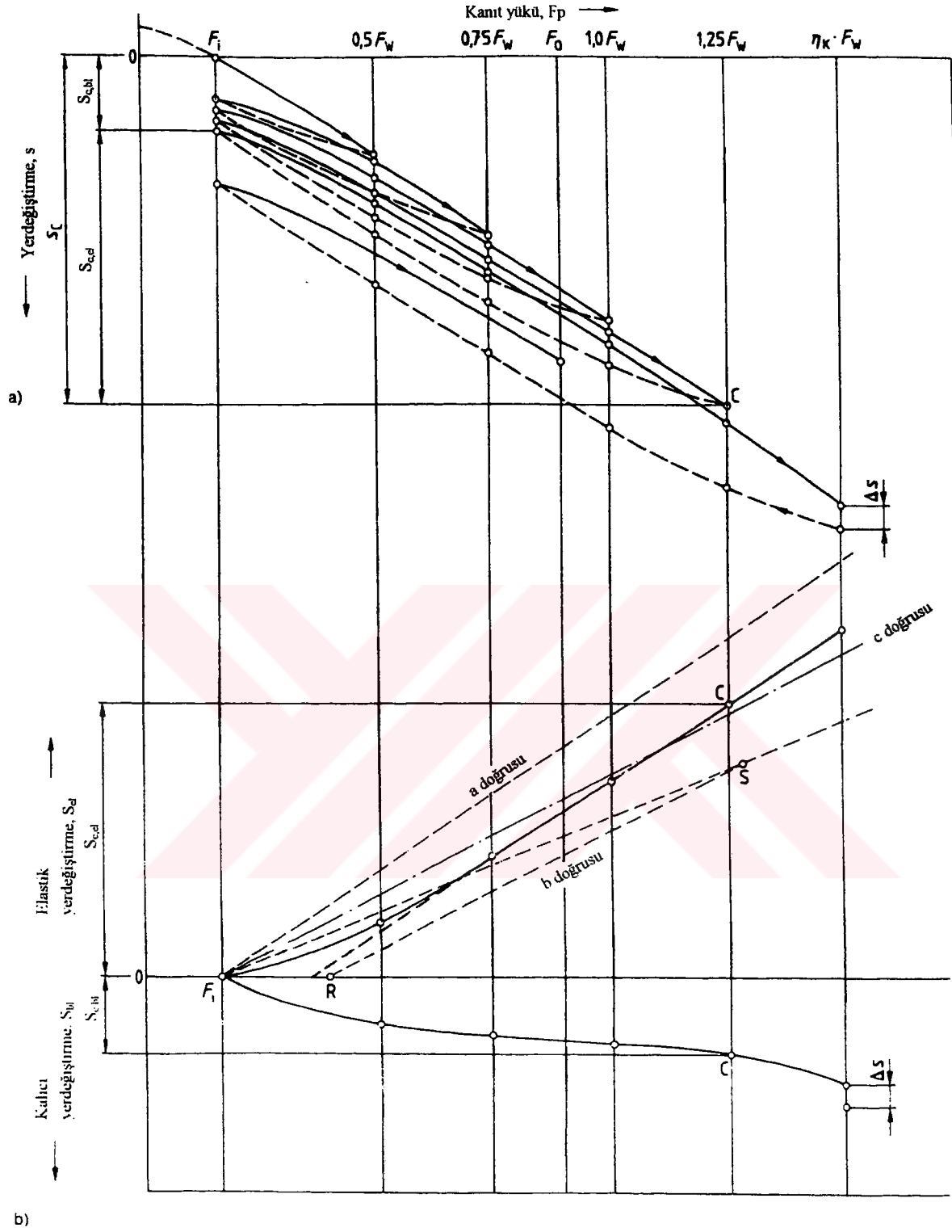
Deney yönteminde değişiklikler uygulayıcı ve uygunluk deneyini uygulayan uzman arasında anlaşmaya varılması ile olabilir. Genelde, kabul edilebilirlik deneyinin denetlenmesi şart değildir.

5.2.3.3 Kabul kriteri

Kabul edilebilirlik deneyi, kanıt yükü altında ankrajın, elastik deplasmanının Şekil 5-6 daki a ve b doğruları ile tanımlanmış sınırların arasında kalması ve aşağıdaki iki koşulun sağlanması durumunda başarılı olarak gerçekleştirilmiş sayılır.

- a) Uygun kanıt yükü altında, Δs hareket artış miktarı kohezyonsuz zemin ve kaya ortamında 2. ve 5. dakika arasında 0.2 mm. yi, kohezyonlu zemin ortamında ise 5. ve 15. dakika arasında 0.25 mm. yi (0.5 mm. veya daha az yaklaşık krip hareketi değerini veren her iki değer) geçmemelidir.
- b) Çizelge 5-3 deki sürdürülen gözlem süresi için, krip hareketi geçici ankrajlarda 1 mm. yi, kalıcı ankrajlarda 2 mm. yi aşmamalıdır.

Eğer ankraj kabul edilebilirlik deneyini geçemezse, alınacak önlem, sorumlu kontrol mühendisi ile beraberce kararlaştırılacaktır. Alınabilecek önlemler, genişletilmiş kabul edilebilirlik deneyi, çalışma yükünün düşürülmesi, ilave ankraj yerleştirilmesi şeklinde olabilir.



a) Toplam deplasman b) Elastik ve kalıcı deplasmanlar ve sınır doğruları.
Şekil 5-6 Yük-hareket eğrisi (örnek, geçici ankraj kabul edilebilirlik deneyinde uygulamıştır.)

Çizelge 5-3 Uygunluk ve kabul edilebilirlik deneyi için kanıt yükünde gözlem süreleri ve izin verilebilir hareket veya krip hareketi

		1	2	3	4	5	6	7	8	9
		Uygunluk Deneyi				Kabul Edilebilirlik Deneyi				
		Geçici Ankrajlar		Kalıcı Ankrajlar		Geçici Ankrajlar		Kalıcı Ankrajlar		
		Kohez-yonsuz Zemin, Kaya	Kohez-yonlu Zemin	Kohez-yonsuz Zemin, Kaya	Kohez-yonlu Zemin	Kohez-yonsuz Zemin, Kaya	Kohez-yonlu Zemin	Kohez-yonsuz Zemin, Kaya	Kohez-yonlu Zemin	
Kanıt Yüğü		$\eta_K.F_w$		$\eta_K.F_w$		1,25.F _w		$\eta_K.F_w$		
1	Kısa gözlem süreleri, min									
	t ₁	5	5	-	-	2	5	2	5	
	t ₂	15	30	-	-	5	15	5	15	
	$\Delta s=s_2-s_1, \text{min}$	$\leq 0,5$	$\leq 0,8$	-	-	$\leq 0,2$	$\leq 0,25$	$\leq 0,2$	$\leq 0,25$	
2	Uzun gözlem süreleri, min									
	t ₁ [*]									
	t ₂	>15	>30	≥ 120	≥ 1440	>5	>15	>5	>15	
	k _{s,min}	$\leq 2,0$		$\leq 2,0$		$\leq 1,0$		$\leq 2,0$		
* t ₁ zaman-yerdeğiştirme eğrisinin doğrusal kısmından okunacaktır.										

Eğer kalıcı hareket ve krip hareketi uygunluk deneyindeki değerlerden yüksek ise ek önlemler alınması ve deneyler yapılması gerekir.

5.2.3.4 Ölçme aygıtları

Germe deneyi sırasında hareketler 0.01 mm. duyarlıklı dial gauge' ler ile ölçülecektir. Yükleme ve yük boşaltmak için, taşınan yükün hidrolik basıncın fonksiyonu olarak belirlenebildiği hidrolik krikolar kullanılabilir. Hidrolik basınç, kalibre edilmiş basınç ölçer ile ölçülecektir. Hidrolik basınç, DIN 51220 de belirtildiği gibi kalibre edilmiş bir basınç halkası ile ölçülecektir.

5.2.3.5 Servis süresinin uzatılması

Eğer herhangi nedenden dolayı geçici ankraj sistemi iki seneden fazla bir süre için seviste kalırsa yapının kontrol mühendisi bu durumdan haberdar edilmelidir. Her türlü olası durum için gerekli önlemler alınmalı ve gerekirse bir uzmana danışılmalıdır. En azından şu önlemler bir süre için alınmalıdır:

- a) Görülebilen durumlarda ankrajın görsel olarak gözlenmesi;
- b) Ankrajların aratn gerilme etkisinde kalıp kalmadığının gözlenmesi.

Düzenli aralıklarla yapılacak jeodezik ölçümler ile ankrajlı yapıda herhangi bir hareket olup olmadığı belirlenerek stabilitesi hakkında bir karara varılabilecektir.

5.2.4 Uygunluk deneylerinin değerlendirilmesi ve sonuçların irdelenmesi

Sonuçların değerlendirilmesi 5.2.4.1.-5.2.4.3. de anlatıldığı gibi yapılacaktır.

5.2.4.1 Sınır çizgileri

Şekil 5-6 daki a ve b doğruları şu şekilde saptanacaktır.

- a) a doğrusu denklem 5-2 ve 5-3 ile ifade edilir.

karma ankrajlar için:

$$s_{el} = \frac{F_p - F_i}{EA_s} (l_{fs} - l_v) \quad (5-2)$$

basınç ankrajları için:

$$s_{el} = 1.1 \frac{F_p - F_i}{EA_s} l_{fs} \quad (5-3)$$

b) $F_p \geq 0.75 \eta_K F_w + F_i$ için b doğrusu eşitlik 5-4 ile

$$s_{el} = 0.8 \frac{F_p - F_i}{EA_s} l_{fs} \quad (5-4)$$

Bu eşitliklerde;

- s_{el} : Elastik uzama,
- F_p : Kanıt yükü,
- F_i : İlk yük, (gerginleştirme yükü),
- F_w : Çalışma yükü
- E : Çeliğin elastisite modülü,
- A_s : Tendonun kesit alanı,
- l_{fs} : Tendon serbest boyu,
- l_v : Kök boyu,
- η_K : Enjeksiyon için güvenlik sayısı,

değerlerini göstermektedir.

$F_p \leq 0.75 \eta_K F_w + F_i$ için R ve S koordinat noktaları Çizelge 5-3 den elde edilen $F_i R + RS$ karma doğruları ile ifade edilir.

Çizelge 5-4 Şekil 5-6 daki R ve S noktalarının koordinatları.

Nokta	Ordinat s_{el}	Absis F_p
R	0	$0,15\eta_K.F_w + F_i$
S	$0,6\eta_K.F_w$	$0,75\eta_K.F_w + F_i$

5.2.4.2 Sonuçların irdelenmesi

Germe deneyinin sonuçları yük/uzama eğrisi olarak Şekil 5-6(a) daki eğri gibi çizilecektir. Ankraj kafasından ölçülen hareket miktarı elastik ve plastik (kalıcı) bileşenlerine ayrılacaktır.

Şekil 5-6(a) da görüldüğü gibi, verilmiş olan belirli kanıt yükü için, toplam uzama S , ankraj yükünün F_i değerine indirilmesi ile, s_{el} elastik bileşenin düşmesi ile s_{b1} plastik bileşenine düşürülmüş olur. Şekil 5-6(b) de görüldüğü gibi her iki bileşen de kanıt yükünün fonksiyonu olarak F_i için ayrı ayrı çizilecektir.

5.2.4.3 Tendon serbest boyunun saptanması

Tasarım tendon serbest boyu (cal l_{fs}), elastik deplasman eğrisinin doğrusal kısmından denklem 5-5 kullanılarak belirlenmelidir.

$$cal\ l_{fs} = \frac{\Delta s_{el}}{\Delta F_p} EA_s \quad (5-5)$$

$\Delta s_{el} \Delta F_p^{-1}$: s_{el} eğrisinin doğrusal kısmının eğimi;

E : Çeliğin elastisite modülü;

A_s : Tendonun enkesit alanı.

5.2.5 Servis sırası deneyi

Ankrajda, yapıda veya zemin ortamında meydana gelme olasılığı bulunan hareketler nedeniyle ankrajın veya yapının işlerliği gibi konuları etkileyecek olan ankraj yükü değişimlerini arttırabilecek ortamlarda doğabilecek sorunlara karşı ankrajda serviste iken de deney yapılması gerekir. Deney yöntemine,

deney sıklığına ve deney yapılacak olan ankraj sayısına, geoteknik veriler, ankrajlı yapının tipi, uygunluk ve kabul edilebilirlik deneyi sonuçları birlikte gözönüne alınarak karar verilecektir.

Deney, yapıyı aletle/gözle gözleyerek veya ankraj yükünü ölçülerek uygulanır.

Herhangi ölçüm sonuçları veya bulgular kayıt edilecektir.

5.3 SIA 191 - İsviçre Şartnamesi (1977)

5.3.1 Deney ankrajları

Bu şartnamede başlıca üç tür deneyden söz edilmekte olup bunlar aşağıda verilmektedir:

- **Ankraj deneyleri** : Ankraj deneyleri, bu amaç için yapılmış deney ankrajlarında yapılır ve bu ankrajlar tekrar kullanılmaz (5.3.2.).
- **Gerilme deneyleri** : Yapılmış olan ankrajlar üzerinde yapılan kısa süreli deneylerdir (5.3.3.).
- **Uzun süreli kontroller** : Bunlar deney ankrajları üzerinde uygulanan uzun süreli deneylerdir (5.3.2.6.).

5.3.1.1 Genel

Ankraj yapıları hakkında temel bilgiler edinmek veya gerektiğinde ankraj seçimini yapabilmek için deney ankrajları üzerinde 5.3.2. de tanımlanan deneyler yapılır. Bu, özellikle kökün gerekli güvenliğinin kanıtı ile ilgilidir. Bu nedenle deney ankrajının tendonu uygun ve elverişli bir şekilde tasarlanmalıdır.

Deney ankrajlarının hangi çeşit zemin formasyonu alanı için temsil edici olduğunu belirlemek için geoteknik araştırmalar yapılmalıdır.

Ankrajların yapımı ve deneylerin uygulanması proje mühendisi tarafından denetlenip, onun gözetiminde gerçekleştirilmelidir. Dikkatlice tutulan delgi ve enjeksiyon raporları saklanarak herhangi bir deney uygulanmayan diğer ankrajlar deney ankrajları ile karşılaştırılabilir. Çok fazla sapmalar gözlenirse, yeni deney ankrajları uygulanması gerekebilir.

5.3.1.2 Deney ankrajlarının sayısı

Deney ankrajlarının sayısı, zeminin heterojenliğine, risk derecesine, sonucunun önemine ve benzer koşullarda yapılmış eski projelerden elde edilen deneyimlere bağlıdır.

Eğer daha önceden benzer projeler yapılmadıysa, "temel alanı" olarak adlandırılan, benzer geoteknik şartlara sahip zemin veya kaya ortamındaki deney ankrajlarının sayısı Çizelge 5-5 teki gibi önerilmektedir:

Çizelge 5-5 Deney ankrajları sayısı için öneriler

Kökü temel alanı içinde olan ankrajların sayısı	*Ankraj sınıflarına göre, temel alanı başına deney ankrajları sayısı.		
	1. Sınıf	2. ve 4. Sınıf	3., 5. ve 6. Sınıf
20'ye kadar 20'nin üzerinde	Hiç	Hiç	3
	En az 3 olmak üzere %1	En az 3 olmak üzere %1,5	En az 3 olmak üzere %2

* 5.3.5 Ankraj sınıfları konusunda ankrajların risklerine göre hazırlanmış olan Çizelge 5-9 da gösterilmiştir.

5.3.1.3 Deneylerin süresi

Ankraj deneyi, kök bölgesi için kullanılan bağlayıcı malzemenin gerekli dayanımı kazanması sağlanmadan yapılmamalıdır.

- Çimento şerbeti ve çimento harcı kullanılan durumlarda en erken 1 hafta,
- Sentetik reçine harcı kullanılan durumlarda, örnekler, kök bölgesini saran ortamın sıcaklığında saklanıp deneyler sonucunda sertleştiği belirlendikten,

sonra ankraj deneyi uygulanabilir.

5.3.1.4 Ölçülen değişkenler ve incelik şartları

Ankraj deneyi sırasında, ankraj kafasının eksenel hareketleri, ankraj plakasının hareketi ve tendondaki ankraj kuvvetinin şu incelikte ölçülmesi gereklidir:

- Δl , ankraj kafasının sabit bir noktaya göre ve ankraj plakasının eksenel doğrultuda (Δl_K) hareketleri, V_p kanıt yükü altında tendonun hesaplanmış elastik uzaması Δl_r değerine bağlı olarak:

Mutlak incelik Δl_r ' nin % 2' si

Bağıl incelik Δl_r ' nin % 0.5' i

- Δs , ankraj plakasının hareketleri (temelin veya ankraj kafası desteğinin yer değiştirmesi):

Mutlak incelik Δl_r ' nin % 2' si

Bağıl incelik Δl_r ' nin % 0.5' i

- Tendondaki ankraj kuvveti (ankraj kafasının arkasında), V_p kanıt yüküne bağlı olarak :

Mutlak incelik V_p 'nin % 3' ü

Bağıl incelik V_p 'nin % 0.5' i

V_p kanıt yükü altında, hesaplanan tendon elastik uzama değeri Δl_r , 5-6 eşitliği ile önceden belirlenebilir:

$$\Delta l_r = \frac{V_p \cdot l_{fr}}{E_e F_e} \quad (5-6)$$

Burada;

l_{fr} : Ankrajın etkin serbest boyu,

E_e : Tendonun elastisite modülü,

F_e : Tendonun kesit alanıdır.

Hareketler sabit bir noktadan belirlenecektir. Sıcaklığın etkileri dikkate alınmalı. Ayrıca, yük ölçen aletlerin kalibrasyonu periyodik olarak yapılmalıdır.

5.3.2 Ankraj deneyi

Ankraj deneyi, ankraj seçimi ve tasarımı için bir yardımcıdır. Ankraj işini değerlendirmek ve kabul etmek için bir taban oluşturur. Kök için limit yük (V_v) belirlenirken deney ankrajının tendonu kuvvetlendirilebilir ise de ankrajın diğer karakteristikleri korunmalıdır.

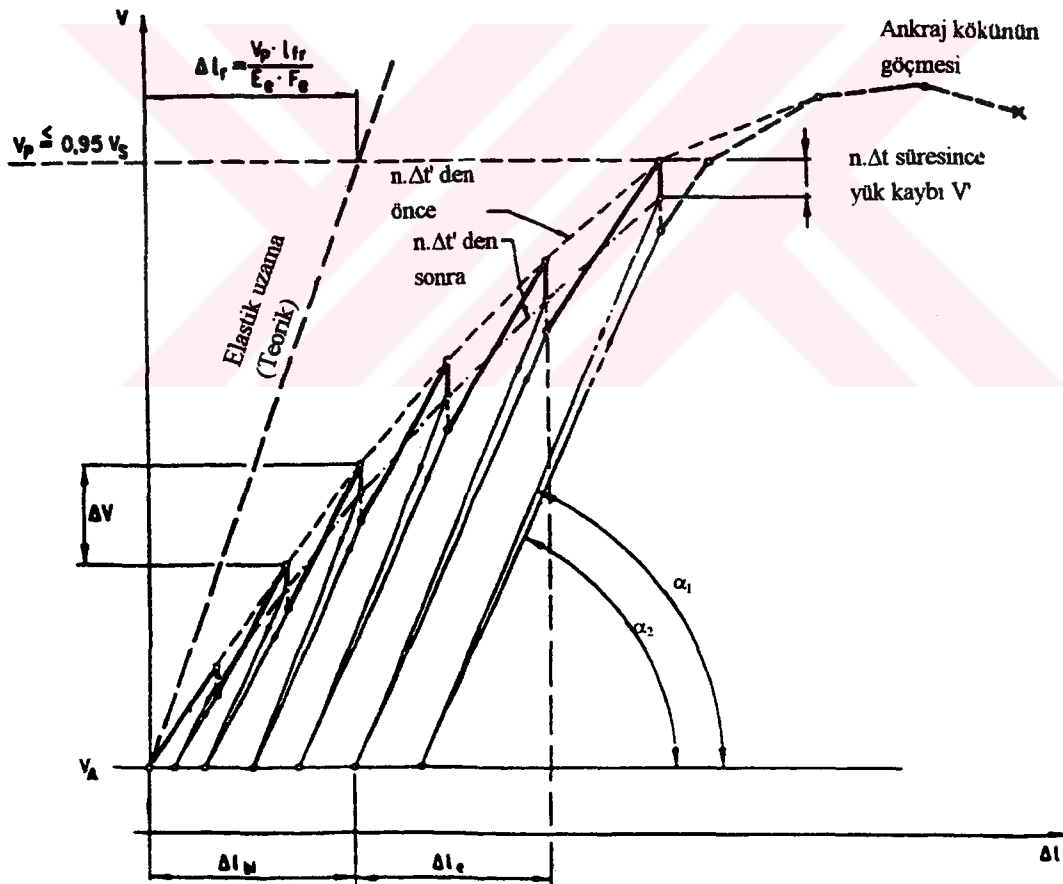
Ankraj deneyi sırasında, deney ankrajı adımlarla gerilir ve yük/uzama eğrisi çizilir. Eğer olanak varsa ankraj deneyden sonra sökülmelidir.

5.3.2.1 Deneyin uygulanışı

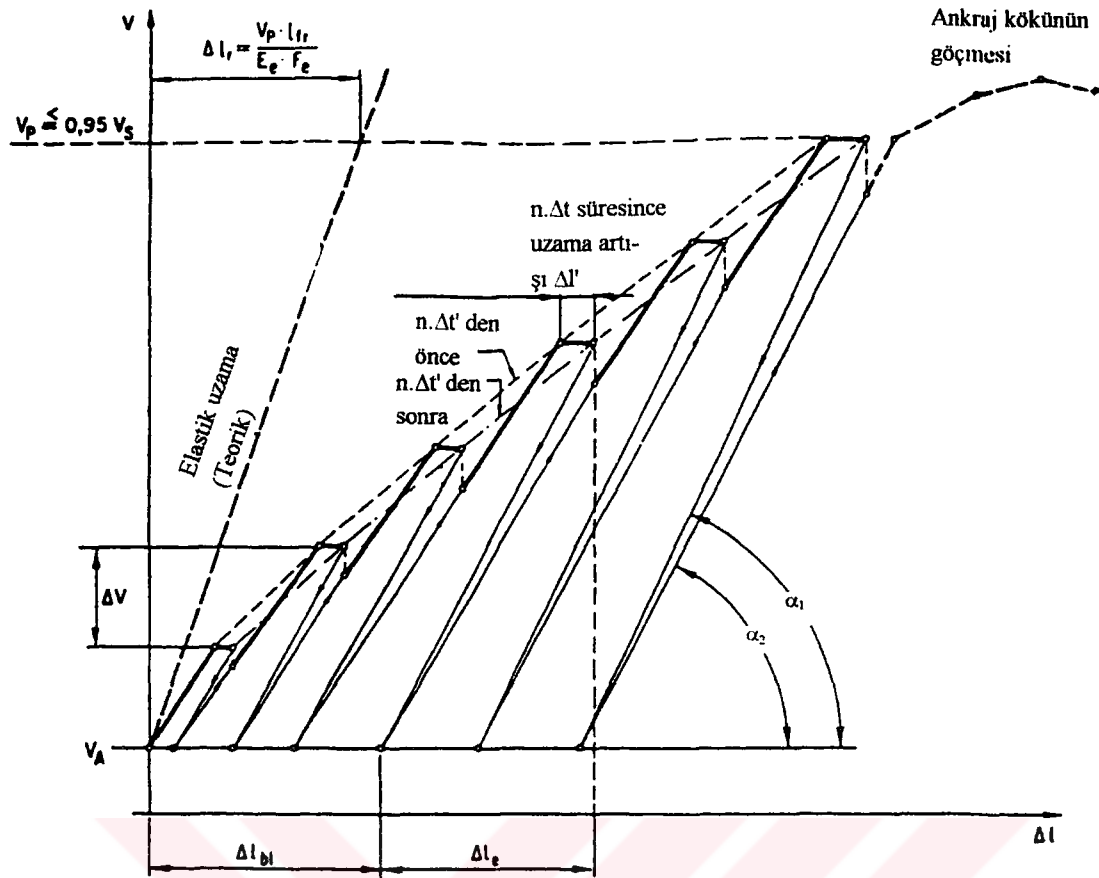
Ankraj deneyi şu şekilde uygulanır (Şekil 5-7 ve 5-8 de)

Bir $V_A \cong (0.1 \dots 0.2) V_p$ ilk yükü seçilir. V_A ve V_p aralığı yaklaşık 6-10 eşit ΔV aralığına bölünür. Ölçme aygıtının mutlak doğruluğu (kalibrasyonu) %3 V_p den daha iyi olmalıdır.

Δl_e elastik tendon uzaması ve Δl_{bl} plastik tendon uzamasının toplamı olan ($\Delta l = \Delta l_e + \Delta l_{bl}$) uzama ölçümü için sabit bir nokta belirlenir. Δl nin mutlak doğruluğu %2 Δl_r den daha iyi olmalıdır. Bu noktanın hareketi hesaplanmış olan Δl_r ankraj uzamasından % 0.5 daha az olmalıdır.



Şekil 5-7 Sabit uzama ile ankraj deneyi



Şekil 5-8 Sabit yükle ankraj deneyi

Yükleme ve ölçme programı, belirlenmiş olan bir max. yüke kadar uygulanır. Her yük adımında gözlemler aşağıdaki iki durumdan birisi için $n \cdot \Delta t$ zamanı boyunca yapılır. n , 1, 3 veya 10 değerlerini alabilir.

- Uzama sabit kalırken yük düşüşü (Şekil 5-7), bağıl ölçme doğruluğu %0.5 V_p den daha iyi
- veya, yük sabit kalırken uzamaların artması, bağıl ölçme doğruluğu % 0.5 Δl_r den daha iyi.

Kaya ve çeşitli zemin tipleri için Δt gözlem süreleri Çizelge 5-6' daki gibidir.

Her adımdan sonra yük V_A değerine düşürülür ve Δl_{b1} uzaması ölçülür. Her seferinde yük tekrar uygulanır, yük/uzama eğrisinin ara noktaları kayıt edilir.

Çizelge 5-6 Δt Gözlem süreleri

Zemin Çeşidi	Süreler, Δt
A. Kaya ve kohezyonsuz zemin	En az 5 dakika
B. Az kohezyonlu zemin ve aşırı konsolide killeri	En az 15 dakika
C. Normal konsolide ortamlardaki killi siltler ve killeri	Farklı saatlerde ve günlerde

5.3.2.2 $V_p > 200 \text{ KN}$ Deney yüklü ankrajların değerlendirilmesi

Değerlendirme, V_v limit yükünü, l_f ankraj serbest boyunu ve Δl_{bl} kalıcı deformasyonu belirlemek için yapılır.

5.3.2.2.1 V_v Limit yükünün belirlenmesi

Limit yük aşağıdaki (1) ve (2) koşullarının sağlanmakta olduğu yüküdür.

Koşul (1): Yük veya uzama miktarı Çizelge 5-7 deki sınır değerlerini aşmaz:

Çizelge 5-7 Yük kaybı ile bağlantılı deformasyon artışının sınır değerleri.

Koşul	Gözlem Süresi	Limit Değerler	
		Uzama Artışı (Δl) (A)	Yük Kaybı ($\Delta V'$) (B)
1a	0..... Δt	max. Δl_r nin %2' si	max. V_p nin %2' si
1b	Δt $3\Delta t$	max. Δl_r nin %1' i	max. V_p nin %1' i
1c	$3\Delta t$ $10\Delta t$	max. Δl_r nin %1' i	max. V_p nin %1' i

(A) Gözlem süresince yük sabit tutulursa

(B) Gözlem süresince uzama sabit tutulursa

Koşul (1a) sağlanmıyorsa, gözlem süresi $3\Delta t'$ ye çıkarılmalıdır. Aynı şekilde

Koşul (1b) sağlanmıyorsa, gözlem süresi $10\Delta t'$ ye çıkarılmalıdır.

Koşul (2):Aşağıdaki oran elde edilmelidir:

$$\frac{\text{tg}\alpha_2}{\text{tg}\alpha_1} \geq 0.90 \quad (5-5)$$

Şekil 5-7 ve 5-8 de gösterilmiş olan ve yukarıdaki eşitlikte kullanılan;

α_1 :Yük boşaltma eğrisinin eğiminin açısı,

α_2 :Tekrar yükleme eğrisinin eğiminin açısıdır.

5.3.2.2.2 Ankraj etkin serbest boyu'nun (l_f) belirlenmesi

Ankrajın etkin serbest boyu Şekil 5-9' daki A'-X doğrusundan bulunur.

$$l_f = \frac{\Delta l_e(X).F_e}{V(X) - V_A - R} E_e \quad (5-6)$$

Burada;

F_e : Tendonun kesit alanı,

E_e : Tendonun elastisite modülü,

$\Delta l_e(X)$: Tendonun $V(X)$ yükü altındaki elastik uzaması,

V_A : İlk yük,

R : Sürtünme kuvveti (A-A' arası uzaklık) dir.

Etkin serbest ankraj boyu (l_f) aşağıdaki 3. koşulu sağlamalıdır.

Koşul (3): V_V limit yük değerine kadar, (l_f) efektif serbest boyu şu sınırlar arasında kalmalıdır:

$$l_f \geq 0.9 l_{fr} \quad (5-7)$$

$$l_f \leq l_{fr} + k \cdot l_v$$

(5-8)

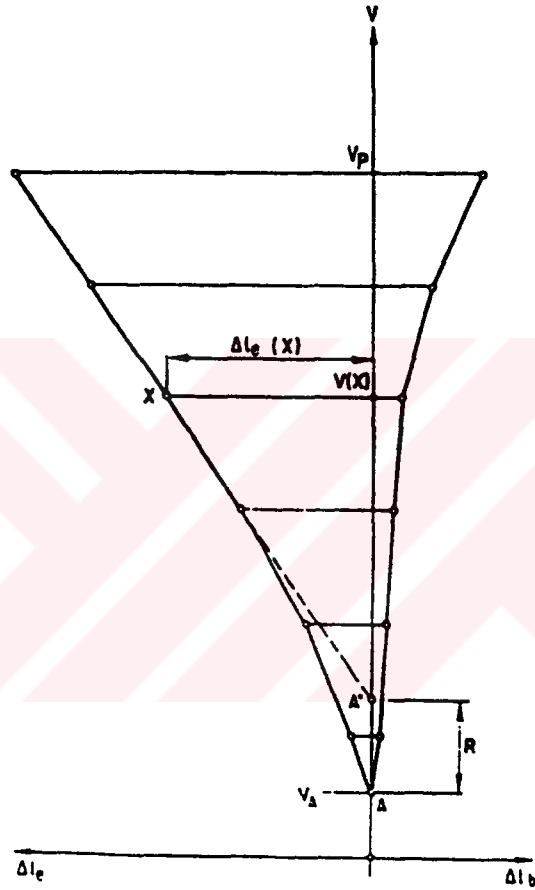
Burada;

l_{fr} : Hesaplanmış ankraj serbest boyu,

l_v : Kök boyu,

$k=0.5$ (kuvvetin, tendon aracılığıyla ankraj yapısına l_v ankraj boyu boyunca iletildiği sistemlerde),

$k=1.1$ (kuvvetin, ankraj sonu bloğuna iletildiği sistemlerde) dir.



Şekil 5-9 Elastik ve kalıcı uzamaların eğrisi.

5.3.2.2.3 Kalıcı (Δl_{bl}) uzamanın belirlenmesi

Δl_{bl} kalıcı uzaması Şekil 5-9 daki gibi belirlenir. Bunun germe deneyi için izin verilebilir değeri, proje mühendisi ve yükleniciyle ortaklaşa ankraj

deneyleri esas alınarak belirlenir ve germe kayıtlarına girer. Bu değere uygunluk, germe deneyinin 4. koşulunu oluşturur.

5.3.2.3 $V_p \leq 200 \text{ KN}$ Deney yüklü ankrajların değerlendirilmesi

$V_p \leq 200 \text{ KN}$ yüklü ankrajlar (kaya bulonları) için değerlendirme genellikle daha basit olarak yapılmaktadır.

Ankraj deneyi sırasında, tendonun $\sigma_{2.0}$ gerilmesine ulaşmasını sağlayan V_s yükü aşılacaktır; eğer sağlanabiliyor ise en az göçmeye ulaşincaya kadar yük arttırılmalıdır.

En az üç çevrimden sonra (yük boşaltma ve tekrar yükleme) $\text{tg}\alpha_2/\text{tg}\alpha_1$ oranının ortalama değeri 0.8' e eşit veya 0.8 den büyük olmalıdır.

V_p deney yüküne ulaşıldığında, ankraj plakasının hareketi de çıkarıldıktan sonraki plastik uzama şu değerleri aşmamalıdır:

- Genişleme-kabuk ankrajı : $\Delta l_{bl} = 18 \text{ mm}$
- Harç ve sentetik reçine adezyonlu ankrajlar : $\Delta l_{bl} = 3 \text{ mm}$.

Eğer l_f serbest boyu tasarım ile önceden belirlendiyse, yukarıdaki 5-7 ve 5-8 eşitlikleri ile yapılan hesaptan vazgeçilebilir.

5.3.2.4 Kayıtlar

Ankraj deneylerinin ölçüm değerleri raporlar halinde saklanmalıdır. Bunlar önemli yapım dökümanlarıdır.

5.3.2.5 Ölçüm inceliği

5.3.1.4. de belirtilmiş olan incelik koşulları (hata sınırları) ankraj deneyleri için geçerlidir.

5.3.2.6 Uzun süreli deneyler

Zemin veya kaya koşullarına göre, uzun süreli ankraj deneyleri ankrajın uzun zaman içersindeki davranışını belirlemek için gerekli olabilir. Ölçüm aletleri ve programları proje mühendisi tarafından şartlara göre her koşul için belirlenmelidir.

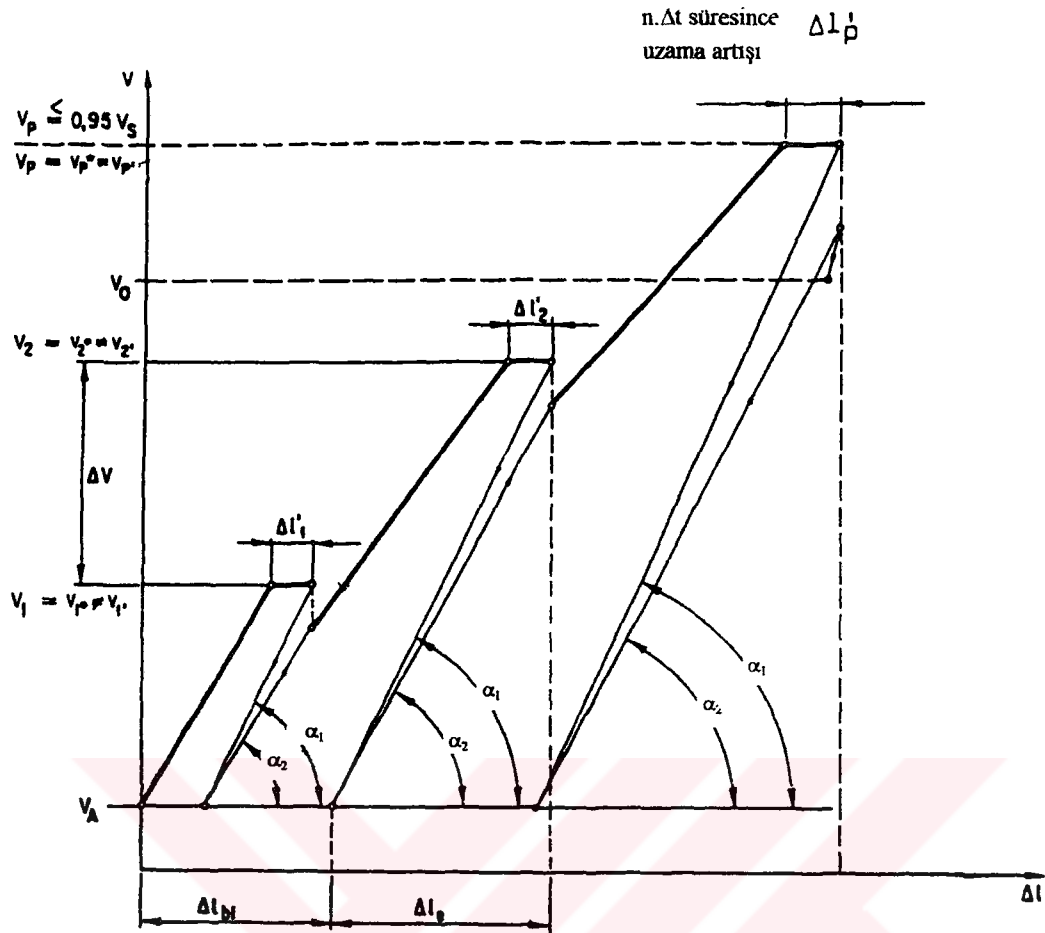
5.3.3 Germe deneyi

Germe deneyi, ankraj uygulamasını değerlendirmek için kullanılır. Bunun esasları genelde önceki ankraj deneylerinden oluşturulur. Eğer hiçbir ankraj deneyi yapılmadıysa, gerekli olan ana veriler $V_p = 0.95 \cdot V_s$ deney yükü kullanılarak yapılan genişletilmiş germe deneylerinden belirlenmelidir.

Deney yükü > 200 KN olan bütün ankrajlar basit germe deneyi ile kontrol edilmelidir. Ayrıca, sınırlı sayıda ankraja genişletilmiş germe deneyi uygulanmalıdır.

Genişletilmiş germe deneyinde ankraj kademeli olarak gerilir. Ankrajın davranışı ara kademelerde, yük boşaltma periyodlarında ve V_p deney yükünde gözlemlenir. Yük/uzama eğrisi V_p deney yüküne ulaşıncaya kadar kaydedilir.

Yük/uzama eğrisi değerlendirilirken germe aygıtının deformasyonu da hesaba katılmalıdır.



Şekil 5-11 Sabit yüklü genişletilmiş germe deneyi.

Çizelge 5-8 Genişletilmiş germe deneyi uygulanacak ankrajların % olarak min. sayısı.

Deney Yüğü V_p	Ankraj sınıfları 1,2,4,5	Ankraj sınıfları 3 ve 6
>200 KN	en az 2 adet olmak üzere % 3' üne	en az 4 adet olmak üzere % 6' sına
≤ 200 KN	en az 12 adet olmak üzere % 5' ine	

- $V_A \cong (0,1 \dots \dots 0,2) V_p$ gibi bir ilk yük seçilir,
- V_A ve V_p yük aralığı yaklaşık üç eşit ΔV adımına ayrılır,
- Yük/uzama eğrisinin ara kademeleri geçilir,

- Her adım, V yükü veya Δl uzaması (veya piston boyu uzunluğu (Δl_k)) $n \cdot \Delta t$ gözlem süresi boyunca sabit tutulur ve $\Delta l'$ uzama artışı veya $\Delta V'$ yük kaybı gözlenir (Δt gözlem süresi için Çizelge 5-6). n , 1, 3 veya 10 değerleri alabilir,
- Her adımdan sonra, yük V_A değerine düşürülür ve ayrıntılı Δl_{b1} uzaması ölçülür,
- Yük tekrar uygulandığında yük/uzama eğrisinin ara noktaları kaydedilir,
- Son yük adımı V_p den sonra ankraj V_0 yük değerinde kitlenir. Eğer gerekirse ankrajın yükü geçici olarak tamamen boşaltılabilir.

5.3.3.2 Genişletilmiş germe deneyinin değerlendirilmesi

Aşağıdaki koşulları sağlanmalıdır:

Koşul (1) : $n \cdot \Delta t$ gözlem süresi tamamlandıktan sonra, uzamadaki veya yükteki değişim 5.3.2.2.1. koşul (1) de verilen sınır değerleri aşmamalıdır.

Koşul (2) : $tg\alpha_2/tg\alpha_1 \geq 0.9$ veya 0.8 oranı 5.3.2.2.1. koşul (2) deki ve 5.3.2.3. deki değerlere uygun olmalıdır.

Koşul (3) : Ankraj serbest boyu l_f 5.3.2.2.2. de belirtilen koşul (3) e uygun sınırlar içinde olmalıdır.

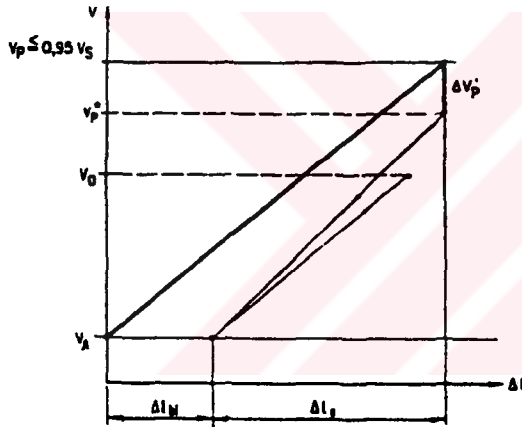
Koşul (4) : Δl_{b1} kalıcı uzaması ankraj deneylerinin temeline dayanan 5.3.2.2.3. koşul (4) deki sınır değerlerden küçük olmalıdır.

5.3.3.3 Basit germe deneyinin uygulanışı

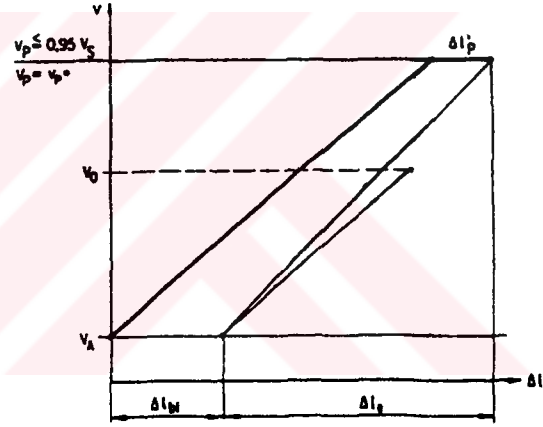
Basit germe deneyi aşağıdaki gibi uygulanır (Şekil 5-12 ve 5-13):

- $V_A \cong (0,1, \dots, 0,2) V_p$ ilk yükü seçilir,
- Ankraj V_p deney yüküne kadar yüklenir,

- V_A ve V_p arasındaki Δl değeri ölçülür,
 - V_p deney yükü veya Δl uzaması (veya Δl_k piston boyu) $n \cdot \Delta t$ gözlem süresi boyunca sabit tutulur ve Δl_p deformasyon artışı veya ΔV_p yük kaybı gözlenir (Δt gözlem süresi için Çizelge 5-6). n 1, 3 ve 10 değerlerinden birisini alabilir.
 - Zemin ankrajlarında, yük V_A değerine kadar düşürülür ve Δl_{bl} kontrol edilir.
- Kaya ankrajlarında, yükü V_A değerine kadar düşürmeye gerek yoktur. Böylece aynı zamanda 5.3.3.4. de verilecek olan koşul (4) den de vazgeçilir.
- Son kademe olan V_p den sonra ankraj V_0 da kilitlenir. Eğer gerekirse, geçici olarak tamamen yük boşaltılabilir.



Şekil 5-12 Sabit uzamalı basit germe deneyi



Şekil 5-13 Sabit yüklü basit germe deneyi

5.3.3.4 Basit germe deneyinin değerlendirilmesi

Aşağıdaki koşulların sağlanması gerekmektedir:

Koşul (1) : $n \cdot \Delta t$ gözlem süresinin tamamlanmasından sonra, uzamadaki veya yükteki değişim miktarı 5.3.2.2.1. koşul (1) deki sınır değerleri aşmamalıdır.

Koşul (2) : Ankraj serbest boyu l_f 5.3.2.2.2. koşul (3) de belirtilen sınırlar içinde kalmalıdır.

Koşul (3) : 5.3.2.2.2. eşitlik 5-6 da verilen hesapta, genişletilmiş germe deneyine veya ankraj deneylerine göre yaklaşık bir R sürtünme kuvveti düşünülebilir.

Eğer ankrajlı yapının hareketi önemli ise, bu belirlenecektir.

Koşul (4) : Δl_{bl} plastik uzama, ankraj deneyleri temel alınarak 5.3.2.2.3. koşul (4) de belirlenen sınır değerden daha az olmalıdır.

5.3.3.5 Kayıtlar

Basit ve genişletilmiş germe deneylerinin ölçülen değerleri germe raporlarına işlenmelidir. Bunlar önemli önemli yapım kayıtlarındandır.

5.3.3.6 Ölçüm inceliği

Ankraj deneyi için 5.3.1.4. de verilen koşulların aynıları genişletilmiş germe deneyi için de uygulanır.

Basit germe deneyi için, ölçüm inceliği genişletilmiş germe deneyleri dikkate alınarak proje mühendisi ve yüklenici tarafından belirlenir.

5.3.4 Koşulların ve işin kayıtları, kontroller

Eğer koşullar gerektirirse aşağıda verilen kayıtlar tutulmalıdır :

- Ankraj işi başlamadan önce, çevre alan koşullarının, binaların, yolların, kanalların, kaynakların v.s. tamamen onaylı raporu,
- Ankraj işi tamamlandıktan sonra, son kontrollerin sonucunda tamamen onaylı kabul raporu.

Ankraj işi devam ederken, mevcut şantiye mühendisi herhangi bir zemin hareketini belirleyebilmek için periyodik kontroller yapmalıdır.

Eğer arazi koşullarında kabul edilen koşullardan sapma gözlenirse, yüklenici bu durumu proje mühendisine anında iletmeli.

Yüklenici, delgi, enjeksiyon ve germe işine ait kayıtlarını sürekli tutar.

5.3.5 Ankraj sınıfları

Ankrajın yük-taşıma kapasitesinin çalışma yüküne oranı olan ankraj güvenlik katsayısına göre sınıflandırılması Çizelge 5-9 deki gibidir.

Çizelge 5-9 Ankrajın servis süresine ve risk derecesine göre güvenlik sayıları.

Risk Derecesi	Geçici Ankrajlar		Kalıcı Ankrajlar	
	Ankraj Sınıfı	S	Ankraj Sınıfı	S
Göçmesi çok önemli bileşik sorunlar doğurmayacak ve toplum güvenliğine zarar vermeyecek ankrajlar	1	1.3	4	1.6
Göçmesi daha önemli bileşik sorunlar doğurabilecek ancak toplum güvenliğine zarar vermeyecek ankrajlar	2	1.5	5	1.8
Göçmesi çok önemli bileşik sorunlar doğurabilecek ve toplum güvenliğine zarar verebilecek ankrajlar	3	1.8	6	2.0

Ankraj kuvvetleri arasındaki ilişki aşağıdaki gibi özetlenebilir.

V : Ankraj kuvveti

- $V_u \leq V_z$: Ankrajın yük taşıma kapasitesi, V_z ve V_v değerlerinden $\leq V_v$ küçük olanı.
 $V_z = F_e \cdot \beta_z$: Tendonun göçme yükü.
 V_v : Kökün limit yükü.
 $V_p = F_e \cdot \sigma_p$: Ankraj deneyi ve germe deneyi boyunca uygulanan deney yükü.
 $V_G = F_e \cdot \sigma_G$: Hesaplanmış çalışma yükü.
 $V_0 = F_e \cdot \sigma_0$: $t=0$ anındaki germe yükü.
 $V_s = F_e \cdot \sigma_{2.0}$: Tendondaki gerilmenin akma gerilmesine ulaştığındaki yük.
 V_A : Ankraj deneyi ve germe deneyindeki ilk yük.
 F_e : tendonun kesit alanı.

Geçici Ankrajlar

$$V_p \leq 0.95 \cdot V_s$$

$$V_p \geq 1.15 \cdot V_G$$

$$V_G \leq V_u / S$$

$$V_0 \leq 0.75 \cdot V_u$$

Kalıcı Ankrajlar

$$V_p \leq 0.95 \cdot V_s$$

$$V_p \geq 1.40 \cdot V_G$$

$$V_G \leq V_u / S$$

$$V_0 \leq 0.75 \cdot V_u$$

5.4. U.S. Ulaştırma Bölümü Teknik Raporu (1984)

5.4.1 Giriş

Ankraj yükleme deneyi, tasarım aşamasının bir uzantısı olarak gözönünde bulundurulur. Deneyler, üretim öncesi yapılan ankrajlarda tasarım kriterlerinin belirlenmesi veya ankraj tasarımının kontrol edilmesi için kullanılabilir. Deneylerin, bütün üretilen ankrajlar üzerinde, sistemin kapasitesinin ve tasarım yükünün sağlandığının kontrol edilmesi amacı ile yapılması gereklidir. Burada açıklanan deneyler, yaygın olarak kullanılan silindirik köklü ankraj içindir. Birden fazla tabakaya kenetlenmiş tekli veya çoklu çan köklü

sistemlerine diğer ankraj sistemleri gibi aynı mantık ile deneyler uygulanmalıdır. Ancak, tüm ankraj kapasitesinin elde edilmesi için gerekli olan hareket miktarı daha farklı olacaktır. Bu tip ankraj sistemlerinde, krip deneyleri sonuçlarına bağ bölgesindeki hareketten daha çok dikkat edilmelidir.

5.4.2 Gözlemlenecek mekanizma

Burada anlatılan basitleştirilmiş ankraj göçme mekanizması, bağ uzunluğu boyunca düzgün dağılı çeper direnci oluşan doğrusal kök boylu ankrajlara göre tanımlanmıştır. Bu mekanizma, ankraj performansının önceden belirlenmesi için arazi deneylerinin ne derece kullanılabileceğini belirlemek üzere seçilmiştir.

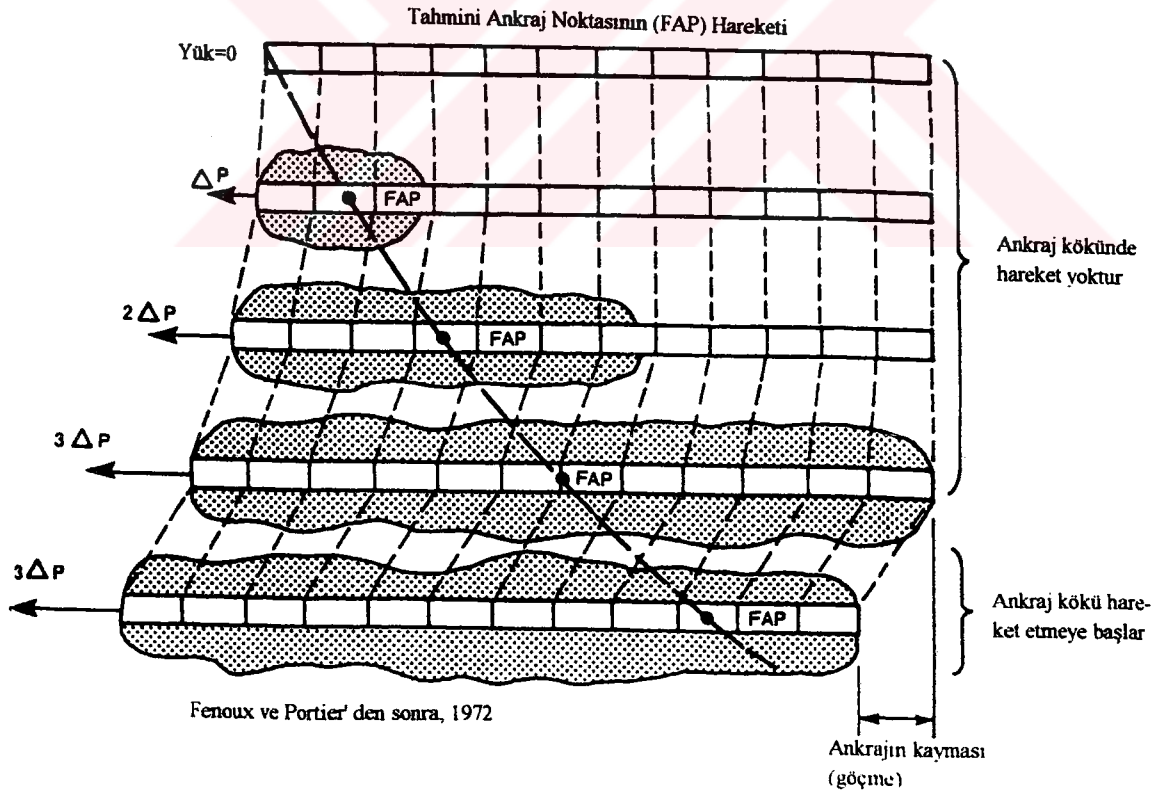
Bir ankraj gerildiğinde, oluşan uzamanın bir kısmı serbest boyda meydana gelen uzamadan kaynaklanmaktadır. Bu şekil değiştirme (Δ), tendonun elastisite modülü (E), krika germe kafasından bağ boyunun tepesine kadar olan uzunluk (germe boyu, L), tendon kesit alanı (A), uygulanan yük (P) ile hesaplanabilir.

$$\Delta = \frac{P.L}{A.E} \quad (5-9)$$

Bunun dışındaki uzama, bağ bölgesinin uzaması veya bağ bölgesinin bütünü'nün hareketidir. Her iki durumda da, bu ikinci şekil değiştirme silindirik bağ bölgesinin çevresindeki zemin direncini mobilize etmek için gerekli olan zemin ve enjeksiyon arasındaki bağıl yerdeğiştirme nedeniyle oluşur.

Şekil 5-14 üniform zemin veya kaya ortamında bulunan ankraja artarak germe uygulandığı zaman, enjeksiyonlanmış bağ boyu beklenen davranışını göstermektedir. Tahmini ankraj noktası (FAP) herhangi bir yük altında, bağ boyuna iletilen gerilmenin ağırlık merkezini yakınlaştırır. Gerilme uygulanan

nokta ile tahmini ankraj noktası (FAP) arasında ankrajın elastik davranış gösterdiği kabul edilir. Bu nedenle, FAP' nin konumu herhangi bir yük için toplam bağ boyuna bağlı olarak, uzama miktarı ölçülmüş, elastisite modülü, kesit alanı, bağ boyu ve gerilme boyu biliniyorsa hesaplanabilir. Ankraja düşük şiddette kuvvet uygulandığında, bağ bölgesinin ön kısmı çevre zemindeki çeper direncini harekete geçirmek için uzar. Çeper direncini harekete geçirmek için gerekli olan bağ bölgesi hareket miktarı birçok etkene bağlı olmakla beraber genelde 2.5 mm. dir. Bağ bölgesinin ön ucunun kapasitesini harekete geçirmek için bağl olarak büyük hareketlere gerek vardır. Zemine karşı koyan etkin uç alanının genellikle küçük olması nedeniyle ankraj kapasitesine yardımcı olan bu etki gözardı edilebilir. Ankraj sistemine etkiyen yükün artması ile ankrajın alt uçlarına doğru ilerleyerek etkin hale geçen çevre direnci oluşur. Oluşabilecek bütün direnç etkin hale geçtiğinde FAP noktası bağ boyunun tam ortasındadır. Ankrajda oluşan ilave gerilme artışı ile bağ bölgesi harekete geçer.



Şekil 5-14 Gerilme dağılımı

5.4.3 Deney ve germe araçları

Ankrajlarda yapılan deneylerde ve germe işleminde kullanılan araçlar hazır bulundurulur ve kolayca uygulanıp işletilirler. Bu aletlerin hazır bulundurulmalarının nedeni ankraj sisteminin tümünün toplam maliyetinin çok daha düşük bir oranında maliyet ile bütün ankrajlara deney uygulanabilmesidir.

Ankraj deney veya germe kuvveti uygulamak için ortası delik hidrolik bir piston ve pompa kullanılır. Ortası delik hidrolik pistonlar, uygulanan yükün düzgün bir dağılımla ankraja etkimesi için kullanılır. Tendonu oluşturan tüm elemanların herbirinin beraber gerildiğine dikkat edilmelidir. Çoklu tendon grubunda, tendonun davranışı yada kabul edilebilirliğini belirlemek amacıyla tek bir çubuk veya halatın gerilmesine izin verilmemelidir. Mümkünse krikonun piston hareketinin % 80' inde teorik olarak tendonun göçme uzamasına ulaşılmış olmalıdır. Kısa piston boylu bir kriko ile kademeli germe uygulanıyorsa, son yük kademesi tüm piston boyunun en az % 80' i kadar olmalıdır. Pistonun tam kapasite ile çalışması önlenmelidir. En fazla piston uzaması, tüm piston hareket kapasitesinin % 90' ına kadar izin verilebilir. Hidrolik kriko her yük kademesinde uygulanması gereken yük miktarını 60 sn. de uygulayabilecek kapasitede olmalıdır.

Ankraj uygulanan yükün, ankraj sistemine deneyden hemen sonra iletilmesine olanak verilmesi amacıyla, germe ve deney sırasında kriko sehpa kullanılabilir. Kriko sehpa kriko ile ankraj arasına, ankraj plakasına tam olarak basacak şekilde yerleştirilir. Kriko sehpa, tendonun kesin nihai çekme dayanımını (GUTS), basınç plakasına %100 olarak hasarsız bir şekilde iletebilme özelliğine sahip olmalıdır. Kriko sehpa, basınç plakasının tam temas etmesi için çubuk tendonun somunu sıkıştırılabilmeli veya halatlı ankrajlardaki kamalar hafif darbe ile ankraj kafasına sıkıca oturacak şekilde tasarlanmalıdır. Ankraj, tendonların GUTS ının % 95' ini iletebilme kapasitesine sahip olmalıdır.

Geçici yapılardan farklı olarak, kalıcı ankrajların germe ve test işlemlerinde uygulanan yük kapalı olarak kontrol edilmelidir. Bu nedenle, uygulanan yükü ölçen aletin yüksek doğruluğu olması gerekir. Ankraj yükünü izlemenin en yaygın yolu hidrolik pompaya tuturulan bir basınç saatidir. Ancak, her ne kadar kalibre edilmiş olsa da kalıcı ankraj deneyinde istenilen sürelerde yapılan ölçümlerde uygulanan sabit yük değerini belirlemek için uygun değildir. Basınç saati zaman ile krikoda meydana gelen hidrolik kayıbından dolayı oluşan yük düşmelerini hassas olarak gösteremez. Krip deneyinde, böyle yük kayıpları güvensiz tarafta olan önemli hatalar vermektedir. Krip ölçümsüz kanıt deneyleri veya göçme deneyleri gibi sıradan deneyler için böyle küçük hatalar aşağıdaki koşulların oluşması halinde bu durum gözardı edilebilir.

1. Hidrolik kriko ve basınç saati beraber kalibre edilir ve kalibrasyonu kullanımdan önce yapılmalıdır.
2. Basınç saatinin kadranındaki aralıkların en küçüğünün 14 atmosferden büyük olmaması ve bütün kadranın uygulanacak maksimum yükün iki katından fazla olmaması istenir.
3. Kriko ve saat ile beraber bir set halinde kalibre edilmiş bir basınç hücresi 50 kanıt deneyinde bir defa olmak üzere bir projede en az iki defa uygulanır. Tüm yükleme aralığı için yük hücresi ve saatten okumaların ikişer defa alınması şarttır. % 5' ten fazla farklılıklar gözlenmesi durumunda sette yeni kalibrasyon gerekli olmaktadır.

Krip ölçümünü gerektiren bütün deneylerde yük hücresi basınç saati ile beraber kullanılacaktır. Yük hücresi dairesel şekilli olup bütün tendonun rahatça yerleşebileceği şekilde ortası delik olacaktır. Yük hücresi kullanımındaki en belirgin sorun merkezlenememiş yüklemedir. Tendonun dairesel alana ortal olarak yerleştirilmesine ve eksantrik yükleme oluşmaması için tendon eksenleri ile yük hücresinin ekseninin birbirine paralel olmasına dikkat edilmelidir. Oluşabilecek eksantrik etkileri karşılamak için firdöndü pulları kullanılabilir. Düzensiz yüklemenin etkilerini en aza indirmek için yükseklik/et kalınlığı

oranı 2 ve yükseklik/genişlik oranı da 4 seviyesinde olan yük hücresi kullanılabilir. İnce ve toplu yük hücreleri önerilmektedir.

Yük hücresi ve basınç hücresi arasındaki uyumsuzluğun üç ana nedeni vardır :

1. **Merkezi kaçıklık veya eksantrik yükleme** : Açısal veya şekil değiştirebilir fırırlar, küresel yuvalar kullanılarak diklik sorunu çözülürken, merkezleyiciler yardımı ile tendonun yük hücresini ortalaması sağlanabilir.
2. **Yük hücresinin kalibrasyon bozukluğu** : Arazi şartlarını benzeştiren bir kalibrasyon ile giderilmelidir. Deney makinasının plakaları arası yerine merkezi bir sürgü veya tendon örneği ile kalibrasyon yapılmalıdır. Deney aşamasında yüklemedeki merkezi kaçıklığın etkileri araştırılmalı ve değişim sınırları kalibrasyon sonuçları ile beraber kayıt edilmelidir.
3. **Hidrolik krikonun ve saatin bozukluğu** : Deney makinasını aktive etmektense kullanılmayan bir deney aygıtını çalıştırarak önlenabilir. Yüklemedeki merkezi kaçıklığın etkisinin yanısıra pistonun bütün hareket kapasitesinin de denenmesi gerekir.

Tendonun uzama miktarı, ankraj yapısından ayrı olarak monte edilen bir ölçü saati ile belirlenir. Tendon uzaması, kriko pistonunun uzama hareketinin ölçülmesi ile belirlenemez, çünkü pistonda meydana gelen uzama hareketi bütün ankraj yapısında oluşan hareketleri içerir. Ölçü saati, 0.025 mm. inceliğe kadar okuma alınmasını sağlamalıdır. Tendonun maximum uzama miktarı, ölçme saatinin kadran kapasitesinin % 90' ından az olmalıdır. Ölçme saatinin pistonunun tendonun alt ucuna veya ölçmenin diğer yüzeyine dik yerleştirilmesine dikkat edilmelidir. Yaklaşık 100 mm. den fazla aşırı uzama beklenen uzamalarda tel ve verniyer kullanılan dönüşümlü sistem kullanılabilir. Tel tendona eksenel olarak yerleştirilir ve bir makara üzerine ölü bir ağırlıkla yerleştirilerek gerilir. Uzama destek kafesine tutturulan bir ölçek ve ağırlığa bağlanmış olan bir vernier ile ölçülür.

5.4.4 Ön üretim deney ankrajları

Üretim öncesi yük deneyleri, tasarım sırasında olağandışı koşullar ile karşılaşılması durumunda gerekli olabilmektedir. Bu deneyleri gerektiren ortamlar; (1) daha önce üzerinde tecrübe edilmemiş zemin yığınları (2) çok uzun ankrajlar (3) zor delme koşullarında veya (4) bağ bölgesinde krip etkisine yatkın zeminler, olarak sıralanabilir. Koşulların önemine göre, son tasarımdan önce ayrı bir deney sözleşmesi ile bu deneyler uygulanabileceği gibi, sözleşmenin ilk maddesi olarak yapım sözleşmesine de dahil edilebilir. Hangisi olursa olsun enjeksiyonlama işlemi ile deney arasındaki en kısa sürenin belirtilmesi gerekir. Ankraj yük deneyleri yüzeyaltı koşulları üniform olan alanlarda değerlendirilebilir. Bu deneyin amacı ise:

1. Kritik projeler veya özellikle üzerinde daha önce ankraj tecrübesi edinilmemiş durumlarda, karar verilmiş tasarım yükünün güvenlik faktörünü kontrol etmek için, veya
2. Nihai ankraj yükünü veya aşırı krip oluşumuna neden olan yükü belirlemektir.

Tasarım yük deneyleri için kullanılan ankrajlar yüksek deney yükleri nedeniyle meydana gelebilecek hasarlardan dolayı, yapılacak olan yapı için kullanılacak olan yük taşıyacak ankrajlardan seçilmez. Deney ankrajları da üretim ankrajları için yapılan tasarıma uygun olarak imal edilip yerleştirilmelidir. Eğer deney ankrajları üretim ankrajlarının GUTS değerinin % 80' ini geçecek ise tendon kapasitesi arttırılmalıdır. Tasarımcı üretim ankrajlarında beklenen delik çapını sağlamaya çalışmalıdır. Genellikle ilave tendonlar, daha büyük çaplı tendonlar veya yüksek dayanımlı tendonlar kullanılabilir.

Aşağıdaki iki deney yöntemi tasarım yükünün belirlenmesi için üniform zemin koşullarındaki iki ankrajda uygulanır. Birinci ankraj ikinci deney ankrajına

güvenli bir referans yükü oluşturmak için nihai bir yük değerine kadar gerilmelidir.

5.4.4.1 Tasarım yükünün güvenlik faktörünü araştırmak için

- a) Bir ankraj tasarım yükü kararlaştırılır ve istenilen bağ boyu için güvenlik katsayısı belirlenir.
- b) Çelik tendonların kesit alanları maksimum uygulanan yük (tasarım yükü x güvenlik sayısı) GUTS değerinin % 50' sini geçmeyecek şekilde belirlenir.
- c) Ankrajlar önerilen tasarım koşullarında imal edilmelidir. Serbest boy, delme yöntemi, eğim gibi özelliklerine dikkat edilmelidir.
- d) Birinci ankraj GUTS değerinin % 80' ine veya göçmeye (aşırı hareket olmadan sabit yük sağlanamaması) ulaşıncaya kadar, GUTS değerinin % 10 katları ile yüklenir .
- e) Her yük kademesinde 1' er saat beklenerek 1., 2., 5., 10., 20., 30. ve 60. dakikadaki değişim değerleri belirlenir.
- f) Göçme olursa, en son başarılı okuma ikinci deney için referans değeri olacaktır. Göçme oluşmıyorsa Şekil 5-15 deki gibi kritik krip gerilmesi belirlenecektir. Bir sonraki durumda, ikinci deney için referans değeri "önerilen tasarım yükü x güvenlik katsayısı" veya "kritik krip gerilmesi" değerlerinden küçük olanı olacaktır.
- g) İkinci deney ankrajı, yukarıda elde edilen referans değerinin % 10 katları ile arttırılarak referans yükünün % 100' üne kadar yüklenecektir. Referans yük değeri dahil bütün yüklemelerin herbirinde 1 saat beklenecek ve "e" maddesindeki gibi değişim okumaları alınacaktır. Krip eğrisi Şekil 5-15 deki gibi yukarı doğru artan içbükeylik göstermedikçe, referans yükü referansın % 90' ına kadar geri çevrilecek, uzamalar sabitleninceye kadar beklenecek ve 72 saatlik bekleme için referans yüküne geri çevrilecektir. Şekil 5-16 daki gibi zaman-yerdeğiştirme yarı logaritmik grafiğini belirlemek için uygun uzama okumaları alınmalıdır. Az önce bahsedilen yukarı

içbükey eğri aşırı krip etkisi ve referans yükünün düşürülmesi gereği anlamına gelir.

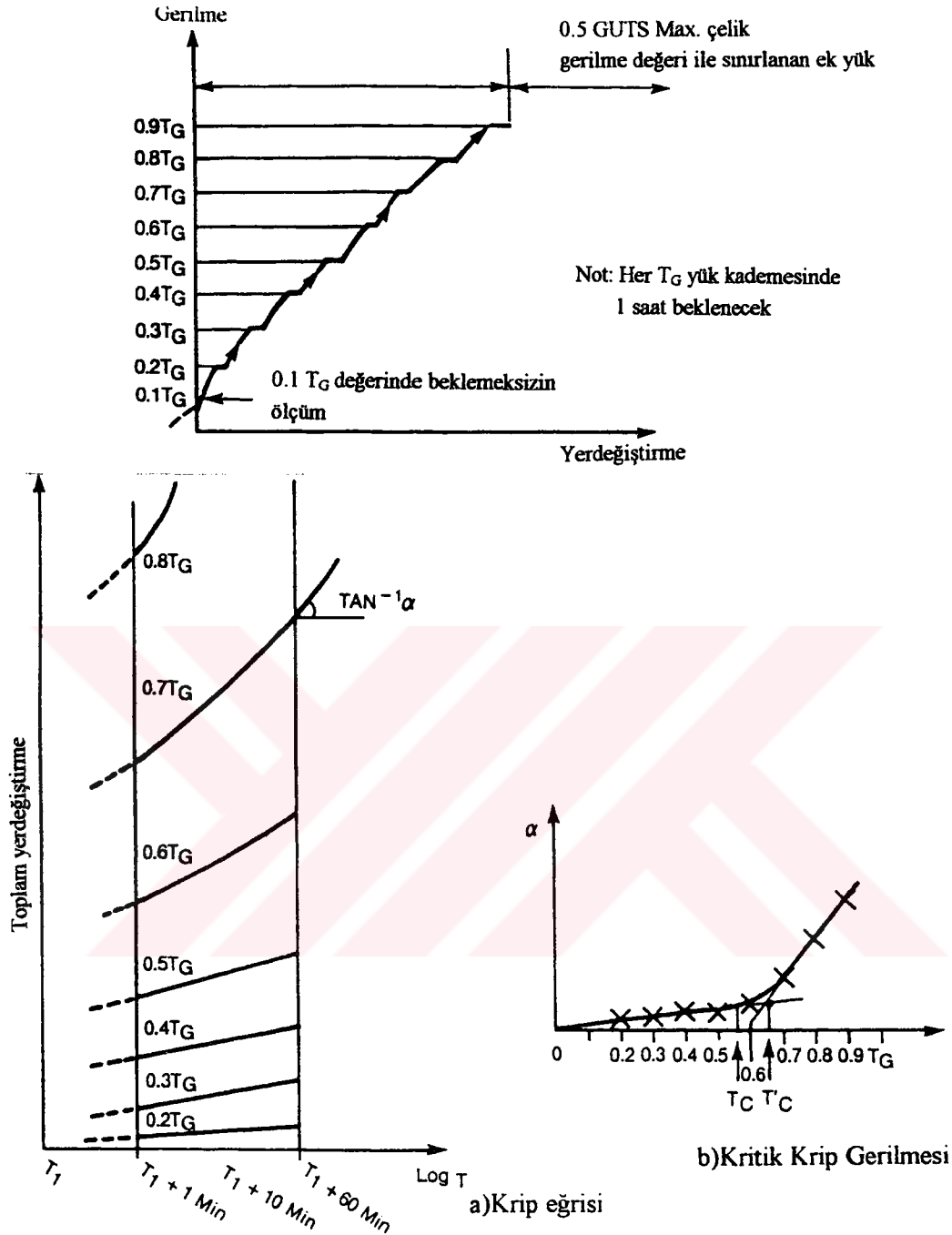
- h) Eğer, birinci ve ikinci deneylerdeki benzer yükler için krip eğrileri oldukça uyum içindeyse ve 1. saatin sonu ile 72. saatin sonu arasındaki yerdeğiştirmenin mutlak değeri serbest gerilme boyunun 0.2×10^{-3} katına eşit veya küçük ise referans yükü kabul edilebilir. Çelikteki krip, ortaya çıkarılabilir, ancak bu referans yüklerinin 0.5 GUTS' dan küçük olması nedeniyle önemsizdir. Eğer birinci ve ikinci deneyler arasında belirgin uyuşma yok ise referans yükünde ek deneyler yapılmalıdır. Deney uyuşup yerdeğiştirmelerin mutlak değerleri çok büyük ise (yük eğrisi-4 Şekil 5-16) maksimum yük, düşük yüklerin krip eğrileri kriter bulununcaya kadar enterpole edilerek bulunur (Şekil 5-16 da yük eğrisi-3 için yapıldığı gibi).

5.4.4.2 Tasarım yükünü belirlemek

- a) Bağ bölgesinin nihai sıyrılma kapasitesi tahmin edilir.
- b) İki deney ankrajının çelik tendon kesitleri, tahmin edilen nihai kapasitenin % 150' si oranında yük uygulandığında GUTS değerinin % 80' ini geçmeyecek şekilde belirlenecektir.
- c) Ankrajlar önerilen kritere göre yerleştirilecek, ancak bağ boyu yaklaşık 12 m. den kısa olacak şekilde sınırlanacaktır.
- d) İlk ankraj, GUTS değerinin % 80' ine veya göçme oluşuncaya kadar GUTS değerinin % 10 katları şeklinde yüklenecektir.
- e) Bütün yük kademelerinin her birinde 1 saat beklenerek ve 1., 2., 5., 10., 20., 30., ve 60. dakikalardaki uzama okumaları alınacaktır.
- f) Eğer göçme olursa, başarı ile taşınan en son yük ikinci deney için referans yükü olacaktır.

