

**104026**

**ANKRAJLARIN TRAKYA FORMASYONUNDA UYGULANMASI**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANİSTASYON MERKEZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Müh. Yalçın EYİĞÜN  
Enstitü No : 501951301**

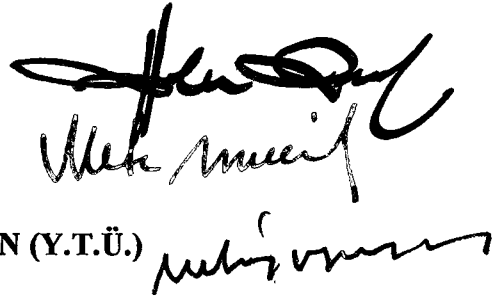
**104026**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 22 Ocak 2001  
Tezin Savunulduğu Tarih : 26 Ocak 2001**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Atilla ANSAL**

**Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Mete İNCECİK**

**Prof. Dr. Kutay ÖZAYDIN (Y.T.Ü.)**



**OCAK 2001**

## ÖNSÖZ

Yoğun yerleşim alanlarında gerçekleştirilen çok katlı yapıların temel sistemlerinde veya böyle alanlarda tamamıyla zemin altında kalacak şekilde tasarlanmış aç-kapa tekniğiyle inşa edilen yapılarda açık kazı destek sistemi olarak, ankraj sistemi kullanmak, son yıllarda ülkemizde oldukça fazla tercih edilen bir seçenek olmuştur. Bu çalışmada ülkemizde mazisi çok eski olmayan bu uygulama hakkında belirsiz kalmış çeşitli noktaları aydınlatmak için, ankrajların başarılı ve efektif kullanıldığı yabancı bir ülkenin standardı incelenmiş, ülkemizdeki pratik bir uygulama büyüteç altına alınarak uygulamaların ne derece doğru olduğu araştırılmıştır.

5 bölüm halinde hazırlanan bu çalışmanın 1. bölümünde ankraj sistemi genel anlamda anlatılarak ankraj çeşitleri tanımlanmıştır. 2. bölümde ankraj sistemini oluşturan elemanlar detaylı olarak incelenmiş, bu elemanların karakteristik özellikleri ele alınmıştır. Bu kapsamda kriş etkisine de değinilmiştir. İmalatta delgi yöntemleri incelenmiş ve uygulama öncesi ve sonrası yapılacak deneyler anlatılmıştır. 3. bölümde günümüzde mevcut yabancı standartlardan ülkemizdeki uygulamalara esasa teşkil edebilecek Amerikan, İsviçre, İngiliz ve Alman Standartlarının ankraj deneyleri bölümleri incelenmiştir. 4. bölümde günümüzdeki uygulamalara bir örnek olarak Trakya Formasyonunda yapılan bir uygulama ele alınmış, zemin karakteristiklerinin iyi tanınmasının uygulamadaki başarı açısından önemi dolayısıyla önce bu formasyon tanıtılmış sonra da uygulama ve uygulamada karşılaşılan özel durumlar anlatılmıştır. 5. bölümde ise tüm bunların ışığında ankraj sistemlerinin ülkemizde uygulamaları değerlendirilmiş, uygulama öncesi, uygulama ve sonrası görülen eksik ve yanlışların giderilmesi için çeşitli öneriler geliştirilmiştir.

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde bana yol gösteren Hocam Sayın Prof. Dr. Atilla ANSAL' a, İstanbul Metrosu uygulamalarında yaptığım incelemelerde yardımcı olan Jeoloji Yük.Müh. Sayın Sinan BİBEROĞLU ve İ.B.B. Teknik İşler Müdürlüğü Şefi Sayın İbrahim YALÇINKAYA' ya ve tezin yazımında yardımcı olan Sayın Elif KORKMAZ' a teşekkür ederim.

Ocak, 2001

Yalçın EYİĞÜN

## İÇİNDEKİLER

|                                                              |      |
|--------------------------------------------------------------|------|
| <b>KISALTMALAR</b>                                           | vii  |
| <b>TABLO LİSTESİ</b>                                         | viii |
| <b>ŞEKİL LİSTESİ</b>                                         | ix   |
| <b>SEMBOL LİSTESİ</b>                                        | xi   |
| <b>ÖZET</b>                                                  | xiv  |
| <b>SUMMARY</b>                                               | xvi  |
| <b>1. GİRİŞ</b>                                              | 1    |
| 1.1 Ankrajların Zemin Mühendisliği Problemlerindeki Yeri     | 2    |
| 1.1.1 Zemine önkonsolidasyon uygulanması                     | 3    |
| 1.1.2 Kaldırma ve kabarma                                    | 4    |
| 1.1.3 Devirici kuvvetler                                     | 5    |
| 1.1.4 Kaya boşlukları                                        | 5    |
| 1.1.5 Şev koruması                                           | 6    |
| 1.1.6 Derin bina kazıları                                    | 6    |
| 1.1.7 Uzun kazılar                                           | 7    |
| 1.1.8 Yapıların askıya alınması                              | 7    |
| 1.1.9 Mevcut yapıların kuvvetlendirilmesi                    | 8    |
| 1.1.10 Reaksiyon kuvvetleri oluşturulması                    | 8    |
| 1.1.11 Hareketli yapılarda ankraj                            | 9    |
| 1.1.12 Donmuş zemin ve ankrajlar                             | 9    |
| 1.2 Ankraj Çeşitleri                                         | 10   |
| 1.2.1 Zemin, kaya ve deniz yapıları ankrajları               | 11   |
| 1.2.1.1 Zemin ankrajları                                     | 11   |
| 1.2.1.2 Kaya ankrajları                                      | 12   |
| 1.2.1.3 Deniz yapıları ankrajları                            | 13   |
| 1.2.2 Geçici, kalıcı, deneme ve kontrol ankrajları           | 13   |
| 1.2.3 Yük iletme şekillerine göre ankrajlar                  | 15   |
| 1.2.4 Aktif, pasif ve çekme ankrajları                       | 16   |
| <b>2. ANKRAJ SİSTEMİ ELEMANLARI VE YERLEŞTİRİLMESİ</b>       | 18   |
| 2.1 Giriş                                                    | 18   |
| 2.2 Ankraj Parçaları                                         | 20   |
| 2.2.1 Ankraj tutulu boyu (kökü)                              | 20   |
| 2.2.2 Ankraj serbest boyu                                    | 21   |
| 2.2.3 Ankraj kafası                                          | 21   |
| 2.3 Ankraj Tendonu                                           | 24   |
| 2.3.1 Tendon tiplerinin karşılaştırmalı tanımı               | 24   |
| 2.3.2 Tendon karakteristikleri                               | 26   |
| 2.4 Ankraj Delgisi                                           | 28   |
| 2.4.1 Ankraj deliği oluşturulması ve temizlenmesi yöntemleri | 28   |
| 2.5 Yapım Sonrası Ankraj Deneyleri                           | 30   |
| 2.5.1 Arazi uygunluk deneyleri                               | 30   |
| 2.5.2 Kabul edilebilirlik deneyleri                          | 31   |
| 2.6 Ankraj Deneyi ve Germe İşleminin İçeriği                 | 31   |
| 2.7 Uzun Süreli Gözlemler                                    | 33   |

|                                                                                 |           |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>3. YABANCI STANDARTLAR VE UYGULANAN ANKRAJ DENEYLERİ</b>                     | <b>34</b> |
| 3.1 Giriş                                                                       | 34        |
| 3.2 Amerikan Standartları                                                       | 35        |
| 3.2.1 Giriş                                                                     | 35        |
| 3.2.2 Gözlemlenecek mekanizma                                                   | 35        |
| 3.2.3 Deney ve germe araçları                                                   | 37        |
| 3.2.4 Ön üretim deney ankrajları                                                | 40        |
| 3.2.4.1 Tasarım yükünün güvenlik faktörünü araştırmak için yapılabilen 1. deney | 41        |
| 3.2.4.1 Tasarım yükünün güvenlik faktörünü araştırmak için yapılabilen 2. deney | 42        |
| 3.2.5 Üretim ankrajları deneyleri                                               | 43        |
| 3.2.5.1 Performans deneyleri                                                    | 43        |
| 3.2.5.2 Kanıt deneyleri                                                         | 44        |
| 3.2.5.3 Kalıcı ankrajların ankraj deneyi ve gerilmesi                           | 45        |
| 3.2.5.4 Kabul kriteri                                                           | 47        |
| 3.3 İsviçre Standartları (SIA 191)                                              | 49        |
| 3.3.1 Genel                                                                     | 49        |
| 3.3.1.1 Deney ankrajlarının sayısı                                              | 50        |
| 3.3.1.2 Deneylerin süresi                                                       | 50        |
| 3.3.2 Ankraj deneyi                                                             | 51        |
| 3.3.2.1 Deneyin uygulanışı                                                      | 51        |
| 3.3.2.2 $V_p > 200$ KN deney yüklü ankrajların değerlendirilmesi                | 53        |
| 3.3.2.3 Ankraj etkin serbest boyunun ( $l_e$ ) belirlenmesi                     | 54        |
| 3.3.2.4 Kalıcı $\Delta l_{bl}$ uzamasının belirlenmesi                          | 55        |
| 3.3.2.5 $V_p < 200$ KN deney yüklü ankrajların değerlendirilmesi                | 55        |
| 3.3.2.6 Kayıtlar                                                                | 56        |
| 3.3.2.7 Uzun süreli deneyler                                                    | 56        |
| 3.3.3 Germe deneyi                                                              | 56        |
| 3.4 İngiliz Standartları (BS 8081)                                              | 57        |
| 3.4.1 Giriş                                                                     | 57        |
| 3.4.2 Kanıt deneyleri                                                           | 58        |
| 3.4.2.1 Genel                                                                   | 58        |
| 3.4.2.2 Malzemeler ve bileşenler                                                | 59        |
| 3.4.2.3 Deneme ankrajları                                                       | 62        |
| 3.4.2.4 Maksimum yük                                                            | 63        |
| 3.4.2.5 Yük-uzama verileri                                                      | 64        |
| 3.4.2.6 Mevcut serbest tendon boyu                                              | 67        |
| 3.4.2.7 Kontrol                                                                 | 67        |
| 3.4.2.8 Mevcut serbest tendon boyu sınırları                                    | 68        |
| 3.4.2.9 Paslanma koruması                                                       | 68        |
| 3.4.3 Arazi uygunluk deneyleri                                                  | 68        |
| 3.4.3.1 Genel                                                                   | 68        |
| 3.4.3.2 Kanıt yükleri                                                           | 69        |
| 3.4.3.3 Yük uzama verileri                                                      | 69        |
| 3.4.3.4 Kanıt yükü - zaman verileri                                             | 71        |

|           |                                                                                      |           |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.4.4     | Arazi kabul edilebilirlik deneyleri                                                  | 71        |
| 3.4.4.1   | Genel                                                                                | 71        |
| 3.4.4.2   | Yük - uzama verileri                                                                 | 72        |
| 3.4.5     | Ankrajların yapım sonrası davranışlarının gözlemlenmesi                              | 73        |
| 3.4.5.1   | Genel şartlar                                                                        | 73        |
| 3.4.5.2   | Gözlemlemenin gerekliliği                                                            | 74        |
| 3.4.5.3   | Kabul edilebilir krip etkisi için sınır yükü değeri                                  | 75        |
| 3.5       | Alman Standardı (DIN 4125)                                                           | 78        |
| 3.5.1     | Kanıt deneyi                                                                         | 78        |
| 3.5.2     | Arazi uygunluk deneyi                                                                | 79        |
| 3.5.2.1   | Saha – faaliyet alanı                                                                | 79        |
| 3.5.2.2   | Yöntem                                                                               | 79        |
| 3.5.2.3   | Ölçüm aygıtları                                                                      | 81        |
| 3.5.2.4   | Ankraj grupları                                                                      | 82        |
| 3.5.2.5   | Deney raporu                                                                         | 82        |
| 3.5.3     | Kabul edilebilirlik deneyi                                                           | 82        |
| 3.5.3.1   | Yöntem                                                                               | 82        |
| 3.5.3.2   | Kayıtlar                                                                             | 84        |
| 3.5.3.3   | Kabul kriterleri                                                                     | 84        |
| 3.5.3.4   | Ölçme aygıtları                                                                      | 86        |
| 3.5.4     | Servis deneyi                                                                        | 86        |
| <b>4.</b> | <b>ÜLKEMİZDEKİ ANKRAJ UYGULAMALARINA GÜNCEL BİR ÖRNEK VE ANKRAJ TASARIM ESASLARI</b> | <b>87</b> |
| 4.1       | Giriş                                                                                | 87        |
| 4.2       | Trakya Formasyonu                                                                    | 88        |
| 4.2.1     | Trakya formasyonunun ana unsurları                                                   | 89        |
| 4.2.2     | Tektonizma                                                                           | 89        |
| 4.2.2.1   | Kıvrımlar                                                                            | 90        |
| 4.2.2.2   | Faylar                                                                               | 90        |
| 4.2.2.3   | Çatlak takımları                                                                     | 90        |
| 4.2.2.4   | Hidrojeoloji                                                                         | 90        |
| 4.3       | Haliç' in jeolojisi                                                                  | 91        |
| 4.4       | Depremsellik                                                                         | 91        |
| 4.5       | Yapılan Sondajlar ve Arazi Deneyi Verileri                                           | 92        |
| 4.5.1     | Jeoloji                                                                              | 92        |
| 4.5.2     | Numune alma yöntemleri                                                               | 94        |
| 4.5.3     | Karot bilgileri                                                                      | 94        |
| 4.5.4     | Standart penetrasyon deneyi ve sonuçları                                             | 94        |
| 4.5.5     | Pressiyometre deneyi ve sonuçları                                                    | 95        |
| 4.5.6     | Yeraltı suyu gözlemleri                                                              | 97        |
| 4.5.7     | Permeabilite (geçirimlilik ) deneyleri                                               | 98        |
| 4.6       | Genel anlamda kaya ankrajlarının tasarım esasları                                    | 100       |
| 4.6.1     | Kaya kütlesi içindeki kırılma                                                        | 100       |
| 4.6.2     | Enjeksiyon gövdesi ile kaya arasındaki aderans                                       | 103       |
| 4.6.2.1   | Kaya ankrajlarının dış taşıma gücüne göre boyutlandırma esasları                     | 103       |
| 4.6.2.2   | Kaya ankrajlarının dış taşıma gücüne göre boyutlandırma esasları                     | 106       |

|           |                                                                                     |            |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.6.3     | Enjeksiyon gövdesi ve çelik elemanlar arasındaki aderans                            | 107        |
| 4.6.4     | Tendonun özellikleri                                                                | 108        |
| 4.7       | Trakya Formasyonunda Açık Kazı Destek Sistemi İçin Tasarımın Esasları               | 109        |
| 4.7.1     | Tasarım                                                                             | 110        |
| 4.8       | Tasarımın Değerlendirilmesi İçin Yapılan Toptan Göçme Analizi                       | 113        |
| 4.9       | İşin Teknik Şartnamesinin İlgili Bölümü                                             | 116        |
| 4.9.1     | Zemin ankrajı tanımı                                                                | 116        |
| 4.9.2     | Ankraj tipi ve teknik özellikleri                                                   | 116        |
| 4.9.3     | Ankraj imalat teknolojisi                                                           | 117        |
| 4.9.4     | Kabul deneyleri                                                                     | 117        |
| 4.9.5     | Arazi kayıtları                                                                     | 118        |
| 4.9.6     | Diğer konular                                                                       | 118        |
| 4.10      | Uygulama                                                                            | 118        |
| 4.10.1    | Yapılan hesap ve kabullerin kritiği                                                 | 121        |
| 4.11      | Ankrajlı Perde Duvarlarla Desteklenmiş Açık Kazılarda Deformasyon Ölçümleri         | 126        |
| 4.11.1    | İnclinometre                                                                        | 126        |
| 4.11.2    | Ekstansometre                                                                       | 126        |
| 4.11.3    | Çatlak ölçer                                                                        | 127        |
| 4.11.4    | Yük hücresi                                                                         | 128        |
| 4.11.5    | Reflektörler                                                                        | 128        |
| 4.12      | Trakya Formasyonunda Ankraj Uygulaması İçin Kabul Edilebilir Duvar Deplasman Sınırı | 128        |
| 4.13      | Ankraj Grubunun Bir Blok Halinde Davranabilme Özelliği                              | 129        |
| 4.14      | Arazide Yaşanan Deformasyon Problemi                                                | 131        |
| 4.15      | İlgililerin Yorum ve Değerlendirmeleri                                              | 131        |
| <b>5.</b> | <b>SONUÇLAR VE TARTIŞMA</b>                                                         | <b>137</b> |
| <b>6.</b> | <b>KAYNAKLAR</b>                                                                    | <b>144</b> |
| <b>7.</b> | <b>EKLER</b>                                                                        | <b>146</b> |
| <b>8.</b> | <b>ÖZGEÇMİŞ</b>                                                                     | <b>176</b> |

## KISALTMALAR

|             |                                                |
|-------------|------------------------------------------------|
| <b>DIN</b>  | : Deutsches Institut für Normung               |
| <b>SIA</b>  | : Schweizer Ingenieur-und Architekten-Verein   |
| <b>PCI</b>  | : Prestressed Concrete Institute               |
| <b>BS</b>   | : British Standards                            |
| <b>GUTS</b> | : Ankraj tendonunun kesin nihai çekme dayanımı |
| <b>FAP</b>  | : Tahmini ankraj noktası                       |
| <b>KAF</b>  | : Kuzey Anadolu Fayı                           |
| <b>TS</b>   | : Türk Standartları                            |



## TABLO LİSTESİ

|                                                                                                                                                                          | <u>Sayfa No</u> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| <b>Tablo 3.1</b> : Deney ankrajlarının sayısı için önerilen değerler                                                                                                     | 50              |
| <b>Tablo 3.2</b> : $\Delta t$ gözlem süreleri                                                                                                                            | 50              |
| <b>Tablo 3.3</b> : Yük kaybı ile bağlantılı deformasyon artışının sınır değerleri                                                                                        | 53              |
| <b>Tablo 3.4</b> : Arazi koşullarının bilinmediği veya önceden yapılmış uygulamaların olmadığı durumlarda kanıt deneyi için önerilen yükleme adımları ve gözlem süreleri | 65              |
| <b>Tablo 3.5</b> : Önceden yapılmış ankraj uygulaması bilgileri olan arazi ortamında yapılacak kesit deneyleri için önerilen yükleme artış kademeleri ve gözlem süreleri | 66              |
| <b>Tablo 3.6</b> : Arazi uygunluk deneyleri için önerilen yük artışları ve minimum gözlem süreleri                                                                       | 70              |
| <b>Tablo 3.7</b> : Arazi kabul edilebilirlik deneyleri için önerilen yük artışları ve minimum gözlem süreleri                                                            | 72              |
| <b>Tablo 3.8</b> : Ana ve yapım arazi uygunluk deneyleri için yük kademeleri ve gözlem süreleri                                                                          | 76              |
| <b>Tablo 3.9</b> : Uygunluk ve kabul edilebilirlik deneyi için yük kademeleri ve gözlem süreleri                                                                         | 80              |
| <b>Tablo 3.10</b> : Uygunluk ve kabul edilebilirlik deneyi için kanıt yükünde gözlem süreleri ve izin verilebilir hareket ve krip hareketi                               | 85              |
| <b>Tablo 4.1</b> : Sondajlar genel bilgi tablosu                                                                                                                         | 92              |
| <b>Tablo 4.2</b> : Pressiyometre deney sonuçları özet tablosu                                                                                                            | 97              |
| <b>Tablo 4.3</b> : Yeraltı su seviyeleri                                                                                                                                 | 97              |
| <b>Tablo 4.4</b> : Kayalarda stabilite için düşey ankraj boyları                                                                                                         | 101             |
| <b>Tablo 4.5</b> : Grovokların mühendislik özellikleri                                                                                                                   | 109             |
| <b>Tablo 4.6</b> : Konkors kazısı iksa sistemi özeti                                                                                                                     | 113             |
| <b>Tablo 4.7</b> : İsviçre Şartnamesi' ne göre ankraj stabilite analizlerinde alınması gereken güvenlik sayıları                                                         | 115             |
| <b>Tablo 4.8</b> : 1.1P yükü esas alınarak yapılan ölçüm ve değerlendirme                                                                                                | 121             |
| <b>Tablo 4.9</b> : 1.25P yükü esas alınarak yapılan ölçüm ve değerlendirme                                                                                               | 121             |
| <b>Tablo 4.10</b> : 1.1P yükü esas alınarak yapılan hesap ve değerlendirme                                                                                               | 122             |
| <b>Tablo 4.11</b> : 1.25P yükü esas alınarak yapılan ölçüm ve değerlendirme                                                                                              | 122             |
| <b>Tablo 4.12</b> : Ankraj imalatları ile germeleri arasında geçen sürelerin listesi                                                                                     | 124             |

## ŞEKİL LİSTESİ

|                                                                                                                                                                   | <u>Sayfa No</u> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Şekil 1.1 : Ankrajlarla yumuşak zemine önkonsolidasyon uygulanması                                                                                                | 3               |
| Şekil 1.2 : Kaldırma kuvveti etkisindeki bir yer altı yapısının ankrajlar yardımıyla tutturulması                                                                 | 4               |
| Şekil 1.3 : Mevcut bir metro yapısının diyafram duvarlar ve enjeksiyon ile askıya alınması                                                                        | 8               |
| Şekil 1.4 : Yük iletme şekillerine göre ankraj çeşitleri                                                                                                          | 15              |
| Şekil 1.5 : Aktif ve pasif ankrajların uygulanan yükün fonksiyonu olarak bağl deplasmanı                                                                          | 17              |
| Şekil 2.1 : Ankraj parçalarının şematik gösterimi                                                                                                                 | 19              |
| Şekil 2.2 : Geçici ve kalıcı ankraj için kök kesitleri                                                                                                            | 20              |
| Şekil 2.3 : Ankraj kafası yerleşiminde öngörülen tolerans değerleri                                                                                               | 22              |
| Şekil 2.4 : Değişik ankraj kafası detayları                                                                                                                       | 23              |
| Şekil 2.5 : Ankraj sistemi ve elemanları                                                                                                                          | 24              |
| Şekil 2.6 : Nihai çekme dayanımının %70' inde tendon çeşitlerindeki gerilme boşalması                                                                             | 27              |
| Şekil 3.1 : Artan gerilme altında bağ boyunun davranışı                                                                                                           | 37              |
| Şekil 3.2 : Sabit uzama ile ankraj deneyi                                                                                                                         | 51              |
| Şekil 3.3 : Sabit yük ile ankraj deneyi                                                                                                                           | 52              |
| Şekil 3.4 : Elastik ve kalıcı uzamaların eğrisi                                                                                                                   | 54              |
| Şekil 3.5 : Arazi koşullarının bilinmediği veya önceden yapılmış uygulamaların olmadığı durumlarda kanıt deneyi için önerilen yükleme adımları ve gözlem süreleri | 65              |
| Şekil 3.6 : Önceden yapılmış ankraj uygulaması bilgileri olan arazi ortamında yapılacak kesit deneyleri için önerilen yükleme artış kademeleri ve gözlem süreleri | 66              |
| Şekil 3.7 : Arazi uygunluk deneyleri için önerilen yük artışları ve minimum gözlem süreleri                                                                       | 70              |
| Şekil 3.8 : Arazi kabul edilebilirlik deneyleri için önerilen yük artışları ve minimum gözlem süreleri                                                            | 73              |
| Şekil 3.9 : Farklı yükler için tipik uzama kayıtları                                                                                                              | 76              |
| Şekil 3.10 : $K_{\Delta}$ krip hareketinin belirlenme yöntemi                                                                                                     | 77              |
| Şekil 3.11 : Geçici ankrajın uygunluk deneyinden elde edilen yük/deplasman eğrisi                                                                                 | 80              |
| Şekil 3.12 : $F_p$ yükü altında $k_s$ değerini belirlemek için zaman – deplasman eğrileri                                                                         | 81              |
| Şekil 3.13 : Şekil 3.12' de gösterilen uygunluk deneyi için krip deplasmanı/ kanıt yükü diyagramı                                                                 | 82              |
| Şekil 3.14 : Geçici bir ankrajda kabul edilebilirlik deneyi için bir örnek                                                                                        | 83              |
| Şekil 4.1 : Şişhane İstasyonu için yapılan sondajların lokasyonu                                                                                                  | 93              |
| Şekil 4.2 : Karakteristik Menard Eğrisi                                                                                                                           | 96              |
| Şekil 4.3 : Parker Deneyi Düzeneği                                                                                                                                | 99              |
| Şekil 4.4 : Hesaplar için idealize edilmiş zemin kesiti                                                                                                           | 112             |

|                    |                                                                                                                          |         |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| <b>Şekil 4.5</b>   | : Toptan göçme analizinde varsayılan en kritik durumlar sonucu elde edilen güvenlik sayıları                             | 114     |
| <b>Şekil 4.6</b>   | : Ankraj kabul edilebilirlik deneyi arazi tespit tutanağı                                                                | 120     |
| <b>Şekil 4.7</b>   | : Geoteknik ölçüm aparatının istasyon civarında şematik yerleşimi                                                        | 127     |
| <b>Şekil 4.8</b>   | : Koolstra ve Beringen' ce ortaya konan zeminin blok halinde davranışından ileri gelen deformasyon ve toplam deformasyon | 130     |
| <b>Şekil 4.9</b>   | : AD 4-5-6 perdesi ankraj sistemi ve ilave ankraj yerleşim detayı                                                        | 135     |
| <b>Şekil 4.10</b>  | : AD 4-5-6 perdesinde mevcut ve ilave ankrajların profili                                                                | 136     |
| <b>Şekil A.1-6</b> | : Şişhane İstasyonu ŞH-4-99 no.lu sondaj karot resimleri                                                                 | 146-151 |
| <b>Şekil B.1-5</b> | : Şişhane İstasyonu ŞH-4,5,6-99 no.lu sondajlara ait loglar                                                              | 152-156 |
| <b>Şekil C.1-6</b> | : Pressiyometre deneyi verileriyle çizilen Menard Eğrileri                                                               | 157-162 |
| <b>Şekil D.1-4</b> | : Geçirimlilik deneyi rapor ve hesap tabloları                                                                           | 163-166 |
| <b>Şekil E.1-4</b> | : Şişhane İstasyonu inklinometre ölçüm grafikleri                                                                        | 167-170 |
| <b>Şekil F.1-3</b> | : Şişhane İstasyonu reflektör ölçüm grafikleri                                                                           | 171-173 |
| <b>Şekil G.1</b>   | : Şişhane İstasyonu bina nivelman bulonu ölçüm grafiği                                                                   | 174     |
| <b>Şekil H.1</b>   | : Şişhane İstasyonu diskli yük hücresi ölçüm grafiği                                                                     | 175     |



## SEMBOL LİSTESİ

|                          |                                                                    |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| <b>A</b>                 | : Çelik tendonun kesit alanı                                       |
| <b>AL</b>                | : Germe deney ekipmanının gergin hale getirilmesi için gerekli yük |
| <b>A<sub>t</sub></b>     | : Tendonun kesit alanı                                             |
| <b>c</b>                 | : Kohezyon                                                         |
| <b>d</b>                 | : Delik çapı                                                       |
| <b>d</b>                 | : Efektif ankraj çapı                                              |
| <b>E</b>                 | : Elastisite modülü                                                |
| <b>E<sub>e</sub></b>     | : Tendonun elastisite modülü                                       |
| <b>E<sub>s</sub></b>     | : Tendonun elastisite modülü                                       |
| <b>f<sub>pu</sub></b>    | : Spesifik karakteristik mukavemet                                 |
| <b>f<sub>s</sub></b>     | : Birim sürtünme direnci                                           |
| <b>F<sub>e</sub></b>     | : Tendonun kesit alanı                                             |
| <b>F<sub>k</sub></b>     | : Enjeksiyon için limit yük                                        |
| <b>F<sub>p</sub></b>     | : Kanıt yükü                                                       |
| <b>F<sub>s</sub></b>     | : Tendon için limit yük                                            |
| <b>F<sub>w</sub></b>     | : Güvenli çalışma yükü                                             |
| <b>G<sub>s</sub></b>     | : Kırılmaya karşı güvenlik sayısı                                  |
| <b>H</b>                 | : Yeraltı su seviyesi üstünde kalan su sütunu yüksekliği           |
| <b>H</b>                 | : Kazı yüksekliği                                                  |
| <b>k<sub>1,2</sub></b>   | : Katsayılar                                                       |
| <b>k</b>                 | : Permeabilite katsayısı                                           |
| <b>k</b>                 | : Probun boyutsal sabiti                                           |
| <b>K<sub>o</sub></b>     | : Sükunetteki toprak basıncı katsayısı                             |
| <b>K<sub>Δ</sub></b>     | : Krip uzama katsayısı                                             |
| <b>l</b>                 | : Ankraj boyu                                                      |
| <b>l<sub>f</sub></b>     | : Efektif serbest ankraj boyu                                      |
| <b>l<sub>f</sub></b>     | : Ankraj etkin serbest boyu                                        |
| <b>l<sub>fr</sub></b>    | : Hesaplanmış ankraj serbest boyu                                  |
| <b>l<sub>fs</sub></b>    | : Tasarımda öngörülen tendon serbest boyu                          |
| <b>l<sub>kök</sub></b>   | : Kök boyu                                                         |
| <b>l<sub>kr</sub></b>    | : Kriko boyu                                                       |
| <b>l<sub>ser</sub></b>   | : Serbest tendon boyu                                              |
| <b>l<sub>v</sub></b>     | : Tutulu ankraj boyu                                               |
| <b>L</b>                 | : Kök boyu                                                         |
| <b>L</b>                 | : Deney kesimi boyu                                                |
| <b>L<sub>s</sub></b>     | : Tendon serbest boyu                                              |
| <b>L<sub>Smaks</sub></b> | : Göçme olmaksızın gerçekleşebilecek maksimum uzama                |
| <b>n</b>                 | : Katsayı                                                          |
| <b>n</b>                 | : Ankraj sayısı                                                    |
| <b>P</b>                 | : Tasarım yükü                                                     |
| <b>P</b>                 | : Uygulanan deney yükü                                             |
| <b>P<sub>1.1</sub></b>   | : Kilitleme yükü                                                   |
| <b>q<sub>s</sub></b>     | : Sürşarj yükü                                                     |

|                   |                                                              |
|-------------------|--------------------------------------------------------------|
| $Q$               | : Poisson oranı                                              |
| $Q$               | : Debi                                                       |
| $R$               | : Sürtünme kuvveti                                           |
| $R$               | : Deney kesimi çapı                                          |
| $s$               | : Ardışık ankraj aralığı                                     |
| $s$               | : Yerdeğiştirme                                              |
| $S$               | : Duvar düşey deplasmanı                                     |
| $t$               | : Zaman                                                      |
| $t_{1,2}$         | : Kısa gözlem süreleri                                       |
| $T$               | : Ankraj servis yükü                                         |
| $T_1$             | : Birinci uzama ölçümü zamanı                                |
| $T_2$             | : İkinci uzama ölçümü zamanı                                 |
| $T_k$             | : 2 mm.den büyük olmayan krip değeri için sınır yükü         |
| $T_w$             | : Çalışma yükü                                               |
| $T_y$             | : Tendonun kesin akma dayanımı                               |
| $V$               | : Boşluk hacmi                                               |
| $V$               | : Ankraj kuvveti                                             |
| $V_A$             | : İlk yük                                                    |
| $V_p$             | : Kanıt yükü                                                 |
| $V_s$             | : Tendondaki gerilme $\sigma_{2.0}$ olduğu andaki yük        |
| $V_s$             | : Tendondaki gerilmenin akma gerilmesine ulaştığı andaki yük |
| $V_v$             | : Kök için limit yük                                         |
| $\alpha$          | : Ankrajın yatayla yaptığı açı                               |
| $\alpha_1$        | : Yük boşaltma eğrisinin eğiminin açısı                      |
| $\alpha_2$        | : Tekrar yükleme eğrisinin eğiminin açısı                    |
| $\Delta$          | : Şekil değiştirme                                           |
| $\Delta_1$        | : $T_1$ anındaki okuma                                       |
| $\Delta_2$        | : $T_2$ anındaki okuma                                       |
| $\Delta_e$        | : Tendonun elastik uzaması                                   |
| $\Delta l$        | : Elastik uzama                                              |
| $\Delta l$        | : Tendonun toplam uzaması                                    |
| $\Delta l_{bl}$   | : Tendonun plastik uzaması                                   |
| $\Delta l_e$      | : Tendonun elastik uzaması                                   |
| $\Delta l_e(x)$   | : Tendonun $V(x)$ yükü altındaki elastik uzaması             |
| $\Delta l_{min}$  | : Teorik minimum uzama                                       |
| $\Delta l_{maks}$ | : Teorik maksimum uzama                                      |
| $\Delta l_r$      | : Tendonun hesaplanmış elastik uzaması                       |
| $\Delta l_0$      | : İlk uzama okuması                                          |
| $\Delta L_{1.1P}$ | : Proje yükünün 1.1 katında ölçülen uzama miktarı            |
| $\Delta P$        | : Basınç aralığı                                             |
| $\Delta P_i$      | : Prob inelti                                                |
| $\Delta s$        | : Yerdeğiştirme miktarı                                      |
| $\Delta t$        | : Zaman aralığı                                              |
| $\Delta t$        | : Gözlem süresi                                              |
| $\Phi$            | : İçsel sürtünme açısı                                       |
| $\Phi$            | : Kayada çatlaklardaki sürtünme açısı                        |
| $\gamma$          | : Birim hacim ağırlık                                        |

|                |                                                    |
|----------------|----------------------------------------------------|
| $\eta_k$       | : Enjeksiyon için güvenlik sayısı                  |
| $\eta_s$       | : Tendon için güvenlik sayısı                      |
| $\upsilon$     | : Kayanın özgül ağırlığı                           |
| $\sigma$       | : Gerilme                                          |
| $\sigma_{2.0}$ | : Tendonda % 0,2 uzamaya neden olan gerilme değeri |
| $\tau$         | : Emniyetli aderans gerilmesi                      |
| $\tau_f$       | : Kayma mukavemeti                                 |



## ANKRAJLARIN TRAKYA FORMASYONUNDA UYGULANMASI

### ÖZET

Yerleşimin yoğun olduğu yerlerde yapılması gereken derin kazıların desteklenmesinde, ankraj sistemlerinin kullanılması kaçınılmaz olmuştur. Bununla birlikte ankrajlı kazı destek sistemine; uygulanacağı ortama, çevre koşullarına göre detaylı çalışmalar yapıldıktan sonra karar verilmesi önem taşımaktadır. Bu, ankrajlı sistemin verimliliğini doğrudan belirlemektedir. Zemin cinsine ve karakteristiklerine göre ankraj sisteminin göstereceği davranışın yeterli yaklaşıklıkta öngörülebilmesi, bazı deneylerin yapılmasıyla mümkündür. Bu deneyler, yabancı şartnamelerde zorunlu hale getirilmiştir.

Bu çalışmada yabancı standartlardan Amerikan, İsviçre, İngiliz ve Alman Standartları ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu standart, ankraj imalatının sistematik bir kontrol mekanizması içerisinde gerçekleştirilmesi için gerekli prosedürü belirlemiştir. Ülkemizde uygulamadaki durumu ortaya koymak için İstanbul Metrosu İnşaatı kapsamında, Trakya Formasyonu'nda uygulanan ankrajlar incelenmiş ve bu incelemelerden, ankraj uygulamalarının ihtiyaç duyduğu bir standardın gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Ankrajlı kazı destek sistemlerinin tasarım, yapım ve kontrol aşamalarını belirleyen ve denetleyen böyle bir standardın olmaması uygulamalarda kontrolsüz bir durum oluşturmakta, bunun sonucu olarak da pahalı ve yeterli güvenlikle çalışmayan destek sistemleri ortaya çıkabilmektedir. Bu durum pratik uygulamalarla örneklenmiştir. Büyük şehirlerde yapılan derin kazılarda kullanılan bu kazı destek sistemlerinin davranışının belirlenebilmesi kaçınılmaz bir gerekliliktir. Üretim öncesi, üretim ve üretim sonrası deneylerinden oluşan bir kontrol sistemi ile ankraj sistemlerinin davranış eğilimlerinin belirlenmesi yabancı standartlarda ortak noktadır. Bu deneyler

ışığında, ankraj sisteminin uzama değişimi ve yük değişimi de kontrol edilerek sistemin davranışı daha tutarlı yorumlanabilecektir. Ankrajın tasarımı ve imalatı kadar önemli bir başka husus ta kazı destek sisteminin imalatından sonra, zaman içinde deplasmanların kabul edilir sınırlar içinde kalıp kalmadığının yeterli geoteknik ölçüm aparatıyla takip edilmesidir. Bu çalışmada bunun, yeterince iyi tasarlanmamış ya da imal edilmemiş ankraj sistemlerinde göçmeye varmadan önlem alınabilmesi açısından ne kadar önemli olduğu da ortaya konmuştur.



## **ANCHORAGE SYSTEMS IN TRAKYA FORMATION**

### **SUMMARY**

In certain places where there is intensive settlement, the application of anchorage systems to support deep excavations is inevitable. However, the structure of the anchored excavation support system must be decided according to the application environment and to the result of detailed investigation. The decision process is directly linked with the efficiency of the anchorage system. The performance of the anchorage system which depends on the type of the soil and its characteristics, can be forecasted with high accuracy by conducting some experiments. These experiments are the conditions of tender documents.

In this work four foreign standards were analysed. These are American, Switzerland, British and German Standards. These standards determine the procedure which is required for systematic control mechanism of anchorage production. In order to clear out how anchorage systems are applied in our country, the anchorages which are applied for Trakya Formation were investigated in the scope of Istanbul Metro Construction. The need of a standard for anchorage applications was highlighted.

The standart which determines the design, construction and control steps of anchored excavation support systems is not available in our country. As a result uncontrolled, expensive and non-safe support systems emerge. In this study practical examples for this kind of systems are presented. It is a must to determine the behaviour of support systems for deep excavations in great cities. The control system is a common condition in international standarts which asks creep tests in pre-production, production and after production stages of anchorage systems and shows the tendencies in behaviour. With the help of these tests, the change of elongation and load in anchorage system are controlled and then more reliable evaluation of the system behaviour becomes possible.

## 1. GİRİŞ

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 ankrajı 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 Frazer (1874), 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 [1].

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 iletemeden 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 kısımlarında zemin yapısına bağlı bulunurlarken, tendonları çok farklı zemin veya kayada bulunan özel deliklere yerleştirilir. Dikkatli tendon üretimi, ankraj delgisi, ankraj yerleşimi ve enjeksiyon, germe, kalite kontrol, gözlemlene gibi birbirleriyle ilişkili olan karmaşık işlemler sırasında ankraj elemanlarına zararlı etkisi olan ortamlarda yapılan uygulamalarda paslanmaya karşı önlemler de gerekmektedir.

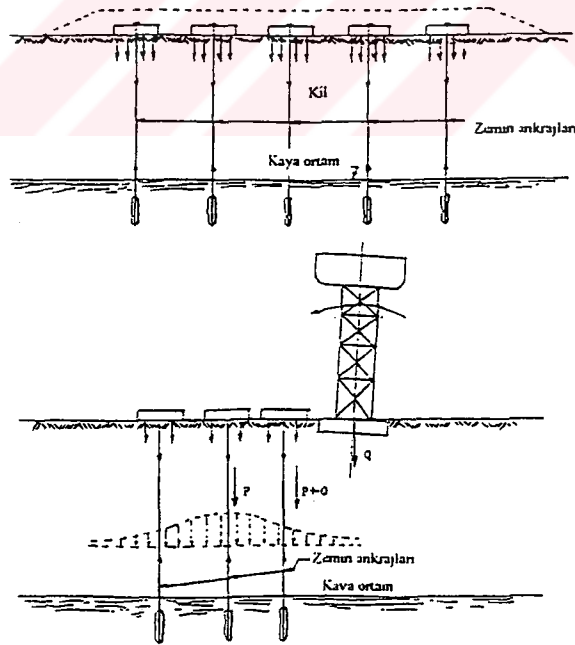
### **1.1 Ankrajların Zemin Mühendisliği Problemlerindeki Yeri**

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:

### 1.1.1 Zemine Önkonsolidasyon Uygulanması

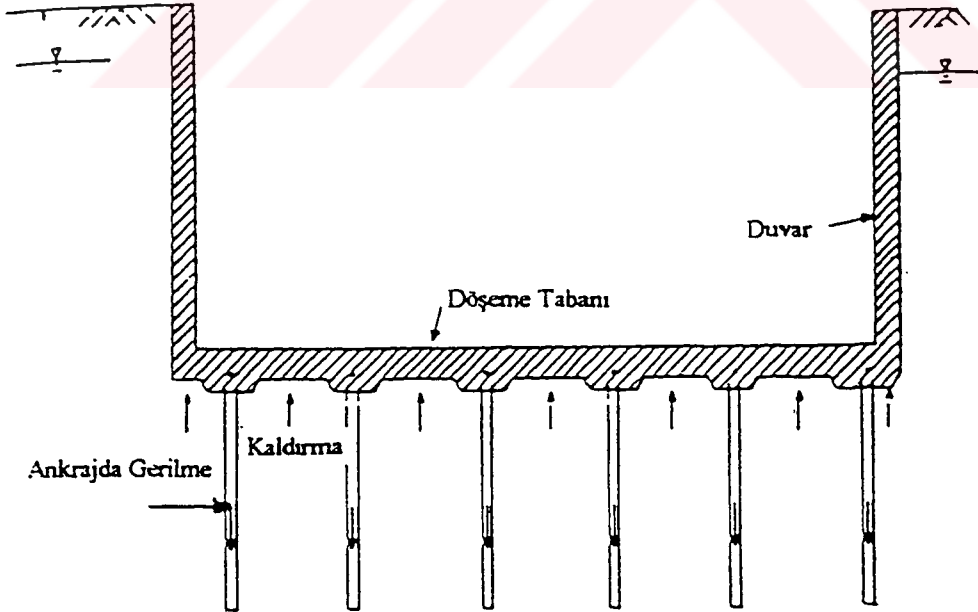
Öngermeli ankrajlar, zeminin doğrudan yüklenerek konsolide edilmesi ve böylece zeminin yük taşıma kapasitesinin artırılması için kullanılırlar. Yapılan bu işlem ön-yüklenme işleminin aynısıdır. Fakat buradaki ek avantaj, elde edilmiş olan zemin koşullarına göre yüklemenin düzenlenmesi, yükleme seviyesinin 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 artırılması, yakın zamanda yapılmış olan dolgu zeminlerdeki havaalanı inşaatlarında uygulanmaktadır[2]. Diğer kullanım alanları arasında, eksantirik yükleme ile temelindeki farklı oturmalar sonucu yan yatmış yapıların düzeltilmesi vardır. Bu her iki durum Şekil 1.1 (a) ve (b)' de gösterilmektedir.



**Şekil 1.1** (a) Ankrajlar kullanılarak yumuşak zemine önkonsolidasyon uygulanması (b) Ankrajlar yardımıyla yan yatmış bir yapının önkonsolidasyon uygulamasıyla doğrultulması.

### 1.1.2 Kaldırma ve Kabarma

Dış hidrostatik kuvvetler nedeniyle zeminde kabarma veya kaldırma kuvveti söz konusu olup, bunu engellemek üzere ölü yükün arttırılmadığı durumlarda uygulanır. Eğer kaldırma kuvveti küçük ve zemin de ankraj uygulamasına elverişli ise, gerilmemiş bağlar yeterli olabilir. Kaldırma kuvvetinin büyük ve özellikle 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 beklenmektedir. 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 1.2 Kaldırma kuvveti etkisinde bir yeraltı yapısının ankrajlar yardımıyla tutturulması .

### 1.1.3 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 [1].

### 1.1.4 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 tavanlardan ve çevre duvarlarından kaya düşmesini engellemek için kullanılır. Bu uygulama, kalıcı iç kaplama yapıncaya kadar geçici hizmet vermek üzere yapıldığı gibi, 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 [2].

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 ankraji 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.

#### **1.1.5 Şev Koruması**

Önkonsolidasyon yöntemine benzer bu uygulamada stabil olmayan şevin sürtünmesi ve buna bağlı olarak kayma mukavemeti öngerme ile artırılır. Öngerme kademeli bir şekilde uygulanarak olası ters bir etki ve zeminde, ilk konumda 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 artırır. Zemin ortamlarında olduğu gibi kaya şevlerinde ve uçurumlarda da öngerme uygulanması özellikle çatlak ve fisürler boyunca şevin iyileşmesini sağlar. Şev stabilitesi uygulanmasında detaylara çok dikkat edilmesi gerekli olup, yapım sırasında stabilizeyi 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.

#### **1.1.6 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 kapasitesi artan zeminlerde bir gerekliliktir. Diğer yandan derinliğin artması zeminin desteklenme maliyetini oldukça yukarıya çeker.

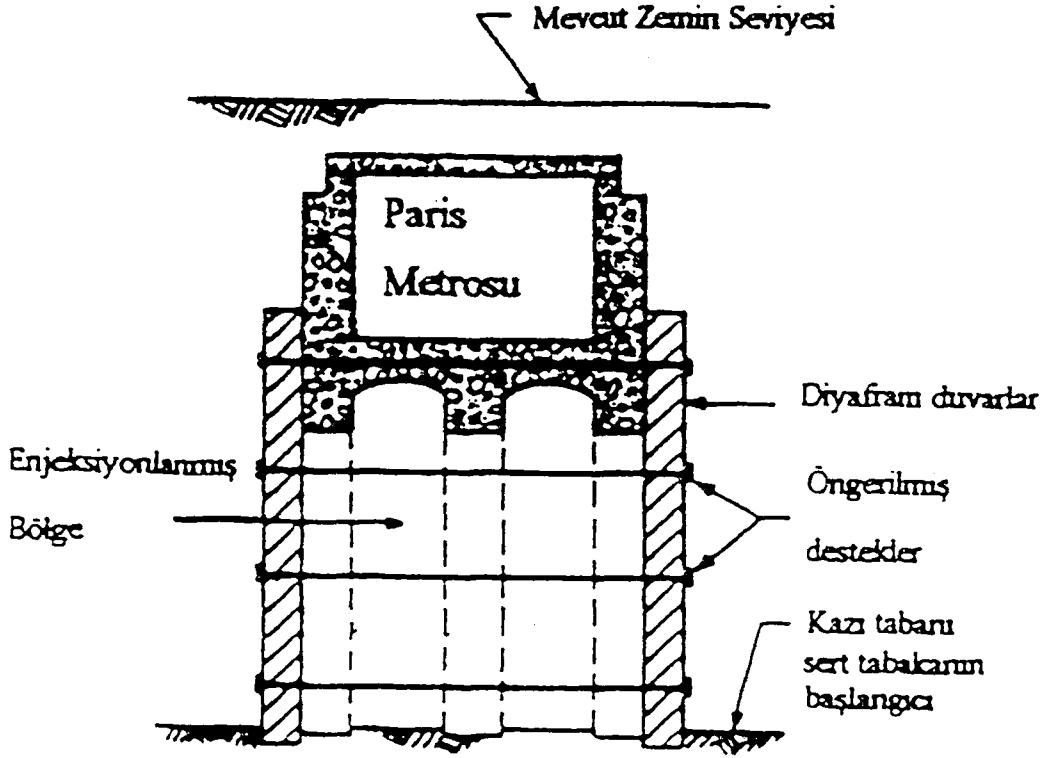
Tutuklu destekleme sistemlerinin seçimi inşa edilecek olan yapıya bağlıdır. Kalıcı bir iç yapının tasarlanmış olduğu veya koşulların ankraj bölgesinin uzun süre devamlılığını garanti edemediği durumlarda geçici destekleme sistemi, kazının amaçlanan görevinin diğer destekleme sistemlerinin uygulanmasını olanaksız kılması durumunda veya yapılan kazının yerine bir yapı yapılmayacak ise kalıcı destekleme sistemi kullanılır.

#### **1.1.7 Uzun Kazılar**

Bu tip kazılar daha çok yer altı taşıma sistemlerinde veya alt yapı inşaatlarında aç-kapa uygulamalarında gerçekleştirilir. Dar kazılarda karşıdan karşıya destekleme şantiye koşullarına uygun olduğu sürece kullanılabilir. Ancak kazı içindeki faaliyetlerin kısıtlanması 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.

#### **1.1.8 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 artırılabilir. 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 artırılışı gösterilmektedir [3,4].



**Şekil 1.3** Mevcut bir metro yapısının diyafram duvarlar ve enjeksiyon ile askıya alınması.

#### 1.1.9 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. Stabilite kaybına karşı önlem almak için yapılacak olan uygulamada yapının doğasına, inşa yöntemine, onarım derecesine, stabilitesine ve ankraj kuvvetlerine karşı göstereceği tepkiye çok dikkat edilmesi gerekir.

#### 1.1.10 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 ankrajlar 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 maliyeti oldukça yüksektir. Burada iki kaya bloğu içlerinden geçen düşey doğrultudaki ankrajlar aracılığıyla zeminde kesme kuvveti oluşacak şekilde yükleme yapılır.

#### **1.1.11 Hareketli Yapılarda Ankraj**

ABD Prefabrik Binalar Federal Yapım Emniyet Standardı'na göre yapılacak olan mobil yapıların kasırga bölgelerinde  $720 \text{ N/m}^2$  lik rüzgar kaldırma kuvvetine,  $1200 \text{ N/m}^2$  lik yanal yüke karşı, diğer bütün bölgelerde  $430 \text{ N/m}^2$  lik rüzgar kuvvetine,  $720 \text{ N/m}^2$  yanal yüke karşı bağlanması gerekir. Buna göre bu yapıların temelleri kayma, devrilme ve kaldırma kuvvetleri göz önünde bulundurularak tasarlanmalıdır. Böyle durumlarda düşey ve yanal kuvvetler, kullanılacak olan zemin ankrajları ile karşılanmalıdır [5].

#### **1.1.12 Donmuş Zemin ve Ankrajlar**

Bu konuda iki ayrı durum söz konusu olabilmektedir. Birincisi, ankraj ile tutturulmuş yapıya tutan ankrajların bir kısmının yer aldığı zemin donmuş olabilir veya donabilir, ikincisi ise ankrajların kalıcı olarak dondurulmuş zeminlere yerleştirilmesi gerekebilir. Yapıların 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 genişleme 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.

## 1.2 Ankraj Çeşitleri

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

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

Ankrajlar bulundukları ortamdan başka;

1) Servis sürelerine göre :

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

2) 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) Mekanik olarak genişletilmiş kökü olan ankrajlar,

- 3) Uygulama şekillerine göre;
- a) Aktif ankrajlar,
  - b) Pasif ankrajlar,
  - c) Çekme ankrajları,

olmak üzere üç farklı grup altında toplanabilir.

### **1.2.1 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.

#### **1.2.1.1 Zemin Ankrajları**

Zemin ortamındaki ankrajlar düşük-orta kapasiteli ankrajlar olup sert killerde, siltlerde, kumlarda ve çakıllarda uygulanır. DIN 4125’ teki [6] tanıma 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 birkaç senelik servis süreleri olan geçici ve çok uzun süreli servis ömrü 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. Ankraj ile ön yükleme yaparak, stabil olmayan zeminlerin, 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. Yer altı depolama tanklarını bağlamak,
7. Aç-kapa kazılarında, tünel duvarlarında yanıl destek sağlamak,
8. Nükleer yapıların döşemelerini stabilize etmek,
9. Onarım, tamirat ve kurtarma işleri yürütebilmek,

için kullanılırlar.

#### **1.2.1.2 Kaya Ankrajları**

Kaya ortamında uygulanan ankrajlar, zemin ortamında uygulananlara şekil ve uygulama kuralları yönünden çok benzerdir. Genelde, kaya malzemesinin yüksek dayanımına bağılı olarak kaya ortamındaki ankrajların taşıma kapasiteleri zemin ortamlarından çok daha fazla olmaktadır. DIN 4125' deki [6] tanımına göre tutulu boyu (kök) kaya ortamı içinde bulunan ankrajlardır. Kaya malzemesinin özellikleri yönünden çok geniş bir yelpaze oluşturmaları nedeniyle genelleme yapmak pek mümkün olmamaktadır. Örneğin killi şistlerde, kireçtaşlarında, tebeşirlerde ve yüksek kırıklı kayalarda sorunlar görülebilmektedir. Kaya ankrajları, uygulamaların % 10-20' sini kapsamaktadır. Kaya ankrajları :

1. Kaya formasyonu 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.

### 1.2.1.3 Deniz Yapıları Ankrajları

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 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.

### 1.2.2 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 birkaç 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 örnekleri derin kazılarda geçici destek sistemleri olarak görülür. 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 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 şekilde bilindiği ve kontrol edilebildiği ortamlar için geçerli olduğu unutulmamalıdır. Xanthakos (1991)' un tavsiye ettiği daha tutucu koşullar şu farklılıkları göstermiştir [7] :

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.

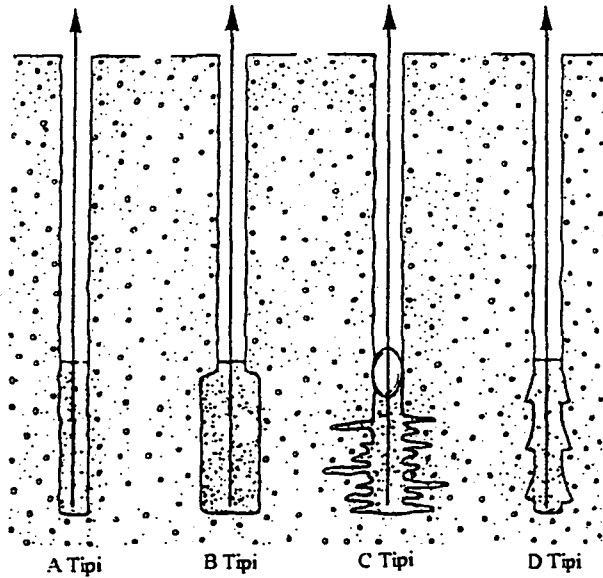
Ankraj tasarımında, hem boyutlandırma, hem de çalışma yükü değeri, uygulamanın yapılacağı ortamın bütün koşulları göz önüne alınarak belirlenmelidir. Bu nedenle, izin verilebilir çalışma yükü belirlenirken, uzun süreli stabilite ve krip özellikleri, kök değme yüzeyindeki tutunma kapasitesindeki olası düşüşler gibi bütün etkenler ve birbirleri üzerindeki etkileri göz önünde 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, İsviçre Standardı SIA 191' de tanımlandığına göre [8], ankraj ve kök tasarımı yardımcı olması yönünden geniş deneyler yapılan, özel olarak tasarlanmış ve normal olarak yerleştirilmiş ankrajlardır.

Kontrol ankrajları ise, yine SIA 191' de tanımlandığına göre [8], uzun süreli gözlemler yapılabilmesi için yapı içinde veya çevresinde uygulanan ankrajlardır.

### 1.2.3 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 malzemelerde kullanılmaktadır. Ankrajın yük taşıma kapasitesini bu bağlayıcı malzemenin dayanımının yanı sıra bağlayıcı malzemenin oluşturmuş olduğu kök şeklide 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 alüvyon ortamlar için uygundur, ancak yüklenicilerin çoğu bunun iyi derecelenmiş zeminlerde de kullanılmaktadır.

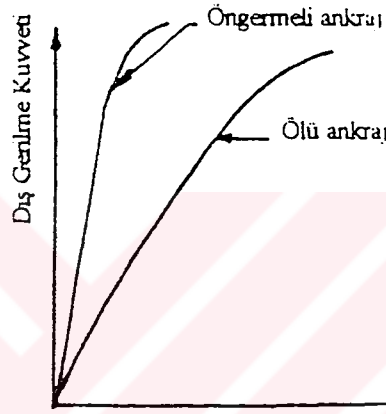
- C Tipi : Çimento şerbeti yüksek basınç ile ( $>2 \text{ N/mm}^2$ ) verilerek çimento danelerinin zemin daneleri arasına iyice ve dağınık olarak girmesi sağlanır. Bu sistem sert kohezyonlu yığınlarda kullanılmakla birlikte özellikle kohezyonsuz yığınlar için uygundur. Hangi uygulamada B veya C tipinin tercih edileceği güç olmakta, ancak her iki tipin özelliklerini içeren komposit tipler imal edilmektedir.

- 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. Sıyırılma kapasitesi yanal kayma ile oluşur, ancak yerinden çıkmaya karşı çan ve uç taşınması karşı koyar.

#### **1.2.4 Aktif, Pasif ve Çekme Ankrajları**

Aktif ankrajlar, “öngermeli” olarak da anılırlar ve yapıya bir ilk yük uygularlar. Bu yük, özel kriko 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 öngörme 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 oran uygulanır. Sıkça uygulanan bu üçüncü “çekme ankraji” 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 etkileyen çekme yükü ile kazının tamamlanması sonucunda oluşan deplasman arasındaki ilişki Şekil 1.5’ deki gibidir:



**Şekil 1.5** Aktif (öngermeli ) ve pasif (ölü) ankrajlarda 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 öngörme 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, öngörme kuvvetinde sadece çok küçük değişikliklerin belirli değer aralıkları içinde olası olduğu ve çalışma yükünün neticesi olarak izin verilebilen ankrajlardır [8].

## **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 malzemenin yapısı ve özellikle 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



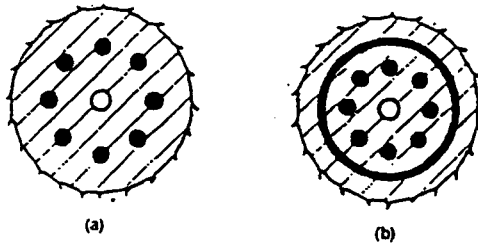
## 2.2 Ankraj Parçaları

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 etrafında ki 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 olunmasına dikkat edilmelidir. Tendondan gelen yük, bu çimento harcı ile oluşturulmuş olan bölge tarafından taşındıktan sonra çevreye iletelebilmektedir. 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 sağlanmaktadır. Bağın dayanımını su/çimento oranı etkilerken, bağın çevresindeki ortamın içine işlemesini enjeksiyon basıncı ve delgi işlemindeki başarı etkiler.

### **2.2.2 Ankraj Serbest Boyu**

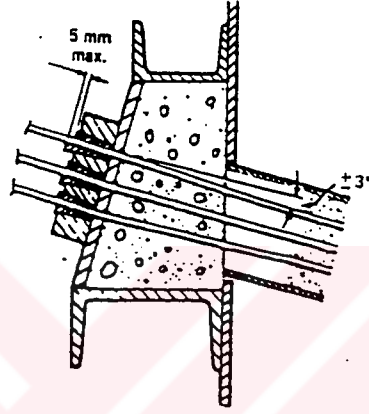
Serbest tendon boyu olarak adlandırılan bu kısmın çevresindeki zemine değmesi içinde bulunduğu kılıf ile engellenir. Ankraj sistemine gelen yük serbest boy aracılığı ile köke iletilir ve bu yük iletimi sırasında tendon çevresindeki zemine değmediği için rahatça uzayabilir. Tendonun serbest olduğu boy, zeminin bir bütün olarak dengede olmadığı bölge olup bu bölgede tendonun zemine bir bağlayıcı aracılığıyla değmesi durumunda yapıdan gelen yük dengede olmayan bu zemin bölgesine iletilerek sistemin göçmesine neden 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 ( $\pm 5$  mm.) ortak merkezli olmalıdır. Ankraj kafası ile tendon eksenleri arasında  $3^\circ$  den fazla açısal sapma olması durumunda bu, yük iletimini etkileyeceğinden ankraj kafasının yerleştirilmesine ve imalatına dikkat edilmelidir [9]. 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:



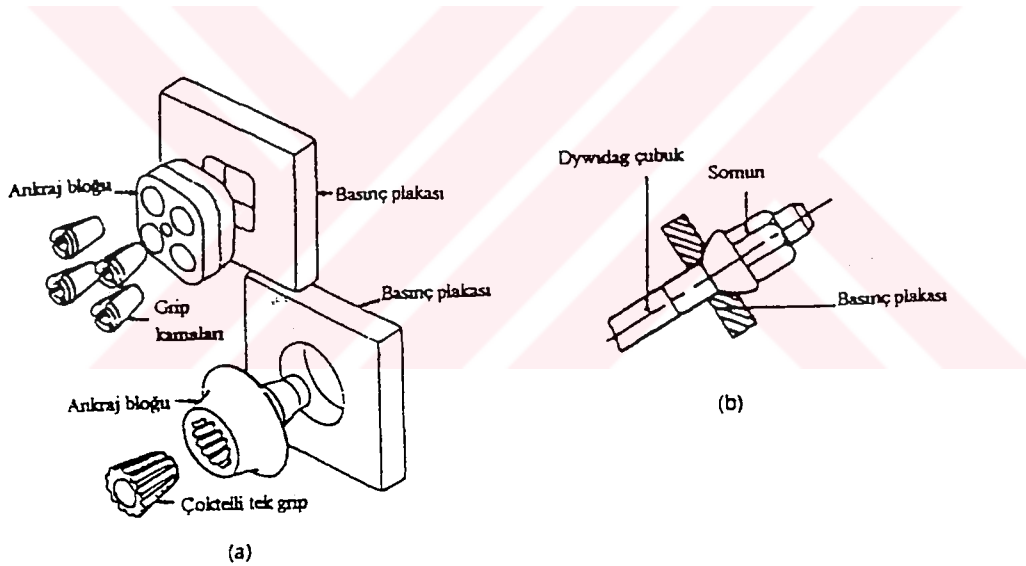
**Şekil 2.3** Ankraj kafası yerleşiminde öngörülen tolerans değerleri

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.

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 uygunda olmalıdır. Ankraj sisteminde a) yük kontrolü yapıp sonradan germe gerekmebilir, b) yük kontrolü ve sonradan germe yapılabilir fakat yük boşaltması veya gevşetilmesi yapılmayabilir, c) yük kontrolü ve sonradan germe işlemlerinin her ikisi de gerekmebilir. 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.

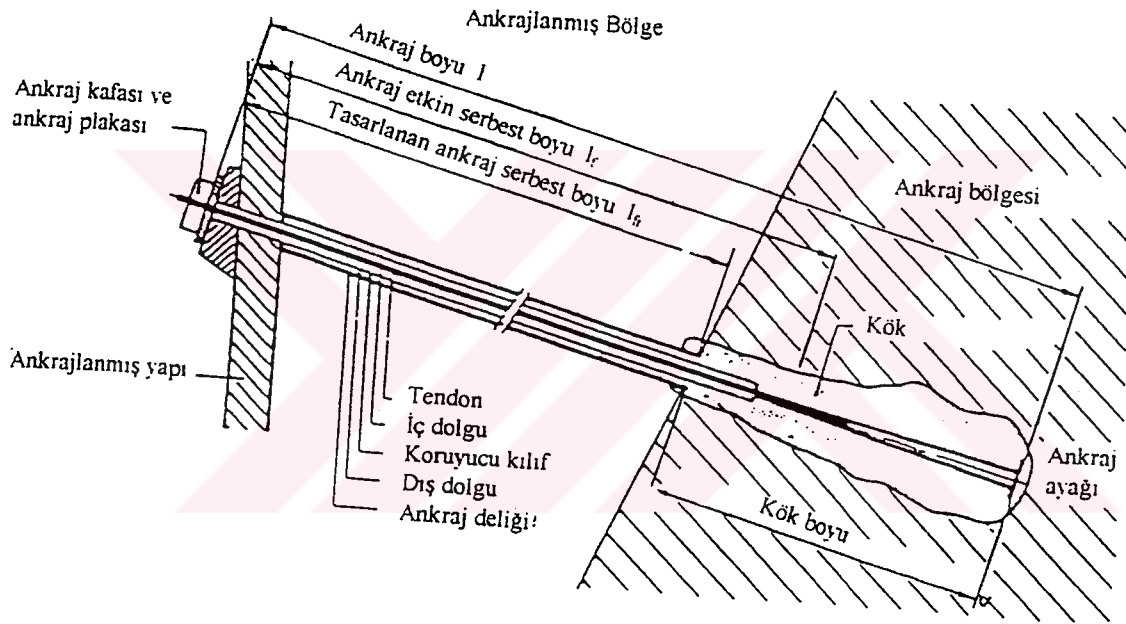


Şekil 2.4 Değişik ankraj kafası detayları.

Ankraj kafalarında en önemli nokta tendondan gelen yükün basınç yuvasına merkezi olarak iletilmesini sağlamaktır. Yapısal aksenel 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. Tanımlanan tüm bu büyüklükler Şekil 2.5' te görülmektedir.



Şekil 2.5 Ankraj sistemi ve elemanları.

## 2.3 Ankraj Tendonu

### 2.3.1 Tendon Tiplerinin Karşılaştırmalı Tanımı

Ankraj tendonları çekme mukavemeti  $1200-2000 \text{ N/mm}^2$  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 yerleştirilebilmektedir. Kimi zaman delgi çubuğu olarak da kullanılırlar. Çubukların germe işleminden sonra uzun kalıcı uzamalar yapmaları, zeminin ankraj çökmeden önce hareket etmesine olanak sağlar. 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 karbon çeliğinden imal edilirler. 1970' lerden sonra, halatlar sağladıkları avantajlar ve imalat özellikleri ile sundukları yüksek kapasiteler nedeniyle tercih edilmeye başlandılar. 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/mm<sup>2</sup> çekme mukavemetine sahip olmalarıyla beraber 2000 N/mm<sup>2</sup> ye kadar dayanmaktadır. Tel tendonları çok farklı çaplarda bulmak mümkündür, fakat en çok kullanılanları 5-8 mm. olup 1670 N/mm<sup>2</sup> 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 sınır değeri "elastik limit", % 0.1 kanıt gerilmesi cinsinden verilir. % 0.1 kanıt gerilmesi % 83.5 ( $f_{pu}$ )' ya denktir [9]. 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 çeliğin 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 göz önünde bulundurulmalıdır.

Elastisite modülü de üretici tarafından verilir.  $\pm \% 5$  hata ile verildiği için deneylerde ve kayıtlarda farklılıklara neden olmaktadır. Bu E değerindeki sapmalar, laboratuvar deney boyu ile buna oranla daha uzun olan arazideki uygulama boyları ile yapılan uygulamalar arasında açıkça görülmektedir. 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 [10] :

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

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

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

Genel tanıma göre **krip etkisi**, tendonun zaman içerisinde 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.