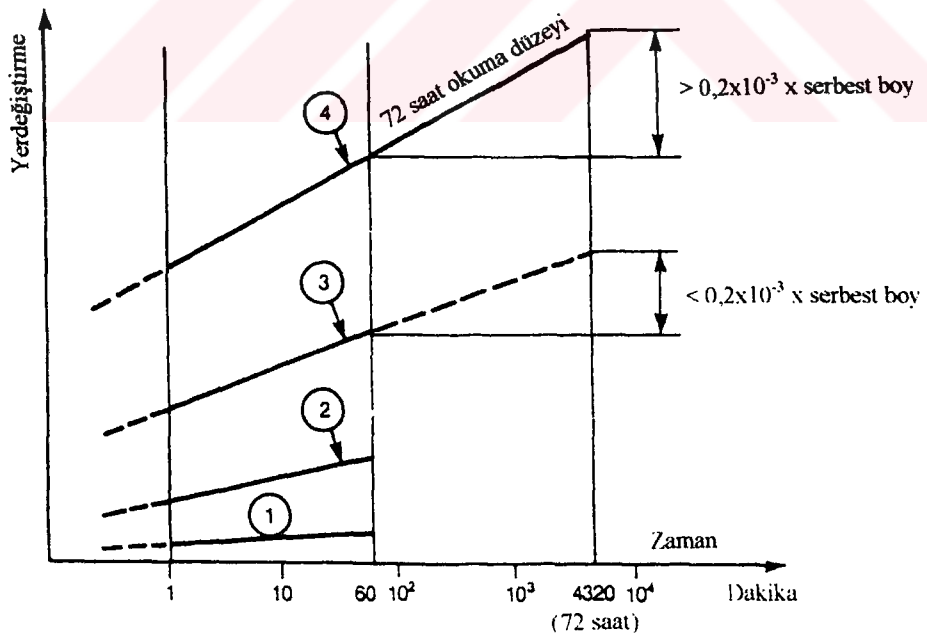
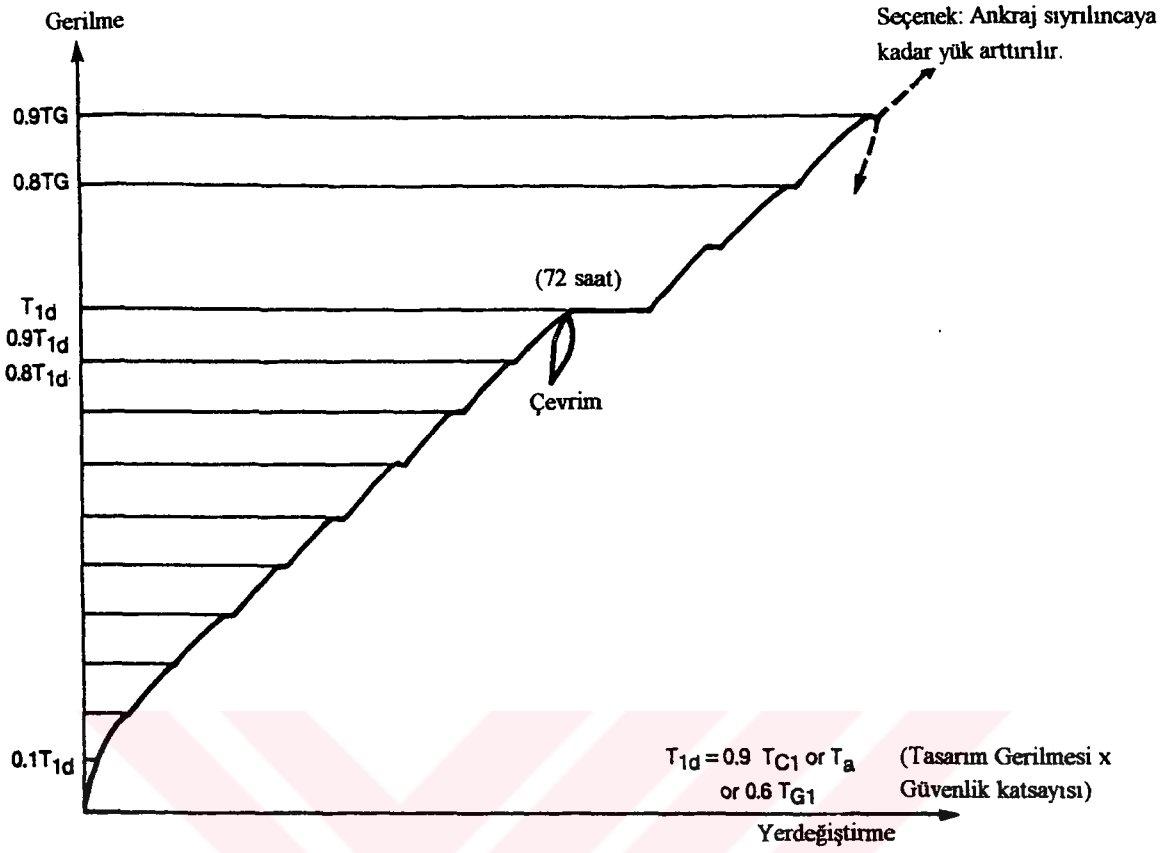
Eğer göçme olmazsa, kritik krip gerilmesi Şekil 5-15' deki gibi belirlenecektir. Böyle durumlarda, referans değeri kritik krip gerilmesinin

%90'dır. Eğer kritik krip gerilmesine ulaşılmazsa, referans değeri GUTS değerinin % 60' ı olacaktır.



0.9G değerine kadar başarıyla yüklenen ankrajlarda, kritik krip gerilmesi belirlenmelidir. (a) da olduğu gibi yarı logaritmik bir grafikte her yük kademesindeki sapmalar çizilir. T_1+60 anındaki α açısı ölçülür ve (b) deki gibi yüke karşı çizilir. Genelde çizim kritik krip gerilmesi (T_c) değerinde keskin bir şekilde yukarı kıvrılma gösterir. Eğer T_c kolayca belirlenemiyorsa, sahte bir gerilme değeri (T'_c) iki tanjantın kesiştiği nokta olarak (b) deki gibi belirlenir. Bu durumda T_c değeri $0.9T'_c$ olarak kabul edilir. T_1 değeri uygulanan her bir yük kademesi zamanıdır. (b) deki çizim doğrusal bir çizgi ise, kritik krip gerilmesine ulaşılmamıştır ve 0.6TG olarak kabul edilir.

Şekil 5-15 Kritik krip gerilmesinin belirlenmesi



Şekil 5-16 Çalışma yükünün belirlenmesi için krip eğrilerinin enterpolasyonu

g) İkinci deney ankrajı, yukarıda elde edilen referans değerinin %10' luk artış kademeleri ile yüklenecektir. Referans yükü de dahil olmak üzere her yük kademesinde 1 saat beklenecek ve uzama okumaları "e" maddesindeki gibi yapılacaktır. Krip eğrisi Şekil 5-15' deki gibi artan yukarı içbükey olmadıkça yük bir artış kademesi kadar geri alınacak, değişimler sabitleninceye kadar beklenecek ve 72 saatlik bekleme için yük tekrar referans yüküne yükseltilecektir. Şekil 5-16' daki yarı-logaritmik yerdeğiştirme-zaman grafiğini belirlemek için uygun uzama okumalarının alınması gerekir.

Referans krip eğrisinin yukarı içbükeyliği aşırı krip meydana geldiğini gösterir ve krip eğrisinin düzgün bir doğru olduğu en yakın yük değerine düştürülmesini gerektirir. Şekil 5-15 de krip eğrisi $0.5T_G$ değerinde artarak yukarı içbükey olur. Bu nedenle, $0.5T_G$ yükü en yüksek kabul edilir krip eğrisidir.

h) Eğer birinci ve ikinci deneyler belirgin bir uyum içindeler ise ve 1. saat sonu ile 72. saat sonu arasındaki mutlak yerdeğiştirme değeri serbest gerilme boyunun 0.2×10^{-3} katına eşitse veya düşükse referans yükü kabul edilebilir. Çelikte meydana gelen krip gözardı edilebilir, ancak bu, referans yükü gibi mevcut değer büyük bir kısmını kapsamaz, genelde GUTS değerinin % 50' sidir.

Eğer birinci ve ikinci deneyler uyuşmazsa, tasarım yükünün seçileceği krip eğrileri kümesi oluşturabilmek için ek deneyler yapılması gerekir. Eğer deneyler uyuşurken mutlak yerdeğiştirme çok büyükse (Şekil 5-16 eğri-4), maksimum tasarım yükü, düşük yüklerin krip eğrileri kriter bulununcaya kadar enterpole edilerek bulunabilir (Şekil 5-16 da yük eğrisi-3 için yapıldığı gibi).

i) (h) maddesinde belirlenen tasarım yükü gerçek deney yükü olan GUTS değerinin % 80' inden önemli miktarda düşük olabilir. Eğer üretim ankrajlarının delik çapları % 20 den daha fazla küçük ise veya üretimdeki delgi

yöntemi değiştirilmişse, iki adet ek ankraj üretim çapında yerleştirilmeli ve tasarım yükü güvenlik faktörünün doğrulanması için bu kısımdaki 1. Bölümdeki deneyin yapılması gerekebilir.

5.4.5 Üretim ankrajları deneyleri

Herbir üretim ankrajına deney uygulanmalıdır. Maksimum deney yükü, tendonun GUTS değerinin % 80' ini geçmemelidir. Bu deneyler, ankrajın tüm bileşenlerinin tasarım yükünün üzerine kadar gerilerek kabulüne temel oluşturur. Bu durumda, ankraj bileşenleri veya sistem üzerinde daha az doğrudan kontrole gereksinim duyulur. Herbir üretim ankrajına uygulanacak deneyin yöntemine uygun olarak yapılmasına özen gösterilmelidir. Arazide deneyleri ve gözlemleri yapacak olan ekibin bu deneylerin önemini bilen kişilerden oluşması gerekir.

Genelde, deneyler performans deneyleri ve kanıt deneyleri olarak ikiye ayrılabilirler. Performans deneyi, tasarım yükünün güvenli bir şekilde taşındığını, serbest boyun tasarlandığı uzunlukta olduğunu ve kalıcı hareketin izin verilebilir sınırlar içinde kaldığını doğrulamak üzere kademeli olarak arttırılarak ve azaltılarak yükleme yapılan deneylerdir. Performans deneyleri üretim ankrajlarının yük-uzama davranışını belirlemek üzere kullanılan ilk deneydir. Kanıt deneyi, tasarım kapasitesinin güvenli olarak taşındığını doğrulamak ve serbest boyun tasarlandığı gibi olduğunu doğrulamak üzere artarak yapılan yüklemeler ile sağlanır. Kanıt deneyleri, performans deneyleri sonuçları ile karşılaştırılmak ve performans deney ankrajına yakın bölgede bulunan ankrajların kabul edilebilirliklerine bu karşılaştırma sonucunda karar verebilmek üzere yapılır. Tasarımcı her projede, uygulanması gereken minimum performans deneyi yüzdesini vermelidir. Buna karşın, şantiye mühendisi bu deneyler için en uygun olan yerlerin seçimini ve uygulanacak olan kesin deney sayısını belirleyebilir.

5.4.5.1 Performans deneyleri

Performans deneyleri, bir ankrajın tasarım yükünü aşırı kalıcı oturma veya krip oluşmadan güvenli bir şekilde taşıdığını belirleyerek ankrajın kabul edilebilirliği kararını verebilmek için gerekli tüm önemli bilgileri sağlar. En az, imal edilen üretim ankrajlarının ilk iki adedine performans deneyi uygulanmalıdır. Teorik olarak, bu ankrajlar yapının plandaki boyunun 1/3 noktalarında ve yüzey araştırmalarına olabildiğince yakın yerlerde yerleştirilmelidir. Bununla beraber, çok sayıda ankraj içeren projelerde, imalat programı, ilk kademelerde deneyi yapılması gereken ankrajları belirleyebilir. İlk iki ankrajın deneyini yapmadan önce çok sayıda ankrajın yerleştirilmesi beklenmemelidir. Bu deneylerin amacı, birçok ankraj imalatı tamamlanmadan müteahhit tarafından seçilen imalat şeklinin sağlamasının yapılmasıdır. Eğer yükün iletildiği zemin türü kaya veya granüler zemin ise kalan ankrajların % 2' sine, kohezyonlu zemin ise % 10' una performans deneyi uygulanmalıdır.

Performans deneyi maksimum deney yükü sağlanıncaya kadar kademeli olarak yüklenen ve boşaltılan çevrimli bir deneydir. Önerilen yükleme programı bölüm 5.4.5.3 de granüler zeminler ve kaya ortamı için gösterilmiştir. Kohezyonlu zeminlerde son yük kademesinin tasarım yükünün 1.25 katı yerine 1.5 katına kadar çıkarılması gerekir. Her yük kademesi arttırılırken veya düşürülürken en az 1 dakika veya uzama değişimi duruncaya kadar sabit tutulmalıdır.

Uzun süreli krip duyarlılığını belirlemek için maksimum yükte genelde 1 saat beklenmesi gerekir. Uygulanan yükün sabit tutulabilmesi için de bir yük hücresi kullanılmalıdır. En küçük sapmalar anında giderilmelidir.

Uzama ölçümleri 0., 0.5., 1., 3., 5., 10., 20., 30., 40., 50. dakikalarda alınmalıdır. Kaba granüler zemin ve kaya ortamları genellikle krip etkisi göstermez. 1. dakika ve 10. dakika okumaları arasında 1 mm. lik veya daha

az miktarda ihmal edilebilir krip hareketi gözlenmiş ise krip deneyine son verilebilir.

5.4.5.2 Kanıt deneyleri

Kanıt deneyi, maksimum değere ulaşıncaya kadar kademeli olarak arttırılarak tek çevrimle yükleme yapılan deneylerdir. Kohezyonlu zeminlerde son yükün tasarım yükünün 1,25 katına değilde 1,5 katına kadar uygulanması gerekir. Her yük kademesinde en az 1 dakika veya ölçülen sapmalar ihmal edilebilir düzeye gelinceye kadar yük sabit tutulmalıdır.

Performans deneyinde krip etkisine duyarlı olduğu belirlenen proje ortamlarında, maksimum kanıt deney yükü krip kabul edilebilirliğinin kontrolü amacıyla 5 dakika bekletilmelidir. Eğer krip sonuçları, performans deneyinde belirlenen değerlerden farklılık gösterirse, krip deneyi 1 saate kadar uzatılır ve hareket okumaları alınır.

Kanıt deney sonuçlarında, performans deney sonuçlarındakinden belirgin farklar gözlenirse, mevcut ankrajın hemen yanına, üzerinde performans deneyi yapılmak üzere, bir ankraj yerleştirilmesi gerekliliği doğar.

5.4.5.3 Kalıcı ankrajların ankraj deneyi ve gerilmesi

Bütün ankrajlara deney uygulanmalıdır. Bütün üretim ankrajlarının boyutlandırması, tasarım yükünün % 150' si öngerme çelik elemanların kesin nihai gerilme dayanımının % 80' ini geçmeyecek şekilde yapılmalıdır. Mühendis tarafından aksi onaylanmadıkça ankraj enjeksiyonları 7 gün beklemeden hiçbir deney yapılmamalıdır. Bütün deneylerde, tendonun hareketi her yük kademesinde 0,025 mm. incelikte sabit bir referans noktasından belirlenerek kayıt edilmelidir. Kriko yükü bir yük hücresi ile gözlenmelidir. Her yük kademesi kriko pompası çalıştıktan sonra 30 saniyeden az süre içerisinde tam olarak

uygulanmalıdır. Bütün gözlem süreleri kriko pompası çalıştırıldığı anda başlar. İlk iki üretim ankrajı planlar üzerinde gösterilen veya mühendis tarafından belirlenen yerlere uygulanacak ve performans deneyleri yapılacaktır. Ayrıca, diğer ankrajların en az % 5' ine performans deneyi uygulanacaktır. PERFORMANS DENEYİ deney yükü çevrimleri şu şekilde uygulanacaktır.

AL, 0.25P, 0.50P, AL, 0.50P, 0.75P, 0.50P, AL,
 0.50P, 0.75P, 1.00P, 0.50P, AL, 0.50P, 0.75P, 1.00P,
 1.25P, 1.00P, 0.75P, 0.50P, AL, 0.50P, 1.00P, 1.25P,
 1.50P, 1.25P, 1.50P.

P = Üretim ankrajı için tasarım yükü,

AL = Germe ve deney ekipmanının gergin hale getirilmesi için gerekli yük

En son uygulanacak olan tasarım yükünün 1.5 katı 50 dakika, diğer bütün yükler en az 1 dakika olmak üzere hareket duruncaya kadar sabit tutulur. 1.5P yükünde yük sabit tutulurken, 0, 1/2., 1., 3., 5., 10., 20., 30., 40. ve 50. dakikalarda okumalar alınarak krip deneyi yapılacaktır.

Diğer bütün ankrajlara KANIT DENEYİ uygulanacaktır. Yük kademeleri şöyledir :

AL, 0.25P, 0.50P, 0.75P, 1.00P, 1.25P, 1.50P.

Bütün yükler en az 1 dakika, 1.5P yükü en az 5 dakika sabit tutulacaktır. 1.5P yükünde, yük 5 dakika sabit tutulurken 0., 1/2., 1., 3. ve 5. dakikalarda krip deneyi için okumalar alınacaktır. Eğer 1/2. ve 5. dakika okumaları arasındaki fark 2 mm. den fazla ise, yük 45 dakika daha sabit tutulacaktır.

Başarılı ankraj deneyleri tamamlandıktan sonra, ankraj yükü $1.0P'$ ye düşürülecek ve kalıcı gerilme ankrajına iletilecektir. Gerçek kilitleme yükleri mekanik kayıplara veya proje koşullarına göre mühendis tarafından değiştirilebilir.

Maksimum deney bağ boyu için kabul kriterleri aşağıdaki gibidir :

1. Ankraj başında ölçülen toplam hareket miktarı gerilme boyunun teorik elastik uzamasının % 80' inden fazla olacaktır.
2. Ankraj başında ölçülen toplam hareket miktarı kriko kafasından gömülü bağ boyunun merkezine kadar olan tendon boyunun teorik elastik uzamasından daha az olacaktır.
3. a)Performans Deneyleri : 1. ve 10. dakika okumaları arasında oluşan ankraj kafasının kriş hareketi yaklaşık 1 mm. lik uzamadan kısa olacaktır veya deney 50. dakikaya kadar uzatılarak 5. ve 50. dakikalar arasındaki uzama miktarı yaklaşık 2 mm. olacaktır.
b)Kanıt Deneyleri : 1/2. dakika ve 5. dakika okumaları arasında oluşan ankraj kafasının kriş hareketi 2 mm. lik uzamadan kısa olacaktır veya deney 50. dakikaya kadar uzatılarak 2 mm. kriteri 5. ve 50. dakika arasında kullanılacaktır.

Gerilme boyu, gerilen ankrajdan bağ boyunun tepesine kadar ölçülecektir. Birinci kritere göre göçen ankrajların sökülmesi veya gevşetilmesinden sonra müteahhit bu ankrajın yanına ilave ankraj yerleştirmelidir.

İkinci veya üçüncü kriteri sağlamayan ankrajlar için, müteahhit ankrajlar üzerinde yeni deneyler yaparak bu kriterlerin oluşmasını sağlayacak kapasiteleri belirlemelidir. Bu şarta uygun olarak ankraj yanında mühendis tarafından belirlenen yere ilave bir ankraj ve bu iki ankrajın toplam kapasitesinin $1.5P$ yükünü geçip geçmediğini doğrulamak için deney yapılmalıdır.

5.4.5.4 Kabul kriteri

Ankraj deneyinin kabul edilebilirliğini belirlemek için üç kriter belirlenmiştir.

- a) Ankraj kafasının hareketi, teorik ankraj serbest boyunun herhangi bir deney yükü için uzamasının % 80' inden fazla olmalıdır. Bu kriter, basınç tabakasına olan yük transferinin tahmin edilen göçme bölgesinin arkasında olduğunu gösterir. Daha düşük değerler, serbest boy uzamasının bozulduğunu ve yükün göçme bölgesinin içinde iletilildiğini gösterir. Bu durum için duvar hareketi veya ankraj göçmesi de düşünülebilir.

Minimum kabul edilebilir yerdeğiştirme (Δ) şöyle hesaplanabilir :

$$\Delta = 0.8 \frac{P.L}{A.E} \quad (5-10)$$

P : Uygulanan deney yükü

L : Krikodan, serbest boyun altına kadar olan uzunluk

A : Çelik tendonun kesit alanı

E : Çeliğin elastisite modülü.

- b) İkinci kriter ise, maksimum deney yükündeki toplam yerdeğiştirme miktarının, krikodan bağ boyunun merkezine kadar olan boyun teorik uzamasını geçmemesi gerekliliğidir.

Bu, Şekil 5-14' ün sadece sayısal olarak ifadesidir. Bağ gerilmesi ağırlık merkezinin (FAP) orta noktadan geride olmadığını gösterir. Yalnız bu kriter çan köklü ankrajlar veya birden fazla tabakaya bağlanmış ankrajlar için geçerli olmayabilir, çünkü, bu ankrajlar için izin verilebilir bağ gerilmesinin merkezi, bağ boyunun merkezinden geride olabilir. Alt tabakanın kaya olduğu, birden çok malzemeye bağlanan ankrajlar için bu kısmen

geçerlidir. Böyle durumlarda, yapım öncesi deneyi için tanımlanan yöntemler ile veya kabul edilebilir maksimum toplam uzamayı bulmak için alınan krip deneyi sonuçlarına dayanarak, kabul kriteri belirlenebilir.

- c) Üçüncü kriter ise, Sürenin son logaritmik çevrimi süresince, (örn.: performans deneyi için 5 dakikadan 50 dakikaya, kanıt deneyi için 0.5 dakikadan 5 dakikaya) tendon boyuna veya yüküne bakılmaksızın, krip hareketinin 2 mm.' yi geçmemesidir. Daha önceden de belirtildiği gibi, iri daneli granüler zeminlerde veya kaya ortamındaki performans deneylerinde 1. dakika ile 10. dakika okumaları arasında 1 mm. den az hareket gözlenirse, deneye devam edilmeyebilir. Herhangi iki yük arasında logaritmik çevrim başına krip miktarı şu şekilde hesaplanabilir:

$$\text{Krip/Çevrim} = \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{\log_{10}(T_2 / T_1)} \quad (5-11)$$

Δ_1 : T_1 anındaki okuma

Δ_2 : T_2 anındaki okuma

T_1 : Birinci uzama ölçümü zamanı; örn., genellikle 0.5 veya 5 dakika.

T_2 : İkinci uzama ölçüm zamanı; örn., genellikle 5 veya 50 dakikalar.

İletilen yükün göçme bölgesine iletimini önlemek için ankraj gevşetilmedikçe, birinci kabul kriterini (a) sağlamayan ankrajlar yapı içersinde bulunmamalıdır. (b) veya (c) kriterlerini sağlamayan ankrajlar mevcut yapı içersinde önerilen tasarım yükünde kullanılamazlar, ancak kabul edilebilir hareket miktarlarına uzun zamanda neden olacak daha düşük ve güvenli tasarım yükleriyle (üretim deneyleri veya ek deneyler ile belirlenen) kullanılabilirler. Böyle yapım aşamasında meydana gelen göçmeler, mühendis ve müteahhidin zemin araştırmalarını kontrol etmesine ve bağ boyunun uzatılması, eğim açısının ayarlanması veya enjeksiyon basıncının arttırılması gibi yerinde acil değişiklikler geliştirilmesine neden olur. % 5' den az oranda oluşan göçmeler,

basınç tabakasında karşılaşılan yumuşak bölgenin veya yerleştirme tekniği hatalarının varlığını gösterir ve proje personelinin daha sıkı araştırma yapmasına neden olur.

5.4.6 Kalıcı ankraj yükünün yapıya iletilmesi

Bir üretim ankrajının tasarım yükü, deney ile doğrulandıktan sonra yapıya bir yük iletilir. Bu ilk iletim yükünün şiddeti, yapısal tasarım kabülleri ve seçilmiş olan tendon tipine bağlı mekanik kayıplar dikkate alınarak belirlenmelidir.

Düşük kazı derinliklerinde, duvar arkasında mevcut olan pasif direnç, duvarın kazı yüzeyine doğru önemli bir hareket oluşturmada, tüm tasarım yükünü karşılaması için bazen yeterli olmayabilir. Bu genellikle çok sıralı ankraj yapılarının ilk ankraj sırasında oluşur. İlk sıra ankrajlarının yükleri uygulanacağı zaman mevcut kazı derinliğinde izin verilebilen maksimum iletim yükünü hesaplamak için mevcut pasif basıncı bulmak üzere tasarım hesapları yapılabilir. İzin verilebilir iletim yükü, ankraj aralığı ile mevcut kazı derinliğinde metreye gelen maksimum pasif kuvvet çarpılarak bulunabilir. Tasarım değerinden düşük izin verilebilir iletim yükleri, germenin iki adımını veya eğer düşük iletim yüklerinde bırakılmışsa üst sapmaların tolere edilmesini gerektirir. Uygulamada, tasarım yükünün % 80' i kadar düşük olan iletim değerleri genellikle belirtilir. Uzun süreli değişimlerin oluşmaması için yüksek ankraj yüklerinin gerekli olduğu şehiriçi projelerinde, ilk iletim yükleri izin verilebilir yerdeğiştirmeler oluşmasına neden olacak yük değerinden çok daha fazla olabilir. Böyle bir durumda, nihai pasif direncin aşılmadığından emin olunmalı ve yakındaki yapılara zarar vermemesi için duvar arkasında oluşabilecek kabarma izlenmelidir.

Kesin iletim yükünün belirlenmesi sırasında, yükün diğer ankraj sistemlerine iletimi sırasında oluşan mekanik kayıplar ve uzun süreli gevşeme veya krip

etkisi gözönünde bulundurulmalıdır. Oturma kayıpları çubuklar için 1.5 mm. ile halatlar için 6.5 mm. arasında değişim gösterir. Uzun süreli yük kayıpları ise gerilme seviyesine göre değişebileceği gibi tipik tasarım gerilme değerlerinde halatlar için % 4 ve çubuklar için % 2 olarak yaklaşık oran verilebilir. Bu kayıpları yok etmek için iletim yükü tasarım yükünün bir miktar üzerinde uygulanabilir. Bu sadece izin verilebilir duvar hareketlerinin çok küçük olduğu durumlarda yapılır. 50 ton tasarım yüklü, 4 adet 15.24 mm. çaplı 270 ksi halat ve 7.5 m. serbest boylu ankraj için asıl uygulanması gereken iletim yükü şu şekilde bulunur.

$$\Delta \text{ 50 ton yükteki uzama miktarı} = \frac{P.L}{A.E} \quad (5-12)$$

$$\Delta = \frac{(50 \times 1000)(7.5 \times 100)}{(4 \times 14) \cdot 2000000} = 3.34 \text{ cm}$$

$$\text{Oturma kaydı} = 0.635 \text{ cm.}$$

$$\text{GUTS' ın \% 50 sinde uzun süreli yaklaşık kayıp} = 0.04 \times 3.34 = 0.1336 \text{ cm.}$$

$$\Delta \text{ Toplam} = 4.1086 \text{ cm.}$$

$$P_{\text{transfer}} = \frac{4.1086 \times A \times E}{L} = 61.355 \text{ ton}$$

NOT: iletim yükü hiçbir şekilde maksimum deney yükünü geçmemelidir.

5.4.7 Sıyırılma deneyleri

Sıyırılma deneyleri oturma miktarının ve iletim kayıplarının kontrolü için yapı sırasında veya uzun süreli kayıpların oluşup oluşmadığını belirlemek için yapımdan sonra uygulanabilirler. Bu deney, krikonun tekrar bağlanarak tendon uzamaya başlayıncaya kadar kademeli yük uygulanmasını gerektirir.

Uzama yükü, tendona tutturulan okuma saatindeki ani değişimin gözlenmesi ile belirlenebilir. Okuma saatinde değişim gözlenir gözlenmez kriko uzaması durdurulmalı ve sıyırılma yükü kayıt edilmelidir. Sıyırılma yükü yaklaşık olarak tasarım yükü ve uzun süreli kayıpların toplamına eşittir. Önceki örnekte, sıyırılma yükünün şöyle olması beklenmelidir.

$$P_{\text{sıyırılma}} = \frac{(3.34 + 0.1336)A.E}{L} = 51.8 \text{ ton} \quad (5-13)$$

Eğer sıyırılma bu değer % 5' inden daha fazla miktarda gözlenirse, iletim yükü ayarlanmalı ve deney tekrarlanmalıdır. Sıyırılma deneyinin, ankrajın tasarım yükünü taşımak üzere kapasitesinin kontrolü ve kayıpları hesaplamak için tipik iletim yüklerini belirlemek üzere ilk üretim ankrajlarında yapılması gereklidir. Ayrıca, sıyırılma deneyleri birkaç gün ara ile rastgele seçilen ankrajlar üzerinde yapılarak oturma kayıpları kontrol edilebilir. İlk sıyırılma değerinin % 10' undan fazla meydana gelen değişimler düzeltilmeli ve diğer ankrajlar üzerinde sıyırılma deneyleri yapılmalıdır.

Farklı zemin koşullarındaki ankraj tipleriyle çalışma, yukarıdaki yöntemlerde değişikliklere neden olacaktır. Bununla beraber, deneyin amacı tasarım yükünün yapıya uzun süre uygulanmasını sağlamaya devam edecektir.

Sıyırılma deneyinin çeşitli yönleri tasarımcı ve proje mühendisi tarafından düşünülmelidir.

1. Halatlı ankrajlarda iletim yükü tekrar ayarlanırken, sıkma kamalarının halatı tekrar aynı sıkma izlerinden sıkmasına izin verilmemelidir.
2. Eğer krikoyu ankraj kafasına tutturacak bir alet var ise, sıyırılma deneyi ankraj kafası çekilerek (tendonu tekrar gripler ile sıkma yerine) yapılabilir.

3. Yapım sonrası sıyrılma deneylerinde, tendonlar kitlemeden sonra genellikle ankraj kafasına çok yakın yerden koptuğu için tendonların tekrar kilitlenmesinin imkansızlığı gözönünde bulundurulmalıdır.

5.4.8 Üretim ankrajı deneylerinin yorumlanması

Performans tipi ankraj şartlarında, ankrajın kabulü veya sökümü her bir ankrajın yük deneyi sonuçlarına göre verilir. Gözlemci bu deney sonuçlarının dikkatli bir şekilde incelenmesinin nedenini ve pratikte ne anlam taşıdığını anlamalı ve bilmelidir. Üretim ankrajı deneyi, zemin veya kayanın, zemin veya kaya ile enjeksiyon arasındaki bağın, tendonun, serbest boyun gres ve kılıfının, ankrajın ve diğer çeşitli elemanların yeterliliğini belirlemek için yapılır.

Deney aletleri, küçük tendon uzamalarının neden olduğu büyük yük artışları gibi ince değişimleri algılayacak kadar duyarlı olmalıdır. Deney aletleri, merkezden delikli bir kriko, bir yük hücresi ve yük uygulandıkça tendonda meydana gelen sapmaların belirlenmesini sağlayacak bir sistemi içerir. Hidrolik krikolarda, uygulanan yükün belirlenmesine yardımcı olması için bir basınç saati bulunur. Saat, yeterince temiz ve basıncın net olarak okunabilmesini sağlayacak kadar geniş olmalıdır. Alınacak ölçümlerin hassaslığını sağlamak için, kriko kapasitesi ve basınç saati kademeleri uygulanacak deney yükünün iki katından az olmalıdır. Piston uzama boyu ise beklenen tendon uzama miktarından daha fazla olmalıdır. Deney öncesi kalibrasyon belgesi ve krikonun basınç-yük çizelgesinin sağlanması gerekir. Sıyrılma veya kanıt deneyi için bir basınç saati ile yükün düzenli kontrolü sağlanabilir. Buna rağmen, böyle hidrolik sistemler ve basınç saatleri krip deneylerindeki gözlemlerde yeterli inceliği gösterememektedir. Krip deneylerinde sabit yük uygulanması gerektiği durumlarda, tendonda meydana gelen uzamanın neden olduğu yük düşüşünü basınç saati gösterememektedir. Bu yük düşmesi, olması beklenen krip miktarının düşüşüne ve gerçek dışı deney sonuçlarının elde edilmesine neden

olur. Bu nedenle kalibre edilmiş, merkezden delikli bir yük hücresi yardımıyla yükün devamlı olarak sabit tutulması sağlanır. Her iki basınç saati ve yük hücresi okumaları deney boyunca kayıt edilecektir.

Gözlemci, deneyden önce, merkezden delikli kriko ile yük hücresinin ortak merkezlenmiş olduğunu kontrol etmeli ve sağlamalıdır. Deney aletlerinin doğrusalılıklarının sağlanamaması yük hücresinin ve krikonun eksantrik olarak yüklenmesine ve dolayısıyla da gerçekçi olmayan sonuçların elde edilmesine neden olur. Kriko ağırlığı, duvardan çıkan tendona hiçbir zaman taşıtılmamalıdır. Kriko ağırlığı dışarıdan taşıtılmalı ve tendonun merkeziliği, gerginleştirme yükü uygulanıncaya kadar sağlanmalıdır.

Ankraj kafasının yerdeğiştirmesi ölçme saati ile belirlenecektir. Saatin kolu, beklenen uzama miktarından daha fazla dönme kapasitesine sahip olmalı ve yükleme kafasına dik olarak uygulanması sağlanmalıdır. Ölçme saatinin kolunun, doğrudan tendon başı veya tendon başının bir uzantısı ile bağlantılı olması gerekir. Kesinlikle kriko kafası ile bağlantılı olmamalıdır. Ölçme saatinin kolunun kafadaki değme noktasının sabit kalıp kalmadığını belirlemek için gerginleştirme yükü uygulandıktan sonra kafanın etrafına ölçme saatinin değdiği yerde bir daire çizilir. Alınan bu ölçümler çok küçük mertebelerde olduğu için ve aynı zamanda duvarda meydana gelebilecek hareket miktarlarının da alınan bu ölçümler içinde olmaması için ölçümler ankraj kafasından çok dikkat edilerek yapılmalıdır.

Deney sonuçlarının yorumlanması ve kabul kriterleri ile karşılaştırılması ise ikinci adımdır. Kriter, her ankraj için germe boyu ve bağ boyu üzerinde olacaktır. Germe boyu, yerleştirilen serbest boy ve kriko başından basınç plakasına kadar olan boyun toplamına eşittir. Birinci kritere göre, ankraj başında oluşacak toplam elastik uzama germe boyunun teorik uzamasının % 80' inden fazladır. Bu genellikle maksimum deney yükünde ölçülen tendon uzaması ile germe boyunun teorik uzamasının % 80' inin karşılaştırılması ile yapılır.

Gerçek elastik uzamanın en kesin değeri, etkin kalıcı hareket miktarının bulunması için performans deneyinde maksimum yükten gerginleştirme yüküne kadar yapılan yük çevrimde elde edilen değer toplam uzamadan çıkarılması ile elde edilir. Küçük değerler, serbest boy kılıfının hasar gördüğü veya yükün zayıf bölgelere iletilmediği olasılığını doğurur.

İkinci kriter, toplam uzama miktarının, kriko başından bağ bölgesinin ortasına kadar olan tendon uzunluğunun teorik uzamasından daha az miktarda olmasıdır. Daha büyük değerler zemin veya kaya ortamına bağlı olarak kök bölgesinin hareket ettiği anlamına gelir ki bu da ankrajın yerinden sökülmesi sonucunu da doğurabilir. Bunun için birçok neden olabilir, ama, yetersiz enjeksiyonlama, çok düşük enjeksiyon basıncı, kötü delik temizliği ve düzensiz merkezleme başlıca nedenlerdir. Aşırı sapmalar oluşursa, kontrol müteahhite izin verilebilir hareket miktarlarına neden olacak maksimum yükün belirlenmesini şart koşabilir.

Son kriter, bağ bölgesinin krip etkisinin kabul edilebilir sınırlar içinde olup olmadığını belirlemek içindir. Performans deneyleri için sabit yük altında kabul edilebilir uzama miktarının 5. ve 50. dakikalar arasında 2 mm. veya daha az olmasıdır. Bununla beraber, 1. ve 10. dakikalar arasındaki uzama 1mm. veya daha düşük ise deney kabul edilebilir. Kısaltılmış krip kabulünün nedeni, bu zaman aralığında oluşan 1 mm. lik krip etkisinin uzun zaman içerisinde azalarak devam ettiğini gösteren deneyimlerdir. Krip deneyinin zorunlu olduğu kanıt deneylerinde, kabul edilebilir uzama miktarları 0.5. dakika ile 5. dakika arasında 2 mm. veya daha düşüktür. Krip deneyi boyunca yük hücresi okumaları yardımıyla, tendon üzerindeki yükün sürekli sabit kalması sağlanmalıdır. Kontrol, yük hücresi okumalarını 30 saniye ile 1 dakikalık aralar ile gözleyerek sabit yükün uygulanmasını sağlayacaktır. Çoğu yük hücreleri, yükte meydana gelen küçük değişimleri algılayan duyarlı iğnelere sahiptir.

Aşağıdaki örnek bu üç kriterin uygulamasını göstermektedir.

Tasarım yükü 40 ton, 1.25P maksimum deney yükü 50 ton, serbest boy 10 m., tendon kesit alanı 9.54896 cm²., bağ boyu 5 m. ve elastisite modülü (E) 2030000 kg/cm². olup, basınç plakası ile kriko başlığı arası 0.61 m., gerginleştirme yükü 4 tondur. AL ve 1.25P yükü arasındaki uzama 26.7208 mm. dir. Bu değer kabul edilebilir mi ?

$$\text{Toplam uzama } L_{\text{tot}} = 2.67208 + \frac{(4)(1000)(1000 + 61)}{(2030000)(9.54896)} = 2.8910 \text{ cm.}$$

1. Kriter :

$$L_{\text{tot}} > \frac{0.8(1.25P)(L_s)}{(ALAN)(E)} > \frac{(0.8)(1.25)(40)(1000)(1000 + 61)}{(9.54896)(2030000)} = 2.19 \text{ cm}$$

$$L_{\text{tot}} = 2.8910 \text{ cm.} > 2.19 \text{ cm.} \quad \text{KABUL}$$

2.Kriter :

$$L_{\text{tot}} < \frac{(1.25P)(L_s + 1/2L_b)}{(ALAN)(E)} < \frac{(1.25)(40)(1000)(1061 + 500/2)}{(9.54896)(2030000)} = 3.38 \text{ cm}$$

$$L_{\text{tot}} = 2.8910 \text{ cm.} < 3.38 \text{ cm.} \quad \text{KABUL}$$

Krip deneyi yapılmış ve şu değerler bulunmuştur.

Zaman (dak.)	0	1/2	1	3	5	10	20
	30	40	50				
Okuma (mm.)	45.7454	45.2374	44.45	44.196	44.069	43.942	-
	-	-	-				

1. ve 10. dakikalar arası okuma farkı= 44.45-43.942=0.508mm.<1 mm.

Bu nedenle 3. kriter sağlanmış ve 20. dakikadan sonraki okumalara gerek kalmamıştır.

5.5 B.S. 8081 - İngiliz şartnamesi (1989)

5.5.1 Giriş

Bütün ankraj sistemleri için uygulanan üç çeşit deney vardır :

1. Kanıt Deneyleri;
2. Arazi Uygunluk Deneyleri;
3. Arazi Kabul Edilebilirlik Deneyleri;

Kanıt deneyleri, çalışan ankrajların üretiminden çok arazi koşulları ve tasarının uygunluğunun ve kullanılan malzemenin kalitesinin, tasarımın sağladığı emniyet sınırlarının gözlemlenmesi ve yerinde canlandırılması için gereklidir. Deneyler, arazi uygunluk deneylerine oranla daha özenli yapıldıkları için, örneğin yerleştirilen ve deney uygulanan değişik boylardaki kısa kök boylu ankrajlarda, sonuçlar doğrudan karşılaştırılamamaktadır. Arazinin kapasitesinin araştırıldığı durumlarda, yük, tendonun karakteristik dayanımına bağlı olarak aktarılır ve uygun çalışma yükü kanıt deneyinin sonuçlarından belirlenir.

Arazi uygunluk deneyleri, çalışan ankrajların bulunduğu ortam ile aynı ortamda; aynı şekilde ve aynı seviyede yüklenerek uygulanır. Bu deneyler, sözleşme sonrasında ileri adımlarda veya ankrajların üretimi sırasında seçilen ankrajlar üzerinde uygulanır. Gözlem süresi, krip veya öngerme dalgalanmalarının düzensizliği izin verilebilir sınırlar içinde kalıncaya kadar olmalıdır. Bu deneyler, çalışan ankrajlardan hizmet süreleri boyunca elde edilecek sonuçları gösterir.

Arazi kabul edilebilirlik deneyleri, kaya bulonları dışındaki bütün ankrajlarda, ankraja etki edebilecek olan tasarım çalışma yükünün üzerindeki yüke ankrajın kısa süreli tepkisinin ve kök boyunun yük iletme veriminin araştırılması, amacı ile kullanılır. Kısa süreli sonuçların arazi uygunluk deneyi sonuçları ile ayrıntılı olarak karşılaştırılması sonucunda uzun süreli davranışları hakkında bilgi edinilmiş olur. Kaya bulonlarını örnekleyen bir gruba (% 1-% 5) kabul edilebilirlik deneyleri uygulanırken, kaya bulonlarının çoğunluk veya tek destek sistemi olarak kullanıldığı durumlarda daha yüksek bir oranına (% 50-% 100) uygulanır. İki hızlı reçineli ankraj tipinin önerildiği uygulamalarda çevrimli yüklemenin yapılabilmesi nedeniyle yavaş donan reçinenin ankraj serbest boyu üzerine uygulanmaması gerekebilir. Deney sonuçlarının yerleştirme yöntemlerindeki farklılıklardan etkilenmediğini doğrulamak amacıyla ayrı araştırmalar yapılmalıdır.

5.5.2 Kanıt deneyleri

5.5.2.1 Genel

Herhangi bir ankraj geçici veya kalıcı ankraj olarak kullanıma alınmadan önce önceki deneylerle veya yeterli ve düzenli tutulmuş saha deneyimleri ile kanıtlanmalıdır. Kanıt deneyleri, malzemenin, bileşenlerin, yapım yönteminin ve işçiliğin uygunluğunun tasarımcıya kanıtlanması amacıyla yapılır. Kanıt deneylerinin içeriği ankrajın kullanılacağı koşullardaki performansını kanıtlamak için yeterli olmalıdır.

Kanıt deneyleri malzemelerin, bileşenlerin ve yapım yöntemlerinin her yönünü kapsayacak şekilde fabrikada, laboratuvarında veya arazide yapılacaktır. Kanıt deneyleri, kullanılacak ankrajların performans ve davranışlarını tasarımın kalitesini ve yeterliliğini, tasarımın öngördüğü güvenlik faktörünü araştırmak için uygulanırlar. Bu deneyler özellikle yük kapasitesi, yük-uzama davranışı, gevşeme ve krip etkileri gibi faktörleri de belirler. Paslanmaya karşı alınacak

önlemin taşıma, depolama, yerleştirme ve germe sırasında göreceği fiziksel hasarlara dayanımı ve bir bütün olarak bu korumanın sürekliliği de düşünülmelidir. Belirlenmiş servis ömrü boyunca kanıtlanmış performansın olmadığı durumlarda, koruma sisteminin bileşenlerinin kaliteleri ve dayanımları ile servis koşulları ve bu koşullarda oluşabilecek durumlar dikkate alınarak bir tahmin yapılmalıdır.

Deney ankrajlarına, uygulanacakları zemin cinsi ve koşullarına benzer koşullarda deney uygulanmalıdır.

Bir kanıt deneyi programı hazırlanırken, tasarımcı kendi kabul ettiği risk derecesini ve tasarım belirsizliğini, çalışan ankrajın gerekli olan kullanımıyla beraber yansıtacak belli amaçları ve şartları belirtmelidir. Zeminde uygulanan ankrajlar için, temel zemininin davranışı ve yük kapasitesi üzerine araştırmalara önem verilebilir. Bunun yanı sıra, kaya ortamlarda uygulanan ankrajlarda, daha yüksek değerlerde gerilmeler uygulanan kök boyları ve tendonların yapısal davranışları üzerindeki araştırmalara önem verilmelidir.

Herhangi bir ankraj projesinin kabulünden önce, malzemelerin, bileşenlerin ve yerleştirme yönteminin uygunluğunun tasarımcıya kanıtı gerekmektedir.

Kanıt deneyleri, ilgili tüm malzeme ve bileşenlerin dayanımını, sertliklerinin sürekliliğini, imalat, yerleştirme veya servis ömrü sırasında karşılaşılabileceği hasarlara karşı dayanıklılığını ve sağlamlığını araştıracaktır. Kanıt deneylerinde iki farklı malzeme arasındaki etkileşim de araştırılmış olacaktır. Karşılaşılabilecek tüm tasarım kabullerini sağlamasına dikkat edilerek ankraj oluşumuna uygun malzeme ve bileşenleri de araştıracaktır.

5.5.2.2 Malzemeler ve bileşenler

Malzemeler : Kanıt deneyleri, tendon grubunda veya ankraj imalatında bulunan bütün malzemelerin İngiliz Standardları (BS) ile uyuşumunu sağlamak üzere uygulanır. Genelde imalatçıların vermiş oldukları sertifikalar yeterli olmaktadır. İlgili İngiliz Standardlarının olmadığı durumlarda, malzemeler deneyler veya düzenli arazi tecrübe belgeleri ile kanıtlanmalıdır.

Her durumda, çimento esaslı enjeksiyonlar için kullanılan çimento, dolgu, su ve katkıları 7.1^(*) ile, reçine esaslı enjeksiyonlarda kullanılan epoksi veya polyeşter reçine ve dolgular 7.2^(*) ile uyum içinde olmalıdır. Kullanılan öngerme çeliği veya betonarme çeliği 7.3^(*) ile uyum içinde olmalıdır.

Kılıflama veya borulama için kullanılan plastikler, yapısal özelliği olmayan ayırıcılar ve merkezleyiciler, bitümlü ürünler, paslanmaya karşı önlem olarak kullanılan bantlar veya gres İngiliz Standardlarının ilgili maddeleri ile uyum içinde olmalıdır.

Deney Enjeksiyon Karışımı : Ankrajin kabulü yapılmadan önce, önerilmiş olan kapsülleşme ve delik enjeksiyonu ile ilgili tüm özellikleri belirlemek üzere yapılan enjeksiyon karışım deneyi sonuçları alınmalıdır.

Deney karışımları, yapım sırasında kalite kontrolde kullanılacak olan kontrol parametrelerini de belirlemek için kullanılır.

Enjeksiyon deneyleri, projede kullanılması önerilmiş olan ankrajlarda kullanılacak olan malzemelere benzer malzemeler, ekipman ve yöntem kullanılarak yapılmalıdır.

(*). İngiliz Şartnamesi Maddesi

Ankraj Parçaları Deneyleri : Kanıt deneyleri, tüm parçaların ilgili İngiliz Standardları ile uyumluluğunu sağlamak ve önerilen ankrajın gerçekleştirilmesi için kullanımının uygunluğunu kanıtlamak için yapılmalıdır. Bir çok yönden üreticilerin verdikleri sertifikalar yeterli olmaktadır. İlgili İngiliz Standartlarının bulunmaması durumunda, ankraj parçaları deneylerle veya düzenli arazi tecrübe tutanakları ile kanıtlanabilecektir.

Tendonlar, öngerme çelikleri ve betonarme çelikleri ilgili standartlarla uyumlu olmalıdır. Bir çok yönden üreticilerin verdikleri sertifikalar yeterli olmaktadır. Bununla beraber, tendonun bütün boyu üzerinde tendon özelliklerini belirlemek gerektiğinde çeşitli farklılıklar oluşabilmektedir. Başka malzemelerden üretilmiş olan tendonlar, karakteristik dayanımlarının, pekliğinin, gevşeme ve krip davranışının, dayanıklılığının ve uzun süreli dayanımının araştırılabilmesi için kanıt deneylerinden sonra kullanılabilirler.

Kılıflama veya borulama, 7.3.4^(*) ve 8.2^(*) ile uyumlu olmalıdır. Kanıt deneyleri özellikle, dayanım, kalıcılık, montaj sırasındaki darbelere dayanım, yerleştirme veya kullanım ve uzun süreli kalıcılık gibi etkileri araştırmalıdır. Merkezleyiciler ve ayırıcılar 7.3.5^(*), 7.3.6^(*) ve 7.3.7^(*) ile uyumlu olmalıdır.

Kullanılan diğer tüm parçalarının, tendon, paslanma koruması veya ankraj performansı üzerinde zararlı etkilerinin olmadığı kanıtlanmalıdır. Enjeksiyonlama boruları, bantlar gibi malzemeler 7^(*) ve 8.2^(*) ile uyumlu olmalıdır.

Çoğu durumda, bileşenlerin dayanıklılığının ve paslanma korumasının etkilerinin kanıtlanması gerçek boyutlarda tendon hazırlanmasını, uygulanmasını ve araştırma yapılmasını gerektirir.

(*), İngiliz Şartnamesi Maddesi

Enjeksiyon/Tendon ve Enjeksiyon/Kapsülleme Bağı Deneyleri : Ankrajın kabul edilebilmesinden önce, enjeksiyon/tendon yüzeyi bağının şiddeti, enjeksiyon/kapsülleme yüzeyi belirlenmelidir. Bu, kanıt deneyi veya düzenli tutulmuş saha deneyim kayıtları ile yapılmalıdır. Ancak, küçük ölçekli sökme veya sıyırma deneyleri uygun olmayabilir ve geniş kapsamlı deneyler gerekli olabilir. Tendonların deney boylarındaki sökme ve sıyırma yük deneyleri farklı çevreleme gerilmelerinde ve göçme durumlarında olabilir, bu nedenle sonuçların dikkatli kullanılması gerekir.

Kanıt deneyleri, serbest boyda paslanmaya karşı kullanılan koruyucu kaplamanın, tendon gerilmesi veya kullanılması sırasında oluşan önlenmemiş uzamaları sınırlamadığını kanıtlamak üzere yapılmalıdır.

Enjeksiyon/Tendon yüzey bağı 6.3^(*) ile ve enjeksiyon/kapsüllenme yüzey bağı 6.4^(*) ile uyumlu olmalıdır. Serbest boy koruma kaplamasının tendonları kaplama özelliği 8.2^(*) ile uyumlu olmalıdır.

Montaj : Tendonun imalat metodlarının ve kullanılan malzeme ve parçaların, karşılaşılabilecek tasarım kabullerini sağlayabilirliği dikkatli bir şekilde araştırılmalıdır. Yapım yöntemleri, tendonların imalatı veya kapsüllenmesi sırasında incelenebilir.

Kapsüllenmenin incelenmesi paslanma korumasının bütünlüğünü kanıtlamak için yapılmalıdır. İmalatlar 10.3^(*) ve 10.4^(*) ile uyumlu olmalıdır.

Geniş Kapsamlı Deneyler : Geniş kapsamlı ankrajların yerleştirilmesi arazi kanıt deneyleri için gereklidir. Deney ankrajları, aynı zamanda paslanma korumasının bütünlüğünü kanıtlamak ve enjeksiyon/tendon veya enjeksiyon/kapsülleme bağ şiddetini belirlemek için yapılabilir.

(*), İngiliz Şartnamesi Maddesi

Paslanma korumasının bütünlüğünün kanıtlanması deney ankrajının yerleştirilip gerildikten sonra sökölüp çıkarılmasını gerektirebilir. Serbest boy üzerinde germe nedeniyle oluşan açık çatlakları onarmak için epoksi reçine veya işaretlemek için boya enjeksiyonunu sağlayan özel imkanlar gerekli olabilir. Deney ankrajları aynı zamanda enjeksiyon/tendon veya enjeksiyon/kapsülleme şiddetini belirlemek için gerekli olabilir. Kısa tendon bağ boyulu özel ankrajlar gerekli olabilir.

Ankraj Kafası : Kanıt deneyleri, önerilen ankraj kafası sisteminin imalat ve montaj yöntemlerinin, malzemelerinin uygunluğunu belirlemek için yapılmalıdır. Ankraj kafası 7.4^(*) ve 8.2^(*) ile uyumlu olmalıdır. Montaj yöntemleri de 10.5^(*) ile uyumlu olmalıdır.

Germe Ekipmanı : Ankraj projesinin kabulünden önce, bütün germe ekipmanlarının uygunluğunun kanıtlanması gerekir. Germe ekipmanlarına en az belirlenen kapasitesinin % 110' unda kanıt deneyi uygulanacak ve ilk kalibrasyon üretici firma tarafından yapıldıktan sonra her yeni projenin yapımından önce tekrar kalibrasyon yapılmalıdır.

Basınç saatleri, ilk olarak amaca uygun olarak tasarlanmış ölü ağırlık ekipmanlarına veya eşdeğerine karşı kalibre edilmelidirler. Daha sonra ise 10.6^(*) ya göre kalibre edilmelidirler.

Yük hücreleri 10.6^(*) ya göre, germe ekipmanları ise 9^(*) ve 10.6^(*) ya göre kalibre edilecektir.

Deneylerin Sonuçları : Bütün fabrika, laboratuvar ve geniş kapsamlı deney sonuçları rapor formlarında imalatçı tarafından arazi kanıt deneyleri başlamadan hazırlanmalıdır. Raporlar imalatçı deney kuruluşu, deney gözlemcisi, tarih, süre ve deney yeri gibi tüm detayları içermelidir.

(*), İngiliz Şartnamesi Maddesi

Raporlar, tüm çizimleri içermeli ve malzemeleri, boyutları, deney kademele-
rinin tüm detaylarını ve deneme imalatlarını belirtmelidir. Bütün deneyler,
gerekli çizimler ve şekiller ile yeterli olacak şekilde tariflenecektir. Deneyle-
rin tüm sonuçları belirtilmelidir.

Raporda, üretici firmanın yapmış olduğu önceki deneylerin sonuçları, saha
deneyim raporları ve imalat belgeleri de bulunmalıdır.

5.5.2.3 Deneme ankrajları

Normal Deneme Ankrajları : Arazi kanıt deneylerinde, önerilen çalışma
ankrajının davranışını, performansını, tasarımın uygunluğunu ve yeterliliğini
doğrulamak için geniş kapsamlı ve gerçek boyutlarda deneme ankrajlarının
yerleştirilmesi gereklidir.

Bütün ankrajların kanıt deneyleri planlanırken, en az üç ankraja deney uygu-
lanması önerilmektedir. Geniş kapsamlı deneme ankrajları, önerilen çalışma
ankrajlarında kullanılacak malzemeler, yöntemler ve ekipmanlar ile kullanıla-
cakları ortamlarda uygulanmalıdır. Ankraj çeşitlerine göre, ilave deneme
ankrajları gerekebilir.

İmalat sırasında, delme yönteminin, kök oluşturulmasının, enjeksiyonlama-
nın, tendon yerleşiminin, ankraj kafası oluşumunun ve germe işleminin, karşı-
laşılabilecek tüm tasarım kabullerini sağlayabilirliği araştırılmalıdır. Arazi
deneyleri özellikle belirsiz ve riskli bölgeleri belirler. Zemin ortamında yapı-
lan ankraj uygulamalarında, delgi yöntemlerine, kök oluşturma yöntemlerine
ve zeminin yumuşamasına bağlı herhangi bir değişim veya bozulma olup ol-
madığına dikkat etmek gerekir. Kaya ortamında yapılan ankraj uygulamala-
rında ise enjeksiyonlama yöntemlerine dikkat edilmelidir.

Kök bölgesinin ve serbest boyun bir seferde enjeksiyonlanmasının planlandığı uygulamalarda, kök bölgesinin üst kısmına tendonun etrafında kök enjeksiyonu ile serbest boy enjeksiyonunu birbirinden ayıracak bir ayraç veya sıkışabilir araç kullanılması gerekir. Kullanılan ayraç, germe işlemi sırasında uygulanan yükün kök bölgesi enjeksiyonundan serbest bölge enjeksiyonuna iletimini engelleyecektir.

Geniş kapsamlı, gerçek boyuttaki ankrajların uygulanması, paslanma korumasının incelenmesi deneylerinin bir parçası olarak gerekebilir. Böyle bir durumda, ankrajın yerleştirilmesi ve gerilmesinden sonra tekrar sökülmesi gerekecektir.

Özel Deneme Ankrajları : Önerilen ankrajların bazı yönlerden incelenmesi özel deney ankrajlarının yerleştirilmesini gerektirebilir. Özellikle, zemin/kök yüzeyindeki nihai göçme yükünün normal deney ankrajları ile belirlenmesi mümkün olamaz. Bu durumda, enjeksiyon/tendon, enjeksiyon/kapsüllenme yüzeyleri arasında veya tendonda göçme olmadan nihai göçme yüküne ulaşmasını sağlayabilen kısa kök boylu "özel deney ankrajlarının" uygulanması gerekecektir. Diğer bir olasılık olarak, tendona ek halat ilave edilerek yeterli yükün güvenli bir şekilde uygulanması sağlanabilir.

Germe nedeniyle sabit boy üzerinde oluşmuş olabilecek açık çatlakların ankraj sökülmeden önce boya enjeksiyonu ile işaretlenmesi veya epoksi reçine enjeksiyonu ile tamiri yöntemlerini içermek için ve paslanma korumasının etkinliğinin incelenmesi için özel deneme ankrajları inşa edilebilir.

Diğer özel deney ankrajları, gerilme veya yük dağılımının belirlenmesi için köklerinde gerilme saatleri veya yük hücreleri, kökteki hareketin ölçülmesi için de ekstansometre içerebilirler.

Deney Sonuçları : Çalışma ankrajı imalatı yapılmadan önce, deneme ankrajları üzerinde yapılan, arazi kanıt deneylerinin tamamlanmasının ardından deney sonuçları uygulayıcı tarafından bir rapor halinde hazırlanmış olmalıdır. Raporda, imalat ve uygulamadan sorumlu şirket, deneyi yapan şirket, gözlemci mühendis, deney tarihi, süreleri ve yerleri gibi tüm ayrıntılar bulunmalıdır.

Ayrıca raporda, çizimler verilmeli ve malzemelerin, tendonun boyutları ve imalat yönteminin tüm ayrıntıları, delik ve delgi yöntemi, kök oluşturulması ile ilgili ayrıntılar belirtilmelidir. Ankraj çevresindeki zeminin durumu ve fiziksel özellikleri tariflenmeli, yeraltı suyu ve eğer yapılmışsa zemin veya yeraltı suyu deney sonuçları belirtilmelidir. Tendonun saklanması ve yerleştirilmesi ayrıntıları ile beraber, enjeksiyon karışımının tüm ayrıntıları kapsüllemenin, birincil ve ikincil enjeksiyonlamanın dayanımı, katkıları ve karıştırma yöntemleri, eklenmelidir.

Yük/uzama, yük/zaman veya uzama/zaman ve diğer arazi deneylerinin tüm sonuçları belirtilmelidir.

5.5.2.4 Maksimum yük

Güvenlik nedeniyle, maksimum yük, çeliğin % 0.1 uzamasına karşılık gelen karakteristik dayanımının % 95' ine eşit bir değerde veya karakteristik dayanımın (f_{pu}) % 80' i değerinde olacaktır. Eğer, izin verilebilir maksimum yük değerine ulaşmadan ankraj parçalarında göçme oluşursa, nedeni araştırılmalı ve elde edilen veriler kayıt edilmelidir.

5.5.2.5 Yük-uzama verileri

Yük uzama verileri, tendonun karakteristik dayanımı olan f_{pu} ' nun % 5' inden %80' ine kadar olan aralıkta f_{pu} ' nun % 10' unu geçmeyen yük kademelerinde,

sürekli olarak kayıt edilecektir. Yük boşaltma sırasında, tercihen, çevrimin en üst yük değerinin 1/3' lük yük değerlerinde olmak üzere, en az iki yük düşüş kademesinde, verilere ilave olarak, yerdeğiştirme değerleri ölçülecektir. Germe şartları 10.6^(*) ile uyumlu olacaktır (EK.6).

Her kademedede, yük en az 1 dakika sabit tutulacak ve uzama kayıtları bu sürecin başında ve sonunda alınacaktır. Bu süreç, çevrimin tepe yükünde, her 5 dakikada bir ara uzama değeri okuması alınmak üzere en az 15 dakika olacaktır.

Gerginleştirme yükü T_0 ' ın tendon karakteristik dayanımının (f_{pu}) % 5' inden büyük olduğu durumlarda, T_0 ilk yük olarak ve çevrimli yüklemede de veri olarak kullanılacaktır.

Uygun olduğunda, yük-uzama davranışını ve tekrarlanabilirliğini kanıtlamak için son yük çevrimi tekrarlanarak ölçülebilir.

Arazi koşulları hakkında detaylı bilgi veya eski deneyimler yoksa, yük, Çizelge 5-10 ve Şekil 5-17' deki gibi yük çevrimleri ilerledikçe arttırılmalı.

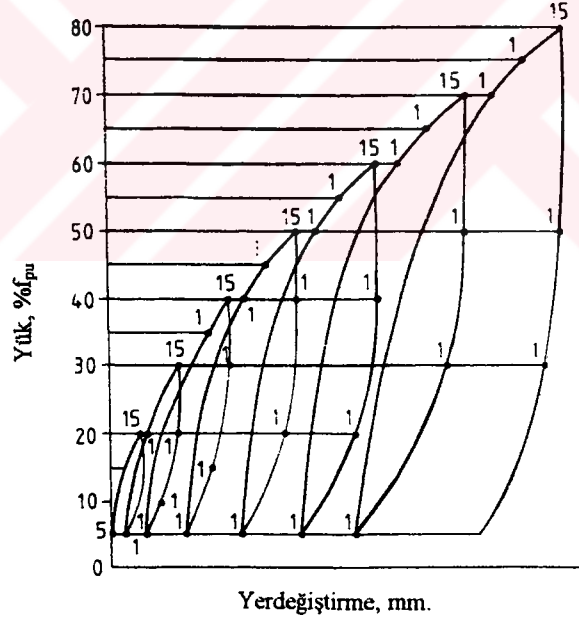
Eğer arazi koşulları hakkında eski ankraj uygulaması bilgileri varsa, Çizelge 5-11 ve Şekil 5-18' deki gibi ankrajlar tendon karakteristik dayanımı f_{pu} ' nun % 60' ına kadar güvenle yüklenebilir ve yük artış kademeleri de % 10 f_{pu} olarak kullanılabilir. Ankrajın T_w çalışma yükünün bilindiği uygulamalarda ankrajın Çizelge 5-14' e uygun olarak yüklenmesi doğru olacaktır.

(*) İngiliz Şartnamesi Maddesi

Çizelge 5-10 Arazi koşullarının bilinmediği veya önceden yapılmış uygulamaların olmadığı durumlarda kanıt deneyi için önerilen yükleme adımları ve gözlem süreleri.

Yük artış oranları (% f_{pu})							Minimum gözlem süresi
1. Çevrim	2. Çevrim	3. Çevrim	4. Çevrim	5. Çevrim	6. Çevrim	7. ve 8. Çevrim	
%	%	%	%	%	%	%	min.
5	5	5	5	5	5	5	1
10	20	30	40	50	60	70	1
15	25	35	45	55	65	75	1
20	30	40	50	60	70	80	15
15	20	30	40	40	50	50	1
10	10	15	20	20	30	30	1
5	5	5	5	5	5	5	1

Not : Yük-uzama sonuçlarının çizilmesi deney yönteminin bir parçası olarak önerilmektedir. Bu yolla, ankrajındavranış eğilimi önceden belirlenmiş olur ve özellikle kök göçmeye yaklaştıkça oluşan akmanın gözlemlenmesi sağlanır.

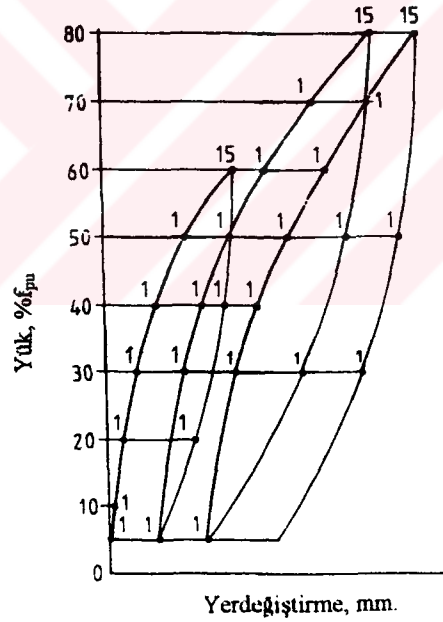


Şekil 5-17 Arazi koşullarının bilinmediği veya önceden yapılmış uygulamaların olmadığı durumlarda kanıt deneyi için önerilen yükleme adımları ve gözlem süreleri.

Çizelge 5-11 Önceden yapılmış ankraj uygulaması bilgileri olan arazi ortamlarında yapılacak kanıt deneyleri için önerilen yük artış kademeleri ve gözlem süreleri.

Yük artış oranları (% f_{pu})		Minimum gözlem süresi
1.Çevrim	2. ve 3. Çevrim	
%	%	min.
5	5	1
10	30	1
20	40	1
30	50	1
40	60	1
50	70	1
60	80	15
40	50	1
20	30	1
5	5	1

NOT: T_w' nun bilindiği durumlarda Çizelge 5-14 kullanılabilir.



Şekil 5-18 Önceden yapılmış ankraj uygulaması bilgileri olan arazi ortamlarında yapılacak kanıt deneyleri için önerilen yük artış kademeleri ve gözlem süreleri.

Not: T_w' nun bilindiği durumlarda Şekil 5-21 kullanılabilir.

5.5.2.6 Yük-zaman verileri

Yük-zaman verilerinin gözlemlenmesine geçici ankrajlar için % 70 f_{pu} ' dan aşağıda, kalıcı ankrajlar için ise % 55 f_{pu} ' dan aşağıda başlayarak Çizelge 5-12' deki gözlem aralıklarına göre yük hücresi veya basınç saati kullanılarak 10 gün devam edilir (EK.8). % 40 f_{pu} , % 50 f_{pu} , % 60 f_{pu} , % 70 f_{pu} gibi farklı yük seviyelerindeki uzun süreli davranışını araştırmak üzere kanıt deneyleri planlanmadıkça, ilk kalıcı yük, çalışma yükü olan T_w ' nun % 110' una eşit olacaktır.

Sıcaklık, yapısal hareket ve tendon gevşemesi gibi etkenlere izin verildikten sonra yük sabit bir değer almamış ise, deney, 7 günlük aralar ile okumalar alınmak üzere, yük sabitleninceye kadar veya 30 günlük süreçlerden hangisi daha kısa ise o kadar süre uzatılır.

İlk 1500 dak. içindeki okumalar, gözlem aletinin bağıl hassaslığının en az % 0.5 olduğu durumlarda alınacaktır. Gözlem, germe işlemi içerdiğinde, yük hücresiz sıyırma kontrolü gibi, % 5 bağıl hassaslık beklenmez ve 1 günlük ve daha fazla uzun gözlem süreleri gereklidir.

Çizelge 5-12 Kalıcı yük-zaman davranışı için kabul kriteri.

Gözlem süresi	İzin verilebilir yük kaybı (ilk kalıcı yükün % si)
min.	%
5	1
15	2
50	3
150	4
500*	5
1500 (yaklaşık 1 gün)	6
5000 (yaklaşık 3 gün)	7
15000 (yaklaşık 10 gün)	8

* 500. dakika uygulamalarda gözlemlenmez.

5.5.2.7 Uzama-zaman verileri

5.5.2.6.'daki tavsiyelere seçenек olarak, uzama-zaman verileri geçici ankrajlar için % 70 f_{pu} , kalıcı ankrajlar için % 55 f_{pu} değerinde gözlemlenmeye başlayarak Çizelge 5-13 de gösterilen gözlem süreleri ile 10 gün boyunca ölçme saatleri veya çelik metre kullanılarak devam eder.

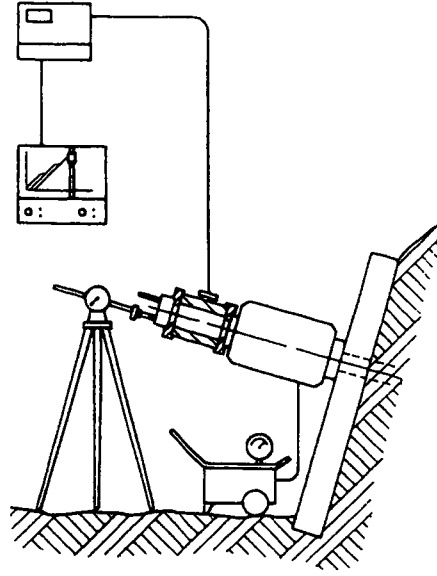
Sıcaklık, yapısal hareket ve tendon gevşemesi gibi etkenlere izin verildikten sonra yük sabit bir değer almamış ise, deney, 7 günlük aralar ile okumalar alınmak üzere, yük sabitleninceye kadar veya 30 günlük süreçlerden hangisi daha kısa ise o kadar süre uzatılır.

Her gözlem süresinde, ankraj tekrar gerilebilir ve ilk kalıcı yük gibi kilitleme yükünü tekrar kazanmak için yeterli olan tendon uzama artışı veya basınç plakası sabit piston uzaması germe yükü bırakıldıktan sonra kayıt edilir. Bundan başka, Şekil 5-19' daki gibi, yük kriko pompası yardımıyla sabit tutularak tendonun zamanla uzaması doğrudan ölçülebilir. Bu yöntem, özellikle kısa süreli süreklilik deneyleri için uygundur. Her iki durumda da, bununla beraber, uzama verileri, tekrar germe sistemi için basınç plakası veya sabit yük sistemi için sehpa tabanı, hareket için doğru olarak ölçülmelidir, aksi durumunda okumaları hatalı olabilir.

Çizelge 5-13 Kalıcı yük altındaki uzama-zaman davranışı için kabul kriteri.

Gözlem süresi	İzin verilebilir uzama (ilk kalıcı yükte tendonun Δ_e elastik uzamasının %' si
min.	%
5	1
15	2
50	3
150	4
500*	5
1500 (yaklaşık 1 gün)	6
5000 (yaklaşık 3 gün)	7
15000 (yaklaşık 10 gün)	8

* 500. dakika uygulamalarda gözlemlenmez.



Şekil 5-19 Ölçme saati kullanılarak tendon uzamasının tipik ölçümü.