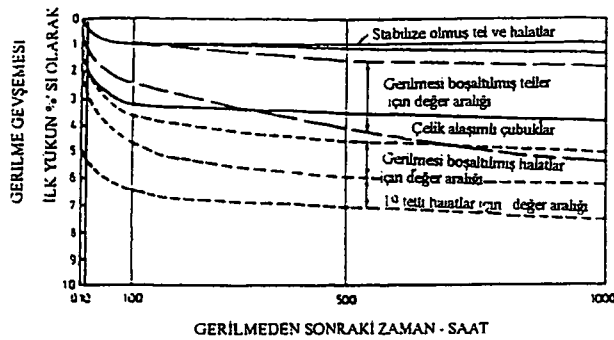
Sabit yükleme ve tekrarlı yükleme durumlarında oluşan krip etkisi arasında farklılıkların olduğu bilinmektedir ancak tam olarak anlaşılabilmiş değildir. Krip

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 birkaç saat içinde yükün % 5-10' u oranında azalmaya neden olabilir [11,12]. 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 ısının 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 [7]. Şekil 2-6' da görüldüğü gibi genelde germeden 100 saat sonra gevşeme yüzdesi ve zaman arasındaki ilişki doğrusallaşmaya, 1000 saat sonra ise yatay konuma gelmektedir [7].



**Şekil 2.6** 20°C ve nihai çekme dayanımının %70' inde tendon çeşitlerindeki gerilme boşalması (Xanthakos 1991).

## 2.4 Ankraj Delgisi

### 2.4.1 Ankraj Deliği Oluşturulması ve Temizlenmesi Yöntemleri

Ankraj delgi işlemi deneyimli ve bilgili bir ekip ile yapılmalıdır. Gerektiği 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 olsada diğer koşullarda 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 etkilemektedir.

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. Bir çok uygulayıcı, çapı 100 mm. boyu 60 metreye kadar olan kaya ortamı için dönel delme sistemini önermektedir.

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 kullanılabilmektedir. 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 kullanılabilmektedir. Fakat, yumuşak zeminlerde, su ile karıştığında gevşemelerin ve kısmen çökmelerin oluşabileceği ortamlarda, sorun tendonun yerleştirilmesi aşamasında anlaşılabileceği için tendon yerleştirilmeden önce mutlaka delik kontrolünün yapılması gerekmekte olup olabildiğince bu tip ortamlarda sulu temizleme 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 içerisinde 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 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.

## 2.5 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 gelen, 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.

### 2.5.1 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.

### 2.5.2 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 içerisinde 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 deneyi ile yapılan, aşırı yükleme uygulanarak güvenlik katsayısının kontrolü sağlanır. Ayrıca elde edilen veriler kullanılarak çizilen yük – zaman 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 artırılır ve öngerme kayıplarının zamanla değişimini gözlemek üzere önlemler alınır. Kabul edilebilirlik deneylerinin uygulanması ve istenen kriterler konusunda değişik şartnamelerde ayrıntılı belirlemeler yapılmıştır. Bu standartlardan en çok bilinen ve uygulamalara esas oluşturanlar, İsviçre Standartları (SIA 191), İngiliz Standartları (B.S. 8081), Alman Standartları (DIN 4125, 1990 ), Fransız Standartları (Bureau Securitas, 1972), Amerikan Standartları (PCI, 1974), Güney Afrika Standartları (1972)’ dir. Bu standartlardan ülkemizdeki uygulamalara ışık tutan ve yaygın kullanılanları, tanımlanmış olan deney yöntemleri ve kabul kriterleriyle 3. bölümde ele alınmıştır.

### 2.6 Ankraj Deneyi ve Germe İşleminin İçeriği

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 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 miktarının sınır değerlidir.

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 edilebilir deneyleri, yapım öncesi deneylerin sonuçlarının doğruluğunu ve verilerin karşılaştırılmasını sağlar. Uygunluk deneyleri kayıtların artmasını ve verilerin karşılaştırılmasını sağlar.

6. Krip deneylerinin yapıldığı uygulamalarda, uzun süreli zemin davranışı karakteristikliğinin zamanla neden olacağı potansiyel yük kaybı tahminin yapılması sağlanabilir.

## 2.7 Uzun Süreli Gözlemler

Ankraj sisteminin uzun süreli gözlemlenmesi, üretilmiş olan ankrajların servis sırasındaki davranışlarını gözlemek 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 edilecektir.

### **3. YABANCI STANDARTLAR VE UYGULANAN ANKRAJ DENEYLERİ**

#### **3.1 GİRİŞ**

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 yapıım 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 her birinde 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 standartlarda açıkça belirtilmiştir. Türkiye’de hazırlanmış bir standardı bulunmayan,

ankrajlı yapılarda uygulanacak deneyler ve karşılaştırılacakları kriterler açısından, ülkemizdeki uygulamalara ışık tutacak standartlar aşağıda verilmektedir:

### **3.2 Amerikan Standartları [5]**

#### **3.2.1 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.

#### **3.2.2 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;

$\Delta$  : şekil değıştirme,

E : tendonun elastisite modülü,

L : krika germe kafasından bağ boyunun tepesine kadar olan uzunluk,

A : tendon kesit alanı,

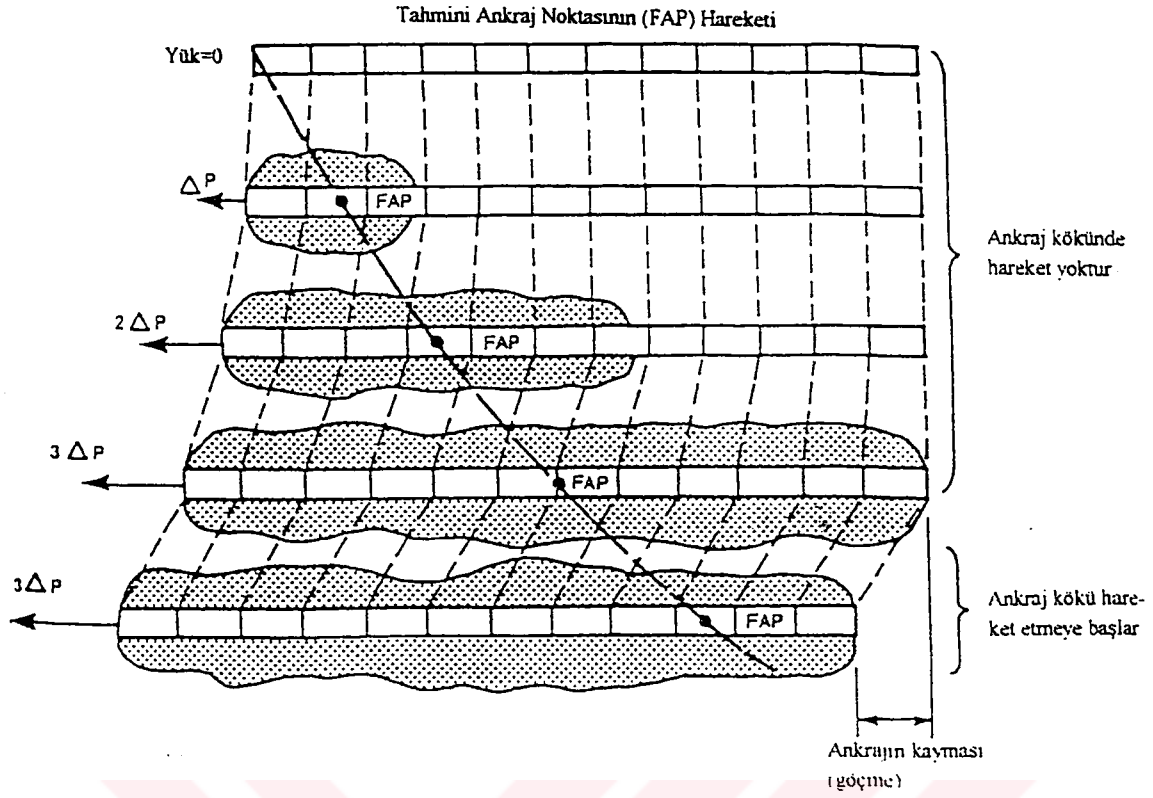
P : uygulanan yük

kullanılarak aşağıdaki formülle hesaplanabilir:

$$\Delta = \frac{P.L}{A.E} \quad (3.1)$$

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

Şekil 3.1 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 (FAP) arasında ankrajın elastik davranış gösterdiği kabul edilir. Bu nedenle, FAP'ın konumu herhangi bir yük için toplam bağ boyuna bağılı 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 bir çok etkene bağılı olmakla beraber genelde 2.5 mm. dir. Bağ bölgesinin ön ucunun kapasitesini harekete geçirmek için bağılı olarak büyük hareketlere gerek vardır. Zemine karşı koyan etkin uç alanının genellikle küçük olması nedeniyle ankraj kapasitesine yardımcı olan bu etki göz ardı edilebilir. Ankraj sistemine etkiyen yükün artması ile ankrajın alt uçlarına doğru ilerleyerek etkin hale geçtiğinde FAP noktası bağ boyunun tam ortasındadır. Ankrajda oluşan ilave gerilme artışı ile bağ bölgesi harekete geçer.



Şekil 3.1 Artan gerilme altında bağ boyunun davranışı

### 3.4.3 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 davranış 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 krika 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 krika her yük kademesinde uygulanması gereken yük miktarını 60 saniyede uygulayabilecek kapasitede olmalıdır.

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

Geçici yapılarda 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 tutturulan 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 kaybindan 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 küçük hatalar aşağıdaki koşulların oluşması halinde bu durum gözardı edilebilir:

1-) Hidrolik krika 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 ortalanarak yerleştirilmesine ve eksantrik yükleme oluşmaması için tendon eksenleri ile yük hücresinin ekseninin birbirine paralel olmasına dikkat edilmelidir. Oluşabilecek eksantrisiteleri karşılamak için firdöndü pulları kullanılabilir. Düzensiz yüklemenin etkilerini en aza indirmek için yükseklik / et kalınlığı oranı 2 ve yükseklik / genişlik oranı da 4 seviyesinden 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 firfırlar, küresel yuvarlar 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 yanı sıra pistonun bütün hareket kapasitesinin de denenmesi gerekir.

Tendonun uzama miktarı, ankraj yapısından ayrı olarak monte edilen bir ölçü saati ile belirlenir. Tendon uzaması, krika pistonunun uzama hareketinin ölçülmesi ile belirlenmez, çünkü piston meydana gelen uzama hareketi bütün ankraj yapısında oluşan hareketleri içerir. Ölçü saati, 0.025 mm. inceliğe kadar okuma alınmasını sağlamalıdır. Tendonun maksimum 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. fazla aşırı uzama beklenen uzamalarda tel ve verniyer kullanılan dönüşümlü sistem kullanılabilir. Tel tendona aksel olarak yerleştirilir ve bir makara üzerine ölü bir ağırlıkla yerleştirilerek gerilir. Uzama destek kafesine tutturulan bir ölçek ve ağırlığa bağlanmış olan bir verniyer ile ölçülür.

### **3.2.4 Ön Üretim Deney Ankrajları**

Üretim öncesi yük deneyleri, tasarım sırasında olağandışı koşullar ile karşılaşılması durumunda gerekli olabilmektedir. Bu deneyleri gerektiren ortamlar; daha önce üzerinde tecrübe edilmemiş zemin yığınları, çok uzun ankrajlar, zor delme koşullarında veya 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 yüzey altı 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,
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 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.

#### **3.2.4.1 Tasarım Yükünün Güvenlik Faktörünü Araştırmak İçin Yapılabilecek 1. Deney**

- 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 olacaktır. Göçme oluşmamışsa 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 beklenerek ve “e” maddesindeki gibi değişim okumaları alınacaktır. Krip eğrisi yukarı doğru artan içbükeylik göstermedikçe, referans yükü referansın %90’ ına kadar geri çevrilecek, uzamalar sabitleninceye kadar beklenerek ve 72 saatlik bekleme için referans yüküne geri çevrilecektir. Zaman 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  $0.2 \times 10^{-3}$  katına eşit veya küçük ise referans yükü kabul edilebilir. Çelikteki krip, ortaya çıkarılabilir, ancak bu referans yüklerinin 0.5 GUTS’ den küçük olması nedeniyle önemsizdir. Eğer birinci ve ikinci deneyler arasında belirgin uyuşma yok ise referans yükünde ek deneyler yapılmalıdır. Deney uyuşup yerdeğiştirmelerin mutlak değeri çok büyük ise maksimum yük, düşük yüklerin krip eğrileri kriter bulununcaya kadar enterpole edilerek bulunur.

#### **3.2.4.2 Tasarım Yükünün Güvenlik Faktörünü Araştırmak İçin Yapılabilecek 2. Deney**

- a) Bağ bölgesinin nihai sıyırılma kapasitesi tahmin edilir.
- b) İki deney ankrajının çelik tendon kesitleri, tahmin edilen nihai kapasitenin % 150’ si oranında yük uygulandığında GUTS değeri nin % 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 değeri nin %80’ ine veya göçme oluşuncaya kadar GUTS değeri nin % 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 gerilme belirlenecektir. Böyle durumlarda, referans değeri kritik krip gerilmesinin % 90' ıdır. Eğer kritik krip gerilmesine ulaşılmazsa, referans değeri GUTS değerinin %60' ı olacaktır.

### 3.2.5 Üretim Ankrajları Deneyleri

Her bir 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. Her bir 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 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 deney sayısını belirleyebilir.

#### 3.2.5.1 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 3.2.5.3' 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 artırılırken 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 1mm.lik veya daha az miktarda ihmal edilebilir krip hareketi gözlenmiş ise deneyine son verilebilir.

### **3.2.5.2 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 değil de 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.

### 3.2.5.3 Kalıcı Ankrajların Ankraj Deneyi ve Gerilmesi

Bütün ankrajlara deney uygulanmalıdır. Bütün üretim ankrajlarının boyutlandırılması, tasarım yükünün % 150' si öngerme çelik elemanlarının 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 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 Deneyi deney yükü çevrimleri şu şekilde uygulanacaktır: (Yükün değişim seyri aşağıda satır boyunca soldan sağa biçiminde verilmektedir.)

|        |        |        |        |        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 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  |        |        |        |        |        |

Burada;

P : Üretim ankrajı için tasarım yükü,

AL : Germe ve deney ekipmanının gergin hale getirilmesi için gerekli yüküdür.

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 kanıt deneyleri uygulanacaktır. Yük kademeleri şöyledir :

AL, 0.25, 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 2mm.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 kilitlenme 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 krip 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. ve 10. dakika okumaları arasında oluşan ankraj kafasının krip 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.

#### 3.2.5.4 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 ve yükün göçme bölgesinin içinde iletilmediğini gösterir. Bu durum için duvar hareketi veya ankraj göçmesi düşünülebilir.

Minimum kabul edilebilir yer değiştirme ( $\Delta$ ) şöyle hesaplanabilir:

$$\Delta = 0.8.P.L / A.E \quad (3.2)$$

Bu denklemde;

P : Uygulanan deney yükü

L : Krikodan, serbest boyun altına kadar olan uzunluk

A : Çelik tendonun kesit alanı

E . Çeliğin elastisite modülü olmaktadır.

- b) İkinci kriter ise, maksimum deney yükündeki toplam yerdeğiştirme miktarının, krikodan bağ boyunun merkezine kadar olan boyun teorik uzamasını geçmemesi gerekliliğidir.

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 tanımlana 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:

$$\text{Krip / Çevrim} = \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{\text{Log}_{10} (T_2 / T_1)} \quad (3.3)$$

Denklemdaki;

$\Delta_1$  :  $T_1$  anındaki okuma

$\Delta_2$  :  $T_2$  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 anlamındadır.

İletilen yükün ölçme bölgesine iletimini önlemek için ankraj gevşemedikçe, birinci kabul kriterini (a) sağlamayan ankrajlar yapı içerisinde bulunmamalıdır. (b) veya (c)

kriterlerini sağlamayan ankrajlar mevcut yapı içerisinde önerilen tasarım yükünde kullanılamazlar, ancak kabul edilebilir hareket miktarlarına uzun zamanda neden olacak daha düşük ve güvenli tasarım yükleriyle (üretim deneyleri ve 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 artırılması gibi yerinde acil değişiklikler geliştirilmesine neden olur. % 5' ten az oranda oluşan göçmeler, basınç tabakasında karşılaşılan yumuşak bölgenin veya yerleştirme tekniği hatalarının varlığını gösterir ve proje personelinin daha sıkı araştırma yapmasına neden olur.

### 3.3 İsviçre Standartları (SIA 191) [8]

İsviçre Standartlarında ankrajlar için başlıca 3 tür deneyden söz edilmektedir. Bunlar;

- 1) **Ankraj deneyleri:** Ankraj deneyleri özel olarak bu deney için yapılmış deneme ankrajlarında yapılır ve bu ankrajlar tekrara kullanılmaz.
- 2) **Gerilme deneyleri:** Yapılmış olan ankrajlar üzerinde yapılan kısa süreli deneylerdir.
- 3) **Uzun süreli kontroller:** Deney ankrajları üzerinde uygulanan uzun süreli deneylerdir.

#### 3.3.1 Genel

Ankraj yapıları hakkında temel bilgiler edinmek ve gerektiğinde ankraj seçimini yapabilmek için deney ankrajları üzerinde 3.3.2' 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 yapım 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.

### 3.3.1.1 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 ve kaya ortamındaki deney ankrajlarının sayısı aşağıdaki tablodaki (Tablo 3.1) gibi önerilmektedir:

**Tablo 3.1** Deney ankrajlarının sayısı için önerilen değerler

| Kökü temel alanı içinde olan ankrajların sayısı | Ankraj sınıflarına göre, temel alanı başına deney ankrajları (1. sınıftan 6. sınıfa doğru risk artmaktadır) |                           |                         |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------|
|                                                 | 1. sınıf                                                                                                    | 2. ve 4. sınıf            | 3., 5. ve 6. sınıf      |
| 20’ ye kadar                                    | hiç                                                                                                         | hiç                       | 3                       |
| 20’ nin üzerinde                                | En az 3 olmak üzere % 1                                                                                     | En az 3 olmak üzere % 1,5 | En az 3 olmak üzere % 2 |

### 3.3.1.2 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.

### 3.3.2 Ankraj Deneyi

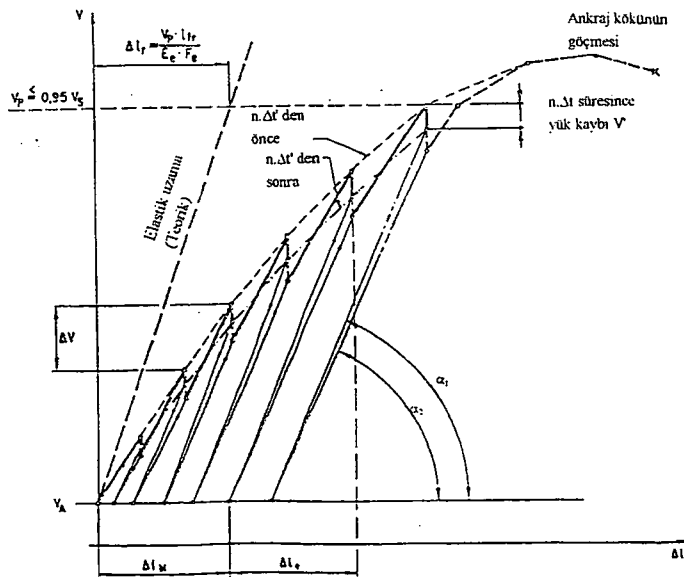
Ankraj deneyi, ankraj seçimi ve tasarımı için bir yardımcıdır. Ankraj işini değerlendirmek ve kabul etmek için bir taban oluşturur. Kök için limit yük ( $V_v$ ) belirlenirken deney ankrajının tendonu kuvvetlendirilebilir ise de ankrajın diğer karakteristikleri korunmalıdır. Ankraj deneyi sırasında deney ankrajı adımlarla gerilir ve yük/uzama eğrisi çizilir. Eğer olanak varsa ankraj deneyden sonra sökülmelidir.

#### 3.3.2.1 Deneyin Uygulanışı

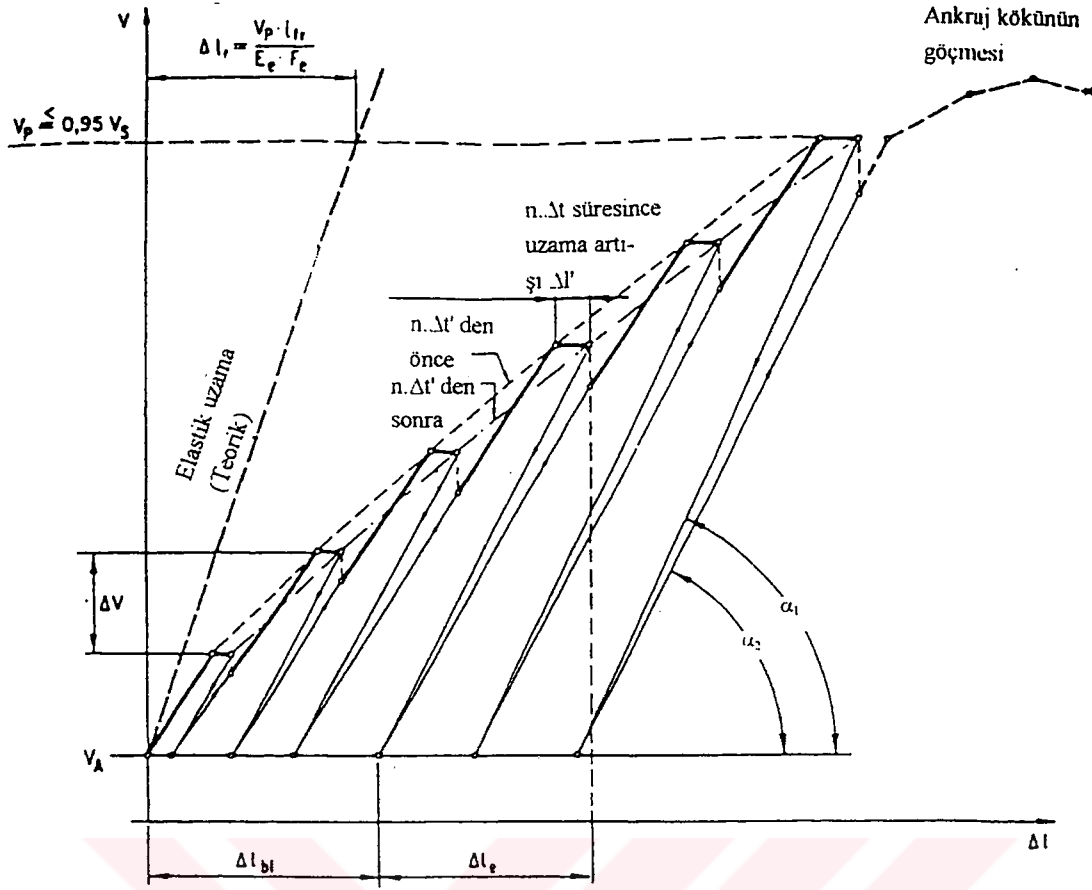
Ankraj deneyi şu şekilde uygulanır:

Bir  $V_A = (0,1 \dots\dots 0,2) V_P$  ilk yükü seçilir.  $V_A$  ve  $V_P$  aralığı yaklaşık 6-10 eşit  $\Delta V$  aralığına bölünür. Ölçme aletinin mutlak doğruluğu (kalibrasyonu), %3  $V_P$ ' den daha iyi olmalıdır (Şekil 3.2 ve Şekil 3.3).

$\Delta l_e$  elastik tendon uzaması ve  $\Delta l_{bl}$  plastik tendon uzamasının toplamı olan  $\Delta l = \Delta l_e + \Delta l_{bl}$  uzama ölçümü için sabit bir nokta belirlenir.  $\Delta l$ ' nin mutlak doğruluğu %2  $\Delta l_r$ ' den daha iyi olmalıdır. Bu noktanın hareketi, hesaplanmış olan  $\Delta l_r$  ankraj uzamasından % 0,5 daha az olmalıdır.



Şekil 3.2 Sabit uzama ile ankraj deneyi



**Şekil 3.3** Sabit yük ile ankraj deneyi

Her adımdan sonra yük  $V_A$  değerine düşürülür ve  $\Delta l_{bl}$  uzaması ölçülür. Her seferinde yük tekrar uygulanır. Yük/uzama eğrisinin ara noktaları kayıt edilir.

Yükleme ve ölçme programı, belirlenmiş olan bir maksimum 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. Kaya ve zemin tipleri için  $\Delta t$  gözlem süreleri Tablo 3.2' deki gibidir:

**Tablo 3.2**  $\Delta t$  Gözlem süreleri

| ZEMİN ÇEŞİDİ                                              | SÜRELER ( $\Delta t$ )       |
|-----------------------------------------------------------|------------------------------|
| A. Kaya ve kohezyonsuz zemin                              | En az 5 dakika               |
| B. Az kohezyonlu zemin ve aşırı konsolide killeri         | En az 5 dakika               |
| C. Normal konsolide ortamlardaki killi siltler ve killeri | Farklı günlerde ve saatlerde |

### 3.3.2.2 $V_p > 200$ KN Deney Yüklü Ankrajların Değerlendirilmesi

Değerlendirme,  $V_v$  limit yükünü,  $l_f$  ankraj serbest boyunu ve  $\Delta l_{bl}$  kalıcı deformasyonu belirlemek için yapılır. Limit yük, aşağıdaki 1. ve 2. koşulların sağlanmakta olduğu yüküdür.

**1.koşul;** Yük veya uzama miktarı, Tablo 3.3' teki sınır değerlerini aşamaz.

**Tablo 3.3** Yük kaybı ile bağlantılı deformasyon artışının sınır değerleri

| Koşul | Gözlem Süresi       | Limit Değerler                     |                                 |
|-------|---------------------|------------------------------------|---------------------------------|
|       |                     | Uzama artışı ( $\Delta l$ )<br>(A) | Yük Kaybı ( $\Delta V$ )<br>(B) |
| 1a    | 0..... $\Delta t$   | maks. $\Delta l_r$ ' nin %2' si    | maks. $V_p$ ' nin %2' i         |
| 1b    | 0.....3 $\Delta t$  | maks. $\Delta l_r$ ' nin %1' i     | maks. $V_p$ ' nin %1' i         |
| 1c    | 0.....10 $\Delta t$ | maks. $\Delta l_r$ ' nin %1' i     | maks. $V_p$ ' 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.

**2.koşul;** Aşağıdaki oran elde edilmelidir:

$$\tan \alpha_2 / \tan \alpha_1 \geq 0,90 \quad (3.4)$$

Bu eşitlikte kullanılan ve Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te de gösterilmiş olan;

$\alpha_1$  : Yük boşaltma eğrisinin eğiminin açısı,

$\alpha_2$  : Tekrar yükleme eğrisinin eğiminin açısıdır.

### 3.3.2.3 Ankraj Etkin Serbest Boyunun ( $l_f$ ) Belirlenmesi

Ankrajın etkin serbest boyu Şekil 3.4' deki A' – X doğrusundan bulunur.  $l_f$  için;

$$l_f = \frac{\Delta l_e(X) \cdot F_e \cdot E_e}{V(X) - V_A - R} \quad (3.5)$$

Bağıntısı geçerlidir. Burada;

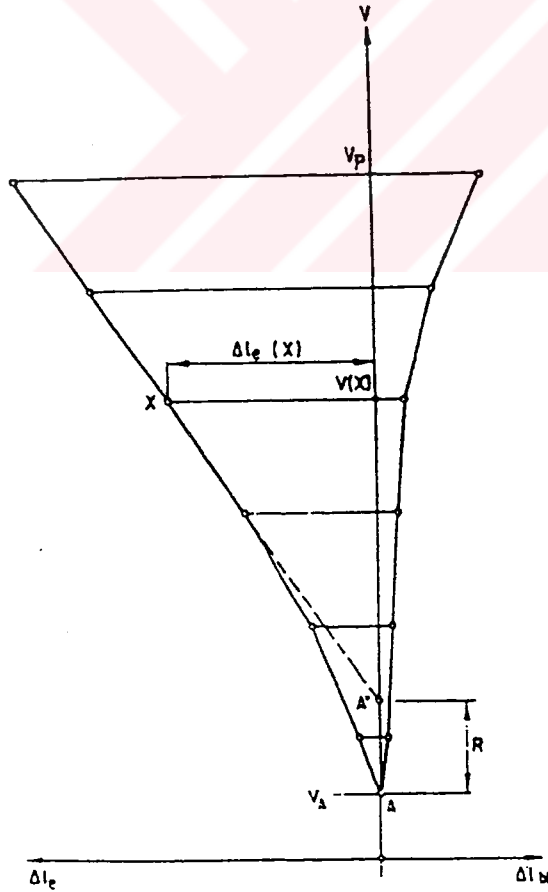
$F_e$  : Tendonun kesit alanı,

$E_e$  : 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.



Şekil 3.4 Elastik ve kalıcı uzamaların eğrisi

Ankraj etkin serbest boyunun ( $l_f$ ) aşağıdaki 3. koşulu sağlamalıdır:

**3.Koşul ;**  $V_v$  limit yük değerine kadar,  $l_f$  efektif serbest boyu aşağıdaki sınır içinde kalmalıdır:

$$0,9l_f \leq l_f \leq l_f + k.l_v \quad (3.6)$$

Burada;

$l_f$  : 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.

#### 3.3.2.4 Kalıcı $\Delta l_b$ Uzamasının Belirlenmesi

$\Delta l_b$  kalıcı uzaması Şekil 3.4' deki 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.

#### 3.3.2.5 $V_p \leq 200$ KN Deney Yüklü Ankrajların Değerlendirilmesi

$V_p \leq 200$  KN Deney yüklü ankrajlar (kaya bulonları) için değerlendirilme 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 ulaşıncaya kadar yük arttırılmalıdır.

En az üç çevrimden sonra (yük boşaltma ve tekrar yükleme)  $tg \alpha_2 / tg \alpha_1$  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 için :  $\Delta l_b = 18$  mm.

Harç ve sentetik reçine adezyonlu ankrajlar için :  $\Delta l_b = 3$  mm.

### 3.3.2.6 Kayıtlar

Ankraj deneylerinin ölçüm değerleri raporlar halinde saklanmalıdır. Bunlar önemli yapım dokümanlarıdır. Ayrıca eğer koşullar gerektirirse ankraj işi başlamadan önce çevre alan şartlarının, binaların, yolların, kanalların, kaynakların, vs. tamamen onaylı raporu, iş tamamlandıktan sonra da son kontroller sonunda tamamen onaylı kabul raporu tutulmalıdır.

### 3.3.2.7 Uzun Süreli Deneyler

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

### 3.3.3 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  $V_p = 0,95.V_s$  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 periyotlarında 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.

**Basit germe deneyinde**, ankrajın  $V_p$  deney yükündeki davranışı belli bir zaman boyunca gözlenir.

Deney yükü  $V_p \leq 200$  KN olan ankrajlarda deney rasgele örneklerle sınırlandırılır.

### 3.4 İngiliz Standartları (B.S. 8081 (1989)) [13]

#### 3.4.1 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 tasarımın 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 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 serbest boyu üzerine uygulanmaması gerekebilir. Deney sonuçlarının yerleştirme yöntemlerindeki farklılıklardan etkilenmediğini doğrulamak amacıyla ayrı araştırmalar yapılmalıdır.

### **3.4.2 Kanıt Deneyleri**

#### **3.4.2.1 Genel**

Herhangi bir ankraj geçici veya kalıcı olarak kullanıma alınmadan önce önceki deneylerle veya yeterli ve düzenli tutulmuş saha deneyimleri ile kanıtlanmalıdır. Kanıt deneyleri, malzemenin, bileşenlerinin, yapım yönetmenlerinin 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, laboratuarda veya arazide yapılacaktır. Kanıt deneyleri, kullanılacak ankrajların performans ve tasarımın kalitesini ve yeterliliğini, tasarımın öngördüğü güvenlik faktörünü araştırmak için uygulanır. 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 hasarlarda 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 yansıtabilecek belli amaçları ve şartları belirtmelidir. Zeminde uygulanan ankrajlar için, temel zeminin 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 sürekliğini, imalat, yerleştirme veya servis ömrü sırasında karşılaşabileceği hasarlara karşı dayanıklılığını ve sağlımlılığını 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.

#### **3.4.2.2 Malzemeler ve Bileşenler**

**Malzemeler:** Kanıt deneyleri, tendon grubunda veya ankraj imalatında bulunan bütün malzemelerin İngiliz Standartları (BS) ile uyumu sağlamak üzere uygulanır. Genelde imalatların vermiş oldukları sertifikalar yeterli olmaktadır. İlgili İngiliz Standartlarının olmadığı durumlarda, malzemeler deneyler veya düzenli arazi tecrübe belgeleri ile kanıtlanmalıdır.

Kırlıflama veya borulama için kullanılan plastikler, yapısal özelliği olmayan ayırıcılar ve merkezleyiciler, bitümlü ürünler, paslanmaya karşı önlem olarak kullanılan bantlar veya gres, İngiliz standartlarının ilgili maddeleri ile uyum içinde olmalıdır.

**Deney Enjeksiyon Karışımı:** Ankrajın kabulü yapılmadan önce, önerilmiş olan kapsülleme 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 yönetim olarak yapılmalıdır.

**Ankraj Parçaları Deneyleri:** Kanıt deneyleri, tüm parçaların ilgili İngiliz Standartları 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. Çoğu durumda, bileşenlerin dayanıklılığının ve paslanma korumasının etkilerinin kanıtlanması gerçek boyutlarda tendon hazırlanmasını, uygulamasını ve araştırma yapılmasını gerektirir.

**Enjeksiyon / Tendon ve Enjeksiyon / Kapsülleme Bağ 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.

**Montaj:** Tendonun imalat metotlarının ve kullanılan malzeme ve parçaların, karşılaşılabilecek tasarım kabullerini sağlayabilirliği dikkatli bir şekilde araştırılmalıdır. Yapım yöntemleri, tendonların imalatı veya kapsüllenmesi sırasında incelenebilir.

**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. Paslanma korumasının bütünlüğünün kanıtlanması deney ankrajının yerleştirilip gerildikten sonra sökülüp 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 boylu özel ankrajlar gerekli olabilir.

**Ankraj Kafası:** Kanıt deneyleri, önerilen ankraj kafası sisteminin imalat ve montaj yöntemlerinin, malzemelerinin uygunluğunu belirlemek için yapılmalıdır.

**Germe Ekipmanı:** Ankraj projesinin kabulünden önce, bütün germe ekipmanlarının uygunluğunun kanıtlanması gerekir. Germe ekipmanlarına en az belirlenen kapasitesinin %110' unda kanıt deneyi uygulanacak 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 edilmelidir.

**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. Raporlar, tüm çizimleri içermeli ve malzemeleri, boyutları, deney kademelerinin tüm detaylarını ve deneme imalatlarının belirtmelidir. Bütün deneyler, gerekli çizimler ve şekiller ile yeterli olacak şekilde tariflenecektir. Deneylerin tüm sonuçları belirtilmelidir. Raporda, üretici firmanın yapmış olduğu önceki deneylerin sonuçları, saha deneyim raporları ve imalat belgeleri de bulunmalıdır.

### 3.4.2.3 Deneme Ankrajları

**Normal Deneme Ankrajları:** Arazi kanıt deneylerinde, önerilen çalışma ankrajının davranışını, performansını tasarımın uygunluğunu ve yeterliliğini doğrulamak için geniş kapsamlı ve geniş boyutlarda deneme ankrajlarının yerleştirilmesi gereklidir. Bütün ankrajların kanıt deneyleri planlanırken, en az üç ankraja deney uygulanması önerilmektedir. Geniş kapsamlı deneme ankrajları, önerilen çalışma ankrajlarında kullanılacak malzemeler, yöntemler ve ekipmanlar ile kullanılacakları ortamlarda uygulanmalıdır. Ankraj çeşitlerine göre, ilave deneme ankrajları gerekebilir. İmalat sırasında, delme yönteminin, kök oluşturmalarının, enjeksiyonlamanın, tendon yerleşiminin, ankraj kafası oluşumunun ve germe işleminin, karşılaşılabilecek tüm tasarım kabullerini sağlayabilirliği araştırılmalıdır. Arazi deneyleri özellikle belirsiz ve riskli bölgeleri belirler. Zemin ortamında yapılan ankraj uygulamalarında, delgi yöntemlerine, kök oluşturma yöntemlerine ve zeminin yumuşamasına bağlı herhangi bir değişim veya bozulma olup olmadığına dikkat etmek gerekir. Kaya ortamında yapılan ankraj uygulamalarında 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 konulması 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 ankrajlarıyla 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 oluşabilecek 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 içinde 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. Rapor, 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 ayrıntılarıyla beraber, enjeksiyon karışımının tüm ayrıntıları kapsüllenmenin, birincil ve ikincil enjeksiyonlamanın dayanımı, katkıları ve karıştırma yöntemleri eklenmelidir. Yük/uzama, yük/zaman veya uzama/zaman ve diğer arazi deneylerinin tüm sonuçları belirtilmelidir.

#### **3.4.2.4 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 olursa, nedeni araştırılmalı ve elde edilen veriler kayıt edilmelidir.

### 3.4.2.5 Yük - Uzama Verileri

Yük-uzama verileri, tendonun karakteristik dayanımı olan  $f_{pu}$ ' nun % 10' unu geçmeyen yük kademelerinde sürekli olarak kayıt edilecektir. Yük boşaltma sırasında, tercihen, çevrimin en üst değerinin 1/3' lk değerlerinde olmak üzere, en az iki yük düşüş kademesinde, verilere ilave olarak, yerdeğiştirme değerleri ölçülecektir.

Her kademedede, yk 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 okunması 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 yüklemelerde de veri olarak kullanılacaktır. Uygun olduğunda, yük-uzama davranışını ve tekrarlanabilirliğini kanıtlamak için son yk çevrimi tekrarlanarak ölçülebilir.

Arazi koşulları hakkında detaylı bilgi veya eski deneyimler yoksa, yk, Tablo 3.4 ve şekil 3.5' teki gibi yük çevrimleri ilerledikçe arttırılmalıdır.

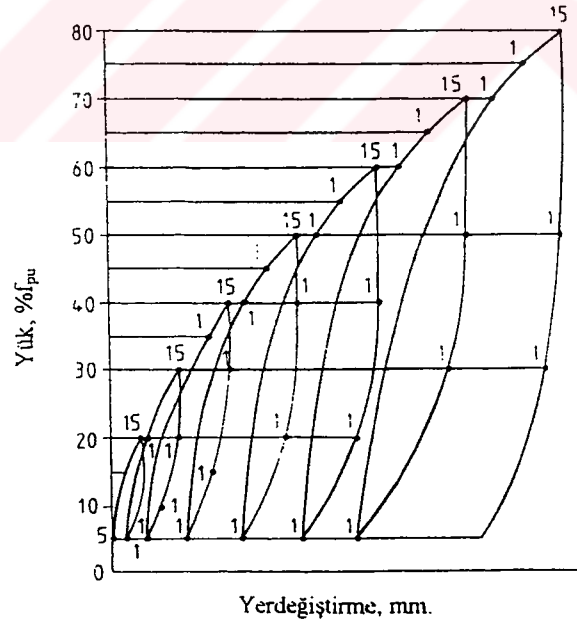
Eğer arazi koşulları hakkında eski ankraj bilgileri varsa, Tablo 3.5 ve şekil 3.6' daki gibi ankrajlar tendon karakteristik dayanımı  $f_{pu}$ ' nun % 60' ına kadar güvenle yüklenebilir ve yük artış kademeleri de %  $10f_{pu}$  olarak kullanılabilir.

Yük-uzama sonuçlarının çizilmesi deney yönteminin bir parçası olarak önerilmektedir. Bu yolla ankrajın davranış eğilimi önceden belirlenmiş olur ve özellikle kök göçmeye yaklaştıkça oluşan akmanın gözlenmesi sağlanır.

Ankrajın  $T_w$  çalışma yükünün bilindiği uygulamalarda yapılacak yükleme aşağıda bölüm 3.4.3.3' te verilmektedir.

**Tablo 3.4** Arazi koşullarının bilinmediği veya önceden yapılmış uygulamaların olmadığı durumlarda kanıt deneyi için önerilen yükleme adımları ve gözlem süreleri.

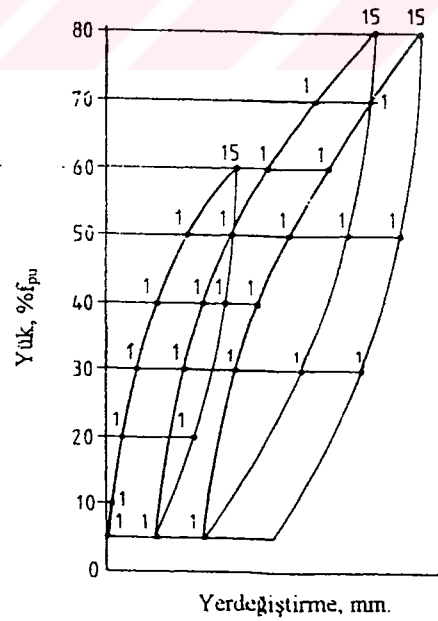
| Yük artış oranları (% $f_{pu}$ ) |           |           |           |           |           |                 | Minimum gözlem süresi |
|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------------|-----------------------|
| 1. Çevrim                        | 2. Çevrim | 3. Çevrim | 4. Çevrim | 5. Çevrim | 6. Çevrim | 7. ve 8. Çevrim |                       |
| %                                | %         | %         | %         | %         | %         | %               | dakika                |
| 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                     |



**Şekil 3.5** Arazi koşullarının bilinmediği veya önceden yapılmış uygulamaların olmadığı durumlarda kanıt deneyi için önerilen yükleme adımları ve gözlem süreleri.

**Tablo 3.5** Önceden yapılmış ankraj uygulaması bilgileri olan arazi ortamında yapılacak kesit deneyleri için önerilen yük artış kademeleri ve gözlem süreleri.

| Yük artış oranları (% $f_{pu}$ ) |                 | Minimum gözlem süresi |
|----------------------------------|-----------------|-----------------------|
| 1. Çevrim                        | 2. ve 3. Çevrim |                       |
| %                                | %               | dakika                |
| 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                     |



**Şekil 3.6** Önceden yapılmış ankraj uygulaması bilgileri olan arazi ortamında yapılacak kesit deneyleri için önerilen yük artış kademeleri ve gözlem süreleri.

### 3.4.2.6 Mevcut Serbest Tendon Boyu

Mevcut serbest tendon boyu, 3.4.2.5' 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 boşalma çevrimleri sonuçlarının gevşetme kademelerine göre yapılacaktır. Hesaplanan mevcut serbest boy ile tasarımda amaçlanan serbest boy arasındaki fark belirtilecektir. Mevcut serbest tendon boyunu hesaplamak için uygulamada kolaylık sağlaması için aşağıdaki denklem kullanılır:

$$\text{Mevcut serbest tendon boyu} = \frac{A_t \cdot E_s \cdot \Delta_e}{T} \quad (3.7)$$

Bu denklemde;

$A_t$  : Tendonun kesit alanı

$E_s$  : Üreticinin tendon için verdiği elastisite modülü

$\Delta_e$  :  $\Delta_e$ ' nin en üst çevrim yükünde gözlemlenen uzama miktarının araştırma yükündeki uzama miktarına eşitlendiği, yapısal hareketlere izin verildikten sonra tendonun elastik uzaması

$T$  : En üst çevrim yükü – araştırma yükü anlamına gelmektedir.

### 3.4.2.7 Kontrol

Deney durdurulduktan sonra, aşağıdaki araştırmaların yapılması için ankrajın açılması, incelenmesi ve bilgi toplanması istenilen ama zorunlu olmayan bir durumdur:

- Araştırmadaki serbest boy,
- Kökün boyu, durumu ve göçme biçimi,

#### c) Paslanma korumasının durumu.

Eğer ankrajın kazılması kolay değilse, paslanma korumasının germe işleminden sonraki davranışının yeterliliğini belirlemek için, çelik tüp içine sıkıştırılmış enjeksiyon kolonunda sıyrılma deneyi yapıldıktan sonra korunmuş tendonun incelenmesi, gibi ayrık deneyler yapılabilir.

#### 3.4.2.8 Mevcut Serbest Tendon Boyu Sınırları

3.4.2.6’ da belirtildiği gibi hesaplanan mevcut serbest tendon boyu, ne tasarım 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 cıvata ile tam ayrılmış tendonlar için geçerlidir.

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.

#### 3.4.2.9 Paslanma Koruması

Paslanmaya karşı koruma sistemini oluşturacak fiziksel veya kimyasal engeller, malzemelerin uzun süre kalıcılığı ve uygunluğu açısından değerlendirilmelidir. Buna ek olarak, koruma sisteminde, tendon yerleşimi ve germe işlemi sırasında oluşabilecek zedelenmeler olmadığı kanıtlanmalıdır.

#### 3.4.3 Arazi Uygunluk Deneyleri

##### 3.4.3.1 Genel

Ankrajın arazi koşullarına göre uygunluğunun arazi deneyleri ile kanıtlanması için sözleşmeye göre gerekenler yapılmalıdır. Arazi uygunluk deneyleri işlerde kullanılan ankrajlara veya sözleşme içerisinde 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, ileriki 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

#### **3.4.3.2 Kanıt Yükleri**

Genelde maksimum kanıt yükü, sırasıyla geçici ve kalıcı ankrajlarda çalışma yükü  $T_w$ ' nun % 125'i ve % 150' si olacaktır.

#### **3.4.3.3 Yük uzama verileri**

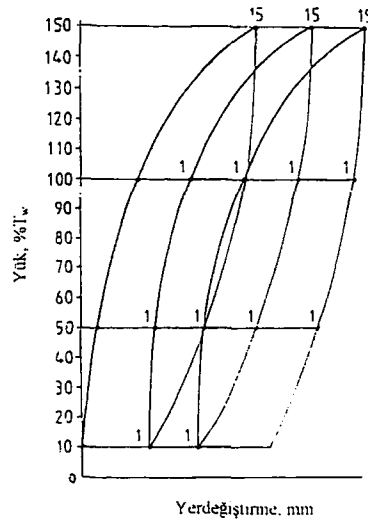
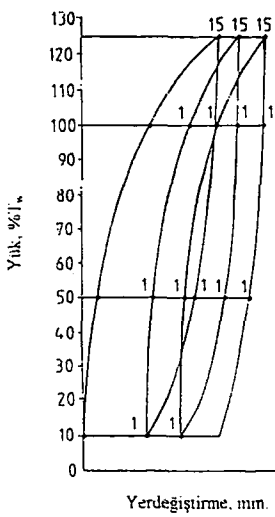
Yük uzama verileri, geçici ankrajlarda % 10  $T_w$  ile % 150  $T_w$  aralığında, % 50  $T_w$ ' dan fazla olmayan yük artış kademelerinde sürekli olarak kayıt edilecektir. Yük boşaltma durumunda, verilere ek olarak ikiden az olmamak şartıyla, tercihen kanıt yükünün 1/3 değerlerinde olmak üzere, uzama verileri alınacaktır. (Tablo 3.6, Şekil 3.7)

Tabloda da görülen ikinci ve üçüncü yük çevrimlerindeki her yük kademesinde en az 1 dakika beklenerek ve her bekleme süresinin (gözlem aralığının) hem başında hem de sonunda uzamalar kayıt edilecektir. Kanıt yükleri için bu süre en az 15 dakika olarak 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. Ayrıca 1. yük

çevrimlerinde uzama değerlerini belirlemek için gerekli olan süreden daha fazla beklenmeyecektir. Tabloda gerekli süre olarak verilen süre kadar beklenecektir.

**Tablo 3.6** Arazi uygunluk deneyleri için önerilen yük artışları ve minimum gözlem süreleri

| Geçici Ankrajlar  |                         | Kalıcı Ankrajlar  |                         | Minimum<br>Gözlem<br>Süresi |
|-------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|-----------------------------|
| Yük Artışı (% Tw) |                         | Yük Artışı (% Tw) |                         |                             |
| 1.Yük<br>Çevrimi  | 2. ve 3. Yük<br>Çevrimi | 1.Yük Çevrimi     | 2. ve 3. Yük<br>Çevrimi |                             |
| %                 | %                       | %                 | %                       | dakika                      |
| 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                           |



**Şekil 3.7** Arazi uygunluk deneyi için önerilen yük artışları ve minimum gözlem süreleri (soldaki grafik geçici, sağdaki ise kalıcı ankrajlar içindir.)

İkinci ve üçüncü yük çevrimlerindeki her yük kademesinde en az 1 dakika beklenerek ve her bekleme süresinin (gözlem aralığının) hem başında hem de sonunda uzamalar kaydedilecektir. 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.

Tekli piston ile çok – elemanlı tendonun gerilmesinde, 5 dakika ve 15 dakika zaman aralıklarında toplam uzamadaki değişimler kolayca okunamaz. Sonuç olarak, yük dalgalanmaları gözlenecektir.

#### **3.4.3.4 Kanıt Yüğü – Zaman Verileri**

Kanıt yüğü, sıcaklık değişimi ve yapısal harekete izin verildikten sonra 15 dakika boyunca % 5' ten 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. % 5 kriteri herhangi bir çevrimde aşılsa, kanıt yüğü bu madde ile uygunluğu sağlayacak bir değere düşürülecektir. Daha sonra, eğer uygunsa, düşürülmüş kanıt yükünde kabul edilebilir.

#### **3.4.4 Arazi Kabul Edilebilirlik Deneyleri**

##### **3.4.4.1 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 kabul deneyi uygulanmalıdır. Maksimum kanıt yüğü 3.4.3.2' ye uygun olmalıdır.

### 3.4.4.2 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 Tablo 3.7 ve şekil 3.8’ deki gibi uzama verileri alınacaktır.

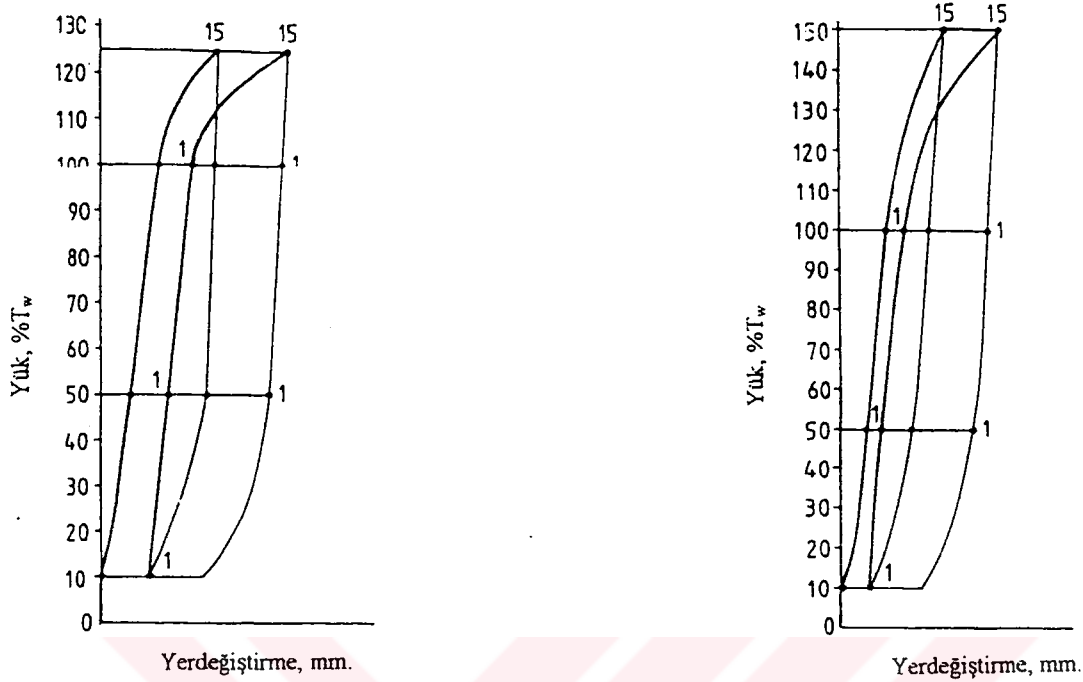
**Tablo 3.7** Arazi kabul edilebilirlik deneyleri için önerilen yk artışları ve minimum gözlem süreleri.

| 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 |                       |
| %                     | %              | %                     | %              | (dakika)              |
| 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                     |

İlk çevrimdeki yükleme kademelerinde uzama değerini almak için gerekli olan süre kadar beklenmelidir. İkinici yk çevrimindeki har yk kademesinde en az 1 dakika beklenecek 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.

İkinici yk 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.



**Şekil 3.8** Arazi kabul edilebilirlik deneyleri için önerilen yük artışları ve minimum gözlem süreleri. (soldaki grafik geçici, sağdaki ise kalıcı ankrajlar içindir.)

### 3.4.5 Ankrajların Yapım Sonrası Davranışlarının Gözlemlenmesi

#### 3.4.5.1 Genel Şartlar

Binalar, köprüler ve barajlar için olduğu gibi yapı/zemin/ankraj sistemi veya destekli kazıların gözlemlenmesinde yarar vardır. Ankrajların, yerleştirilmeden önce, planlama veya tasarım aşamasında, yerleştirildikten sonra gözlemlenip gözlemlenemeyecekleri 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. Ankraj öngerme yükünde dalgalanmaların olduğu durumlarda uzun süreli güvenilir sonuç verecek şekilde tasarlanmış yük hücrelerinin kullanımı önerilmektedir.

Gözlemlemenin, tendon kafasına krika 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 gözlemlemeye veya kendini gözlemlemesine izin verecek bütün önlemlerin alınmasına özen gösterilmelidir.

İki aşamalı reçineli kaya bulonlarında olduğu gibi tüm boyun bağlandığı ankrajlarda, ankraj kafasında öngermenin doğrudan gözlenmesi uygun değildir ve seçilmiş ankrajın serbest boyunun serbest hale getirilip tendon içerisinde öngirme değişikliklerinin duyarlı bir şekilde ölçülebilmesi için dikkat edilmelidir.

Herhangi bir ankrajdaki servis süresince izin verilebilecek maksimum öngirme kayıp ve kazanımları işlerin tasarımı göz önünde 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 öngirme kazanımları sırasıyla çalışma yükü  $T_w$ ' nun % 20' sini ve % 40' ını geçmesi durumunda ek ankrajlar veya ankrajların kısmen gevşetilmesi gerektirecek iyileştirme yöntemleri önerilmektedir.

#### **3.4.5.2 Gözlemlemenin Gerekliliği**

Gözlemlemenin gerekliliğine kara verirken şu etkenler gözönünde bulundurulacaktır:

- a) Yapının tabiatı ve bir veya daha fazla ankrajın hem servis sırasında hem de son halinde iyi çalışmasının doğuracağı sonuçlar,
- b) Zeminin yapısı,
- c) Bir ankrajın görevini yerine getirmemesinin yapının güvenliğini tehlikeye düşürmeden önce gözleme yapmaksızın görülüp görülmemesi,
- d) Ankraj tipini, paslanmaya karşı alınan önlemin kalitesini ve benzer ankraj sistemlerinin benzer koşullardaki uzun süre davranışlarını içeren ankraj yapısı,
- e) Ömrü veya özelliği üzerine yapının göçmesinin sonuçları.

Genelde, gözlemlene önemli yapılarda aşğıdaki 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 araştırılabildiğı durumlarda,
- b) Ankrajın görevini yapamadığı, gözlemlenmenin dışında, yapının servis dışı kalmadan anlaşılmadığı ve görevini yapamayıp yapıya zarar verebileceğı, hayata ve 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 arzi performans deneyleri ile yeterliliğı kanıtlanmamış ankraj yapılarında,
- e) Krip etkisi altındaki zeminlerde bulunan ankrajların olduğu durumlarda.

#### **3.4.5.3 Kabul Edilebilir Krip Etkisi İçin Sınır Yüğü Değeri**

DIN 4125, kanıt değeri 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.

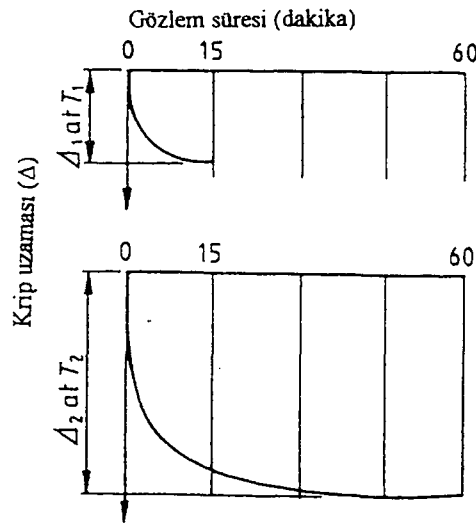
Germe yüğü Tablo 3.8' de belirtilen kademelerde  $T_o$ ' dan başlayarak uygulanır. Yüğü, her kademeye geldikten sonra elastik ve kalıcı uzamaları belirlemek üzere  $T_o$  değerine kadar düşürölür.

En düşük veya kabul edilebilirlik krip etkisi için sınır yüğü  $T_k$ ' nın belirlenmesi için her yüğü boşaltılmadan önce sabit yüğü altında uzama değerinin 1, 3, 5, 10, ve 30

dakika sonunda alınarak Şekil 3.9’ daki gibi çizilmesi gerekmektedir. Gerekli olan en kısa gözlem süreleri Tablo 3.8’ de verilmiştir. Ancak bu gözlem süreleri gerekli olması durumunda değişim eğilimleri netleşinceye ve ankrajın uzamasına bağlı “ $K_{\Delta}$ ” krip belirleninceye kadar uzatılabilir. Ayrıca, kalın daneli zeminlerde krip etkisi 1 mm.den fazla olması durumunda ince daneli zeminler için önerilen en kısa gözlem sürelerinden en uzun olanının kullanılması önerilmektedir.

**Tablo 3.8** Ana ve yapım arazi uygunluk deneyleri için yük kademeleri ve gözlem süreleri (DIN 4125 : 1976’ dan sonra )

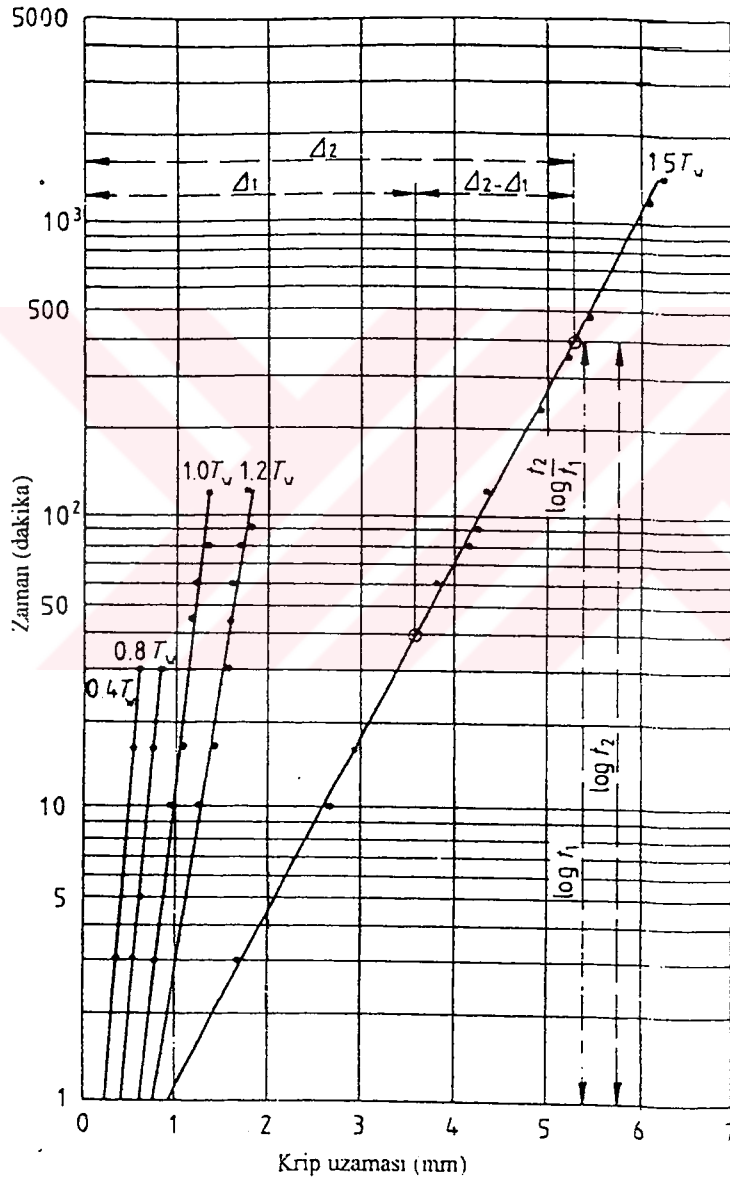
| Yüklemenin durumu                      |                                            | Minimum gözlem süresi    |                         |
|----------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Temel deney<br>$T_0 > x \cdot 0,1 T_y$ | Uygunluk deneyi<br>$T_0 > x \cdot 0,2 T_w$ | Kalın daneli<br>Zeminler | İnce daneli<br>zeminler |
| 0.30 $T_y$                             | 0.40 $T_w$                                 | 15 dakika                | 30 dakika               |
| 0.45 $T_y$                             | 0.80 $T_w$                                 | 15 dakika                | 30 dakika               |
| 0.60 $T_y$                             | 1.00 $T_w$                                 | 1 saat                   | 2 saat                  |
| 0.75 $T_y$                             | 1.20 $T_w$                                 | 1 saat                   | 3 saat                  |
| 0.90 $T_y$                             | 1.50 $T_w$                                 | 2 saat                   | 24 saat                 |



**Şekil 3.9** Farklı yükler için tipik uzama kayıtları (DIN 4125: 1976’ dan sonra)

$K_{\Delta}$  krip etkisi ise aşağıdaki şekil 3.10' a bağlı olarak geometrik biçimde şu bağıntıyla hesaplanır:

$$K_{\Delta} = \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{\text{Log } (t_2/t_1)} \quad (3.8)$$



Şekil 3.10  $K_{\Delta}$  krip hareketinin belirlenme yöntemi (DIN 4125 :1976' dan sonra).

### 3.5 Alman Standardı (DIN 4125) (1990)

Zemin ankrajlarının tasarımı, yapımı ve deneyleri sırasında izlenmesi gereken işlemlerin açıklandığı bu standartta 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 iletilebilirliğini 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.

#### 3.5.1 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 uygulama 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 yukarıdaki d-f arasındaki maddelerde tanımlandığı gibi deney uygulanabilir. Ankraj bileşenleri üzerindeki kanıt deneyleri modeller üzerinde gerçekleştirilebilir.

### **3.5.2 Arazi Uygunluk Deneyi**

#### **3.5.2.1 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.

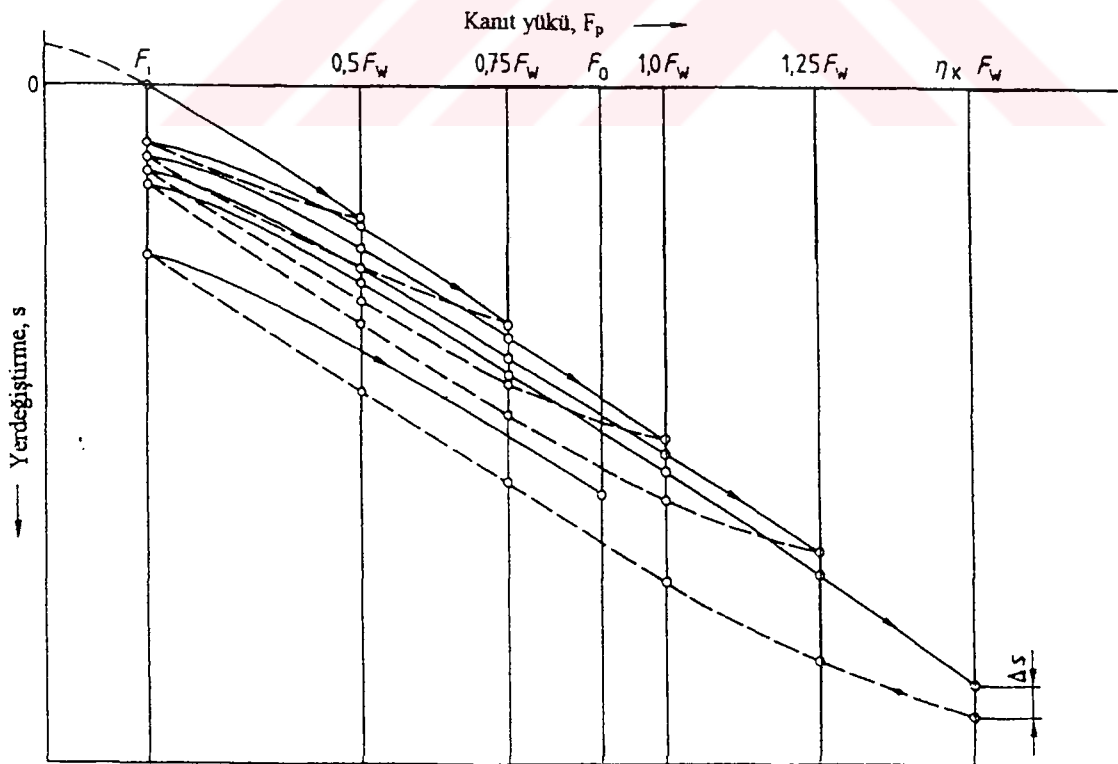
#### **3.5.2.2 Yöntem**

Germe deneyinde, ankrajın yapıya bağlandığı noktanın yükleme doğrultusundaki yer değiştirme miktarı sabit bir noktadan ölçülecektir.  $F_w$  güvenli çalışma yükü olmak üzere,  $0.2 F_w$  değerini aşmayan  $F_1$  ilk yükünden itibaren yük kademeli olarak  $0.5 F_w$ ,  $0.75 F_w$ ,  $1.0 F_w$  ve  $1.25 F_w$  değerlerine artırılarak  $\eta_K \cdot F_w \leq 0.9 F_s$  değerine eşit olan  $F_P$  kanıt yüküne ulaşılır.  $F_s$  tendonun okuma noktasından belirlenen limit yük değeridir.  $\eta$  ise toprak basıncının aktif veya sükunette olmasıyla değişen katsayıdır.