5.5.2.8 Yük veya uzama ölçümlerinin sayısı

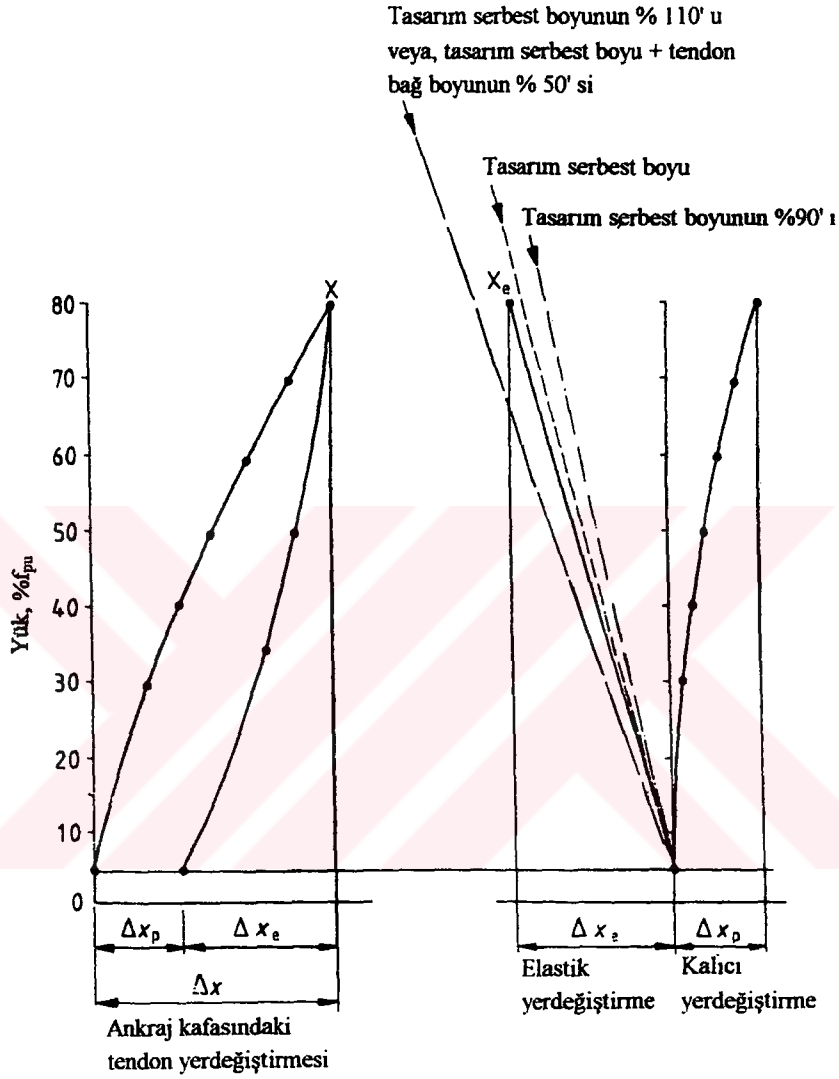
Hataları en aza indirmek için, özellikle bir tekrar germe işlemi yük hücresiz olarak yapıldığında, bütün okumalar 5.5.2.6. veya 5.5.2.7' ye uygun olarak en az üç defa alınacak ve sonuçların ortalaması bulunacaktır.

5.5.2.9 Mevcut serbest tendon boyu

Mevcut serbest tendon boyu, 5.5.2.5' teki % 80 f_{pu} - % 5 f_{pu} aralığındaki yük-elastik uzama eğrisinden sıcaklık etkileri, ankraj kafasının gömülmesi ve diğer ilave hareketler kabul edilerek ve imalatçının önerdiği elastisite modülü kullanılarak hesaplanabilir.

Çalışma yükü olan T_w' nun bilindiği durumlarda, analizler geçici ankrajlar için % 10 T_w - % 125 T_w ve kalıcı ankrajlar için % 10 T_w - % 150 T_w aralıklarında olacaktır.

Analizler ikinci veya sonraki yük boşaltma çevrimleri sonuçlarının gevşetme kademelerine göre Şekil 5-20 de gösterildiği gibi yapılacaktır. Hesaplanan mevcut serbest boy ile tasarımda amaçlanan serbest boy arasındaki fark belirtilecektir (EK.6).



Şekil 5-20 Ankraj kafasında tendonun hareketi için kabul kriteri

Mevcut serbest tendon boyunu hesaplamak için uygulamada kolaylık sağlaması için aşağıdaki denklem kullanılır.

$$\text{Mevcut serbest tendon boyu} = \frac{A_t \cdot E_s \cdot \Delta_e}{T} \quad (5-14)$$

A_t : Tendonun kesit alanı

E_s : Üreticinin tendon için verdiği elastisite modülü

Δ_e : Δ_e' nin en üst çevrim yükünde gözlemlenen uzama miktarı- araştırma yükündeki uzama miktarı' na eşitlendiği, yapısal hareketlere izin verildikten sonra tendonun elastik uzaması.

T : En üst çevrim yükü - araştırma yükü.

5.5.2.10 Kontrol

Deney durdurulduktan sonra, aşağıdaki araştırmaların yapılması için ankrajın açılması, incelenmesi ve bilgi toplanması istenilen ama zorunlu olmayan bir durumdur.

- a) Araştırmadaki serbest boy,
- b) Kökün boyu, durumu ve göçme biçimi,
- c) Paslanma korumasının durumu.

Eğer ankrajın kazılması kolay değilse, paslanma korumasının germe işlemin-den sonraki davranışının yeterliliğini belirlemek için, çelik tüp içine sıkıştırılmış enjeksiyon kolonunda sıyrılma deneyi yapıldıktan sonra korunmuş tendonun incelenmesi, gibi ayrık deneyler yapılabilir.

5.5.2.11 Ankrajların değerlendirilmesi

Deney sonuçlarının 5.5.2.12-5.5.2.15' e uygun olması durumunda ankrajın yeterli olduğu kabul edilir.

5.5.2.12 Mevcut serbest tendon boyu sınırları

5.5.2.9.' da belirtildiği gibi hesaplanan mevcut serbest tendon boyu, ne tasarımda amaçlanan boyun % 90' ından kısa, ne de amaçlanan kök boyunun %50'

sinin amaçlanan serbest boya ilavesi ile belirlenen boydan veya amaçlanan boyun % 110' undan uzun olmamalıdır. İkinci sınırlama, kısmen kısa kapsüllenmiş bağ boyları ve uç plakası veya civata ile tam ayrılmış tendonlar için geçerlidir (Şekil 5-20) (EK.11).

Belirlenen serbest tendon boyunun sınırlar dışında kalması durumunda, yük-uzama verilerinin tekrar oluşabilirliğinin ölçülmesi için kanıt yüküne kadar iki yük çevrimi yapılacaktır. Eğer ankraj tutarlı bir şekilde elastik davranış gösteriyorsa, ankrajın iptal edilmesine gerek yoktur (EK.6).

5.5.2.13 Öngerme kayıp oranı

Yük kaybı, % 0.5 gibi bağıl incelikle gözlemlendiği durumlarda, sıcaklık, yapısal hareketler ve tendon gevşemesine izin verildikten sonra, Çizelge 5-12' de (EK.8) verilen gözlem süreçleri için zaman aralıkları başına ilk kalıcı yükten kayıp oranı % 1 veya daha az bir değere düşecektir.

Uyumsuzluk olması durumunda, ilk yük-zaman deneyi ile bağlantılı olarak gerilme tarihçesi nedeniyle aynı ankrajın daha düşük bir ilk yükte kanıt deneyi olarak tekrar denenmesine izin verilmemelidir. Bu öneri, daha sonraki kanıt deneylerine rehber olması için düşük yüklerdeki ilerki deneye engel değildir.

5.5.2.14 Uzama oranı

5.5.2.13.' e seçenek olarak, sıcaklık, yapısal hareketler ve tendonun krip etkisine izin verildikten sonra ve, % 1 $\Delta e'$ nin, belirtilmiş deney yükünün (ilk kalıcı yük) % 1' i olan öngerme yükünün neden olduğu tendon kısalması miktarına eşit uzama olduğu durumda Çizelge 5-13 (EK.8) deki gözlem sürelerinin zaman aralıkları başına uzama oranı % 1 $\Delta e'$ ye veya daha aza düşecektir, örneğin :

$$\Delta e = \frac{\text{İlk kalıcı yük} \cdot \text{Serbest tendon boyu}}{\text{Tendon kesit alan} \cdot \text{Tendon elas. modülü}} \quad (5-15)$$

Bu öneriler ile uyumsuzluk olması durumunda, aynı ankrajın kanıt deneyi olarak tekrar gerilmesine izin verilmeyecektir (5.5.2.13)

5.5.2.15 Paslanma koruması

Paslanmaya karşı koruma sistemini oluşturacak fiziksel veya kimsayal engeller, malzemelerin uzun süre kalıcılığı ve uygunluğu açısından değerlendirilmelidir. Buna ek olarak, koruma sisteminde, tendon yerleşimi ve germe işlemi sırasında oluşabilecek zedelenmeler olmadığı kanıtlanmalıdır.

5.5.3 Arazi uygunluk deneyleri

5.5.3.1 Genel

Ankrajın arazi koşullarına göre uygunluğunun arazi deneyleri ile kanıtlanması için sözleşmeye göre gerekenler yapılmalıdır.

Arazi uygunluk deneyleri işlerde kullanılan ankrajlara veya sözleşme içersinde belirtilen ilave ankrajlar üzerinde uygulanabilir.

Referans kabul edilerek uygulama ankrajlarının performanslarının karşılaştırılacağı bu deney ankrajları, uygulama ankrajları ile tamamen aynı yöntem ile ve aynı zemin ortamında üretilmelidirler.

Uygulamada yapılması düşünülen ankraj sınıflarının her birinde, ilerki deneylerle beraber, en az ilk üç ankraja uygunluk deneyleri uygulanmalıdır. Ankrajlar şunlara göre sınıflandırılır.

- a) Geometrisi, yatay veya eğik;
- b) Zemin çeşidi, kil, çakıl veya kaya;
- c) Yük kapasitesi.

Deneyler, kayıtlar ve değerlendirmeler 5.5.3.2. ile 5.5.3.6 arasındaki maddelerle uyumlu olmalıdır.

5.5.3.2 Kanıt yükleri

Genelde maksimum kanıt yükü, sırasıyla geçici ve kalıcı ankrajlarda çalışma yükü T_w ' nun % 125' i ve % 150' si olacaktır (EK.7).

5.5.3.3 Yük-Uzama verileri

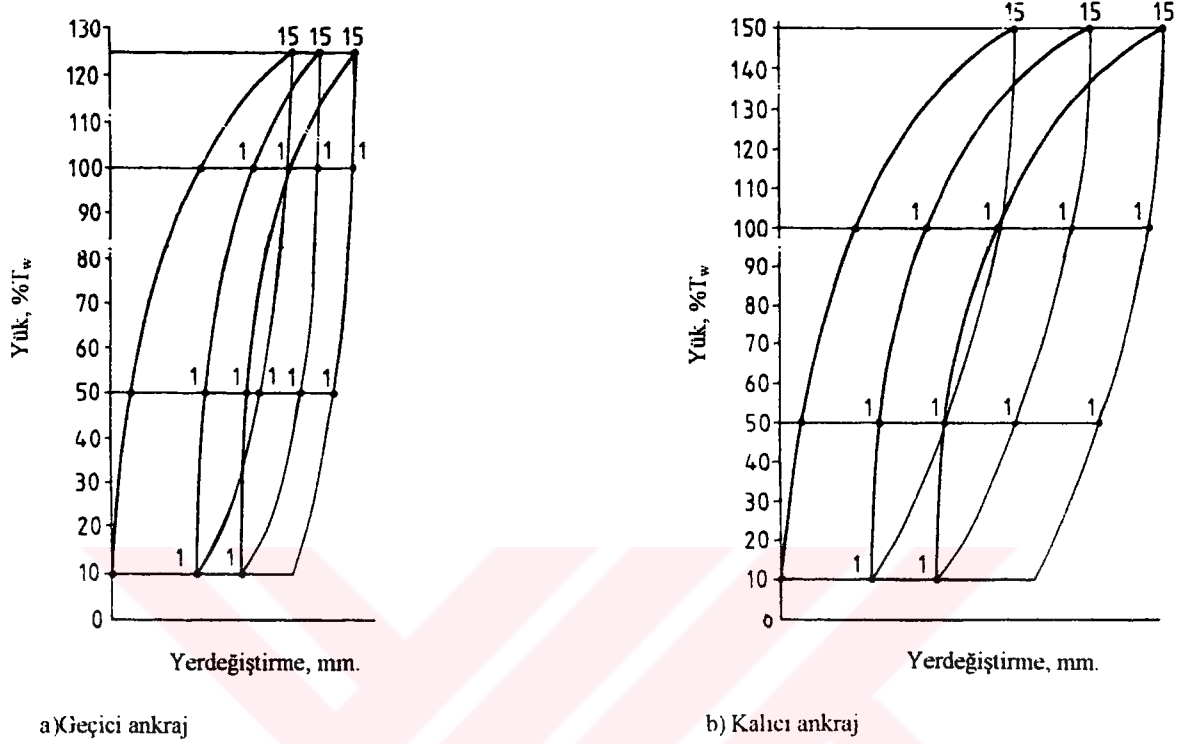
Yük-uzama verileri, geçici ankrajlarda % 10 T_w ile % 125 T_w aralığında, kalıcı ankrajlarda % 10 T_w ile % 150 T_w aralığında, % 50 T_w ' dan fazla olmayan yük artış kademelerinde sürekli olarak kayıt edilecektir. Yük boşaltma durumunda, verilere ek olarak ikiden az olmamak şartıyla, tercihen kanıt yükünün 1/3 değerlerinde olmak üzere, uzama verileri alınacaktır (Çizelge 5-14, Şekil 5-21). Germe yöntemi maddesi ile uyumlu olacaktır (Yorum için EK-6).

Çizelge 5-14 Arazi uygunluk deneyleri için önerilen yük artışları ve minimum gözlem süreleri

Geçici ankrajlar		Kalıcı ankrajlar		Minimum gözlem süresi
Yük artışı (% T _w)		Yük artışı (% T _w)		
1. yük çevrimi*	2. ve 3. yük çevrimi	1. yük çevrimi*	2. ve 3. yük çevrimi	
%	%	%	%	min.
10	10	10	10	1
50	50	50	50	1
100	100	100	100	1
125	125	150	150	15
100	100	100	100	1
50	50	50	50	1
10	10	10	10	1

* Bu yük kademelerinde uzama değerlerini belirlemek için gerekli olan süreler, Çizelge 5-14'de belirtilmiştir.

İlk çevrimdeki yükleme kademelerinde uzama değerini almak için gerekli olan süre kadar beklenecaktır.



Şekil 5-21 Arazi uygunluk deneyi için önerilen yük artışları ve minimum gözlem süreleri.

İkinci ve üçüncü yük çevrimlerindeki her yük kademesinde en az 1 dakika beklenecak ve her bekleme süresinin (gözlem aralığının) hem başında hem de sonunda uzamalar kayıt edilecektir. Kanıt yükleri için bu süre en az 15 dakika olmak üzere genişletilmiş ve her 5 dakikada bir ara okumalar alınması gerekliliği getirilmiştir. Üçüncü yük çevriminin tamamlanmasından sonra, çalışma yükü olan T_w' nun $\% 110'$ una bir defada yüklenerek kilitlenmelidir. Kilitlemenin hemen ardından yük değeri hemen okunarak ilk kalıcı yükün belirlenmesi gerekir. Bu zaman, yük/uzama-zaman davranışı gözlemi için sıfır anıdır (5.5.3.6 ve 5.5.3.7).

Tekli piston ile çok-elemanlı tendonun gerilmesinde, 5 dakika ve 15 dakika zaman aralıklarında toplam uzamadaki değişimler kolayca okunamaz. Sonuç olarak, yük dalgalanmaları gözlenecektir.

5.5.3.4 Kanıt yükü-Zaman verileri

Kanıt yükü, sıcaklık değişimi ve yapısal harekete izin verildikten sonra 15 dakika boyunca % 5' den daha fazla düşüş göstermediyse, ankrajın bu maddeye uygun olduğu söylenebilir. Eğer daha büyük öngerme kayıpları söz konusu ise, o zaman iki kanıt yük çevrimi daha uygulanacak ve davranışı kayıt edilecektir. Eğer % 5 kriteri her iki durumda da aşılmadıysa ankrajın bu maddeye uygun olduğu düşünülebilir.

Eğer % 5 kriteri herhangi bir çevrimde aşılsa, kanıt yükü bu madde ile uygunluğu sağlayacak bir değere düşürülecektir. Daha sonra, eğer uygunsa, düşürülmüş kanıt yükünde kabul edilebilir.

5.5.3.5 Kanıt yükünde uzama-zaman verisi

5.5.3.4' teki önerilere seçenek olarak, kanıt yükü krika ile sağlanarak ankraj kafasının uzama miktarı 15 dakika sonra gözlemlenebilir. Eğer krip miktarı % 5 $\Delta\epsilon$ ' den (bkz. 5.5.2.14) az ise, ankrajın yeterliliği kabul edilebilir. Ancak, daha fazla bir uzama miktarı belirlenir ise 5.5.3.4' de belirtilen diğer ilerki deneyler önerilmektedir.

5.5.3.6 Kalıcı yük-zaman verileri

Yük-zaman verileri, yük hücreleri veya basınç ölçerler kullanılarak, Çizelge 5-12 de verilen gözlem süreleri ile % 110 T_w dan başlayarak 10 gün boyunca, kayıt edilmeye devam edecektir (EK.8). Sıcaklık, yapısal hareket ve tendon gevşemesine izin verildikten sonra yük sabit bir değer almadığında, deney 7

günlük aralarla okumalar alınmak üzere, yük sabitleninceye kadar veya 30 günlük süreçlerden hangisi kısa ise o kadar uzatılacaktır.

İlk 1500 dak. içindeki okumalar, gözlem aletinin bağıl hassaslığının en az % 0.5 olduğu durumlarda alınacaktır. Yük hücresiz sıyırma kontrolü gibi germe işlemi içeren gözlemlerde, % 5 bağıl hassaslık olası değildir ve 1 günlük ve daha uzun gözlem süreleri gereklidir.

Yük kaybı % 0.5 bağıl hassaslık gibi bir hassaslıkla gözlemlendiği durumlarda, ilk kalıcı yükten kayıp oranı Çizelge 5-12' de verilen gözlem süreleri için zaman aralıkları başına % 1 veya daha aza düşecektir. Öngerme kazanımları için 5.5.4.6' nın incelenmesi gerekmektedir.

5.5.3.7 Kalıcı yükteki uzama-zaman verileri

5.5.3.6' daki önerilere seçenek olarak, uzama-zaman verileri Çizelge 5-13' de (EK.8) verilen gözlem süreleri ile % 110 Tw değerinden başlayarak ölçme saatleri veya çelik metre ile 10 gün boyunca kayıt edilmeye devam edecektir. Sıcaklık, yapısal hareket ve tendonun kribine izin verildikten sonra uzama sabit bir değere ulaşmadığında, deney, 7 günlük aralarla okumalar alınmak üzere, uzama sabitleninceye kadar veya 30 günlük süreçlerden hangisi kısa ise o kadar uzatılacaktır. Tekrar germe veya sabit yük yöntemleri ilk kalıcı yükteki uzama miktarını gözlemlemek için kullanılabilir.

% 1 Δe 'nin, ilk kalıcı yükün % 1' i olan öngerme yük kaybı nedeniyle oluşan tendon kısalması miktarına eşit uzama olduğu durumlarda, uzama oranı Çizelge 5-11' de verilen gözlem sürelerinin zaman aralıkları başına % 1 Δe ' ye veya daha aza düşecektir:

$$\Delta e = \frac{\text{İlk kalıcı yük} \cdot \text{Serbest tendon boyu}}{\text{Tendon kesit alan} \cdot \text{Tendon elas. modülü}} \quad (5-16)$$

5.5.3.8 Mevcut tendon serbest boyu

Mevcut tendon serbest boyu 5.5.2.9 da belirtildiği gibi hesaplanacaktır.

5.5.3.9 Ankrajların değerlendirilmesi

Deney sonuçlarının 5.5.2.12' den 5.5.2.15' e kadar ve 5.5.3.4 den 5.5.3.5' e kadar olan maddeler ile uyumlu olması ve 5.5.10' daki önerileri de dikkate alması durumunda kabul edilebilir sayılırlar.

Eğer ankrajlar tasarımın bir parçası iseler ve arazi uygunluk deneylerinin tamamlanmasında toplam gevşeme veya krip etkisi sırasıyla ilk kalıcı yükün % 5' ini veya % 5 $\Delta e'$ yi aşmış ise, ankrajlar tekrar gerilmeli ve çalışma yükü olan T_w' nun % 110' unda kilitlenmelidirler.

5.5.4 Arazi kabul edilebilirlik deneyleri

5.5.4.1 Genel

% 1 - % 5' inin kanıt yüküne kadar yüklenerek, kök boyu hareketi kontrol edildikten sonra % 110 T_w' da kilitlendiği kaya bulonu uygulamaları dışında, bütün ankrajlara 5.5.4.2 ile 5.5.4.7 arasındaki maddelere uygun olarak kabul deneyi uygulanmalıdır.

5.5.4.2 Kanıt yükleri

Maksimum kanıt yükü 5.5.3.2' ye uygun olmalıdır.

5.5.4.3 Yük-uzama verileri

Yük-uzama verileri, geçici ankrajlarda % 10 T_w ile % 125 T_w aralığında, kalıcı ankrajlarda % 10 T_w ile % 150 T_w aralığında, % 50 T_w' dan fazla

olmayan yük artış kademelerinde sürekli olarak kayıt edilmelidir. Yük boşaltma durumunda, verilere ek olarak ikiden az olmamak şartıyla, tercihen kanıt yükünün 1/3 değerlerinde olmak üzere (Çizelge 5-15 ve Şekil 5-22), uzama verileri alınacaktır. Germe yöntemi 10.6 ile uyumlu olacaktır (EK.6).

Çizelge 5-15 Arazi kabul edilebilirlik deneyleri için önerilen yük artışları ve minimum gözlem süreleri

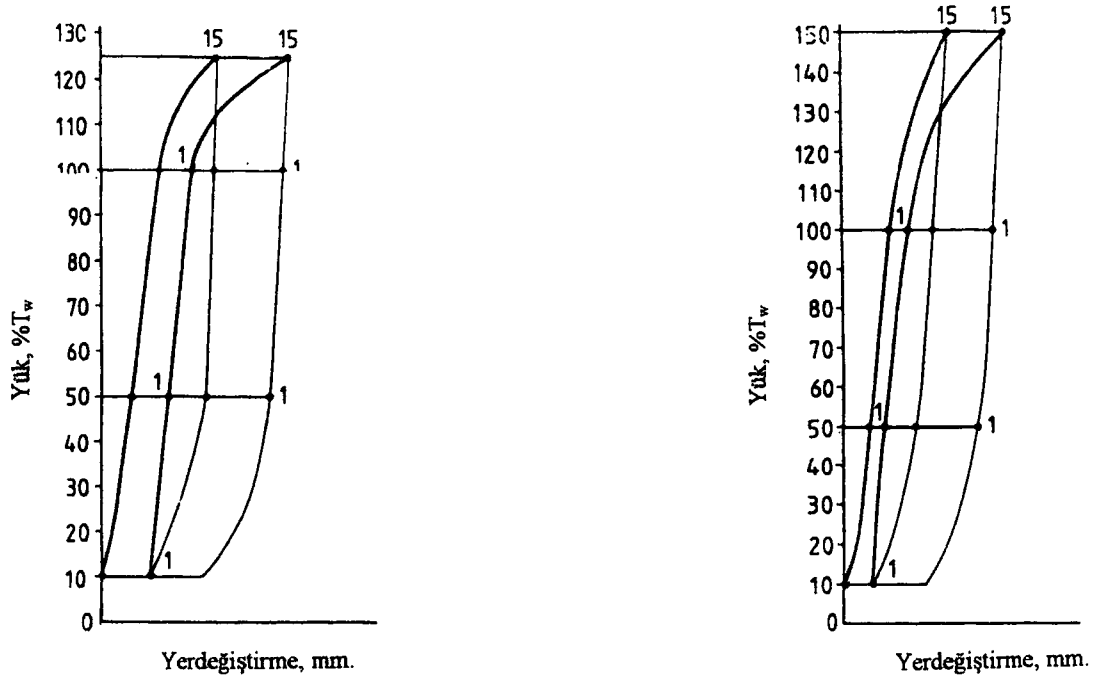
Geçici ankrajlar		Kalıcı ankrajlar		Minimum gözlem süresi
Yük artışı (% T _w)		Yük artışı (% T _w)		
1. yük çevrimi*	2. yük çevrimi	1. yük çevrimi*	2. yük çevrimi	
%	%	%	%	min.
10	10	10	10	1
50	50	50	50	1
100	100	100	100	1
125	125	150	150	15
100	100	100	100	1
50	50	50	50	1
10	10	10	10	1

* Bu yük kademelerinde uzama değerlerini belirlemek için gerekli olan süreden daha fazla beklenmeyecektir.

İlk çevrimdeki yükleme kademelerinde uzama değerini almak için gerekli olan süre kadar beklenmelidir.

İkinci yük çevrimindeki her yük kademesinde en az 1 dakika beklenicek ve her bekleme süresinin (gözlem aralığının) hem başında hem de sonunda uzamalar kayıt edilecektir. Kanıt yükleri için bu süre en az 15 dakika olmak üzere genişletilmiş ve her 5 dakikada bir ara okumalar alınması gerekliliği getirilmiştir.

İkinci yük çevriminin tamamlanmasından sonra, çalışma yükü olan T_w ' nun % 110' una bir defada yüklenerek kilitlenmelidir. Kitlemenin hemen ardından yük değeri hemen okunarak ilk kalıcı yükün belirlenmesi gerekir. Bu zaman, yük uzama-zaman davranışı gözlemi için sıfır anıdır (5.5.4.6 ve 5.5.4.7).



a) Geçici ankraj

b) Kalıcı ankraj

Şekil 5-22 Arazi kabul edilebilirlik deneyleri için önerilen yük artışları ve minimum gözlem süreçleri

5.5.4.4 Kanıt yükü-zaman verisi

Kanıt yükü-zaman verisi 5.5.3.4 ile uyum içinde olacaktır.

5.5.4.5 Kanıt yükünde uzama-zaman verisi

Kanıt yükünde uzama-zaman verisi 5.5.3.5 ile uyum içinde olacaktır.

5.5.4.6 Kalıcı yük-zaman verisi

% 0.5 gibi bağıl incelikli gözlem aygıtları ile kalıcı yük 5., 15. ve 50. dakikalarda gözlemlenebilir.

Eğer, imalatçının verileriyle uyumlu olarak sıcaklık, yapısal hareket ve tendonun gevşemesine izin verildikten sonra belirtilmiş olan gözlem süreleri için

zaman aralıkları başına yük kaybı oranı % 1' e düşerse, ankrajın bu madde ile uyumlu olduğu kabul edilebilir. Eğer, yük kaybı oranı % 1' i aşarsa, 10 gün boyunca ilave okumalar alınabilir (Çizelge 5-12) ve 10 gün sonunda, Çizelge 5-12' de verilen yük değerini taşımak için göçerse, ankrajın bu madde ile uyumlu olmadığı kabul edilir.

Çevre koşullarına da dayalı olarak göçme nedeninin araştırılmasından sonra, ankraj :

- a) İptal edilir ve sökülür; veya
- b) Kapasitesi düşürülür; veya
- c) İyileştirici germe programı uygulanır.

(EK.9)

1 gün sonra öngerme kazanımları kayıt edildiğinde, öngermenin % 10 T_w ' luk bir artış değerinde sabitlendiği gözleninceye kadar gözleme devam edilecektir. Öngerme kazanımının % 10 T_w değerini aşması durumunda nedenini belirlemek için dikkatli teşhis gereklidir ve yapı/zemin/ankraj sistemi üçlüsünün bütün olarak gözlemlenmesi doğru olacaktır. Örneğin, eğer tasarımdaki ankraj kapasitesinin yetersizliği veya bir eğimin göçmesi nedeniyle aşırı yüklenme ilerleyerek artarsa, bütün ankraj sistemini stabilize etmek için ilave destekler gerekir. Geçici ve kalıcı ankrajlardaki yüklerin sırasıyla % 120 T_w ve % 140 T_w gibi kanıt yükleri değerlerine yakın değerlere çıkması durumunda, ilave destekler uygulanıncaya kadar hareketlerin devam edeceği kabul edilerek, çalışma yüklerine kadar düşürüleceklerdir.

5.5.4.7 Kalıcı yükte uzama-zaman verisi

5.5.4.6 maddesine seçenek olarak, 5.5.4.6' da önerilen gözlem sürelerinde uzama-zaman verisi alınabilir. İlk kalıcı yükteki uzamanın gözlemlenmesi için tekrar germe veya sabit yük yöntemleri kullanılabilir (bkz. 5.5.2.7).

% 0.5 gibi incelikteki gözlem aygıtları kullanılarak, üreticinin verileri ile uygun olarak sıcaklık, yapısal hareket ve tendon gevşemesine izin verildikten sonra, 5. dak., 15. dak. ve 50. dak. gözlem sürelerindeki zaman aralıkları başına uzama oranı % 1 Δe veya daha aza düşerse, ankrajın bu madde ile uyum içinde olduğu kabul edilir.

10 gün sonunda, Çizelge 5-15' de verilen uzama değerini taşımak için göçerse, ankrajın bu madde ile uyumlu olmadığı kabul edilir ve daha sonra gelen işlemler 5.5.4.6 ile uyumlu olacaktır.

5.5.4.8 Mevcut tendon serbest boyu

Mevcut tendon serbest boyu 5.5.2.9' a uygun olarak hesaplanacaktır.

5.5.4.9 Ankrajların değerlendirilmesi

Ankrajın şu maddelerden bir tanesini sağlaması durumunda yeterli olduğu kabul edilir :

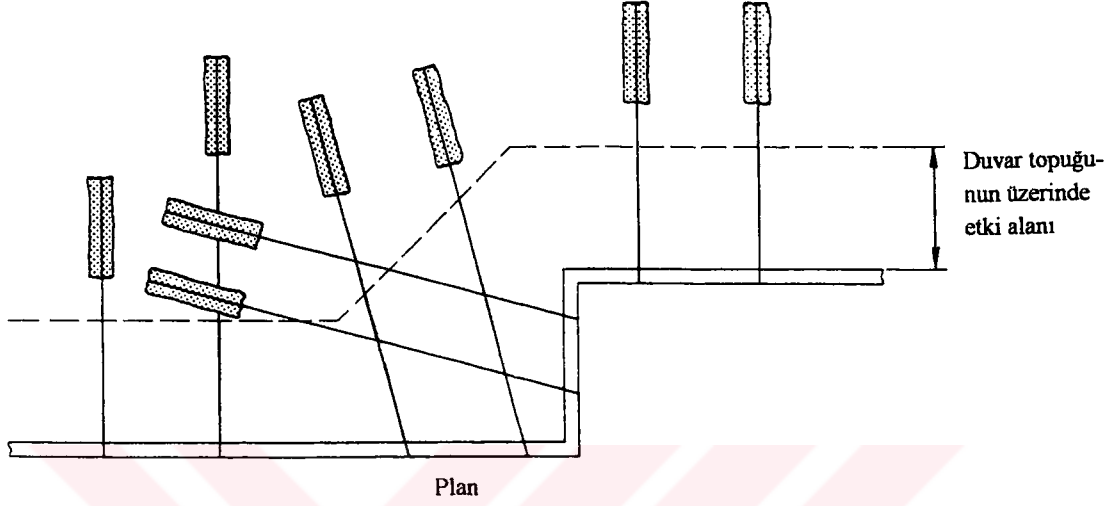
- a) 5.5.2.8, 5.5.2.12, 5.5.3.2, 5.5.3.4 ve 5.5.4.6; veya
- b) 5.5.2.8, 5.5.2.12, 5.5.3.2, 5.5.3.5 ve 5.5.4.7.

Kabul edilebilirlik deneyinin tamamlanmasından sonra, toplam gevşeme veya krip etkisi sırasıyla ilk kalıcı yükün % 5' ini veya $\Delta e'$ nin % 5' ini geçerse, ankraj tekrar gerilecek ve çalışma yükü olan T_w' nun % 110' una kilitlenecektir.

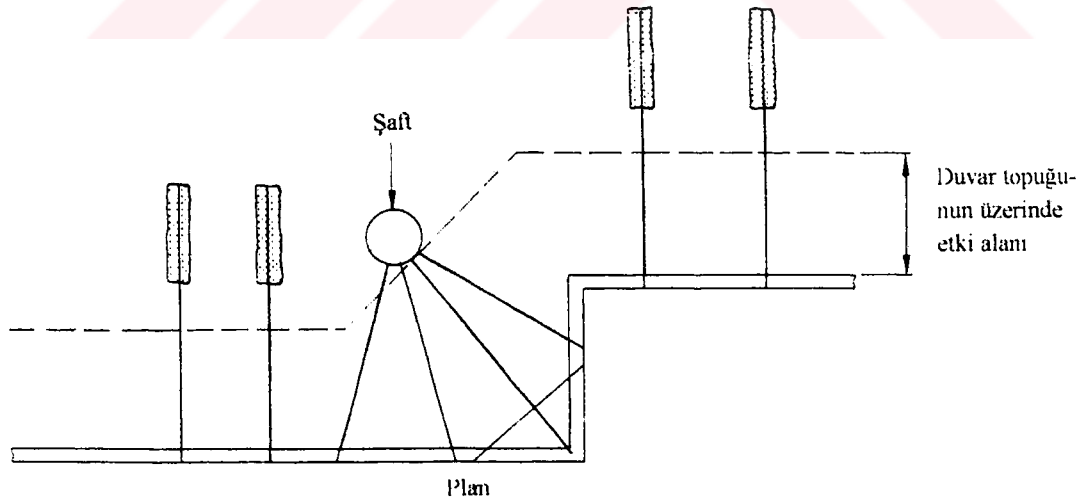
5.5.4.10 Ankrajların etkileşimi

Ankrajların köklerinin 1 m. den daha küçük aralıklarla yerleştirildiği, ankraj kafalarının tek bir duvara veya yapıya bağlandığı veya bir grup ankrajın bir

köşeye bağlandığı durumlarda (Şekil 5-23), germe işlemi sırasında ve ilerki aşamalarda ankrajlar birbirlerinden etkilenebilirler. Böyle bir durumda ayrık bir ankraja deney uygulanırken, kabul edilebilirlik deneyleri yapılmış olsa bile, tercihen bir gün boyunca yanındaki ankrajların da kontrol edilmesi doğru olacaktır (Littlejohn ve Macfarlane, 1975).



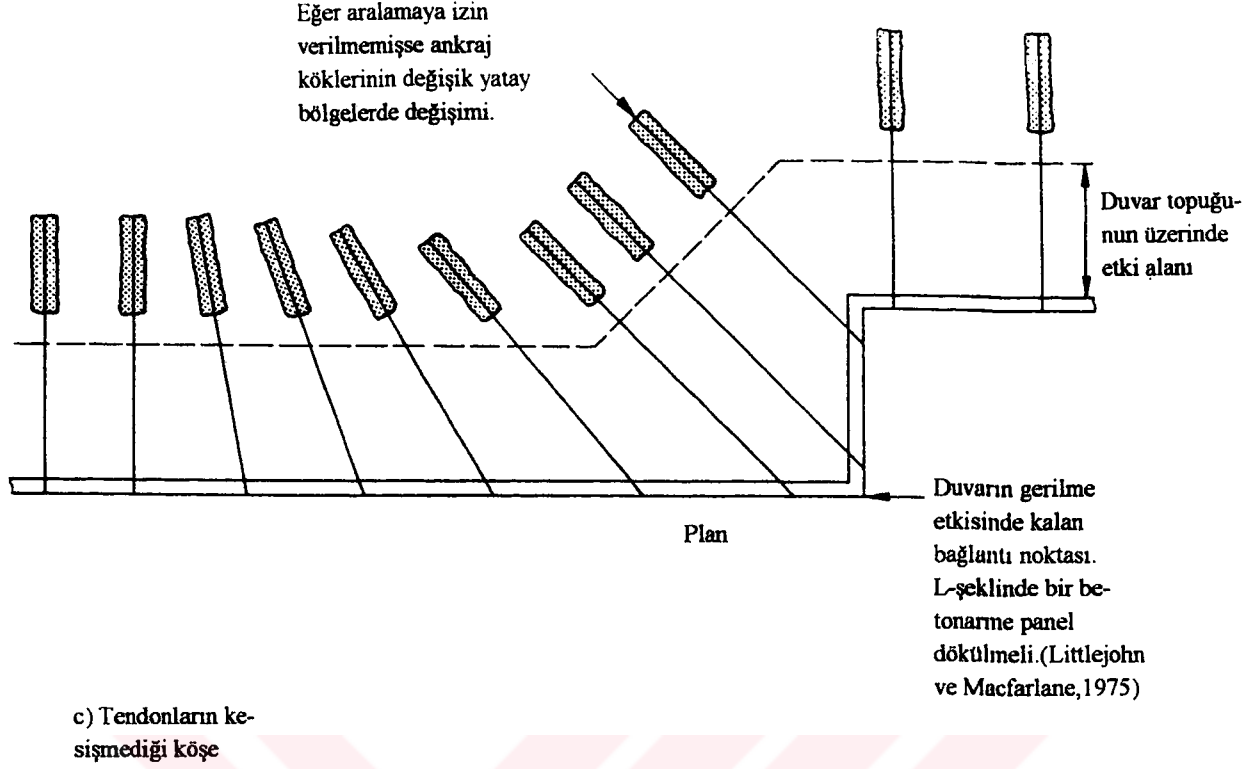
a) Sadece ankraj kullanımı



b) Şaft kullanımı

(Ostermayer' dan sonra, 1977)

Şekil 5-23 a) Sadece ankraj kullanılarak b) Şaft kullanılarak; köşelerde uygulanan ankrajlar.



Şekil 5-23 c) Kesişmeyen tendonlar kullanılarak; köşelerde uygulanan ankrajlar.

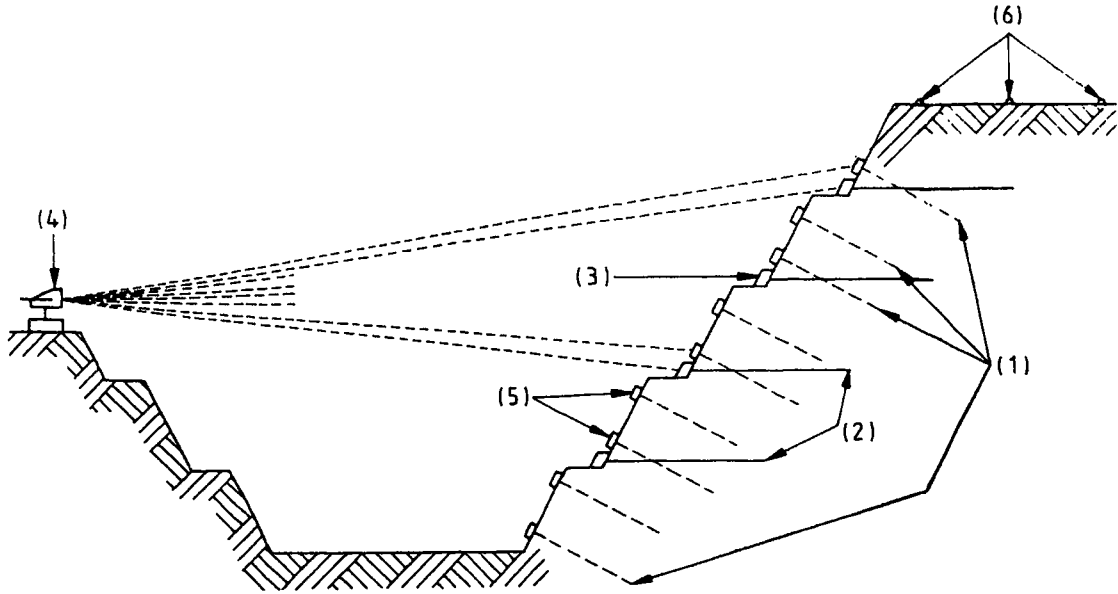
5.5.5 Ankrajların yapım sonrası davranışlarının gözlemlenmesi

5.5.5.1 Genel şartlar

Binalar, köprüler ve barajlar için olduğu gibi yapı/zemin/ankraj sistemi veya destekli kazıların gözlemlenmesinde de yarar vardır.

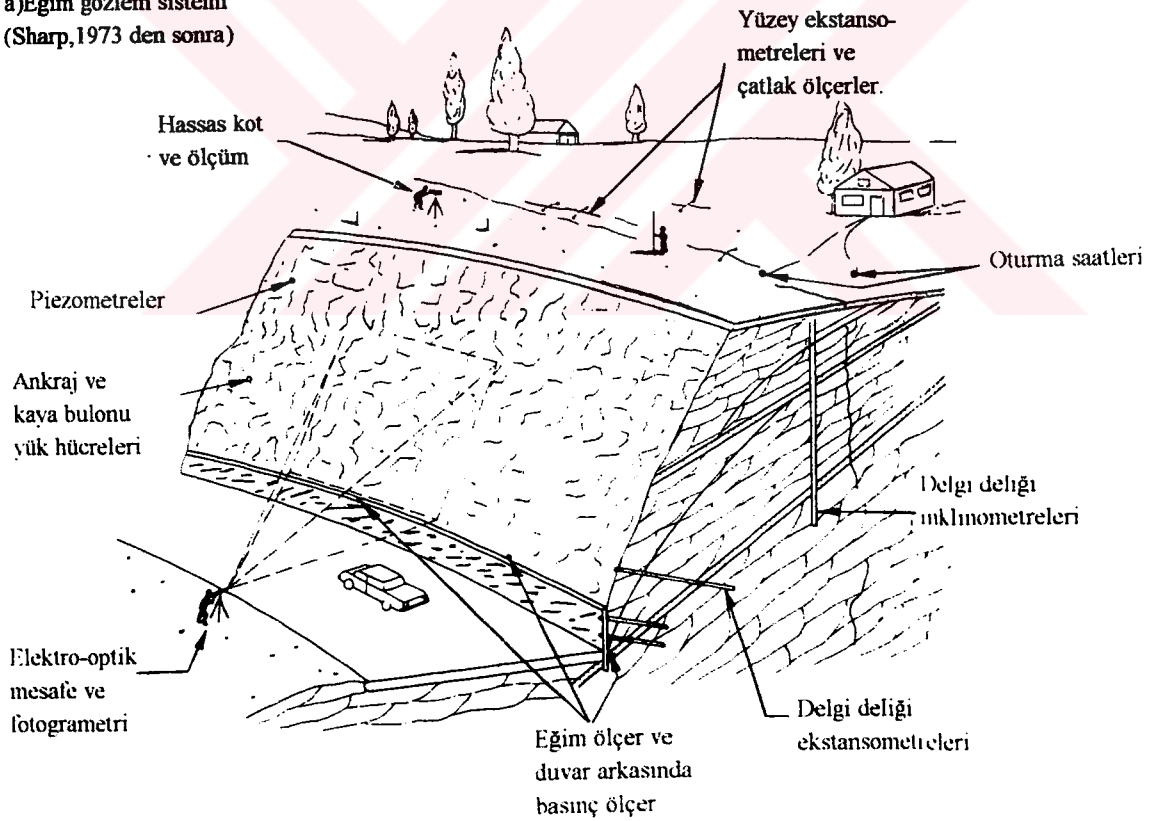
Ankrajların, yerleştirilmeden önce, planlama veya tasarım aşamasında, yerleştirildikten sonra gözlemlenip gözlemlenmeyecekleri kararlaştırılmalıdır.

Gözlemleme, belirli ankrajlar üzerinde yapılacak yük ölçümleri ile olabileceği gibi yapının veya kazının davranışının bir bütün halinde gözlemlenmesi şeklinde olabilir. İkinci yöntem, uygulanabilecek ve uygun koşullar için önerilen yöntemdir (Şekil 5-24).



- 1) Ankrajlar
- 2) Çok noktalı derin ekstansometre
- 3) Okuma kafası
- 4) Uzaktan gözlem noktası
- 5) Ankraj ve ekstansometre kafasının hedefi
- 6) Ölçme noktası tepeleri

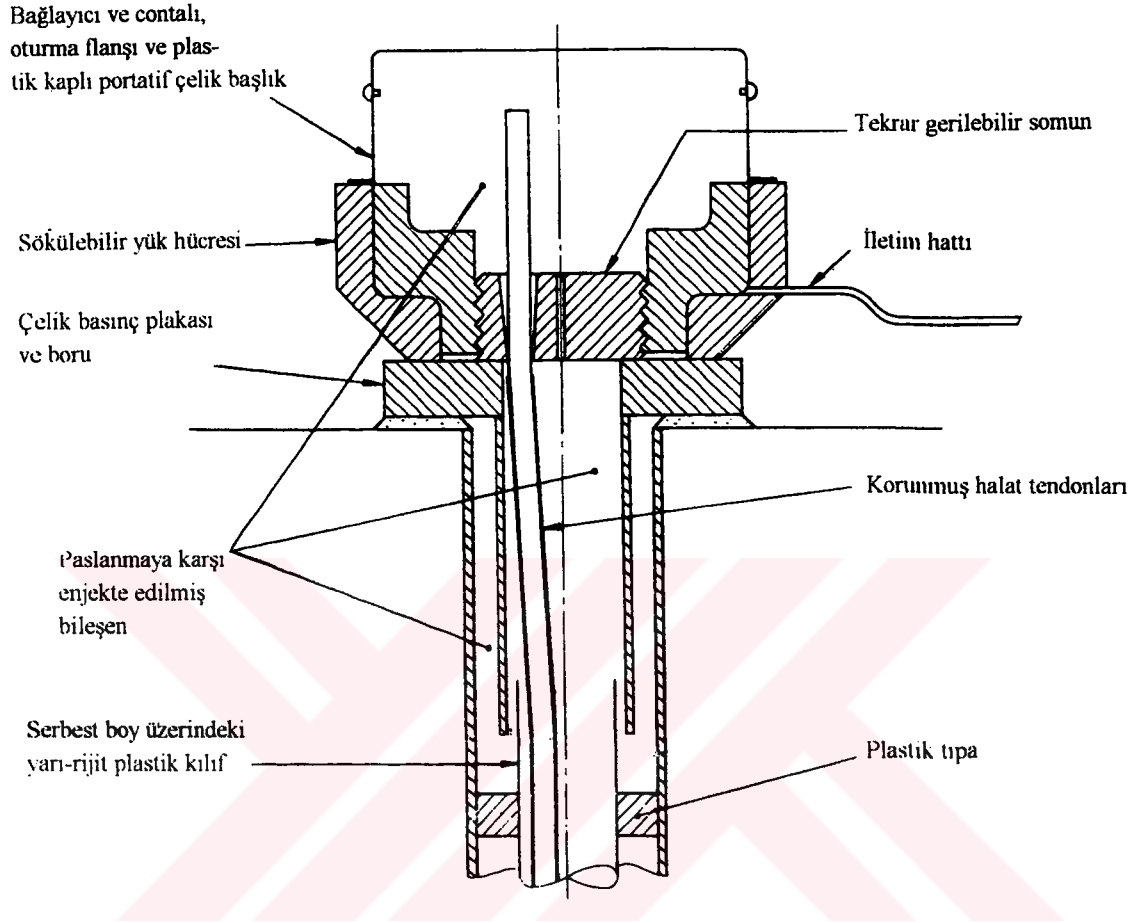
a) Eğim gözlem sistemi
(Sharp, 1973 den sonra)



b) Değişik kaya eğim ölçüm yöntemlerinin şematik gösterimi.

Şekil 5-24 Ankrajlı şevlerde tipik gözlemlleme sistemi

Ankraj öngörme yükünde dalgalanmaların olduğu durumlarda uzun süreli güvenilir sonuçlar verecek şekilde tasarlanmış yük hücrelerinin kullanımı önerilmektedir (Şekil 5-25).



Şekil 5-25 Halat tendonlar için tipik gözlemlenen ankraj kafası.

Gözlemlemenin, tendon kafasına kriko bağlayarak tendondaki yükün ölçümü şeklini aldığı durumda, paslanmaya karşı korumanın uygun yerlerinde zayıf bağların oluşması ile veya sistemin herhangi bir parçasında aşırı yüklenme oluşması ile ankrajın güvenliğini tehlikeye atamayacak gözlemlmeye veya kendini gözlemlemesine izin verecek bütün önlemlerin alınmasına özen gösterilmelidir.

İki aşamalı reçineli kaya bulonlarında olduğu gibi tüm boyun bağlandığı ankrajlarda, ankraj kafasında öngörmenin doğrudan gözlenmesi uygun

değildir ve seçilmiş ankrajın serbest boyunun serbest hale getirilip tendon içersinde öngerme değişikliklerinin duyarlı bir şekilde ölçülebilmesi için dikkat edilmelidir.

Herhangi bir ankrajdaki servis süresince izin verilebilecek maksimum öngerme kayıp veya kazanımları işlerin tasarımı gözönünde bulundurularak gösterilecektir. Çalışma yükünün % 10' una kadar olan değişimler genellikle normal kabul edilebilir. % 10' dan fazla oluşan kayıplar, yapısal hareket gibi, nedenleri bilinmedikçe, ankrajın veya yapının kısmen parçalarının göçtüğü anlamına gelebilecektir , nedenleri ve sonuçları araştırılmalıdır.

Geçici ve kalıcı ankrajlarda öngerme kazanımları sırasıyla çalışma yükü T_w ' nun % 20' sini ve % 40' ını geçmesi durumunda ek ankrajlar veya ankrajların kısmen gevşetilmesini gerektirecek iyileştirme yöntemleri önerilmektedir (bkz.5.5.4.6).

5.5.5.2 Gözlemlemenin gerekliliği

Gözlemlemenin gerekliliğine karar verirken şu etkenler gözönünde bulundurulacaktır :

- a) Yapının tabiatı ve bir veya daha fazla ankrajın hem servis sırasında hem de son halinde iyi çalışmamasının doğuracağı sonuçlar (EK.1);
- b) Zeminin yapısı (EK.2);
- c) Bir ankrajın görevini yerine getirmemesinin yapının güvenliğini tehlikeye düşürmeden önce gözlemlene yapmaksızın görülüp görülmemesi (EK.3).
- d) Ankraj tipini, paslanmaya karşı alınan önlemin kalitesini ve benzer ankraj sistemlerinin benzer koşullardaki uzun süreli davranışlarını içeren ankraj yapısı;
- e) Ömrü veya özelliği üzerine yapının göçmesinin sonucu.

Genelde, gözlemlene önemli yapılarda aşağıdaki durumlarda önerilmektedir :

- a) Hareketlerin gözden geçirilmesi veya yapıda ya da temellerinde gerilme seviyelerinin ölçülmesi gibi yapının davranışının bir bütün olarak gözlemlenerek ankraj davranışının güvenli olarak araştırılabildiği durumlarda;
- b) Ankrajın görevini yapamadığı, gözlemlenenin dışında, yapının servis dışı kalmadan anlaşılacağı ve görevini yapamayıp yapıya zarar verebileceği, hayata veya çevreye karşı tehlike oluşturacağı durumlarda;
- c) Zeminin yapısı ve/veya koruma sistemi nedeniyle, tendonlar delik duvarlarına bağlanamamış olabilirler, öyle ki herhangi bir noktada tendonun kırılması bütün boyu üzerinde etkisiz olmasına neden olabilir;
- d) Ayrıntılı laboratuvar deneyleri veya benzer koşullar altında arazi performans deneyleri ile yeterliliği kanıtlanmamış ankraj yapılarında;
- e) Krip etkisi altındaki zeminlerde bulunan ankrajların olduğu durumlarda,

5.5.5.3 Gözlemlenenin sürekliliği ve sıklığı

Amacı, korunmasız ankrajlar gibi ankrajlarda paslanma nedeniyle oluşan göçmenin önceden belirlenmesi olan gözlemlerde, 6 aylık aralardan fazla olmamak üzere 3 yıl boyunca, daha sonraki uzun süreli gözlemlerde 5 yıllık aralardan fazla olmamak üzere yapının bütün ömrü boyunca deneylere devam edilmelidir.

Amacı, zemin hareketlerinin önceden belirlenmesi olan gözlemlerde, yöntemler hareketin şeklini kayıt etmek ve belirlemek üzere tasarlanacak ve hareketler ihmal edilebilir oluncaya kadar devam edecektir. Genelde, deneyler ilk olarak 3 ay ile 6 ay arasında kısa aralıklarla, daha sonraki deneyler sonuçlara göre daha uzun aralıklar ile yapılacaktır. Bu ölçümlerin alımında, hava koşulları, gelgit seviyeleri, sürşarj yükü ve bölgesel kazılar gibi zemindeki gerilme durumlarını etkileyebilecek dış etkiler için yeterli toleranslar bırakılacaktır (Littlejohn ve Bruce 1979).

Bazı durumlarda, gözlemlene, yapının ilk zamanlarında zemin hareketlerini belirlemek, daha sonraki zamanlarında ise paslanmaya bağılı göçmenin araştırılması için gerekli olabilir. Bu gibi durumlarda, deneyler kısa aralıklarla başlayacak yapının ömrü boyunca 5 yıldan az aralıklara ulaşınca kadar deney sıklığı azaltılarak uygulanacaktır.

5.5.5.4 Gözlemlenenin kapsamı

Gözlem, bütün olarak yapı/zemin/ankraj sisteminin jeodezik ölçümlemleri, veya yapıdaki gerilme ölçümlemleri kapsadığı durumlarda program ankrajların rolünü diğer etkilerden ayırabilecektir. Böyle bir gözlemlene programının tasarımı detaylı bilgi gerektirir ve yapının tasarımcısı tarafından hazırlanmalıdır.

Amacı paslanmanın önceden belirlenmesi olan gözlemlenelerde, 100 ankrajdan az ankraj içeren projelerde, en az ankraj sayısının % 10' u veya 3 adet ankrajdan hangisi fazla ise o sayıda ankraj gözlemlenecektir. Daha büyük uygulamalarda 100' ün üzerindeki ankrajların % 5' i gözlemlenmelidir.

Amacı zemin hareketlerinin etkilerini belirlemekle sınırlandırılan gözlemlenelerde, zemin koşullarının üniform olduğunun bilindiğı, çalışan ankrajların % 5' i veya üç ankrajdan hangisi daha fazla ise o kadar ankrajın gözlemlenmesi mümkün olabilmektedir. Gözlemlene sayısı işin tasarımcısı ile belirlenmelidir.

Zemin altında kaya kuvvetlendirilmesi gibi özel konular için Franklin, (1979) tarafından yararlı gözlemler sunulmuştur (EK.4).

5.5.6 Eklemeler

5.5.6.1 Ek.1 Yapının sistemine dayalı gözlemleme

Ankrajlı sistemler, ankrajların yapılarına ve kapsamlarına göre değişkenlik gösterirler. Zaman zaman, ankrajın göçmesi ani ve gözle görülebilir çökmeye neden olabilir. 1000 yılda bir gerçekleşen sel veya fırtına gibi aşırı yükleri karşılanmasını sağlamış ankrajlar gibi ankrajların göçmeleri belirlenmeden kalabilir.

Ayrıca, yapılar, ankrajların göçmelerinin birbirlerine bağılılıkları ile de farklılık gösterir. Örneğin, masif bir temelde tek bir ankrajın göçmesi sadece güvenlik katsayısının düşmesine etki ederken tek ankraj ile bütün kazıklara bağlanmış bir dayanma yapısında ankrajın göçmesi ile, tasarım aşamasında yapıda önlem alınmamış ise, yapının yıkılması beklenir.

Yapıların göçmelerinin sonuçları genellikle yapının değerinden bağımsız olarak değişim gösterir. Örneğin, küçük bir baraj veya köprünün yıkılması, yapının kendi değerinden daha fazla zarara neden olacaktır.

Hangi gözlemleme olursa olsun, bu değişimleri, tek bir ankrajın göçmesinin çok büyük hasarlara neden olacağı yapılarda yüksek gözlemleme standartları ile dikkate alınmalıdır.

5.5.6.2 Ek.2 Arazi koşullarına dayalı gözlemleme

Ankrajların olası göçme biçimleri bulundukları koşullara göre değişim gösterir. Kohezyonlu zeminlerde ankrajların uzun süreli krip etkileri ile karşılaşma olasılığı yüksektir. Aradaki zeminin boyutları gerilme, su kaybı, kabarma, kayma veya aşırı yüklenmiş sürşarj yükü nedenleri ile değişiklik gösterir. Böylece ankraj üzerindeki yük tasarım yükü ile karşılaştırıldığında artış veya

azalış gösterebilir. Kohezyonsuz zeminlerde, uzun süreli krip hareketleri olasılığı daha azdır, ancak konsolidasyon, kayma, sürşarj, erime veya zemin suyu hareketine dayalı ani göçmelerin oluşması olasıdır.

Çatlaklı kaya ortamlarında, bir defa kanıt yükü taşındıktan sonra kayma göçmesine bağlı ankraj göçmesi düşük olasılıklı iken, yatak düzlemlerinde oluşan kaya hareketiyle tendon uzaması veya gevşemesi görülebilir. Zemin suyunun çatlaklardan sızıntısı ile oluşabilecek paslanma da olasıdır.

Donma ve çözülmenin etkili olduğu zeminlerde, boyutların ve dolayısıyla da gerilme değişimlerinin söz konusu olabildiği etkin zeminlerde ankrajların paslanmaya karşı korunması için özel önlemlerin alınması gerekebilir. Gözlemleme yöntemleri karşılaşılabilecek arazi şartları ile oluşabilecek olası göçme modlarını dikkate alacaktır.

5.5.6.3 Ek.3 Göçme biçimine bağlı gözlemleme

Ankrajın göçmesi, kırılma, öngermenin gevşemesi veya ara sıra tasarım şeklinin üzerinde aşırı gerilme olarak üç şekilde görülebilir. Herbirisinin yapı üzerindeki etkisinin araştırılması gerekir.

kafasına yakın olduğu konumlarda etkinlik kaybı ihmal edilebilir, ancak kırılmanın daha aşağılarda olması durumunda kalan öngerminin uygulama noktası değişir ve bunun da göze alınması gerekir. Barajlarda olduğu gibi, tamamen bağ oluşturmuş ankrajların çoklukla kullanıldığı durumlarda, sık sık oluşan kırılmaların öngerme üzerindeki zararlı etkileri kırılmaların rastgele noktalarda olması nedeniyle çok azdır. Bir barajdaki yapı birleşim noktası gibi tek bir noktada oluşması etkilerin önem kazanmasına neden olur.

Gerilmenin gevşemesi, tendondaki bazı tellerin kopması, kökün hareket etmesi veya gerilme veya nem değişimi nedeniyle kök ile ankraj kafası arasındaki zeminin sıkışması gibi çeşitli etkiler nedeniyle oluşabilir. Aşırı gerilme, dayanma yapısının ileri doğru hareket etmesi sonucu, temel altındaki zeminin kabarması, kaya yapısındaki hareket, sürşarj, kazılar veya zemin suyu değişimleri nedeniyle oluşabilir.

Gözlemlene yöntemleri, göçme biçimini ve nedenlerini belirlemek üzere tasarlanmalıdır.

5.5.6.4 Ek.4 şevlere bağlı gözlemlene

Zemin ortamlarda bulunan ankrajlı şevlerin bir bütün olarak davranışlarının gözlemlenmesi teknikleri ve aletleri Burnard et al. (1977) tarafından verilmiştir. Kaya kazıları veya şevleri için uygun ekipmanlar Franklin ve Denton (1973) ve Sharp et al. (1977) tarafından önerilmiştir (şekil 5-24).

5.5.6.5 Ek.5 Çökmeye bağlı gözlemlene

Uzun duvar kazıları nedeniyle çökme oluşmuş alanlarda, bütün ankraj sisteminin hareketinin yükleri ile beraber olarak gözlemlenmesi önerilmektedir. Servis sırasında büyük hareketlerin oluşacağının önceden tahmin edildiği durumlarda tekrar gerilebilen ve enjeksiyonlanan ankrajlar düşünölmelidir.

Kaya ankrajlarının yanal yerdeğiştirme karakteristikleri için, Fines et al. (1977) yerdeğiştirmeden dolayı tendonun dolaşmasının yarıçapının 38 mm. den düşük olmadığını kabul ederek, ankraj çalışma yükünün düşürölme gereğinin olmadığını belirtmiştir.

5.5.6.6 Ek.6 Deney verilerinin değerlendirilmesi

Gözlemlene yöntemleri ve gözlem verilerinin değerlendirilmesi konusunda genel öncölük Littlejohn ve Bruce (1977) ve Martak (1979) tarafından yapılmıştır.

Ankrajdan önce germe yükü değerini etkileyebilecek çeşitli etkenler aşağıda sıralanmaktadır :

- a) Aynı yük ölçme aletinde, aynı yük veya basınç için arka arkaya belirtilerdeki değişim;
- b) Aletin saatindeki ölçüm kademelerinin okunmasından kaynaklanan hatalar;
- c) Ankrajın ve pistonun içsel sürtünmesindeki değişimler;

Gözlemlenen tendon uzamalarının şiddetini etkileyen çeşitli etkenler :

- 1) Tendonun serbest boyunda bırakılan toleranslar;
- 2) Tendon özellikleri için olan toleranslar;
- 3) Uzama ölçümlerindeki hatalar ve toleranslar, sıfır ve son uzama ölçümü doğruluğu (± 1 mm. olabilir).
- 4) Tendonun görölün kesit alanı ve elastisite modölündeki değişiklikler;
- 5) Uzama hesaplarının yapıldığı basitleştirilmiş germe modeli ile tendon boyu üzerindeki mevcut gerilme dağılımı arasındaki farklılıklar;
- 6) Tendon ile kılıf arasındaki sürtünme katsayılarındaki hesaplar ile kabul edilen veya deneyler ile belirlenen değerler arasındaki farklılıklar;

7) Eğer germe işlemi kademeli olarak birkaç günde yapılmış ise, tendonun hesapta kabul edilen ile mevcut gevşemesi arasındaki farklılıklar;

Germe işlemlerindeki doğruluğun uygulamadaki sınırı sayılan etkenler temel alınarak değerlendirilebilir.

Bu faktörler teorik olarak yaklaşık $\pm \% 12$ toplam hataya neden olur. Bu hataların hepsinin aynı anda oluşması olasılığı oldukça düşüktür.

Daha önce sözedilen değişken faktörler, eşit olasılıkla pozitif ve negatif değerler olarak birbirlerini belirgin bir değere kadar karşılarlar. Böyle olmasına karşın, germe işlemlerinin bütün kontrollerinin ve yapımlarının özenle gerçekleştirilmesine karşın hesaplanan ve ölçülen uzamalar arasında $\pm \% 17$ farklılıklar teorik olarak sistematik hatalar gözardı edildikten sonra oluşur. Bununla birlikte bu oranda hataların oluşması olasıdır. 5.5.2.12.' deki alışılmış kabul deneylerinde önerilen değişim oranı $\pm \% 10'$ dur.

5.5.6.7 Ek.7 Kanıt yükü etkenleri

Kalıcı ve geçici ankrajların ilk germe yükleri, karakteristik dayanımın sırasıyla $\% 50'$ si ve $\% 62.5'$ inin çalışma yükü olarak önerildiği Uygulama Önerileri' ndeki (Code of Practice) olarak kabul edilen, çalışma yüklerinin sırasıyla $\% 150'$ si ve $\% 125'$ i ile sınırlandırılmıştır. Bu, kalıcı ankrajlarda, karakteristik dayanımın $\% 150 \times \% 50 = \% 75'$ i ve geçici ankrajlarda ise karakteristik dayanımın $\% 125 \times \% 62.5 = \% 78'$ i maksimum gerilme değeri olmaktadır.

Yüksek kapasiteli ankrajların (10 MN - 15MN) kullanıldığı gibi bazı koşullarda, özellikle dayanma yapısı kanıt yükünü karşılayamayacak ise böyle yüksek kanıt yüklerinin istenmesinin nedensiz olduğu düşünülebilir. Kanıt yükü faktörleri için tutarlı yaklaşımlar sürdürülürken sonuçtaki kanıt yükleri dış

etkenler nedeniyle oluşacak olası artışların çok üzerinde olabilir. Böyle durumlarda, yapı/zemin/ankraj sisteminin tümünü tasarlayan, düşürülmüş bir kanıt yükü faktörüne izin verebilir.

İngiliz Şartnamesi' ne göre (BS 4447), ankraj kafaları, germe kafalarındaki gripler, tendon dayanımını % 8' den fazla gerilme azalmasına neden olmaya-
rak, en az gerilmenin % 92' sini bırakacak şekilde olmalıdır. Sonuç olarak, karakteristik dayanıma bağlı olan 0.9 güvenlik faktörü griplerde $2 \times 0.92 = 1.84$ ve karakteristik dayanımın altına düşen tellerde de daha düşük emniyet katsayısı sağlayacaktır. 1.6 güvenlik faktörlü geçici ankrajlar için grip emniyet katsayısı 1.47' ye düşer.

% 0.1 lik uzamaya karşılık gelen kanıt yükü genellikle halat, tel veya çubukların nihai karakteristik dayanımlarının % 83' nden fazla değildir. Böylece, 5.5.2.4' de verilen deney yüklerinin, % 0.1 kanıt yükünün % 95' ine sınırlandırılması, göçmenin griplerde ani olarak oluşması yerine tendon boyu üzerinde herhangi bir şekilde oluşmasını sağlar.

5.5.6.8 Ek.8 Ankrajların uzun süreli davranışları için kabul kriteri

İşlemsel nedenler kadar ekonomik nedenlerle, yapım sırasında ankrajların gerilmesi ve deneylerin uygulanması için gerekli olan zamanın en aza indirilmesi gerekir. Kabul edilebilirlik kriterleri açısından, önemli etkenler aşağıdaki gibidir :

- a) Uygun uzun süreli davranışını sağlamak üzere yapılan gözlemler için gerekli olan kısa süreli zaman sınırı,
- b) Yük, yerdeğiştirme gibi zaman ile ölçülmesi gereken parametreler.

Özellikle kohezyonlu zeminlerde, arazi deneyimlerine dayalı yumuşama gibi yapım nedeniyle örselenmeden en az etkilenecek şekilde konsolidasyonun

gerektirdiği kadar kohezyonlu zeminlerde uzunca bir sürenin gerekliliği söylenir. Ayrıca, zaman süresi kısaldıkça ölçme inceliğinde artış gerekmektedir. Bu nedenlerle, arazi uygunluk ve kanıt deneyleri için 10 gün boyunca yapılacak gözlemler saatler boyunca fazla aralıklı deney süreleri ile birleştirilmelidir.

Kanıt veya arazi uygunluk deneylerinin bir parçası olarak bütün ankrajların servis gözlemlerinin gözlem süreleri uzun süreli servis davranışları için tahmin edilen kapasitelerini sağlamak üzere yeterince uzun olacaktır. Bunun tersine, kabul deneyinde eşdeğer gözlemlene için ilerleyen stabilizasyonun ve kısa sürede kanıt ve arazi uygunluk deneyleri ile belirlenen modele benzer modelin belirlenmesi gereklidir.

Yük dalgalanmaları ve yerdeğiştirmelerin her ikisi de önemlidir, ancak, ankrajlar gerçek ve çalışma yüklerinde, belirtilen yük güvenlik faktörleri ile yapısal işler için tasarlanmaya başladığından beri, yük gözlemlenmek için seçilen ana parametredir. Öyle ki, işveren veya mühendis yükün düşmesi veya artması durumunda endişelenir. Ayrıca, bağıl olarak yükün gözlemlenmesi oldukça basittir ve yük, kök bölgesinin hareketine karşı duyarlıdır, böylece her iki parametre de ölçülmüş olup, krip etkisi de dolaylı olarak belirlenmiş olur.

10 m. serbest boy, 1000 N/mm^2 çalışma gerilmesi ve $200\,000 \text{ N/mm}^2$ elastisite modülü olan tipik tendonda, 3 mm. lik uzama değişimi % 6' lık yük değişimine karşılık gelmektedir. Arazi deneyimi ve Çizelge 5-12 ve 5-13' de önerilen zaman aralıkları esas alınarak bir günde % 6'lık bir yük kaybı Çizelge 5-12' de verilmiştir.

Zaman aralıklarında 5 dakikaya eşit Δt esas alınmıştır ve Δt , $3\Delta t$, $10\Delta t$, $30\Delta t$, $100\Delta t$, vs. şeklinde devam eder. Bu aralıklar 50 dakikalık kabul deneyine izin verebilir ve her bir aralık için stabilizasyonu sağlayacak tek bir yük

kayıp oranı veya yerdeğiştirme kriteri belirlenebilir. Böyle bir durumda, okumalar zamanın logaritmasına karşı çizildiğinde doğrusal bir çizgi elde edilir. Kabul edilebilirlik kriterine ilişkin olarak servis davranışının incelikli bir şekilde değerlendirilmesine izin verecek kadar yeterli veri sağlandığı sürece deneyin süresi ve önerilen ara zaman aralıkları arazi deneyimleri ve sadeliğine göre belirlenmelidir. Önerilen farklı gözlemlene süreleri gözden kaçırılmamalıdır.

Çizelge 5-16 çalışılmış örneklerle, yük-zaman ve yerdeğiştirme-zaman için kabul kriterleri arasındaki ilişki ve 5 dak., 15 dak., 50 dak. ve 1500 dak. lık gözlem süreleri için onların ilk kalıcı yük (100 kN ve 1000 kN) ve serbest tendon boyuna (5 m., 10 m. ve 20 m.) kendi duyarlılıkları gösterilmiştir.

Çizelge 5-16 Yük-Zaman ve Yerdeğiştirme-Zaman kabul kriterleri arasındaki ilişki.

Gözlem süresi	Tendon serbest boyu	Yük kaybının sınır değeri		Krip uzamasının sınır değeri	
		Tek halat	On halat	Tek halat	On halat
min.	m.	kN.	kN.	mm.	mm.
5	5	1	10	0,25	0,25
	10	1	10	0,5	0,5
	20	1	10	1	1
15	5	2	20	0,5	0,5
	10	2	20	1	1
	20	2	20	2	2
50	5	3	30	0,75	0,75
	10	3	30	1,5	1,5
	20	3	30	3	3
1500 (yaklaşık 1 gün)	5	6	60	1,5	1,5
	10	6	60	3	3
	20	6	60	6	6

Örnekteki tendon şu özelliklere sahiptir :

a) Tek halatın sözde kesit alanı = 100 mm²;

- b) Elastisite modülü = 200 kN/mm^2 ;
- c) İlk kalıcı yük (1 halat) = 100 kN ;
- d) İlk kalıcı yük (10 halat) = 1000 kN .

Belirlenmiş olan serbest tendon boylarının geneli için kabul kriterlerinden her ikisi de bağımsızca kullanılabilir. Uzun serbest tendon boyları ($> 5 \text{ m.}$) için yerdeğiştirme oranı sınırlama için ve dolayısıyla kabul kriteri olarak en belirgin ve en önemli parametre iken kısa serbest tendon boyları ($< 5 \text{ m.}$) için öngerme yük kayıp oranı en önemli kriterdir.

5.5.6.9 Ek.9 Göçen ankrajlara ilişkin yeni işlemler

Zemin/enjeksiyon yüzeyinde göçme oluşan ankrajlarda, ilk olarak yeni bir yük, göçme seviyesindeki yükün geçici ve kalıcı ankraj uygulamaları için sırasıyla 1.6 veya 2.0 sayılarına bölünmesiyle elde edilir.

Ankrajda, kanıt yüklemesini geçtikten sonra öngerme yük kaybı veya krip kriterine göre göçme sonucuna varıldığında, bu şartname yazıldığında arazi verileri olmadan deneme olarak 1.2 düşürme katsayısı ve 5.5.4.6. veya 5.5.4.7.' ye uygun olarak servis gözlemlerinin düşürülmüş olan yeni yük değerinde de yapılması geçici olarak önerilmektedir.

Yeni germe programının uygun olduğu düşünüldüğü durumda, $\% 110 T_w$ ilk kalıcı yük değeri germe ile elde edilir ve servis gözlemlemesi tekrarlanır. Bu yöntem, ön gerilme tarihçesi bir önyüklemme etkisi göstererek (Littlejohn 1970) dolayısıyla kök çevresi zeminin konsolide olması ve böylece de daha sonraki uygulamalarda fazla kapasite veren, katı/sert killerde başarı ile uygulanmıştır.

5.5.6.10 Ek.10 Kabul edilebilir krip etkisi için sınır yük değeri

DIN 4125, kanıt deneyi boyunca en düşük veya kabul edilebilir krip etkisi için T_k sınır yükünü belirlemek amacıyla bir yöntem tanımlamaktadır. Bu yükün belirlenmesi İngiltere' deki deneyimler için zorunlu değildir, ancak bu yükün hesaplanmasının zorunlu olduğu deniz aşırı ülkelerde yapılacak olan uygulamalarda mühendislere rehber olması amacıyla aşağıda tanımlanmıştır.

Germe yükü Çizelge 5-17' de belirtilen kademelerde T_0 ' dan başlayarak uygulanır. Yük, her kademeye geldikten sonra elastik ve kalıcı uzamaları belirlemek üzere T_0 değerine kadar düşürülür.