Yük kademelerinin her birisine ilk gelindiğinde gözlem için Tablo 3.9’ da verilen minimum süre boyunca yük sabit tutulur ve daha sonra yük kademeli olarak  $F_1$  yüküne kadar boşaltılarak ankrajın elastik veya plastik davranışı kontrol edilmiş olur. Bunun arkasından yük tekrar kademeli olarak Şekil 3.11’ deki gibi bir sonraki üst yük kademesine yükseltilir.

**Tablo 3.9** Uygunluk ve kabul edilebilirlik deneyi için yük kademeleri ve gözlem süreleri

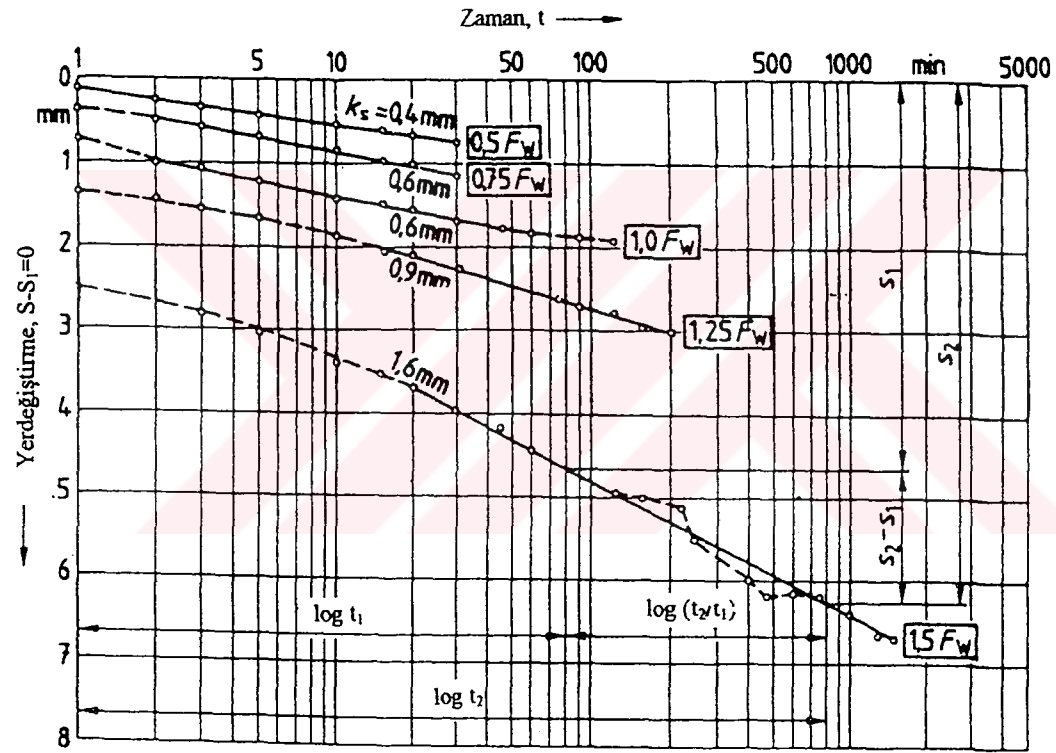
|                                         | 1                                      | 2                        | 3                                  | 4                        | 5                                  | 6                        | 7                                  | 8                        |
|-----------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------|------------------------------------|--------------------------|------------------------------------|--------------------------|------------------------------------|--------------------------|
|                                         | Minimum gözlem süresi; (dakika olarak) |                          |                                    |                          |                                    |                          |                                    |                          |
| Kant yükü, $F_p$<br>(Yük<br>Kademeleri) | Uygunluk deneyi                        |                          |                                    |                          | Kabul deneyi                       |                          |                                    |                          |
|                                         | Geçici ankrajlar                       |                          | Kalıcı ankrajlar                   |                          | Geçici ankrajlar                   |                          | Kalıcı ankrajlar                   |                          |
|                                         | Kohez-<br>yonsuz<br>zemin,<br>kaya     | Kohez-<br>yonlu<br>zemin | Kohez-<br>yonsuz<br>zemin,<br>kaya | Kohez-<br>yonlu<br>zemin | Kohez-<br>yonsuz<br>zemin,<br>kaya | Kohez-<br>yonlu<br>zemin | Kohez-<br>yonsuz<br>zemin,<br>kaya | Kohez-<br>yonlu<br>zemin |
| $F_1 \leq 0,2 F_w$                      | 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                       |



**Şekil 3.11** 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 Tablo 3.9’ da verilen yük kademelerinin altında değerler kullanılacaktır.

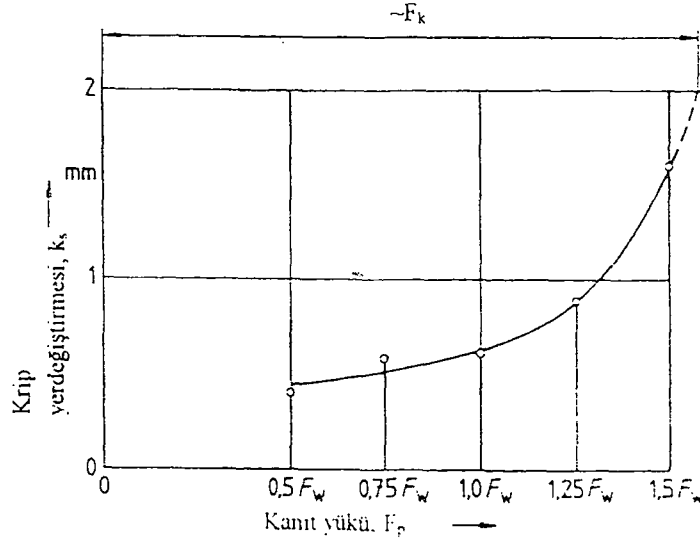
Kanıt yükünün sabit tutulması ile belirli zamanlarda (1, 2, 5, 10, 15, 30 dakikalar) beş dakikadan fazla olmak üzere verilen gözlem süresinde deplasman değerleri belirlenerek geçici ve kalıcı ankrajların her ikisi için de Şekil 3.12’ deki gibi yarı logaritmik hareket – zaman eğrisi çizilecektir. Eğrilerin doğrusal kısımları için,  $k_s$  kripi uzaması belirlenerek Şekil 3.13’ deki gibi yük aşamalarının fonksiyonu olarak çizilecektir.



Şekil 3.12  $F_p$  yükü altında  $k_s$  değerini belirlemek için zaman – deplasman eğrileri

### 3.5.2.3 Ölçüm Aygıtları

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



**Şekil 3.13** Şekil 3.12’ de gösterilen uygunluk deneyi için krip deplasmanı / kanıt yükü diyagramı

#### 3.5.2.4 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.

#### 3.5.2.5 Deney Raporu

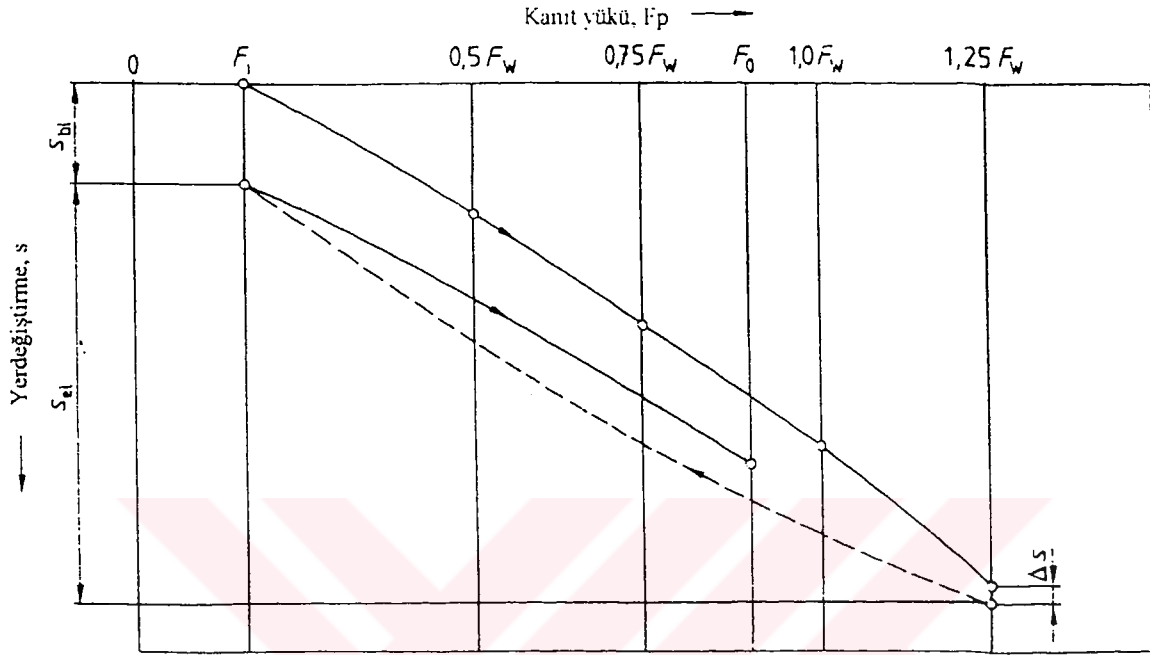
Uygunluk deneyinin sonuçları rapor halinde düzenlenecektir.

### 3.5.3 Kabul Edilebilirlik Deneyi

#### 3.5.3.1 Yöntem

Ankrajların her birisine kabul edilebilirlik deneyi uygulanacaktır. Bir  $F_1$  ön yükleme yükünden başlayarak geçici ankrajlarda  $1.25 F_w$  değerine (Şekil 3.14), kalıcı

ankrajlarda  $\eta_k.F_w$  değerine (maksimum.  $0.9 F_s$ ) 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, 3.5.3.4 de açıklanan aygıtlar ile ölçülecektir.



Şekil 3.14 Geçici bir ankrajda kabul edilebilirlik deneyi için bir örnek

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.)

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 ulaşınca kadar gerilecektir.

### 3.5.3.2 Kayıtlar

Kabul edilebilirlik deneyinin sonuçları tablo şeklinde kayıt edilecektir. Kayıtlar, uygun kanıt yükleri için, izin verilebilir elastik deplasman limitlerini, 2. ve 5. dakikalar arası ve 5. ve 15. dakikalar arası gözlemlerindeki deplasman değişimlerini ve  $F_1$  yüküne kadar yük boşaldığında 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.

### 3.5.3.3 Kabul Kriterleri

Kabul edilebilirlik deneyi, kanıt yükü altında ankrajın, elastik deplasmanının tanımlanmış sınırların arasında kalması ve aşağıdaki iki koşulun sağlanması durumunda başarılı olarak gerçekleştirilmiş sayılır.

- a) Uygun kanıt yükü altında,  $\Delta_s$  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) Tablo 3.10' daki sürdürülen gözlem süresi için, krip hareketi geçici ankrajlarda 1 mm. yi, kalıcı ankrajlarda 2 mm. yi aşmamalıdır.

Eğer ankraj kabul edilebilirlik deneyini geçmezse, alınacak önlem, sorumlu kontrol mühendisi ile beraber kararlaştırılacaktır. Alınabilecek önlemler, genişletilmiş kabul

edilebilirlik deneyi, çalışma yükünün düşürülmesi, ilave ankraj yerleştirilmesi şeklinde olabilir.

**Tablo 3.10** Uygunluk ve kabul edilebilirlik deneyi için kanıt yükünde gözlem süreleri ve izin verilebilir hareket ve krip hareketi

|                                                                         | 1                             | 2                        | 3                 | 4                        | 5                 | 6                          | 7                 | 8                        | 9                 |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|----------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|
|                                                                         |                               | Uygunluk Deneyi          |                   |                          |                   | Kabul Edilebilirlik Deneyi |                   |                          |                   |
|                                                                         |                               | Geçici Ankraj            |                   | Kalıcı Ankraj            |                   | Geçici Ankraj              |                   | Kalıcı Ankraj            |                   |
|                                                                         |                               | 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 Yükü                    | $\eta_K \cdot F_w$       |                   | $\eta_K \cdot F_w$       |                   | 1,25 $F_w$                 |                   | $\eta_K \cdot F_w$       |                   |
| 1                                                                       | Kısa gözlem süreleri, dakika  | 5                        | 5                 | -                        | -                 | 2                          | 5                 | 2                        | 5                 |
|                                                                         | $t_1$                         | 15                       | 30                | -                        | -                 | 5                          | 15                | 5                        | 15                |
|                                                                         | $t_2$                         | $\leq 0,5$               | $\leq 0,8$        | -                        | -                 | $\leq 0,2$                 | $\leq 0,25$       | $\leq 0,2$               | $\leq 0,25$       |
|                                                                         | $\Delta S = S_2 - S_1$ dakika | $\leq 0,5$               | $\leq 0,8$        | -                        | -                 | $\leq 0,2$                 | $\leq 0,25$       | $\leq 0,2$               | $\leq 0,25$       |
| 2                                                                       | Kısa gözlem süreleri, dakika  |                          |                   |                          |                   |                            |                   |                          |                   |
|                                                                         | $t_1^*$                       | $>15$                    | $>30$             | $\geq 120$               | $\geq 1440$       | $>5$                       | $>15$             | $>5$                     | $>15$             |
|                                                                         | $t_2$                         | $>15$                    | $>30$             | $\geq 120$               | $\geq 1440$       | $>5$                       | $>15$             | $>5$                     | $>15$             |
|                                                                         | $k_s$ , mm.                   | $\leq 2,0$               | $\leq 2,0$        | $\leq 2,0$               | $\leq 2,0$        | $\leq 1,0$                 | $\leq 1,0$        | $\leq 2,0$               | $\leq 2,0$        |
| * $t_1$ zaman – yerdeğiştirme eğrisinin doğrusal kısmından okunacaktır. |                               |                          |                   |                          |                   |                            |                   |                          |                   |

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

#### **3.5.3.4 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.

#### **3.5.4 Servis Deneyi**

Ankrajda, yapıda veya zemin ortamında meydana gelme olasılığı bulunan hareketler nedeniyle ankrajın veya yapının işlevi 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 ile birlikte göz önüne alınarak karar verilecektir.

Deney, yapıyı aletle/gözle gözleyerek veya ankraj yükünü ölçülerek uygulanır. Herhangi ölçüm sonuçları veya bulgular kayıt edilecektir.

## **4. ÜLKEMİZDEKİ ANKRAJ UYGULAMALARINA GÜNCEL BİR ÖRNEK VE ANKRAJ TASARIM ESASLARI**

### **4.1 GİRİŞ**

Ülkemizde uygulanan ankrajlı kazı destek sistemine en güncel örnek, İstanbul Metro projesi kapsamındaki Şişhane İstasyonu açık kazı destek sistemi imalatlarıdır. İstanbul Metro projesi Yenikapı-Levent güzergahında, Yenikapı, Şehzadebaşı Unkapanı, Şişhane, Taksim, Osmanbey, Şişli, Gayrettepe ve Levent İstasyonları mevcuttur.

Metro güzergahı jeolojisi de; Haliç'in kuzeyi, Haliç, Haliç'in güneyi olarak üç bölüm altında incelenebilir. Metro inşaatı kuzeyde Trakya formasyonunda, Haliç içinde güncel çökellerin üzerinde, güneyde ise Süleymaniye (Güngören) Formasyonu ve Trakya formasyonu içinde yer alır [14].

### **4.2 Trakya Formasyonu [15]**

Genel yerleşimi Haliç' in kuzeyindedir. Topoğrafik olarak kuzeye doğru yükselen bir eğilimdedir. Uzunca bir süredir yerleşim bölgesi olarak kullanılan bu bölgede ortalama dolgu kalınlığı 3-4 metredir, yer yer bu kalınlık 9-12 metreyi bulmaktadır. Bölge tektonik birçok etkiye maruz kaldığı için her yönde gelişmiş çatlak sistemleri ezilme zonları tespit edilmiştir. Ölçülebilen kalınlığı 750 metre kadardır. Trakya Formasyonu üyeleri silttaşı, kiltası, kumtaşı ve bu katmanları gelişigüzel kesen andezit ve diyabaz dayklardan oluşur.

Trakya formasyonu paleozoik dönemi alt karbonifer yaşlıdır. Kocaeli antiklinalinin batısında ve Kuzey Anadolu Fayının da kuzeyinde yer alır. Yerel anomalilerin dışında batıya doğru gençleşir. Paleozoik birimleri batı ve güney batıda tersiyer çökelleri ile örtülür. Dereler boyunca Boğaz ve Haliç ile Marmara'nın kıyı düzlükleri kuarterner veya alüvyon çökelleri ile kaplıdır.

Bu tez çalışması kapsamındaki Şişhane İstasyonu Trakya formasyonu içerisinde kalmaktadır.

#### **4.2.1 Trakya Formasyonunun Ana Unsurları**

Silttaşı- kilitaşı – kumtaşı, Trakya Formasyonunun ana unsurlarıdır. Yer yer kireçtaşı konglemera ve şeyl düzeyleri de vardır. Katmanlama ince laminaliden kalın katmanlıya değişir. Kumtaşı katmanları genelde daha kalındır. Süreksizlikler katmanlama düzlemlerini dike yakın açılarla kesmektedir.

Kumtaşı şeyller taze iken orta sert, ayrıştıkları kesimlerde oldukça yumuşaktır. Kumtaşı orta tane boyutunda olup kötü boylanmış, küt köşeli kuvars tanelerinden oluşur. Bol miktarda mika seyrek olarak çört ve kaya parçaları içerir. Killi ve silisli çimento ile bağlanmış, hamurdaki demirin bozunması ile limonit oluşmuş bu nedenle renk kirli sarımsı bir renk almıştır.

Şeyllerde % 25 orana kadar silt boyutunda kuvars, % 1 oranında kum boyutunda tanelere ve hamurunda bolca serisite rastlanır.

Andezit ve diyabaz; dayklar şeklinde kumtaşı ve kilitaşları içine sokulmuşlardır. Trakya formasyonu dahil birimler bu dayklar tarafından gelişigüzel kesilmiştir. Genişlikleri 10 cm. ile 35 m. arasında değişir. Andezitler yüzeye yakın olduklarında oldukça ayrışmışlardır.

Andezitler, yüzeye yakın yerde oldukça bozulmuş, derinlerde ise masif haldedir. Renkleri sarımsı kahverengi, açık yeşilimsi gri veya beyazdır. Yapılan petrografik analizlerde % 50 – 60 oranında camsı hamur % 25 – 30 oranında plajiolaz % 5 – 10

oranında mafik minareller % 5 oranında da diğer minareller gözlenmiştir. Doku porfirik olup minareller idimorf şekillidir.

Diabaz dayklar, andezit dayklara benzer özellikler taşırlar. Taze iken sıkı, sert, çok dayanıklı keskin kırık yüzeylidir. Ayrışmış yüzeylerde ise sarımsı kahve renkli veya soluk yeşilimsi gridir. Diabaz dayklar fay düzlemlerine paralel gelişmişlerdir. Alınan örneklerde yapılan petrografik analizlerde % 40 – 45 hamur, % 30 – 35 plajiolaz, % 15 – 20 mafik mineraller gözlenmiştir. Doku ofitik olup feldspat minarelleri idimorf veya hipidiyomorf çubuklar şeklindedir. Yer yer albitleşme ve piritleşme görülür.

Trakya formasyonu içindeki tüm üyeler Alpin orojenizinden etkilenmişlerdir. Bu nedenle de kırılmalar, kıvrımlar, ezilmeler, Trakya formasyonunun her noktasında gözlenmektedir.

Tarihsel yarımada başta olmak üzere şehrin değişik kesimlerinde değişik kalınlıklarda dolgular vardır. Uzun bir süre yerleşim alanı olarak kullanılan İstanbul Haliç de dahil olmak üzere oluşan seller, diğer tabiat olayları ve insan eliyle doldurulmuştur. Dolgu kalınlıkları yer yer 9-15 metreyi bulmaktadır. Dolgu malzemenin içinde organik artıklar, ahşap, tuğla, kiremit parçaları, denizel malzemeler ve antik kalıntılar yer almaktadır.

#### **4.2.2 Tektonizma**

##### **4.2.2.1 Kıvrımlar**

Konkordan bir istif oluşturan Trakya formasyonu istifi Hersiniyen ve Alpin orojenizinden etkilenecek kuzey-güney doğrultulu kıvrımlar oluşmuştur. Batı yönünde bu kıvrımların daha belirgindir. Trakya formasyonu içindeki düzenli kıvrımlar formasyonun kalınlığı ile izah edilmektedir.

Hersinien kıvrımları esas itibarı ile sıkışık, kapalı, asimmetrik ve konsantrik tipte görülürler. Arkoz, kuarsit ve kireç taşı litolojilerinin görüldüğü yerlerde kıvrımlar

daha geniş ve konsantiriktir. Daha az dayanımlı şeyl, kumtaşı olan yerlerde ise sıkışık kıvrımlar gözlenmektedir.

Alpin orojenezi ise bölgede genel olarak kuzey-güney kompresyon, makaslama veya tansiyon birleşmelerinin etkilerine sebep olmuştur. Dolayısıyla Hersinien kıvrımlarıyla üstlenen Alpin orojenez etkileri doğu-batı doğrultulu kıvrımların oluşmasına sebep olmuştur.

#### **4.2.2.2 Faylar**

Bölgede yapılan araştırmalarda aktif olmayan çok sayıda fay tespit edilmiştir. Tespit edilen bu fayların bir çoğu düşeye yakın eğimli normal faylardır. Bu faylardan bir kaç 1 ila 3 km. arasında izlenebilmiştir.

Ancak bugün aktifliği devam eden KAF (Kuzey Anadolu Fayı) sistemi İstanbul'un 40-50 km. güneyinden geçmektedir. Aktif bir fay olan Kuzey Anadolu Fayı' nın etkileri beklenebilir.

Boğazın her iki yakasında takip edilebilen birbirine paralel normal faylar gözlenmiştir. Bu faylar boyunca boğaz yönünde blokların alçaldığı görülmüştür. Bir çok yerde bu faylara bağlı olarak tali faylar gelişmiştir.

#### **4.2.2.3 Çatlak Takımları**

Paleozoik formasyonları, genel olarak sıkı, orta veya sert ve kırılğan birimlerdir. Orojenik etkiler nedeniyle arkoz, kireç taşı ve kuarsitlerden kırık ve çatlak takımları çok belirgindir. Kuzeybatı - güneybatı, kuzeydoğu - güneybatı, kuzey - güney ve doğu - batı doğrultulu olan kırık ve eklem takımları kahverengi killi, demiroksitli, ince dolgu malzemelerle doldurulmuştur.

#### **4.2.2.4 Hidrojeoloji**

Trakya formasyonu temel kayası genelde geçirimsiz bir birimdir. Permeabilite kat sayısı  $k=10^{-10}$  cm/sn dolayındadır. Buna rağmen birimlerin uğradığı tektonik

deformasyonlar sonucu meydana gelen eklem sistemleri ikincil bir permeabilite oluşturmuş bu nedenle de su irtibatları sağlanmıştır. Ayrıca diabaz ve andezit daykların sokulumları sonucu daykların çevresinde bozulma ve kırılmalar sonucu meydana gelen geçirimlilik yer yer 2-5 lt/sn debileri bulmaktadır.

#### **4.3 Haliç' in Jeolojisi [16]**

Haliç boyunca alınan profilde su derinliği ağız kısmında 40 m., Silahtarağa dolayında bir kaç metreyi ancak bulmaktadır. Haliç üzerinde yapılan bir dizi sondajda göstermiştir ki Haliç tabanı kalınca bir çamur çökeltisi ile kaplıdır. Bu çamur tabakasının altında Küçükpazar – Eyüp ile Küçükpazar – Azapkapı arasında yer yer 10-15 cm.yi bulan oval düz yüzeyli yuvarlak çakıllar yer almaktadır. Son olarak da tabanda çok çatlaklı gri, gri – siyah renkli çamur taşları yer almaktadır.

Bir çöküntü sonucu meydana gelen Haliç' in her iki yakasında eğim atımlı normal fay yer almaktadır.

#### **4.4 Depremsellik**

Haliç ve çevresindeki yapıların taşıma gücü ve şev stabilitesi bakımlarından kritik durumda oluşu depremin ortaya çıkaracağı yerdeğiştirme kayma ve hasarın daha büyük olmasına yol açacaktır.

Aktif olan Kuzey Anadolu Fayı ile birlikte Şarköy Çekmece ve Marmara' nın güneyinde yer alan aktif faylarla birlikte İstanbul ve civarı deprem riskinin içinde yer almaktadır.

#### 4.5 Yapılan Sondajlar ve Arazi Deneyi Verileri [17]

Yukarıda genel özellikleri anlatılan Trakya Formasyonunda teşkil edilecek ankrajların dizaynı ve uygulaması öncesinde Şişhane İstasyonu bölgesinde 3 adet sondaj yapılmıştır. Bu sondajlar ile hem karotiyerle numune alınmış hem de Standart Penetrasyon, Basıncılı Su, Geçirgenlik ve Pressiyometre Deneyleri yapılarak bu formasyonun gerçek karakteristikleri ortaya konmuştur. Elde edilen sonuçlar şöyle sıralanabilir:

##### 4.5.1 Jeoloji

Ana formasyon Trakya Formasyonudur. Bu formasyonun temel bileşenleri kumtaşı, çamurtaşı, silttaşı ve şeyl tabakalarına rastlanmıştır. Bu birimler genellikle çok çatlaklı kırıklı bir yapı göstermekte olup yüzeye yakın kesimleri tamamen ve/veya kısmen ayrılmış bozulmuş halde bulunmaktadır. Kumtaşı, çamurtaşı, silttaşı tabakaları ayrılmış-çok ayrılmış üst kısımlarda sarımsı kahverengi, az ayrılmış ayrılmamış kesimlerde grimsi yeşil renkli, ince-orta taneli, ince-orta tabakalı, çok çatlaklı-kırıklı halde bulunurlar. Sondajlarda Trakya Formasyonu üzerinde minimum 3.20 m. maksimum 6.60 m. dolma zemin tespit edilmiştir.

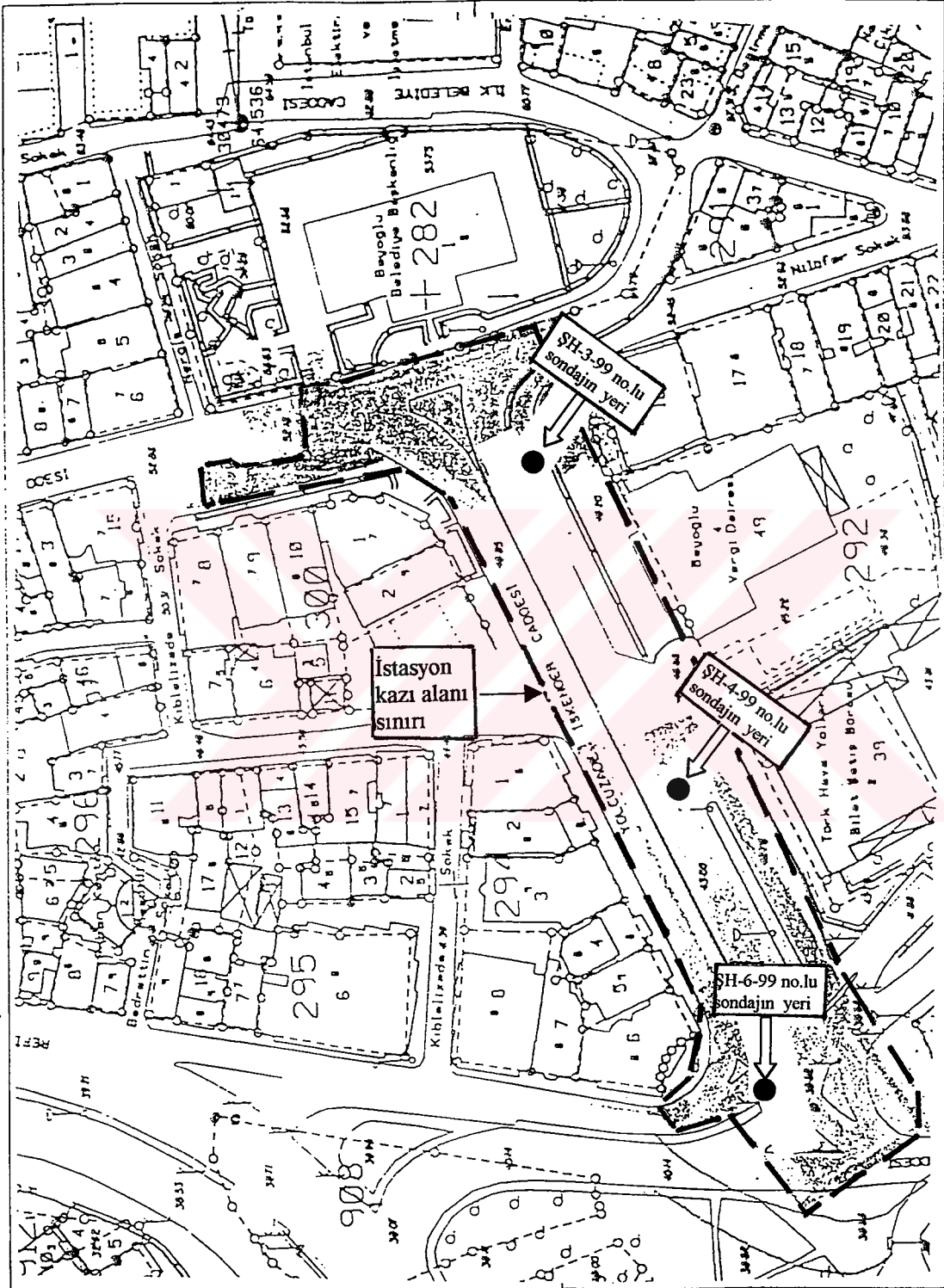
Sondajlar Pilcon darbeli, Deniz Rotarisi, Acker ACE ve Acker Mountainer marka sondaj makinalarıyla yapılmıştır. Sondajlar ve zemin tanımlamaları bu konuda standart olan TS 1901[18] ve BS 5930:1981 [19] Standartlarına uygun olarak yapılmıştır.

Aşağıdaki tabloda istasyon bölgesinde yapılan 3 sondaj hakkında genel bilgiler verilmektedir:

**Tablo 4.1.** Sondajlar genel bilgi tablosu

| Sondaj No | Başlama tarihi | Bitiş tarihi | Derinlik (m) |
|-----------|----------------|--------------|--------------|
| ŞH-3-99   | 08/01/1999     | 11/01/1999   | 20           |
| ŞH-4-99   | 27/02/1999     | 03/03/1999   | 30           |
| ŞH-6-99   | 29/01/1999     | 03/02/1999   | 25           |

Bu sondajların yerleri aşağıda Şekil 4.1’de görülmektedir:



Şekil 4.1 Şişhane İstasyonu için yapılan sondajların lokasyonu

#### 4.5.2 Numune Alma Yöntemleri

Sondajlar sırasında ayrılmış kaya/zemin içinde yapılan Standart Penetrasyon Deneyleri sırasında alınan numunelere cam kavanozlar içinde standart numune etiketleriyle etiketlenerek temsili numuneler olarak saklanmıştır. Kaya tabakaları içinde ise, TS-86 tipi çift tüplü karotiyerler kullanılmış, kayadan karot numuneler alınarak üzerinde boyları işaretli karot sandıklarında muhafaza edilmiştir. Bu orijinal numunelerden çekilen fotoğraflar -4 no.lu sondaja ait- ek şekillerde (EK A.1-6)' da verilmektedir.

#### 4.5.3 Karot Bilgileri

Karot numuneleri makro olarak tanımlanmış ve TCR (Total core recovery: bir ilerleme boyunda alınan karotların toplam boyunun ilerleme boyuna oranı), RQD (rock quality designation: Bir ilerleme boyunda alınan 10 cm. ve daha uzun boydaki karotların toplam boyunun, ilerleme boyuna oranı %) ve SCR (solid core recovery: bir ilerleme boyunda alınan sağlam silindirik karotların toplam boyunun, ilerleme boyuna oranı) yüzdeleri tayin edilmiştir.

Logları ek şekillerde (EK.B.1-5)' de verilen bu 3 sondajdan elde edilen sonuçlardan bazıları aşağıda verilmektedir:

$$TCR = 0-100 \%$$

$$RQD = 0-67 \%$$

$$SCR = 0-80 \%$$

#### 4.5.4 Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) ve Sonuçları

Dış çapı 50.8 mm. iç çapı 34.9 mm. olan yarık bir tüpün 63.5 kg. ağırlığındaki bir tokmakla zemine çakılmasıyla yapılmıştır. Tokmağın serbest düşüş yüksekliği 0.76 m.dir. SPT tüpünün zemine 15' er cm.lik 3 adet girişi için vurulan darbe sayıları ayrı ayrı tespit edilmiştir. Her kuyuda standart penetrasyon deneyi yapılarak 2. ve 3. 15

cm. giriş için gereken darbe sayıları toplamından Penetrasyon Direnci (N) bulunmuştur. Bu değer; N>50 olarak tespit edilmiştir.