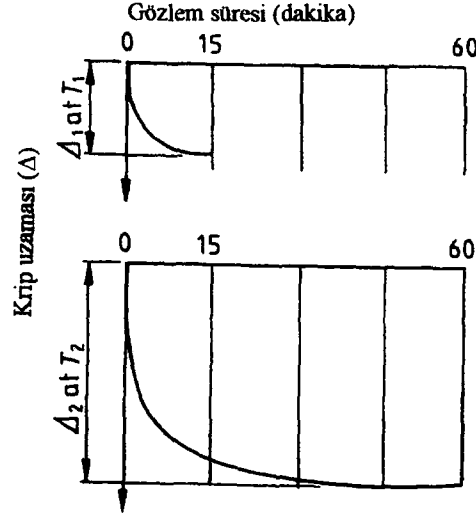
En düşük veya kabul edilebilir krip etkisi için sınır yükü T_k ' nın belirlenmesi için her yük boşaltılmadan önce sabit yük altında uzama değerlerinin 1, 3, 5, 10 ve 30 dakika sonunda alınarak Şekil 5-26' daki gibi çizilmesi gerekmektedir. Gerekli olan en kısa gözlem süreleri Çizelge 5-17' de verilmiştir, ancak bu gözlem süreleri gerekli olması durumunda değişim eğilimleri netleşinceye ve ankrajın uzamasına bağlı " K_A " krip belirleninceye kadar uzatılabilir. Ayrıca, kalın daneli zeminlerde krip etkisinin 1 mm. den fazla olması durumunda ince daneli zeminler için önerilen en kısa gözlem sürelerinden en uzun olanının kullanılması önerilmektedir.

Çizelge 5-17 Ana ve yapım arazi uygunluk deneyleri için yük kademeleri ve gözlem süreleri (DIN 4125 : 1976' dan sonra)

Yükleme durumu		Minimum gözlem süresi	
Temel deney*	Uygunluk deneyi+	Kalın daneli zeminler	İnce daneli zeminler
$T_0 > x0,1T_y$	$T_0 > x0,2T_w$		
0,30 T_y	0,40 T_w	15 min.	30 min.
0,45 T_y	0,80 T_w	15 min.	30 min.
0,60 T_y	1,00 T_w	1 h.	2 h.
0,75 T_y	1,20 T_w	1 h.	3 h.
0,90 T_y	1,50 T_w	2 h.	24 h.

* T_y % 81 - % 83 f_{pu} değerine eşit tendonun akma dayanımı.

+ Deney sırasında çalışma yükü veya üst sınır yükü belirsiz ise, küçük yük kademelerinin seçilmesi önerilmektedir.



Şekil 5-26 Farklı yükler için tipik krip uzama kayıtları (DIN 4125 : 1976' dan sonra)

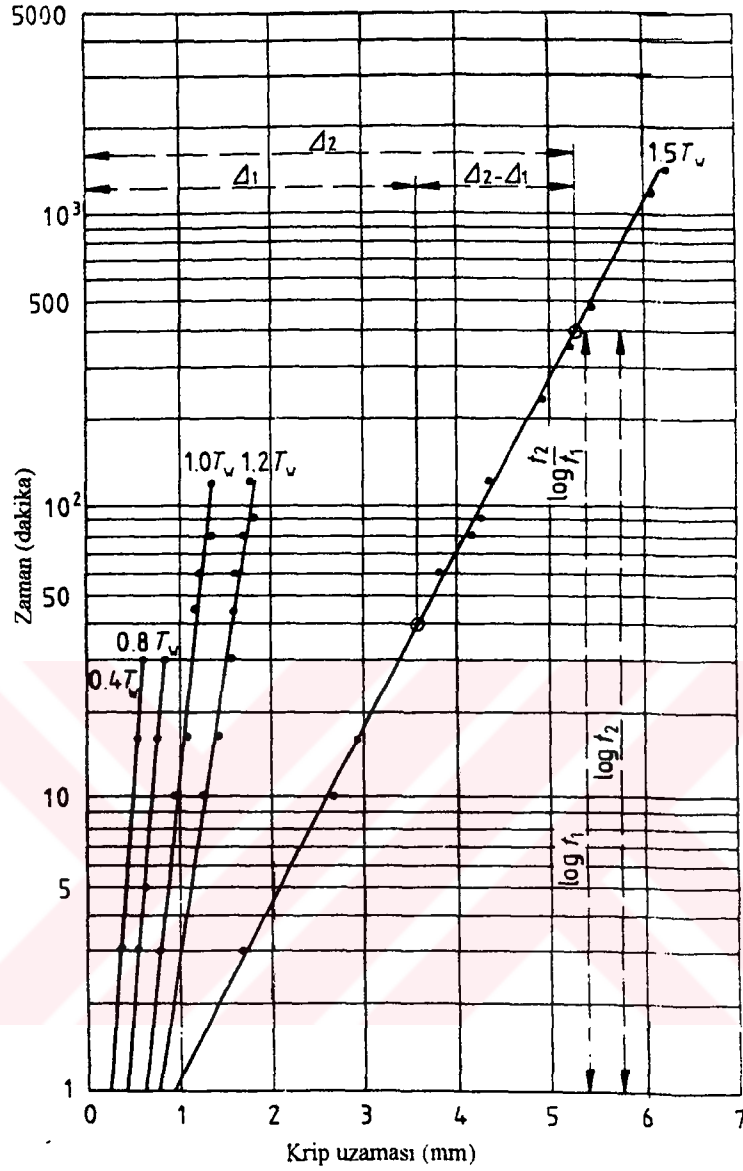
Şekil 5-27' e göre K_{Δ} krip etkisi şu şekilde hesaplanır :

$$K_{\Delta} = \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{\log(t_2 / t_1)} \quad (5-17)$$

K_{Δ} değerleri yüklemenin değişik kademelerinde belirlenmiş ve Şekil 5-28' de görüldüğü gibi kayıt edilmiştir ve tanımına göre T_k sınır yükü 2 mm. lik K_{Δ} krip değerine karşılık gelmektedir.

Kanıt ve arazi uygunluk deneylerinin her ikisi için de izin verilebilir maksimum yük değeri aşağıdaki değerlerden en küçük olanıdır :

- a) $T_y / 1.75$ (T_y = tendonun kesin akma dayanımı);
- b) $T_f / 1.75$ (T_f = bağlanmış kökün göçmesi);
- c) $T_k / 1.50$ (T_k = denklem 5-17' ye göre, 2 mm. den büyük olmayan krip değeri için sınır yükü)



Şekil 5-27 K_{Δ} Krip hareketinin belirlenme yöntemi (DIN 4125 : 1976 dan sonra)

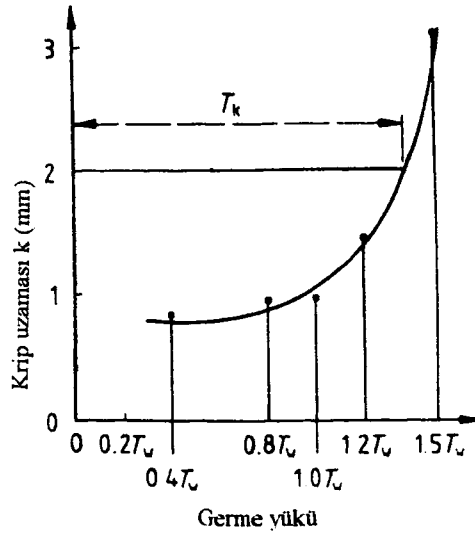
5.5.6.11 Ek.11 Servis sırasında çevrimli yükleme uygulanan zemin ankrajlarında kökün kalıcı yer değiştirmesi

Elastik uzama için kabul edilebilir sınırlar 5.5.2.7.' de verilmişti, ancak (kil, kum veya kaya gibi) zemin koşulları kadar ankraj çeşidine de bağlı olan kalıcı yerdeğiştirmeler için de elastik uzamalara benzer sınırların verilmesi

olanağı yoktur. Bununla birlikte ankraj kanıtlama deneyleri uygulandıktan sonra çalışan ankrajlar ikinci veya daha sonraki çalışma yüküne kadar ki çevrimler sonucunda daha fazla yerdeğiştirmeler meydana gelmeyecek şekilde tasarlan-malıdır.

Eğer Şekil 5-17' ye bakılırsa, kanıt deneyi için ankrajdaki artan yük artışları her yük çevrimi için % 80 f_{pu} sınır değerine kadar kalıcı yerdeğiştirmeleri ortaya koymaktadır. Şekil 5-21 ve 5-22' e bakıldığında, arazi uygunluk ve arazi kabul edilebilirlik deneyleri için yük çevrimleri % 150 T_w değerine kadar her çevrim için kalıcı yerdeğiştirme gösterecektir.

Şekil 5-21 ve 5-22' nin incelenmesi, ikinci (veya daha sonraki) yük çevrimleri için yük boşaltma eğrisinin alt kısmı ve bir sonraki yükleme eğrisinin üst kısmının kesişiminin çalışma yükü ile kanıt yükü arasında bir yerde oluştuğunu göstermiştir. Daha sonraki kalıcı yerdeğiştirmeler bu noktaya ulaşıldıktan sonra oluşacaktır. Böylece, çalışma yükü değerine kadar yapılacak olan çevrimli yüklemenin daha sonra oluşabilecek kalıcı yerdeğiştirmeleri oluşturmayacağını göstermektedir. Eğer bunun gibi yerdeğiştirmeler oluşursa, ankrajların çevrimli yüklemenin olacağı servis koşulları için yeterince projelendirilmemiş demektir.



Şekil 5-28 T_k Sınır kuvvetinin belirlenmesi yöntemi.

5.5.6.12 Ek.12 Deney yöntemleri

Bu şartnamenin kolayca kullanılması için kanıt deneyini, arazi uygunluk deneyini ve arazi kabul edilebilirlik deneyini kapsayan akış diyagramları hazırlanmıştır.



6. PRATİKTE KULLANILAN VE YABANCI ŞARTNAMELERE GÖRE UYGULANAN YÖNTEMLERLE ALINAN ŞANTIYE VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

6.1 Giriş

Ankrajlı yapılarda kullanılan ankraj sisteminin davranışlarını ve etkilerini belirlemek üzere yapılması zorunlu olan deneyler, ne şekilde yapılmaları gerektiği ve bu deneylerden elde edilen verilerin değerlendirilmeleri 5. Bölümde anlatılmıştır. Her ülke, hazırlamış olduğu şartnamelerde ankrajlı sistemlerde kullanılacak olan elemanlar ve malzemeler üzerinde yapılması gereken deneylerin yanında ankrajlı sistemin tasarım esaslarını, yapım aşaması ve sonrası deney ve gözlem yöntemlerini ele alırken, şartnameler birbirleri ile ana konularda aynı, detaylarda farklılıklar göstermektedir. Ülkemizde yapılan uygulamalarda, kullanımda olan bir şartname bulunmadığı için uygulayıcılar kendi benimsedikleri yabancı şartnameleri temel alarak tasarım yaparken deney yöntemleri konusunda çok duyarlı davranmamaktadırlar. Her şartname kendi mantık çerçevesinde konuyu ele alırken, ülkemizdeki uygulamalarda, deney yönteminin yabancı bir ülke şartnamesinden alınması veya kendileri tarafından üretilen deney yöntemlerinin kullanılması çoğu zaman ancak ankraj sisteminin göçmeye ulaşp ulaşmadığını göstermekten öteye gidememektedir.

5. Bölüm' de ele alınan yabancı şartnamelerdeki deney yöntemleri dikkate alındığında, ankrajlı yapıların ve ankraj sisteminin davranışlarının tasarıma uygun olup olmadığı konusunda dahi bilgi edinilmesi ülkemizde kullanılan deney yöntemleri ile oldukça zordur. Ülkemizde kullanılan deney yöntemleri, yabancı şartnamelerde tanımlanan deney yöntemlerine temelde benzer olabilirken o şartnameler kadar ayrıntılı ele alınmamakta ve dolayısıyla onların kriterleri ile karşılaştırması çoğu zaman bilimselliği yansıtmamaktadır. Hazırlanmış olan deney şartnamesinin arazide uygulanması ise kimi zaman şartnamede tariflendiği gibi yapılmamaktadır.

6.2 Pratikte Arazide Kullanılan Ölçüm Sistemleri ve Deney Yöntemleri

6.2.1 Amaç

Ülkemizde yapılan ankraj uygulamalarındaki bazı yapım aşamaları yabancı şartname ve uygulamalarda belirlenen yöntemlerden farklılıklar gösterebilmektedir. Bunlardan, deneyler ile ilgili olanlar bu bölümde ele alınacaktır.

Bilindiği üzere, ankraj sistemlerinin görevi, desteklenmesi istenilen şeye gelen yüklerin, ortamın analizi ile teorik olarak belirlenen göçme yüzeyinin arkasındaki güvenli ortama iletilmesini sağlamaktır. Bu yüklerin iletilmesi için ankraj sisteminin iki önemli boyu olan "ankraj serbest boyu" ve "ankraj kök boyu" kullanılır. Ankraj serbest boyu, uygulanan öngerme yükü ile, tendonun elastik ve plastik uzamasına izin vererek teorik olarak belirlenen göçme yüzeyinin arkasındaki kök boyuna kadar yükün iletimini sağlar. Ankraj sistemine uygulanan yük, uzamasına izin verilen tendon boyu, tendonun kesit alanı ve tendonun elastisite modülü bilindiğine göre ankrajın göstermesi gereken uzama miktarı hesaplanabilir. Ankraj sisteminin gerilmesi ile elde edilen uzama değerleri, teorik olarak hesaplanan maksimum ve minimum uzama değerleri ile karşılaştırılarak amaçlanan serbest boyun ve kök boyunun doğru olarak oluşturulup oluşturulmadığı kontrol edilmeye çalışılır. Ayrıca ankrajın uygulanan yükü sağlam ortama iletmesi de gözlemlenir. Eğer bir ankraj sistemine öngerme uygulanırken, kriko manometresinde veya yük hücresinde yük artışı gözlenmezken ankrajda uzama görülüyorsa sistemin yük iletmediği ve göçtüğü yorumu yapılır.

Ancak, bu yorumlar yapılırken göçmenin nedeni belirlenemez, çünkü göçme 3. Bölüm' de değinildiği gibi enjeksiyon-zemin veya enjeksiyon-tendon arasındaki yüzeyde oluşabilir. Bunlardan hangisinin göçmeye neden olduğu ise sadece alınan yük-uzama değerleri ile belirlenemez.

Ülkemizdeki ankraj uygulamalarında, genelde ankrajın yük uygulandığı anda yükü taşıyıp taşımadığına ve oluşan uzama değerlerinin istenilen sınırlar arasında gerçekleşip gerçekleşmediğine bakılırken, uzun vadedeki davranışı ve bu davranışına neden olan etkenler araştırılmamaktadır ve kullanılan gözlem yöntemlerinde bunları gösterecek veriler toplanmamaktadır.

6.2.2 Kullanılan ölçüm sistemi

Ankrajlı bir yapıda kullanılan ankraj sisteminin, tasarımına uygun olarak davranış gösterdiğini doğrulamak üzere sistemin hidrolik krik o ve bir piston ile yüklenmesi sırasında tendonun uzamasının belirlenmesi için yabancı şartnamelerde belirtilmiş olan esaslardaki sistemler ülkemizde kullanılmamaktadır. Hidrolik krik o ile verilen yükü ankraj tendonlarına ileten pistonda oluşan uzama değeri, tendonun gösterdiği uzama davranışı olarak ele alınmakta ve bu uzama da şantiye çalışanları tarafından mm. duyarlılığındaki "çelik şerit metre" ile ölçülmektedir. Kullanılan bu ölçme sistemi yabancı şartnamelerde belirtilen 0.01 mm. duyarlılığındaki ölçme sistemlerinin yanında çok kaba bir değerlendirmeye neden olmaktadır.

Kullanılan bu ölçme sisteminin olumsuz etkilerine 7. Bölüm' de ayrıntılı olarak değinilecektir.

6.2.3 Kullanılan arazi deney ve gözlem yöntemleri

Ülkemizde kullanılan deney yöntemleri, yabancı şartnamelerde belirtilen yöntemlerden çok farklı değildir. Ülkemizde hazırlanmış olan bir şartname olmadığı için kullanılan deney yöntemleri uygulayıcıdan uygulayıcıya değişmektedir. Dolayısıyla bu yöntemlerin çeşitlilikleri de uygulayıcılara ve projenin büyüklüğüne göre değişmektedir.

Kullanılan gözlem yöntemlerinden bir tanesi uygulayıcılar tarafından "Ankraj Deneyi" olarak adlandırılmaktadır. Ankraj deneyi olarak adlandırılan uygulamada, 6.2.2 de açıklanan ölçme sistemi ile, ankraj sisteminin, tasarımcı tarafından daha önceden belirlenmiş olan proje tasarım yükünün belirli % lerindeki uzama değerleri belirlenmektedir. Belirlenmiş olan yükleme adımları genelde :

0.10 P	0.25P	0.50p	0.75P	1.00P	1.25P
1.00P	0.75P	0.50P	0.25P	0.10P	

olarak seçilir. Bu yüzde değerleri uygulayıcılara göre değişiklik gösterebilmektedir. Pratikte kullanılan yöntemlerde, 1.25P deney yükü değeri ortama göre değişmemektedir. Oysa ki yabancı şartnameler deney yükü olan bu en üst yük değerini kohezyonlu ortamlarda 1.5P olarak belirtmektedir. Ülkemizdeki uygulamalarda 1.25P olarak kullanılan deney yükünde kimi uygulayıcı 15 dak., kimi uygulayıcı 60 dak. bekleme yapılarak uzama değişiminin belirlenmesi gerektiğini şantiyeye verilen "ankraj deney ve kabul şartnamesi" nde yazılı olarak vermektedir. Fakat bu bekleme sürelerinin uzun olması ve 6.2.2' de belirtilen ölçme sistemi ile herhangi bir hareket değişiminin ölçme işlemini yapan işçiler tarafından gözlemlenememesi nedeniyle genelde uygulanmamaktadır. Ankraj deneyleri kimi uygulayıcılar tarafından hiç kullanılmazken, kimi uygulayıcılar tarafından her 5 ankrajda bir, kimileri tarafından da bütün ankraj sistemlerinde uygulanmaktadır.

Ankraj sitemlerine uygulanan diğer işlem ise "Ankraj Germe İşlemi" olarak adlandırılmaktadır ve diğer uygulamalarda olduğu gibi uygulayıcılara göre değişiklikler göstermektedir. Bu işlem, ankraj sistemine, ankraj deneyinde belirtilen yük adımları ile kademeli olarak 1.25P yükü yüklendikten sonra 1.1P yüküne düşülüp yük kitlemesinin yapılması; yük kademeleri aynen uygulanıp 1.25P yüküne çıkılmadan 1.1P yüküne çıkılıp yük kilitlemesi yapılması veya yük kademeleri uygulanmadan ankrajın 1.1P yüküne bir seferde

yüklenip kilitlenmesi şeklinde değişik uygulamalar görülmektedir. Ankraj germe işleminde yük kitlemesinin 1.1P değerinde yapılmasının nedeni, bir çok etkenden dolayı meydana gelebilecek yük kayıplarının karşılanıp ediliş yükün, istenilen tasarım yükünün altında bir değere düşmeden uzun süre ankraj sisteminde korunmasını ve ankrajlı yapıya etkimesini sağlamayı amaçlamaktadır. Ancak ankraj sistemine uygulanacak olan kitleme yükünün, ankrajın uygulandığı ortama göre ve sisteme göre farklılıklar gösterebilmesi nedeniyle yabancı şartnamelerde bu kitleme yükü 5.4.6' da anlatıldığı gibi belirlenirken, ülkemizde bu kitleme yükü genelde 1.1P olarak alınmaktadır.

Ankraj sistemleri üzerinde uygulanan deneyler bunlardan oluşmakta olup, ankrajlı iksa sisteminin gözlemlenmesi üzerinde de çok duyarlılık gösterilmektedir. Oysa yabancı ülke şartnamelerinde, şehir içinde ve yerleşim birimlerine yakın alanlarda uygulanan ankrajlı yapıların en riskli yapılar olduğu belirtilmektedir. Bu nedenle gerek yukarıda açıklanan ankraj deneyleri, gerekse ankrajlı destek sisteminin gözlemlenmesi çok önemli ve detaylı çalışma gerektirmektedir.

Ülkemizdeki ankrajlı yapı uygulamalarında kullanılan en detaylı gözlemleme yöntemi, ankrajlı duvarların kritik görülen yerlerinde, kazının birinci kademesinde ve bazı uygulamalarda ara kademelerde de işaretlenen noktalarda, periodik olarak optik yatay ve düşey deplasman okumaları yapılmasıdır. Bu gözlemleme yönteminin kullanımı çok yaygın olmayıp çok az şantiyede kullanılmaktadır.

Bu bölümde açıklanmış olan deney ve gözlem yöntemlerinin en titiz ve detaylı olarak kullanıldığı şantiye İstanbul Metrosu İnşaatı şantiyesidir. Bu inşaatta kullanılan ankrajlı destek sistemleri, istasyonların yapımı için oluşturulan aç-kapa tipi kazı şantiyelerinde kullanılmış olup metronun uzun bir güzergah boyunca geçmesi nedeniyle İstanbul' un değişik bölgelerinde fakat genelde, grovak olarak adlandırılan kaya ortamında uygulanmıştır. Bu inşaatta

kullanılan ankrajlı iksa sistemi, inşaatın önemi nedeniyle, çok detaylı gözlemlene yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Bu şantiyeden elde edilen deney verileri başka şantiyelerden de elde edilen verilerle beraber 6.2.4' de verilmiştir.

İstanbul Metrosu İnşaatı'nda kullanılan gözlem yöntemleri, bu araştırma yapılırken ülkemizde incelenen hiçbir şantiyede görülmemiştir. Bu gözlemlene sistemlerinin ankrajlı destek sisteminin bir bütün olarak ve dolayısıyla da ankraj sistemlerinin beraberce davranışlarını yansıtmaları düşüncesi nedeniyle değinirsek ankrajlı yapıların ne şekilde incelenmesi gerektiği ifade edilmiş olacaktır. Bu gözlemler genelde yük hücresi, çatlak ölçer, inklinometre ve ekstansometre kullanılarak yapılmıştır.

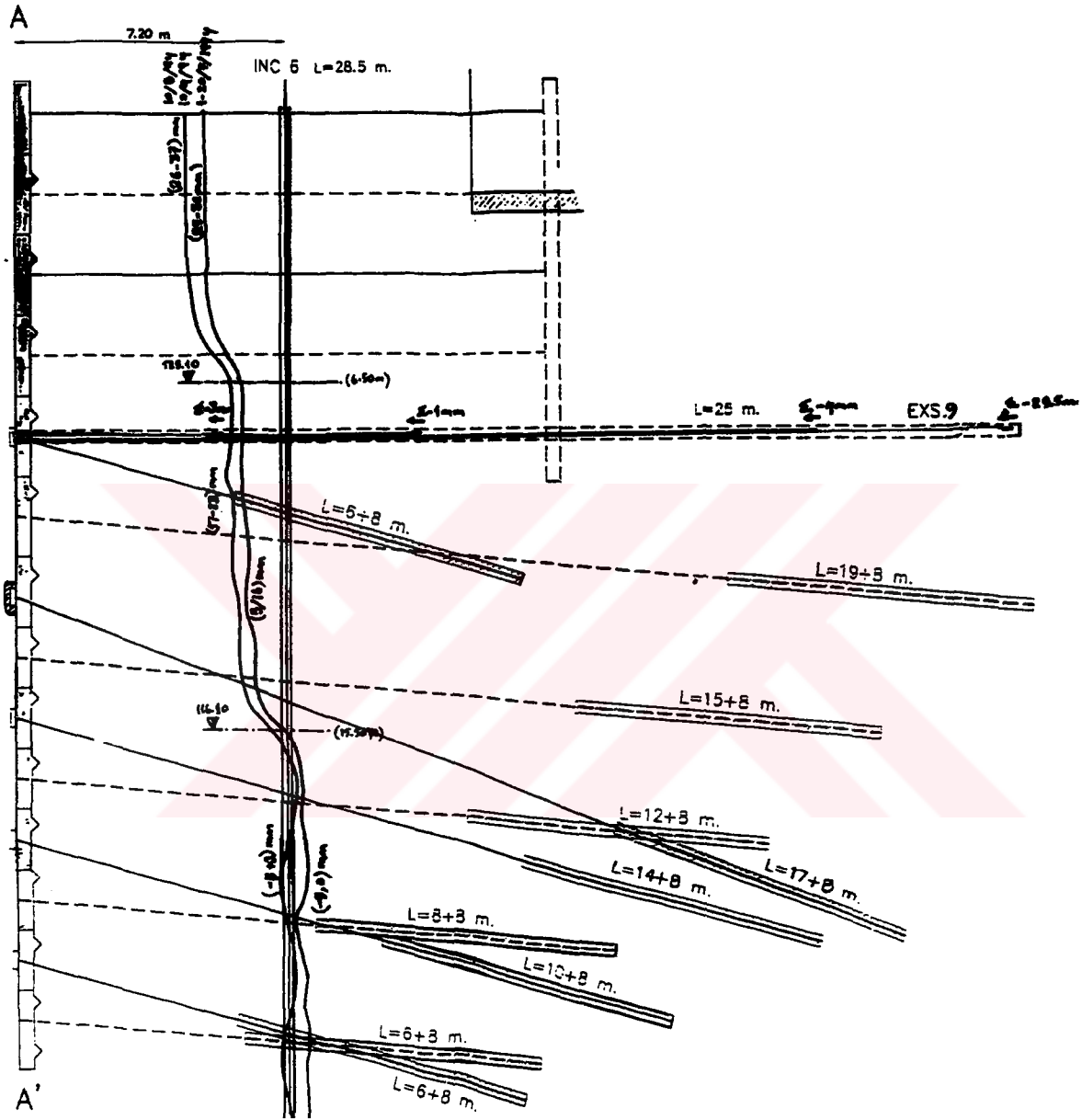
Yük hücresi, ankraj elemanları yerleştirilirken, ankraj sistemine yük uygulanmadan önce bağlanır ve yük uygulanıp kilitleme yapılması ile ankraj sistemine bağlanır. Ankraj sistemi sökülmeden çıkarılamayan bu alet ile, ankraja uygulanmış olan yükün zamanla değişiminin gözlemlenebilmesi sağlamaktadır. Genelde ankrajlı destek sisteminde belirlenmiş olan kritik noktalara yerleştirilmiş olan bu aygıttan aralıklı olarak yük okumaları alınmıştır. Belirlenmiş olan kritik noktalar, özellikle duvar arkasında yük artışlarının oluşmasına neden olabilecek yerlerdir. Örneğin kazı duvarına çok yakın ve elverişsiz bir yerde bulunan bir yapının altındaki ankrajlardan bazılarına bağlanmıştır. Herhangi bir nedenden dolayı ankraj sistemine etkiyen yükün artışı veya ankraj sisteminin kök bölgesinde, elemanlarında meydana gelebilecek bir göçme nedeniyle yük düşüşü bu hücreden alınan okumalar ile izlenmiştir.

Çatlak ölçer, kazı çevresinde bulunan binalardan en elverişsiz durumda ve konumda bulunan, ankraj sistemlerinin ve ankrajlı yapının neden olabileceği birçok etkiden en çok etkilenebilecek yapıların özellikle birleşim noktalarına, dilatasyonlarına ve diğer yapılar ile bitiştikleri yerlere yerleştirilmiştir. Bu aygıtlar ile ankraj sistemleri veya ankrajlı yapının yerdeğiştirmesi nedeniyle,

duvar arkasındaki ortamın hareketi ve dolayısıyla binada meydana gelebilecek olası yerdeğiştirme ve oturmanın ilk harekette belirlenebilmesi sağlanmıştır. Özellikle ankraj sistemi kök bölgesinin, taşıyıcı sistemleri ve temel ayakları al-tına gelen binalara uygulanmıştır. Düzenli aralıklarla yapılan okumalar ile çatlak ölçerlerin bağlı olduğu yapılarda meydana gelen yerdeğiştirmelerin izlenmesi sağlanmıştır.

İnklinometre, diğer adı ile eğim ölçer, duvarın arkasında düşey doğrul-tuda delinen bir deliğin içine yerleştirilen özel kılıfta hareket ederek veri toplayan, hareketli parça ve gelen verilerin okunarak kayıt edildiği, sabit parça olmak üzere iki parçadan oluşmaktadır. Bu aygıt ile düzenli olarak yapılan okumalar, kazı kademeleri ilerledikçe ankrajlı yapının hareketi nedeniyle duvar arkasında bulunan ortamın gösterdiği davranışın yorumlanmasına grafik olarak yardımcı olmaktadır. Bu aygıt ile duvar arkasında birbirine dik iki doğrultudaki hareket belirlenebilmektedir. Genelde kazı duvarına dik olan doğrultu ankrajlı yapının davranışı açısından önemli olmaktadır. Bu aygıt ile duvar arkasındaki ortamın zamana göre davranış profili çıkarılabilmektedir (şekil 6-1). Bu yönteminin en büyük yararı, gözlemlemenin noktasal değil duvar arkasında kazı kotunun altına kadar delinmiş olan delik boyunca yapılabilmesi ve yapılan kazının ilerlemesinin duvar davranışı üzerindeki etkisinin yorumuna yardımcı olmasıdır. Hangi kazı kademesinde nasıl bir etkilenmenin olduğu ve bu etkilenmenin kaynağının tahmininde yardımcı olur.

Ekstansometre, bir ucu istenilen yere sabitlenerek diğer ucunda bulunan ve üzerine lme saati bağlanarak okuma alınmasına olanak sağlayan kafa arasında gerili bulunan tellerden oluşan bir düzenektir. Bu aygıt ile genelde zeminde meydana gelen oturma miktarları ölçülürken, oldukça sorunlu bir bölgede kullanılmış olan ankraj sistemlerinin yataydaki hareketlerini belirlemek için uygulanmıştır. Ankraj sisteminin kök bölgesine kadar ankraj sistemine paralel olarak yapılan delgi ile ekstansometrenin bir ucu uzatılmış ve bu bölgede kök boyunun çeşitli noktalarında belirli aralıklarla sabitlenmiştir.



Şekil 6-1 İstanbul Metrosu inşaatında uygulanmış inklinometre ölçümünden elde edilen veriler ile oluşturulmuş duvar arkası ortamının davranışı

Diğer ucu ise ankrajlı duvara sabitlenerek bu kafa üzerinden periodik olarak alınan ölçümler ile kök bölgesinin neresinin hangi yük değerinde ne kadar hareket ettiği belirlenmiştir. Bu okuma değerleri düzenli olarak da alınarak ankraj sisteminin kök bölgesinin zaman içindeki davranışı ve eğer göçme oluyorsa bunun enjeksiyon-zemin arası bağ dayanımının aşılması nedeniyle oluştuğunun anlaşılabilmesi sağlanmıştır.

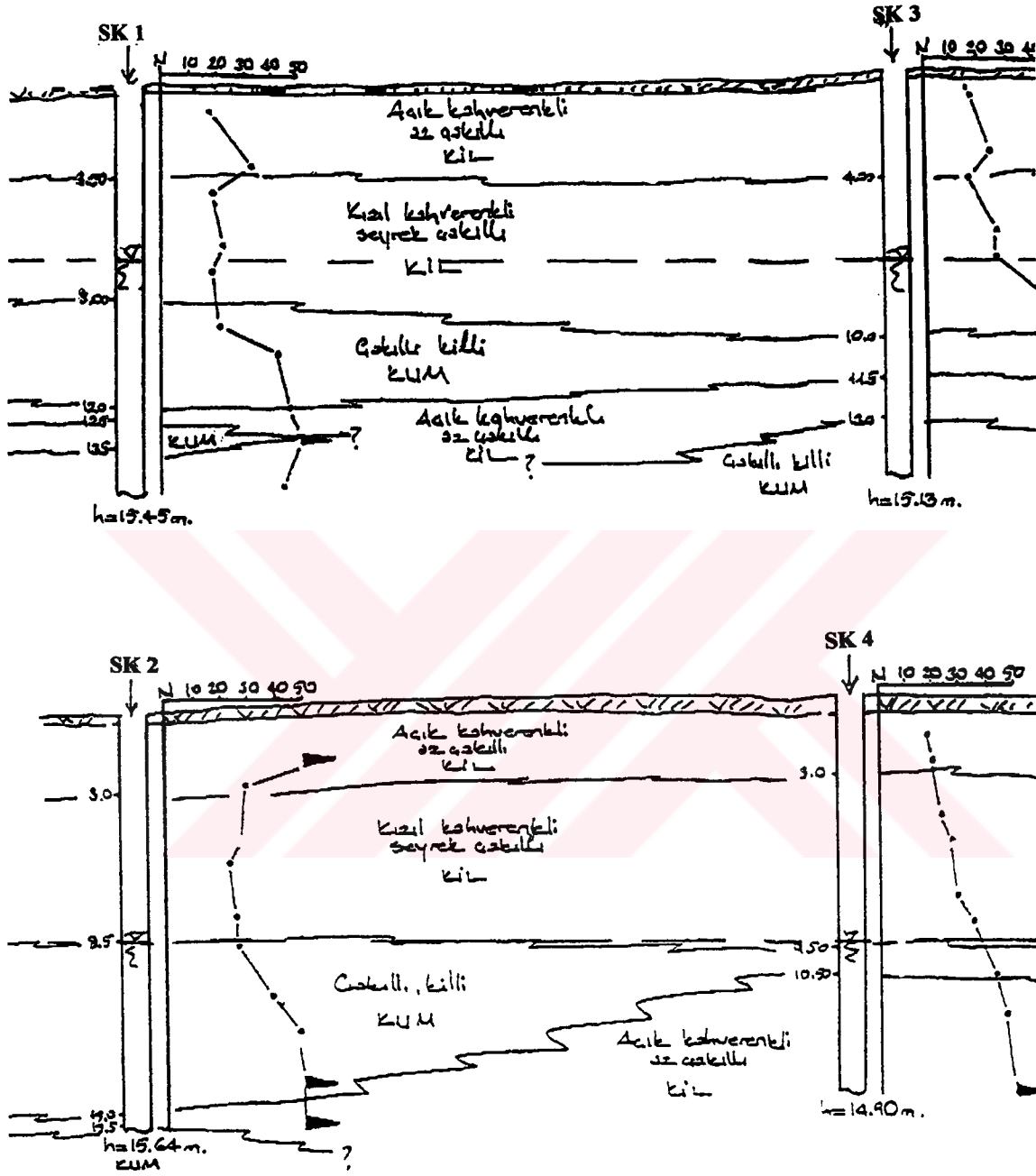
6.2.4 Kullanılan ölçüm sistemine ve deney yöntemlerine göre alınan deney sonuçları

Bu çalışmada incelenen şantiyelerin, değişik formasyonlardaki uygulamalarda yer almasına özen gösterilmiştir. Bu şantiyelerin hepsinden, araştırılan verilerin tamamının elde edilmesi mümkün olamamıştır. Pratikte yapılan ankraj uygulamaları ve bunlarda kullanılan deneyler Ankara ve İstanbul' da farklı zemin koşullarındaki şantiyelerden alınan örnekler ile aşağıda verilmiştir.

6.2.4.1 Ankara şantiyesi

Ankara' da yapılan bir idare merkezi binası inşaatının temel kazı destek sistemi olarak fore kazıklı, kuşak kirişli, öngerilmeli ankraj uygulanmıştır. Bu kazıda kullanılan ankraj kökleri 8 m. uzunluğunda olup kök bölgesini oluşturan enjeksiyon iki aşamalı olarak 0.32 su/çimento oranında uygulanmıştır. Birinci enjeksiyon basınçsız olarak uygulanırken, ikinci enjeksiyon 20 bar basınç ile uygulanmıştır.

Bu şantiyenin, yapmış olduğu sondaj çalışmalarının konumu Şekil 6-2 de ve sonucundan elde edilen verilere göre oluşturdukları jeolojik kesitler de Şekil 6-3 de verilmiştir. Jeolojik kesitten kazı alanını oluşturan zemin yapısının çakıllı kil ve arasında bulunan killi kum bandından oluştuğu belirlenmiştir.



Şekil 6-3 Yapılmış olan sondajlardan elde edilen verilere göre hazırlanmış kazı alanının sondaj1-sondaj3 ve sondaj2-sondaj4' e göre jeolojik kesiti

Bu uygulamadaki germe yönteminde, ankrajlar proje yükünün farklı oranlarında kademeli olarak yüklenerek proje yükünün 1.25 katına kadar gerilmiş ve proje yükünün 0.1 katı olan ilk yüke kadar yük düşürülerek birçok yabancı şartnamenin önerdiği çevrim iki kere yapılarak ankraj sisteminin elastik ve plastik yerdeğiştirmeleri belirlenmiştir. İkinci yük çevriminde proje yükünün 1.25 katında 15 dakika beklenmiştir. Bu iki çevrimden sonra ankrajlar yük kayıpları da dikkate alınarak proje yükünün 1.1 katına yüklendikten sonra kilitlenmiştir. Bir ankraj sisteminde uygulanmış olan germe raporu örnek olarak Şekil 6-4 de verilmiştir.

Bu ankraj uygulamasında yapılan herhangi başka bir gözlem bulunmamakla beraber ülkemizde yapılan ankraj uygulaması deney ve germe raporlarından en detaylılarından bir tanesidir. Proje yükünün 1.25 katı değerinde yapılması gerektiği yazılı olan 15 dakikalık bekleme süresi, uygulamada yapım süresinin uzaması nedeniyle genelde 1-2 dakika ile sınırlı kalmıştır.

İngiliz Şartnamesi (BS 8081) nde tanımlanan ölçme ve gözlemlene aygıtlarından hiçbirisi kullanılmamıştır. Dolayısıyla ankrajlı iksa sisteminin bütün olarak davranışı konusunda birşey söylenmesi mümkün olamamaktadır. Ankraj deneylerinde elde edilen yük-uzama verileri ankraj sisteminin sadece serbest boyunun istenilen uzunlukta olup olmadığını, dolayısıyla kök boyunun amaçlanan uzunlukta olup olmadığını ve ankraj sisteminin uygulanan yükü göçmeden taşıyıp taşımadığını göstermektedir. Ankraj sisteminin teorik değil gerçek taşıma kapasitesi hiçbir şekilde bu gözlem yöntemleri ile belirlenemekte ve daha sonrası için ışık tutucu bilgi sağlamamaktadır. Belirlenmiş olan yük-uzama değerlerine göre ankrajın kabul kriterlerini kısa süre için sağladığı görülmekte, ancak uzun süreli davranışı ve sistemin davranış eğiliminin ne olduğu bu ölçümler ile görülememektedir.

İNŞAATI ŞANTİYESİ

ANKRAJ YERİ : BC			FORM NO : 48					
ANKRAJ NO : A-1			TARİH : 17/3/94					
GERDİRME			ÖNGERME DEMETİ					
Germe tarihi : 17/3/94			Yapım tarihi : 7/3/94					
Kriko tipi : HMK			Halat adedi : 4					
Kriko seri no			Halat çapı : 0,6"					
Yük ölçme sistemi : Manometre			Serbest uzunluk : 13 m.					
Uzama ölçme sistemi : Dial gauge			Kök boyu : 8 m.					
Proje yükü : 19 ton			Halat dayanımı : 26,5 ton					
Test yükü : 24 ton			Elastik modülü : $2,039 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$					
Kilitleme yükü : 21 ton			Halat alanı : 7,3 cm ²					
Deformasyonlar kriko üzerinden ölçüldü.								
Yük % T	Yük (Ton)	Basınç (Bar)	Dial okuması		Uzama mm.	Toplam uzama mm.	Kalıcı uzama mm.	Elastik uzama mm.
			0	1 dak.				
10	6.250	40		1.08				
50	10.000	70		2.22	1.14			
100	19.459	140		16.50	14.28			
125	23.824	170		23.43	6.93	22.35		
100	18.784	135		23.19	-0.24			
50	9.375	65		17.52	-5.67			
10	6.250	40		14.79	-2.73	13.71	13.71	8.64
10	6.250	40		14.79				
50	10.000	70		14.83	0.04			
100	19.459	140		20.92	6.09			
125	23.824	170		24.01	3.09			
15 dak. sonra	23.824	170		25.50	1.49	10.71		
100	18.784	185		24.24	-1.26			
50	10.000	70		17.61	-6.63			
10	5.625	35		15.12	-2.49	0.33	0.33	10.38
10								
50								
100								
125								
15 dak. sonra								
100								
50								
10								
imza MÜTEAHHİT			imza KONTROL					

Şekil 2-6 "Ankraj Deneyi" raporu örneği

Şekil 6-4 de verilmiş olan ankraj deneyi raporu örneğinde ankraja uygulanan yük adımları ve bu yük adımlarında oluşan uzama değerleri hesaplanmıştır. Ancak bu ankrajın, karşılaştırılması gereken min. ve max. uzama değerleri hesaplanmamıştır. Çizelge 6-1 de karşılaştırması yapıldığında bu ankraj sisteminin uzama sınırları kriterlerini birinci çevrimde sağladığı söylenebilirken ikinci çevrimde oluşan uzamanın min. uzamadan az olduğu görülmektedir.

Çizelge 6-1 Ölçülen uzama değerleri ile beklenen min. ve max. uzama değerleri

Ankraj No.	Yük Çevrimi	Min uzama	Max. Uzama	Ölçülen Uzama	Onay
		$\Delta_{min}=0,8.(P.L) / A.E$	$\Delta_{max}=P.(l_f + (l_{kok} / 2)) / A.E$		
		cm.	cm.	cm.	
BC-A1	1. Çevrim	1,7736	2,892	2,235	Kabul
BC-A1	2. Çevrim	1,7736	2,892	1,071	Red

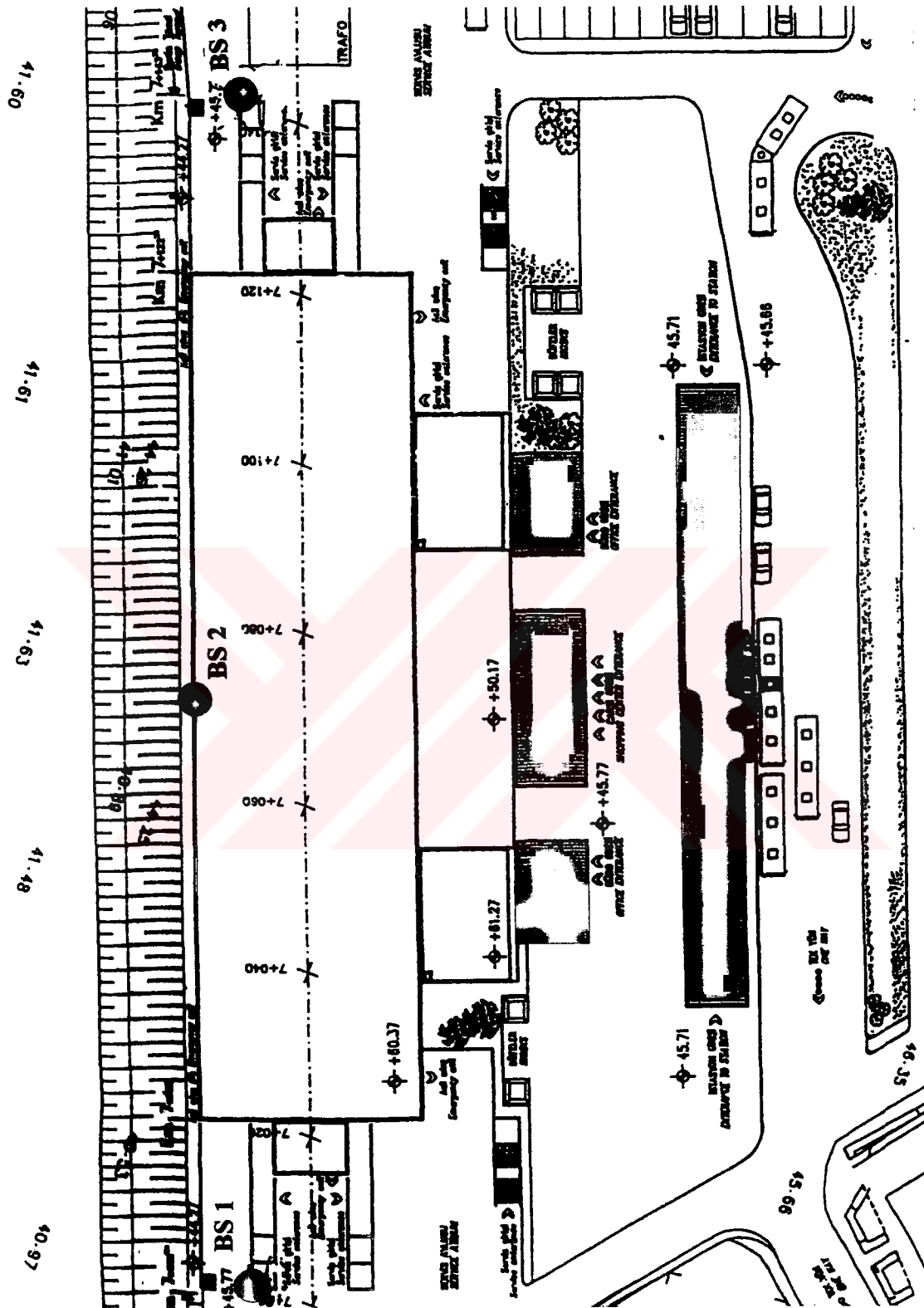
Karşılaştırması yapılmamış olan bir başka kriter de krip kriteridir. Kohezyonlu zeminlerde 50 dakika olması gereken krip deneyi, 15 dakika olarak sadece ikinci çevrimde görülmektedir. Ayrıca izin verilebilen krip etkisi olan 50 dakikada 2 mm. yerdeğiştirme kriteri bulunmamaktadır. Bu deney raporundan da görüldüğü gibi, ankraj sisteminin sadece istenilen tasarım yükünü ve deney yükünü taşıyıp taşımadığı dışında incelenmiş bulunan birşey yoktur.

6.2.4.2 İstanbul - Merter şantiyesi

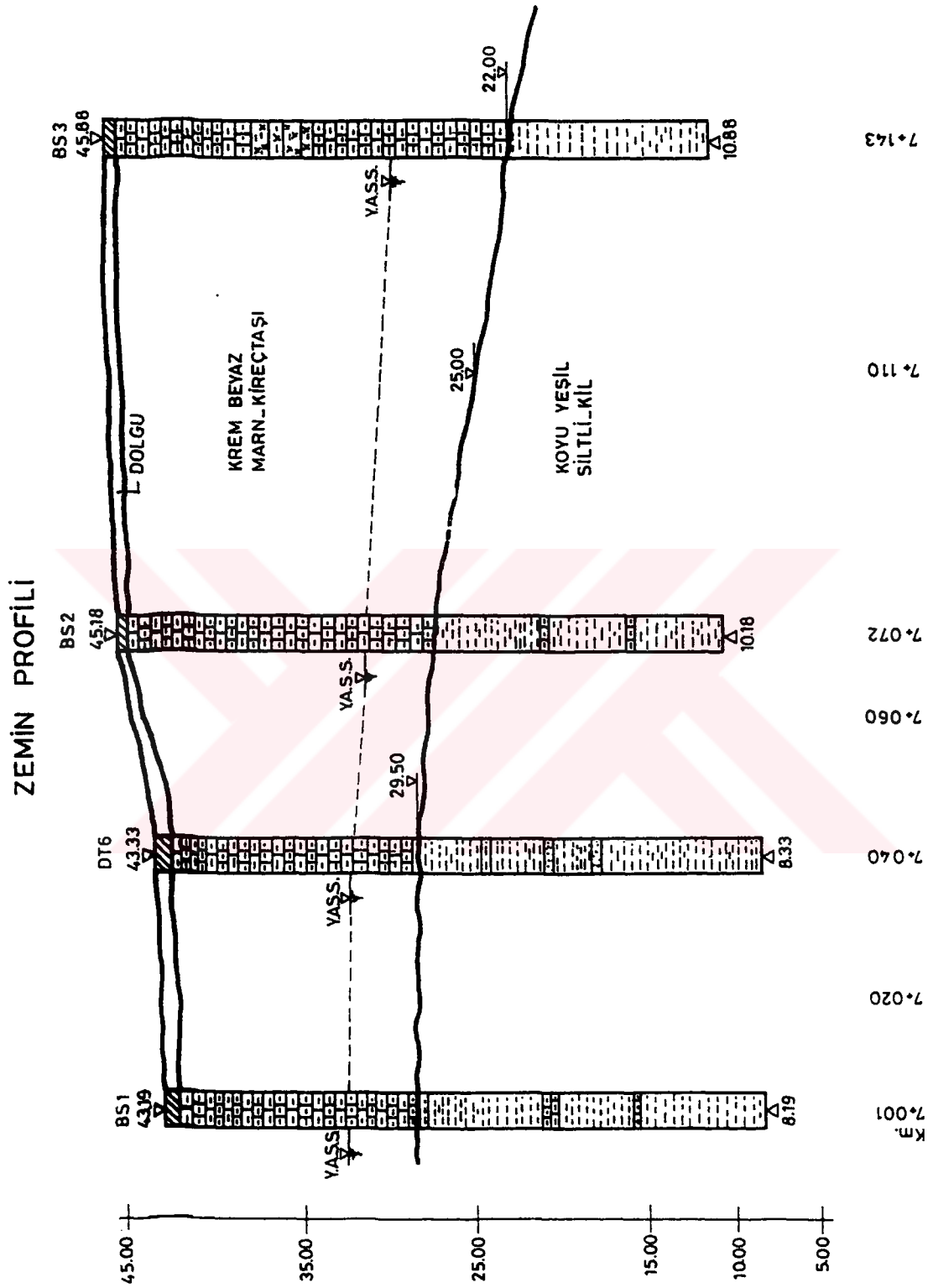
İstanbul ili Bakırköy ilçesi sınırları içinde bulunan Merter bölgesinde yapılmış olan bir kazı çalışmasında fore kazıklı, kuşak kirişli, öngerilmeli ankraj sistemiyle kazı desteği yapılmış olan şantiyeden alınmış olan verilerde ülkemizdeki ankrajlı destek sistemlerinde görülen aynı uygulamalar ile karşılaşılmıştır.

Şekil 6-5 de planı verilmiş olan şantiyede 3 adet sondaj uygulanmış ve bu sondajlara göre elde edilen loglar ışığında zemin jeolojik kesiti Şekil 6-6

daki gibi tahmin edilmiştir.



Şekil 6-5 Yapılmış olan sondaj çalışmalarının konumu



Şekil 6-6 Yapılmış olan sondajlardan elde edilen verilere göre hazırlanmış, kazı alanının BS1-DT6-BS2 ve BS3 sondajlarına göre jeolojik kesiti

Bu jeolojik kesitte siltli-kil tabakası üzerinde kireçtaşı tabakasının var olduğu görülmektedir. Böyle bir zemin ortamında yapılmış olan ankrajlı kazı destek sistemine ait ankraj deney raporları Şekil 6-7, Şekil 6-8 ve Şekil 6-9 da, germe raporu Şekil 6-10 da verilmiştir.

Bu ankrajlı kazı destek sisteminde, rastgele seçilmiş üç adet ankraj üzerinde deney yapılmıştır. Bu ankrajlar, kireçtaşını geçerek killi zemin içinde oluşturulan 8 m. lik kök boyu ile tasarım yükünün 1.25 ve 1.5 katına kadar yüklenmiştir. 3 adet deney ankrajının 2 tanesinde 1.25P deney yükü, 1 tanesinde 1.5P yükü uygulanmıştır. Deney raporları verilmiş olan ankrajların deney sonuçları incelendiğinde ankrajların sadece uygulanan yükleri taşıyıp taşımadıklarının kontrol edildiği anlaşılmaktadır. Ankrajlar herhangi bir kriter ile karşılaştırılmamışlardır. Özellikle killi zeminlerde en önemli etki olarak dikkat edilmesi gereken kriپ etkisini araştırmak üzere 50 dakikalık kriپ deneyi uygulanmamıştır. Bu sonuçlar ile ankraj sisteminin davranışının belirlenmesi oldukça yüzeysel kalmaktadır.

Deney yapılan ankrajlarda kademeli yükleme uygulanmıştır. İkişer kez çevrim uygulanan ankrajlardan elde edilen uzama değerleri, karşılaştırılmaları gereken min. ve max. uzama kriterleri ile Çizelge 6-2 de karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmaların deney raporlarında yer alması gerekirken bulunmamaktadır. Ankraj sisteminin tasarlandığı gibi uygulandığını doğrulamak üzere bu karşılaştırmaların yapılması gereklidir.

Tasarım yükü 500 kN. olan ankrajlardan A1/16 ve A1/19 no' lu ankrajlara tasarım yükünün 1.25 katı olan 625 kN., A1/29 no' lu olan ankraj sistemine ise tasarım yükünün 1.5 katı olan 730 kN. deney yükü uygulanmıştır. Yapılmış olan deneylerde karşılaştırılmaları gereken kriterler karşılaştırılmamıştır. Sadece uygulanan yükü göçmeden taşıyıp taşımadıkları kontrol edilmiştir.

ÖNGERMELİ ANKRAJ DENEY RAPORU							İNŞAATI ANKRAJ NO : A1/19
ANKRAJ BİLGİLERİ		ÖNGERME DEMETİ		GERME KRIKOSU		ANKRAJ DELİK BİLGİLERİ	
Toplam Boy : 28 m.		Çapı : 0,5"		Kriko No : 4762		Delik çapı : 120 mm.	
Kriko Payı : 1 m.		Tipi : VSL		Tipi : ZPE-7		Delik eğimi : 15°	
Serbest Boy : 29 m.		Adedi : 5		Kapasitesi : 100 ton		NOT 1. yükleme ve boşaltma	
Kök Boyu : 8 m.		E modülü : 1,95 x 10 ³		Pist. Alanı : 203,6 cm ²			
YÜK UZA- OKUMALA	BASINÇ kg/cm2	ÖLÇÜM mm.	UZAMA mm.	BASINÇ kg/cm2	ÖLÇÜM mm.		
	0	85		280	155		
	20	97	12	230	154	1	
	120	113	16	120	152	2	
	230	130	17	20	140	12	
	280	155	25	0	105	35	
			70 mm.			50 mm.	
Kilitleme yükü :							
28/6/93							
YER		TARİH		TAŞERON		MÜTEAHHİT	
KONTROLLUK							

ÖNGERMELİ ANKRAJ DENEY RAPORU							İNŞAATI ANKRAJ NO : A1/19
ANKRAJ BİLGİLERİ		ÖNGERME DEMETİ		GERME KRIKOSU		ANKRAJ DELİK BİLGİLERİ	
Toplam Boy : 28 m.		Çapı : 0,5"		Kriko No : 4762		Delik çapı : 120 mm.	
Kriko Payı : 1 m.		Tipi : VSL		Tipi : ZPE-7		Delik eğimi : 15°	
Serbest Boy : 29 m.		Adedi : 5		Kapasitesi : 100 ton		NOT 2. yükleme ve boşaltma	
Kök Boyu : 8 m.		E modülü : 1,95 x 10 ³		Pist. Alanı : 203,6 cm ²			
YÜK UZA- OKUMALA	BASINÇ kg/cm2	ÖLÇÜM mm.	UZAMA mm.	BASINÇ kg/cm2	ÖLÇÜM mm.		
	0	105		280	164		
	20	118	13	230	163	1	
	120	123	15	120	161	2	
	230	140	17	20	148	13	
	280	164	24	0	115	33	
			69 mm.			49 mm.	
Kilitleme yükü :							
28/6/93							
YER		TARİH		TAŞERON		MÜTEAHHİT	
KONTROLLUK							

Şekil 6-8 A1/19 no' lu ankrajın deney raporu

ÖNGERMELİ ANKRAJ DENEY RAPORU							İNŞAATI ANKRAJ NO : A1/29
ANKRAJ BİLGİLERİ			ÖNGERME DEMETİ		GERME KRIKOSU		ANKRAJ DELİK BİLGİLERİ
Toplam Boy : 28 m.			Çapı : 0,5"		Kriko No : 4762		Delik çapı : 120 mm.
Kriko Payı : 1 m.			Tipi : VSL		Tipi : ZPE-7		Delik eğimi : 15°
Serbest Boy : 19 m.			Adedi : 5		Kapasitesi : 100 ton		NOT 1. yükleme ve boşaltma
Kök Boyu : 8 m.			E modülü : 1,95 x 10 ⁹		Pist. Alanı : 203,6 cm ²		
YÜK UZA.	BASINÇ	ÖLÇÜM	UZAMA	BASINÇ	ÖLÇÜM	UZAMA	
OKUMALA	kg/cm2	mm.	mm.	kg/cm2	mm.	mm.	
0	0	70		330	163	0	
0.25	60	80	10	280	163	0	
0.50	110	95	15	225	162	1	
0.75	170	110	15	170	159	3	
1.00	225	127	17	110	135	24	
1.25	280	146	19	60	114	21	
1.50	330	163	17	0	88	26	
			93 mm.			75 mm.	
Kilitleme yükü :							
29/6/93 imza							
YER		TARİH		TAŞERON		MÜTEAHHİT	
KONTROLLUK							

ÖNGERMELİ ANKRAJ DENEY RAPORU							İNŞAATI ANKRAJ NO : A1/29
ANKRAJ BİLGİLERİ			ÖNGERME DEMETİ		GERME KRIKOSU		ANKRAJ DELİK BİLGİLERİ
Toplam Boy : 28 m.			Çapı : 0,5"		Kriko No : 4762		Delik çapı : 120 mm.
Kriko Payı : 1 m.			Tipi : VSL		Tipi : ZPE-7		Delik eğimi : 15°
Serbest Boy : 19 m.			Adedi : 5		Kapasitesi : 100 ton		NOT 2. yükleme ve boşaltma
Kök Boyu : 8 m.			E modülü : 1,95 x 10 ⁹		Pist. Alanı : 203,6 cm ²		
YÜK UZA.	BASINÇ	ÖLÇÜM	UZAMA	BASINÇ	ÖLÇÜM	UZAMA	
OKUMALA	kg/cm2	mm.	mm.	kg/cm2	mm.	mm.	
0	0	88		330	172	1	
0.25	60	98	10	280	171	1	
0.50	110	112	14	225	169	2	
0.75	170	130	18	170	161	8	
1.00	225	144	14	110	137	24	
1.25	280	160	16	60	116	21	
1.50	330	172	12	0	88	28	
			84 mm.			84 mm.	
Kilitleme yükü :							
29/6/93 imza							
YER		TARİH		TAŞERON		MÜTEAHHİT	
KONTROLLUK							

Şekil 6-9 A1/29 no' lu ankrajın deney raporu

ÖNGERMELİ ANKRAJ GERME RAPORU										İNŞAATI ANKRAJ NO : A5/60	
ANKRAJ BİLGİLERİ			ONGERME DEMETİ			GERME KRIKOSU		ANKRAJ DELİK BİLGİLERİ			
Toplam Boy : 23,3 m			Çapı : 0,6"			Kriko No : 48		Delik çapı : 130 mm.			
Kriko Payı : 1,3 m			Tipi : FREYSSINET			Tipi : K100		Delik eğimi : 15o			
Serbest Boy : 14 m			Adedi : 4			Kapasitesi : 112 TON		NOT KILITLEME			
Kök Boyu : 8 m			E modülü : 1,95 x 105			Pist. Alanı : 203 cm ²					
YÜK UZA OKUMALA	BASINÇ kg/cm ²	ÖLÇÜM mm.	UZAMA mm.	BASINÇ kg/cm ²	ÖLÇÜM mm.	UZAMA mm.					
0	0	108									
0.08	30	111	3								
0.50	130	136	25								
0.75	190	150	14								
1.00	260	167	17								
1.10	280	173	6								
			65 mm.								
Kilitleme yükü Ankraj 55 ton' da kilitlendi											
24/9/93 imza imza imza											
YER		TARİH		TAŞERON		MÜTEAHHİT		KONTROLLUK			

ÖNGERMELİ ANKRAJ DENEY RAPORU										İNŞAATI ANKRAJ NO :	
ANKRAJ BİLGİLERİ			ONGERME DEMETİ			GERME KRIKOSU		ANKRAJ DELİK BİLGİLERİ			
Toplam Boy :			Çapı :			Kriko No :		Delik çapı :			
Kriko Payı :			Tipi :			Tipi :		Delik eğimi :			
Serbest Boy :			Adedi :			Kapasitesi :		NOT			
Kök Boyu :			E modülü :			Pist. Alanı :					
YÜK UZA OKUMALA	BASINÇ kg/cm ²	ÖLÇÜM mm.	UZAMA mm.	BASINÇ kg/cm ²	ÖLÇÜM mm.	UZAMA mm.					
Kilitleme yükü :											
YER		TARİH		TAŞERON		MÜTEAHHİT		KONTROLLUK			

Şekil 6-10 A5/60 no' lu ankrajın germe raporu

Çizelge 6-2 Ölçülen uzama değerleri ile beklenen min. ve max. uzama değerleri

Ankraj No	Yük Çevrimi	Min uzama	Max. Uzama	Ölçülen Uzama	Onay
		$\Delta_{\min}=0,8.(P.L) / A.E$	$\Delta_{\max}=P.(I_f + (I_{\text{kök}} / 2)) / A.E$		
		cm.	cm.	cm.	
A1/16	1. Çevrim	10,66	16,026	6,6	Red
A1/16	2. Çevrim	10,66	16,026	8,4	Red
A1/19	1. Çevrim	10,66	16,026	7,0	Red
A1/19	2. Çevrim	10,66	16,026	6,9	Red
A1/29	1. Çevrim	12,45	18,718	9,3	Red
A1/29	2. Çevrim	12,45	18,718	8,4	Red

Çizelge 6-2 de görüldüğü gibi ankraj sistemleri min. uzama değerini sağlamamaktadırlar. Bu da, ankraj sistemlerinin tasarlanan serbest boydan daha kısa uzunlukta oluşturulduğu şeklinde yorumlanabilir. Büyük olasılıkla kök bölgesinde kalması gereken enjeksiyon serbest boy a kadar ilerlemiş ve dolayısıyla ankraj sistemine etki eden yük belki de göçme yüzeyinin önünde bulunan olası göçme kamasının içine iletilmektedir.

Killi zeminlerde, deney yükünün tasarım yükünün 1.50 katı olması gerektiği yabancı şartnamelerde belirtilmekte olup, bu tür zeminlerde ankraj sisteminin davranışı üzerindeki en önemli etkenin krip etkisi olduğu düşüncesiyle 50 dakikalık krip deneyinin ankraj deney yükünde uygulanması gerektiği belirtilmektedir. Bu ankraj uygulamasında yapılmış olan deney ankrajlarından sadece bir tanesinde deney yükü 1.5P olarak kullanılmış, ancak krip deneyi yapılmamıştır. Killi zeminlerde, yükün iletildiği kök bölgesi çevresindeki zeminde oluşan boşluk suyu basıncının zaman ile değişimi, zeminin konsolidasyonu, nihai taşıma gücüne ilerleyen zaman içerisinde ulaşması nedeniyle izlenmesi gereken yerdeğiştirme ve bu yerdeğiştirmeye bağlı yük kaybı zaman içerisinde gözlenmemiştir. Bu etki de yabancı şartnamelerde, 50 dakikalık krip deneyi boyunca 2 mm. ile sınırlanmaktadır.

Şekil 6-10 da verilmiş olan germe raporunda görüldüğü gibi, bu kazı uygulamasında kullanılan ankrajlarda germe işlemi yapılırken ankrajlara deney uygulanmadan yük kademeli olarak 1.1P yüküne çıkarılmış ve uzama değerleri çelik şerit metre ile piston üzerinden alınmıştır. Ankraj deneylerinde olduğu gibi germe deneylerinde de uzamalar herhangi bir kriterle karşılaştırılmamış ve kriş deneyi uygulanmamıştır.

Ankrajlı kazı destek sistemi kullanılan bu şantiyede kazı duvarlarının bütün olarak davranışlarını gözlemlemek için kazı duvarları üzerinde belirli yerlerde işaretlenen noktalardan optik aletler ile düzenli olarak ölçümler alınmış ve duvarda meydana gelen deplasmanlar izlenmiştir.

6.2.4.3 İstanbul Metro Şantiyesi

Bu uygulamada gerek ankraj sistemlerinin bireysel olarak kontrolü ve uygulanan deneyleri, gerekse ankrajlı kazı destek sisteminin bir bütün olarak gözlemlenmesi teknolojinin olanaklarından yararlanılarak yapılmış olduğundan, çalışma diğerlerine göre farklılık göstermektedir..

İstanbul Metrosu inşaatında derin kazı yapılmasını zorunlu kılan istasyon inşaatlarının kimi zaman yerleşim yerleri içine gelmesi uygulamaları daha da zorlaştırmıştır. Kazı destek sistemine etkiyen yüklere çevre yapılardan gelen yüklerin de eklenmesi etkiyen yüklerin oldukça artmasına neden olurken, kazı alanı içinde herhangi bir engelin bulunmasının çalışmaları engelleyeceği nedeniyle kazı destek sisteminin önerilmeli ankrajlı sistem olarak seçilmesi uygun görülmüştür.

Bu istasyon inşaatlarından yaklaşık 300 m. uzunluğunda ve 18 m. derinliğinde olan 4. Levent istasyonunun, yapılan sondaj araştırmaları ile elde edilen veriler ışığında, derinliğe bağlı olarak ayrışmışlık derecesi değişen ve Grovak olarak adlandırılan kumtaşı-kiltaşı-silttaşı ardalı ile oluşmuş kayadan

oluşan bir ortamda yapılması gerektiği görülmüştür. Bu yapı Trakya Formasyonu olarak adlandırılır. Şekil 6-11 de verilen planda işaretli bulunan 4LS1, 4LS2 ve 4LS3 no' lu sondajlar ile zeminin yapısı hakkında bilgi edinilmiştir. İstanbul Metrosu inşaatının bütün istasyon inşaatlarında olduğu gibi bu istasyon inşaatında da kullanılan aç-kapa kazı sisteminde kazı destek sistemi olarak önerilmeli ankrajlı, ortalama 40 cm. kalınlığında betonarme perde duvar kullanılmıştır. İstanbul Metrosu 4. Levent istasyonu inşaatı dışında diğer istasyon inşaatlarının uygulamaları ve elde edilen verileri, karşılaşılan sorunlar ve kullanılan deney gözlem sistemleri ayrı ayrı incelenmiştir. Diğer istasyon inşaatlarında kullanılmış olan yöntemlerin de bir bütün olarak ele alınacağı bu bölümde, 4. Levent istasyonu (aç-kapa) ve Levent istasyonu şantiyesinden elde edilmiş olan ankraj deney ve germe raporları verilecektir.