#### 4.5.5 Pressiyometre Deneyi ve Sonuçları

Pressiyometre Deneyi sondaj delikleri içinde Menard GA tipi pressiyometre ile yapılmıştır. Ölçümler 76 mm. çapındaki problarla alınmıştır. Deneyde uygulanan basınç artışları yatay ekseninde, buna karşı gelen hacim değişimleri düşey ekseninde gösterilerek deney eğrileri çizilmiştir. Bu eğriler ek şekillerde (EK.C.1-6) verilmektedir.

Aşağıdaki Şekil 4.2' de ise karakteristik Menard Eğrisi görülmektedir. Probun kuyu duvarlarını, kuyu açılmadan önceki orijinal duruma getirilinceye kadar oluşan geri itme bölümü, eğrinin dönme noktasında, zeminin içindeki ilksel şartların olduğu kabul edilir. Eğrinin döndüğü noktadan itibaren doğrusal gidiş başlar. Bu kısma Pseudo Elastik Safha denir. Bu kısımda çelik yada beton gibi malzemelerin elastik sınırları arasında bir benzerlik görmek mümkündür.

Eğrinin döndüğü ve doğrusal gidişin başladığı nokta, pressiyometre deneyinin başlangıcı olarak kabul edilir ve bu lineer hattın eğrisinden Menard Deformasyon Modülü (E) aşağıdaki formüllere göre hesaplanır:

$$E = (1+Q).2V.(\Delta P - \Delta P_i)/\Delta V \quad (4.1)$$

$$K = (1+Q).2V \quad (4.2)$$

$$E = K (\Delta P - \Delta P_i) / \Delta V \quad (4.3)$$

Bu formüllerde ;

E: Elastisite Modülü

Q: Poisson Oranı (0.33)

V:  $\Delta P/\Delta V$ 'nin ölçümü esnasında boşluğun hacmi

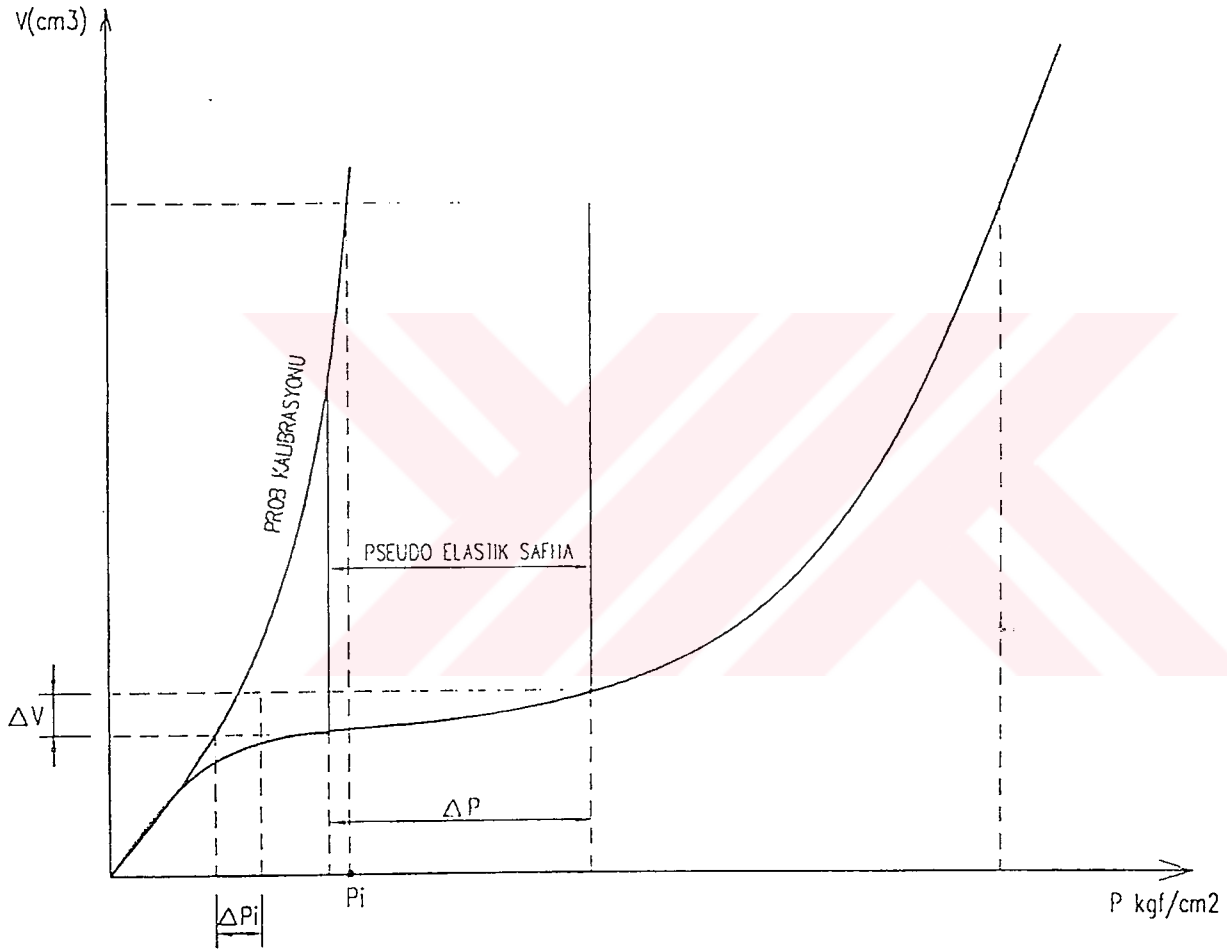
$\Delta P$ : Basınç aralığı

$\Delta P_i$ : Prob inelti

$\Delta V$ :  $\Delta P$ 'ye karşı gelen hacim artışı

K: Probun boyutsal sabiti

anlamına gelmektedir.



**Şekil 4.2** Karakteristik Menard Eğrisi

ŞH-4-99 ve ŞH-4-99 no.lu sondaj kuyularında gerçekleştirilen Pressiyometre Deneylerinden elde edilen sonuçlar aşağıdaki tabloda verilmektedir:

**Tablo 4.2** Pressiyometre Deney Sonuçları Özet Tablosu

| Kuyu no | Derinlik (m) | Elastisite Modülü<br>E (kg/cm <sup>2</sup> ) | Limit basınç<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) |
|---------|--------------|----------------------------------------------|---------------------------------------|
| ŞH-4-99 | 22,00        | 576                                          | 15,60                                 |
|         | 24,50        | 516                                          | 12,90                                 |
|         | 27,00        | 732                                          | 9,90                                  |
| ŞH-6-99 | 17,50        | 72                                           | 8,40                                  |
|         | 21,50        | 130                                          | 10,70                                 |
|         | 24,00        | 320                                          | 18,00                                 |

#### 4.5.6 Yeraltı Suyu Gözlemleri

Sondajların yapılmış olduğu 16.12.1998-10.02.1999 tarihleri arasında sondajlarda yer altı suyu gözlemleri yapılmıştır. Aşağıdaki tablo her 3 kuyu için tespit edilen yer altı su seviyelerini vermektedir:

**Tablo 4.3** Yeraltı su seviyeleri

| Sondaj No | Yeraltı Su Seviyesi (m) |
|-----------|-------------------------|
| ŞH-3-99   | 5,50                    |
| ŞH-4-99   | 11,20                   |
| ŞH-6-99   | 5,20                    |

#### 4.5.7 Permeabilite (geçirimsizlik) Deneyleri

İnşaat sahasında basınçlı su deneyleri toplam 25 adet olmak üzere, tüm sondajlarda kaya zonlarında paker kullanılarak (paker deneyi) yapılmıştır. Bu test ortamın basınç altındaki su alışı hakkında bilgi veren bir deneydir. Bu deneyin prensibi, belirli bir basınç altında ve belirli bir süre içinde kayada açılmış ve borulanmamış bir sondaj kuyusunun belirli bir kesiminde belirli sabit basınçlar altında verilen suyun miktarının ölçülmesidir. Kuyu içinde verilen su bir paker ile kuyu tabanı arasında sınırlanmış kesime basılır.

Test başlamadan önce kuyu, tabandan itibaren temiz su gelene kadar yıkanır. Daha sonra paker/kaya arasından yukarıya doğru su sızmasını önlemeye yeterli olacak bir basınç altında şişirilir. Ardından basınç üreten pompalar kullanılarak kuyuya temiz su doldurulur ve değişik test basınçları altında kuyuya giden su miktarı ölçülür.

Kaya ortamına ait geçirimsizlik katsayısı her basınç kademesi için BS 5930 (1981)' de belirtilen yöntemle aşağıdaki formüle göre hesaplanır:

$$K = (Q/2\pi*HL))*\ln(L/r) \quad (4.4)$$

Bu formülde;

K: Geçirimsizlik (permeabilite) katsayısı,

Q: Su akış oranı (debi),

H: Yer altı su seviyesi üstünde kalan su sütunu yüksekliği,

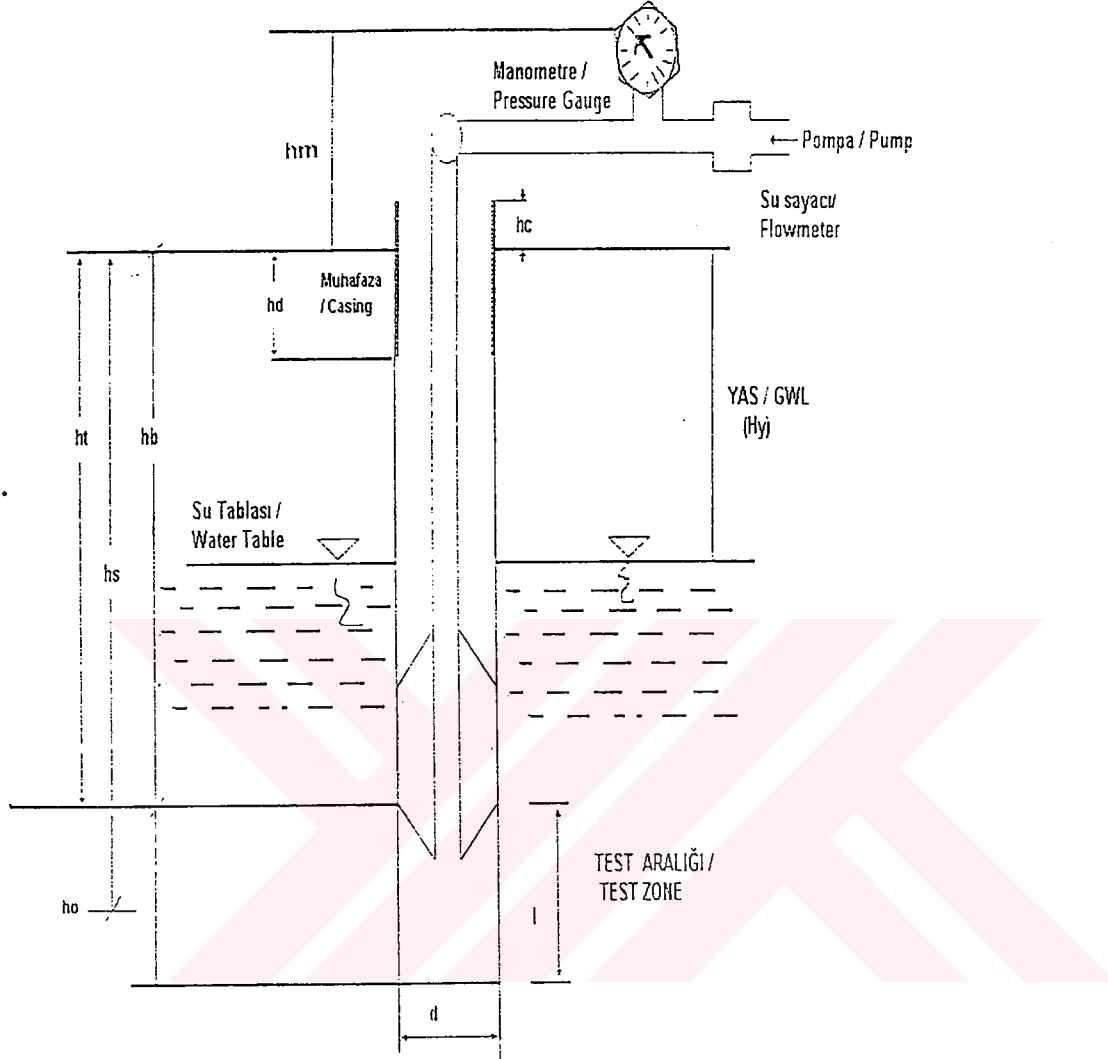
L: Deney kesimi boyu,

R: Deney kesimi çapı

demektir.

Aşağıdaki şekilde (Şekil 4.3) bu deneyin şematik düzeneği görülmektedir. Bu projede gerçekleştirilen geçirimsizlik deneylerinin rapor ve hesapları ise ekteki şekillerde (Şekil.D.1-4) verilmektedir.

## PAKER DENEYİ / PACKER TEST



|         |                                |                                    |
|---------|--------------------------------|------------------------------------|
| $h_t$ : | test kesiminin üstü            | / top of test section              |
| $h_o$ : | test aralığı ortası            | / center of the test section       |
| $h_b$ : | test anındaki kuyu tabanı      | / bottom of hole at time of test   |
| $h_d$ : | muhafaza kuyusu tabanı         | / bottom of casing                 |
| $H_y$ : | yeraltı suyu seviyesi          | / initial ground water level       |
| $h_m$ : | manometrenin yerden yüksekliği | / gauge height above ground level  |
| $h_c$ : | borunun yerden yüksekliği      | / casing height above ground level |
| $d$ :   | delik çapı                     | / top of test section              |
| $l$ :   | test kesimi boyu               | / length of test section           |
| $h_s$ : | test derinliği                 | / test section depth               |

Şekil 4.3 Paket Deneyi Düzenegi

#### 4.6 Genel Anlamda Kaya Ankrajlarının Tasarım Esasları

Mevcut tasarım kriterleri, aynı ölçüde yaklaşık sonuç veren iki grupta sınıflandırılabilir: Birinci grupta klasik elastikiyet teorisine temel olan yöntemler vardır. Bunlar fotoelastik veya sonlu eleman metodları olarak sıralanabilir. Ancak elde edilen sonuçların geçerliliğinin heterojen bir kaya kütlesi söz konusu olduğunda tartışılabilir nitelikte olması bu yöntemlerin handikapıdır. İkinci grupta ise en iyi şartlarda hem amprik kurallar veya deneme yanılma yöntemleri ile, en kötü şartlarda ise sırf tahminler ile tasarım söz konusudur. Bu iki durum arasındaki boşluk, bazı ülkelerde standartların uygulanmasıyla giderilmeye çalışılmaktadır.

Bir kaya ankrajının şu şartlarda sınırlabildiği tahmin edilmektedir:

- a) Kaya kütlesi içinde kırılma ile,
- b) Kaya/enjeksiyon bağlantısındaki sıyrılma ile,
- c) Enjeksiyon/tendon bağlantısındaki sıyrılma ile,
- d) Çelik tendonun veya serbest ankraj kısmının kopması ile.

Bu yüzden, ankraj için genel güvenlik katsayısı teşkil edilirken yukarıdaki hususların her biri sıra ile ele alınmalıdır:

##### 4.6.1 Kaya Kütlesi İçindeki Kırılma

Pratikte düşey ankrajlarda kaya kütlesinde kırılma olmaksızın serbest yükün emniyetle taşınması için gerekli ankraj uzunluğunun tahmininde kullanılan “kaya metodu” ile bağlantılı olarak kullanılan güvenlik katsayıları üzerinde pek fazla veriye sahip olunmamasına rağmen Schmidt (1956) tarafından 3, Rawlings (1968) tarafından 2 gibi güvenlik sayılarının alındığı bilinmektedir. En son olarak da Little John ve Truman-Davies (1974) tarafından Davenport Nükleer Kompleksi’nde 1,6’lık bir güvenlik sayısı kullanılmıştır. Bugünkü uygulamalarda güvenlik sayısı bir çok durumda 1’ e indirilmiştir. Bunun sebebi; kayma mukavemeti gibi diğer durumlarda tasarımda ihmal edilen bazı parametrelerin zaten oldukça büyük bir güvenliğe yol açmalarıdır.

Ankrajlar çok çatlaklı, gevşek kayalarda ve özellikle fisürlü malzemelerden oluşmuş veya yeraltı suyu basıncı ile bozulmuş olanlarda imal edilirse kayma mukavemetinin ihmali önemli ölçüde güvenlik sayısının azalmasına imkan vermektedir. Bu sonuca Hobst (1965) tarafından kırılma konisinin derinliğinin hesaplanması için Tablo 4.4’ de verilen formüller ortaya atıldığında ulaşılmıştır.

**Tablo 4.4** Kayalarda Stabilité İçin Düşey Ankraj Boyları

| Kaya tipi                         | KONİ DERİNLİĞİ İÇİN FORMÜLLER       |                                  |
|-----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
|                                   | Tek ankraj                          | Ankraj grubu                     |
| Sağlam, homojen kaya              | $(G.P/4,44.\tau_f)^{1/2}$           | $G.P/2,83.\tau_f.S$              |
| Düzensiz, fisürlü kaya            | $(3G_s.P/v.\pi.\tan\Phi)^{1/2}$     | $(G.P/v.S.\tan\Phi)^{1/2}$       |
| Su altında düzensiz, fisürlü kaya | $(3G_s.P/(v-1).\pi.\tan\Phi)^{1/2}$ | $(G_s.P/(v-1).S.\tan\Phi)^{1/2}$ |

Bu formüllerde;

$\tau_f$  : kayanın kayma mukavemeti,

$G_s$  : kırılmaya karşı güvenlik sayısı,

$S$  : ankrajların yüzeyi (metre)

$v$  : kayanın özgül ağırlığı (kN/m<sup>3</sup>)

$\Phi$  : kaya kütleindeki kırıklar boyunca sürtünme açısı

anlamına gelmektedir.

Kayma mukavemetinin homojen kayalardaki ankrajlar söz konusu olduğu zaman gözönüne alındığı ve ayrılmış kaya kütleleri söz konusu olduğunda kaya ağırlığının geçerli parametre olduğu bilinmektedir.

İngiltere’ de kayma mukavemeti değerleri uygulamada çoğunlukla göz önüne alınmaktadır. Çünkü tasarım aşamasında kırıkların geometrisi hakkında sayısal veriler ve kaya kütlelerinin kayma mukavemeti değerleri nadiren elde bulunmaktadır. Bunun yanında Kloop’ un (1970) tipik Ren Karataşı (Rhine Slate) üzerinde bulunduğu, yüksek hidrostatik ve sızıntı basınçlarının milonitik bölgelerde kayma mukavemetini “ideal” kuru laboratuar değerlerinin % 20’ sine düşürdüğü ve hatta

bazı durumlarda bu değerin % 4' üne kadar indiği bulgusu önemli bir bilgi teşkil etmektedir.

(Saliman ve Schafer, 1968), Hilf (1973), kaya tipine bakılmaksızın  $0.024 \text{ N/mm}^2$  lik bir aderans değerine müsaade edilebileceğini savunmakta ve deney yükünün 12 mm.ye kadar yer değiştirmesini esas alan güvenlik katsayısını 2 olarak belirlemektedirler.  $0.024 \text{ N/mm}^2$  nin üstündeki değerler, eğer arazi deneyleri ile doğrulanırsa kullanılabilir, demektedirler.

Ankraj uzunluğunun seçiminde en önemli faktörün kaya konisinin büyüklüğü veya açılacak yarığın büyüklüğü olması bir yana, yakın aralıklı ankraj gruplarında tabakasal kırılma olasılığı da tasarımcının derinlik seçimini etkilemektedir.

Güney Afrika tavsiyeleri (1972), bir "konsantre grup" halindeki ankrajların  $0.5x$  ankraj kafası uzunluğu değerinden az olduğu durumlarda, alternatif ankrajlar arasındaki dağılımın,  $0.5 x$  ankraj kafası uzunluğu değerinde olması gerektiğini öngörmektedir. Bu durum, Little John ve Truman – Davies (1974) tarafından 2000 kN' luk ankrajların 1 metrelik merkez aralıklarla yerleştirildiği Devonport Nükleer Kompleksi için tavsiye edilen  $0.25 x$  ankraj kafası uzunluğu dağılımı ile mukayese edilebilir. Kaya kütlesi içinde yükün dağılımı için bir diğer metod, Selotanche (1968) tarafından Cezayir' deki Zardesos Barajında yapıldığı gibi, ankrajların değişik eğilimlerde basitçe yerleştirilmesidir.

Bazı diğer ülkelerde ankrajlar arasındaki asgari mesafe kararlaştırılmıştır. İsveç' deki uygulamayı gözden geçiren Brams (1968) asgari 2.5 m. lik bir aralığı onaylamıştır. Bunun yanında Çek Standardı (1974) 1.5 m. yi tavsiye etmektedir.

Gerçekte, bir kaya kütlesindeki kırılmanın genelde ters çevrilmiş  $90^\circ$  lik bir koni veya yarık şeklinde oluşmadığını gösteren bazı sonuçlar ortaya çıkarmıştır (Saliman ve Schafer, 1968 ve Brown (1970)). Ancak çoğu tasarımlar, kaya kütlesinin kaya mukameti değerine yer vermeyen bir koni metodunu uygulamaktadır. Bununla beraber, geçici ve kalıcı ankrajlar için güvenlik katsayılarında bir ölçüde standardizasyon arzu edilmektedir. Bununla beraber ayrılmış kayanın üst tabakalarındaki etkiler, konsolide olmamış jeolojik yük nedeniyle oluşan sürşarj için

bırakılacak emniyet payları üzerinde de bir anlaşmaya varılmış değildir. Genel olarak, kırılma halinde oynayan kaya bölgelerinin şekil ve pozisyonlarını inceleyebilmek için bir çok kaya malzemesi ve kütlelerinde, arazi deneyleri yapılmalıdır. Bu tür çalışmalar tek ve grup halindeki ankrajların muhtelif eğilimlerdeki yerleşimlerini göstermelidir. Ancak bu yolla, genel stabilite ile ilgili ankraj tasarımı hem teknik, hem daha ekonomik olarak en faydalı düzeye getirilebilir.

#### 4.6.2 Enjeksiyon Gövdesi İle Kaya Arasındaki Aderans

Ankrajlarla ilgili tasarımların çoğu, bunların yüzey alanı üzerinde tek tip aderans varsayımı üzerine başarı ile oturtulmuştur. Diğer bir deyişle, geliştirilen aderansın ankraj boyutlarının ve uygulanan yükün sadece bir fonksiyonu olduğu genel olarak kabul edilmiştir. Fakat son deneysel ve teorik analizler kaya aderansının daha karmaşık ve çoğunlukla üniform olmayan gerilme dağılımına neden olan ilave bilinmeyenler yansıttığını göstermiştir.

Sonuç olarak tasarım kriterleri, aderansın büyüklüğü ve dağılımı ankraj boyutları ve güvenlik katsayıları göz önüne alınarak belirlenmelidir.

##### 4.6.2.1 Kaya Ankrajlarının Dış Taşıma Gücüne Göre Boyutlandırma Esasları

Ankraj, esas olarak kaya enjeksiyon ortak kesiti bölgesindeki aderansla ilgili olup, Little John (1972) tarafından tanımlandığı gibi İngiltere’ de ankraj kafası boyunca aderans basıncının üniform dağıldığı varsayımı yaygındır. Böylece, ankraj yükü P, aşağıdaki denkleme göre, ankraj tasarımı ile bağlantılıdır.

$$P = \pi \cdot d \cdot L \cdot \tau \quad (4.5)$$

Burada;

L : ankraj kafa uzunluğu

d : ejektif ankraj çapı

$\tau$  : emniyetli aderans gerilmesi

anlamına gelmektedir.

Bu yaklaşım bir çok ülkede örneğin Fransa' da (Fargeot, 1972), İtalya' da (Mascardi, 1973), Kanada' da (Coates, 1970) ve Amerika' da (White, 1973) kullanılır.

Kural aşağıdaki basit varsayımlara dayandırılır.

1. Yükün ankraj kafasından kayaya aktarılması, ankraj kafasının tüm kıvrımlı yüzeyi üzerindeki gerilmenin üniform dağılımı ile olur.
2. Sondaj deliği ve ankraj kafasının çapı aynıdır.
3. Sıyrılma, kaya/enjeksiyon kesitindeki (pürüzsüz sondaj deliği) kayma ile, veya kaya/enjeksiyon kesitine bitişik daha zayıf bir vasıta ile kayma (pürüzlü sondaj deliği) şeklinde olur.
4. Üzerinde kırılmaların olabileceği süreksizlikler yoktur.
5. Enjeksiyon/kaya kesitinde yerel bağlantı kopuklukları yoktur.

Kaya örnekleri üzerinde kayma mukavemeti deneylerinin yapıldığı yerlerde, kaya/enjeksiyon kesitindeki ortalama güvenli aderans gerilmesi, kayma mukavemetinin ilgili güvenlik katsayısına (normal olarak ikiden az değildir) bölünmesi sonucu elde edilen değeri aşmaması gerekir. Bu yaklaşım öncelikle tek eksenli basınç mukavemetinin ( $q_r$ ) 7 N/mm<sup>2</sup>. den az olduğu ve deliklerin darbeli rotari tekniğiyle açıldığı yumuşak kayalara uygulanır. Kayma mukavemeti verilerinin veya arazide dışarı çekme deneylerinin olmaması halinde Little John (1972) çimento enjeksiyonunun sıyrılma mukavemetinin 42 N/mm<sup>2</sup>. ye eşit veya daha fazla olduğunu varsayarak nihai aderans gerilmesinin masif kayaların tek eksenli basınç mukavemetinin onda biri olarak ve maksimum

$$\tau_{\text{nihai}} = 4.2 \text{ N/mm}^2$$

değerine kadar alınması gerektiğini söylemiştir.

Bazı kayalarda özellikle nispeten düşük  $\Phi$  değeri olan granüler ve ayrılmış olanlarda  $\tau_{\text{nihai}}$ ' nin kaya tek eksenli basınç mukavemetinin % 10' una eşit olması varsayımı kayma mukavemetinin bilinçli olarak düşük tahmin edilmesine yol açar. Böyle

durumlarda  $\tau_{\text{nihai}}$ ' nin kayanın tek eksenli basınç mukavemetinin ( $q_r$ ) %20-35' ine eşit olduğu varsayımı kabul edilebilir.

Güvenli aderans gerilmesi için kabul edilen değer çoğunlukla 0.35 ile 1.4 N/mm<sup>2</sup> arasındadır. Koch (1972) bu aralıktaki aderans gerilmelerinin zayıf, orta ve sağlam kayalar için kullanılmasını önermiştir. Ayrıca CA 35 - 1973 numaralı Avustralya yönetmeliği, volkanik ve sedimanter kayalardan büyük bir bölümünde 1.05 N/mm<sup>2</sup> lik bir değer kullanılmasının gerektiğini belirtmektedir. Fakat aynı zamanda arazide yapılan deneylerde 2.1 N/mm<sup>2</sup> ye müsaade edilebileceğini söylemektedir.

Çoğunlukla tavsiye edilen güvenlik katsayısı 2 ila 3 arasındadır. Fakat çok sağlam kayalarda çoğunlukla daha düşük, fisürlü ve daha ayrışmış kayalarda ise daha yüksek olacağı açıktır.

Yumuşak veya ayrışmış kayalarda tasarım için Standart Penetrasyon Deneyinin daha yaygın olarak uygulandığı görülmektedir. Örneğin Suzuki ve arkadaşları (1972) ayrışmış granit için aderansın büyüklüğünün aşağıdaki denklem ile belirlenebileceğini söylemişlerdir:

$$\tau_{\text{nihai}} = 0,007 \cdot N + 0,12 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (4.6)$$

Burada N, Standart Penetrasyon darbe sayısını göstermektedir.

Aynı şekilde Little John (1970) katı/sert tebeşir için N ile nihai aderans arasında aşağıdaki denklemi vermektedir:

$$\tau_{\text{nihai}} = 0.01 N \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (4.7)$$

Tek bir kaya çeşidi için bile, pratikte kullanılan aderansın büyüklüğünün aşırı değişkenliğinin nedenlerinden başlıcaları şunlardır:

1. Farklı tasarımcılar ankraj tipine ve ankraj deney programının kapsamına göre farklı aderans değerleri ve güvenlik katsayıları kullanmaktadırlar.

2. Herhangi bir kaya tipinin standart değerleri, yerel jeolojik özellikleri ve düzensizlikleri yansıtacak şekilde değiştirilirler.
3. Yapı tekniğine bağlı faktörler, yani sondaj metodu, temizleme işlemi ve enjeksiyon basıncı elde edilecek sonuçları etkilemektedir. Sonuç olarak kullanılan aderans değerleri bir dereceye kadar kaya tipine bağımlıdır.

#### **4.6.2.2 Kaya Ankrajlarının İç Taşıma Gücüne Göre Boyutlandırılma Esasları**

Bazı şartlar altında oldukça geniş bir güvenlik katsayısı uygulandıktan sonra bile çok daha az ankraj uzunluklarının yeterli olduğu görülmüştür. Ancak çok kısa bir ankraj için, ankraj bölgesi boyunca kaya kalitesindeki ani bir düşüşün ve/veya inşaat hatalarının veya yetersizliklerin etkisi, bu ankrajın kapasitesinde ciddi bir düşüşe neden olabilir.

Ankraj çapının seçimi ile ilgili olarak aşağıdaki noktalar göz önüne alınmalıdır:

1. Tendonun tipi ve ölçüsü
2. Çapın, ankraj kafasının çevre alanı ile ilişkisi ve bunun sonucu, üniform aderans varsayılarak ankraj kapasitesi,
3. Etkin aderans dağılımı ve aşınmaya karşı koruma için sondaj deliğinin, çelik alanına boydan boya olan oranı,
4. Kullanılacak sondaj metodu ve vinç v.s.,
5. Ankraj bölgesindeki kayanın cinsi ve eğer varsa pekişmemiş aşırı yük.

İtalya' da, özellikle Berardi tarafından gerilmelerin hem ankraj kafası boyunca hem de kaya içinde dağılım üzerinde bir çok deneyler yapılmıştır. 1967' de, ankraj kafası gerilmelerinin belirlenmesi deneyleri üzerinde bir rapor hazırlanmış ve ankrajın aktif kısmının toplam ankraj kafa uzunluğundan bağımsız olduğu, fakat çapına ve etrafındaki kayanın mekanik özelliklerine ve özellikle arazi modülüne bağımlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Müller (1966), 220 tonluk BBRV ankrajının 8 metrelik ankraj kafası boyunca kayma gerilmesinin dağılımı üzerine, İsviçre' de ilginç sonuçlar ortaya koymuştur. Gerilim sırasında ölçümlerden okunanlara göre, yükün ankraj kafası boyunca kayada üniform dağılmadığı sonucuna varmıştır. Örneğin, 55 tonluk bir yükte kuvvet

ankrajın serbest uzunluğuna aktarılmıştır ve ortalama  $0.22 \text{ N/mm}^2$  değerinde bir aderans elde edilmiştir. Ancak 185 tonda, yük ankraj kafasına aktarılmış ve ankrajın serbest uzunluğu boyunca aderanssızlık gözlenmiştir.

Yüksek kapasiteli ankrajlar konu olduğunda, ankrajda kısmi aderanssızlıklar meydana geldiği ve yük arttıkça aderansın ankrajın sonuna doğru düştüğü görülmüştür.

Tasarımcılar tarafından müştereken varsayılan üniform aderans dağılımının geçerliliği kesin olmadığına göre, ankraj performansını hangi parametrelerin belirlediğinden emin olmak üzere mühendislik ve jeolojik açılardan özelliklerinin sınıflandırılabilirdiği çok çeşitli kaya kütleleri içinde, ankrajların sıyrılma için çekilmesi gerektiği anlaşılmaktadır. Bu şekilde işlem sırasında daha güvenilir tasarım kriterleri sağlanmış olur.

Ayrıca özellikle daha yumuşak kayalarda, bilhassa muhtemel ankraj kafa bölgesi seviyesinden alınmış örneklerde, ayrışabilirlik ve dayanıklılık değerlendirilmelidir.

#### **4.6.3 Enjeksiyon Gövdesi ve Çelik Elemanlar Arasındaki Aderans**

Özellikle mühendisler, kaya/enjeksiyon gövdesi aderansına uygun olarak seçilen ankraj kafası uzunluğunun, normalden öte çok uygun tendon yerleştirme uzunluğu sağladığını kabul ettikleri için, kaya ankraj tasarımının bu görünümüne çok az önem verilmiştir. Ancak kaya/enjeksiyon aderansı söz edilen bölümde kanıtlandığı gibi enjeksiyon/tendon bağlantısı ile ilgili çok az yaklaşım standardizasyonu mevcuttur. Aderansı oluşturan mekanizmalar; yapışma , sürtünme ve mekanik kenetlenmedir.

Genelde kaya/enjeksiyon arakesitindeki tasarımın daha kritik olması nedeniyle ankraj sistemlerinde enjeksiyon/tendon aderansı sorununun problem yaratmadığı kabul edilir. Böylece bu arakesite uygun her ankraj kafası boyutu tendon/enjeksiyon arakesitinde yüksek güvenlik katsayılarını otomatikman sağlar. Kaya ankrajlarında aderans olayının mekanizması, çelik ve enjeksiyonun elastisite modüllerine bağlıdır.

Çok üniteli tendonların aderans dağılımları açısından, üzerlerinde çok az çalışma yapılmıştır.

Genel olarak, kaya ankrajları için bugün uygulamada kullanılan enjeksiyon/tendon aderans değerleri ile ilgili tavsiyelerin hiç biri tendonun uzunluğu ve tipini, tendon geometrisini veya enjeksiyon mukavemetini dikkate almamaktadır.

#### **4.6.4 Tendonun Özellikleri**

Tendon elemanlarının mekanik özellikleri üzerine elde yeterli bilgi mevcuttur. Fakat kırılma ve kopmaya karşı tendon tipinin ve kullanılacak güvenlik katsayılarının seçimi, halen tasarımcının, özellikle ankrajlarla ilgili özgün standartların bulunmadığı Türkiye gibi ülkelerde, değerlendirmesini ve yargısını gerektirmektedir. Tendonlar çubuk, tel veya örgü telden meydana gelirler.

Tel ve örgü tel, çekme mukavemeti, depolama kolaylığı, nakliye ve üretim açılarından belirgin avantajlara sahiptirler. Ancak çubuklar aşınmaya karşı daha kolay korunmakta ve sık, düşük kapasiteli ankrajlarda monte edilmeleri daha kolay ve ucuz olmaktadır. Öngerme ekipmanındaki ve tekniklerindeki son gelişmelerin sonucu olarak örgü telin kullanımı gittikçe daha yaygınlaşmaktadır. Son yıllarda yapılan bir araştırma (FIP, İng.1974) örgü telin tele nazaran daha yaygın olma eğilimini ve temel malzeme maliyetlerinin daha yüksek olduğu ülkelerde bile örgü telin daha çok kullanıldığı doğrulamaktadır.

Tendonun çapı küçüldükçe birim öngerme kuvveti için kullanılan malzemenin maliyetinin de o kadar azalmakta olduğu artık bilinmektedir. Fakat herhangi bir ülkede tendon malzemesinin temini için yapılan doğrudan karşılaştırmalar yanıltıcı olabilir. Çünkü tendonun gerçek maliyeti, üretim, montaj ve germe maliyetlerini de yansıtır.

Tendonların genel karakteristikleriyle ilgili olarak İngiltere’ de öngermeli tendonların üretimi BS 4486 : 1971 (19 telli örgü tel) standartlarına göre yapılmaktadır.

#### 4.7 Trakya Formasyonunda Açık Kazı Destek Sistemi İçin Yapılan Tasarımın Esasları

Şişhane İstasyonu'nun tamamıyla Trakya formasyonu birimleri içinde kaldığı yukarıda belirtilmiştir. Hesaplara esas idealize zemin profili, üst seviyelerde dolgu, alt seviyelerde ayrışmış kaya olarak alınabilir. İstanbul grovaklarını destekleyen veya grovaklar içerisinde inşa edilen yapıların projelendirilmesinde geçerli olan parametreler, aşağıdaki tabloda özetlenmiştir [20]:

**Tablo 4.5** Grovakların Mühendislik Özellikleri

|                                          | laboratuvar | Yerinde<br>(arazi) | Psödoplastikleş-<br>me sonrası | Su ve zaman<br>etkisinde |
|------------------------------------------|-------------|--------------------|--------------------------------|--------------------------|
| $\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )           | 200         | 15                 | 5                              | 2                        |
| C (kg/cm <sup>2</sup> )                  | 45          | 5                  | 1                              | 0                        |
| $\Phi$ (°)                               | 40-45       | 35-40              | 20-30                          | 14-18                    |
| $\gamma$ (ton/m <sup>3</sup> )           | 2,65        | 2,50               | 2,25                           | 2,0                      |
| E (*10 <sup>3</sup> kg/cm <sup>2</sup> ) | 100-150     | 20                 | 5-8                            | 1-4                      |

Bu değerlerden görüleceği gibi, laboratuvarda yüksek olarak ölçülen kayma mukavemeti parametreleri, arazi koşullarında su ve atmosfer etkileri ile grovak tabakalarında meydana gelen ayrışma sebebiyle oldukça düşük değerler almaktadır. Bu da şev stabilitesi yönünden olumsuzluk arz etmektedir.

Bu değerlendirmeler ışığında kohezyon ihmal edilmiş ve ankrajlı iksa perdesi olarak tasarlanan Şişhane İstasyonu konkors yapılarında zeminin kayma mukavemeti parametreleri;

0-10 m. için                       $c = 0$                        $\phi = 30^\circ$                        $\gamma = 2,0$  (ton/m<sup>3</sup>)  
10-30 m. için                       $c = 0$                        $\phi = 35^\circ$                        $\gamma = 2,2$  (ton/m<sup>3</sup>) alınmıştır.

#### 4.7.1 Tasarım

Trakya formasyonunda yapılan ankrajlı perde duvar dizaynı şu şekilde yapılabilir [21] :

İstasyonun yoğun yerleşim alanında yer alması nedeniyle kazı çalışmaları sırasında çevrede oturmalara neden olmayacak veya minimum oturmalara neden olacak bir yaklaşımla aktif değil sükunetteki toprak basınçlarının dikkate alınması gerekmektedir. Ankrajlı sistemlerde toprak basıncı dağılımı duvar boyunca üniform olmak üzere;

$$q_1 = 0.4 K_o \gamma H \quad (4.8)$$

olarak verilmektedir. Burada,

$K_o = 1 - \sin \phi$  (sükunetteki toprak basıncı katsayısı)

$\gamma$  : birim hacim ağırlık

$H$  : Kazı yüksekliği

olarak kullanılmıştır.

Zemin yüzeyinde bir sürşarj yükü ( $q_s$ ) olması durumunda bu yükün duvar üzerinde yarattığı ilave üniform basınç:

$$q_2 = K_o q_s \quad (4.9)$$

olarak hesaplanabilir.

Kazı kesitleri için ankraj yerleşiminin düzenlenmesinde öncelikle duvar boyunca düşeyde kullanılması planlanan ankraj sayısı ( $n$ ) , açısı ( $\alpha$ ) ve ankraj servis yükü ( $T$ ) belirlenir. Planlanan ankrajların yatay aralığı ise aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$S = \frac{n \cdot T \cdot \cos \alpha}{P} = \frac{n \cdot T \cdot \cos \alpha \cdot a}{(q_1 + q_2) H} \quad (4.10)$$

İstanbul Grovaklarında daha önce yapılmış çalışmalarda ankraj kök bölgesi için birim sürtünme direnci :

$$f_s = 450 \text{ kPa}$$

olarak belirlenmiş olup Şişhane ankrajlarında delik çapı 12.5 cm. ve kök boyu ( $l_{\text{kök}}$ ) 8.0 m. alınarak bir ankraj için maksimum kapasite ( $T_{\text{ult}}$ );

$$T_{\text{ult}} = d \cdot \pi \cdot l_{\text{kök}} \cdot f_s \quad (4.11)$$

formülünden;

$$\begin{aligned} T_{\text{ult}} &= 0.125 \times 3.14 \times 8 \times 450 \\ &= 1413 \text{ kN} \end{aligned}$$

emniyetli kapasite ise ;

$$\begin{aligned} T &= T_{\text{ult}} / 2.0 \\ &= 1413 / 2 \\ &= 706 \text{ kN} \end{aligned}$$

olarak hesaplanmıştır.

Bu durumda ankraj servis yükünün emniyetli tarafta kalmak amacıyla

$$T = 600 \text{ kN}$$

alınması ve 4 adet 0.6 inç çapında öngermeli, düşük gevşemeli halat kullanılarak bu yükün karşılanması mümkün olmaktadır. Bir tek ankraj yükünün bu şekilde belirlenmesinin ardından yapılması gereken tüm duvar için ankraj sayısı ( $n$ ), ve ankraj açısı ( $\alpha$ ) seçmek ve bu seçimin güvenlikle yükü karşılayacak yeterliğe sahip olduğunu kontrol etmek, sağlama yapmaktır. Aşağıdaki şekil, hesaplar için idealize edilen zemin profilini göstermektedir:



Bu hesap Şişhane İstasyonu konkors-1 AD 4-5-6 duvarları için yapılan hesaptır ve sonuç olarak  $s = 2,4$  m. alınmıştır. Diğer duvarlarda da gereken hesaplar benzer şekilde yapılmış ve tüm sonuçlar aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

**Tablo.4.6 Konkors Kazısı İksa Sistemi Özeti**

| KESİT NO | DUVAR<br>YÜKSEKLİĞİ<br>M | DÜŞEY ANKRAJ<br>SIRASI<br>Adet | ANKRAJ YATAY<br>ARALIĞI<br>m |
|----------|--------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| 3-3      | 12.0                     | 4                              | 3.00                         |
| 4-4      | 11.4                     | 5                              | 2.40                         |
| 5-5      | 18.1                     | 7                              | 2.50                         |
| 6-6      | 21.1                     | 9                              | 2.70                         |
| 7-7      | 17.6                     | 7                              | 3.00                         |
| 8-8      | 18.8                     | 7                              | 2.40                         |
| 9-9      | 21                       | 8                              | 2.30                         |

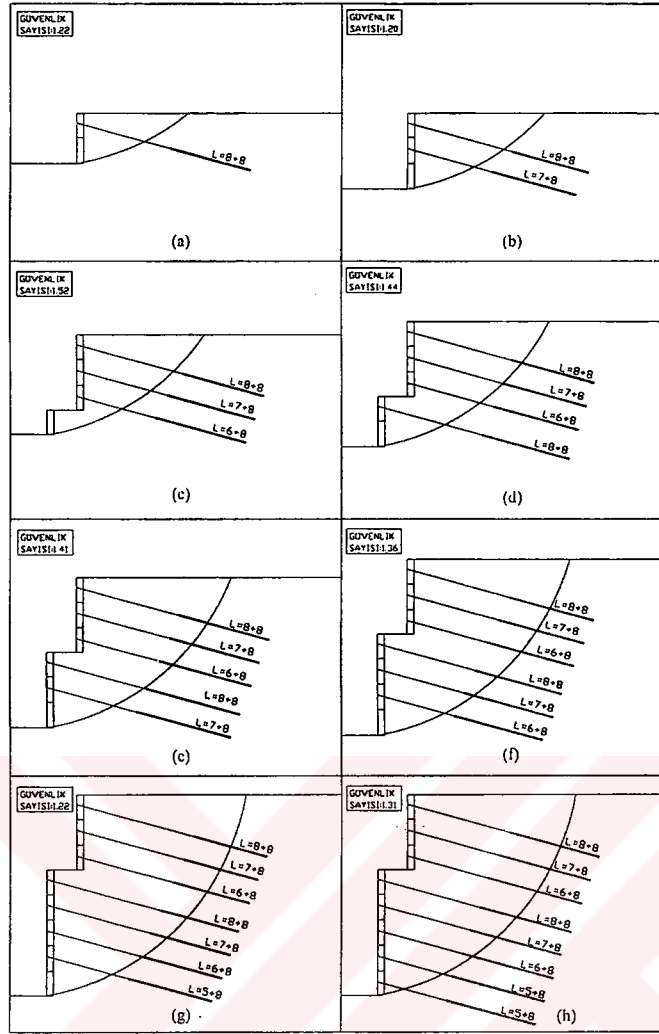
(Burada 8-8 kesiti bu çalışmada özel olarak incelenen AD4-5 perdesine aittir.)

Ortalama derinliği 22 m., uzunluğu 80 m. olan Konkors-1 yapısındaki bu duvarlardaki tüm ankrajlar kök bölgesi 7 m. olan ve toplam uzunluğu ortalama 14-16 m. olan ankrajlardır.

#### 4.8 Tasarımın Değerlendirilmesi İçin Yapılan Toptan Göçme Analizi

Bu çalışma kapsamında Konkors-1 yapısı AD4 duvarı üzerinden alınan B kesiti üzerinde, tüm kazı kademeleri için toptan göçme analizleri yapılmış, çıkan sonuçlar İsviçre Standartları esas alınarak değerlendirilmiştir. Yapılan toptan göçme analizinde (Bishop analizi) esas prensip; herhangi bir sıra ankrajın gerilmesinden sonra başlanan alt sırada tüm anoların kazı ve betonlamasının bitirilip hiçbirinin gerilmesinin yapılmadığı en kritik durumun varsayılması ve sistemin bu durumda göçmeye karşı güvenliğinin incelenmesidir.

Şekil 4.5 (a-h)' te yapılan kabulün ve sonuçlarının görüldüğü bu tahkikte, güvenlik sayıları sırasıyla 1.22, 1.20, 1.52, 1.44, 1.41, 1.36, 1.22 ve 1.31 olarak elde edilmiştir. 1.31, tüm ankrajların tamamlanmasıyla oluşan sistemin güvenlik sayısıdır.



**Şekil 4.5** Toptan göçme analizinde (Bishop analizi) varsayılan en kritik durumlar sonucu elde edilen güvenlik sayıları

**İsviçre Şartnamesi** (SIA 191 (1977)), geçici ve kalıcı ankrajlarda yapılan stabilize analizlerinde alınması gereken güvenlik sayılarını aşağıda, Tablo 4.7' deki gibi vermektedir.

Duvarın ortalama güvenlik sayısı olan 1.31 değeri ile İsviçre Standardının hükümleri karşılaştırıldığında; eğer arazide bir sıranın tüm kazı ve betonlaması yapıp germesinin yapılmaması veya geciktirilmesi söz konusu olursa, şehir içinde çalışıldığı ve yakında binaların bulunduğu göz önüne alınarak gereken güvenlik sayısı olan 1.5 ve daha büyük değerlerden uzaklaşılacağı aşıkardır. Bu duruma düşmemek için yapılması gerekenler şöyle sıralanabilir:

- Tüm aşamalarda kazılar birer ano atlanarak yapılmalı ve kalıplar teşkil edilmelidir.
- Kalıbı hazırlanan anoların betonu dökülmeli ve betonun priz almasını takiben 2 gün sonra atlanan komşu anoların kazısına başlanmalıdır.
- Betonlama işlemi tamamlanan ve priz süresi dolan anolarda ankraj delgisi yapılmalı ve ankrajlar teşkil edilmelidir.

Enjeksiyon işleminden 7 gün sonra ankrajların gerilmesi yapılarak imalat tamamlanmalı ve bir sonraki aşamaya geçilmeden tüm germelerin tamamlandığı mutlaka kontrol edilmelidir.

**Tablo.4.7** İsviçre Şartnamesi (SIA 191)' e göre ankraj stabilite analizlerinde alınması gereken güvenlik sayıları

| Risk derecesi                                                                                          | Geçici        | Ankrajlar       | Kalıcı ankrajlar |                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|------------------|-----------------|
|                                                                                                        | Ankraj sınıfı | Güvenlik sayısı | Ankraj sınıfı    | Güvenlik sayısı |
| 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             |

## 4.9 İşin Teknik Şartnamesinin İlgili Bölümü [22]

### 4.9.1 Zemin Ankrajı Tanımı

Ankraj, tanım olarak sağlam zemine tespiti sağlanan ve enjeksiyonla oluşturulmuş bir kök aracılığıyla dışarıda kalan uç kısmını gerili halde tutan bir gergi çubuğudur. İksa sistemlerinin desteklenmesinde kullanılan kaya ve zemin ankrajları için değişik teknolojiler kullanılmaktadır. Bu şartnamede uygulanması düşünülen ankrajların tipi, teknik özellikleri ve ankrajları kabul için yapılması gereken deneyler verilecektir.

### 4.9.2 Ankraj Tipi ve Teknik Özellikleri

Kazı duvarlarının desteklenmesinde kullanılacak ankrajlarla ilgili teknik özellikler aşağıda verilmiştir:

**Ankraj Tipi;** Kullanılacak ankrajlar geçici tip olup servis süresi en az 2 yıl olacaktır.

Ankrajlarda kullanılacak öngerme demeti BS 5896-1980' e uygun olacaktır. Kullanılacak öngerme demetleri kopma yükü ve ankraj servis yükü projede verilen değerleri sağlayacak şekilde seçilmelidir. Ankraj servis yükü öngerme demetlerinin kopma yükünün % 60' ından fazla olmayacaktır.

**Ankraj Kafası;** öngerme uygulanmış halatları gerili durumda tutan bir öngerme kafası ile tellere uygulanmış yükü iksa sistemine aktaran bir dayama plakasından oluşmaktadır. Germe kafası ve kilitleme sistemi çelik halatları proje yükünde gerili tutabilecek nitelikte olmalıdır. Germe kafası, ilk öngerme sırasında kilitleme işleminden önce yükün arttırılmasına veya azaltılmasına izin vermelidir.

Öngerilmenin uygulanmasında kullanılacak krika, halatların tümünü bir seferde gerebilmelidir. Halatlar hiçbir şekilde tek tek gerilmeyecektir. Öngerme krikosunun kalibrasyonu proje başlangıcında resmi bir kuruluşa yaptırılacak ve Mühendise sunulacaktır.

#### 4.9.3 Ankraj İmalat Teknolojisi

Ankraj imalatında değişik teknolojiler kullanılmakta olup bu konuda Yüklenici kullanacağı imalat teknolojisi ve detaylarını Mühendise sunacak ve Mühendisin onayını aldıktan sonra imalata başlayabilecektir. Ankrajların proje kriterlerini ve özellikle yüklerini sağlaması konusunda tüm sorumluluk Yükleniciye ait olacaktır. İmal edilmiş tüm ankrajlar aşağıda detayları verilen kabul deneyleri ile kontrol edilecek ve gerekli şartları sağlayan ankrajlar kabul edilecektir.

#### 4.9.4 Kabul Deneyleri

Proje kapsamında yer alan her ankraj üzerinde kabul deneyi yapılmalıdır. Kabul deneyinde ankraj proje yükünün (T) 1.25 katına kadar iki kez yüklenip boşaltılır ve gerekli performansı sağlayan ankraj 1.10T' de kilitlenir. Yükleme kademeleri (0.10T, 0.50T, 1.0T, 1.25T, 1.0T, 0.5T, 0.10T olarak seçilmelidir. İlk yüklemede her yük kademesinde ankraj çubuğunun uzaması okunana kadar beklenenecektir. İkinci yüklemede ise her yük kademesinde 1 dakika beklenenecektir. 1.25T kademesinde 15 dakika beklenenecektir. Her yük kademesinde bekleme süresi başındaki ve sonundaki uzamalar kaydedilecektir.

Bu işlem sırasında elde edilen yük-uzama grafiği ankraj çubuğu serbest kısmının hesapla öngörülen uzamasını vermelidir. Bunu sağlayan ankrajlar 1.10T' ye kadar yüklenir ve yükte kilitlenir.

Sonuçlar, yük-deplasman grafiği şeklinde sunulacak ve ankraj çubuklarının serbest kısmının teorik elastik doğrusu ile beraber gösterilecektir. Yük deplasman eğrisi boşaltma kısmı ile bu elastik deplasman teorik deplasmana yakın olmalıdır. Büyük farklılıklar gerçek serbest ankraj boyu ile proje arasında fark olduğunu veya ankraj demirlerinin sıyrıldığını gösterir. Bu durumda ankraj kabul edilmez ve ücret ödemesi yapılmaz. Ankrajların germe sırasında proje yüküne ulaşamaması durumunda da ankraj kabul edilmez ve ödeme yapılmaz. Bu durumdaki ankrajların yenilenmesi gerekecektir.

#### 4.9.5 Arazi Kayıtları

Ankrajlarla ilgili iki adet tutanak hazırlanacaktır:

Tutanaklardan birincisi delme, ankraj yerleştirilmesi ve enjeksiyonlarla ilgili delme metodu, geçilen zeminler, makine cinsi ve modeli, delme yöntemi, delik çapı, eğimi ve uzunluğu, enjeksiyon cinsi, miktarı, su/çimento oranı, çimento cinsi ve diğer gerekli bilgileri kapsayacaktır.

İkinci tutanak ise öngerme işlemi ile ilgili olup, ankraj boyu, serbest boyu, kök boyu, öngörme demeti, çapı, tipi, adeti, elastik modülü, germe krikosu, tipi, modeli, kapasitesi, her yük kademesindeki deplasman okumaları, yük-deplasman grafiği, elastik ve plastik uzama miktarları, kilitleme yükü, ve gerekli diğer bilgileri kapsayacaktır.

Tutanakların tümü arazide hazırlanacak ve yerinde, Kontrol Mühendisine imzalatılacaktır. Kontrol Mühendisinin şartnameye uygun bulmadığı ankrajlar için ödeme yapılmayacak ve bu ankrajlar yenilenecektir.

#### 4.9.6 Diğer Konular

Burada bahsedilmeyen konularda Amerikan ve İngiliz Standartları geçerli olacaktır.

#### 4.10 Uygulama

Proje yükü 60 ton olan bu ankrajların imali için önce 12.5 cm. çaplı delik delinmekte, ardından yukarıda hazırlanan her biri 0,6" çaplı 4 adet halattan oluşan demet kök ve tendon kısmının temizliği yapıldıktan sonra kuyuya indirilmektedir. Daha sonra su/çimento oranı 0,45' i geçmeyen karışım oranındaki enjeksiyonla kuyu doldurulmaktadır. Kullanılan çimento katkıli portlant çimento (KPÇ 42.5)' dur. Ayrıca viskozite ve priz hızlandırıcı olarak çimentonun % 1.12' si kadar katkı malzemesi (Rheobuild 1000) kullanılmaktadır. Enjeksiyonu tamamlanan ankrajlar enjeksiyon şerbetinin priz alması ve yeterli mukavemet alması ile 4 -7 tam gün sonra öngerme yapılabilecek duruma gelmektedir.

İmalatı yapılan ankrajın kabulü için arazide yükleme deneyleri yapılır. Yükleme ve kilitleme işlemlerinde kullanılacak makinelerin kalibrasyonu yetkili bir kuruma yaptırılmaktadır. Ankrajın kabul edilebilirliği, deneyle test edilirken bu durum bir arazi tutanağı ile gösterilir. Bu tutanak aşağıdaki şekilde (Şekil 4.5) görülmektedir. Bu tutanakta;

P : Proje yükü (burada 60 ton)

$P_{1,1}$  : Kilitleme yükü ( $P_{1,1} = 1,1 * P$ )

$\Delta L$  : Uzama miktarı

$\Delta L_o$  : İlk uzama okuması

$\Delta L_{min}$  : teorik minimum uzama

$\Delta L_{maks}$  : Teorik maksimum uzama

$\Delta L_{1,1P}$  : Proje yükünün 1,1 katında ölçülen uzama değeri

P. $\Delta L$  : Pratik uzama

T. $\Delta L$  : Teorik uzama

$l_{ser}$  : serbest tendon boyu (8 m.)

$l_{kök}$  : kök boyu (8 m.)

$l_{kr}$  : kriko boyu (0,75 m.)

$L_s$  : toplam serbest boy

$L_{Smaks}$  : Göçme olmaksızın gerçekleşebilecek maksimum uzama

A : 4 tane 0,6"lik halatın toplam kesit alanı

E : halat elastisite modülü ( $2.10^6$ )

olmak üzere;

$$L_s = l_{ser} + l_{kr} \quad (4.12)$$

$$L_{Smaks} = l_{ser} + l_{kr} + l_{kök}/2 \quad (4.13)$$

$$T.\Delta L = P_{1,1} * L_s / (A * E) \quad (4.14)$$

$$P.\Delta L = \Delta L_{1,1P} - \Delta L_o \quad (4.15)$$

$$\Delta L_{min} = 0,80 * T.\Delta L \quad (4.16)$$

$$\Delta L_{maks} = P_{1,1} * L_{Smaks} / (A * E) \quad (4.17)$$

olarak hesaplanmaktadır. Kabul için gerekli koşul ise aşağıdaki gibidir:

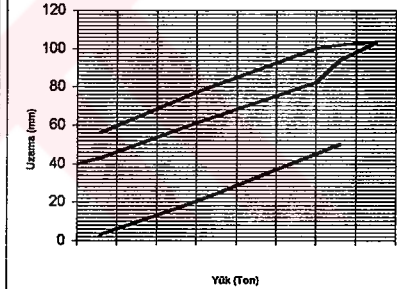
$$\Delta L_{min} < \Delta L_{1,1P} < \Delta L_{maks} \quad (4.18)$$

Yani, deneyde her iki yükleme kademesi için ayrı ayrı bulunan pratik uzama değerlerinin, bu ankrajlar için hesapla bulunan teorik minimum ve maksimum uzama değerleri arasında kalması gerekir. Minimum değere yaklaşıklık söz konusuysa ankrajın fazla rijit olduğu, tersi olursa da sınırlmaya yaklaşıldığı düşünülmelidir.

|                                                   |                                                                                     |                                                                                                |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| YÜKSEL PROJE - LOUIS BERGER<br>ORTAK GİRİŞİMİ     | İSTANBUL BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ<br>İSTANBUL METROSU<br>UNKAPANI-TAKSİM ARASI İNŞAATI | TARİH<br>:30/09/99<br>ŞANTİYE<br>:ŞİŞHANE<br>İSTASYON<br>PERDE NO<br>:AD5<br>ANKRAJ NO<br>:E07 |
| YÜKSEL-GÜRİŞ-REHA-BAŞYAZICIOĞLU<br>ORTAK GİRİŞİMİ | ÖNGERMELİ ANKRAJ GERME<br>ARAZİ TESBİT TUTANAĞI                                     |                                                                                                |

| ANKRAJ BİLGİLERİ  | ÖN GERME DEMETİ | GERME KRIKOSU | NOT                                  |
|-------------------|-----------------|---------------|--------------------------------------|
| TOPLAM<br>BOY (m) | 13              | ÇAPI          | 0.6"                                 |
| KRIKO<br>PAYI(m)  | 0,75            | TİPİ          | 270K                                 |
| SERBEST<br>BOY(m) | 8,00            | ADEDİ         | 4                                    |
| KÖK<br>BOYU(m)    | 8,00            | E<br>MODÜLÜ   | 2.10 <sup>6</sup> kg/cm <sup>2</sup> |
|                   |                 | KAPASİTESİ    | 700                                  |
|                   |                 | PİSTON ALANI  | 95.03 cm <sup>2</sup>                |

| Yük-Uzama<br>Okumaları | Basınç<br>kg/cm2 | Ton | Ölçüm (mm) |          |           | Süre<br>Dakika | Uzama<br>(mm) |
|------------------------|------------------|-----|------------|----------|-----------|----------------|---------------|
|                        |                  |     | yükleme    | boşaltma | kilitleme |                |               |
| T <sub>0</sub>         | 0                | 0   | 41         |          | 28        | 1              |               |
| 0.10 T                 | 40               | 6   | 43         | 55       | 34        | 1              | 6             |
| 0.50 T                 | 200              | 30  | 62         | 78       | 54        | 1              | 20            |
| 1.00 T                 | 410              | 60  | 91         | 102      | 81        | 1              | 27            |
| 1.10 T                 | 450              | 66  | 98         | 106      | 86        | 1              | 5             |
| 1.25 T                 | 510              | 75  | 107        |          |           | 5              |               |
| 1.25 T                 | 510              | 75  | 107        |          |           | 5              |               |
| 1.25 T                 | 510              | 75  | 107        |          |           | 5              |               |
| TOPLAM                 |                  |     |            |          |           |                | 58            |



|                     |          |                              |
|---------------------|----------|------------------------------|
| Kilitleme Yüğü=     | 66,0 ton | (1.1P YÜKÜ)                  |
| TΔL=                | 51,56 mm | (TEORİK UZAMA)               |
| PΔL=                | 57,0 mm  | (YÜK ETKİSİNDE GERÇEK UZAMA) |
| ΔL <sub>min</sub> = | 41,25 mm | (MİNİMUM UZAMA)              |
| ΔL <sub>max</sub> = | 75,13 mm | (MAKSİMUM UZAMA)             |

Kabul Koşulu:  $\Delta L_{min} < \text{gerçek uzama} < \Delta L_{maks.}$   
 $41,25 < 57,0 < 75,13$

**SONUÇ: KABUL**

|       |           |
|-------|-----------|
| TARİH | YÜKLENİCİ |
|       |           |

|       |         |
|-------|---------|
| TARİH | KONTROL |
|       |         |

**Şekil 4.6** Ankraj Kabul Edilebilirlik Deneyi Arazi Tespit Tutanağı

Şekil 4.5' teki arazi tutanağı örneğinde görülen ankrajda 1. Yüklemede toplam pratik uzama  $98-41 = 57$  mm., 2. yüklemede toplam pratik uzama  $86-28 = 58$  mm. okunmuştur ve bu değerler teorik sınırlar olan 41.25 ile 75.13 mm. arasındadır, emniyetli bir sonuçtur, ankraj kabul edilmiştir. Bu sonuç aşağıda Tablo 4.8' de özetlenmiştir.

**Tablo 4.8** 1,1P Yüğü Esas Alınarak Yapılan Ölçüm ve Değerlendirme

|            | $\Delta L_{1,1P}$<br>(ölçülen) mm. | $\Delta L_{min.}$ (teorik)<br>mm. | $\Delta L_{maks}$ (teorik)<br>mm. | Sonuç |
|------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------|
| 1. YÜKLEME | $98 - 41 = 57$                     | 41.25                             | 75.13                             | KABUL |
| 2. YÜKLEME | $86 - 28 = 58$                     | 41.25                             | 75.13                             | KABUL |

#### 4.10.1 Yapılan Hesap ve Kabullerin Kritiği

Yukarıdaki tüm hesaplarda görülmektedir ki, ankrajın teorik olarak beklenen yada pratikte test ile gözlenen ve karşılaştırılarak ankrajın kabulü yada reddine esas oluşturan tüm deformasyon değerleri 1,1 P yüküne karşı gelen değerlerdir. Oysaki yabancı standartlarda bu karşılaştırma daha kritik bir durumu yansıtabilen ve ileriye dönük daha emniyetli sonuç veren 1,25P yüküne göre yapılmaktadır.

Yukarıda 1,1P yüküne göre emniyetli bir sonuç veren aynı ankraj için 1,25P yüküne göre test yapılmış olsaydı bu defa teorik alt sınır 60 mm. üst sınır 90 mm. ve toplam pratik uzama ise 66 mm .olarak bulunacaktı. Bu durumda ankraj kabul deneyi için test ve değerlendirme sonuçları aşağıdaki Tablo 4.9' deki gibi olacaktı:

**Tablo 4.9** 1.25P yükü esas alınarak yapılan ölçüm ve değerlendirme

|         | $\Delta L_{1,1P}$<br>(ölçülen) mm. | $\Delta L_{min.}$ (teorik)<br>mm. | $\Delta L_{maks}$ (teorik)<br>mm. | Sonuç |
|---------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------|
| YÜKLEME | $107 - 41 = 66$                    | 60                                | 90                                | KABUL |

Buradan görülüyor ki 1,25P yüküne göre yapılacak testte ankraj güvenilirlik aralığında kalmakla birlikte red sınırına yaklaşmış bulunmaktadır. Aşağıda Tablo 4.10 ve Tablo 4.11’ de Konkors – 1 yapısında değişik duvarlardan seçilen ankraj deneylerinde değerlendirme yapılırken alınan 1.1P yükü değerleri ile aynı deneylerin sonuçları eğer 1.25P yüküne göre değerlendirilse çıkacak sonuç verilmiştir. Kritik durum gösteren bir ankraj testine rastlanmamakla birlikte değerlendirmelerin 1.25P yüküne göre yapılması gereği aşıkardır.

**Tablo 4.10 1.1P Yükü Esas Alınarak Yapılan Hesap ve Değerlendirme**

|            | Minimum uzama<br>(mm)                                       | Maksimum uzama (mm)                                                              | Ölçülen<br>uzama<br>(mm)                          | Sonuç                                                               |
|------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Ankraj no: | $\Delta L_{\min} = 0.8 \frac{P_{1.1} \cdot L_s}{A \cdot E}$ | $\Delta L_{\min} = 0.8 \frac{P_{1.1} \cdot (L_s + l_{\text{kök}}/2)}{A \cdot E}$ | $P \cdot \Delta L = \Delta L_{1.1P} - \Delta L_o$ | $\Delta L_{\min} < P \cdot \Delta L < \Delta L_{\max}$<br>ise kabul |
| AD5/E07    | 41,25                                                       | 75,13                                                                            | 57                                                | kabul                                                               |
| AD5/F15    | 69,53                                                       | 110,49                                                                           | 86                                                | kabul                                                               |
| AD1A/B8    | 36,54                                                       | 69,24                                                                            | 42                                                | kabul                                                               |
| AD5/E05A   | 76,07                                                       | 116,52                                                                           | 93                                                | kabul                                                               |
| AD12/B05   | 55,39                                                       | 92,81                                                                            | 74                                                | kabul                                                               |
| AD4/D01    | 31,82                                                       | 63,35                                                                            | 56                                                | kabul                                                               |
| AD5/E04    | 41,25                                                       | 75,13                                                                            | 63                                                | kabul                                                               |
| AD4/C02    | 36,54                                                       | 69,24                                                                            | 50                                                | kabul                                                               |
| AD5/E04    | 41,25                                                       | 75,13                                                                            | 63                                                | kabul                                                               |

**Tablo 4.11 1.25P Yükü Esas Alınarak Yapılan Hesap ve Değerlendirme**

|            | Minimum uzama<br>(mm)                                        | Maksimum uzama<br>(mm)                                                            | Ölçülen<br>uzama<br>(mm)                           | Sonuç                                                               |
|------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Ankraj no: | $\Delta L_{\min} = 0.8 \frac{P_{1.25} \cdot L_s}{A \cdot E}$ | $\Delta L_{\min} = 0.8 \frac{P_{1.25} \cdot (L_s + l_{\text{kök}}/2)}{A \cdot E}$ | $P \cdot \Delta L = \Delta L_{1.25P} - \Delta L_o$ | $\Delta L_{\min} < P \cdot \Delta L < \Delta L_{\max}$<br>ise kabul |
| AD5/E07    | 60,00                                                        | 90,00                                                                             | 66                                                 | kabul                                                               |
| AD5/F15    | 79,29                                                        | 125,89                                                                            | 101                                                | kabul                                                               |
| AD1A/B8    | 41,79                                                        | 79,02                                                                             | 51                                                 | kabul                                                               |
| AD5/E05A   | 86,38                                                        | 132,31                                                                            | 108                                                | kabul                                                               |
| AD12/B05   | 62,95                                                        | 105,47                                                                            | 86                                                 | kabul                                                               |
| AD4/D01    | 36,16                                                        | 71,99                                                                             | 65                                                 | kabul                                                               |
| AD5/E04    | 46,88                                                        | 85,38                                                                             | 73                                                 | kabul                                                               |
| AD4/C02    | 41,52                                                        | 78,68                                                                             | 59                                                 | kabul                                                               |
| AD5/E04    | 46,88                                                        | 85,38                                                                             | 73                                                 | kabul                                                               |

Bu test prosedürünün ikinci bir handikapı, işin teknik şartnamesinde de mevcut olan proje yükünün 1,25 katına kadar ankrajın 2 kere yüklenmesi ve bu 2 yüklemenin ardından proje yükünün 1,1 katına kilitlemenin gerçekleştirilmesi gereğidir. Ancak arazide işlerin hızlı yürütülmesi gibi bir amaçla kritik bir durum ortaya çıkmadıkça proje yükünün 1,25 katına sadece 1 kere çıkmıştır. Yüklenici firmalar 2. kez yüklemeyi zaman kaybı olarak görmektedirler. Bu durum, kabul prosedürünü sağlıksız kılan bir etken olmaktadır.