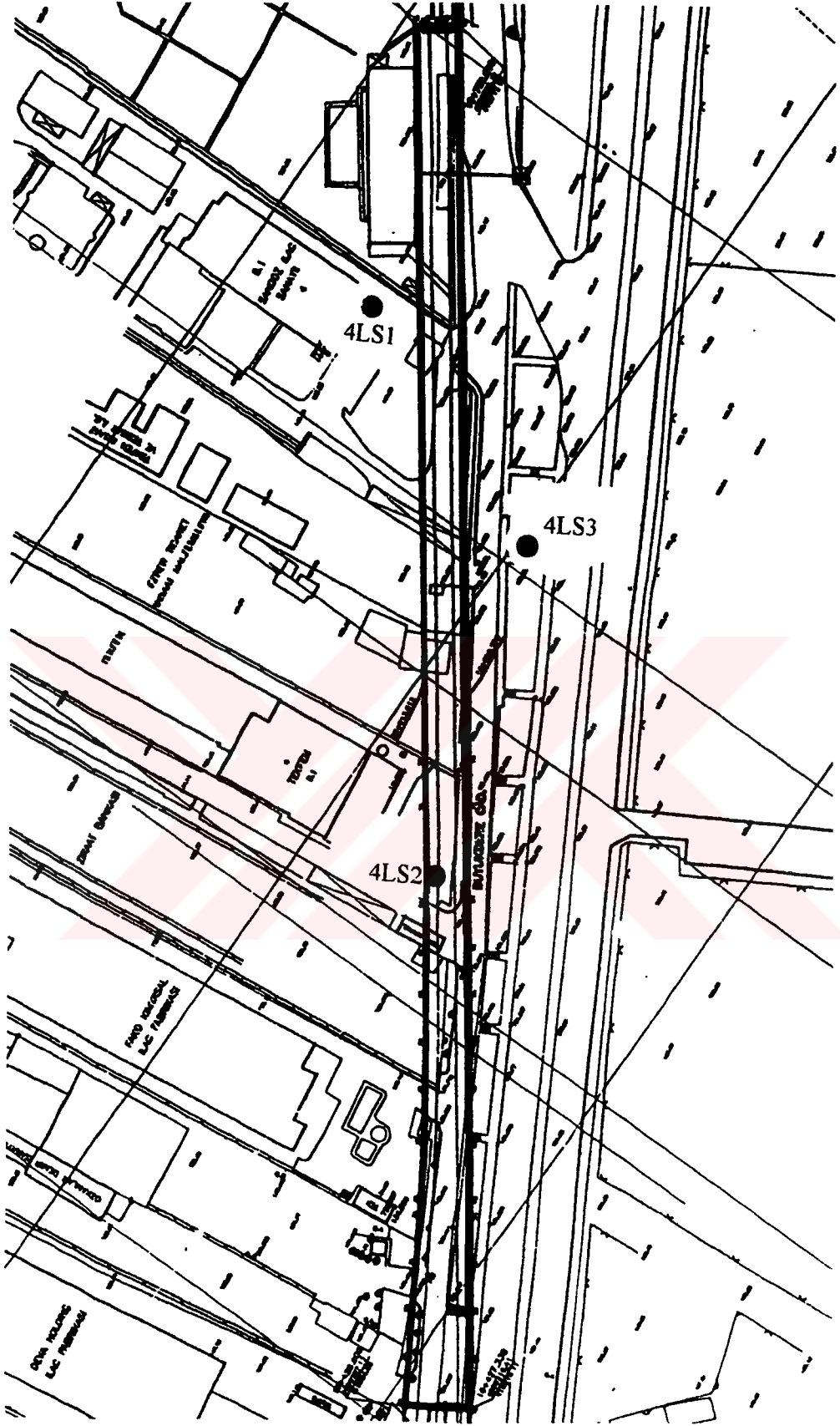
İstanbul Metrosu inşaatında kullanılan ankrajlı kazı destek sistemlerinde uygulanan ankraj deneylerine göre ankraj sistemleri önce tasarım yükünün 1.25 katına kadar kademeli olarak yüklenmektedir. Tasarım yükünün 1.25 katına kadar yüklenen ankraj sistemindeki yük 0.10P ye kadar düşürülüp daha sonra tekrar yüklenmektedir. Bu ikinci yüklemede de aynı yük kademeleri ile yük uygulanmakta ve tasarım yükünün 1.1 katına çıkılarak ankraj sistemi kilitlenmektedir. Ankraj deneylerinde kullanılan yük kademeleri P, tasarım yükünün katları olarak aşağıdaki gibi uygulanmıştır:

Deney yükleme:

0	0.10P	0.50P	1.00P	1.10P	1.25P
	1.00P	0.50P	0.10P		

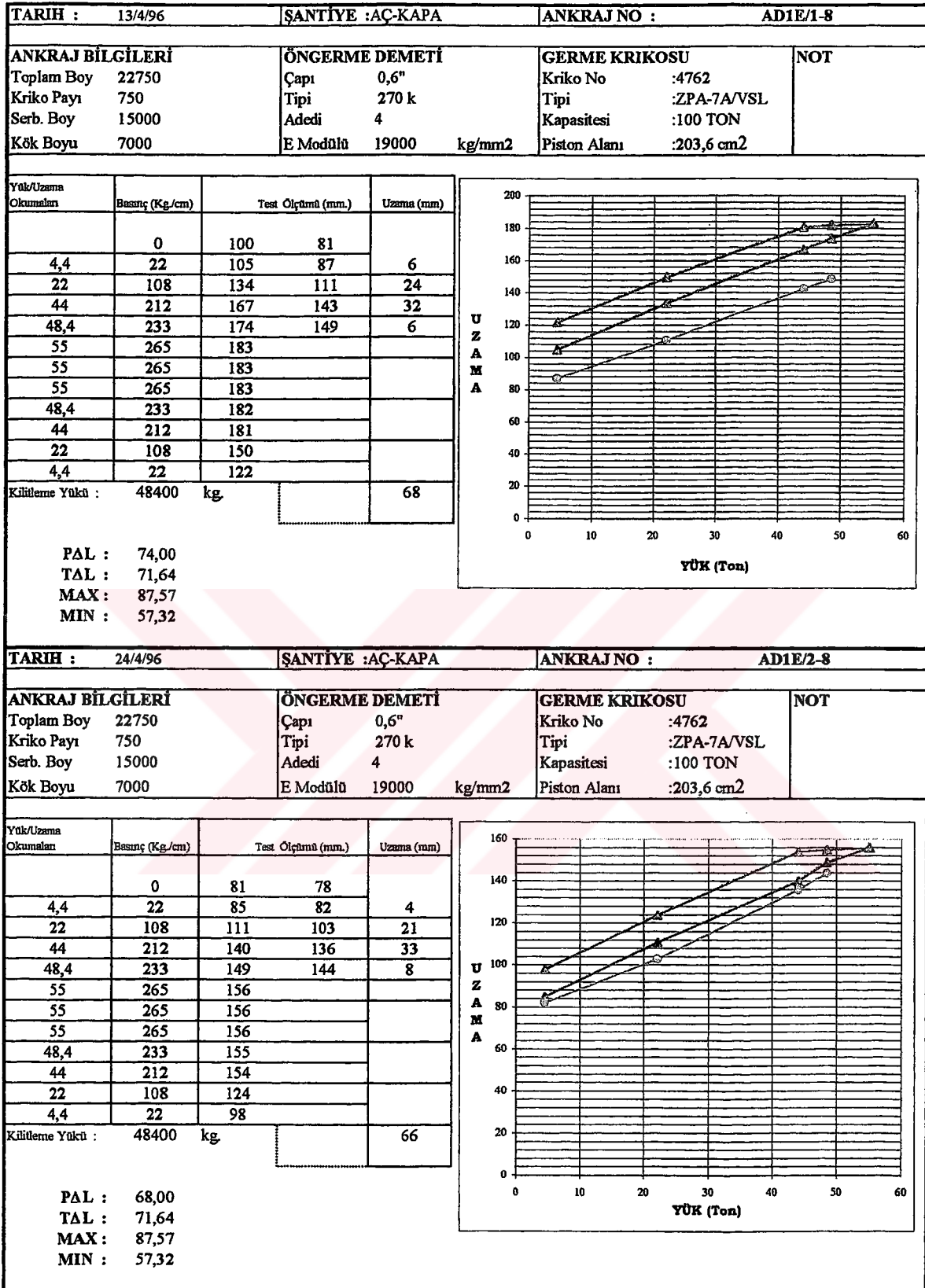
Germe yükleme:

0	0.10P	0.50P	1.00P	1.10P
---	-------	-------	-------	-------

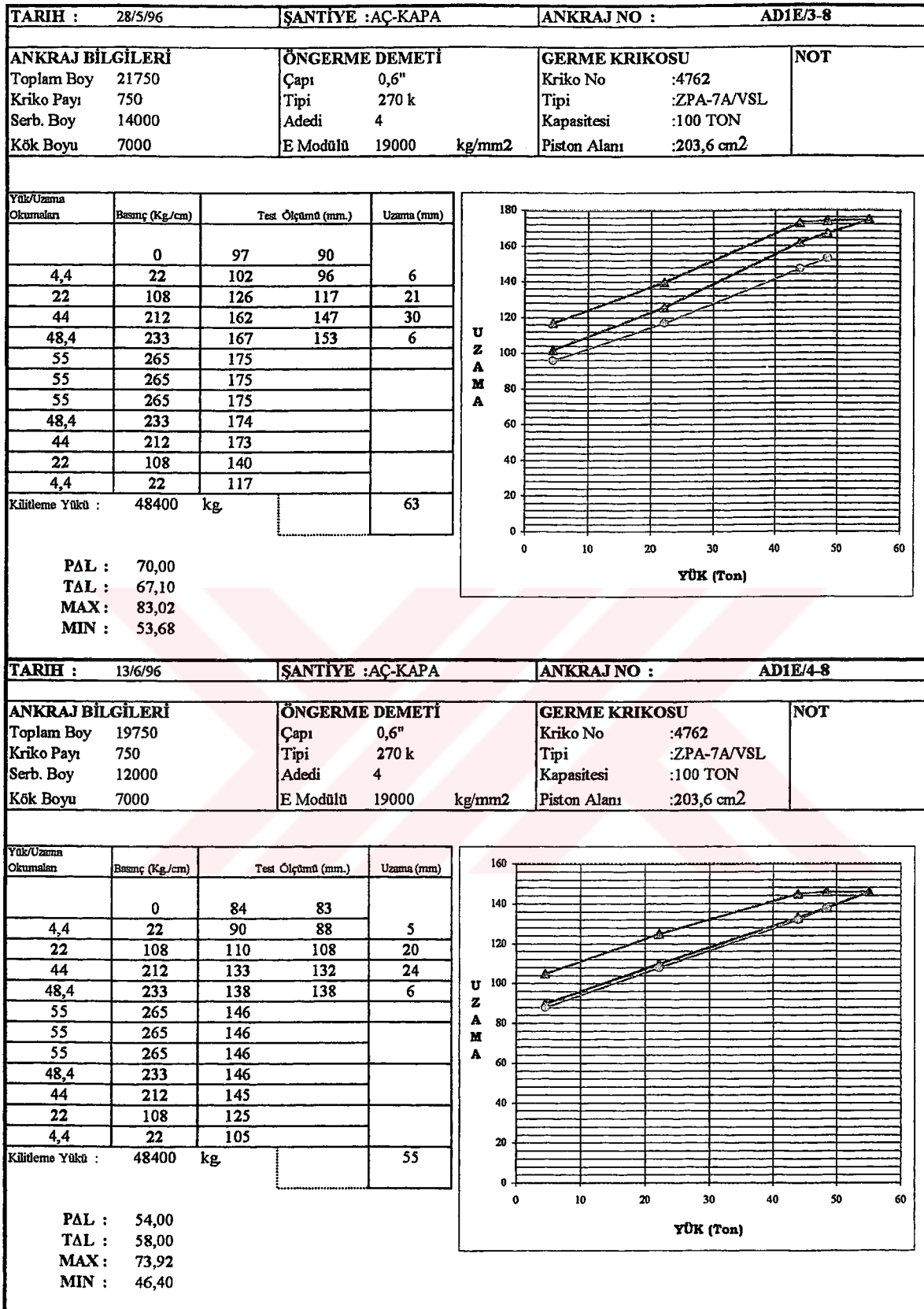


Şekil 6-11 Yapılmış olan sondaj çalışmalarının konumu

Deney ve germe raporları Şekil 6-12, Şekil 6-13, Şekil 6-14 ve Şekil 6-15, Şekil 6-16, Şekil 6-17 de verilen ankrajların hepsinde 1.25P yükünde ankraj deneyi uygulanmıştır. Ayrıca krip deneyi için 1.25P yükünde beklenmesi gereken süre 5 dakika kadar kısa tutulmuştur. Krip deneyi için uygulanan sürenin bu kadar kısa tutulmasının nedeni, ortamın kaya olması ve önceden yapılmış olan birçok ankrajlı uygulamada çelik şerit metre ile izlenmeye çalışılan krip etkisinin oluşmadığının görülmesidir. Bu deneylerde, yabancı şartnamelerde istenilen karşılaştırma kriterleri kullanılmış ve sonuçları da gözönüne alınmıştır. Ancak yabancı şartnamelerden farklı olarak ankraj sisteminin 1.25P deney yükünde yapmış olduğu uzama değeri ile 1.25P yükünde yapması düşünülen min. ve max. uzamalar karşılaştırılmamıştır. Karşılaştırmanın yapıldığı değerler 1.10P değerine karşılık gelen beklenen ve oluşan uzama değerleridir. Oysa, ankraj deneylerinin amacı, ankraj sisteminin kabul edilmiş olan güvenlik katsayısıyla etkiyen yüklere karşı koyup koyamadığının araştırılmasıdır. Herhangi bir nedenle tasarlanandan daha fazla yükün sisteme etkimesi durumunda da sistemin güvenli olarak geçmeden serviste kalabileceğini doğrulamak üzere uygulanan deneylerde karşılaştırılması gereken değerler 1.25P yük değerinde oluşan ve oluşması beklenen uzama değerleri olmalıdır. Ankraj deney ve germe raporlarında kullanılan $P\Delta L$ değeri 0-1.10P yük değerleri arasında sistemin yapmış olduğu uzama değeridir. $T\Delta L$ ise serbest boyun 1.10P yük değerinde yapması beklenen uzama değeri, min. uzama değeri $T\Delta L$ 'nin 0.8 katı uzama değeri, max. uzama değeri ise serbest boya kök boyunun yarısının eklenmesi ile oluşan boyun 0-1.10P yük değerleri arasında yapması beklenen uzama değeridir. Kabul edilmeleri veya red edilmeleri tamamen bu raporlara bağlı olan ankrajların raporlarının bir kısmı Şekil 6-12, Şekil 6-13 ve Şekil 6-14 de verilmiştir. $P\Delta L$ değeri hesaplanmış olan min. ve max. uzama kriterleri ile karşılaştırılmaktadır.



Şekil 6-12 AD1E/1-8 ve AD1E/2-8 Ankrajlarının deney raporları



Şekil 6-13 AD1E/3-8 ve AD1E/4-8 Ankrajlarının deney raporları

TARİH :	10/7/96	ŞANTIYE :AÇ-KAPA	ANKRAJ NO :	AD1E/5-8
ANKRAJ BİLGİLERİ	ÖNGERME DEMETİ	GERME KRIKOSU	NOT	
Toplam Boy 17750	Çapı 0,6"	Kriko No 2781157		
Kriko Payı 750	Tipi 270 k	Tipi :ZPE-7A/VSL		
Serb. Boy 10000	Adedi 4	Kapasitesi :104 TON		
Kök Boyu 7000	E Modülü 19000 kg/mm2	Piston Alanı :203,6 cm2		
Yük/Uzama Okumaları	Basınç (Kg./cm.)	Test Ölçümü (mm.)	Uzama (mm)	
	0	84 96		
4,4	23	89 101	5	
22	110	114 118	17	
44	217	135 138	20	
48,4	237	140 143	5	
55	269	145		
55	269	145		
55	269	145		
48,4	237	145		
44	217	144		
22	110	124		
4,4	23	102		
Kütleme Yüklü :	48400 kg		47	
PAL :	56,00			
TAL :	48,90			
MAX :	64,82			
MIN :	39,12			
TARİH :	21/7/96	ŞANTIYE :AÇ-KAPA	ANKRAJ NO :	AD1E/6-8
ANKRAJ BİLGİLERİ	ÖNGERME DEMETİ	GERME KRIKOSU	NOT	
Toplam Boy 15750	Çapı 0,6"	Kriko No 2781157		
Kriko Payı 750	Tipi 270 k	Tipi :ZPE-7A/VSL		
Serb. Boy 8000	Adedi 4	Kapasitesi :104 TON		
Kök Boyu 7000	E Modülü 19000 kg/mm2	Piston Alanı :203,6 cm2		
Yük/Uzama Okumaları	Basınç (Kg./cm.)	Test Ölçümü (mm.)	Uzama (mm)	
	0	88 80		
4,4	23	94 85	5	
22	110	112 100	15	
44	217	133 118	18	
48,4	237	138 124	6	
55	269	144		
55	269	144		
55	269	144		
48,4	237	143		
44	217	142		
22	110	128		
4,4	23	110		
Kütleme Yüklü :	48400 kg		44	
PAL :	50,00			
TAL :	39,80			
MAX :	55,72			
MIN :	31,84			

Şekil 6-14 AD1E/5-8 ve AD1E/6-8 Ankrajlarının deney raporları

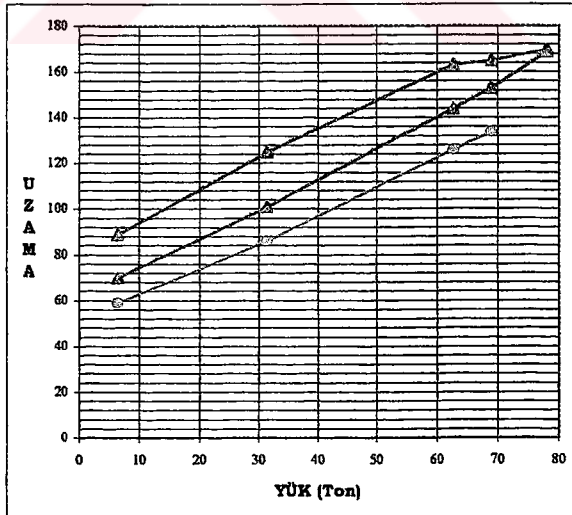
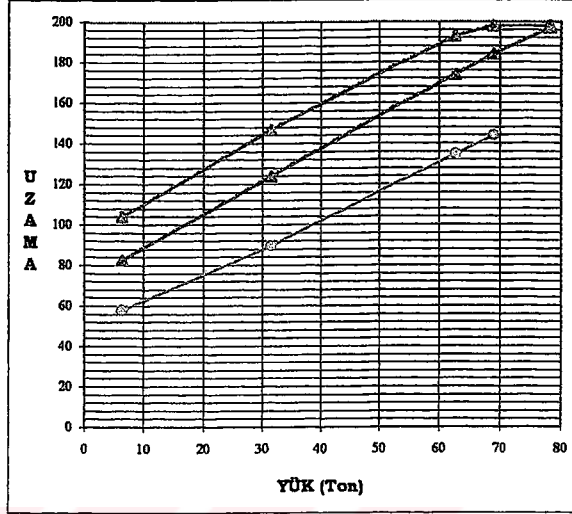
4. Levent istasyonunda kullanılan ankraj sistemlerinin 1.25P deney yükünde yapması beklenen ve ölçülen uzama değerleri Çizelge 6-3 de karşılaştırılmış ve ankraj sistemlerinin hepsinin istenen kriterleri sağladığı görülmüştür.

Çizelge 6-3 Ölçülen uzama değerleri ile beklenen min. ve max. uzama değerleri

Ankraj No	Min Uzama	Max. Uzama	Ölçülen Uzama	Onay
	$\Delta_{\min}=0,8.(P.L) / A.E$	$\Delta_{\max}=P.(l_f + (l_{\text{kök}} / 2)) / A.E$		
	cm.	cm.	cm.	
AD1E/1-8	6,5132	9,951	8,3	Kabul
AD1E/2-8	6,5132	9,951	7,5	Kabul
AD1E/3-8	6,1	9,434	7,8	Kabul
AD1E/4-8	5,273	8,4	6,2	Kabul
AD1E/5-8	4,445	7,366	6,1	Kabul
AD1E/6-8	3,618	6,332	5,6	Kabul

Şekil 6-15, Şekil 6-16 ve Şekil 6-17 de verilen raporlar ise Levent istasyonunda uygulanmış olan ankrajların raporlarıdır. 4. Levent istasyonu kazı ortamı ile aynı ortama sahip olan Levent istasyonunda uygulanan ankrajlarda da 4 adet 0.6" çapında halat kullanılmış ve 687,5 kN. luk kilitleme yükünde kilitlemişlerdir. Levent istasyonunda kullanılan ankrajların da istenen kriterleri bireysel olarak sağladığı görülmüştür.

TARİH :	31/10/94	ŞANTIYE :LEVENT	ANKRAJ NO :	AD2E/9-45
ANKRAJ BİLGİLERİ	ÖNGERME DEMETİ	GERME KRIKOSU	NOT	
Toplam Boy 23750	Çapı 0,6"	Kriko No :GP9312167		
Kriko Payı 750	Tipi 270 k	Tipi :Hid.Kitleme		
Serb. Boy 15000	Adedi 4	Kapasitesi :100 TON		
Kök Boyu 8000	E Modülü 19000 kg/mm2	Piston Alanı :165 cm2		
Yük/Uzama Okumaları	Basınç (Kg./cm)	Test Ölçümü (mm.)	Uzama (mm)	
	0	80 54		
6,25	45	83 58	4	
31,25	190	124 90	32	
62,5	380	174 135	45	
68,75	415	184 144	9	
78	475	197		
78	475	198		
78	475	198		
68,75	415	198		
62,5	380	193		
31,25	190	147		
6,25	45	104		
Kilitleme Yüklü :	68750 kg		90	
PAL :	104,00			
TAL :	101,77			
MAX :	127,61			
MIN :	81,41			
TARİH :	15/11/94	ŞANTIYE :LEVENT	ANKRAJ NO :	AD2E/10-61
ANKRAJ BİLGİLERİ	ÖNGERME DEMETİ	GERME KRIKOSU	NOT	
Toplam Boy 22750	Çapı 0,6"	Kriko No :GP9312167		
Kriko Payı 750	Tipi 270 k	Tipi :Hid.Kitleme		
Serb. Boy 14000	Adedi 4	Kapasitesi :100 TON		
Kök Boyu 8000	E Modülü 19000 kg/mm2	Piston Alanı :165 cm2		
Yük/Uzama Okumaları	Basınç (Kg./cm)	Test Ölçümü (mm.)	Uzama (mm)	
	0	67 56		
6,25	45	70 59	3	
31,25	190	101 86	27	
62,5	380	144 126	40	
68,75	415	153 134	8	
78	475	169		
78	475	169		
78	475	170		
68,75	415	165		
62,5	380	163		
31,25	190	125		
6,25	45	89		
Kilitleme Yüklü :	68750 kg		78	
PAL :	86,00			
TAL :	95,31			
MAX :	121,15			
MIN :	76,25			



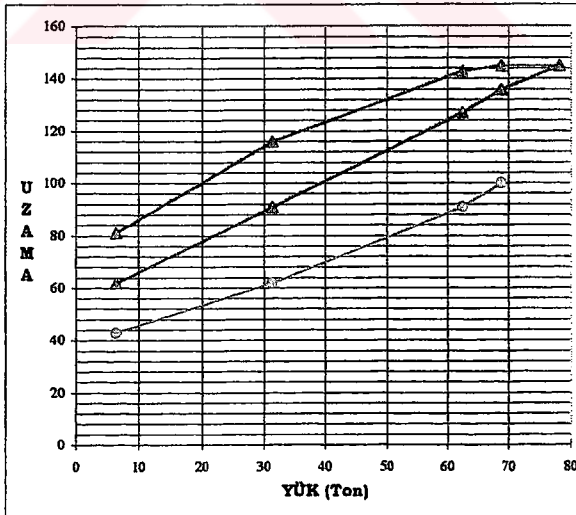
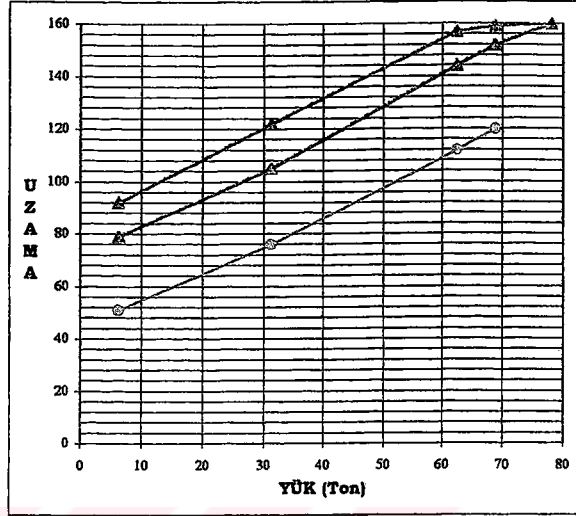
Şekil 6-15 AD2E/9-45 ve AD2E/10-61 Ankrajlarının deney raporları

TARİH :	5/12/94	ŞANTIYE :LEVENT	ANKRAJ NO :	AD2E/11-63	
ANKRAJ BİLGİLERİ		ÖNGERME DEMETİ		GERME KRIKOSU	NOT
Toplam Boy	20750	Çapı	0,6"	Kriko No	:GP9312167
Kriko Payı	750	Tipi	270 k	Tipi	:Hidro-Mek
Serb. Boy	12000	Adedi	4	Kapasitesi	:100 TON
Kök Boyu	8000	E Modülü	19000 kg/mm2	Piston Alanı	:165 cm2
Yük/Uzama Okumaları		Basınç (Kg./cm.)	Test Ölçümü (mm.)	Uzama (mm)	
	0	75	47	4	
6,25	37	79	51		
31,25	186	105	76	25	
62,5	390	144	112	36	
68,75	430	152	120	8	
78	473	160			
78	473	160			
78	473	160			
68,75	430	159			
62,5	390	157			
31,25	186	122			
6,25	37	92			
Kilitleme Yüklü :	68750 kg.			73	
PAL : 77,00 TAL : 82,38 MAX : 108,23 MIN : 65,91					

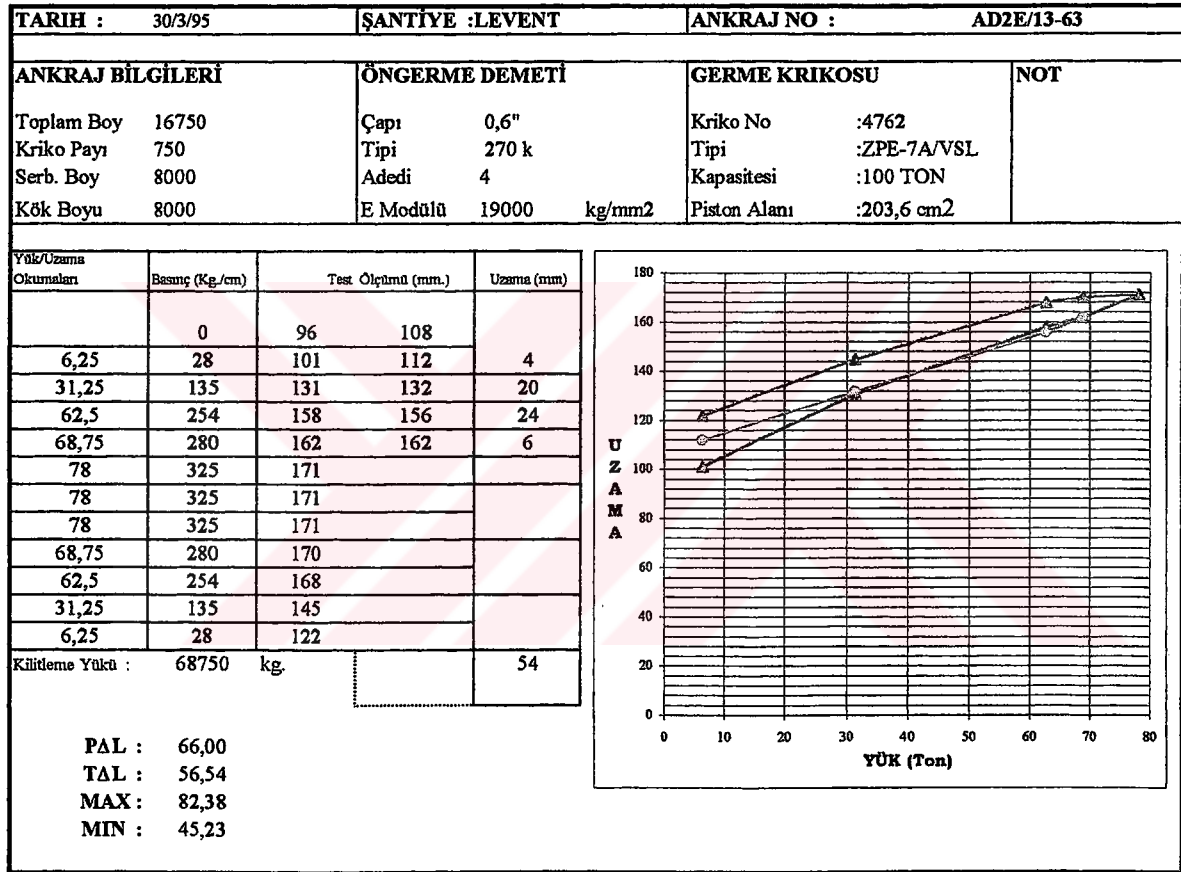
YÜK (Ton)	Uzama (mm) - Top Series (Triangles)	Uzama (mm) - Middle Series (Squares)	Uzama (mm) - Bottom Series (Circles)
0	0	0	0
10	90	80	50
20	105	95	65
30	120	110	80
40	135	125	95
50	150	140	110
60	160	150	120
70	165	155	125
80	168	158	128

TARİH :	19/12/94	ŞANTIYE :LEVENT	ANKRAJ NO :	AD2E/12-60	
ANKRAJ BİLGİLERİ		ÖNGERME DEMETİ		GERME KRIKOSU	NOT
Toplam Boy	18750	Çapı	0,6"	Kriko No	:GP9312167
Kriko Payı	750	Tipi	270 k	Tipi	:Hidro-Mek.
Serb. Boy	10000	Adedi	4	Kapasitesi	:100 TON
Kök Boyu	8000	E Modülü	19000 kg/mm2	Piston Alanı	:165 cm2
Yük/Uzama Okumaları		Basınç (Kg./cm.)	Test Ölçümü (mm.)	Uzama (mm)	
	0	54	40	3	
6,25	37	62	43		
31,25	186	91	62	19	
62,5	390	127	91	29	
68,75	430	136	100	9	
78	473	145			
78	473	145			
78	473	145			
68,75	430	145			
62,5	390	143			
31,25	186	116			
6,25	37	81			
Kilitleme Yüklü :	68750 kg.			60	
PAL : 82,00 TAL : 69,46 MAX : 95,31 MIN : 55,57					

YÜK (Ton)	Uzama (mm) - Top Series (Triangles)	Uzama (mm) - Middle Series (Squares)	Uzama (mm) - Bottom Series (Circles)
0	0	0	0
10	80	60	40
20	100	75	55
30	115	90	70
40	130	105	85
50	140	120	95
60	145	130	100
70	148	135	105
80	150	138	108



Şekil 6-16 AD2E/11-63 ve AD2E/12-60 Ankrajlarının deney raporları



Şekil 6-17 AD2E/13-63 Ankrajının deney raporları

Şekil 6-15, Şekil 6-16 ve Şekil 6-17 de raporları verilmiş olan ankrajların 1.25P deney yükündeki uzama değerlerine göre karşılaştırılması ise Çizelge 6-4 de verilmiştir.

Çizelge 6-4 Ölçülen uzama değerleri ile beklenen min. ve max. uzama değerleri

Ankraj No	Min Uzama	Max. Uzama	Ölçülen Uzama	Onay
	$\Delta_{min}=0,8.(P.L) / A.E$	$\Delta_{max}=P.(l_f + (l_{köt} / 2)) / A.E$		
	cm.	cm.	cm.	
AD2E/9-45	9,237	14,478	11,8	Kabul
AD2E/10-61	8,65	13,745	10,3	Kabul
AD2E/11-63	7,477	12,279	8,5	Kabul
AD2E/12-60	6,305	10,813	9,1	Kabul
AD2E/13-63	5,132	9,347	7,5	Kabul

Ankraj sistemlerinin 1.25P yüküne göre hesaplanan ve ölçülen uzama değerleri ile karşılaştırmasına göre ankraj sistemlerinin başarılı olduğu görülmektedir.

Ankraj deneylerinin yanı sıra ankrajlı destek sistemlerinde kullanılan optik gözlemler ile duvar arkasında oluşan yatay ve düşey hareketler gözlemlenmiştir. Kazı alanına çok yakın konumda bulunan ve temel seviyesi kazı seviyesinden çok yukarıda olan, dolayısıyla temel yükünün destek sistemine doğrudan etki ettiği yerlerde yük hücreleri yerleştirilerek ankraj sistemlerindeki olası yük değişimleri izlenmiştir. Ankraj deneylerindeki verilere göre kabul edilen ankrajlı duvarların zaman içersinde ve kazı derinliği arttıkça yatayda ve düşeydeki hareketleri gözlenmiştir. Ayrıca kazı çevresinde bulunan binaların olası hareketlerinin çatlak ölçerler ile gözlemlenmesi yapılmıştır. Gerekli görülen bazı yerlerde inklinometre ve yatay ekstansometre aletleri kurularak daha ayrıntılı gözlemler yapılmıştır.

Bir bütün olarak davranışı gözlemlenmiş olan kazı destek sistemlerinde ankrajlı duvarların arkasında bulunan zemin veya kaya ortamında yatay ve

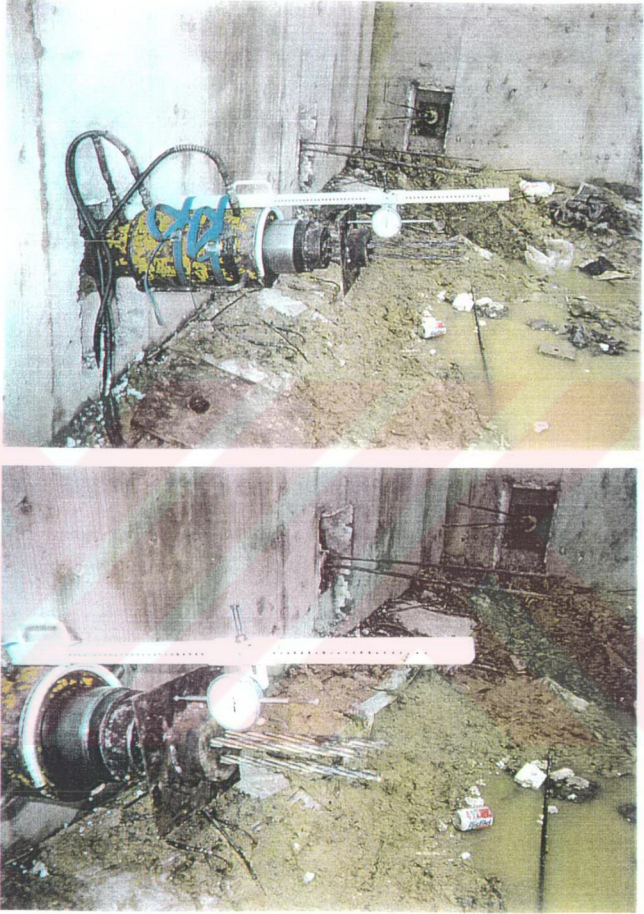
düşey doğrultuda oluşan hareketler yapılmış olan gözlemlerlerde görülmüştür. Bu hareketlerin, bireysel olarak ankraj deney kriterlerini sağlamış olan ankraj sistemlerinin bulunduğu yerlerde oluşmasının ankraj sistemlerinin tekil davranışlarından kaynaklanmadığı düşünülmektedir. Bu hareketlere karşı önerilen önlemler Bölüm 7.3 de ele alınmıştır.

6.3 Yabancı Şartnamelere Göre Arazide Uygulanan Ölçüm Sistemi ve Deney Yöntemi

6.3.1 Amaç

Ülkemizde yapılan ankraj uygulamaları ve bunların deneylerinin mevcut bir şartnameye göre yapılmaması nedeniyle uygulayıcıların kullanmakta oldukları ankrajlı destek sistemlerinin yabancı şartnamelere göre nasıl bir performans gösterdiğini araştırmak üzere yabancı bir şartnamenin ankraj deney yöntemleri kullanılmıştır. Uygulanması en kolay ve ülkemizdeki ankraj deneylerine sistem olarak en yakın olan Amerikan Ulaştırma Dairesi Teknik Raporu, (1984) nda tariflenen deney yöntemleri kullanılmıştır. Deneyler, ankrajların üretim öncesi deneyleri değil, üretim sonrası davranışlarını belirlemek üzere kullanılan performans ve kanıt deneyleri olarak seçilmiştir.

Bu şartnamede performans ve kanıt deneyleri için belirlenmesi gereken verileri elde etmek için, ülkemizde genelde kullanılan çelik şerit metre yerine, 0.01 mm. duyarlılık uzama ölçümü yapabilen komparatörlü bir sistem geliştirilmiştir (Şekil 6-18). Bu sistemde kullanılan komparatörün saati üzerinden 0.01 mm. duyarlılıkla belirlenen uzama ölçümleri, çelik şerit metre ile mm. duyarlılığında işçilerin yorumuna göre yapılan uzama ölçümlerinden daha gerçekçi sonuçlar sağlamıştır.



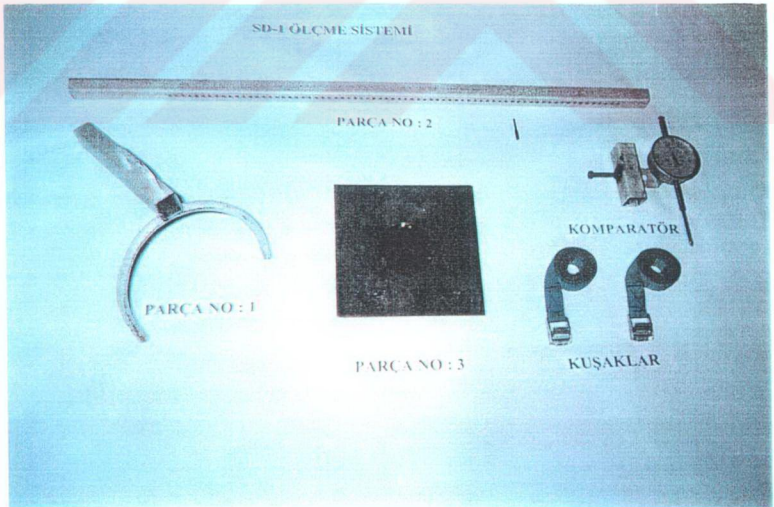
Şekil 6-18 Komparatörlü ölçme sistemi (SD-1).

Çelik şerit metre ile yapılan gözlemlerde, krip etkisinin belirlenmesi için beklenmesi gerekli olan 50 dakikalık sürelerde, mm. seviyesinde bir değişim gözlenemediği için, uygulayıcılar krip etkisi olmadığı yorumunu yapmaktadırlar. Dolayısıyla bu 50 dakikalık krip deneyi süresi 15 dakika ile değiştirilmekte iken geliştirilmiş olan sistem ile krip etkisi rahatça görülebilmektedir.

Geliştirilen sistem SD-1, ülkemizde kullanılmakta olan mevcut ölçme sistemleri ile kıyaslandığında oldukça duyarlıklı ölçümler elde edilmesini sağlamakta olup, kullanılan deney yönteminde istenilen şartları olabildiğince az hata ile sağlamayı amaçlamaktadır.

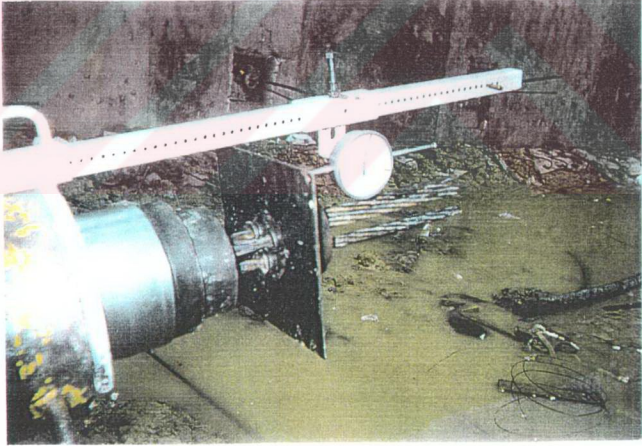
6.3.2 Tasarlanan ve uygulanan ölçme sistemi

SD-1 üç parçadan oluşmaktadır (Şekil 6-19). Birinci parçası 30x30 mm. boyutlarında ve 2 mm. et kalınlığında, ikinci parçası 25x25 mm. boyutlarında 2 mm. et kalınlığında kutu profillerden oluşan teleskoptur. Üçüncü parça, ankraj sisteminde kullanılan bir ankraj kafasına kaynatılmış olan 20x20 mm. lik 3 mm. et kalınlığında ve ortası kafanın halat deliklerini açıkta bırakacak şekilde delik olan sac levhadan oluşmaktadır. Sistemde kullanılan kutu profillerin et kalınlığı ve kendi boyutları, içiçe giren parçalar arasında 1 mm. lik boşluk oluşmasına neden olurken, astar boya uygulanarak sistemin hareketine olanak verecek şekilde boşluklar en aza indirilmiştir.



Şekil 6-19 SD-1 ölçme sistemi parçaları.

Birinci parça, ankraj tendonlarını geren pistonun sabit olan kısmı üzerine iki kuşak ile sabitlenmektedir. Pistonun dış çapı büyüklüğündeki hilal pistona yaslanırken, birinci parçaya gönyeli olarak kaynaklanmış olduğu için sistemin halatlara paralelliğini sağlamaktadır. Piston tendonlara geçirilip germe kafası ile sabitlendikten sonra halatlara birer tane grip ters olarak yerleştirilmekte ve SD-1' in üçüncü parçası bu griplere yaslanmaktadır. Gripler, halatların eğimli durması nedeniyle SD-1' in üçüncü parçasının ölçüm sırasında kaymaması için ters yerleştirilmektedir. SD-1' in ikinci parçası da birinci parça içine konulmaktadır. Komparatör ise ikinci parça üzerinde hareket edebilen 30x30 mm. boyutlarında 2 mm. et kalınlığındaki 10 cm boyundaki kutu profili bağlıdır. Komparatör ayağının uzama ölçümlerinin alınmasını sağlayacak olan üçüncü parçaya dayanması ile komparatörün bağlı bulunduğu hareket edebilen parça üzerindeki sıkma kolu sıkılarak komparatör sabitlenmektedir. (Şekil 6-20).



Şekil 6-20 SD-1 parçalarının yerleşimi.

Tendona farklı gripler ile sabitlenmiş olan üçüncü parça aracılığı ile tendon uzamalarının ölçüldüğü bu sistemde , germe kafalarındaki griplerde veya yük

iletme sisteminde pistondan etki eden yük nedeniyle oluşan kayıplar veya kazanımlar yapılan ölçüme etki etmemektedir. Bir çok yabancı şartnamenin önerdiği, sistem dışından ölçümün uygulanmasının hem zorluğu hem de olası olumsuz etkileri düşüncesiyle SD-1 sisteme bağlı olarak ölçüm yapmaktadır.

Yabancı şartnamelerde ankraj ve yük iletme sistemine bağlı olmadan kurulacak olan bir ölçme sistemi, tendondaki uzama değeri ile birlikte ankraj duvarındaki ve ankraj elemanlarındaki hareket miktarlarını da vermektedir. Oysa, SD-1' in bir kısmının yükün halatlara etkitildiği noktanın arkasında, bir kısmının da önünde ve tamamen sisteme bağlı olması nedeniyle sadece tendonda meydana gelen hareketin ölçülmesi sağlamaktadır. Duvar veya ankraj elemanlarının etkiyen yük nedeniyle yapacağı hareketi SD-1 de yapacağı için ölçülen değerlerde bunlar bulunmamaktadır.

6.3.3 Uygulanan arazi deney yöntemi

Arazi uygulamalarında kullanılan deneyler, Bölüm 5.4.5 de anlatılan "Performans Deneyleri" ve "Kanit Deneyleri" şeklinde uygulanmıştır. Bu deneylerde, özellikle kriپ etkisinin araştırılması amacıyla beklenmesi gerekli olan 50 dakikalık süreler uygulayıcıları yapmış oldukları iş programlarından oldukça geriye düşürmesi nedeniyle şantiyelerden alınan deney sayısı oldukça sınırlı kalmıştır.

Üreticiler, yapmış oldukları tasarımların doğruluğunu ve güvenlik katsayısını belirlemek için, üretim öncesi deneyleri uygulamadıkları için ankrajların kapasitelerini de bilememektedirler. Bu nedenle ankraj deneylerinde 1.25P yükünün üzerine çıkılarak deney yapılmasına uygulayıcılar tarafından sıcak bakılmamaktadır. Bu nedenle yapılmış olan bütün deneylerde, deney cinsi ve zemin türü dikkate alınmadan 1.25P deney yükü kullanılmak zorunda kalmış, bu deney yükünde kriپ etkisi araştırılmıştır.

Bunun tek nedeni yapılan ankrajların, bulundukları ortama göre kapasitelerinin bilinmemesidir. Oysa, mühendisliğin ilk prensibi optimum çözümdür. Özellikle İstanbul jeolojisinde, zemin yapısında karşılaşılabilecek çeşitlilik nedeniyle oluşabilecek olumsuz sonuçlara karşı önceden önlem alınabilmesi için ankrajlara tasarım yükü üzerinde yüklerde deney uygulanması gerekli olduğu düşünülmelidir.

Bu koşullarda ve deney yönteminde yapılmış olan deneylerden elde edilen veriler 6.3.4' de verilmiştir. Alınan bu veriler de 5.4.8' de açıklanan kriterler ile yorumlanmıştır.

6.3.4 Uygulanan ölçüm sistemi ve deney yöntemine göre alınan deney sonuçları

Geliştirilmiş olan ölçüm sistemiyle, 6.3.3' te açıklanan deney yöntemine göre şantiyelerden alınan yük-uzama verilerinin olabildiğince farklı ortamlardan alınması amaçlanmıştır. Deneylerin uzun sürmesi ve uygulamaların oldukça maliyetli olması nedeniyle ancak iki farklı ortamda kurulu bulunan şantiyeden veri alınabilmıştır. Bu şantiyelerden bir tanesi İstanbul' da Zincirlikuyu' da, diğeri de Maslak' ta bulunmaktadır.

İstanbul jeolojisinde karşılaşılan durumlardan en çok dikkat edilmesi gereken, ortamın her an değişiklik gösterebilmesidir. Özellikle İstanbul Metrosu İnşaatı çalışmalarında, tünel kazılarında zemin cinsi ve yapısının her an değişim göstermesi ile, en zayıf kayadan birden bire mikrogabro veya diabaz gibi magmatik kayaç sokulmalarına girilmesi ile karşılaşılabilmektedir. İstanbul Metrosu' nun geçtiği güzergaha çok yakın bir konumda bulunan Zincirlikuyu şantiyesinde de buna benzer durumların ankraj delgilerinin yapımı sırasında rastlanılmıştır.

Kazının yapılacağı alanda, zemin etüdü için yapılan sondajlar düşey doğrultuda yapıldığı için yapılmış olan zemin etüdleri sadece kazıdan çıkarılacak olan zemin cinsinin tahmin edilmesine yardımcı olmaktadır. Oysa, duvarları ankraj sistemi ile desteklenecek olan kazının, daha çok kazı yüzeyleri gerisindeki ortam hakkında bilgiye gereksinme vardır. Ankraj sistemlerinin kazı yüzeyinin 15-30 m. gerisine kadar uzanarak yükleri ilettiği düşünüldüğünde İstanbul jeolojisi gibi çeşitlilik gösteren bir ortamda konu daha da önemli olmaktadır.

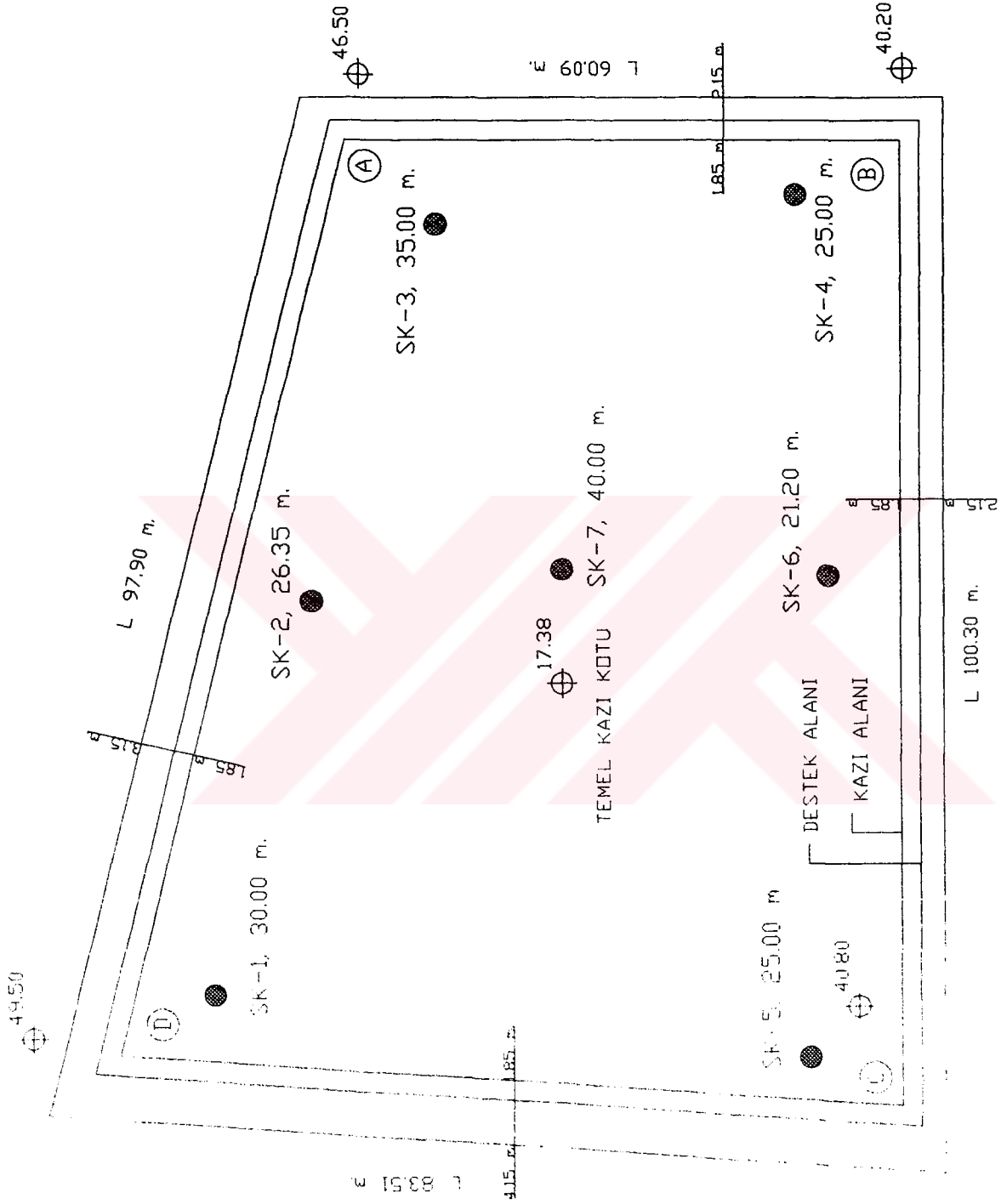
6.3.4.1 İstanbul - Zincirlikuyu şantiyesi

İstanbul-Zincirlikuyu' da yapılması tasarlanan bir iş merkezinin 32.5 m.' ye varan temel çukuru kazısında, kazı destekleme sistemi olarak önerilmeli ankrajlı, mini kazıklı ve betonarme kuşak kirişli sistem kullanılmıştır.

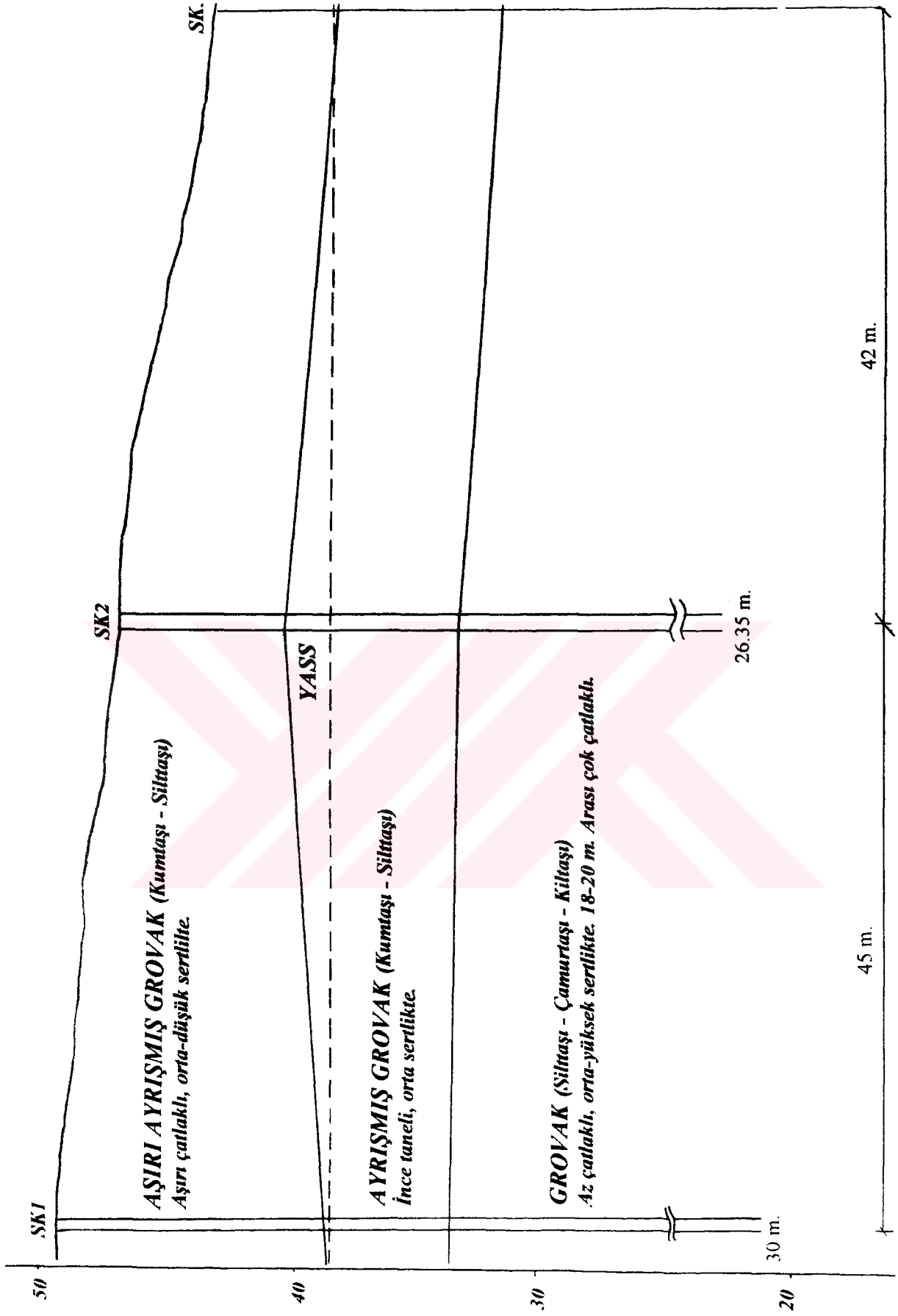
Yaklaşık 6000 m² lik bir alanı kapsayan bu temel kazısı yapılmadan önce 7 adet zemin araştırma sondajı yapılmıştır. 40 m. yi bulan derinliklerde uygulanan sondajlar ile kazının yapılacağı alanın jeolojisi hakkında bilgi edinilmiştir. Kazının yapılacağı yerin hakim formasyonunun Trakya formasyonu olduğu ve yukarıdan aşağıya doğru aşırı ayrışmış grovak, ayrışmış grovak ve grovak şeklinde istiflenmiş olduğu belirlenmiştir. Kazı alanında yapılmış olan sondajların plandaki konumları Şekil 6-21 de verildiği gibidir. Ayrıca bu kazı alanında sondaj loglarına göre hazırlanmış olan tahmini jeolojik kesitler de Şekil 6-22 ve Şekil 6-23 de verilmiştir. Bu istiflenmeye göre değişik seviyelerdeki zemin parametreleri

	ϕ	γ	c
0-10 m. :	32°	1.8 t/m ³	0 kPa.
10-20 m. :	37°	2.0 t/m ³	0 kPa.
>20 m. :	40°	2.2 t/m ³	0 kPa.

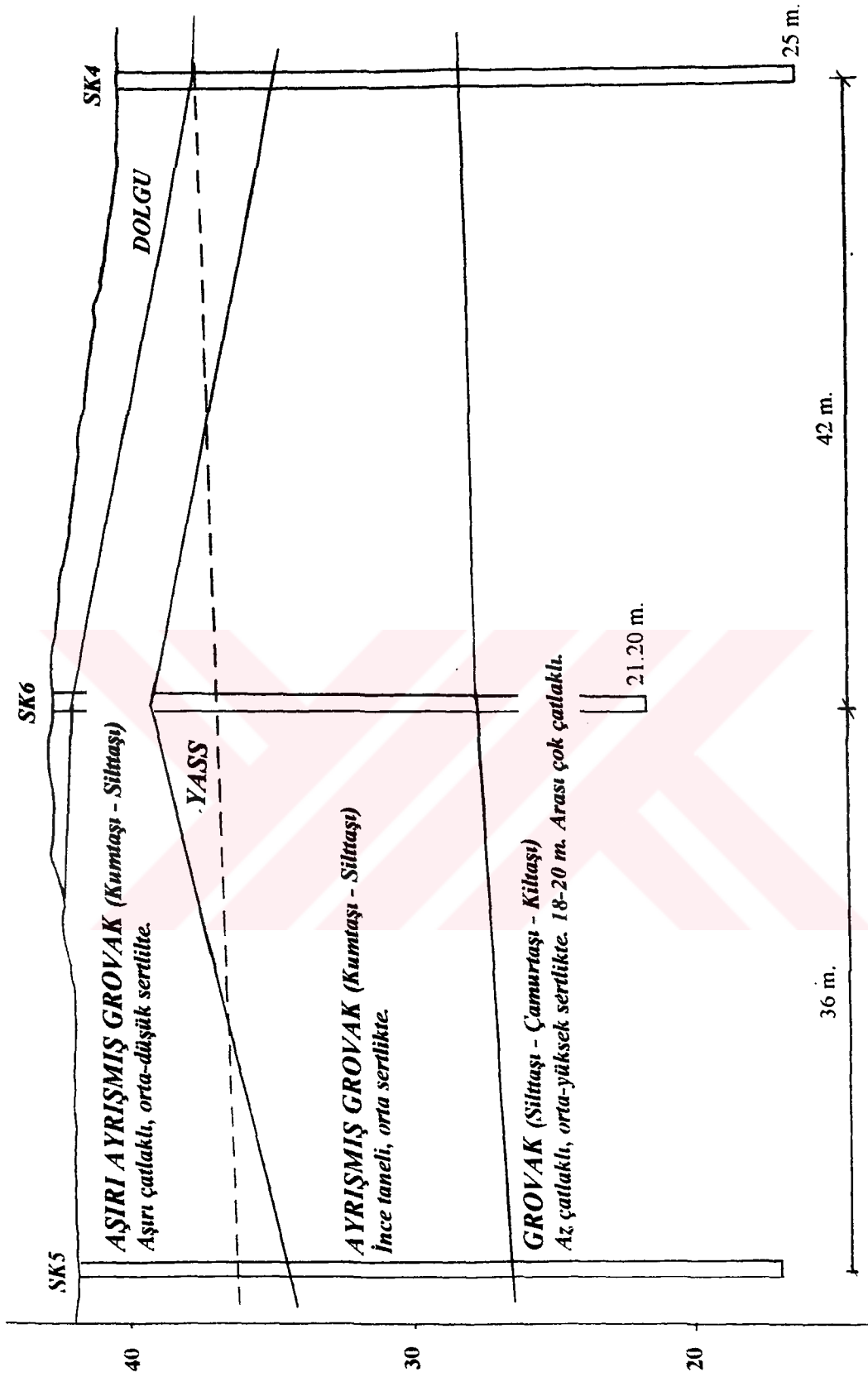
olarak alınmıştır.



Şekil 6-21 Zincirlikuyu şantiyesi sondaj yerleşim planı



Şekil 6-22 DA duvarı jeolojik kesiti



Şekil 6-23 BC duvarı jeolojik kesiti

DA duvarı boyunca SK1-SK2-SK3 sondaj verileri kullanılarak hazırlanmış olan jeolojik kesit, üzerinde deney uygulanmış olan DA-29, DA-30, DA-31 no' lu ankrajların içinde bulunduğu ortamın tahminidir. Delgi sırasında yapılmış olan gözlemlere göre Performans deneyi uygulanan, 2. palye 4. kademe- de bulunan DA-29 no' lu ankraj, duvar arkasında mikrogabro ortamına kadar uzanmaktadır. Bu ankraj ile yanyana olan DA-30 ve DA-31 no' lu ankrajlar da aynı ortamda olup bunlara kanıt deneyi uygulanmıştır. Bu ankrajların uzandıkları ortamın mikrogabro olduğu, hem delgi sırasında çıkan malzemeden hem delgi süresinden ve asıl önemlisi ankrajın uzandığı bölgede yapılmış olan eski bir kazı çalışmasında elde edilmiş olan bilgiler yardımıyla söylenebilir. Oysa, sondaj çalışmalarında bununla ilgili bir bilgi bulunmamaktadır. Aynı şantiyenin DA duvarına dik konumdaki bitişik AB duvarının 2. palye 6. kademesinden alınan AB-18 no' lu ankraj sisteminin kökleri grovak ortamında bulunmaktadır. Ankraj sistemlerinin köklerinin bulunduğu ortamın ankraj kapasitesi üzerinde etkili olması nedeniyle desteklenecek kazı yüzeyi arkasındaki ortamın çok dikkatli olarak incelenmesi, araştırılması ve analiz edilmesi gerektiği düşünülmektedir.

Bu ortamda uygulanan ankrajlardan alınan rastgele örnekler üzerinde yapılan performans deneyleri ve kanıt deneyleri sonuçları ve grafikleri Şekil 6-24, Şekil 6-25, Şekil 6-26, Şekil 6-27, Şekil 6-28, Şekil 6-29, Şekil 6-30, Şekil 6-31, Şekil 6-32 ve Şekil 6-33 de verilmektedir.

Uygulanmış olan ankraj deneyleri için istenilen üç kabul kriteri 5.4.5.4 de açıklanmıştır. Bu kabul kriterleri deney raporlarının altında hesaplanmış ve ankrajların bu kriterlere uyup uymadığı incelenmiştir. Deneylerden elde edilen veriler incelendiğinde performans deneyi uygulanmış olan DA-29 no' lu ankraj dışındaki diğer ankrajların kabul şartlarını sağlamış oldukları görülmektedir.

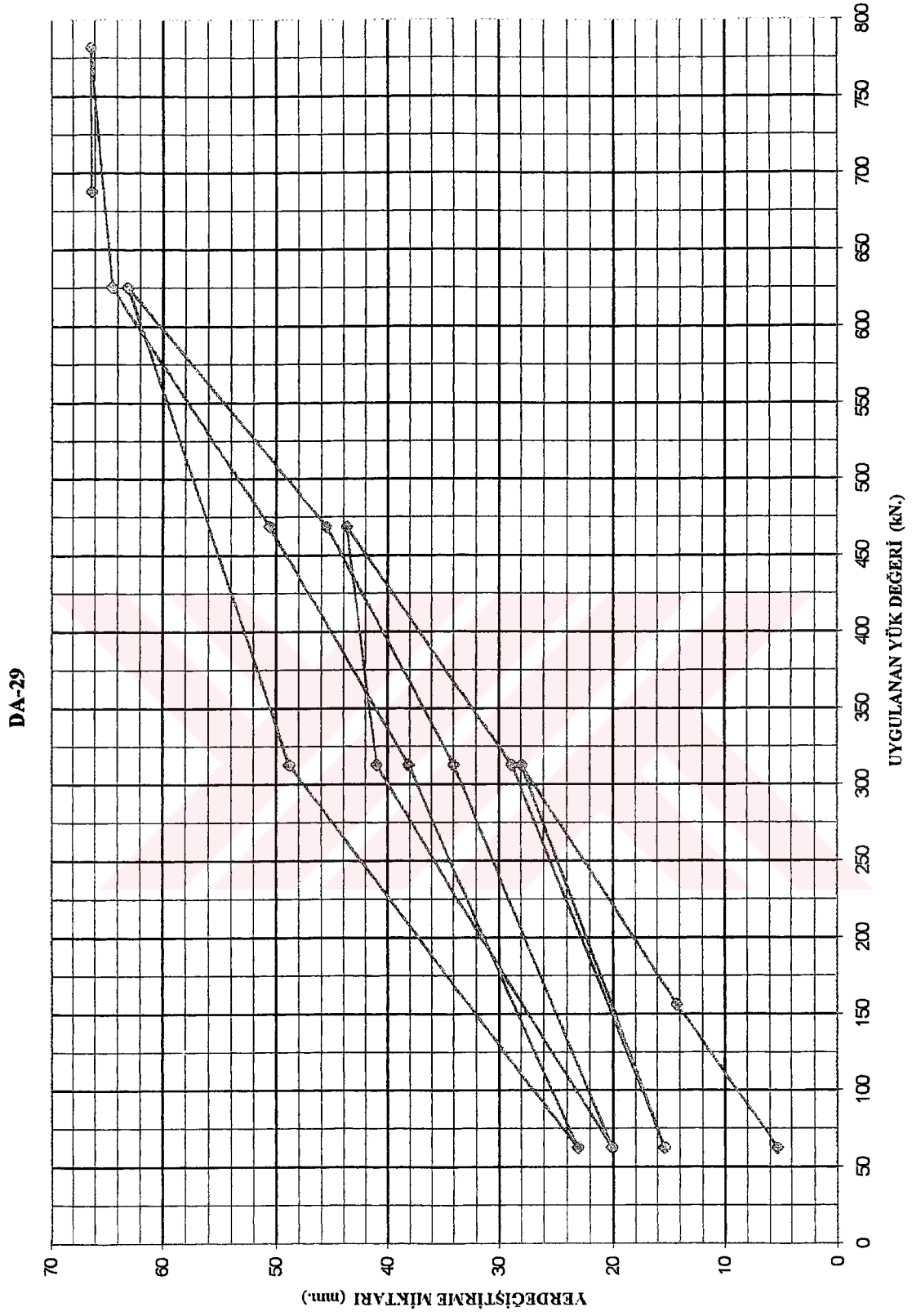
PERFORMANS DENEYİ

ZİNCİRLİKUYU

SAYFA NO. 1

Ankraj No.	DA-29		Mikrogabro					
Sıra No.	2. Palye / 4. Kademe							
Tarih	1 / 4 / 98							
Germe Boyu, L_s ; Elastisite Mod.	13,75 m.	2.000.000 kg/cm ²	m.	kg/cm ²				
Ank. Serbest Boyu, L_B ; Kök Boyu	13 m.	8 m.	m.	m.				
Tendon Kesit Alanı, A	5,6 cm ²		cm ²					
Tasarım Yüğü, P_D ; Deney Yüğü	625 kN.	781,25 kN.	kN.	kN.				
Gözlemci	Samih DEDEOĞLU							
YÜK ADIMLARI	kN	Basınç Saati	Yük Değişimi	Uzama mm.	kN	Basınç Saati	Yük Değişimi	Uzama mm.
AL	62,50	35,5		5,290				
0,25P	156,25	95		14,330				
0,50P	312,50	200		27,960				
AL	62,50	35,5		15,420				
0,50P	312,50	200		28,820				
0,75P	468,75	302		43,690				
0,50P	312,50	200		40,980				
AL	62,50	35,5		20,080				
0,50P	312,50	200		34,010				
0,75P	468,75	302		45,510				
1,00P	625,0	407,5		63,090				
0,50P	312,50	200		48,850				
AL	62,50	35,5		23,050				
0,50P	312,50	200		38,120				
0,75P	468,75	302		50,600				
1,00P	625,0	407,5		64,490				
(0) 1,25P	781,25	515		66,340				
(0,5) 1,25P	781,25	515		66,340				
(1) 1,25P	781,25	515		66,345				
(3) 1,25P	781,25	515		66,340				
(5) 1,25P	781,25	515		66,340				
(10) 1,25P	781,25	515		66,345				
$\Delta l_{10}-\Delta l_1= 0,000$					$\Delta l_{10}-\Delta l_1= 0,000$			
Kohezyonsuz zeminlerde $\Delta l_{10}-\Delta l_1 \leq 1$ mm. ise okuma durdurulur.								
(20) 1,25P	781,25	515		66,340				
(30) 1,25P	781,25	515		66,343				
(40) 1,25P	781,25	515		66,344				
(50) 1,25P	781,25	515		66,342				
$\Delta l= 0,002$					$\Delta l= 0,000$			
1,10P	687,5	450		66,310				
ONAY					ONAY			
ŞART 1	$\Rightarrow \Delta_{min}=0,8.(P.L) / A.E$		E / H	Sonuç	E / H		Sonuç	
	7,6730 cm.				cm.			
	$\Delta l= 5,096$ cm.	H	R		cm.			
ŞART 2	$< \Delta_{max}=P.(l_f+ (l_{kök} / 2)) / A.E$			E				
	12,381 cm.				cm.			
	$\Delta l= 5,096$ cm.	E			cm.			
ŞART 3	$\Delta l_{50}-\Delta l_5 \leq 2$ mm.			D				
	$\Delta l_{50}-\Delta l_5$	0,002 mm.	E		mm.			

Şekil 6-24 DA-29 ankrajı performans deneyi sonuçları



Şekil 6-25 DA-29 ankraji performans deneyi yük-yerdeğiştirme grafiği.

KANIT DENEYİ

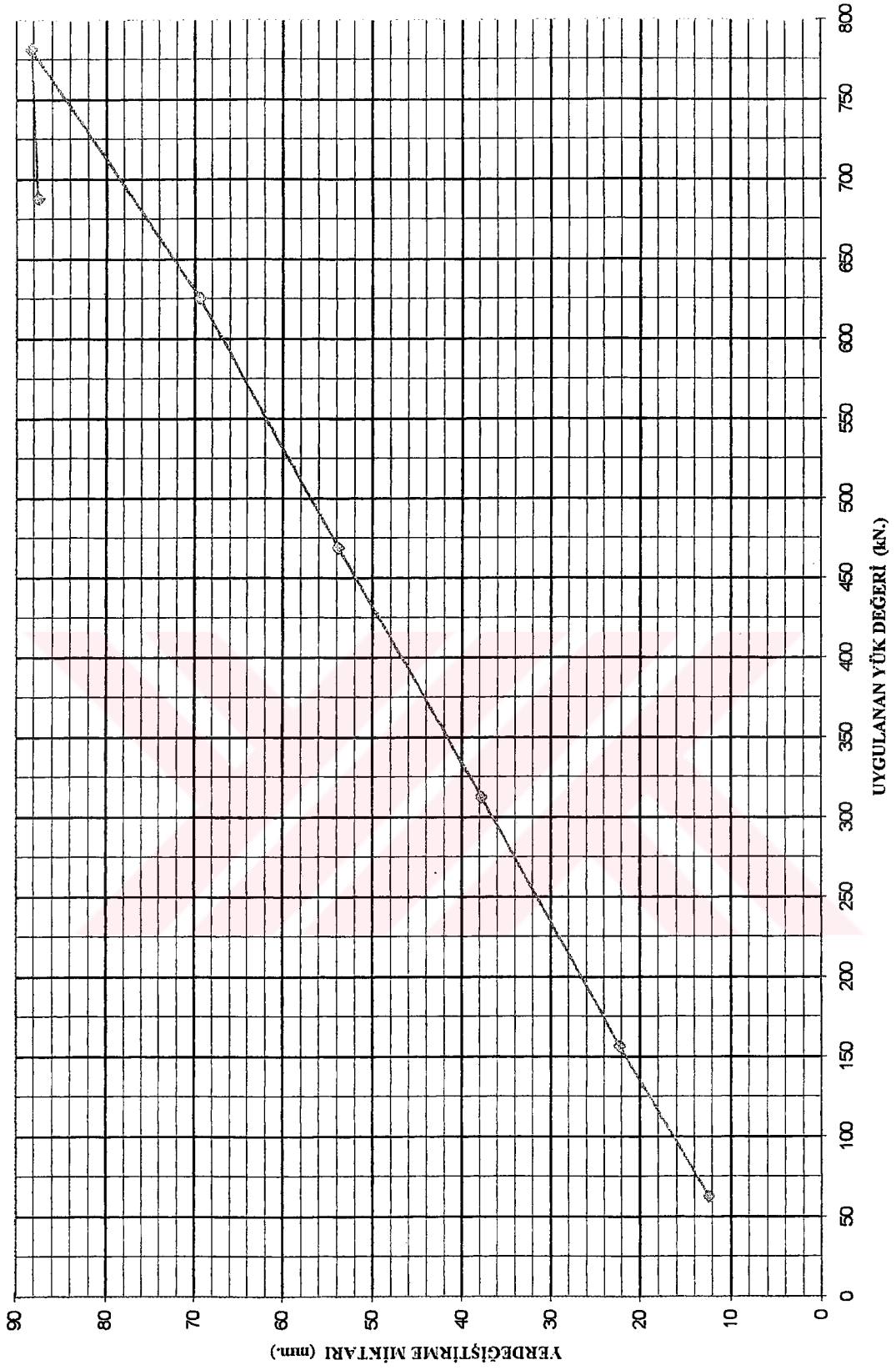
ZİNCİRLİKUYU

SAYFA NO. 2

Ankraj No.	DA-30 Mikrogabro				DA-31 Mikrogabro			
Sıra No.	2. Palıye / 4. Kademe				2. Palıye / 4. Kademe			
Tarih	1 / 4 / 98				1 / 4 / 98			
Germe Boyu, L_s ; Elastisite Mod.	13,75 m.	2.000.000 kg/cm ²			13,75 m.	2.000.000 kg/cm ²		
Ank. Serbest Boyu, L_B ; Kök Boyu	13 m.	8 m.			13 m.	8 m.		
Tendon Kesit Alanı, A	5,6 cm ²				5,6 cm ²			
Tasarım Yüğü, P_D ; Deney Yüğü	625 kN.	781,25 kN.			625 kN.	781,25 kN.		
Gözlemci	Samih DEDEOĞLU				Samih DEDEOĞLU			
YÜK ADIMLARI								
	kN	Basınç Saati	Yük Değişimi	Uzama mm.	kN	Basınç Saati	Yük Değişimi	Uzama mm.
AL	62,50	35,5		12,370	62,50	35,5		16,540
0,25P	156,25	95,0		22,220	156,25	95,0		25,220
0,50P	312,50	200,0		37,770	312,50	200,0		41,110
0,75P	468,75	302,0		53,820	468,75	302,0		57,820
1,00P	625,0	407,5		69,335	625,0	407,5		73,520
(0) 1,25P	781,25	515,0		88,301	781,25	515,0		93,090
(0,5) 1,25P	781,25	515,0		88,301	781,25	515,0		93,088
(1) 1,25P	781,25	515,0		88,300	781,25	515,0		93,080
(3) 1,25P	781,25	515,0		88,285	781,25	515,0		93,058
(5) 1,25P	781,25	515,0		88,285	781,25	515,0		93,040
				$\Delta l_5 - \Delta l_{0,5}$ -0,016	$\Delta l_5 - \Delta l_{0,5}$ -0,048			
Kohezyonsuz zeminlerde $\Delta l_5 - \Delta l_{0,5} > 2$ mm. ise okumaya devam edilir.								
(10) 1,25P	781,25	515,0		88,283	781,25	515,0		
(20) 1,25P	781,25	515,0		88,276	781,25	515,0		
(30) 1,25P	781,25	515,0		88,253	781,25	515,0		
(40) 1,25P	781,25	515,0		88,243	781,25	515,0		
(50) 1,25P	781,25	515,0		88,230	781,25	515,0		
				$\Delta l = -0,071$	$\Delta l = -0,050$			
1,10P	687,5	450		87,458	687,5	450		92,450
ONAY					ONAY			
ŞART 1	$\Rightarrow \Delta_{\min} = 0,8.(P.L) / A.E$	7.6730 cm.	E / H	Sonuç	$\Rightarrow \Delta_{\min} = 0,8.(P.L) / A.E$	7.6730 cm.	E / H	Sonuç
	$\Delta l =$	8.360 cm.	E	K	$\Delta l =$	8.422 cm.	E	K
ŞART 2	$< \Delta_{\max} = P.(l_f + (l_{\text{kök}} / 2)) / A.E$	12.381 cm.		A	$< \Delta_{\max} = P.(l_f + (l_{\text{kök}} / 2)) / A.E$	12.381 cm.		A
	$\Delta l =$	8.360 cm.	E	U	$\Delta l =$	8.422 cm.	E	U
ŞART 3	$\Delta l_{50} - \Delta l_5 \leq 2$ mm.			L	$\Delta l_{50} - \Delta l_5 \leq 2$ mm.			L
	$\Delta l_{50} - \Delta l_5$	-0.055 mm.	E		$\Delta l_{50} - \Delta l_5$	-0.048 mm.	E	

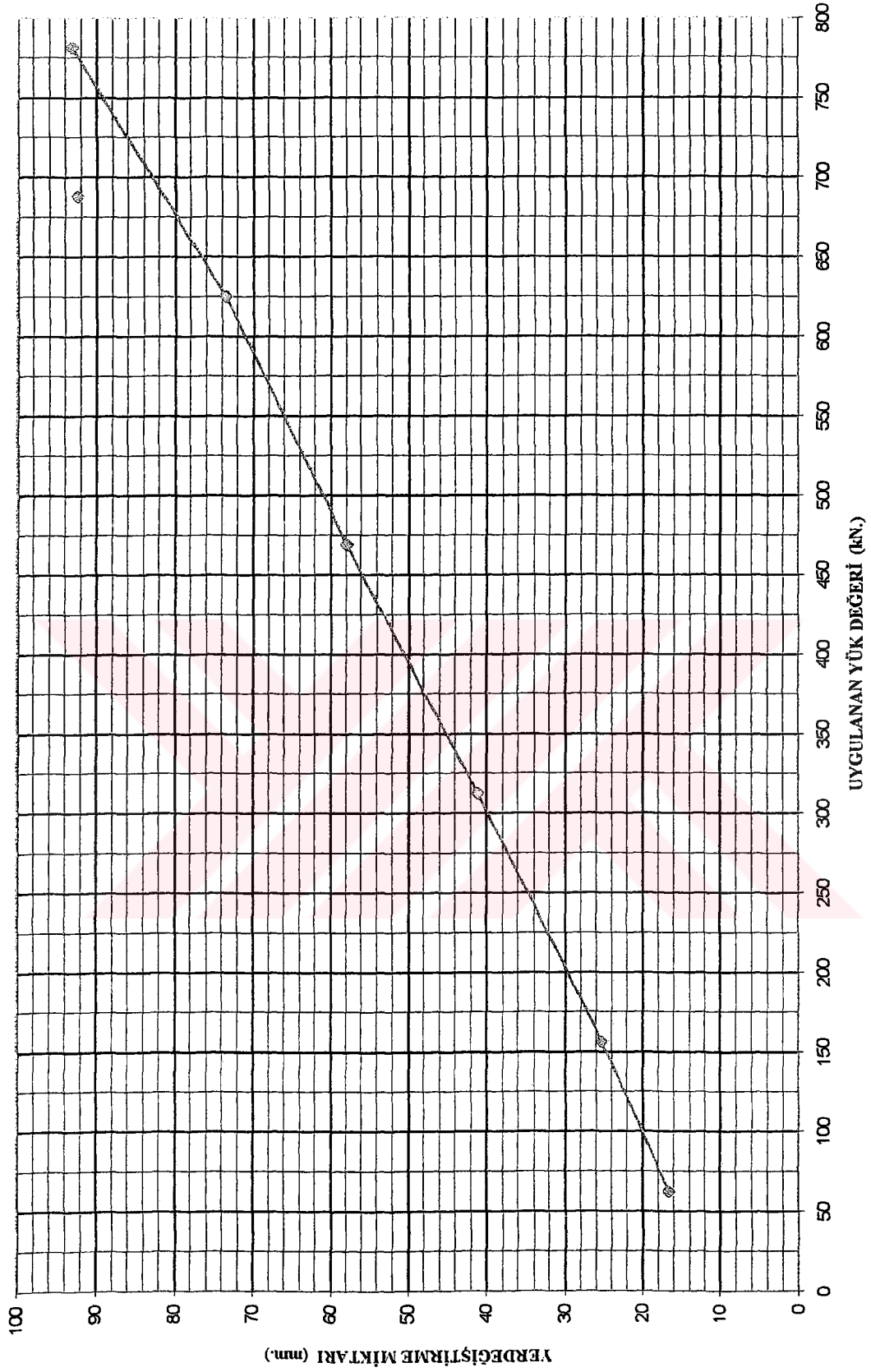
Şekil 6-26 DA-30 ve DA-31 ankrajları kanıt deneyi sonuçları

DA-30



Şekil 6-27 DA-30 ankrajı kanıt deneyi yük-yerdeğiştirme grafiği.

DA-31



Şekil 6-28 DA-31 ankrajı kanıt deneyi yük-yerdeğiştirme grafiği.

PERFORMANS DENEYİ

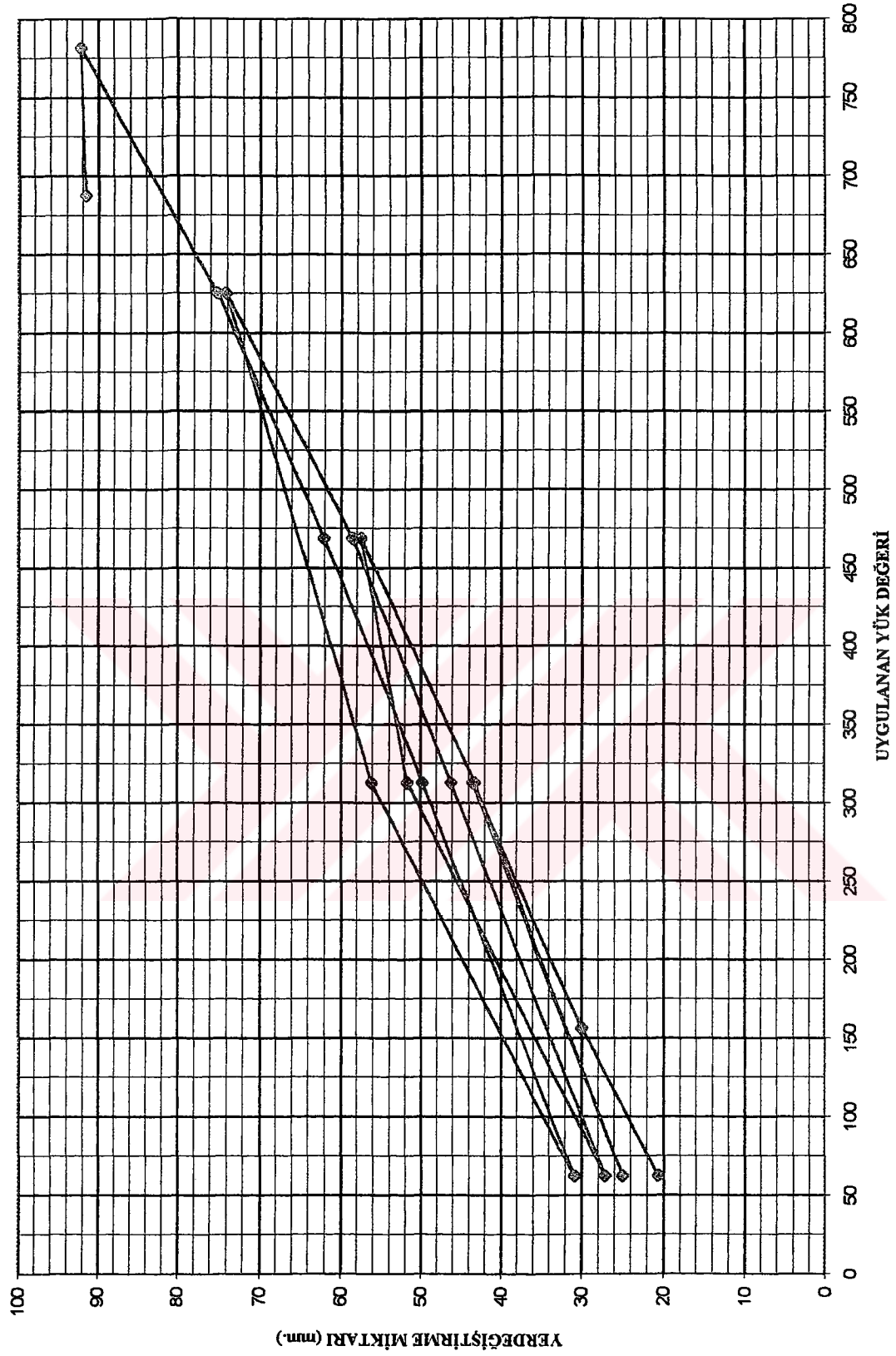
ZİNCİRLİKUYU

SAYFA NO. 3

Ankraj No.	AB-18			Grovak				
Sıra No.	2. Palıye / 6. Kademe							
Tarih								
Germe Boyu, L_s ; Elastisite Mod.	10,75 m.	2.000.000 kg/cm ²	m.	kg/cm ²				
Ank. Serbest Boyu, L_B ; Kök Boyu	10 m.	8 m.	m.	m.				
Tendon Kesit Alanı, A	5,6 cm ²		cm ²					
Tasarım Yüğü, P_D ; Deney Yüğü	625 kN.	781,25 kN.	kN.	kN.				
Gözlemci	Samih DEDEOĞLU							
YÜK ADIMLARI	kN	Basınç Saati	Yük Değişimi	Uzama mm.	kN	Basınç Saati	Yük Değişimi	Uzama mm.
AL	62,50	35,5		20,620				
0,25P	156,25	95		29,930				
0,50P	312,50	200		43,445				
AL	62,50	35,5		25,030				
0,50P	312,50	200		43,215				
0,75P	468,75	302		57,445				
0,50P	312,50	200		51,635				
AL	62,50	35,5		27,115				
0,50P	312,50	200		46,195				
0,75P	468,75	302		58,540				
1,00P	625,0	407,5		74,120				
0,50P	312,50	200		56,150				
AL	62,50	35,5		30,910				
0,50P	312,50	200		49,760				
0,75P	468,75	302		62,060				
1,00P	625,0	407,5		75,200				
(0) 1,25P	781,25	515		92,140				
(0,5) 1,25P	781,25	515		92,150				
(1) 1,25P	781,25	515	509	92,150				
(3) 1,25P	781,25	515	508	92,155				
(5) 1,25P	781,25	515	510	92,160				
(10) 1,25P	781,25	515	509	92,150				
$\Delta l_{10}-\Delta l_1= 0,000$					$\Delta l_{10}-\Delta l_1= 0,000$			
Kohezyonsuz zeminlerde $\Delta l_{10}-\Delta l_1 \leq 1$ mm. ise okuma durdurulur.								
(20) 1,25P	781,25	515	508	92,155				
(30) 1,25P	781,25	515	508	92,153				
(40) 1,25P	781,25	515	508	92,158				
(50) 1,25P	781,25	515	510	92,168				
$\Delta l= 0,028$					$\Delta l= 0,000$			
1,10P	687,5	450		91,618				
ONAY					ONAY			
ŞART 1			E / H	Sonuç			E / H	Sonuç
$\Rightarrow \Delta_{\min}=0,8.(P.L) / A.E$	5,999 cm.				cm.			
$\Delta l=$	6,723 cm.		E	K	cm.			
ŞART 2				A				
$\Delta_{\max}=P.(l_f+(l_{\text{kök}}/2)) / A.E$	10,289 cm.			B	cm.			
$\Delta l=$	6,723 cm.		E	U	cm.			
ŞART 3				L				
$\Delta l_{50}-\Delta l_5 \leq 2$ mm.								
$\Delta l_{50}-\Delta l_5$	0,008 mm.		E		mm.			

Şekil 6-29 AB-18 ankrajı performans deneyi sonuçları

AB-18



Şekil 6-30 AB-18 ankrajı performans deneyi yük-yerdeğiştirme grafiği.

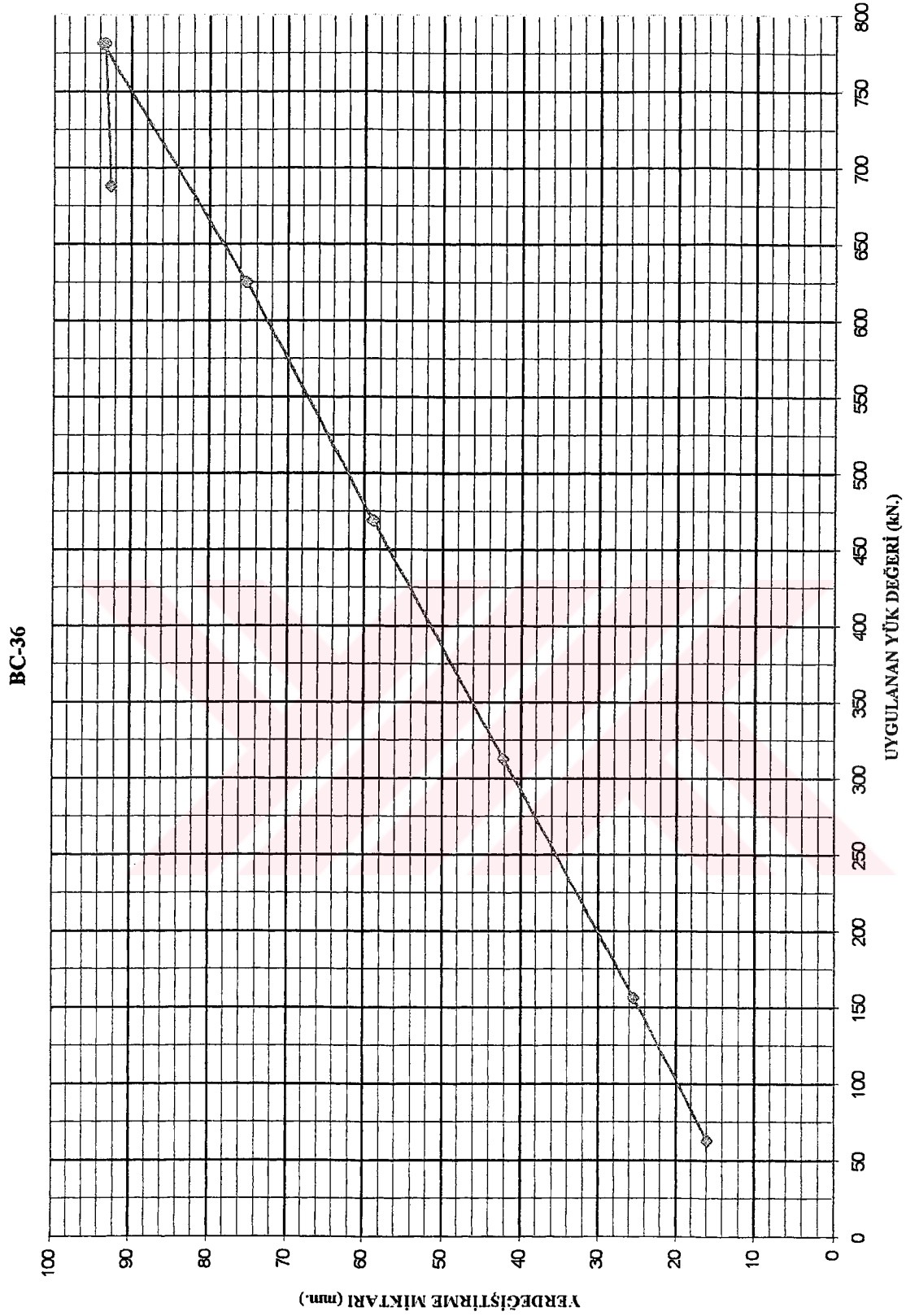
KANIT DENEYİ

ZİNCİRLİKUYU

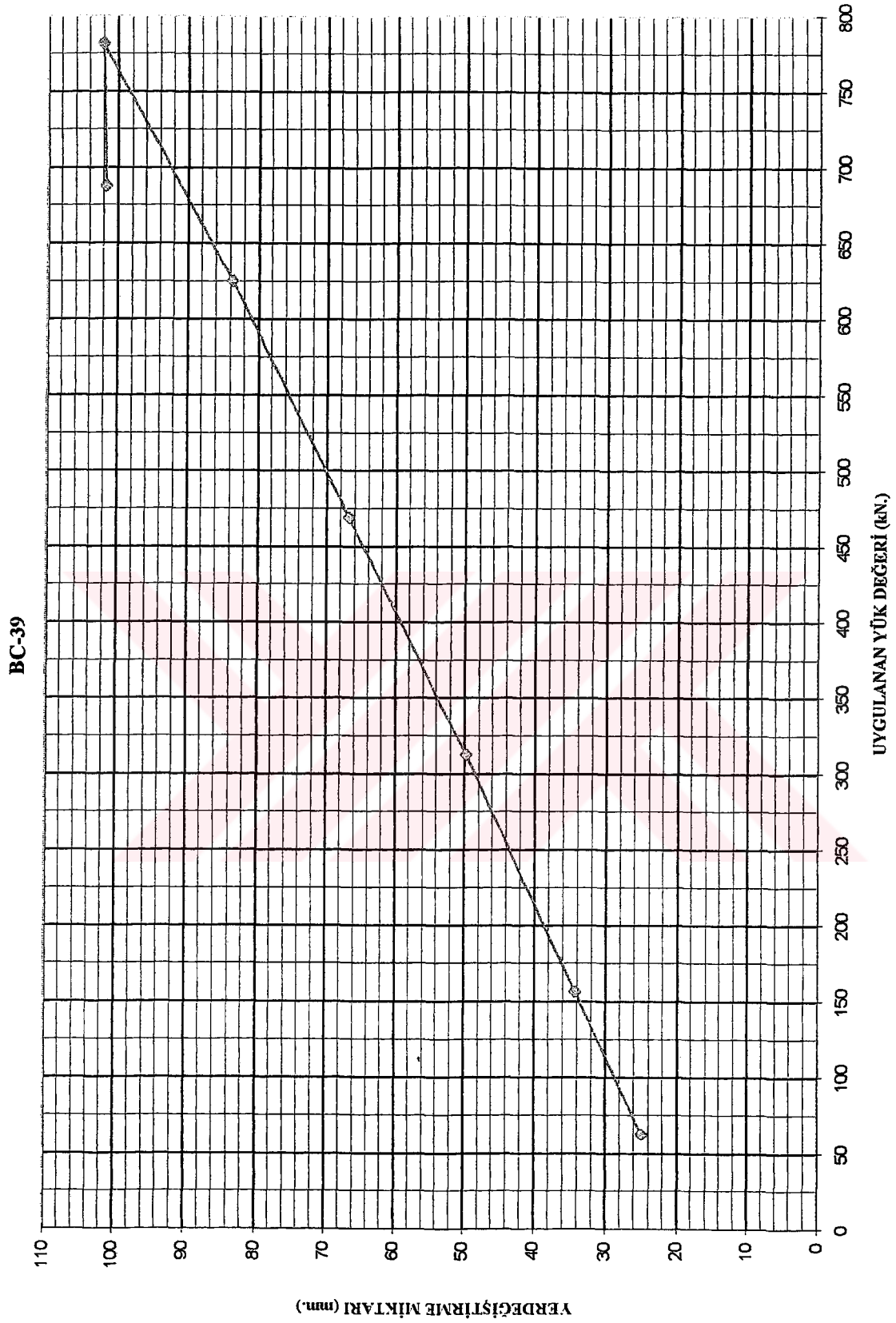
SAYFA NO. 4

Ankraj No.	BC-36				Grovak		BC-39				Grovak	
Sıra No.	2. Palye / 7. Kademe						2. Palye / 7. Kademe					
Tarih	7 / 9 / 98						7 / 9 / 98					
Germe Boyu, L_s ; Elastisite Mod.	10,75 m.	2.000.000 kg/cm ²				10,75 m.	2.000.000 kg/cm ²					
Ank. Serbest Boyu, L_B ; Kök Boyu	10 m.	8 m.				10 m.	8 m.					
Tendon Kesit Alanı, A	5,6 cm ²					5,6 cm ²						
Tasarım Yüğü, P_D ; Deney Yüğü	625 kN.	781,25 kN.				625 kN.	781,25 kN.					
Gözlemci	Samih DEDEOĞLU						Samih DEDEOĞLU					
YÜK ADIMLARI	kN	Basınç Saati	Yük Değişimi	Uzama mm.	kN	Basınç Saati	Yük Değişimi	Uzama mm.				
AL	62,50	35,5		15,930	62,50	35,5		24,900				
0,25P	156,25	95,0		25,450	156,25	95,0		34,290				
0,50P	312,50	200,0		42,150	312,50	200,0		49,730				
0,75P	468,75	302,0		58,850	468,75	302,0		66,740				
1,00P	625,0	407,5		75,265	625,0	407,5		83,600				
(0) 1,25P	781,25	515,0		93,650	781,25	515,0		102,050				
(0,5) 1,25P	781,25	515,0	51,0	93,650	781,25	515,0	51,0	102,055				
(1) 1,25P	781,25	515,0	51,0	93,650	781,25	515,0	50,8	102,055				
(3) 1,25P	781,25	515,0	50,0	93,638	781,25	515,0	50,0	102,040				
(5) 1,25P	781,25	515,0	49,8	93,605	781,25	515,0	50,0	102,015				
				$\Delta l_5 - \Delta l_{0,5}$	-0,045					$\Delta l_5 - \Delta l_{0,5}$	-0,040	
Kohezyonsuz zeminlerde $\Delta l_5 - \Delta l_{0,5} > 2$ mm. ise okumaya devam edilir.												
(10) 1,25P	781,25	515,0	49,0	93,530	781,25	515,0	49,0	101,950				
(20) 1,25P	781,25	515,0	48,0	93,431	781,25	515,0	48,5	101,920				
(30) 1,25P	781,25	515,0	47,5	93,367	781,25	515,0	48,3	101,910				
(40) 1,25P	781,25	515,0	47,0	93,304	781,25	515,0	48,2	101,900				
(50) 1,25P	781,25	515,0	47,0	93,279	781,25	515,0	48,0	101,874				
				$\Delta l =$	-0,371					$\Delta l =$	-0,176	
1,10P	687,5	450		92,615	687,5	450		101,570				

Şekil 6-31 BC-36 ve BC-39 ankrajları kanıt deneyi sonuçları



Şekil 6-32 BC-36 ankrajı kanıt deneyi yük-yerdeğiştirme grafiği.



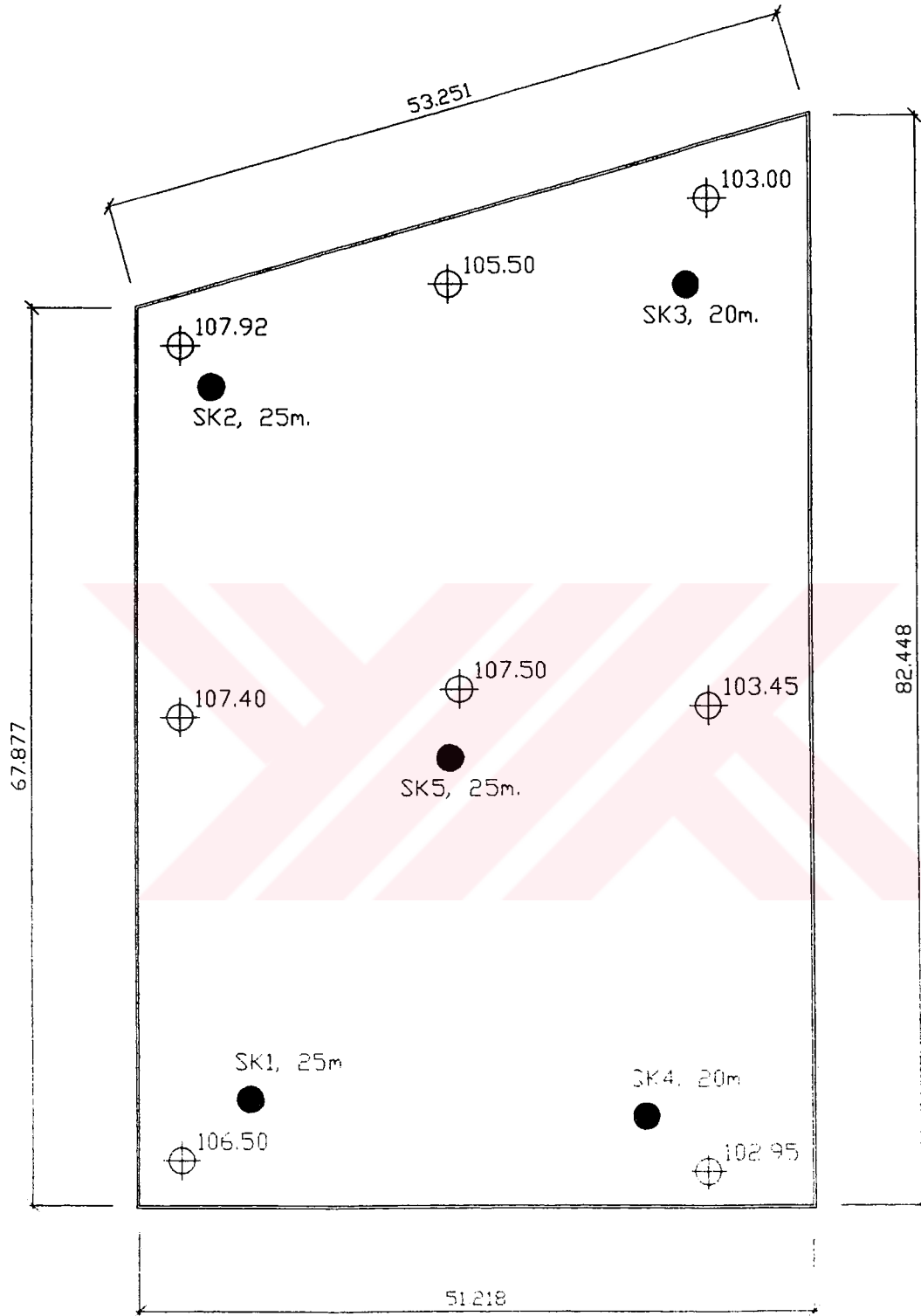
Şekil 6-33 BC-39 ankrajı kanıt deneyi yük-yerdeğiştirme grafiği.

Bu ankrajların yerdeğiştirme değerleri ve yük kayıpları çok düşük değerlerdedir. DA-29 no' lu ankrajın birinci şartı sağlamaması ankraj serbest boyunun tasarlanmış olan 13 m. den daha kısa olduğu sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Çünkü, ankraj sistemi yapması gereken min. uzama değerinden daha az bir uzama gerçekleştirmiştir. Bu nedenle, uygulanan enjeksiyonun kök boyundan serbest boya kadar ilerlemesi ile beklenenden az bir uzama olduğu yorumu yapılabilir. Kabul şartlarından birincisi olan min. uzamanın sağlanamaması, yükün stabilite sorunu olan göçme kütlesi içine iletilmesi anlamına geldiği için ankraj kabul edilemez.

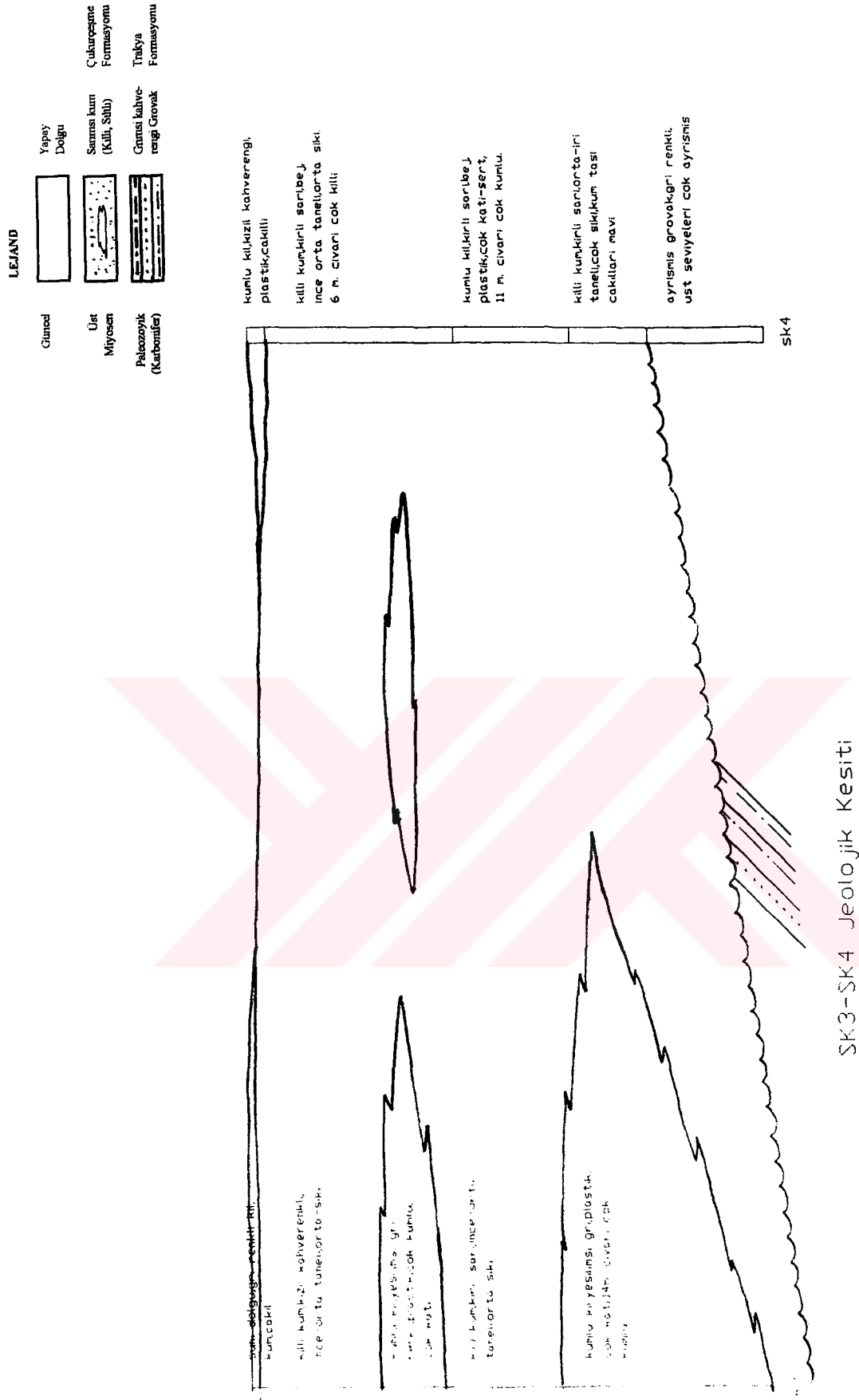
6.3.4.2 İstanbul-Maslak şantiyesi

İstanbul-Maslak' ta temel kazısına başlanmış olan bir iş merkezi inşaatında kazı destek sistemi olarak önerilmeli ankrajlı, fore kazıklı ve betonarme perdeli sistem kullanılmıştır.

Şekil 6-34 deki kazı planında yerleri belirtilmiş olan, temel kazısı başlama- dan önce yapılmış olan 5 adet sondajdan 3 tanesi 25 m. boyunda, 2 tanesi ise 20 m. boyunda uygulanmıştır. Bu sondajlardan elde edilmiş olan loglar ışığında kazı yüzeylerinin jeolojik kesitleri Şekil 6-35 ve Şekil 6-36 da verilmiştir. Bu kesitlerde de görüldüğü gibi zemin oldukça değişkenlik gösteren bir yapı sergilemektedir. Killi kum katmanları ve yer yer kil mercekleri, çakıllı kum bantları içermesine karşın zemindeki hakim formasyonun Çukurçeşme Formasyonu olduğu sonucuna varılmıştır. Mercek şeklinde gözlenen kil katmanları derinlere indikçe artmakta ve özellikle SK2 ve SK3 sondajlarının bulunduğu bölgede yoğunlaşmaktadır. Ana kayanın grovak olarak belirlendiği killi kum ve kumlu kil şeklinde değişim gösteren bu kazı alanındaki zeminin cinsini killi-siltli kum olarak tariflemek mümkündür.



Şekil 6-34 Maslak şantiyesi sondaj yerleşim planı



Şekil 6-36 "A" duvarı SK3-SK4 sondajları arası jeolojik kesit

Tasarımda kullanılan zemin parametreleri için, sondaj verilerinin değerlendirilmesi sonucu aşağıdaki değerler önerilmiştir.

$$\phi'=35$$

$$\gamma=20 \text{ kN/m}^3$$

$$c'=0$$

Kohezyonu, içerdiği kil oranına göre bölgesel olarak değişim gösteren bu kazı alanında zeminin su ile karşılaşması durumunda oldukça büyük sorunlar yaşanmıştır. Özellikle SK1 ve SK4 sondajlarının bulunduğu kazı duvarının arkasındaki zeminin su ile karşılaşması sonucu fore kazıklar arasından zemin akması meydana gelmiştir. Kimi yerlerde ankraj köklerinin oluşturulması ve tasarlanmış olan ankraj taşıma kapasitesine ulaşılması olanaksızlaşmıştır. Bu nedenle uygulanan bazı ankrajların kökleri oluşturulurken tendon-enjeksiyon bağıni kuvvetlendirmek için 5 bara kadar refü edilen keçe-tıkaç kullanılırken kökü oluşturacak olan enjeksiyon da 5 barda kuyuya refü edilmiştir. Üzerinde deney yapılmış olan C6-36, C6-35 ve A6-4 no' lu ankrajlarda bu uygulama yapılmış ve oldukça olumlu sonuçlar alınmıştır.

Maslak şantiyesinde yapılmış olan bu ankrajlı destek sisteminden alınmış olan 2 adet performans deneyi ve 4 adet kanıt deneyi raporları ve bu deneylerden elde edilen yük ve uzama değerlerine göre çizilmiş olan yük-yerdeğiştirme grafikleri Şekil 6-37, Şekil 6-38, Şekil 6-39, Şekil 6-40, Şekil 6-41, Şekil 6-42, Şekil 6-43, Şekil 6-44, Şekil 6-45 ve Şekil 6-46 da verilmiştir.

Bu deneylerden C5-37, C5-38, C5-39 no' lu ankajlar üzerinde yapılanlar, SK1-SK2 sondajlarının yapılmış olduğu cephede, SK2 sondajına çok yakın bölgede, kazının 5., bu cephedeki ankraj sırasının 2. kademesinde bulunmaktadır. C6-36, C6-35 no' lu ankrajlar da bu ankrajların tam altında, kazının 6., bu cephedeki ankraj sırasının 3. kademesinde bulunmaktadır. A6-4 no' lu ankraj ise SK3-SK4 sondalarının bulunduğu cephede SK 3 sondajına yakın bir bölgede bulunmaktadır.

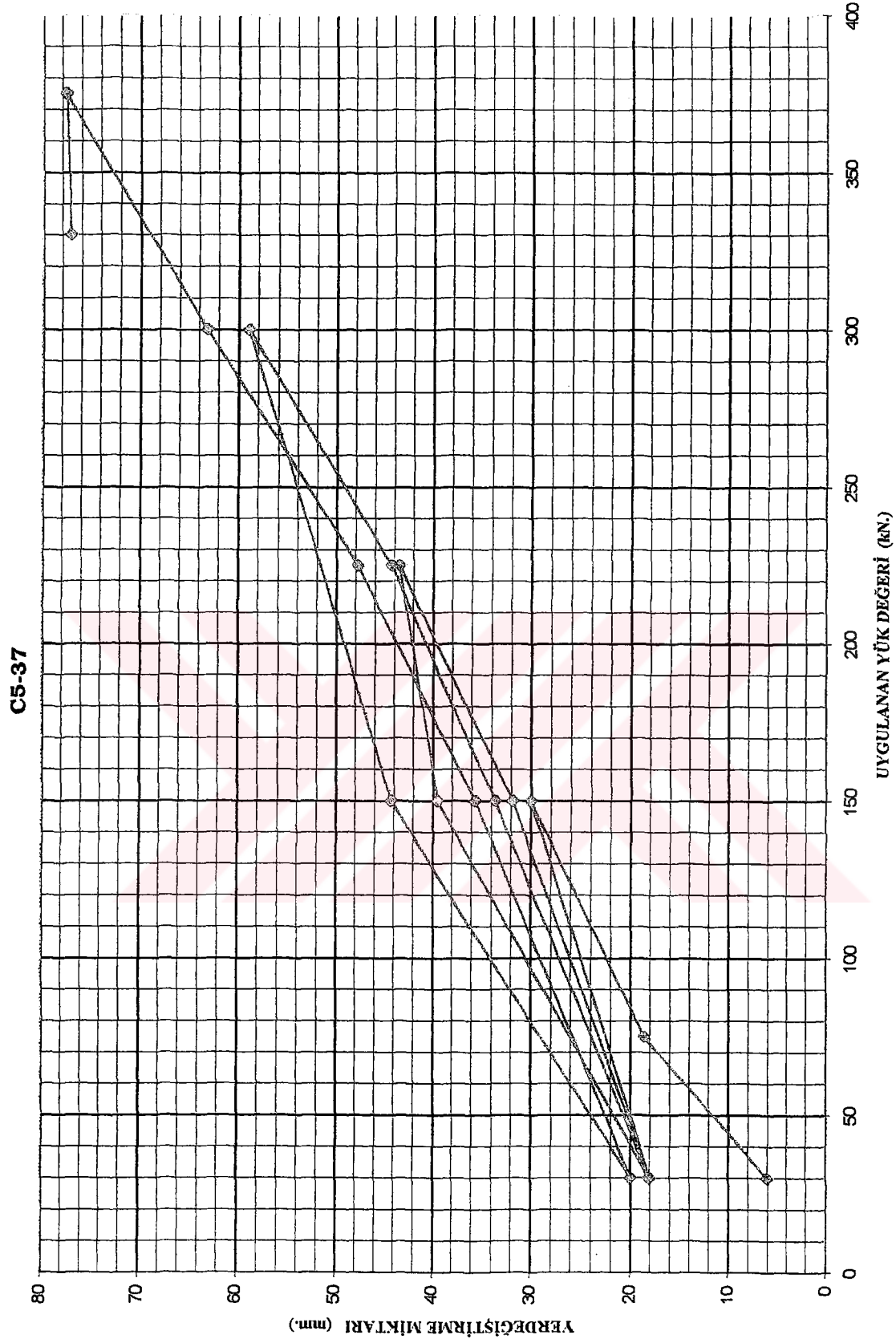
PERFORMANS DENEYİ

MASLAK

SAYFA NO. 1

Ankraj No.	C5-37				Siltli kum, kil az			
Sıra No.								
Tarih	23/ 5/ 98							
Germe Boyu, L _s ; Elastisite Mod.	9,75 m.	2.000.000 kg/cm ²			m.	kg/cm ²		
Ank. Serbest Boyu,L _B ; Kök Boyu	9 m.	10 m.			m.	m.		
Tendon Kesit Alanı, A	2,85 cm ²				cm ²			
Tasarım Yüğü, P _D ; Deney Yüğü	300 kN.	375 kN.			kN.	kN.		
Gözlemci	Samih DEDEOĞLU							
YÜK ADIMLARI	kN	Basınç Saati	Yük Değişimi	Uzama mm.	kN	Basınç Saati	Yük Değişimi	Uzama mm.
AL	30	18,5		5,970				
0,25P	75	45,2		18,620				
0,50P	150	91,5		30,010				
AL	30	18,5		17,970				
0,50P	150	91,5		31,860				
0,75P	225	140		43,490				
0,50P	150	91,5		39,440				
AL	30	18,5		18,100				
0,50P	150	91,5		33,640				
0,75P	225	140		44,280				
1,00P	300	190		58,990				
0,50P	150	91,5		44,275				
AL	30	18,5		19,945				
0,50P	150	91,5		35,630				
0,75P	225	140		47,790				
1,00P	300	190		63,185				
(0) 1,25P	375	240		77,665				
(0,5) 1,25P	375	240		77,663				
(1) 1,25P	375	240		77,656				
(3) 1,25P	375	240		77,644				
(5) 1,25P	375	240		77,625				
(10) 1,25P	375	240		77,604				
				Δl ₁₀ -Δl ₁ = -0,052	Δl ₁₀ -Δl ₁ = 0,000			
Kohezyonsuz zeminlerde Δl ₁₀ -Δl ₁ =< 1mm. ise okuma durdurulur.								
(20) 1,25P	375	240		77,568				
(30) 1,25P	375	240		77,560				
(40) 1,25P	375	240		77,556				
(50) 1,25P	375	240	212 - 240	77,553				
				Δl= -0,112	Δl= 0,000			
1,10P	330	210		77,105				
				ONAY	ONAY			
ŞART 1			E / H	Sonuç			E / H	Sonuç
=>Δ _{min} =0.8.(P.L) / A.E	5.1316 cm.				cm.			
Δl=	6.285 cm.	E	K		cm.			
ŞART 2				A				
<Δ _{max} =P.(l _f + (l _{kök} / 2)) / A.E	9.704 cm.		B		cm.			
Δl=	6.285 cm.	E	U		cm.			
ŞART 3				L				
Δl ₅₀ -Δl ₅ =< 2 mm.								
Δl ₅₀ -Δl ₅	-0.072 mm.	E			mm.			

Şekil 6-37 C5-37 ankrajı performans deneyi sonuçları



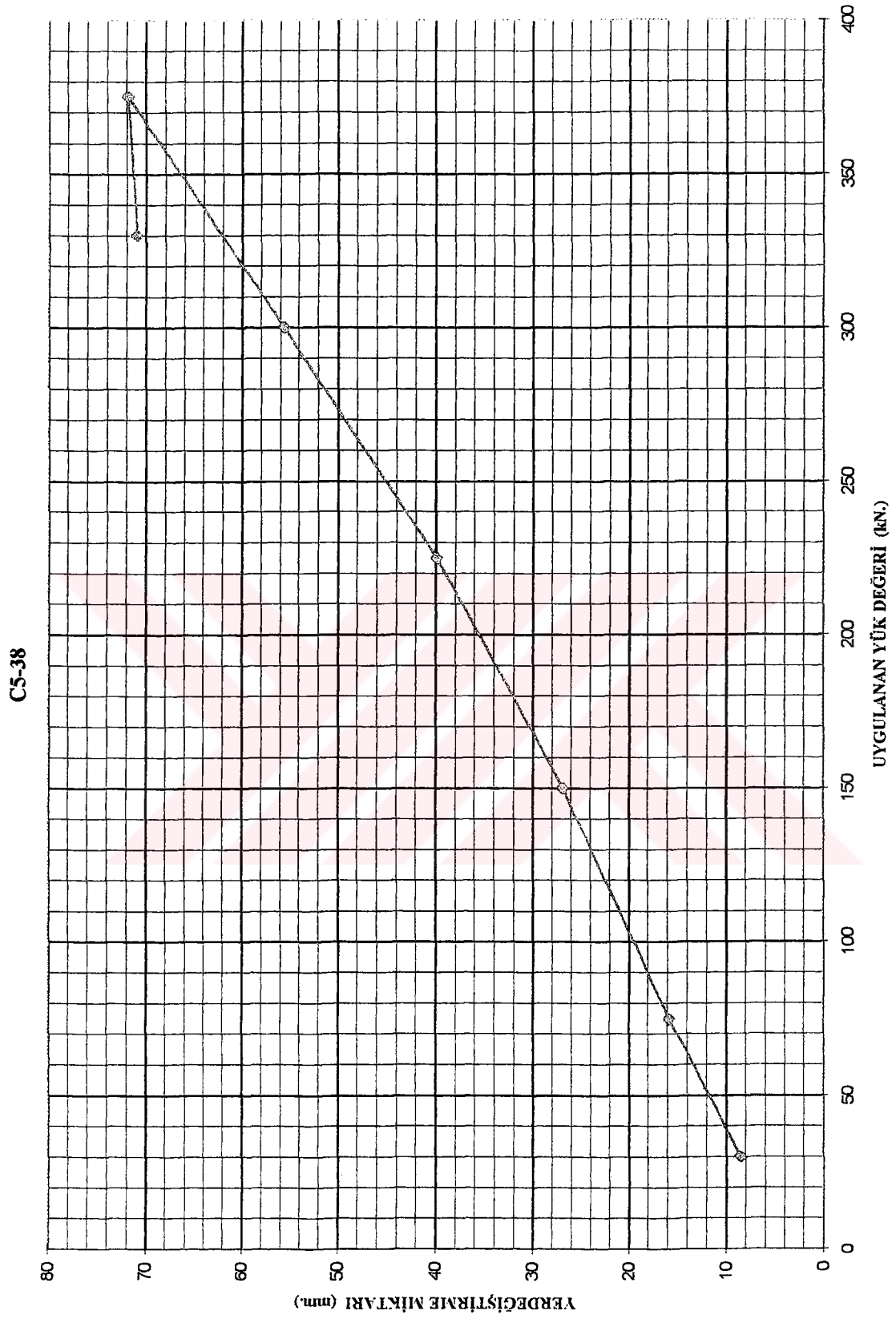
Şekil 6-38 C5-37 ankrajı performans deneyi yük-yerdeğiştirme grafiği

KANIT DENEYİ

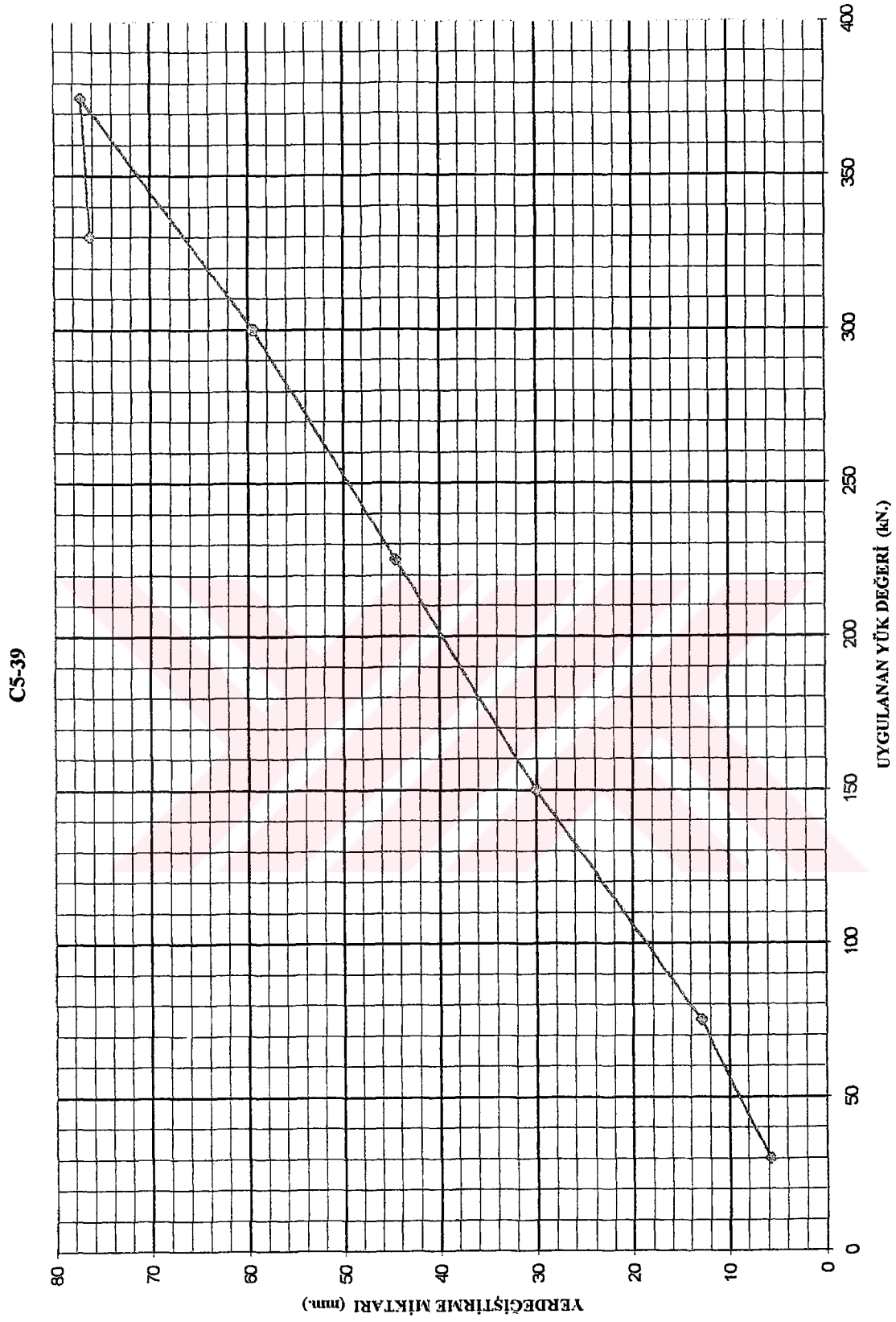
MASLAK

SAYFA NO. 2

Ankraj No.	C5-38				Siltli kum, kil az				C5-39				Siltli kum, kil az							
Sıra No.																				
Tarih	23/05/ 98								23/05/ 98											
Germe Boyu, L_s ; Elastisite Mod.	9,75 m.		2.000.000 kg/cm ²		9,75 m.		2.000.000 kg/cm ²		9,75 m.		2.000.000 kg/cm ²		9,75 m.		2.000.000 kg/cm ²					
Ank. Serbest Boyu, L_B ; Kök Boyu	9 m.		10 m.		9 m.		10 m.		9 m.		10 m.		9 m.		10 m.					
Tendon Kesit Alanı, A	2,85 cm ²				2,85 cm ²				2,85 cm ²				2,85 cm ²							
Tasarım Yüğü, P_D ; Deney Yüğü	300 kN.		375 kN.		300 kN.		375 kN.		300 kN.		375 kN.		300 kN.		375 kN.					
Gözlemci	Samih DEDEOĞLU								Samih DEDEOĞLU											
YÜK ADIMLARI	kN	Basınç Saati	Yük Değişimi	Uzama mm.	kN	Basınç Saati	Yük Değişimi	Uzama mm.	kN	Basınç Saati	Yük Değişimi	Uzama mm.	kN	Basınç Saati	Yük Değişimi	Uzama mm.				
AL	30	18,5		8,565	30	18,5		5,720	30	18,5		5,720	30	18,5		5,720				
0,25P	75	45,2		15,820	75	45,2		12,980	75	45,2		12,980	75	45,2		12,980				
0,50P	150	91,5		26,870	150	91,5		30,055	150	91,5		30,055	150	91,5		30,055				
0,75P	225	140		39,900	225	140		44,460	225	140		44,460	225	140		44,460				
1,00P	300	190		55,640	300	190		59,475	300	190		59,475	300	190		59,475				
(0) 1,25P	375	240		71,858	375	240		77,137	375	240		77,137	375	240		77,137				
(0,5) 1,25P	375	240		71,857	375	240		77,137	375	240		77,137	375	240		77,137				
(1) 1,25P	375	240		71,855	375	240		77,137	375	240		77,137	375	240		77,137				
(3) 1,25P	375	240		71,845	375	240		77,137	375	240		77,137	375	240		77,137				
(5) 1,25P	375	240		71,830	375	240		77,137	375	240		77,137	375	240		77,137				
				$\Delta l_5 - \Delta l_{0,5}$	-0,027								$\Delta l_5 - \Delta l_{0,5}$	0,000						
Kohezyonsuz zeminlerde $\Delta l_5 - \Delta l_{0,5} > 2$ mm. ise okumaya devam edilir.																				
(10) 1,25P	375	240		71,829	375	240		77,137	(20) 1,25P	375	240		77,134	(30) 1,25P	375	240		77,134		
(20) 1,25P	375	240		71,807	375	240		77,134	(40) 1,25P	375	240		77,134	(50) 1,25P	375	240		77,134		
(30) 1,25P	375	240		71,803	375	240		77,134												
(40) 1,25P	375	240		71,801	375	240		77,134												
(50) 1,25P	375	240		71,797	375	240		77,134												
				$\Delta l =$	-0,061								$\Delta l =$	-0,003						
1,10P	330	210		70,991	330	210		76,257												



Şekil 6-40 C5-38 ankraşı kanıt deneyi yük-yerdeğiştirme grafiği



Şekil 6-41 C5-39 ankrajı kanıt deneyi yük-yerdeğiştirme grafiği

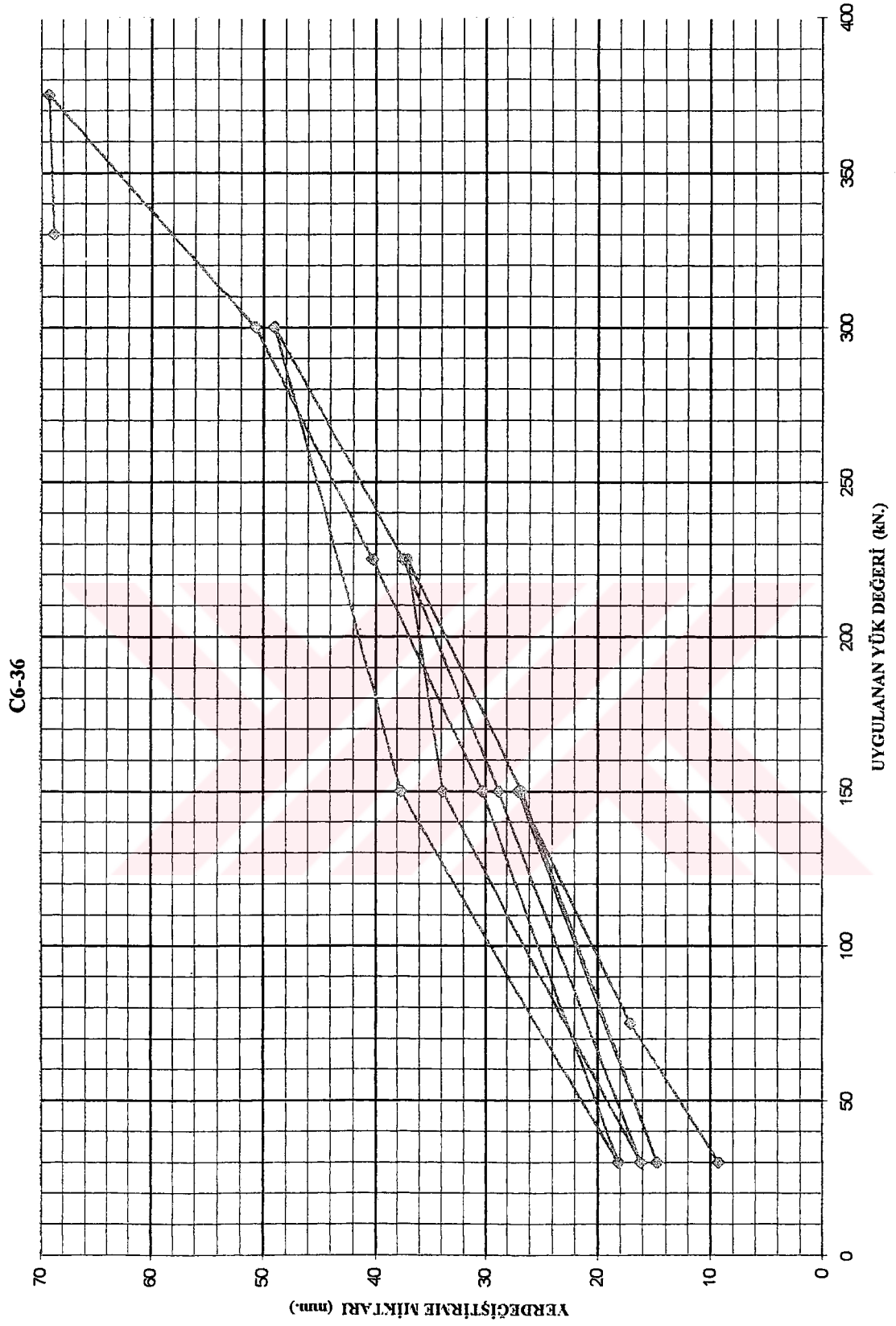
PERFORMANS DENEYİ

MASLAK

SAYFA NO. 3

Ankraj No.	C6-36				Siltli kum, kil az			
Sıra No.								
Tarih	30 / 5 / 98							
Germe Boyu, L_s ; Elastisite Mod.	7,75 m.	2.000.000 kg/cm ²			m.	kg/cm ²		
Ank. Serbest Boyu, L_B ; Kök Boyu	7 m.	10 m.			m.	m.		
Tendon Kesit Alanı, A	2,85 cm ²				cm ²			
Tasarım Yüğü, P_D ; Deney Yüğü	300 kN.	375 kN.			kN.	kN.		
Gözlemci	Samih DEDEOĞLU							
YÜK ADIMLARI	kN	Basınç Saati	Yük Değişimi	Uzama mm.	kN	Basınç Saati	Yük Değişimi	Uzama mm.
AL	30	18,5		9,265				
0,25P	75	45,2		17,125				
0,50P	150	91,5		27,000				
AL	30	18,5		14,750				
0,50P	150	91,5		26,660				
0,75P	225	140		37,105				
0,50P	150	91,5		33,890				
AL	30	18,5		16,195				
0,50P	150	91,5		28,780				
0,75P	225	140		37,495				
1,00P	300	190		49,070				
0,50P	150	91,5		37,690				
AL	30	18,5		18,155				
0,50P	150	91,5		30,250				
0,75P	225	140		40,268				
1,00P	300	190		50,781				
(0) 1,25P	375	240		69,303				
(0,5) 1,25P	375	240	232	69,303				
(1) 1,25P	375	240	231	69,302				
(3) 1,25P	375	240	232	69,302				
(5) 1,25P	375	240	233	69,302				
(10) 1,25P	375	240	230	69,302				
$\Delta l_{10}-\Delta l_1=$ 0,000				$\Delta l_{10}-\Delta l_1=$ 0,000				
Kohezyonsuz zeminlerde $\Delta l_{10}-\Delta l_1 \leq 1$ mm. ise okuma durdurulur.								
(20) 1,25P	375	240	234	69,308				
(30) 1,25P	375	240	238	69,309				
(40) 1,25P	375	240	237	69,309				
(50) 1,25P	375	240	235	69,309				
$\Delta l=$ 0,006				$\Delta l=$ 0,000				
1,10P	330	210		68,884				
ONAY				ONAY				
ŞART 1			E / H	Sonuç			E / H	Sonuç
$\Rightarrow \Delta_{min}=0,8.(P.L) / A.E$	4.079	cm.			cm.			
$\Delta l=$	5.523	cm.	E	K	cm.			
ŞART 2				A				
$< \Delta_{max}=P.(l_f+(l_{kök}/2)) / A.E$	8,388	cm.		B	cm.			
$\Delta l=$	5.523	cm.	E	U	cm.			
ŞART 3				L				
$\Delta l_{50}-\Delta l_5 \leq 2$ mm.								
$\Delta l_{50}-\Delta l_5$	0,007	mm.	E		mm.			

Şekil 6-42 C6-36 ankrajı performans deneyi sonuçları



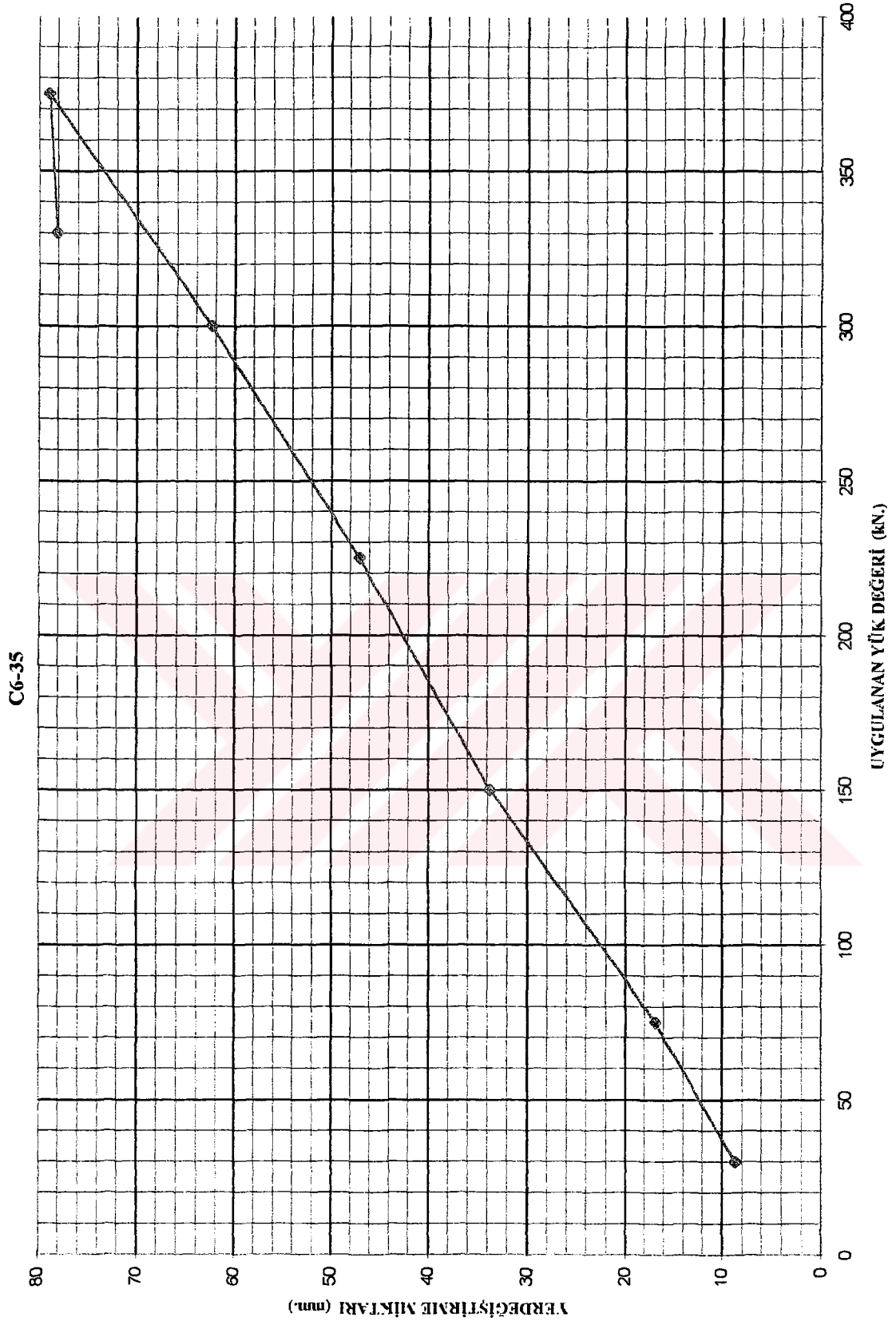
Şekil 6-43 C6-36 ankraji performans deneyi yük-yerdeğiştirme grafiği

KANIT DENEYİ

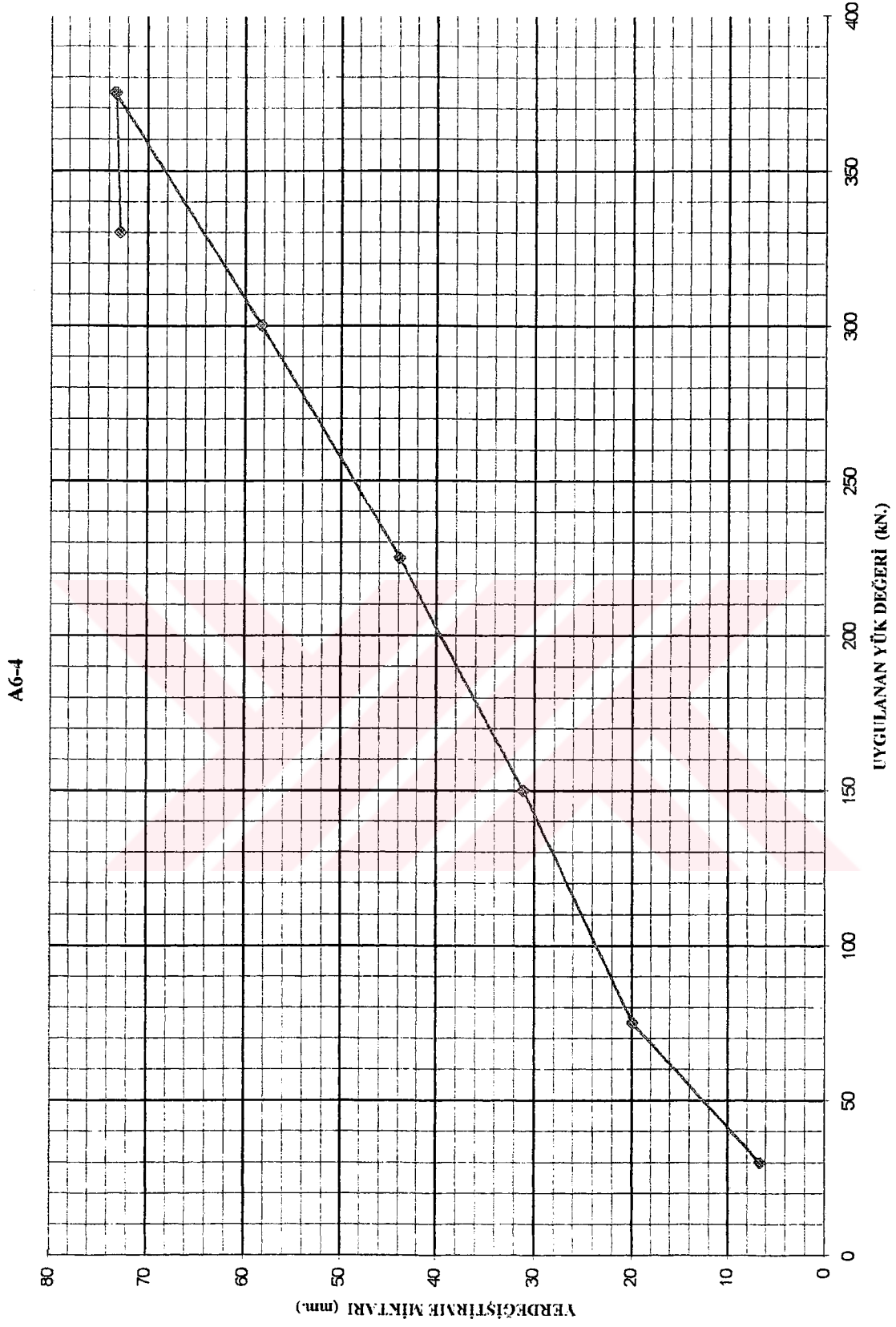
MASLAK

SAYFA NO. 4

Ankraj No.	C6-35				Siltli kum, kil az		A6-4		Siltli kum, kil az	
Sıra No.										
Tarih	30 / 5 / 98						29 / 5 / 98			
Germe Boyu, L_s ; Elastisite Mod.	7,75 m.		2.000.000 kg/cm ²		8,75 m.		2.000.000 kg/cm ²			
Ank. Serbest Boyu, L_B ; Kök Boyu	7 m.		10 m.		8 m.		10 m.			
Tendon Kesit Alanı, A	2,85 cm ²				2,85 cm ²					
Tasarım Yüğü, P_D ; Deney Yüğü	300 kN.		375 kN.		300 kN.		375 kN.			
Gözlemci	Samih DEDEOĞLU				Samih DEDEOĞLU					
YÜK ADIMLARI	kN	Basınç Saati	Yük Değişimi	Uzama mm.	kN	Basınç Saati	Yük Değişimi	Uzama mm.		
AL	30	18,5		8,610	30	18,5		6,700		
0,25P	75	45,2		16,910	75	45,2		19,920		
0,50P	150	91,5		33,750	150	91,5		31,110		
0,75P	225	140		47,030	225	140		43,880		
1,00P	300	190		62,428	300	190		58,290		
(0) 1,25P	375	240		78,880	375	240		73,320		
(0,5) 1,25P	375	240		78,880	375	240		73,315		
(1) 1,25P	375	240		78,880	375	240		73,312		
(3) 1,25P	375	240		78,873	375	240		73,290		
(5) 1,25P	375	240		78,872	375	240		73,290		
				$\Delta l_5 - \Delta l_{0,5}$	-0,008		$\Delta l_5 - \Delta l_{0,5}$ -0,025			
Kohezyonsuz zeminlerde $\Delta l_5 - \Delta l_{0,5} > 2$ mm. ise okumaya devam edilir.										
(10) 1,25P	375	240		78,872	375	240		73,270		
(20) 1,25P	375	240		78,856	375	240		73,245		
(30) 1,25P	375	240		78,866	375	240		73,235		
(40) 1,25P	375	240		78,866	375	240		73,215		
(50) 1,25P	375	240		78,864	375	240		73,225		
				$\Delta l =$	-0,016		$\Delta l =$ -0,095			
1,10P	330	210		78,104	330	210		72,805		



Şekil 6-45 C6-35 ankraji kanıt deneyi yük-yerdeğiştirme grafiği



Şekil 6-46 A6-4 ankrajı kanıt deneyi yük-yerdeğiştirme grafiği

C5-37 no' lu ankrajda performans deneyi yapılırken, 50 dakikalık bekleme boyunca yükün sabit tutulmasının mekanizmasının yapısı nedeniyle olası olması nedeniyle bu süre içerisinde, ankraj sisteminde meydana gelecek olan yük kaybını da görebilmek için, sisteme hiç ilave yük verilmemiştir. Raporunda da görüldüğü gibi 50. dakikada basıncın 240 kgf/cm^2 de sabit kalması gerekirken 212 kgf/cm^2 değerine düşmüştür. Aradaki 28 kgf/cm^2 lik basınç kaybı 45 kN. luk yük kaybına karşılık gelmektedir. Ankrajlı sistemlerin, gerildikten sonra zaman içindeki olası yük kayıplarını karşılamak için tasarım yükünün 0.1 fazlası bir yük değerinde kilitlenmesi alışıla gelmiş olan bir uygulamadır. Oysa, buradaki örnekte görüldüğü gibi yük kaybı 50 dakika içinde tasarım yükünün 0.15 katı kadardır. Bu yük kaybı, ankrajın daha 50. dakikada tasarım yükünün altına düşmesi ve istenilen davranışın dışında bir davranış göstermesi anlamına gelmektedir. Bu değer kısa süre içerisinde ankraj sistemi üzerinde bir etki göstermeyebilir ancak uzun zaman içinde istenmeyen sonuçlara neden olabilir. İlerleyen kazı kademelerinde ve nihai kazı kotuna gelindiğinde bu ankrajın seviyesinde oluşan yük artışları ankrajın göçmesi ve hatta duvarın istenmeyen yerdeğiştirme değerlerine ulaşmasına neden olabilecektir.

Normalde ankrajlara deney uygulanırken, ankraj kafalarına gripler yerleştirilmeden yük pistonu ankraj kafasının önüne yerleştirilmektedir. Pistonun önüne yerleştirilen ikinci bir kafaya gripler yerleştirilerek sisteme yük uygulanmaktadır. Bunun nedeni, yüklemenin çevrimli olması ve 50 dakikalık bekleme süreleri boyunca sistemin uygulanan yükün yönüne ters yönde hareket etmesine izin vermek ve sistemde oluşan toplam yerdeğiştirmeleri belirlemektir. Oysa, C5-38 ve C5-39 no'lu ankrajlarda deney yapılırken, pistonun arkasındaki kafaya gripler yerleştirilmiştir. Bu uygulamada yerdeğiştirme değerleri azalırken sistemde oluşan yük kaybının ne kadar büyük değerlerde olduğu görülmektedir. Ankraj halatlarının, uygulanan yükün yönüne ters yönde hareket etmesi engellendiğinde de ankraj sisteminde yük düşüşünün görülmesinin, kök bölgesinde oluşan hareketten kaynaklandığı şeklinde yorumlanmıştır.

Çünkü yerdeğiştirmeler C5-37 deki değerlerden çok farklı iken yük kayıpları benzer bir değişim eğilimindedir.

Aynı kazı duvarında C5-37, C5-38 ve C5-39 ankrajlarının altında bulunan C6-36 ve C6-35 ankrajlarına sırasıyla performans deneyi ve kanıt deneyi uygulanmıştır. Kazı alanında alt kademelere indikçe ankrajların oluşturulması ve istenilen tasarım yükü değerine çıkılması zorlaşmış ve çeşitli önlemler alınmıştır. Alınmış olan önlemlerin içinde en etkili olanı ankraj kökü oluşturulması için basınçlı enjeksiyon kullanılması olmuştur. Bu ankrajların deney raporları incelendiğinde meydana gelen yük kayıpları ve yerdeğiştirme değerlerinin, basınçlı enjeksiyon kullanılmayan C5-37, C5-38, C5-39 ankrajlarına oranla ne kadar düşük olduğu görölmüştür. Bu ankrajlarda piston arkasında grip kullanılmamış ve 50 dakikalık bekleme süresince her yük okuma zamanında ankraj yükü deney yükü değerine ek yük uygulanarak çıkarılmıştır. Farklı bir kazı duvarında uygulanmış olan A6-4 no' lu ankraj sisteminde de C6-35 ve C6-36 ankrajlarında alınan önlemler alınmış ve aynı deney adımları izlenmiştir. Her üç ankraj deneyinden alınmış olan sonuçlar incelendiğinde, birbirine benzer şekilde yük kaybı ve yerdeğiştirme değerlerinin önlem alınmadan yapılan diğer ankrajlara göre düşük olması, oluşturulmuş olan ankraj kökünün etkisi olarak yorumlanabilir. Bilindiği üzere ankraj köküne uygulanan enjeksiyon basıncının artışı, ankraj taşıma kapasitesi üzerinde doğrusal bir artışa neden olmaktadır. Enjeksiyonun basınç yardımıyla kök çevresindeki zeminin içine işlemesi ile özellikle enjeksiyon-zemin bağında artış sağlandığı bilinmektedir.

Bu arazi ortamında yapılmış olan deneylerin raporları incelendiğinde herbirinde görölen ortak bir davranış da 50 dakikalık beklemler boyunca oluşan yük kayıplarıdır. 20. dakikaya kadar belirgin düşüşler gösterirken 20. dakikadan sonra oluşan yük kayıplarının ilk 20 dakikadaki kadar hızlı ve fazla olmaması dikkat edilmesi gereken bir başka noktadır. Bu yük kayıplarının ve yerdeğiştirmelerin zaman içersinde azalarak ve parabolik olarak devam ettiği

bilinmektedir. Ancak bu ortamda bunun çok belirgin olarak gözlemlenmesinin zemin cinsinden kaynaklandığı düşünülebilir. Ortamın kumlu çakıl bantları içerdiği ve hakim yapı olarak killi-siltli kum olması nedeniyle ankraj kökünün bağlı bulunduğu ortamda yükün iletilmesi ile oluşan gerilmeler sonucunda zemin suyu kolay ve çabuk bir şekilde drene olabilmektedir. Zemin suyunun çabuk bir şekilde drene olması ilk gözlem süresinde ankrajın yükünde belirgin bir düşüşe neden olmaktadır. Zaman içerisinde boşluk suyunun tamamı veya tamamı yakını drene olduktan sonra yük değişimi ve yerdeğişiminin yavaşladığı şeklinde yorumlanmıştır.

Uygulanmış olan ankraj deneyleri için istenilen üç kabul kriteri 5.4.5.4 de açıklanmıştır. Bu kabul kriterleri deney raporlarının altında hesaplanmış ve ankrajların bu kriterlere uyup uymadığı incelenmiştir. Bu arazi ortamında yapılmış olan bütün deneylerin istenilen kabul kriterlerini sağlamış olduğu ve ankrajların kabul edilebilir oldukları görülmüştür. Yukarıda açıklandığı gibi ankrajların 50 dakikalık bekleme süresi boyunca tasarım yükünün altında bir yük değerine düşmesine karşın istenilen kabul kriterini sağlaması, karşılaştırılması gereken kriterlerin, her şantiyede yapıldığı gibi, sadece bu üç yerdeğiştirme sınırlarından mevcut olmaması gerektiğini göstermektedir.

6.4 Laboratuarda Uygulanan Ölçüm Sistemi ve Deney Yöntemi

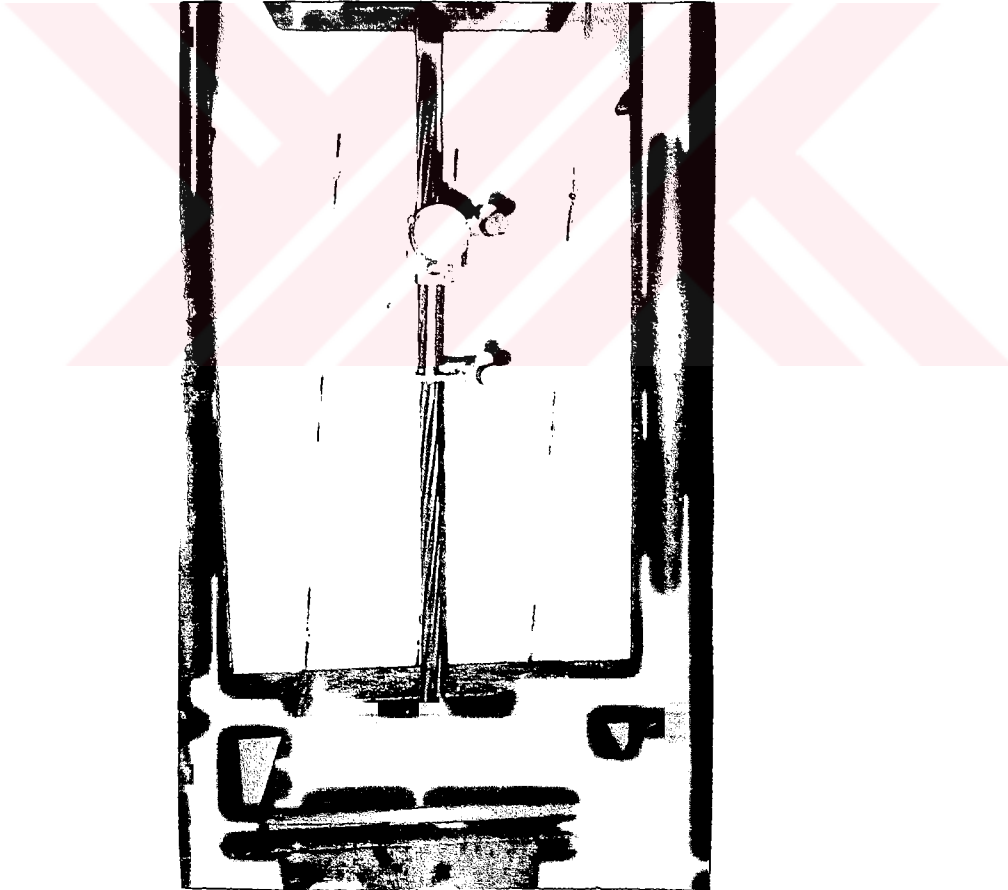
6.4.1 Amaç

Zincirlikuyu ve maslak şantiyelerinde kullanılan ankraj halatlarından alınan parçalar üzerinde laboratuarda yükleme deneyi uygulanarak halatlarda oluşan uzama değerlerinin ve imalatçı firma tarafından verilen halatların kopma değerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen bu değerlerden 0.5" ve 0.6" çapındaki halatların elastisite modüllerinin de belirlenmesi amaçlanmıştır.

6.4.2 Ölçüm sistemi ve deney yöntemi

Laboratuarda yapılan deneyler, İTÜ yapı malzemesi laboratuvarında, betonarme çeliği olarak kullanılan çubuk demirlerin davranışlarını belirlemek için kullanılan sistem ile yapılmıştır (Şekil 6-47).

Bu sistemde halatın bir ucu sabit olan kısma, diğer ucu ise hareket eden pistonla tutturulmuştur. Sistem betonarme çelikleri için kullanıldığından dolayı, halatların tutulması için şantiyede kullanılan gripler ve ankraj kafaları kullanılmıştır. Halat, sistemin bir ucunda konik yuva içine giren grip ile tutulurken, diğer ucunda ankraj kafasının bir yuvasına yerleştirilen grip ile tutulmuştur.



Şekil 6-47 Laboratuar deney sistemi

Halatta yük etkisiyle meydana gelen uzama değerleri, 0.01 mm. duyarlılıkla okuma sağlayan bir ekstansometre yardımıyla yapılmıştır.

Laboratuarda yapılan deneylerden elde edilen veriler 6.4.3' de verilmiştir.

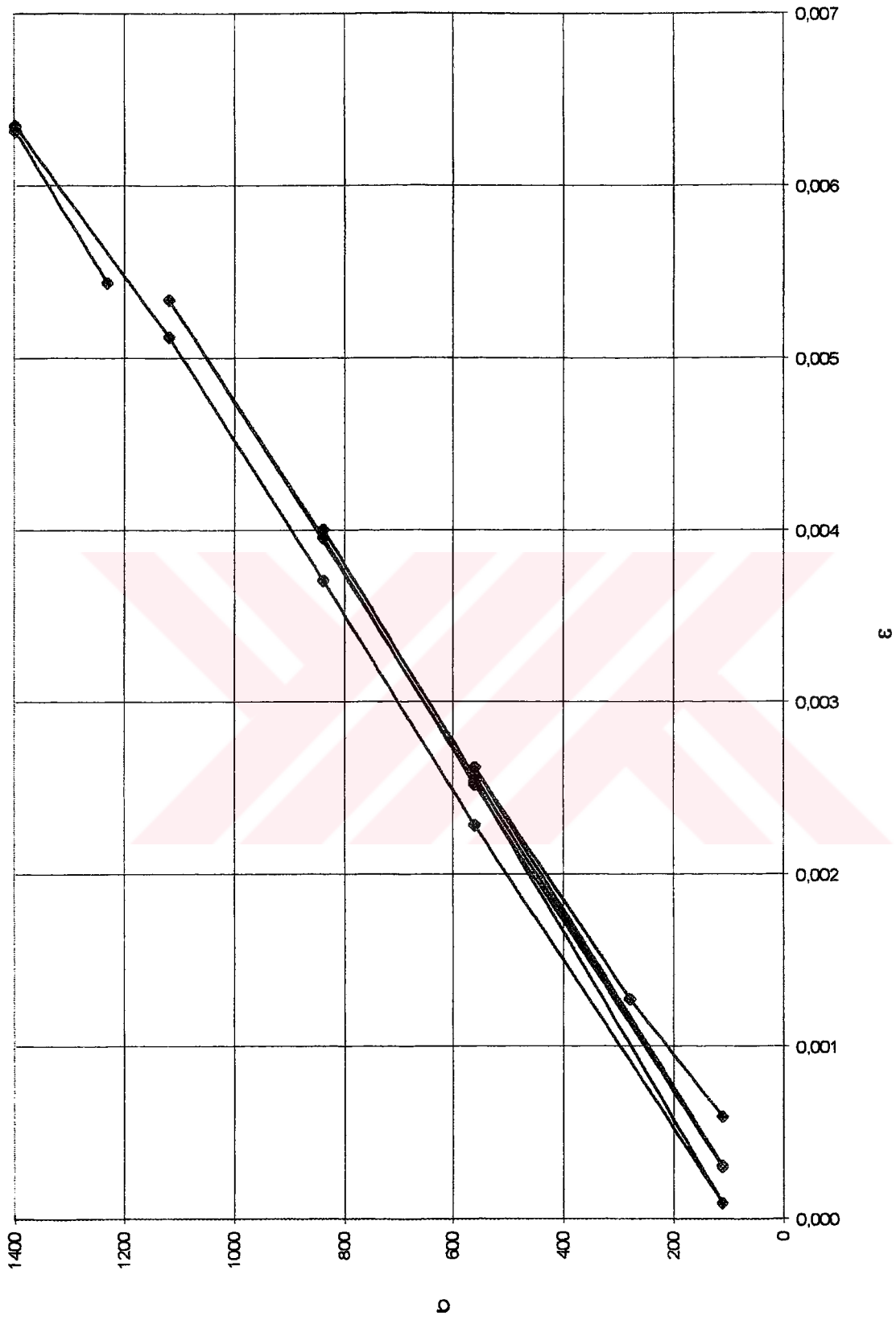
6.4.3 Uygulanan laboratuvar deneylerinden alınan sonuçlar

Bu sistemle yapılan deneylerin, halat davranışını ve parametrelerini belirle-mekte ideal bir deney yöntem olmadığı bilinerek yapılmalıdır. Zira ülke-mizde yapılan ankrajlı destek sistemlerinde kullanılacak olan halatların kop-ma yükü gibi özellikleri laboratuarda betonarme çeliğine uygulanan deney yöntemi kullanılarak belirlenmekte ve elde edilen veriler dikkate alınmakta-dır. Laboratuardan verilen sonuçlarda bu konuda uyarı yapılmaktadır. Ancak, uygulayıcıların da bu konuda duyarlı olmaları gerekmektedir. Bu çalışma için yapılmış deneylerde, üretici firma tarafından verilmiş olan halat özelliklerine ne derece yakın değerler bulunacağını görmek amaçlanmıştır. Özellikle arazi-de yapılan performans deneyinde kullanılan çevrimli yüklemede her çevrim sonunda halatın elastisite modülü hesaplanmış ve deney sonunda da halatın koparılarak kopma yükü belirlenmiştir.

Kopma yükünün belirlenmesi için yapılan deneylerde, halatın sisteme sabit-lenmek üzere tutturulduğu griplerin dibinden koptuğu görülmüştür. Bu etki laboratuvar tarafından deney raporunda belirtilmektedir. Bunun bütün ankraj-larda aynı şekilde görülmesi, deney sisteminin bir etkisi olarak yorumlanmak-tadır. Yükün dişli olan griplerden halata iletilmesi sırasında halatta bir ezil-me ve dolayısıyla zayıflama oluşmaktadır. Laboratuarda belirlenen kopma yükü, bu etki nedeniyle üretici firma tarafından verilen değerden daha düşük çıkmaktadır. Aynı şekilde, kullanılan sistemin duyarlılığının halat gibi karma-şık malzemelerin özelliklerini belirleme konusunda ne derece duyarlı olduğu ayrı bir araştırma konusudur.

P_D :		625	KN	P_K :		687,5	KN	
Germe Tarihi :		20.05.1998		P_T :		781,25		KN
Şantiye : ZİNCİRLİKUYU-LABORATUAR								
Deney :		Performans Deneyi						
DÖRT HALAT			TEK HALAT					
% P	Ton		Ton	mm./100	mm.	ϵ	σ (N/cm ²)	E (kg/cm ²)
AL	6,25	1,6	6,0	0,06	0,001	111,9269		
0,25P	15,625	3,9	12,9	0,13	0,001	279,8173		
0,50P	31,25	7,8	26,5	0,27	0,003	559,6347	2.210.147	
AL	6,25	1,6	3,1	0,03	0,000	111,9269		
0,50P	31,25	7,8	26,0	0,26	0,003	559,6347		
0,75P	46,875	11,7	40,5	0,41	0,004	839,452	1.968.597	
0,50P	31,25	7,8	26,0	0,26	0,003	559,6347		
AL	6,25	1,6	3,0	0,03	0,000	111,9269		
0,50P	31,25	7,8	25,5	0,26	0,003	559,6347		
0,75P	46,875	11,7	40,0	0,40	0,004	839,452		
1,00P	62,5	15,6	54,0	0,54	0,005	1119,269	1.998.883	
0,50P	31,25	7,8	25,7	0,26	0,003	559,6347		
AL	6,25	1,6	0,9	0,01	0,000	111,9269		
0,50P	31,25	7,8	23,1	0,23	0,002	559,6347		
0,75P	46,875	11,7	37,5	0,38	0,004	839,452		
1,00P	62,5	15,6	51,8	0,52	0,005	1119,269	2.002.810	
0 1,25P	78,125	19,5	64,2	0,64	0,006	1399,087	2.057.829	
0,5" 1,25P	78,125	19,5	64,2	0,64	0,006	1399,087		
1' 1,25P	78,125	19,5	63,9	0,64	0,006	1399,087		
2' 1,25P	78,125	19,5	63,9	0,64	0,006	1399,087		
3' 1,25P	78,125	19,5	63,9	0,64	0,006	1399,087		
5' 1,25P	78,125	19,5	63,9	0,64	0,006	1399,087		
1,1P	68,75	17,2	55,0	0,55	0,005	1231,196	2.093.716	
$d_{orta\ tel} : 5,27 \quad mm^2$ $d_{\text{çevre tel}} : 5 \quad mm^2$ $A_{tendon} : 139,6 \quad mm^2$ $f_{kopma} : 23.900 \quad kg.$ $l : 101,2 \quad mm.$								

Şekil 6-48 Zincirlikuyu şantiyesi için laboratuvar deneyi



Şekil 6-49 Zincirlikuyu şantiyesi için yapılan laboratuvar deneyi σ - ϵ grafiği

P_D :		300 KN		P_K :		330 KN		
Germe Tarihi :		27.05.1998		P_T :		450 KN		
Şantiye : MASLAK-LABORATUAR								
Deney : Performans Deneyi								
ÜÇ HALAT			TEK HALAT					
% P	Ton		Ton	mm./100	mm.	ϵ	σ (N/cm ²)	E (kg/cm ²)
AL	3		1,0	5,4	0,05	0,001	105,31338	
0,25P	7,5		2,5	13,2	0,13	0,001	263,28344	
0,50P	15		5,0	27,7	0,28	0,003	526,56688	1.898.474
AL	3		1,0	7,4	0,07	0,001	105,31338	
0,50P	15		5,0	28	0,28	0,003	526,56688	
0,75P	22,5		7,5	42,1	0,42	0,004	789,85032	1.982.593
0,50P	15		5,0	29,1	0,29	0,003	526,56688	
AL	3		1,0	9,2	0,09	0,001	105,31338	
0,50P	15		5,0	29,7	0,30	0,003	526,56688	
0,75P	22,5		7,5	43	0,43	0,004	789,85032	
1,00P	30		10,0	57	0,57	0,006	1053,1338	1.992.802
0,50P	15		5,0	31,1	0,31	0,003	526,56688	
AL	3		1,0	11,2	0,11	0,001	105,31338	
0,50P	15		5,0	31,6	0,32	0,003	526,56688	
0,75P	22,5		7,5	44,5	0,45	0,004	789,85032	
1,00P	30		10,0	58	0,58	0,006	1053,1338	
1,25P	37,5		12,5	72,5	0,73	0,007	1316,4172	1.985.578
1,10P	33		11,0	64,1	0,64	0,006	1158,4471	2.000.755

$d_{orta\ tel}$:

$d_{çevre\ tel}$:

A_{tendon} :

f_{kopma} :

l :

4,25 mm²

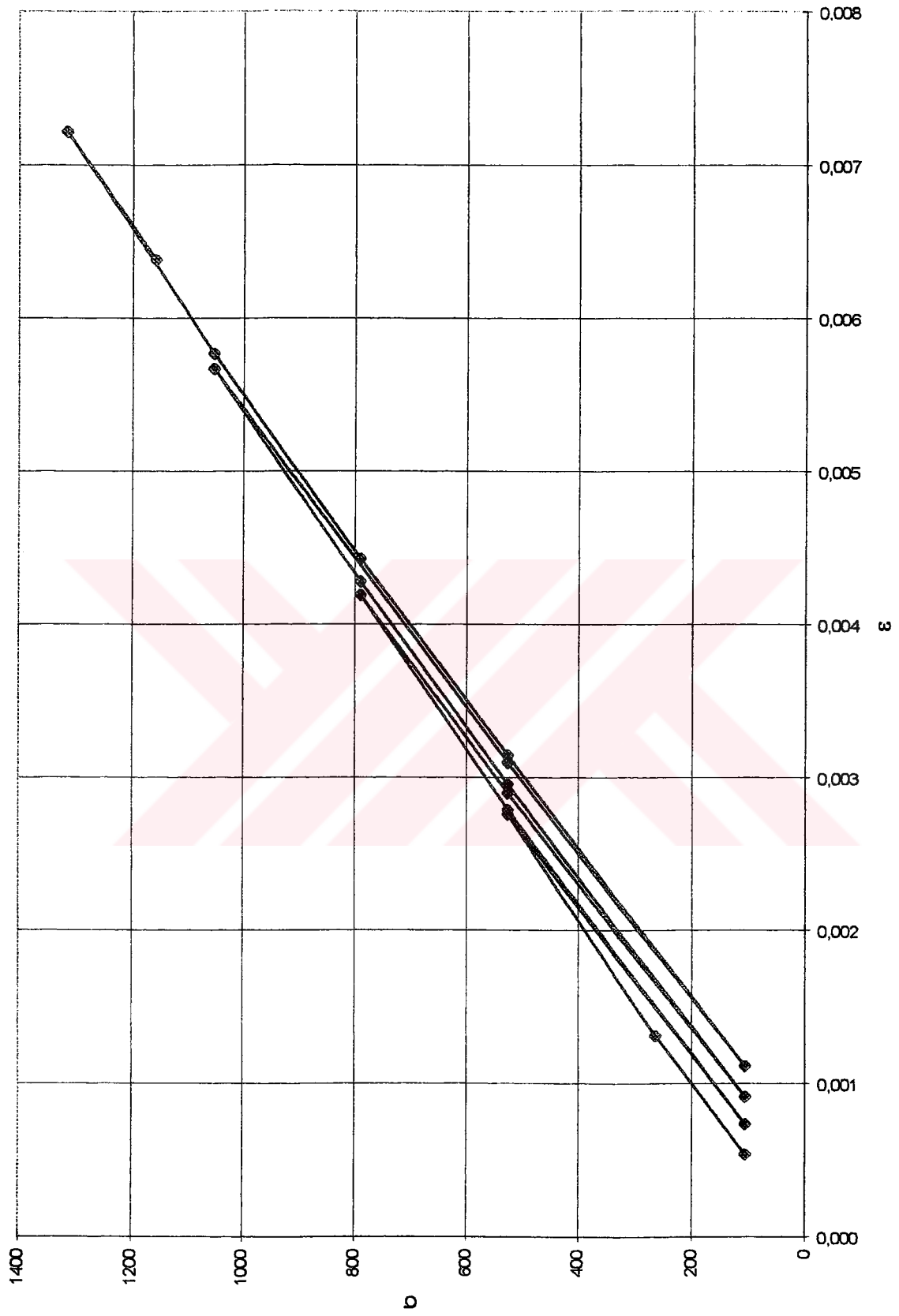
4,14 mm²

94,9547 mm²

15.700 kg.

100,5 mm.

Şekil 6-50 Maslak şantiyesi için laboratuvar deneyi



Şekil 6-51 Maslak şantiyesi için yapılan laboratuvar deneyi σ - ϵ grafiği

Laboratuarda tek halat üzerinde yapılmış olan performans deneyinden elde edilen yük-uzama verilerine dayanılarak her yük kademesi sonunda halatın elastisite modülü hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda her kademedeki farklı elastisite modülü değerleri belirlenmesi çeşitli okuma hataları ve daha önce de belirtildiği gibi sistemin yetersizliği gibi etkenlerden kaynaklanmaktadır. Bu deneylerde belirlenmiş olan elastisite modülü değerlerinin, üretici firma tarafından verilmiş olan $2.000.000 \text{ kg/cm}^2$ değerine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Dolayısıyla arazide yapılmış olan ankraj deneylerinin hesaplamalarında elastisite modülü olarak $2.000.000 \text{ kg/cm}^2$ değeri kullanılmıştır.



7. SONUÇLAR, DEĞERLENDİRMELER VE ÖNERİLER

7.1 Giriş

Ankrajlı sistemlerin değişik zemin çeşitlerinde ve farklı ortamlarda gösterdikleri davranışların araştırılması için bir kriterin esas alınması gerektiği yapılmış olan incelemelerde görülen ortak noktadır. Çeşitli şartnamelerde ve yayınlarda bu kriter için değişik önerilerde bulunulduğu görülmüştür. Ankraj sisteminin davranışını ve uygunluğunu belirlemek için en çok önerilen ve kullanılan kriter yük-uzama kriteridir. Sabit yük altındaki uzama değerinin hesaplanan uzama değeri ile karşılaştırılarak incelenmesi sonucu ankraj sisteminin nasıl bir davranış gösterdiğinin yorumlanması daha önceki bölümlerde açıklanmıştır. 5. Bölümde incelenmiş olan şartnamelerde istenilen minimum ve maksimum sınırlar ve bunların ne anlama geldiği açıklanmıştır. Yabancı şartnamelerden en uygun olanı seçilmiş ve bu şartnamede tariflenen ankraj deneyleri, 6. Bölümde açıklandığı şekilde İstanbul-Zincirlikuyu ve İstanbul-Maslak şantiyeleri olmak üzere iki ayrı şantiyede 12 adet ankraj sistemi üzerinde uygulanmıştır. Bu bölümde, uygulanmış olan ankraj deneylerinden elde edilen veriler hesaplanmış olan sınır değerlere göre incelenecek ve bu ankraj sistemlerinin davranışlarının yorumları yapılacaktır.

7.2 Sonuçlar

Uygulanmış olan ankraj deneylerinin raporlarında verilmiş olan 3 koşuldan birincisi minimum uzama, ikincisi maksimum uzama, üçüncüsü ise krip uzama sınırlarıdır. Bu sınırlardan minimum uzama sınırı, ankraj serbest boyunun izin verilen alt sınırdan daha uzun, maksimum uzama sınırı ise serbest boyun izin verilen üst sınırdan daha kısa oluşturulduğunu doğrulamak için verilmiş olan sınırlardır. Maksimum uzama sınırı dolaylı olarak kök boyunun izin verilen sınırlar arasında oluşturulup oluşturulmadığını gösterir.

Üçüncü koşul olan krip etkisi davranışının içersine giren etkenlerin çok çeşitli olması nedeniyle gözlenen krip uzaması değerinin neden kaynaklandığını belirlemek oldukça zordur ve çok detaylı bir çalışma gerektirmektedir.

Bu üç sınır değeri dışında oluşan bir uzama değeri izin verilebilir sınırların dışına çıkıldığı ve dolayısıyla ankraj sisteminin istenildiği şekilde görev yapmadığı şeklinde yorumlanabilir.

Bu amaçla yapılan çalışmalarda zamana bağlı olarak oluşan krip hareketleri toplamının bir kısmının (+) değerinde bir kısmının da (-) değerinde olduğu gözlenmiştir. Bu hareketlerin toplamı kazı alanı içine doğru olduğunda (+), kazı alanından dışarıya doğru olduğunda (-) değer oluşturmaktadır. Krip davranışı, ankraj kafasında ve plakasında oluşan ezilme, halatların gripler ile tutunması sırasında halatlarda kayma, griplerin ankraj kafasındaki yuvalara iyice oturması, tendonlarda zaman içinde oluşan sünme, enjeksiyon-tendon ve enjeksiyon-zemin arasındaki bağda çözülme, FAP noktasının ilerlemesi, duvar arkasındaki zeminde konsolidasyon nedeniyle duvarın kazı alanı dışına doğru hareketi veya kökün kazı alanına doğru hareketi v.b. etkileri içermektedir. Bu etkilerin hangilerinin ne değerinde olduğu değil ama toplamının ne değerinde olduğu SD-1 sistemi ile yapılmış olan ölçümler ile belirlenmeye çalışılmıştır.

Krip deneyinde elde edilen uzamaların (+) ve (-) olarak değişim göstermelerini matematiksel olarak tendon boyu ve yük açısından incelersek karşımıza birkaç olasılık çıkmaktadır. Ankraj sisteminde, yük-uzama arasındaki ilişkinin temelini aşağıdaki bağıntı ile belirlendiği daha önceki bölümlerde açıklanmıştır.

$$\frac{P}{L}$$

$$(7-1)$$

$$A.E$$

Ankrajların yük iletme sisteminin 5.4.2 de gösterildiği gibi olduğu kabul edilerek 7-1 eşitliği ve sistemin yük iletme mantığı göz önüne alınırsa Çizelge 7-1 ve Çizelge 7-2 deki olasılıklar kümesinin düşünülmesi gerektiği sonucuna varılabilir. Bu çizelgeler yük değişiminin tasarım yükünün 0.1 katından az olduğu durumlar için geçerlidir.

Krip deneyinde uzama değişimi (+) ise :

Çizelge 7-1 Uzama değişiminin (+) olma nedenleri olasılıkları

	$L_{(-)}$	$L_{(0)}$	$L_{(+)}$
$P_{(-)}$	Tendonda hareket	X	X
$P_{(0)}$	X	0	FAP noktasının ilerlemesi
$P_{(+)}$	X	X	X

* $P_{(-)}$: Yük değerindeki değişimi göstermektedir.

** $L_{(-)}$: Serbest boydaki değişimi göstermektedir.

Bu çizelgede görülen "tendonda hareket" davranışının, tendon-enjeksiyon bağıının çözülmesi ile oluştuğu düşünülmektedir. Tendonun etkiyen yük yönünde hareketi sonucu yük kaybı ve tendon boyu kısalması meydana geldiği kabul edilmiştir. Eğer yük değerindeki değişim tasarım yükünün 0.1 katından fazla ise bu durum sistemin göçmesi ve tendonun enjeksiyondan sıyrılması olarak yorumlanmıştır.

Krip deneyinde uzama değişimi (-) ise:

Çizelge 7-2 Uzama değişiminin (-) olma nedenleri olasılıkları

	$L_{(-)}$	$L_{(0)}$	$L_{(+)}$
$P_{(-)}$	Kökte hareket	Malzemelerde krip	X
$P_{(0)}$	X	0	X
$P_{(+)}$	X	X	X

Bu çizelgede yük ve serbest boy düşüşü ile görülen "kökte hareket" davranışı ise, enjeksiyon-zemin bağında çözümler oluşması sonucu kökün yerinden oynayarak etkiyen yük yönünde bir miktar hareket etmesi şeklinde düşünülmektedir. Yük değerindeki değişimin tasarım yükünün 0.1 katından fazla oluşması durumunda ankraj sisteminin göçtüğü şeklinde yorumlanabileceği düşünülmektedir.

Krip davranışı toplamının (-) çıkmasının, ankraj sisteminin serbest boyunun sabit kalması ve yük değişiminin olmaması veya çok az olması durumunda, ankraj sistemini oluşturan ankraj kafasının ezilmesi, griplerin kafaya oturması, halatların griplerden kayması gibi etkiler nedeniyle oluştuğu söylenebilir.

Bu iki (+) ve (-) krip hareketi davranışı yorumu yapılırken ankraj sisteminin yük iletme sistemi düşünülmüştür. Çekme ankrajları yük iletimine kökün üst ucundan enjeksiyon-tendon bağı yardımıyla başlar. Bu yük iletiminde etkili olan ikinci bağ ise enjeksiyon-zemin bağıdır. Ankraj sisteminin bulunduğu ortamın göstereceği farklılığa göre yük iletme sistemi de farklılık gösterebilir. Yük iletme sistemi ankraj sisteminde ilk önce yenilecek olan bağa göre farklılık gösterir. Eğer ilk önce enjeksiyon-zemin bağı yenilirse ankraja etkiyen yük ile ankraj sisteminin kökü hareket etmeye başlayacaktır. Eğer enjeksiyon-tendon bağı önce yenilecek olursa tendon enjeksiyon ile oluşturulmuş olan kökün içinden sıyrılarak kök yerinde dururken tendon hareket edecek ve sıyrılacaktır.

Enjeksiyon-tendon bağına yenilmesi durumunda sistemin dışında gözlenecek olan uzama miktarının, enjeksiyon-zemin bağı yenilmesi durumunda oluşacak olan hareketten daha fazla olacağı düşünülebilir. Çünkü enjeksiyon-zemin bağı aşılması ile kök kazı alanına doğru hareket etmeye başlamakta ve ankraj sistemindeki elastik uzamada kısalma, dolayısıyla sistemde yük düşüşü oluşmakta, bununla beraber kökü oluşturan enjeksiyon zemindeki sürtünme etkisi ile karşılaşmaya devam etmektedir. Kök sürekli olarak hareketi engelleyici

bir kuvvet ile karşı karşıya bulunmasına karşın enjeksiyon-tendon bağı çözülmesi durumunda tendon kök içinden sıyrıldıktan sonra hareketi durduracak hiçbir ters kuvvet ile karşılaşamayacağı için oldukça belirgin değerde uzamaya devam edecektir. Bu uzama, tendonun olduğu yerden sökülerek sistem dışına doğru hareketi nedeniyle kazı alanına doğru tendon uzuyor izlenimi verecek ve (+) uzama değeri olarak gözlenecektir.

İdeal olarak tasarlanmış ve uygulanmış olan ankraj sisteminde yük iletme sistemi kökün üst ucundan iletmeye başlamaktadır. Etkimeye başlayan yük nedeniyle kökün üst ucundaki enjesiyon-tendon bağında çalışmalar ve yükün artışı ile yenilmeler oluşur ve FAP noktası kökün sonuna doğru ilerler. Tam kapasite ile çalışan ankraj sisteminde kök hareket etmeye başlamadan FAP noktası kök boyunun ortasına gelir ve bir sonraki aşama olarak tendon-enjeksiyon bağı aşılmadan enjeksiyon-zemin bağı çalışmaya başlar ve kök kazı alanına doğru hareket eder. Çizelge 7-1 ve Çizelge 7-2 deki değerlendirmeler de bu ideal davranış durumuna göre değerlendirilmiştir. Eğer sistemde yenilen bir bağ var ise bunun gözlenmesi ankraj sistemi boyunca yerleştirilecek olan bir yatay ekstansometre ile belirlenebilir.

Çizelge 7-1 de krip davranışının (+) çıkmasından dolayı sistemde "tendonda hareket" veya "FAP noktasının ilerlemesi" yorumunun yapılabileceği düşünülmektedir. Tendonda hareket, etkiyen yük ile enjeksiyon-tendon bağının yenilerek elastik uzamış olan tendonun, enjeksiyon içinde herhangi bir karşı koyucu kuvvet ile karşılaşmaması nedeniyle uzama kısılması ile beraber kök içinden sıyrılması şeklinde düşünülmektedir. FAP noktasının ilerlemesi yorumu, 7-1 eşitliğine göre L boyu artarken P yükü aynı kalıyorsa meydana gelen uzama değerinde bir artışın görülmesi gerektiği düşüncesinden kaynaklanmaktadır. L boyu artışı, zaman içersinde serbest boyda uzama oluşması ile ortaya çıkabilir. Bu da enjeksiyon-tendon bağı yenilmesinin kök sonuna doğru ilerlemesi, dolayısıyla FAP noktasının kök sonuna doğru hareketi ile olasıdır.

Çizelge 7-2 de ise iki olasılık üzerinde durulmuştur. Bu olasılıklardan biri "kökte hareket", diğeri de "malzemelerde krip" tir. Ankraj sisteminde (-) değerde bir krip davranışı sistemin kazı alanı dışına doğru hareketi anlamına gelmektedir. Bu nedenle (-) uzama değeri, yükte ve serbest boyda düşüş olduğu zaman görülebilir. İdeal bir yük iletme sisteminde FAP noktası ilerleyip kökün tam ortasına geldikten sonra sistemin kökü harekete başlar. Ankraj sisteminin kökü, sürekli olarak hareketi engelleyici bir kuvvet ile karşılaşacağı için yük sınırlı değerlerde düşerken ankraj boyu da kökün sınırlı hareketi nedeniyle ancak bu hareket miktarı kadar kısalır. P ve L değerlerinin düşüşü ise matematiksel olarak uzama değerinde düşüşe neden olacağından krip davranışı (-) çıkacaktır. Kökün tamamen serbest bir şekilde tendon hareketi gibi zemin içinden sıyrılma olasılığı olmadığı için sınırlı değerlerde kalan hareket ve buna bağlı yük düşüşü, krip davranışında (-) yerdeğiştirme gibi bir etkiye neden olmaktadır. Bu davranışın yanısıra, ankraj sisteminin serbest boyunda bir değişim olmamasına karşın yükte düşüş ile (-) uzama değeri elde edilebilir. Bu da ankraj kafası, ankraj plakası, griplerin yuvalara yerleşimi gibi etkiler sonucu sistemin kazı alanı dışına doğru hareket ediyormuş izlenimi vermesine neden olabilir.

Performans deneyi ve kanıt deneyi uygulanmış olan ankrajların bu kriterleri sağlayıp sağlamadıkları deney raporlarının altında verilmiş olan şartların karşılaştırmalarında görülmektedir. Ancak bu ankrajların herbirisinin ayrı ayrı davranışlarını yorumlarsak farklılıklar görebilmektedir.

7.2.1 Zincirlikuyu şantiyesi

DA-29 ankrajına performans deneyi uygulanmıştır. Bu ankraj sisteminde 1. koşulun sağlanmadığı anlaşılmaktadır. Eğer ankrajın deney yükünde bir düşüş gözlenmiş olsaydı veya deney yüküne çıkılamamış olsaydı ankrajın enjeksiyon-tendon bağının çözülmesi nedeniyle göçtüğü söylenebilirdi. Ancak bunların hiçbirisi oluşmadığı için ankraj sisteminin oluşturulması sırasında

verilen enjeksiyonun, ankraj serbest boyunun bir kısmına kadar ilerleyerek serbest boy kısalmasına neden olmuş olduğu yorumu yapılabilir. Ankraj sistemine uygulanmış olan yükün kök aracılığıyla tahmini göçme yüzeyi dışına iletildiği düşünülürken, bu etki ile yükün göçme riski olan göçme yüzeyi içindeki ortama iletilmesi olasılığı nedeniyle ankrajın kabul edilmemesi gerekir. Krip etkisinin (+) değerinde olması ankraj sisteminin kazı alanı içine doğru hareketi şeklinde görünmektedir. Çizelge 7-1 e göre, ankraj sisteminde yükte çok belirgin bir yük kaybı gözlenmemiş olduğu için FAP noktasının ilerlemesi olarak yorumlanabileceği düşünülmüştür.

DA-30 ankrajına kanıt deneyi uygulanmıştır. Bu ankrajın, uzama sınırları olan 1. ve 2. koşulları sağladığı, dolayısıyla izin verilebilir sınırlar arasında kök boyu ve serbest boy oluşturulmuş olduğu görülmektedir. 3. koşuldaki krip uzaması 2 mm. den azdır ve (-) değerdedir. Büyüklük olarak belirlenmiş olan 2 mm. lik sınırdan küçük olduğu için ankraj krip kriterini sağlamış kabul edilir. Krip davranışının (-) olması sistemin kazı alanı dışına doğru bir hareketinin var olduğunu göstermektedir. Çizelge 7-2 ye göre bu hareketin nedeninin kök hareketi veya malzemelerde krip olabileceği söylenebilir.

DA-31 ankrajı DA-30 ankrajı ile aynı davranışı göstermiş ve birbirlerine çok yakın değerler elde edilmiştir. Yanyana bulunan ankrajlara uygulanan deneylerden elde edilen sonuçların benzer olması, ankraj sistemlerinin birbirlerine benzer özelliklerle oluşturulabildiğini ve sistemlerin davranışlarının oldukça duyarlı bir şekilde belirlenebildiğini göstermiştir. Bu ankraj sisteminden alınmış olan sonuçlara göre DA-31 ankrajının da DA-30 gibi kök hareketi veya malzemelerde krip etkisi nedeniyle kazı alanının dışına doğru hareket görünümü gösterdiği söylenebilir.

AB-18 ankrajına performans deneyi uygulanmıştır. Bu ankraj sağlaması gereken şartların üçünü de sağlamıştır. Elde edilen uzama değerleri sınır değerlerinin arasında olduğu için kök boyunun ve serbest boyun istenilen uzunlukta

oluşturulmuş olduğu söylenebilir. Ancak 50 dakikalık krip deneyi boyunca yükleme krikosunda bulunan basınç saatinden yük düşüşü gözlenmiş ve gerekli görülen adımlarda yük deney yüküne yükseltilmiştir. Krip değeri 2 mm. lik sınırın altındadır, ancak (+) değer göstermektedir. Bu değer (+) olması ankraj sisteminde kazı alanına doğru bir hareket olduğu anlamına gelmektedir. Buna, Çizelge 7-1 de "FAP noktasının ilerlemesi" olarak gösterilmiş olan, enjeksiyon-tendon bağında ankraj kökünün sonuna doğru bağ çözülmesinin ilerlemesi neden olabilir. Kaya ortamında bulunan bu ankraj sistemine uygulanan yükün, zemin-enjeksiyon bağının yeterince kuvvetli olması nedeniyle enjeksiyon-tendon bağını zorladığı, yüklemenin de çevrimli olarak yapılmış olması sonucunda enjeksiyon-tendon bağında zayıflamalar ve kökün üst ucundan başlayarak bağ çözümleri olduğu düşünülmüştür. Krip hareketi süresince belirli zaman aralıklarında alınmış olan yük değişim değerlerinin tasarım yükünün 0.1 katından fazla olmaması tendonda hareket oluşmadığını göstermektedir.

BC-36 ve BC-39 ankrajlarına uygulanan kanıt deneyleri sonuçları incelendiğinde, ankraj sistemlerinin istenilen min. ve max. uzama kriterlerini sağladığı görülmektedir. Deney yükünde yapılmış olan krip deneyinde de 2 mm. lik kriterin sağlandığı ve zaman içinde uzama değerindeki değişimin 2 mm. nin altında kaldığı gözlenmiştir. Ancak krip deneyi boyunca ankraj sisteminde olduğu gözlenmiş olan yük kayıpları ilave yükleme ile deney yüküne kadar tekrar çıkarılmamıştır. Bunun amacı ise ankraj sisteminde oluşacak olan yük kayıplarının hangi değere kadar yükseleceğini belirlemektir. 50 dakikalık krip deneyi boyunca bu yük kayıpları tasarım yükünün, BC-36 ankrajında 0.1P katından daha fazla, BC-39 ankrajında ise yaklaşık 0.1P katında oluşmuştur. Bu yük kayıplarının oldukça büyük ve krip hareketlerinin (-) değerinde gözlenmesi ankraj sistemlerinin kök bölgelerinde hareket olduğu yorumuna neden olmaktadır.

7.2.2 Maslak şantiyesi

C5-37 ankrajına performans deneyi uygulanmıştır. Bu ankrajın istenilen uzama sınırlarını sağladığı görülmektedir. Ankraj sisteminin kök boyunun ve serbest boyunun tasarlandığı uzunluklara yakın değerlerde oluşturulmuş oldukları görülmektedir. Zamana bağlı davranışında uzama değişimi değerinin 2 mm. den az, yükleme krikosundaki basınç saatinden gözlenen yükün 45 kN. a yakın bir değerde düştüğü belirlenmiştir. Ankraj sistemi üzerindeki bu etkinin Çizelge 7.2 deki iki olasılıktan birincisinden kaynaklandığı düşünülmüştür. Ancak krip deneyi sırasında (-) değerde uzama değişimi ile beraber tasarım yükünün 0.1 katının üzerinde, 0.15 katına yakın bir değerde yük düşüşü oluşması ankraj sisteminin kökünde hareket olduğu yorumunun yapılmasına neden olmaktadır. Yükün 0.15P kadar düşmesi ankraj sisteminin tasarlanmış olan davranışı göstermediğini ve bu ankraj sistemi üzerinde önlem alınması gerektiğini göstermektedir.

C5-38 ve C5-39 ankraj sistemlerinin ikisi de C5-37 ankraj sisteminin yanında imal edilmiş ve üzerinde kanıt deneyi uygulanmış ankrajlardır. C5-37 ankrajında (-) hareket değeri ile beraber aşırı yük kaybı gözlenmesi nedeniyle bu ankrajlarda boy değişimi sabitlenerek yük değişimi izlenmiştir. Kademeli olarak yapılan yüklemelerde tendonun uzama değerlerinin izin verilen değerler aralığında kaldığı gözlenmiştir. Krip deneyi sırasında, pistonun arkasında tendona yerleştirilmiş olan gripler nedeniyle, uzama değeri C5-37 deki kadar fazla oluşmamış, ancak yük değişiminin oldukça fazla olduğu görülmüştür. Bu deneyde griplere karşın oluşan uzama değişimi malzemelerde oluşan krip olarak değerlendirilmiştir. Yük değişimi incelendiğinde ise yük düşüşünün oldukça yüksek değerlerde ve krip deneyinin ilk 20 dakikasında belirgin olduğu görülmektedir. Bu davranışın, ankraj kökünün hareketiyle kumlu zemindeki boşluk suyunun ilk 20 dakika içinde ani olarak drene olması olarak yorumlanabileceği düşünülmektedir. Kumlu zeminlerde inşa edilen temellerde görülen ani oturmaya benzer bir davranış olduğu düşünülmektedir. Bu

ankraj sisteminde de C5-37 dekine benzer kök hareketi davranışının oluştuğu düşünülmektedir.

Bu şantiyede uygulanmış olan ankrajların çoğunda gözlenen zorluklar ve zemin şartlarının olumsuzluğu nedeniyle ankraj sistemlerinde basınçlı enjeksiyon kullanılmasına geçilmiştir. C6-36 ankraj sisteminde de kullanılan basınçlı enjeksiyon nedeniyle ankraj sisteminin davranışında farklılıklar gözlenmiştir. Bu farklılıkların başında, krip deneyinde gözlenen yük kaybının $0.15P$ değerinden $0.05P$ değerine kadar düşmüş olması görülmektedir. Performans deneyi uygulanan C6-36 ankraj sisteminde kademeli yükleme sırasında ve deney yükünde gözlenen uzama değerlerinin izin verilebilir sınır değerleri arasında olduğu görülmektedir. Bu, ankraj sisteminin serbest boyunun ve kök boyunun tasarlandığı değerlerde oluşturulduğu anlamına gelmektedir. Krip deneyinde görülen yük değerindeki değişimin C5-37/38 ve 39 ankrajlarındaki gibi ilk 20 dakika içinde belirgin bir şekilde oluşmasının zeminin kumlu yapısından kaynaklandığını söyleyebiliriz. Tendonun uzama değişiminin (+) değerinde oluşması ve yük değişiminin yok denebilecek kadar az olması nedeniyle oluşan hareket Çizelge 7.1 e göre FAP noktasının ilerlemesi olarak yorumlanabilir.

C6-35 ve A6-4 ankrajlarına uygulanan kanıt deneylerinden elde edilmiş olan sonuçlara göre, C6-36 da olduğu gibi basınçlı enjeksiyonun ankraj kökü taşıma kapasitesi ve enjeksiyon-zemin arası bağ oluşumu üzerinde olumlu etkisi nedeniyle ankraj sistemlerinin yük kayıplarının izin verilen $0.1P$ yük değerinden daha düşük değerde oluştuğu düşünülmektedir. Uzama değişimi değerlerinin ise (-) değerinde oluşması krip oluşumunun ankraj sisteminde kullanılmış olan malzemelerde oluşan kriplerden veya ankraj kökünde oluşan sınırlı hareketten kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu ankraj sistemlerinde de krip deneyinin ilk 20 dakikasında yük değeri değişimi belirgin olarak gözlenirken 20 dakikadan sonra, oluşan yük değişimi azalmıştır.

7.3 Değerlendirmeler

Ankrajlı sistemlerin değişik formasyonlardaki davranışlarını incelemek üzere yapılmış olan bu çalışmada, ülkemizde yapılan ankraj uygulamalarında kontrollerin, araştırmaların, deneylerin ve gözlemlerin yeterince özenle ve titiz yapılmadığı anlaşılmaktadır. Yabancı şartnamelerden yararlanarak yapılan bu çalışmada ankraj sistemlerinin imalatı, zemin koşulları, ankraj sisteminin bir bütün olarak tasarımı gibi konuların bir şartname ile kontrol altına alınması gerekliliği görülmüştür. Yapılan bu çalışma sırasında karşılaşılan birçok hata ve istenmeyen durumlar da bunun gerekliliğini göstermiştir.

Farklı ortamlarda yapılmaya çalışılan bu çalışmadan elde edilen en önemli sonuç, ankraj tasarımlarının elde bulunan ekipmanlara göre değil zemin koşullarına göre yapılması gerekliliğidir. Bir ankraj sisteminin en önemli bölgesini oluşturan kök bölgesinin Bölüm 1.6 da açıklanmış olan ankraj tiplerine göre tasarlanmaması ankraj sisteminin davranışını ve dolayısıyla da kazı destek sisteminin bütün olarak istenmeyen durum ile karşı karşıya kalmasına neden olabilir. Ankraj kökünün zemin koşullarına göre yanlış seçilmesi durumunda ankraj kökünün hareket etmesine ve buna bağlı olarak ankraj yükünün düşmesine dolayısıyla da ankraj perdesi arkasında bulunan kütlenin tutulamayarak kazı alanı içine doğru hareket etmesine neden olabilir.

Kazı destek sisteminin bir bütün olarak nasıl bir davranış göstereceğinden daha çok, ankraj sistemlerinin bireysel davranışlarının düşünülmesi, yapılan imalatlardan görülmektedir. Oysa, ankraj sistemlerinin imalatları ile ankraj duvarı arkasında ankraj köklerinin yerleştirildiği bölgede istenmeyen etkilerin oluşmasına neden olunmaktadır. Bu etkilerden en çok üzerinde durulması gereken, ankraj köklerinin bir hat boyunca oluşturulması nedeniyle meydana gelen aktif normal fay etkisidir (Sinan BİBEROĞLU, 1997). Ankraj sistemi tek başına düşünüldüğü zaman enjeksiyon-zemin arasındaki bağın kuvvetli olması ve ankraj sistemine uygulanan öngerme yükünü taşıması istenir.

Ankraj sistemi bütün kazı destek sistemi olarak düşünüldüğünde enjeksiyon-zemin bağı aracılığı ile zemine iletilen yükün kök boyu boyunca yapay bir fay hattı oluşturduğu düşünülmektedir. Oluşturulan bu yapay fay hattı veya ankraj sisteminin bütün olarak davranışındaki yetersizlik nedeniyle duvar arkasındaki kitle hareketi kazı duvarlarının arkasındaki zemin yüzeylerinde kazı kenarına paralel çatlaklar ile kendisini göstermektedir. Özellikle kök bölgesi asfaltlı yolların altına gelen kazılarda, asfalt üzerinde gözlenen boyuna çatlaklar rahatlıkla görülmektedir. Yapay olarak oluşturulduğu düşünülen fay hattının daha geniş bir alana zeminde daha düşük gerilme değerleri oluşturacak şekilde yerleştirilmelerinin ankraj duvarlarında gözlemlenen hareketleri daha aza indirgeyeceği düşünülmektedir. Bu, ankraj serbest boylarının yatayda şaşırtmalı olarak farklı değerlerde oluşturulması veya ankraj sistemlerinin şaşırtmalı olarak düşeyde farklı açılarda imal edilmesi ile sağlanabilir (Şekil 3-33 (a)-(b)).

Farklı ortamlarda yapılmış olan deneylerden elde edilen sonuçlara göre kaya ortamında yapılan ankrajların davranışları için en önemli aşama deney yüküne çıkılıp çıkılamadığıdır. Kaya-enjeksiyon arasındaki bağı kayanın çatlak sistemine göre ve enjeksiyon-kaya arasındaki kayma direncine göre farklılık göstereceği bilinmektedir. Kaya ortamında uygulanan ankraj sistemlerinde krip etkisinin birinci derecede önemli olmadığı düşünülmektedir.

İstanbul-Maslak şantiyesinde yapılan deneylerden alınan sonuçlara göre ankraj sistemine uygulanmış olan öngerme yükünün 50 dakikalık krip deneyinin ilk 20 dakikalık bölümünde belirgin düşüşler gösterdiği, 20 dakikadan sonra yük düşüşünün azalarak devam ettiği görülmüştür. Bu etkinin granüler zeminlerde boşluk suyunun kolayca ve ani olarak drene olabilmesi nedeniyle görüldüğü düşünülmektedir. Bu tür granüler, kumlu zeminlerde temel tasarımı olduğu gibi ani yük kayıplarının, taşıma gücü kayıplarının beklenmesi gerektiği ve buna karşı önlem alınması gerektiği düşünülmektedir. Zaman içinde oluşan bu yük kayıplarına karşı önlem alınmadığı durumlarda ankraj

duvarında büyük deplasman değerleri ve buna bağlı oturma hareketleri beklenmelidir.

İstanbul-Maslak şantiyesinde ankrajların tasarım yükü değerlerine ulaşamaması nedeniyle basınçlı enjeksiyon kullanılması düşünölmüştür. Bu önlemin, ankraj kökü yapısının zemin koşullarına göre değiştirilerek kökün yük taşıma kapasitesini arttırmak üzere alındığı ve başarılı sonuçlar verdiği görölmüştür. Granüler zeminlerde uygulanacak olan basınçlı enjeksiyon, tüm gözenekler içersinde gidebileceği yere kadar giderek granüler boşlukları doldururken, enjeksiyonun verilmiş olduğu bölgenin çevresinde bulunan zemini sıkılaştırılmaktadır. Enjeksiyonun daha geniş bir alana yayılması ile enjeksiyon-zemin bağı dayanımı artmaktadır.

Her iki şantiyede uygulanan deneylerden alınan uzama değişimi verilerine göre, ankraj sisteminin davranışını belirleyen tek bir etkenin olmadığını söyleyebiliriz. Ankraj sisteminde oluşan uzama değişiminin yönü, değeri ve bununla birlikte oluşan başka değişimlerin varlığının ve şiddetinin ankraj sisteminin nasıl bir davranış gösterdiğini belirlemeye yardımcı olacağı düşünölmektedir. Bu nedenle ankraj sisteminin sadece uzama değişimi değerlerini alarak ankraj sisteminin davranışının tam anlamıyla yorumlanamayacağı düşünölmektedir. Ankraj sisteminde amaç, kazı alanının içine doğru hareket etme eğiliminde olan kazı arkasındaki kitleyi neden olacağı yük ile beraber kazı alanı dışına doğru çekmektir. Amaçtan da görölebileceği gibi yük, kontrol edilmesi gereken birinci faktör, uzama değişimi kontrolü ise yükün ve sistemin dolaylı yoldan kontrolüdür. Bu nedenle ankraj sistemlerinin uzama değişimlerinin her zaman yük değişimleri ile beraber yorumlanması gerektiği düşünölmektedir.

7.4 Öneriler

Ülkemizde yapılan ankrajlı kazı destek sistemlerinin kapasitelerinin ve davranışlarının belirlenmesi amacıyla bütün uygulayıcıların kullandığı ortak bir şartname bulunmaması derin kazılarda zaman zaman sorunlar ile karşılaşılmasına neden olmaktadır. Ankrajlı kazı destek sistemlerinde uygulanması gereken deneylerin ve uzun süreli davranışlarının gözlemlenmesi amacıyla bu çalışmada değinilmiş olan şartnameler ışığında bir şartname oluşturulması karşılaşılan sorunların daha önceden belirlenmesini ve azaltılmasını sağlayacaktır. Ülkemizde kullanılan ölçüm sistemleri, deney yöntemleri ve gözlemlenme yöntemleri üzerine sırasıyla 7.4.1, 7.4.2 ve 7.4.3 de önerilerde bulunulmuştur. Bu öneriler gerçekleştirilmiş olan bu çalışmada elde edilen verilere ve şantiyelerde yapılmış olan gözlemlemelere dayanarak yapılmaktadır.

7.4.1 Ölçüm sistemi üzerine öneriler

Ülkemizdeki ankrajlı kazı destek sistemi uygulamalarındaki deneylerde, ankraj sisteminin yük-uzama davranışını belirlemek üzere yapılan ölçümlerin duyarlılıklarının ve doğruluklarının yeterli olmadıkları yapılmış olan incelemelerde gözlemlenmiştir. Yabancı şartnamelerin özellikle üzerinde durdukları noktalar ölçümlerin, ankraj tendonuna yük ileten pistonun hareketi üzerinden alınmaması gerektiği ve uzama ölçümünün yapıldığı ölçme aletinin en az % 1 mm. duyarlılık olması gerektiğidir. Ülkemizdeki uygulamalarda ise uzama değerleri mm. duyarlılığındaki çelik şerit metre ile piston hareketi üzerinden ölçülmektedir.

Ankraj sistemine bağlı olmayan bir ölçme sistemi ile ölçüm alınması yabancı şartnamelerde önerilen bir yöntem olmakla beraber böyle sistemlerin bazı olumsuz yanları olduğu düşünülmektedir. Ankraj sisteminden bağımsız olarak uzama ölçümü yapacak olan sistemin, ankraj duvarının hareketi gibi etkileri de tendonun uzaması olarak algılayacağı düşünülmektedir. Tendonda

meydana gelen uzamaya ilave olarak duvarın yerdeğiştirme değerinin de eklenmesinin söz konusu olacağı düşünöldüğü için ankraj sistemine bağlı olarak ölçüm alan SD-1 sistemi tasarlanmıştır. Dolayısıyla ölçme sisteminin de duvarın olası hareketleri ile beraber hareket etmesi ile sadece tendonda oluşan uzama değişimi değerleri belirlenmektedir.

Bu çalışmada kullanılan SD-1 ölçme sistemi, yabancı şartnamelerde önerilen ölçme sistemlerine de alternatif olarak geliştirilmiştir. Bölüm 6.3.2 de yapısı ve çalışma sistemi açıklanmış olan SD-1' in piston üzerine bağlanması yabancı şartnameler ile çelişiyormuş gibi görünmektedir. Ancak, SD-1 tamamen pistonun uzama hareketinden bağımsız olarak ölçüm almaktadır. SD-1' in ankraj tendonuna yükü ilettiği nokta olan ankraj kafasının önüne yerleştirilen plakalı bir başka kafadan ölçüm alması, ankraj kafasında ve griplerde oluşabilecek krip hareketini içermemesini sağlamaktadır. SD-1 sistemine bağlı bulunan % 1 mm. duyarlılıkla okuma alınmasını sağlayan komparatör, sistemde oluşan en küçük krip hareketini belirleyebildiği için sistemin 2 mm. lik krip sınırını aşmaması durumunda bile sistemin davranış eğiliminin yorumlanmasına yardımcı olacak ölçümler alınmasını sağlamaktadır.

Hangi ölçme sistemi kullanılırsa kullanılsın, ankraj deneylerinde ankraj sisteminin davranışını belirlemek için kullanılacak olan ölçme sistemi en az % 1 mm. duyarlılı olarak uzama değişimi ölçümü yapabilmeli ve bu ölçümü piston üzerinden yapmamalıdır. Sadece uzama ölçümü ile davranışının tam olarak belirlenemeyeceği düşünölen ankraj sistemlerinde yükün de kontrol edilmesi gerektiği bölüm 7.3 de belirtilmişti. Özellikle krip deneyi süresince, ankraj sistemindeki yük değişiminin izlenmesini sağlayacak bir yük hücresi ile davranış eğiliminin belirlenebileceği düşünölmektedir. Yük değişiminin, pistona uygulanan basıncı ölçen saat üzerinden yapılmaması gerekmektedir.

Bu önerilere göre oluşturulacak sistem ile alınacak olan verilerin daha duyarlı, gerçekçi ve sistemin yorumlanmasına yardımcı olacağı düşünölmektedir.

7.4.2 Deney yöntemi üzerine öneriler

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi sırasında farklı şantiyelerde incelemelerde bulunulmuştur. Her şantiyede uygulanan deney ve gözlemlene yöntemlerinin birbirinden farklılıkları olduğu gözlenmesine karşın hepsinde, yabancı şartnamelerde önerildiği şekilde kademeli yükleme yapılmaya çalışıldığı görülmüştür. İmalat sürelerinin olabildiğince aza çekilmesi amacıyla bu deneyler içinde krip deneyinin uygulanmadığı söylenebilir. Bir ankraj sisteminde 50 dakika beklenmesinin kazı destek sisteminin yapımını çok geciktirdiği düşünülmektedir. Bu krip deneylerinde elde edilecek olan ankraj sistemi davranış eğiliminin kazı destek sisteminin zaman içinde ne şekilde davranış göstereceğini belirlemekte yardımcı olacağı düşünülmemektedir. Bu veriler elde edilmeden veya elde edilen veriler doğru olarak yorumlanmadan yapılan ankrajlı destek sistemi şantiyelerinin hepsinde sorunların yaşanması ile karşı karşıya kalınmıştır. Karşılaşılan sorunlar şöyle sıralanabilir :

1. Duvar arkasında bulunan zemin yüzeyinde belirgin çatlamlar,
2. Kazı duvarında deplasmanlar,
3. Ankraj sistemlerinde zaman içinde yük kayıpları,
4. Duvar arkasındaki zeminde duvar deplasmanından kaynaklanan oturmalar,
5. Duvar arkasında bulunan yapıların özellikle dilatasyon derzlerinden ayrılmaları ve hatta binaların kolon kiriş birleşimlerinde, duvarlarında çatlamlar,
6. Binaların dengesiz bir şekilde oturma sorunları ile karşılaşması sonucu binalarda çarpılmalar,

Bu etkiler ankrajlı destek sistemlerinde karşılaşılan ve ülkemizdeki uygulamalarda sıkça görülen sorunlardandır. Bu sorunlara karşın ankrajlı destek sistemleri uygulayan uygulayıcılar ankrajlar üzerinde yapılması gereken deneyler konusunda özel bir çaba göstermemektedir. Yapılması zorunlu olarak yabancı şartnamelerde belirtilmiş olan ankraj deneylerinin üç ayrı aşamada

ele alındığı Bölüm 4.8 de verilmiştir. Bu öneriler ışığında, ülkemizde yapılan ankrajlı sistemlere uygulanacak olan deneylerin de

1. Üretim öncesi,
2. Üretim aşaması,
3. Üretim sonrası deneyler

şeklinde sınıflandırılarak uygulanmasının gerekliliği görülmektedir.

Üretim öncesi deneylerde, ankraj sistemi göçertilinceye kadar yüklenerek sistemin kapasitesi, ulaşabileceği en son yük değeri ve buna karşılık oluşabilecek uzama değerleri belirlenir. Dolayısıyla ankraj sisteminin davranış sınırları belirlenerek üretim sırası deneylerde sisteminin sınır değerlere ulaşp ulaşmadığını yorumlamaya yardım edecek referans değerler elde edilmiş olur.

Üretim aşaması deneylerde ankraj sisteminin kaya ortamı ve kohezyonsuz zeminlerde tasarım yükünün 1.25 katına, kohezyonlu zeminlerde ise 1.5 katına kadar yüklenerek yük-uzama değerlerinin belirlenmesi ile ankraj sisteminin serbest boyunun ve kök boyunun kontrolünün yapılması sağlanır. Tasarım yükünün 1.25 veya 1.5 katı olan deney yükünde 0., 0.5., 1., 3., 5., 10., 20., 30., 40. ve 50. dakikalarda alınan uzama okumalarıyla beraber yük hücresi üzerinden alınan yük değerleri ankraj sisteminin zaman içinde göstereceği davranış eğiliminin belirlenmesini sağlar.

Üretim sonrası deneyler 7.4.3 de açıklanmaktadır ve bu deneyler sistemin gözlemlenmesine yöneliktir. Bu deneyler ile ilgili İngiliz Şartnamesi' nde detaylı öneriler verilmiştir (bölüm 5.5.5).

Özellikle fazla çeşitlilik gösteren ve zemin ortamında uygulanan ankraj sistemlerinde üretim öncesi ve üretim aşaması deneyler önem kazanmaktadır. Eğer zemin kumlu zemin ise üretim aşamasında yapılacak olan kripi

deneylerinde ankraj sisteminde oluşan yük kayıpları ve ankraj sisteminin davranış eğilimi kolayca belirlenebilirken, killi zeminlerde üretim öncesi ve üretim sonrası deneyler önem kazanmaktadır. Killi zeminlerde zaman içinde oluşacak olan krip etkisinin ankrajlı kazı destek sistemine kurulacak olan gözlemleme sistemi ile üretim sonrası izlenmesi 7.4.3 de önerilmektedir. Üretim aşamasında uygulanan krip deneylerinde de killi zeminlerdeki ankraj sistemlerinin davranış eğilimleri hakkında bilgi edinilmesi sağlanır.

Kaya ortamında yapılan ankrajlı uygulamalarda ankraj sisteminin davranışı üzerinde krip etkisinin çok belirgin olmaması nedeniyle bu ortamlardaki uygulamalarda üretim öncesi deneyler ve üretim sonrası deneyler önem kazanmaktadır.

7.4.3 Gözlemleme yöntemleri üzerine öneriler

Ankrajlı kazı destek sistemlerinin yapımlarının kademeli olarak gerçekleştirilmesi, tasarım aşamasında yapılan kabullerde dikkate alınmamaktadır. Ankrajlı kazı destek sistemine temel kotunda etkiyecek olan yük tasarımda kabul edildiği kadardır, ancak temel kotuna ulaşıncaya kadar ankraj sistemlerine etkiyecek olan yük değerleri sürekli değişim göstermektedir. Kazı kademeleri ilerledikçe sisteme etkiyen yük artmakta ve ankraj sistemlerinde oluşan uzama değerlerinde değişimler görülebilmektedir. Oysa, üretim aşaması deneylerde ankraj sisteminin o andaki zemin ve çevre koşullarına göre gösterdiği davranış belirlenebilmektedir. Kazı temel kotuna inildiğinde etkiyecek olan yük ile göçebilecek bir ankrajın, üretim aşamasındaki şartlara göre göçmediği gözlenebilir. İlerleyen kazı kademelerinde değişen zemin ve çevre koşullarıyla beraber bütün sisteme etkiyen yükteki değişimin kazı destek sistemi üzerindeki etkisinin sürekli olarak yapı dışından yapılacak olan ölçümler ile belirlenmesi gerektiği düşünülmektedir.

Bölüm 5.5.5' de, İngiliz Şartnamesi BS 8081 in detaylı olarak ele almış olduğu gözlemlene yöntemlerine göre ankrajlı kazı destek sistemlerinin yapı dışından çeşitli gözlemlene ve ölçüm aletleri ile takip edilmesi gerektiği belirtilmiştir. Bu sistemleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz :

1. Ankraj sistemlerine paralel olarak yerleştirilen çok noktalı yatay ekstansometreler,
2. Ankraj duvarı arkasında, düşey doğrultuda yerleştirilen inklinometreler,
3. Kazı alanı dışından optik okuma aletleri ile duvar üzerinde ve duvar arkasında sabitlenmiş olan noktalardan alınan yatay ve düşey optik okumalar,
4. Uzun süreli olarak ankraj sistemlerine bağlanmış olan yük hücrelerinden alınan yük değişimi değerleri,
5. Duvar arkasına yerleştirilen basınç ölçerler,
6. Duvar arkasındaki binaların birleşme ve dilatasyon derzlerine yerleştirilen çatlak ölçerler,

Ankrajlı kazı destek sistemlerinde deneylerin kontrollü olarak yapılmadığı ülkemizde yukarıda sıralanmış olan gözlemlene yöntemlerinin hiçbirinin kullanılmadığı görülmektedir. Yukarıdaki gözlemlene yöntemlerinden sadece optik okumaların bazı şantiyelerde uygulandığı gözlenmiştir. Bu şantiyelerde alınan optik okuma değerlerinin ankrajlı kazı destek sisteminin davranış eğilimlerini belirlemede çok önemli bilgiler sağladığı uygulayıcılar tarafından görülmüştür. Optik okumalar ile beraber yatay ekstansometre, inklinometre ve çatlak ölçerlerin kullanıldığı İstanbul Metrosu inşaatında bu ölçümlerden elde edilen veriler ankrajlı kazı destek sistemlerinin göçme oluşması olasılıklarını önceden belirlemiş ve sistemde önlemler alınmasını sağlamıştır. Bu ölçme ve gözlemlene sistemlerinin kullanılmadığı ankrajlı kazı destek sistemlerinin bulundukları ortamlara ne düzeyde zarar verdikleri belirlenmemektedir. Belirlenemeyen bu etkilerin bilinmemesi ankraj sisteminin başarı ile uygulanıp uygulanmadığı sorusuna yanıt verememektedir.

Yabancı şartnamelerde, kazı alanı çevresindeki yapı sahipleri ile uygulayıcılar arasında düzenlenen bir sözleşme ile izinlerinin alınması ve bu yapıların sigortalanmaları zorunlu hale getirilmiştir. Kazı alanı çevresindeki yapı sahipleri ile uygulayıcılar arasında böyle bir sözleşmenin ülkemizde de zorunlu hale getirilmesi, yapı sahipleri açısından bir zorunluluk olarak görülmektedir. Kazı destek sisteminin bir bütün olarak davranışının izlenmesini sağlayacak olan gözlemlerlerin yapılmasını, ankraj sistemleri üzerinde ise üretim öncesi ve üretim aşaması deneylerinin krip deneyleri ile beraber yapılmasını zorunlu hale getiren bir şartnamenin hazırlanmasının gerektiği düşünülmektedir. Bu çalışmada sunulan önerileri de gözönüne alan bir şartnamenin hazırlanması ile uygulayıcılara birtakım zorunluluklar getirilirken olası sorunların yaşanmasının engelleneceği, daha güvenli kazı çalışmalarının yapılabileceği düşünülmektedir.



KAYNAKLAR

- 1) Abu Taleb, G.M.A., (1974), Behavior of Anchors in Sand, Thesis, Sheffield Univ., England.
- 2) Al-Mosawe, M.J., (1979), The Effect of Repeated and Alternating Loads on The Behavior of Dead and Prestressed Anchors in Sand, Thesis, University of Sheffield, England.
- 3) Antill, J.M., (1967), "Relaxation Characteristics of Prestressing Tendons", Civ. Eng. Trans., Inst. Eng. Australia, 7 (2):151-159.
- 4) Bannister, J.H.L., (1959), "Characteristics of Strand Prestressing Tendons", Struct. Eng., 37 (3):79-96.
- 5) Barley, A.D., (1974), "Private Communication".
- 6) Bassett, R.H., (1977), "Underreamed Ground Anchors", Specialty Session No.4, 9th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., Tokyo, pp. 11-17, 89-94.
- 7) Bastable, A.D., (1974), "Multibell Ground Anchors in London Clay", Prest. Concrete Found. and Ground Anchors, 7th FIP Cong., New York, pp. 33-37.
- 8) Biberoğlu, S., (1997), "Kişisel Görüşme", İstanbul Metrosu İnşaatı.
- 9) Brown, D.G., (1970), "Uplift Capacity of Grouted Rock Anchors", Ontario Hydro. Res. Q., 22 (4): 18-24.
- 10) BS 8081, (1989), British Standard Code of Practise for Ground Anchorages, British Standards Institution.
- 11) Bureau Securitas, (1972), Recommendations Concernant La Conception, Le Calcul., L' exécution et Le Controle des Tirants d'ancrage, Recommendations TA 72, September.
- 12) Carr, R.W., (1971), An Experimental Investigation of Plate Anchors in Sand, Thesis, Sheffield Univ.
- 13) Chandler, R.J., (1968), The Shaft Friction of Piles in Cohesive Soils in Terms of Effective Stress, Civ. Eng. Public Works Rev., No. 63: 48-51.
- 14) Cheney, R.S., (1984), Permanent Ground Anchors, U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration Demonstration Projects Division, Washington D.C.

- 15) Coates, D.F., (1970), "Rock Mechanics Principles", Dept. Energy. Mines and Resources. Mines Monograph No. 874, Ottawa.
- 16) Coates, D.F. ve Y.S. Yu, (1970), "Three Dimensional Stress Distributions Around a Cylindrical Hole and Anchor", Proc. 2nd Int. Conf. on Rock Mech., Belgrade, pp. 175-182.
- 17) DIN 4125, (1990), "Ground Anchorages", Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin.
- 18) Eberhardt, A., ve J.A. Veltrop, (1965), "Prestressed Anchorage for Large Trainter Gate", Proc. ASCE, J. Struct. Div., 90 (ST6):123-148.
- 19) El-Haggan, S.M., (1978), The Behaviour of Inclined Anchors Subjected to Axial Static and Repeated Loading in Dry Sand, Thesis, University of Sheffield, England.
- 20) Fargeot, M., (1972), "Reply to FIP Questionnaire".
- 21) Fenoux, G.Y., ve J.L. Portier, (1972), "La Mise en Precontrainte des Tirants", Travaux, 54 (449-450): 33-43, 43-53.
- 22) Fujita, K., Ueda, K. ve Kusabuka, M., (1977), "A Method to Predict the Load-Displacement Relationship of Ground Anchors", Specialty Session No.4, 9th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Tokyo, pp. 58-62.
- 23) Geddes, J.D., ve I. Soroka, (1964), "The Effect of Ground Properties on Transmission Length in Grout-Bonded post-Tensioned Beams", Mag. Conc. Reg., 16 (47), Great Britain.
- 24) Golder Brawner Assocs., (1973), "Government Pit Slopes Project III: Use of Artificial Support for Rock Slope Stabilization", Parts 3, 1, 3, 6, Unpublished, Vancouver, Canada.
- 25) Hanna, T.H., (1973), Foundation Instrumentation, Trans Tech. Publications.
- 26) Hanna, T.H., (1982), Foundation in Tension-Ground Anchors, McGraw Hill, ABD.
- 27) Hawkes, J.M., and R.H. Evans, (1951), "Bond Stresses in Reinforced Concrete Columns and Beams", Struct. Eng., 29 (12):323-327.
- 28) Hennequin, M., ve H. Cambefort, (1966), "Consolidation du Remblai de Malherbe", Revue Generale des Chemins de Fer, pp. 9.

- 29) Hobst, L., (1965), "Vizepitmenyek Kilhorgonyzasa", Vizugi Koziemenyek, 4:475-515.
- 30) Ivering, J.W., (1981), "Development in the Concept of Compression Tube Anchors", Ground Eng., 14, 31-34, Found. Publ. Ltd., Essex.
- 31) Jorge, G.R., (1969a), "Devices to Destroy in Place Temporary Anchorages, Rods, Wires or Cables", Specialty Session No. 15, Anchorages Especially in Soft Ground, Proc., 7th Intern. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Mexico City, Paper 15-11.
- 32) Jorge, G.R., (1969b), "The Re-groutable IRP Anchorage for Soft Soils, Low Capacity or Karstic Rocks", Proc. 7th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., Specialty Session No. 15, pp. 159-163, Mexico City.
- 33) Jorge, G.R., (1970), "The Regroutable IRP Earth Anchor Tiebacks", Specialty Session No. 15, Anchorages Especially in Soft Ground, Proc., 7th Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Mexico City.
- 34) Littlejohn, G.S., (1970a), "Development of Soil Anchorage Systems", Ground Anchors, Con. Eng., May 1970.
- 35) Littlejohn, G.S., (1970b), "Anchorage in Soils-Some Empirical Design Rules", Suppl. Ground Anchors, Cons. Eng. (may)
- 36) Littlejohn, G.S., (1970c), "Soil Anchors", ICE Conf. on Ground Eng., London, June 16, pp. 33-44, Discussion pp. 115-120.
- 37) Littlejohn, G.S., (1970d), "Soil Anchors", ICE Conf. on Ground Eng., London, June 16, pp. 89-94.
- 38) Littlejohn, G.S., (1980a), "Ground Anchors", State-of-the-Art, Civ. Eng. Surveyor (Aug.), London.
- 39) Littlejohn, G.S., (1980b), Design Estimation of the Ultimate Load-Holding Capacity of Ground Anchors, Ground Eng., Found. Publ. (Nov.), Essex, England.
- 40) Littlejohn, G.S., (1982a), "Design of Cement-Based Grouts", Proc. Conf. on Grouting in Geotechnical Engineering, ASCE, New Orleans.
- 41) Littlejohn, G.S., (1982b), "The Practical Applications of Ground Anchorages", Proc. 9th. FIP Congress, June, Stockholm.
- 42) Littlejohn, G.S., and C. Truman-Davies, (1974), "Ground Anchors at Devonport Nuclear Complex", Ground Eng. 7 (6):19-24.

- 43) Littlejohn, G.S., D.A. Bruce ve W. Deppner, (1977), "Anchor Field Tests in Carboniferous Strata", Specialty Session No.4, Proc. 9th Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Tokyo, pp. 82-86.
- 44) Littlejohn, G.S. ve Bruce, D.A., "Rock Anchors: State of Art", Ground Engineering, May 1975, Vol.8, No.3, 25-32; July 1975, Vol.8, No.4, 41-48; September 1975, Vol.8, No.5, 34-45; November 1975, Vol.8, No.6, 36-45.
- 45) Littlejohn, G.S. ve Bruce, D.A., "Rock Anchors: State of Art", Ground Engineering, March 1976, Vol.9, No.2, 20-29; May 1976, Vol.9, No.3, 55-60; July 1976, Vol.9, No.4, 33-44.
- 46) Littlejohn, G.S., ve D.A. Bruce, (1977), Rock Anchors-State of the Art, Found. Publ. Ltd., Essex, England.
- 47) Littlejohn, G.S., ve Macfarlane, L.M., "A Case Study of Multi-tied Diaphragm Walls", Conference on Diaphragm Walls and Anchorages, Institution of Civil Engineers, London, 1974, 113-121.
- 48) Longbottom, K.W., ve G.P. Mallet, (1973), "Prestressed Steels", The Structural Engineer (Struct. Eng.), London, 51 (12):455-471.
- 49) Mascardi, C., (1973), "Reply to Aberdeen Questionnaire", Unpublished Report.
- 50) Mastrantuono, C., ve A. Torniolo, (1977), "First Application of a Totally Protected Anchorage", Proc. 9th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., Tokyo, Specialty Session, pp. 107-112.
- 51) Mitchell, J.M., (1974), "Some Experiences With Ground Anchors in London", Proc. Diaphragm Walls and Anchorages Conf., Inst. of Civ. Eng., London (Sept.), Paper No. 17:128-133.
- 52) Mitchell, J.M., (1974), "Ground Anchors", DIC Dissertation, Dept. Civ. Eng., Imperial College of Science and Tech., Jan.
- 53) Moussa, A.A., (1976), "Equivalent Drained-Undrained Shearing Resistance of Sand to Simple Shear Loading", Geotechnic., Vol.25, No.3:485-494.
- 54) Muller, H., (1966), "Erfahrungen mit Verankerungen System BBRV in Fels- und Lockergesteinen", Schweizerische Bauzeitung, 84 (4):77-82.
- 55) Neely, W.J., ve M. Montague-Jones, (1974), "Pull-out Capacity of Straight-Shafted and Underreamed Ground Anchors", Die Sivele Ingenieur in Suid-Africa Jaargang 16 (4):131-134.

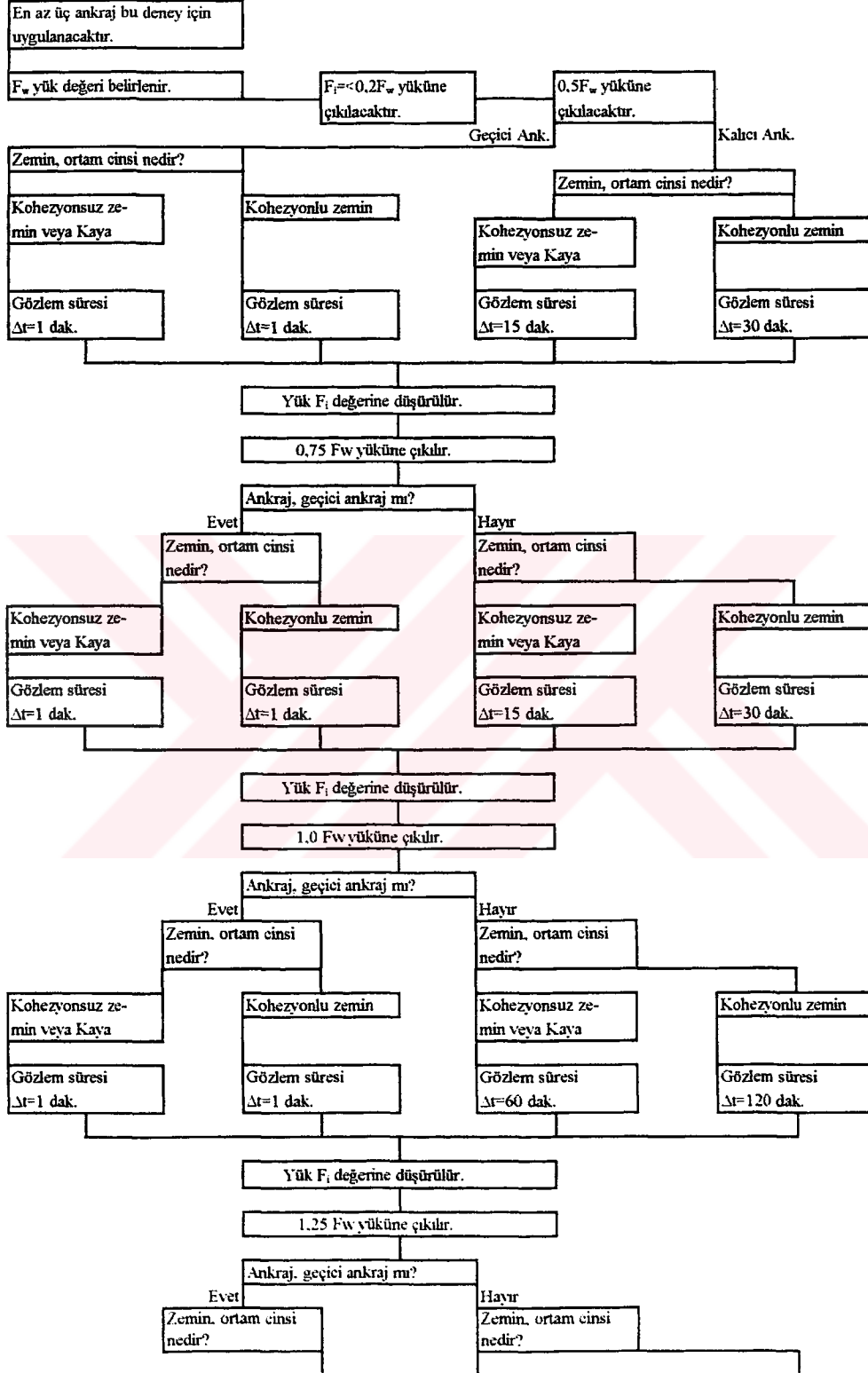
- 56) Nicholson Anchorage Co. Ltd., (1973), "Rock Anchor Load Tests For Sheet Pile Bulkhead for The General Reinsurance Corporation Project", Steamboat Road, Greenwich, Conn., USA, Unpublished Report, 88 pp.
- 57) Ostermayer, H., (1974), "Construction, Carrying Behavior and Creep Characteristics of Ground Anchors", Proc. Diaphragm Walls and Anchorages Inst. Civ. Eng., London, pp. 141-151.
- 58) Ostermayer, H. ve Scheele, F., (1977), "Research on Ground Anchors in Non-cohesive Soils", Speciality Session No.4, 9th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Tokyo, 92-97.
- 59) Rice, S.M., ve T.H. Hanna, (1981), "Tests on Pull-Scale Vertical Anchors in Stiff Glacial Till Soil", Ground Eng., 14 (2, March), 16-28.
- 60) Saliman, R., ve R. Schaefer, (1968), "Anchored Footings for Transmission Towers", ASCE Annual Meeting and National Meeting on Structural Engineering, Pittsburgh, Pa., Sept. 30-Oct. 4, Preprint 753, 28 pp.
- 61) Short, A., (1975), "DoE Studies Creep and Stress Behaviour at NAVY Complex", Constr. News (Sept. 4), 28-29.
- 62) SIA 191, (1977), "Ground Anchors", Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zurich.
- 63) Suzuki, I., T. Hirakawa, K. Morii, ve K. Kanenko, (1972), "Developments Nouveaux dans les Fondation de Pylons pour Lignes de Transport THT du Japan", Conf. Int. des Grande Reseaux Electriques a Haute Tension, Paper 21-01, 13 pp.
- 64) Swain, A., (1976), Model Ground Anchors in Clay, Ph. D. Thesis, University of Cambridge,
- 65) Tanaka, Y., (1980), Consolidation Behaviour of a Single Underreamed Anchor in Clay, Ph. D. Thesis, Univ. Sheffield, England.
- 66) Thompson, F., (1970), "The Strengthening of John Hollis Bankhead Dam", Civil Engineering, Vol.39, No.12:75-78.
- 67) Wernick, R., (1977), "Stresses and Strains on the Surfaces of Anchors", Speciality Session No.4, 9th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Tokyo, 113-119.
- 68) White, R.E., (1973), "Reply to Aberdeen Questionnaire", Unpublished Report.

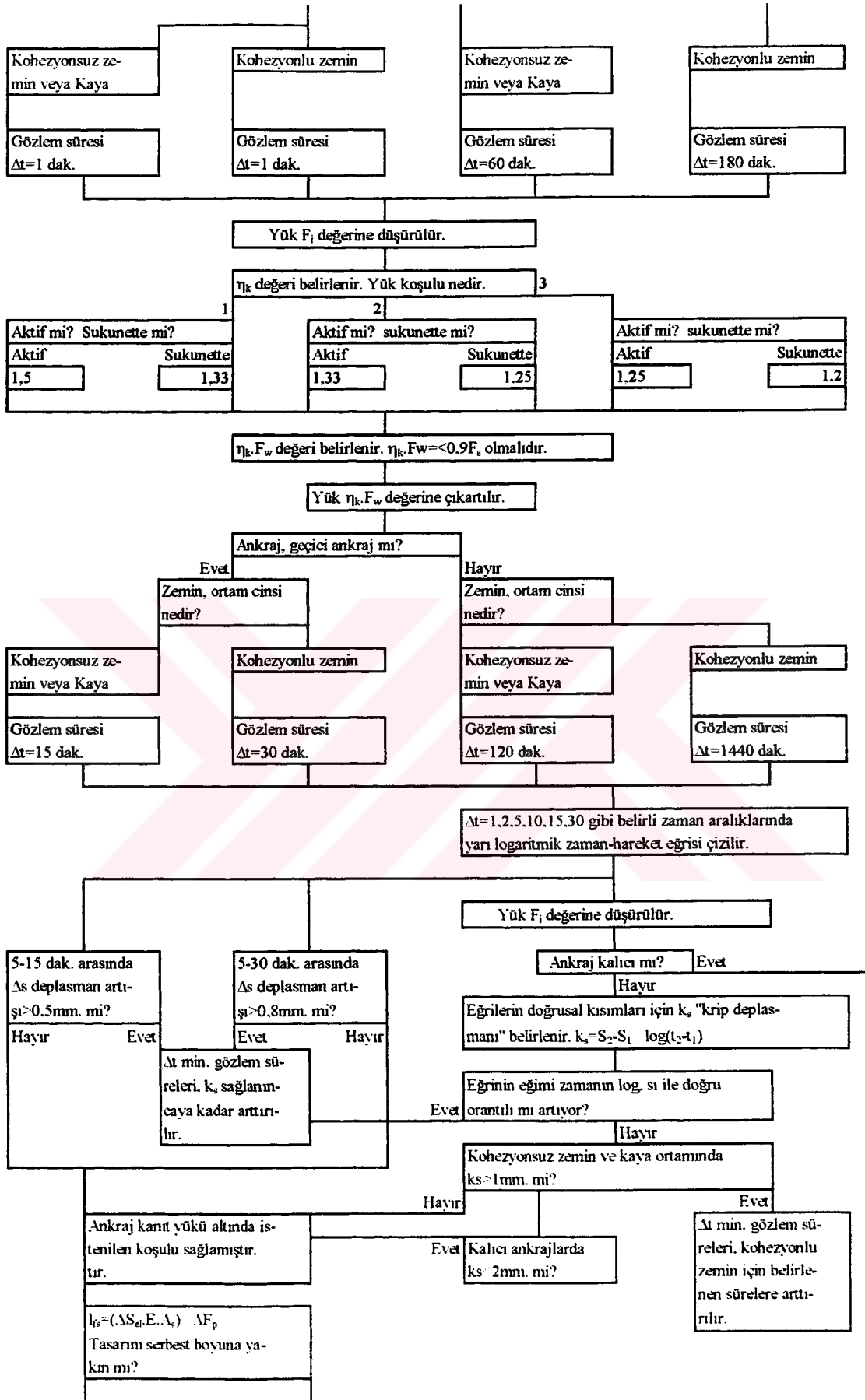
- 69) White, E.E., (1973), "Sheeting and Bracing Systems for Deep Foundations", World Construction, Vol. 26, Part I:20-26.
- 70) Wroth, C.P., (1975), "Report on Discussion on Papers 18-21", page 166. ICE Conf. on Diaphragm Walls and Anchorages, London.
- 71) Xanthakos, P.P., (1991), Ground Anchors and Anchored Structures, John Wiley&Sons, Canada.
- 72) Youd, T.L., ve T.N. Craven, (1975), "Lateral Stress in Sand During Cyclic Loading", J. Geotech. Eng. Div. ASCE, 101 (GT2).

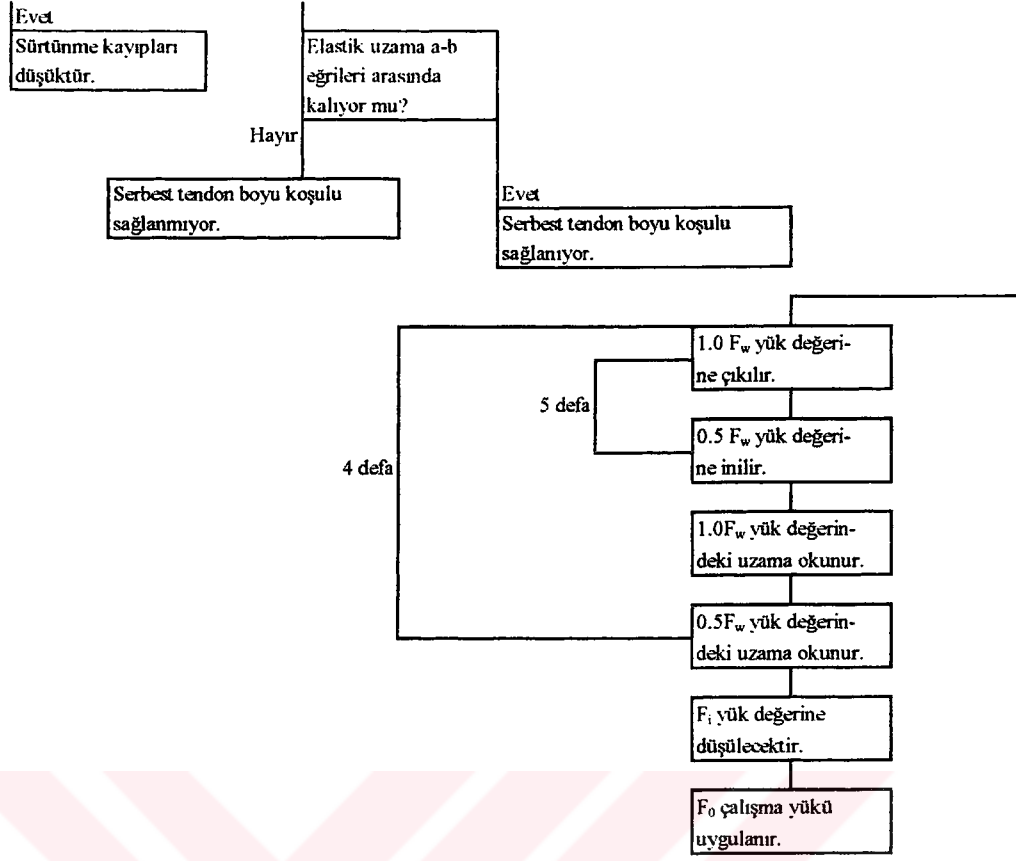


E K L E R

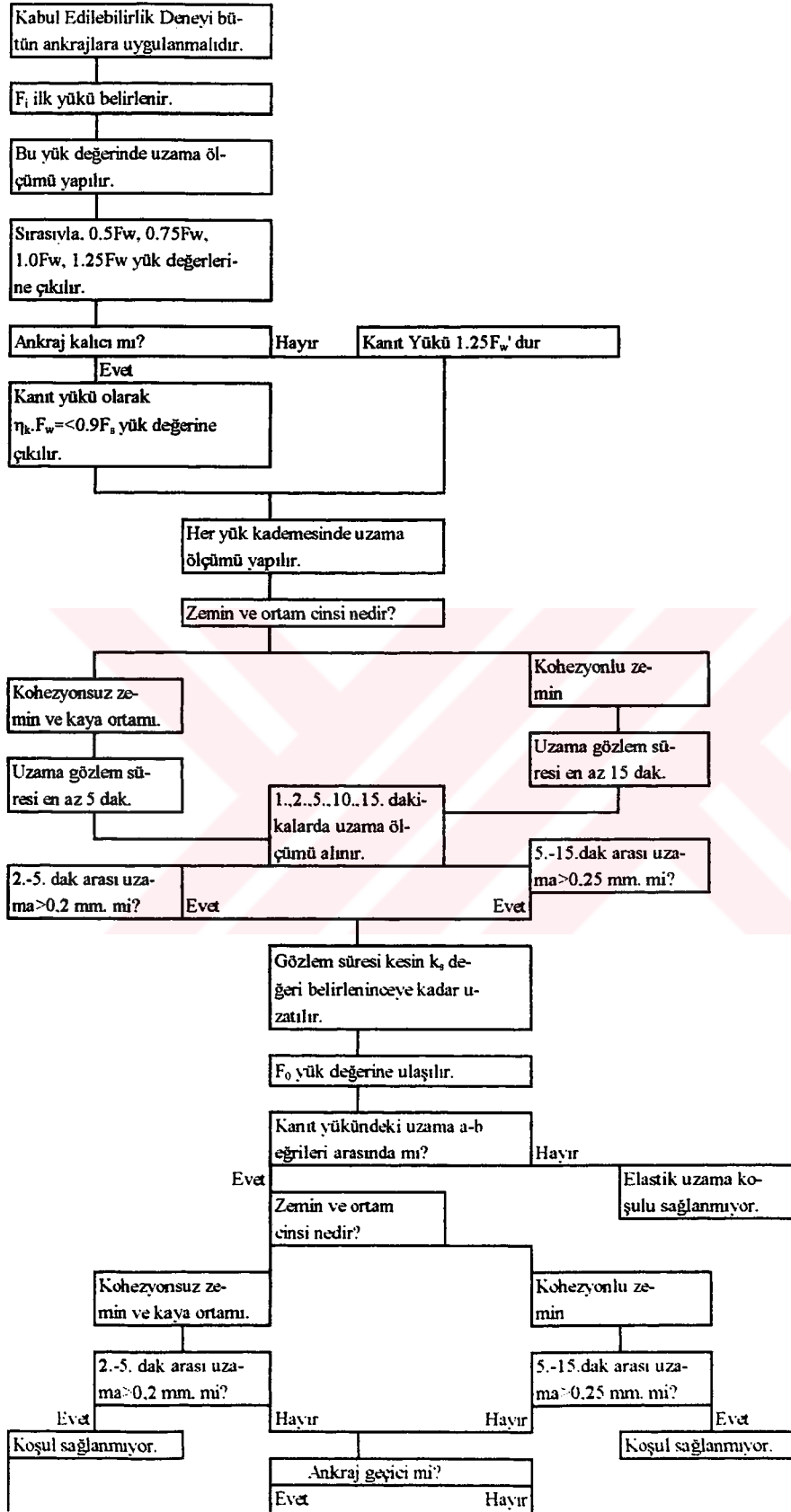
Ek-1 Arazi Uygunluk Deneyleri Akış Şeması - DIN 4125

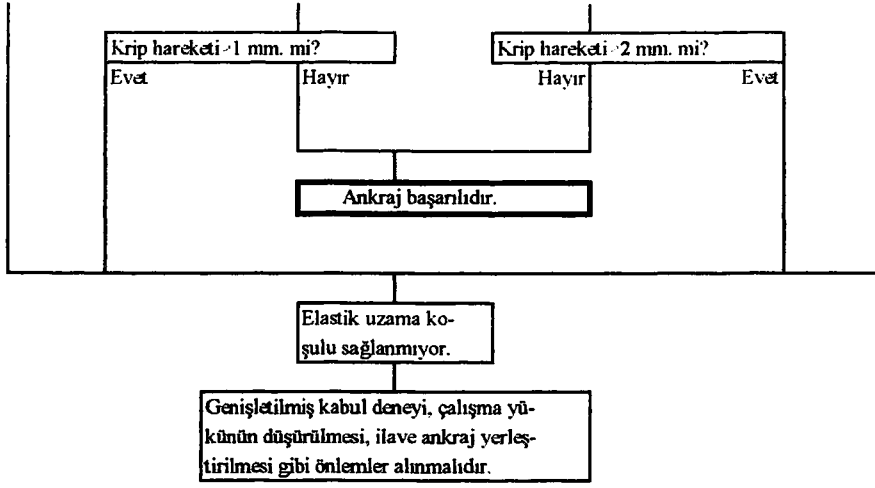




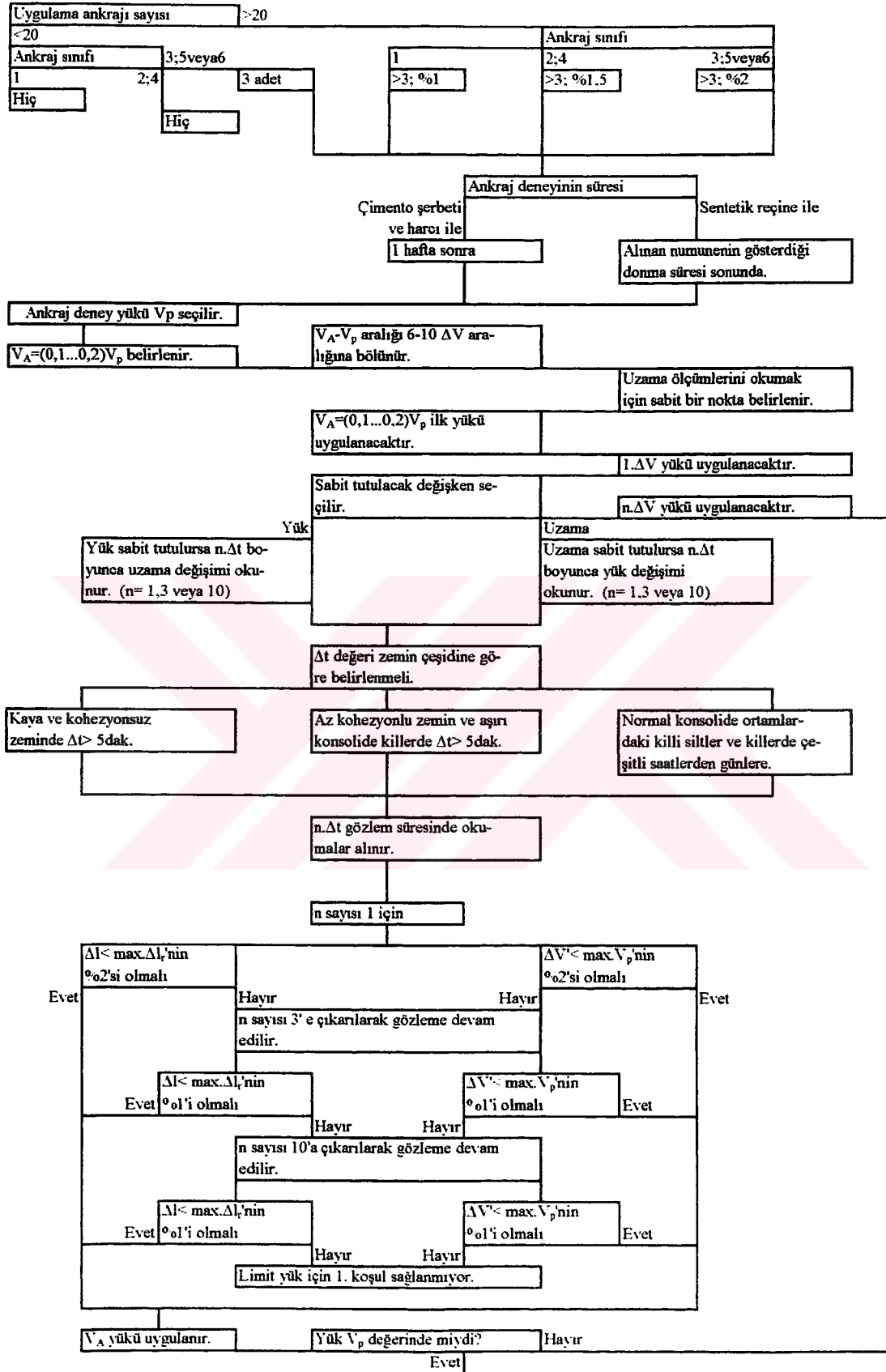


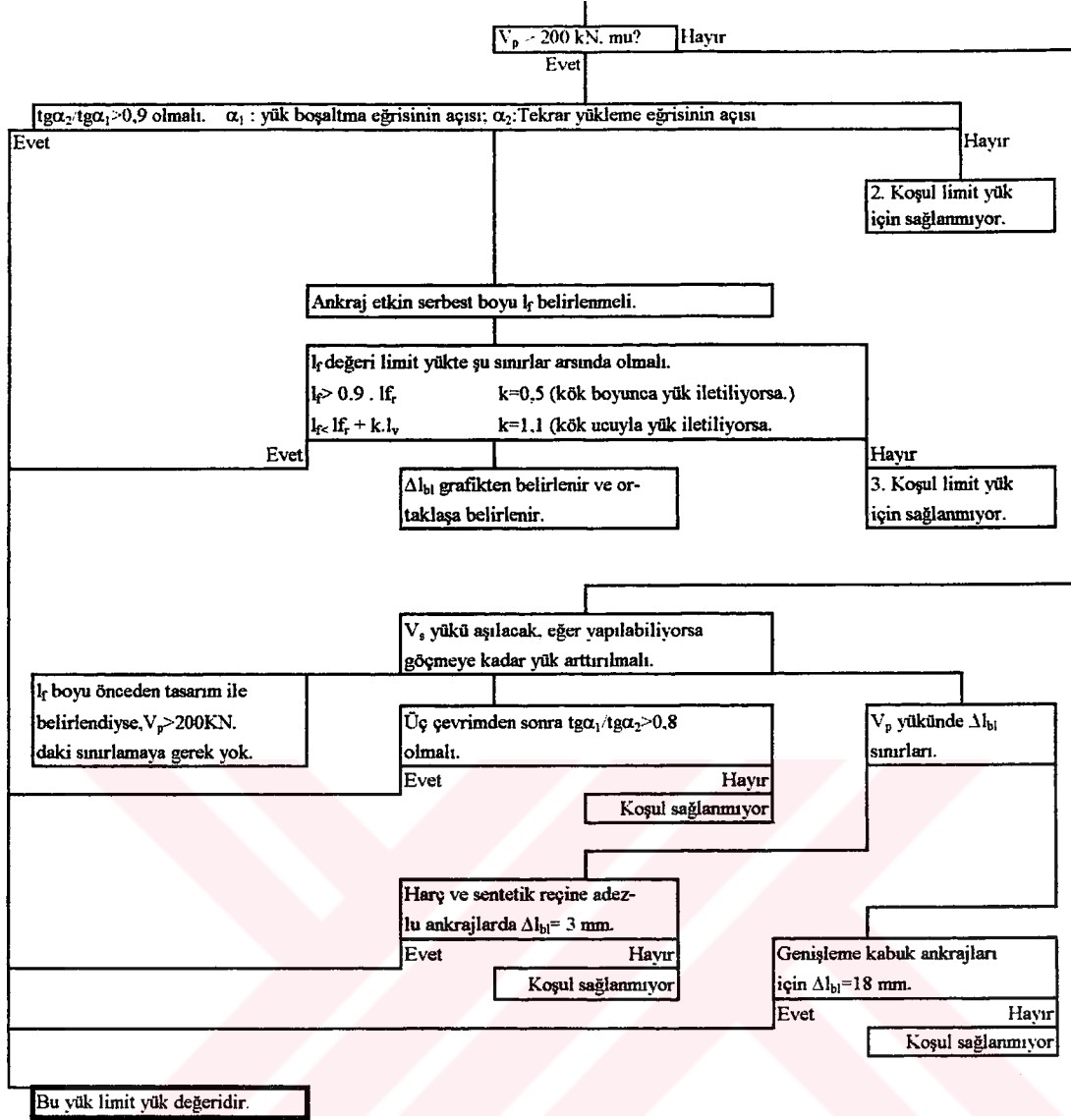
Ek-2 Kabul Edilebilirlik Deneyleri Akış Şeması -DIN 4125



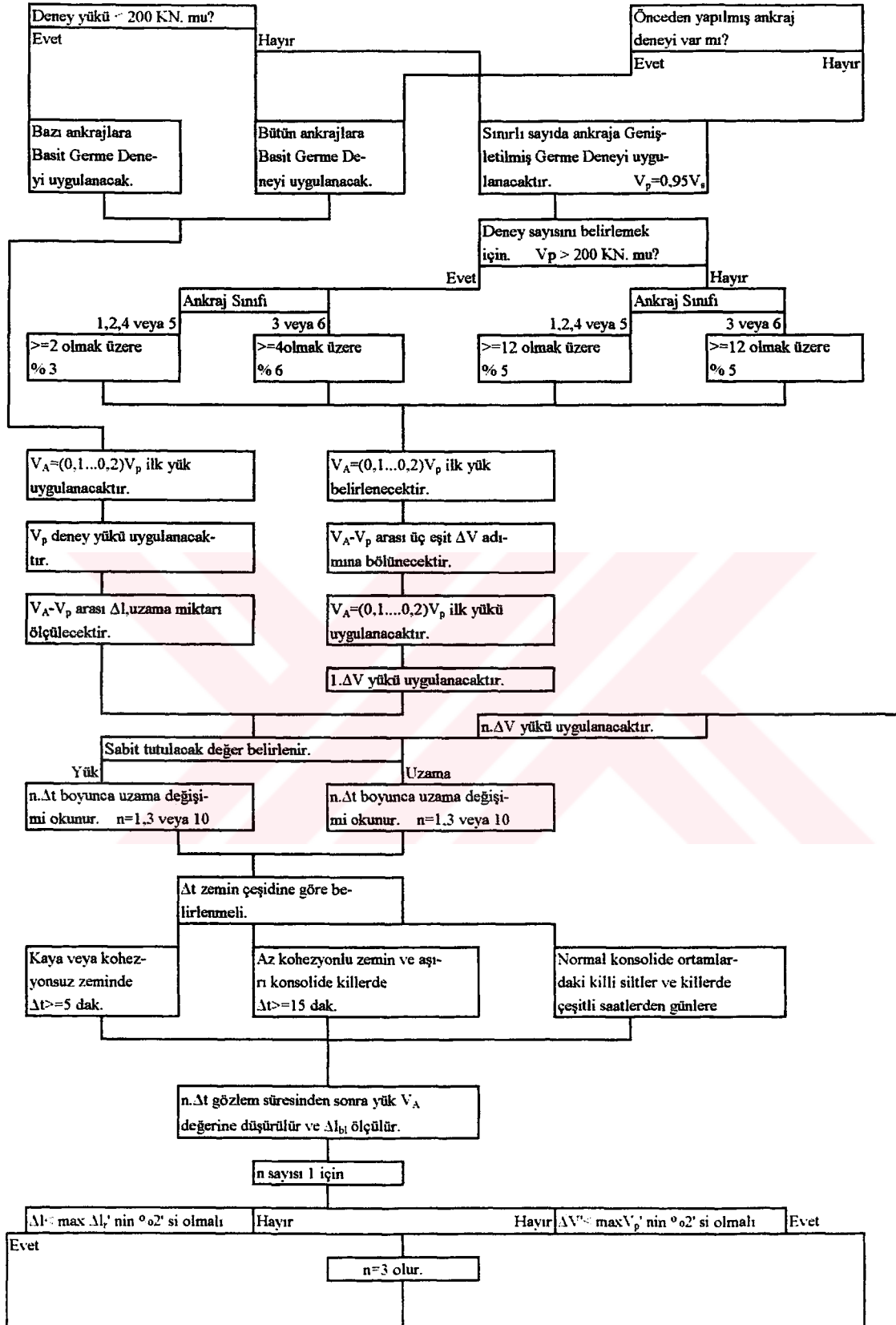


Ek-3 Ankraj Deneyleri Akış Şeması - SIA 191

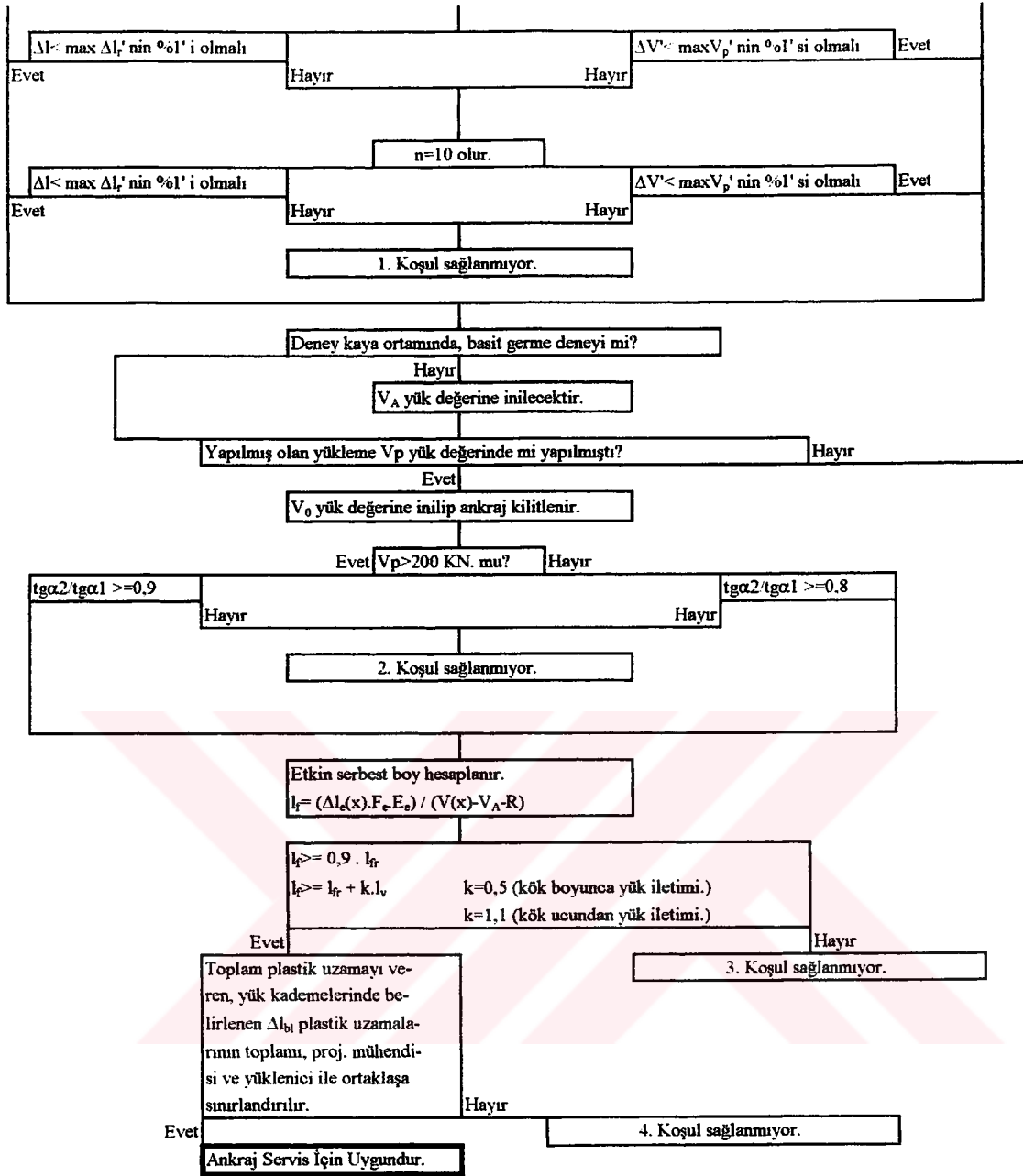




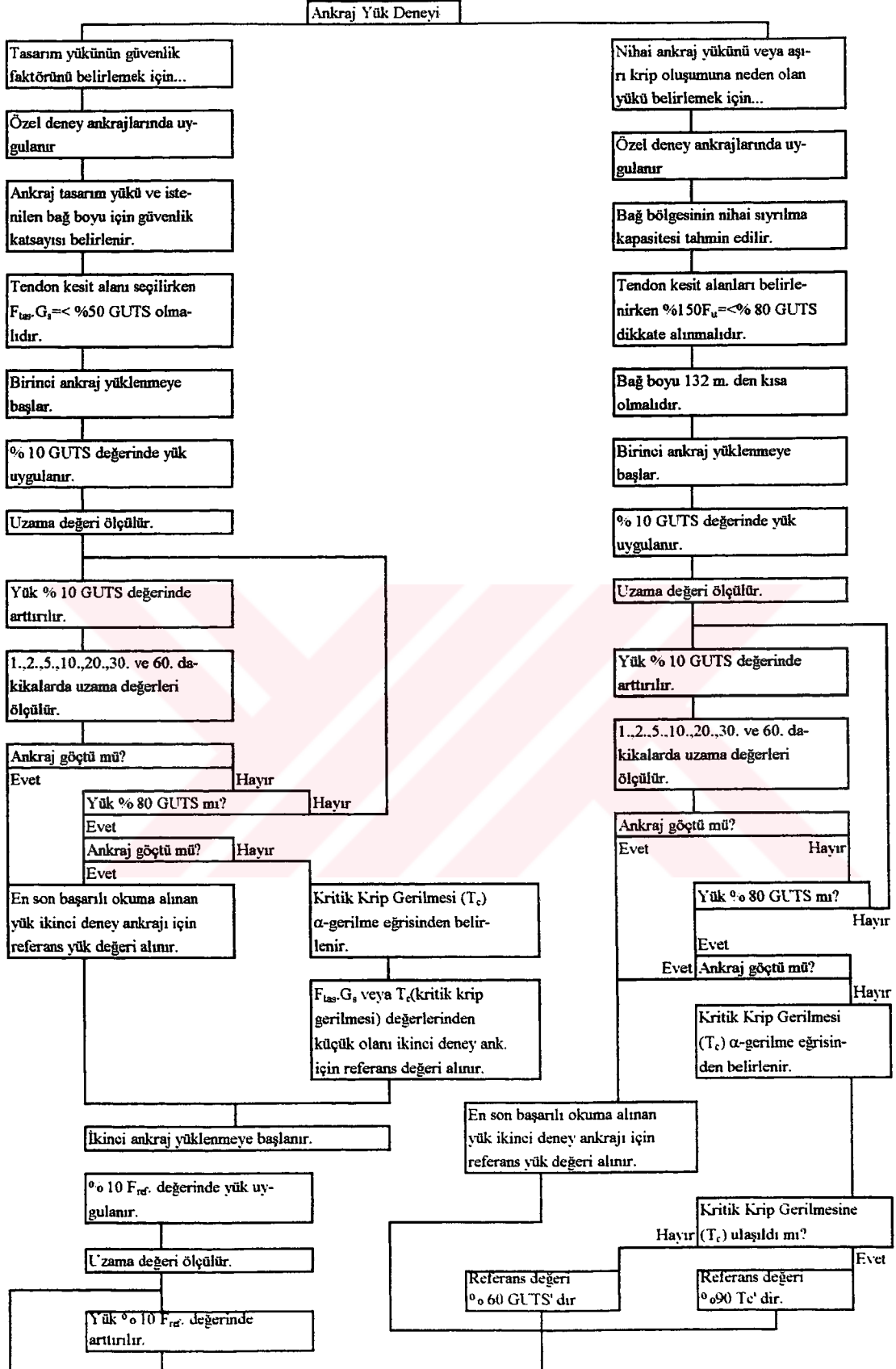
Ek-4 Germe Deneyleri Akış Şeması - SIA 191

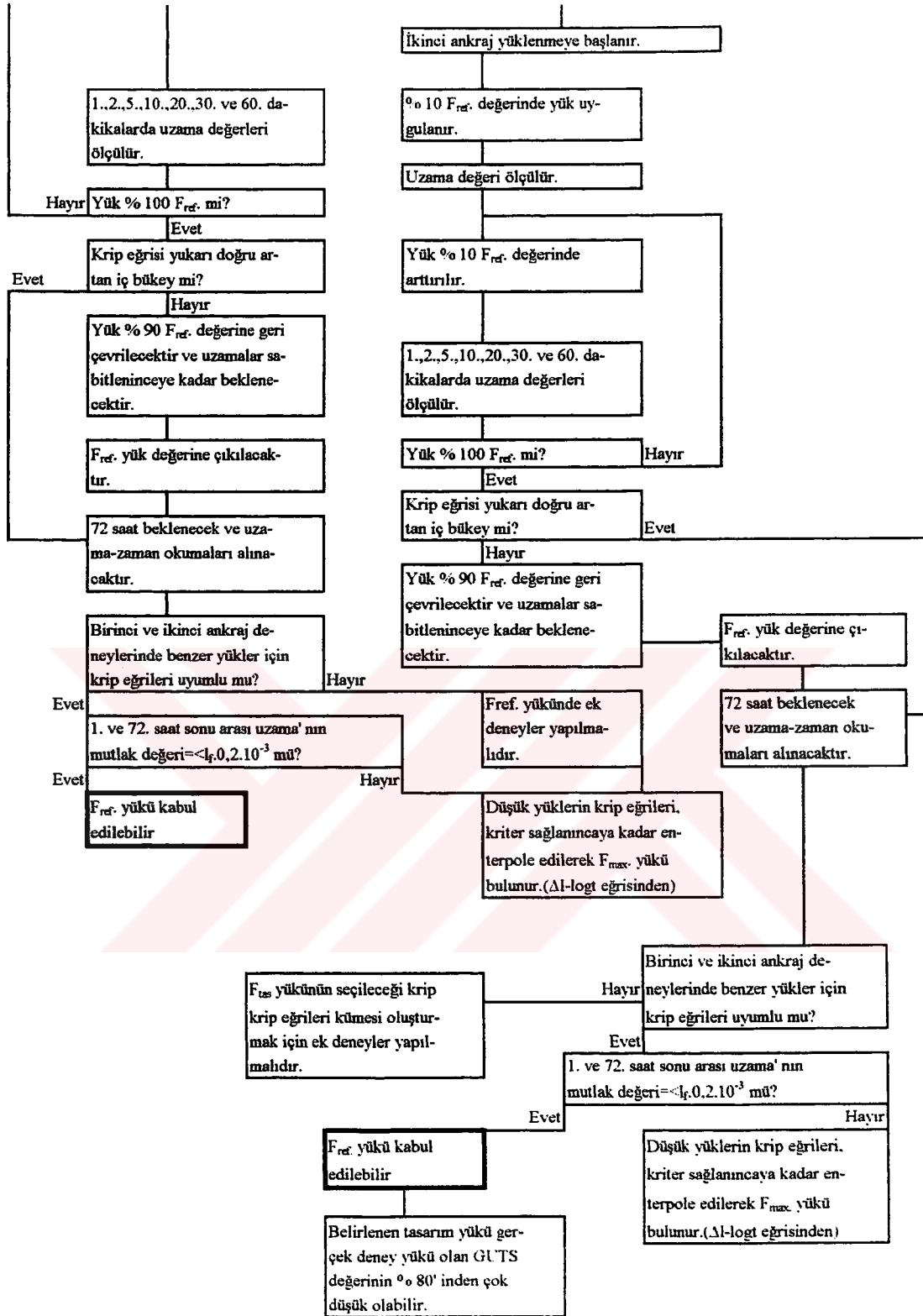


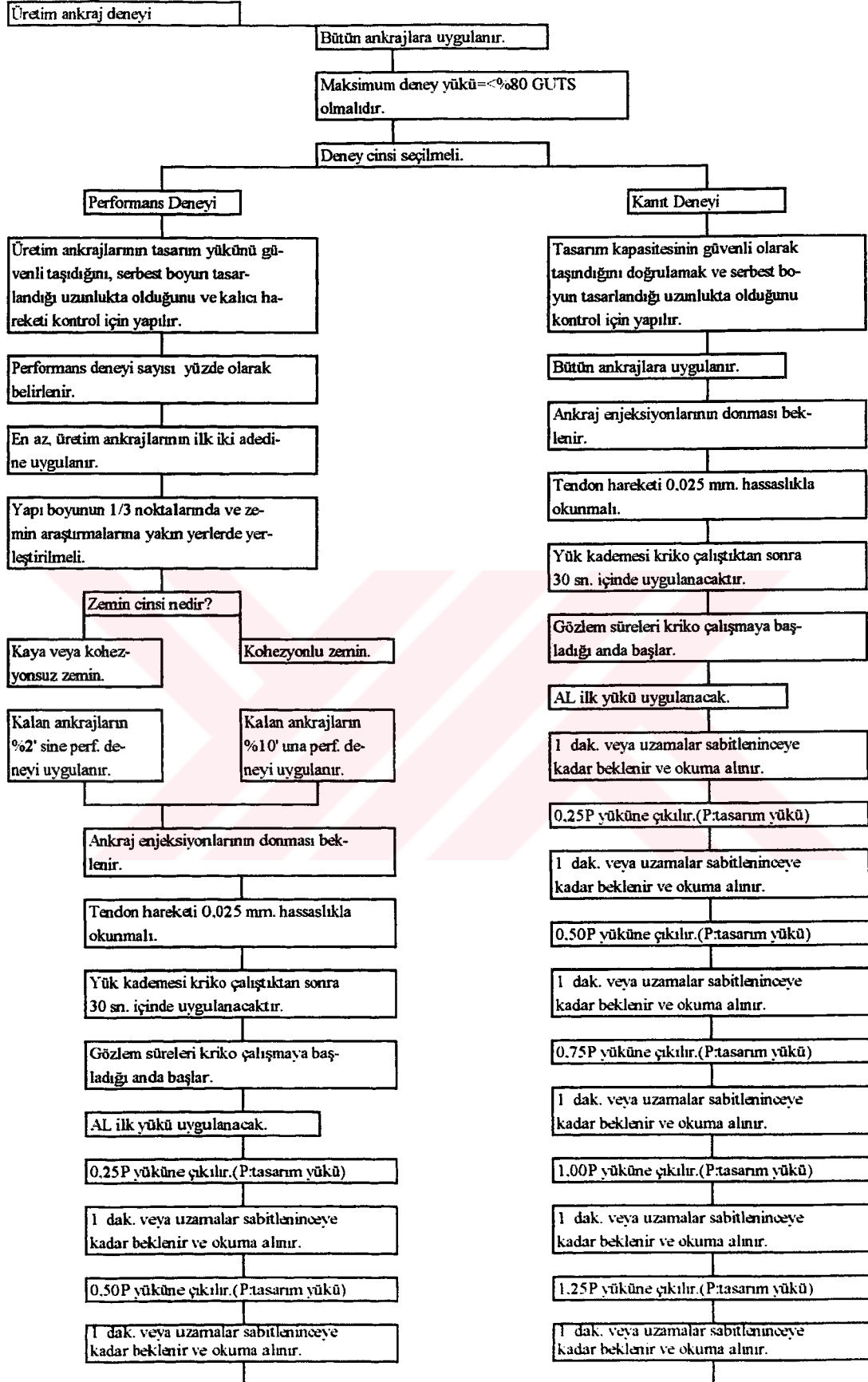
T.C. İÇİŞLERİ BAKANLIĞI
MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI
TEKNIK EĞİTİM KURUMLARI
MÜDÜRLÜĞÜ

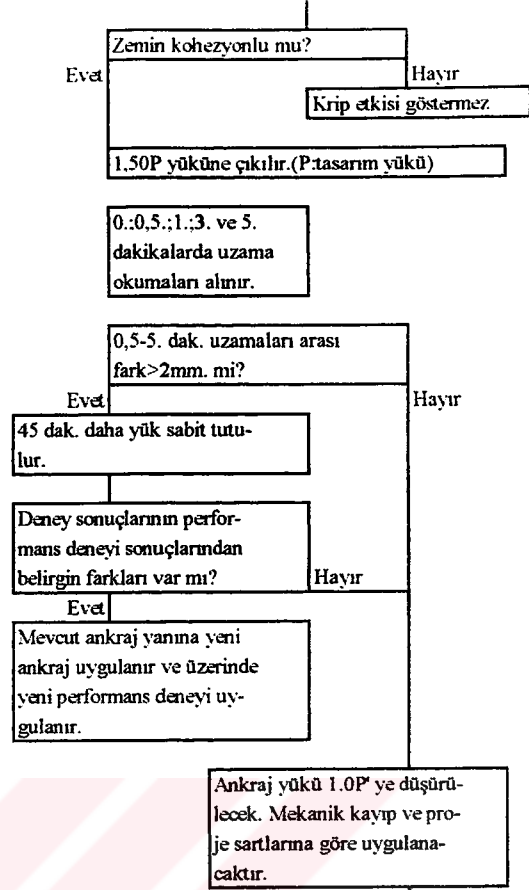
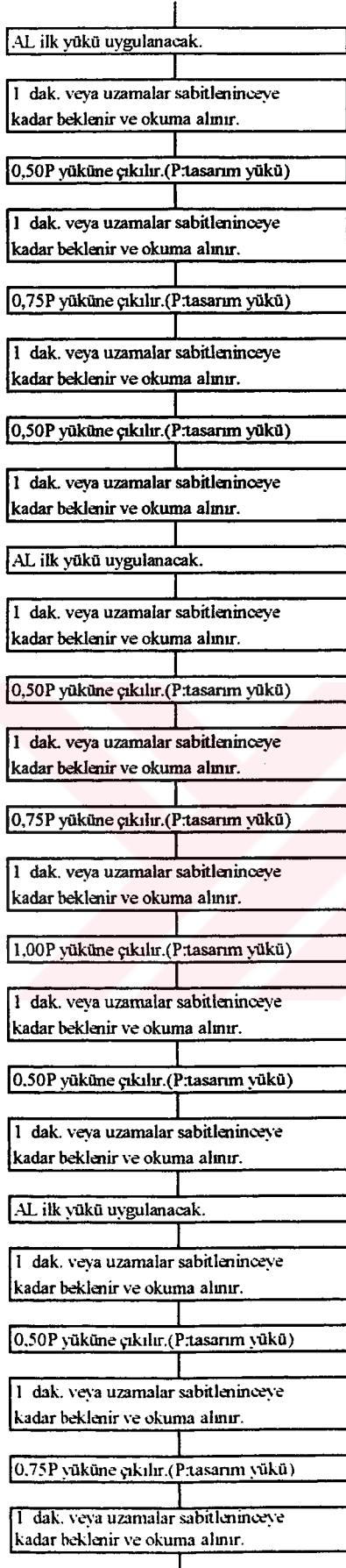


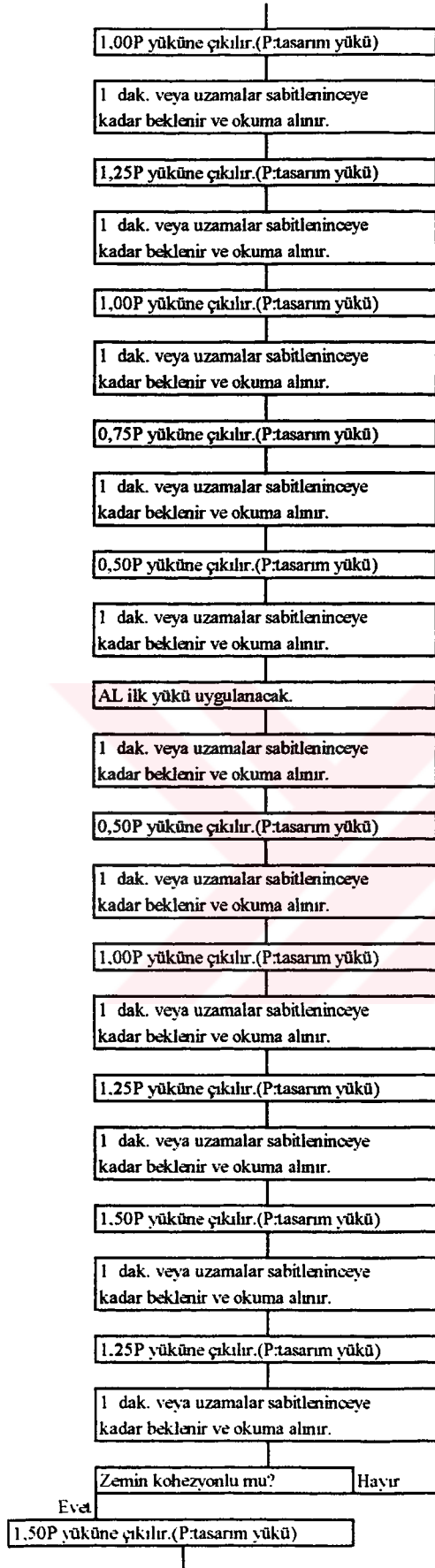
Ek-5 Uretim Oncesi Yık Deneyleri Akış Şeması -U.S.Ulaştırma Bölümü Teknik Raporu

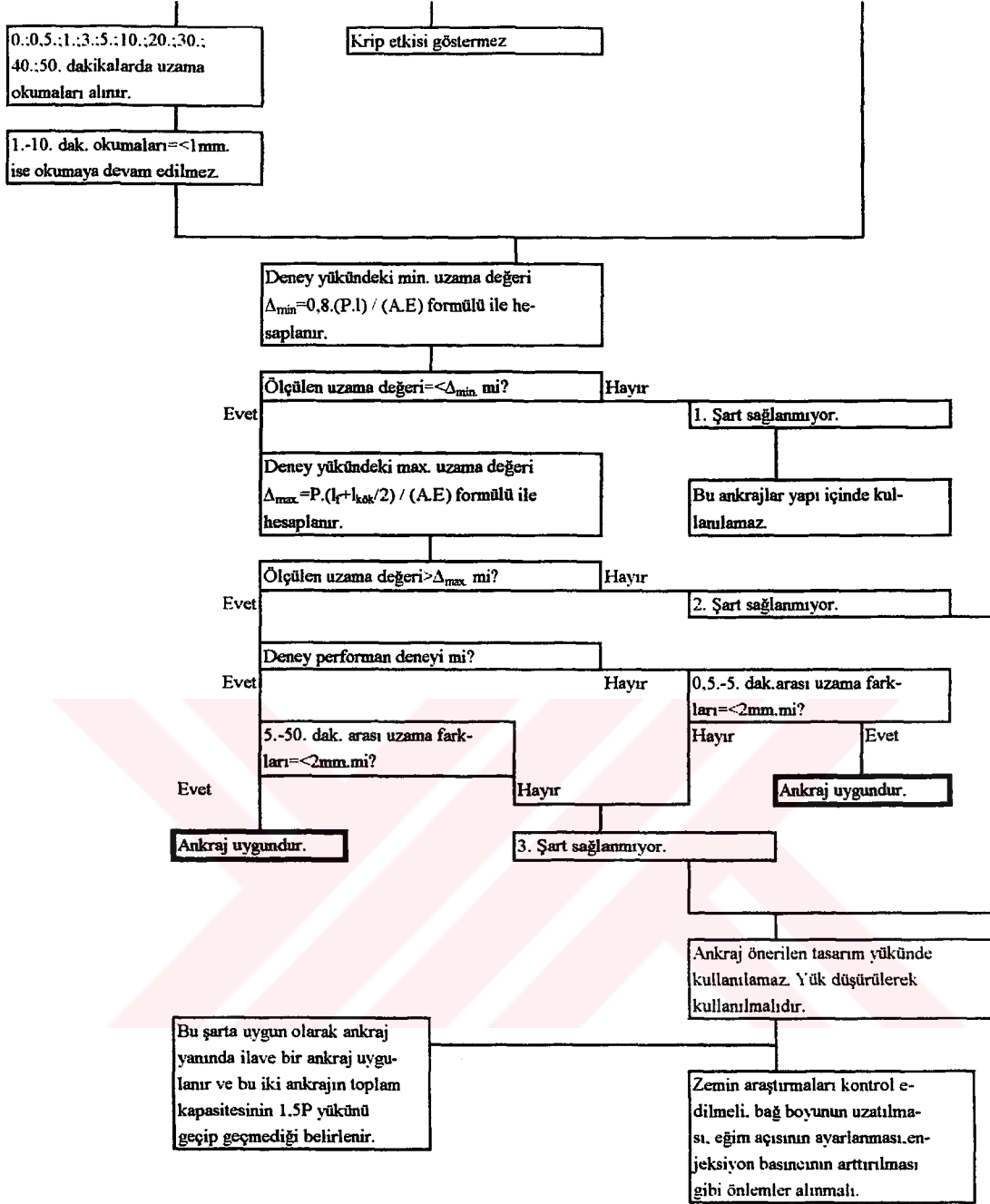




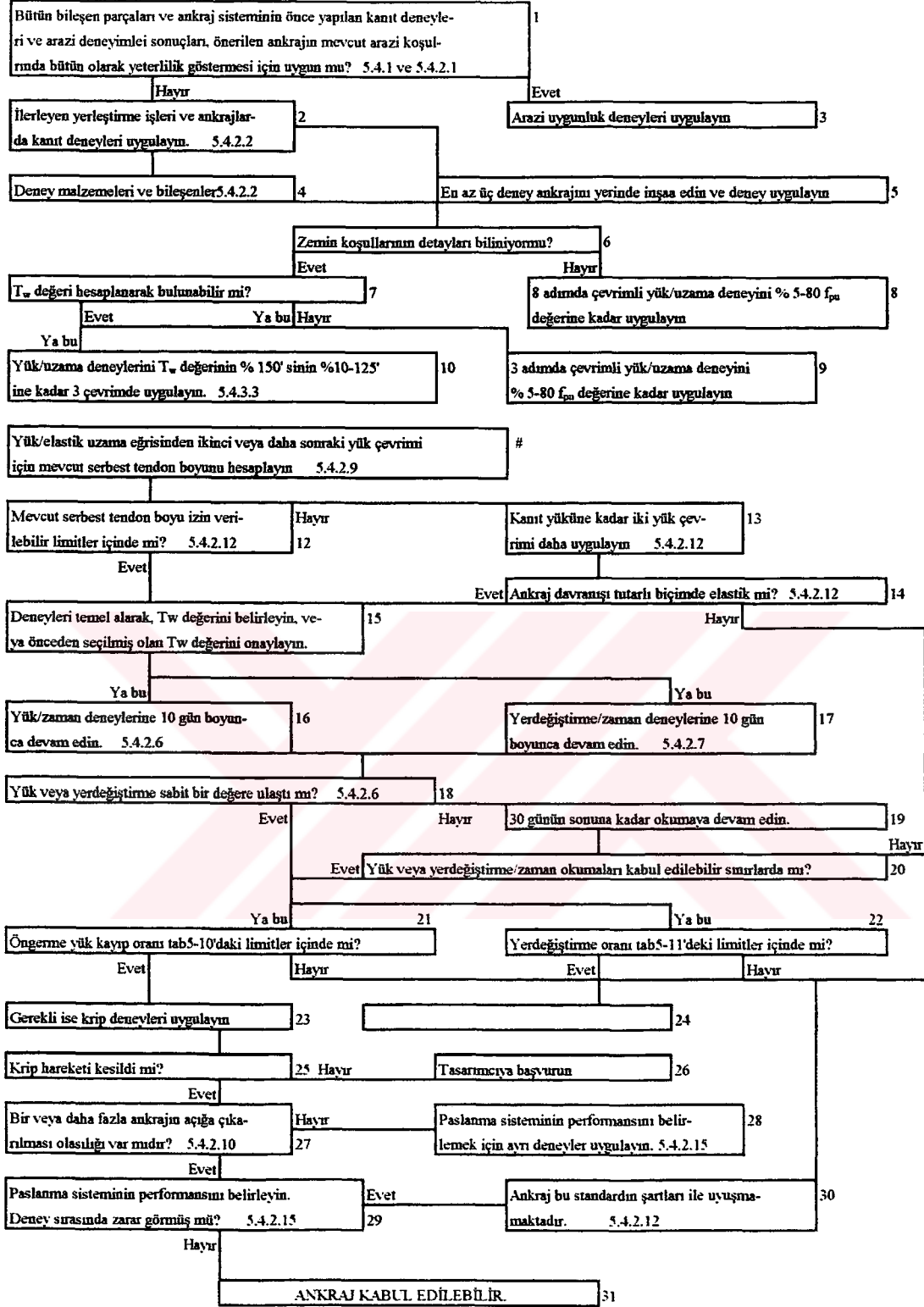
Ek-6 Üretim Ankrajları Deneyleri Akış Şeması - U.S.Ulaştırma Bölümü Teknik Raporu



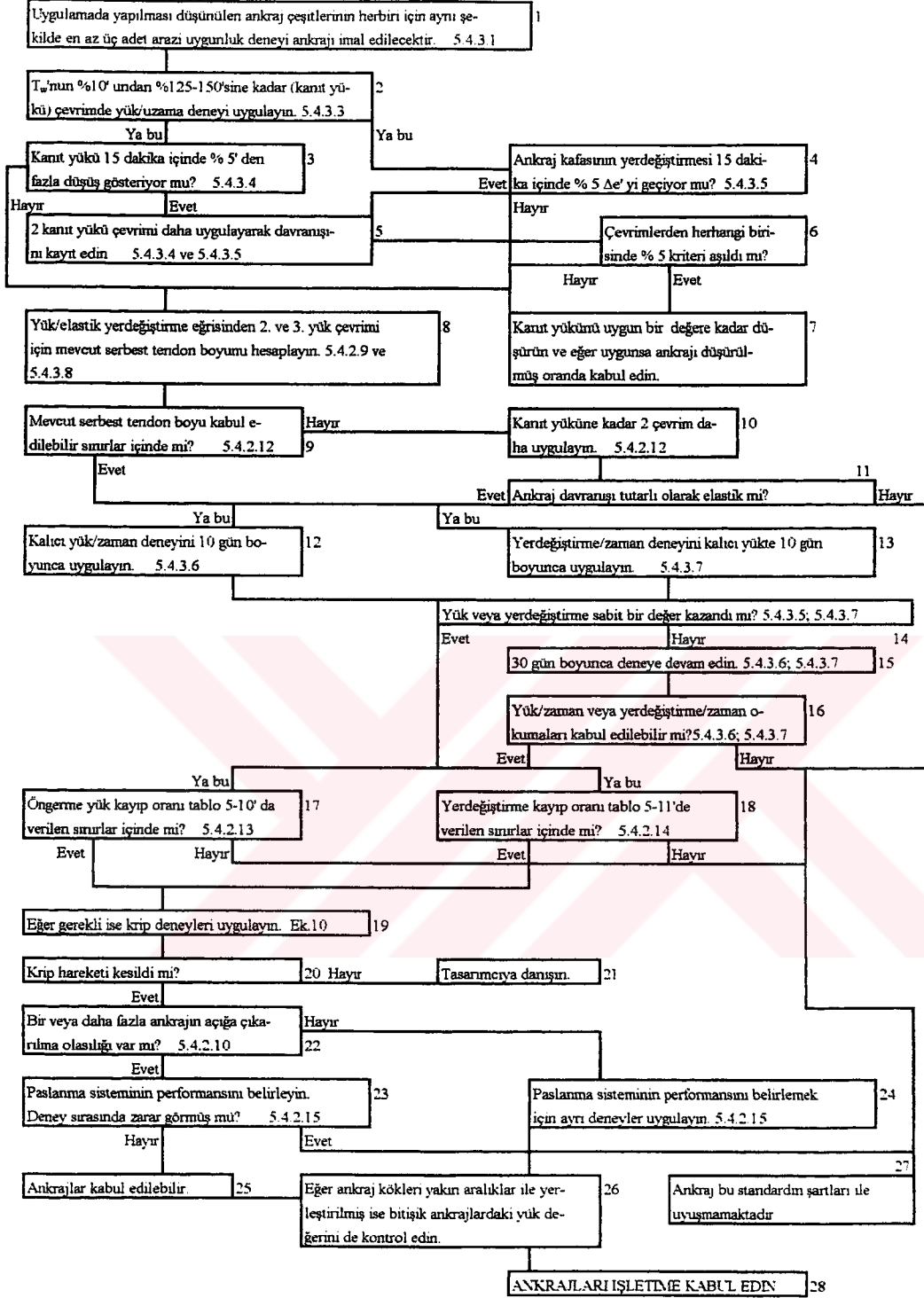




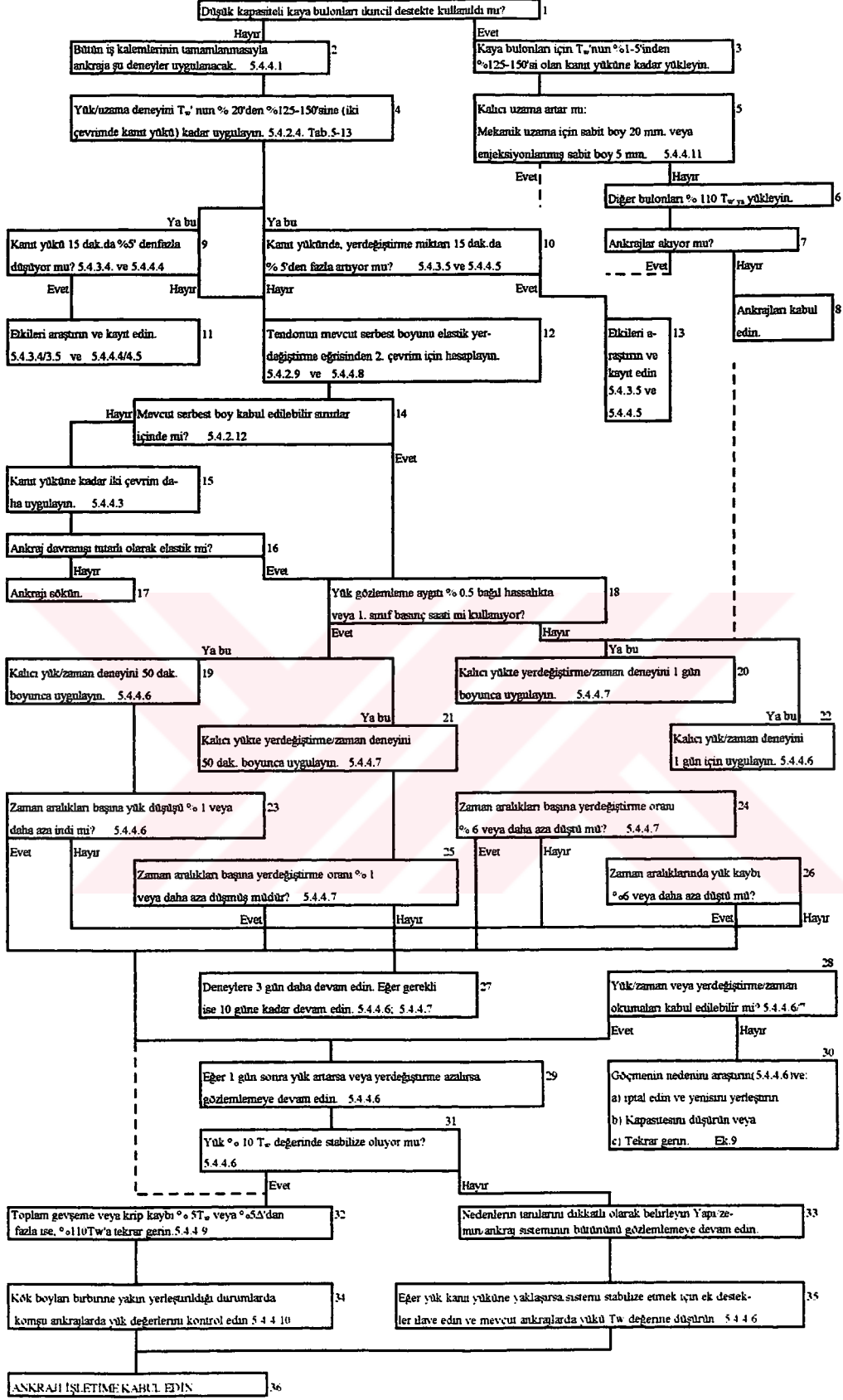
Ek-7 Zemin Ankrajları Kanıt Deneyleri Akış Şeması - B.S. 8081



Ek-8 Zemin Ankrajları Arazi Uygunluk Deneyleri Akış Şeması - B.S. 8081



Ek-9 Zemin Ankrajları Kabul Edilebilirlik Deneyleri Akış Şeması - B.S. 8081



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	31.05.1972	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1983-1990	Nişantaşı Anadolu Lisesi
Lisans	1991-1995	Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü
Çalıştığı kurumlar		
	1996-1997	Yarış İnşaat Turizm ve Tic. Ltd. Şti. İnşaat Mühendisi
	1997-Devam	Yarış İnşaat Turizm ve Tic. Ltd. Şti. Proje & Koordinasyon Sorumlusu