İşin Teknik Şartnamesinin gerektirdiği, arazi kabul tutanağında da gerçekleşmiş olarak kaydı bulunan ancak pratikte yerine getirilmeyen bir diğer husus ta 1,25P yükünde 15 dakika bekleme gereğidir. Yukarıdaki paragrafta değinilen gerekçeyle uygulamacılar bu 15 dakikayı da 5 dakikaya indirmektedirler. Krip etkisinin tam olarak ortaya çıkması için Alman Standartları'nda (DIN 4125 (1990)) geçici ankrajlarda krip deneyinde;

- Kohezyonsuz zemin ve kayada 5. ve 15. dakikalar arası deformasyon artışı 0,5 mm.yi,
- Kohezyonlu zeminde ise 5. ve 30. dakikalar arası 0,8 mm.yi geçmemelidir.

Her iki değer yaklaşık 1 mm. ve daha az krip hareketini verir. Eğer bu değerler aşılmamışsa krip değerine son verilebilir.

Buradan da görüldüğü gibi kayalarda teşkil edilen geçici ankrajlar için uzun süreli bir krip deneyi gerekli değilse de en azından Alman Standartlarında varolan ve işin özel teknik şartnamesinde de bulunan; deney esnasında “maksimum yükte kalma süresi” olan 15 dakikanın sağlanması gerektiğidir. Önceki deneyimlere dayanarak bu sürenin 1-2 dakika ya da en fazla 5 dakika tutulması doğru değildir.

İmalat aşamasında karşılaşılan bir başka problem, ankraj germesinde çeşitli sebeplerle meydana gelebilen gecikmelerdir. Yukarıda değinildiği gibi ankrajların, enjeksiyon karışımının priz ve mukavemet kazanma süresiyle bağlantılı olarak 4 ila 7 gün sonra gerilmesi gerekmektedir. Çünkü ankraj imalatı; gerek tutacağı duvar anosunun kalıp ve betonlaması için yapılan hafriyat sırasında ve gerekse ankraj kuyusunun delgisi sırasında zeminin örselendiği bir imalattır. Ankraj, ancak germe

işlemi tamamlandıktan sonra ortam için bir yük dengeleyicisi olabilmektedir. Germenin de geciktirilmeden, zemin ortamında çatlak veya deformasyona sebep olmadan tamamlanması gerekir. Ancak imalat sırasında birçok ankrajda bu germelerin çeşitli sebeplerle (germe makinasının başka şantiyelere gitmiş olması, makinada arıza olması, sahada çeşitli çalışmaların bu işlemi yapmak üzere ankraja erişimi imkansız kılması vs.) yapılması gereken zamandan daha geç yapıldığı gözlenmiştir. Hatta bu germelerin AD4 perdesindeki kimi ankrajlarda ancak 1.5-2 ay sonra gerçekleşmesi söz konusu olmuştur. Bu durum deformasyonların tetiklenmesi için bir başlangıç sebebi olabilmektedir. Aşağıda Tablo 4.12' de AD4 ve 5 no.lu perde duvar ankrajları için arazide betonlama ile germe arasında geçen sürelerinin tespiti verilmektedir.

Tablodan da görüldüğü gibi AD 4 perdesinde D sırasında 1 ve 2, E sırasında ise 4-10 arası anoların geç gerilmesi söz konusu olmuştur. Bu durum sistemin göçmeye karşı güvenliğini olumsuz etkileyerek, deformasyona neden olabilecek bir durum ortaya çıkarabilecek niteliktedir. Nitekim bu duvarda 45 mm. mertebesinde inklinometre okumaları alınmıştır.

İmalat prosedüründe bir başka gereklilik, ankraj yapılacak perdede bir ankrajın tutacağı duvar anosunun hafredilip betonlanması ve ankraj imalatı yapılması, sonra bu anoyu bir atlayarak bir başka ano için bu işlemin gerçekleştirilmesi, aradaki anonun hafriyatına ancak bu iki anonun germeleri tamamlanıp ortam belirli bir güvenliğe ulaştırıldıktan sonra başlanmasıdır. Birden fazla anonun aynı anda açılması, beraber kalıp ve beton imalatı yapma imkanı ve dolayısıyla işlem hızı kazandırmakla birlikte, kazılıp önü açılmış ve desteklenmemiş zemin birimlerinin miktarını arttırması sebebiyle, ortamda deformasyon eğilimi doğurabilmektedir. Bu sebeple bu hususa arazide özellikle dikkat etmek gerekir. Ne yazık ki bu çalışma kapsamındaki ankrajlı duvar imalatı sırasında, 2 anonun aynı anda kazılması durumuna rastlanmıştır. Tablo 4.12' deki betonlama tarihleri incelendiğinde; örneğin D01 ve 02, D03 ve 04, D05 ve 06,... ve birçok ano için, iki anonun aynı anda kazılması ve riskli bir bölgede birden fazla anonun aynı anda desteklenmeden açıkta kalması durumu söz konusu olmuştur. Bu da tasarımda bir eksiklik olmasa da imalattan kaynaklanan zafiyetler doğurabilecek bir durumdur.

**Tablo 4.12** Ankraj imalatları ile germeleri arasında geçen sürelerin listesi

| Sıra no | Duvar no | Ano no | Ankraj boyu (m) | Beton tarihi | Germe tarihi | Betonlama ile germe arasında geçen süre (gün) |
|---------|----------|--------|-----------------|--------------|--------------|-----------------------------------------------|
| 1       | AD4      | D01    | 14              | 10.08.1999   | 16.10.1999   | 66                                            |
| 2       | AD4      | D02    | 14              | 10.08.1999   | 16.10.1999   | 66                                            |
| 3       | AD4      | D03    | 14              | 02.07.1999   | 10.07.1999   | 8                                             |
| 4       | AD4      | D04    | 14              | 02.07.1999   | 10.07.1999   | 8                                             |
| 5       | AD4      | D05    | 14              | 17.06.1999   | 28.06.1999   | 11                                            |
| 6       | AD4      | D06    | 14              | 17.06.1999   | 28.06.1999   | 11                                            |
| 7       | AD4      | D07    | 14              | 29.06.1999   | 06.07.1999   | 7                                             |
| 8       | AD4      | D08    | 14              | 29.06.1999   | 06.07.1999   | 7                                             |
| 9       | AD4      | D09    | 14              | 17.06.1999   | 28.06.1999   | 11                                            |
| 10      | AD4      | D10    | 13              | 17.06.1999   | 28.06.1999   | 11                                            |
| 11      | AD4      | D11    | 13              | 28.06.1999   | 06.07.1999   | 8                                             |
| 12      | AD4      | D12    | 13              | 20.06.1999   | 28.06.1999   | 8                                             |
| 13      | AD4      | D13    | 13              | 29.06.1999   | 06.07.1999   | 7                                             |
| 14      | AD4      | D14    | 13              | 29.06.1999   | 06.07.1999   | 7                                             |
| 15      | AD4      | D15    | 15              | 20.06.1999   | 28.06.1999   | 8                                             |
| 16      | AD4      | D16    | 15              | 20.06.1999   | 28.06.1999   | 8                                             |
| 17      | AD4      | D17    | 15              | 29.06.1999   | 05.07.1999   | 6                                             |
| 18      | AD4      | D18    | 15              | 29.06.1999   | 05.07.1999   | 6                                             |
| 19      | AD5      | E04    | 16              | 31.07.1999   | 13.10.1999   | 73                                            |
| 20      | AD5      | E05    | 16              | 20.07.1999   | 13.10.1999   | 84                                            |
| 21      | AD5      | E06    | 16              | 20.07.1999   | 13.10.1999   | 84                                            |
| 22      | AD5      | E07    | 16              | 20.07.1999   | 04.10.1999   | 75                                            |
| 24      | AD5      | E09    | 16              | 18.07.1999   | 04.10.1999   | 77                                            |
| 25      | AD5      | E10    | 14              | 17.07.1999   | 04.10.1999   | 78                                            |

## **4.11 Ankrajlı Perde Duvarlarla Desteklenmiş Açık Kazılarda Deformasyon Ölçümleri**

### **4.11.1 İnklinometre**

Diğer adıyla eğim ölçer, duvarın arkasındaki düşey doğrultuda 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 duvarlarına dik olan doğrultu ankrajlı yapının davranışı açısından önemli olmaktadır. Bu aygıt ile duvar arkasındaki ortamın zamana göre davranış profili çıkarılabilmektedir. Bu yöntemin 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.

Şişhane istasyonu Konkors-1 yapısı AD4-5-6 duvarındaki deformasyon ölçümleri için kullanılan geoteknik ölçüm aparatının şematik yerleşim planı Şekil 4.6' da verilmektedir.

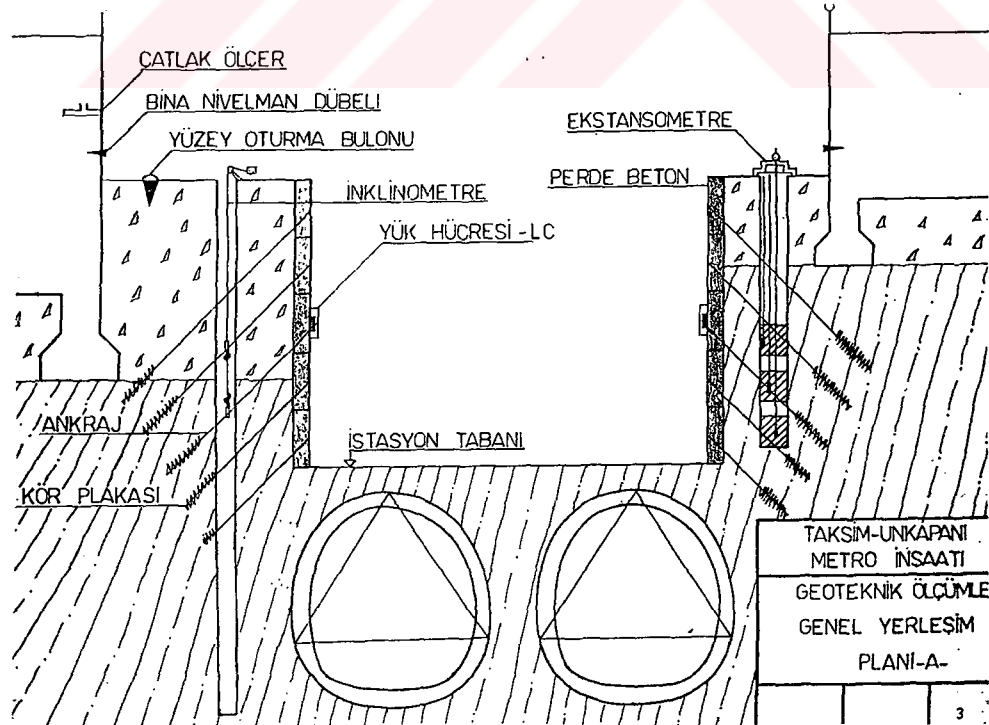
### **4.11.2 Ekstansometre**

Bir ucu istenilen yere sabitlenerek diğer ucunda bulunan ve üzerine ölçme saati bağlanarak okuma alınmasına olanak sağlayan kafa arasında gerili bulunan tellerden oluşan bir düzendir. Bu aygıt ile genelde zeminde meydana gelen oturma miktarı ölçülürken oldukça sorunlu bir bölgede kullanılmış olan ankraj sistemlerinin yataydaki hareketlerini belirlemek için uygulanmaktadır. Ankraj sisteminin kök bölgesine kadar ankraj sistemine paralel olarak yapılan delgi ile ekstansometrenin bir ucu uzatılır ve bu bölgede kök boyunun çeşitli noktalarında belirli aralıklarla sabitlenir. Diğer ucu ise ankrajlı duvara sabitlenerek bu kafa üzerinden periyodik

olarak alınan ölçümler ile kök bölgesinin neresinin hangi yük değerinde ne kadar hareket ettiği belirlenir. Bu okuma değerleri düzenli olarak da alınarak ankraj sisteminin kök bölgesinin zaman içindeki davranışı ve eğer göçme oluşuyorsa bunu enjeksiyon – zemin arası bağ dayanımının aşılması nedeniyle oluştuğunun anlaşılabilmesi sağlanır.

#### 4.11.3 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 yer değiştirmesi nedeniyle, duvar arkasındaki ortamın hareketi ve dolayısıyla binada meydana gelebilecek olası yerdeğiştirme ve oturmanın ilk hareketle belirlenebilmesi sağlanmıştır. Özellikle ankraj sistemi kök bölgesinin, taşıyıcı sistemleri ve temel ayakları altına gelen binalara uygulanmıştır. Düzenli aralıklarla yapılan okumalar ile çatlak ölçerlerin bağlı olduğu yapılarda meydana gelen yer değiştirmelerin izlenmesi sağlanmıştır.



Şekil 4.7 Geoteknik ölçüm aparatının istasyon civarında şematik yerleşimi

#### **4.11.4 Yük Hcreti**

Ankraj elemanları yerleştirilirken, ankraj sistemine yk uygulanmadan önce baēlanır ve yk uygulanıp kilitleme yapılması ile ankraj sistemine baēlanır. Ankraj sistemi sökülmeden çıkarılamayan bu alet ile ankraja uygulanmış olan yükün zamanla deēiřiminin gözlemlenebilmesi saēlanmaktadır. Genelde ankrajlı destek sisteminde belirlenmiş olan kritik noktalara yerleştirilmiş olan bu aygıttan aralıklı olarak yk okumaları alınır. Belirlenmiş olan kritik noktalar, özellikle duvar arkasında yk artışlarının oluşmasına neden olabilecek yerlerdir. rneēin kazı duvarına çok yakın ve elverişsiz bir yerde bulunan bir yapının altındaki ankrajlardan bazılarına baēlanmıştıř (şekil 4.6). Herhangi bir nedenden dolayı ankraj sistemine etkiyen yükün artışı veya ankraj sisteminin kök bölgesinde, elemanlarında meydana gelebilecek bir göçme nedeniyle yk düşüşü bu hücrelerden alınan okumalar ile izlenebilir.

#### **4.11.5 Reflektörler**

evre binalara ya da ankrajlı duvarın herhangi bir noktasına tespit edilen bir elik ubuēun üzerinden her gün alınan optik okumalarla zaman içinde meydana gelen 2 boyutlu yer deēiřtirmelerin alındıēı ölçüm elemanlarıdır.

şişhane İstasyon açık kazı destek sisteminde gerek ankrajlı perde duvarında, gerekse evre binalar çok sayıda reflektör tesis edilmiştir (şekil 4.6).

Projenin en büyük avantajı, yeterli sayıda çeşit ve sayıda geoteknik ölçüm aygıt ve aparatlarını içermesidir. Kritik bulunan her ortam için gerekli her türlü ölçüm imkanına sahip olunmuştur.

### **4.12 Trakya Formasyonunda Ankraj Uygulaması İçin Kabul Edilebilir Duvar Deplasman Sınırı**

Ankrajlı perde duvar, palplanş ve kazıklı duvarların gerek deplasmanları, gerekse oluşan zemin yükleri geoteknik mhendisliēinin karmaşık konuları arasında yer

almaktadır. Duvar deplasmanları; yeraltı suyu durumu, yer altı su seviyelerindeki değişimler, kazının derinlik ve şekli, duvar tipi ve rijitliği, inşaat hızı, yöntemi ve inşaat esnasındaki diğer aktiviteler, sürşarj yükleri, ankraj tipi ve imalat kalitesi ve öngerme yükü mertebesi gibi birçok faktöre bağlıdır. Bütün bu faktörleri kapsayan analizlerin yapılarak oluşan mekanizmanın analitik olarak izah edilmesi çoğu kez mümkün olamamaktadır. Bu durumda yük ve deplasman ölçümleri genellikle literatürde verilen genel kriterler ile kontrol edilmekte ve tehlike işaret eden eğilimler bu kriterler vasıtasıyla kontrol edilmektedir.

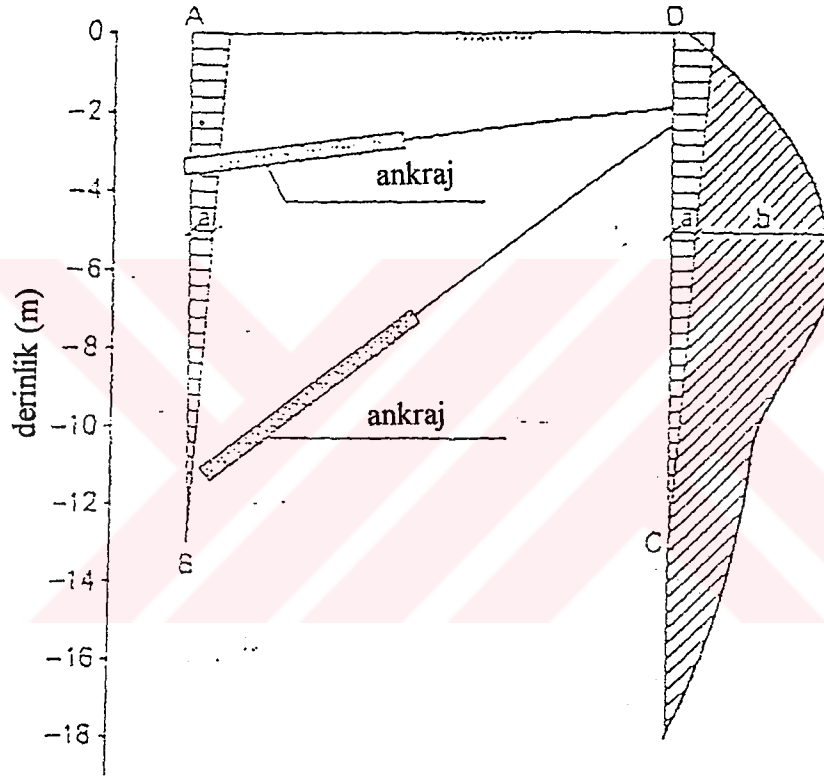
Clough ve Rourke [23] inşaat süresince duvarlarda oluşan maksimum yatay ve düşey deplasmanlara ait çok sayıda ölçümleri istatistiksel olarak değerlendirmiş ve genel eğilimlerle ilgili önerilerde bulunmuşlardır. Buna göre; ölçüm noktaları büyük dağılım göstermekle birlikte maksimum yatay deplasmanların duvar yüksekliğinin %0,5' ine kadar çıkabildiği, ortalama olarak % 0,2' si mertebesinde olduğu söylenebilir. Benzer şekilde duvar gerisindeki maksimum düşey deplasmanların kazı derinliğinin % 0,5' ine kadar çıkabildiği ve ortalama % 0,15' i mertebesinde olduğu belirtilmektedir. Yapılan sonlu eleman analizleri bu gözlemlerle uyum içersindedir. Bu çalışma sonucunda açık kazılarda kazı yüksekliğinin % 0,2' si mertebesinde yanal deplasmanın beklenen olduğu, bundan daha büyük deplasmanların da oluşabileceği anlaşılmaktadır.

#### **4.13 Ankraj Grubunun Bir Blok Halinde Davranabilme Özelliği**

Ankrajlarla güçlendirilmiş zemin kütlelerinin ankraj kökleri arkasında oluşan sükunetteki ve aktif toprak itkileri etkisiyle bir blok şeklinde davranarak deplase olabileceği ihtimali Koolstra ve Beringen (1984) tarafından da ortaya konmuştur. Bu hususu aşağıdaki şekille göstermişlerdir. İnklinometre okumaları duvarın blok şeklindeki hareketlerini de dönme olarak yansıtması söz konusudur. Aşağıdaki şekil bu durumu açıkça yansıtmaktadır (Şekil 4.7) [24].

Bir tek ankraj ele alındığında enjeksiyon-zemin arasındaki bağın kuvvetli olması ve ankraja uygulanan öngerme yükünü taşıması yeterlidir. Ancak aynı boyda, aynı sırada, aynı açılı bir dizi ankraj, herbiri gerekli taşıma kapasitesine sahip ankrajlar olsa dahi, zemine beraberce iletilen yükün kök hattı boyunca yapay bir fay hattı

oluşturabileceği ihtimal dahilindedir [25]. Oluşturulan bu yapay fay hattı veya ankraj sisteminin bir bütün olarak davranışındaki yetersizlik nedeniyle duvar arkasındaki kitle hareketi, zeminde kazı kenarına paralel çatlaklar şeklinde kendini gösterebilmektedir. Özellikle kök bölgesi asfalt yolların altına gelen kazılarda, asfalt üzerinde bu çatlaklar rahatlıkla görülebilmektedir. Ankrajların, daha geniş bir alana, zeminde daha düşük gerilme değerleri oluşturacak şekilde yerleştirilmesi, ankraj serbest boylarının yatayda şaşırtmalı olarak yerleştirilmesi ve düşeyde de yine şaşırtmalı olarak ve de farklı açılarda imal edilmesi bu problemi önleyecektir.



a = ABCD zemin  
blokunun hareketi

b = zemin basıncı etkisiyle  
oluşan deplasman

$a + b$  = duvarın toplam  
hareketi

**Şekil 4.8** Koolstra ve Beringen (1984)' ce ortaya konan zeminin blok halinde davranışından ileri gelen deformasyon ve toplam deformasyon

#### 4.14 Arazide Yaşanan Deformasyon Problemi

Gerek Bölüm 4.10’ da açıklanan hata ve eksiklikler, ve gerekse Bölüm 4.13’ de ortaya konan ihtimal sebebiyle Şişhane İstasyonu açık kazısında AD-4 duvarında 1999 yılı temmuz ayı sonunda bir deformasyon başlamıştır. Zeminin açık kazıya doğru hareketi söz konusu olmuş ve bu durum açık kazının çok yakınında bulunan çevre binalarda oturmalar meydana getirmiştir. Zemin parametrelerini ortaya koyan yeterince sondaj ve deneyin varlığına ve tasarımıda gerekli emniyet sağlanarak hesap yapılmış olmasına rağmen oluşum sebebi tam olarak anlaşılamayan ve ilgililerince net olarak ortaya konamayan bu deformasyon ilerlemesinde, bu tez çalışması kapsamında yukarıda belirtilen hususların başlatıcı etken olduğu savunulmaktadır. Proje kapsamında yeterli geoteknik ölçüm imkanının varlığı, başlayan bu deplasmanlarda, en azından henüz çok ilerleme oluşmadan durumu tespit etme ve önlem alma şansı sağlamıştır. İnklinometre ölçümleriyle duvar arkasında açık kazıya doğru 5 cm.lik bir yatay deplasmanın olduğu saptanmıştır (Ek Şekil E 1-7). Duvar üzerindeki çeşitli anolara yerleştirilmiş olan reflektörlerle yapılan optik okumalarla, duvarın düşeyde 3 cm. deplasman yaptığı tespit edilmiştir (Ek Şekil F.1-5). Çevre binalara yerleştirilen bina nivelman ölçüm bulonlarıyla, başlayan deformasyonun çevre binalara etkisi ölçülmüş, yakın binalarda yaklaşık 3 cm. oturmalar okunmuştur (Ek Şekil G.1). Aynı zamanda ankraj kafasına yerleştirilen diskli yük hücresiyle de (load cell) ankraj sisteminin maruz kaldığı yükün değişimi okunmuştur (Ek Şekil H.1).

Kazı derinliği  $H = 13$  m. olduğundan  $S/H = \% 0.4$  mertebesinde bir deplasman oranı söz konusudur. Dolayısıyla deplasmanlarda henüz olağandışı bir mertebe izlenmemiştir. Bununla beraber deplasmanların beklenen sınırların üst limitine yaklaşması eğilimi imalatın dikkatli ve sürekli kontrol edilerek yapılmasını ve daha kötü durumlar oluşmadan tedbir almayı zorunlu kılmıştır.

#### 4.15 İlgililerin Yorum ve Değerlendirmeleri

Düşeyde devam eden kazıya ara verilmesine rağmen 0,25 mm/gün.lük bir hızla deformasyonların devam etmesi için ilgililerini durumu yeniden tanımlamaya ve

ekstra tedbirler almaya zorlamıştır. Durum tespiti ve önlemler içeren bu rapor aşağıda verilmektedir [26] :

Ankraj kabul testleri sonuçları proje servis yüklerinin ankrajlar tarafından güvenli olarak karşılanabildiği şeklindedir. Ayrıca ankrajlara yerleştirilen yük hücrelerinde kökten sıyrılmaya işaret edecek bir belirti yoktur. Kasım 1999 tarihinde yapılan ankraj kontrol deneylerinde operatif ankraj yüklerinin kilitleme yükleri ile uyumlu olduğu belirlenmiştir. Ankraj halatlarının ölçülen 50 mm. mertebesinde ilave uzaması (ankrajların zorlanması) halatların kopma noktasına gelmesi anlamına geleceğinden ve böyle bir durum mevcut olmadığından olası değildir. Bu durumda ankrajların işlevleri ile ilgili bir sorun yaşanmadığı yorumu yapılabilmektedir.

Perde imalatı esnasında AD4 no.lu duvar E sıra ankrajlarının bir bölümü (E4 – E19) kazı yapılmasından sonra yaklaşık 1 ay – 2.5 aylık sürelerden sonra gerilmiştir. İmalattaki bu gecikmenin deplasmanların diğer duvarlara oranla biraz daha fazla olmasına bir miktar katkıda bulunabilmesi olası dahilindedir. Ancak bu ankrajların gerilmesinden sonra hareketlerin biraz daha düşük hızla olmakla birlikte devam etmesi deplasmanların oluşumunun sadece bu gecikme ile ilintili olmadığını göstermektedir.

İnclinometre okumalarında kazı yüksekliği içerisinde bir zaafiyet veya kayma yüzeyinin kopma eğiliminde olduğu görülmemektedir. Bu durumda duvar gerisinde bir kama oluşarak stabilite bozukluğu yarattığı yönünde bir yorum yapmak mümkün değildir.

Grovak birimleri genellikle çok değişken jeolojik yapı sergilemekte, yer yer çok sağlam kayaç görünümüne yer yer ise aşırı ayrışma, killeşme gösteren ezilme zonlarını içermektedir. Böyle karmaşık yapıdaki bir kayacın davranışlarında bölgesel farklılıklar her zaman beklenebilir. Ayrıca AD4 ve AD6 duvar bölgelerinde diğer duvarlara oranla bir miktar fazla olan deplasmanların bu bölgede açılmış olan tünel kazıları ile de ilintili olması söz konusudur. Nitekim AD6 duvarı üzerindeki 8 no.lu röper noktasındaki izlenen göreceli olarak daha fazla olan deplasmanın bu noktanın mevcut tünele en yakın röper olmasından kaynaklandığı düşünülebilir.

AD4 duvarında D ve E sıralarındaki ankraj aralarına girilerek yeniden teşkil edilen 25 m. uzunluğunda ilave ankrajlar deplasman hızlarında kısmi bir azalma yaratmakla birlikte deplasmanların düşük hızlarla da olsa devam etmesi uzun ilave ankrajların etkili olduğu kütle içerisinde herhangi bir zafiyetin olmadığına işaret etmektedir.

Deplasmanlarla ilgili diğer bir olasılık ankrajların oluşturduğu donatılı kütlelerin bu kütle arasındaki zemin yanal itkileri ile topyekün hareket etmesidir. Binalarda önemli bir hasarın oluşmaması hareketlerin böyle bir mekanizmadan kaynaklanabileceği hususunu gündeme getirmektedir. Ancak bu durumu teyit eden bir ölçüm veya veri yoktur. Böyle bir olasılıkta topyekün göçme riski olmayıp hareketlerle birlikte yanal etkilerde azalma olacağından sistem kendiliğinden dengeye ulaşabilecektir.

Bu yorumlardan aşağıdaki sonuçlar ortaya çıkmaktadır :

Deplasmanlar beklenen sınırlar içerisinde olmakla birlikte, beklenen limitlerin üst sınırlarına yaklaşma eğilimindedir. Bu durum kazıların bundan sonraki bölümünün dikkatli ve kontrollü yapılmasını öngörmektedir.

Oluşan hareketlerin mekanizmasının mevcut veriler ışığında ve ana kaya biriminin karmaşık yapısı nedeniyle bu aşamada kesin olarak saptanması mümkün olamamaktadır.

Ankrajların performansı ile ilgili veriler mevcut ankrajların işlevlerini yerine getirdiği yönündedir.

Kazının devamı mevcut alana ilaveten bir adet daha inklinometre teşkili, birkaç aksta derinlik boyunca yük hücreleri yerleştirilmesi, birkaç aksta röper noktalarının derinlik boyunca yerleştirilerek hareketlerin ne şekilde geliştiği (dönme/ötelenme vs.) ve hareket hızlarının kontrolü, kazı gerisinde çatlak v.s. gözlenmesi gibi sürekli gözlemlerle mümkün olabilecektir.

Bu aşamada bir zafiyet olup olmadığı kesin olarak saptanamamış olmakla birlikte projenin riskli ve kritik olması dikkate alınarak :

AD5 ve AD6 no.lu duvarda ankraj yatay aralığı ve boyları

|          |                      |                            |
|----------|----------------------|----------------------------|
| F sırası | $s = 2.0 \text{ m.}$ | $L = 16+8 = 24 \text{ m.}$ |
| G sırası | $s = 2.0 \text{ m.}$ | $L = 14+8 = 22 \text{ m.}$ |
| H sırası | $s = 2.0 \text{ m.}$ | $L = 14+8 = 22 \text{ m.}$ |
| I sırası | $s = 2.0 \text{ m.}$ | $L = 12+8 = 20 \text{ m.}$ |

AD 7 duvarında ankraj aralıkları ve boyları

|          |                      |                     |
|----------|----------------------|---------------------|
| H sırası | $s = 2.0 \text{ m.}$ | $L = 22 \text{ m.}$ |
| I sırası | $s = 2.0 \text{ m.}$ | $L = 20 \text{ m.}$ |

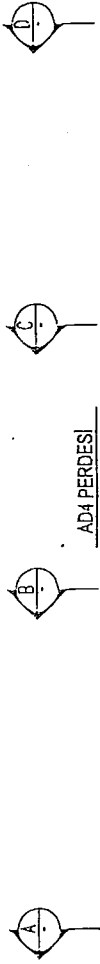
olan yeni ankrajlar teşkil edilmelidir (Şekil 4.8-9).

AD8 no.lu duvarda tünel giriş yapısı yer almaktadır. Bu duvarda tünel aynasının çivili püskürtme betonu ile geçilme riskli olup kazı tabanına kadar ankrajlı duvar devam ettirilmeli ve istasyonun kaba inşaatının tamamlanmasından sonra tünel kazısına geçilmelidir.

Bu duvarlarda kazı anoları şaşırtmalı olarak teşkil edilmeli, bir anoda ankraj yapılmadan komşu anoya geçilmemeli, bir sırada ankrajların tamamı gerilmeden alt sıra kazısı yapılmamalıdır.

Kazı çalışmaları süresince deformasyonlar ve yük hücreleri günlük olarak izlenmelidir.

**Sonuç olarak** görülmektedir ki Trakya formasyonunda imal edilen bu ankrajların uygulama aşamasında meydana gelen çeşitli faktörlerden kaynaklanan ve sebebi ilgili taraflarca net olarak tanımlanamayan bu deformasyonlar, projeye ekstra maliyetler ve riskler getirmiştir. Bu olayda sevindirici olan tek durum, problemin sadece maddi külfetlerle aşılmış olması, çevre yapıların yada insanların zarar görmemiş olmasıdır.



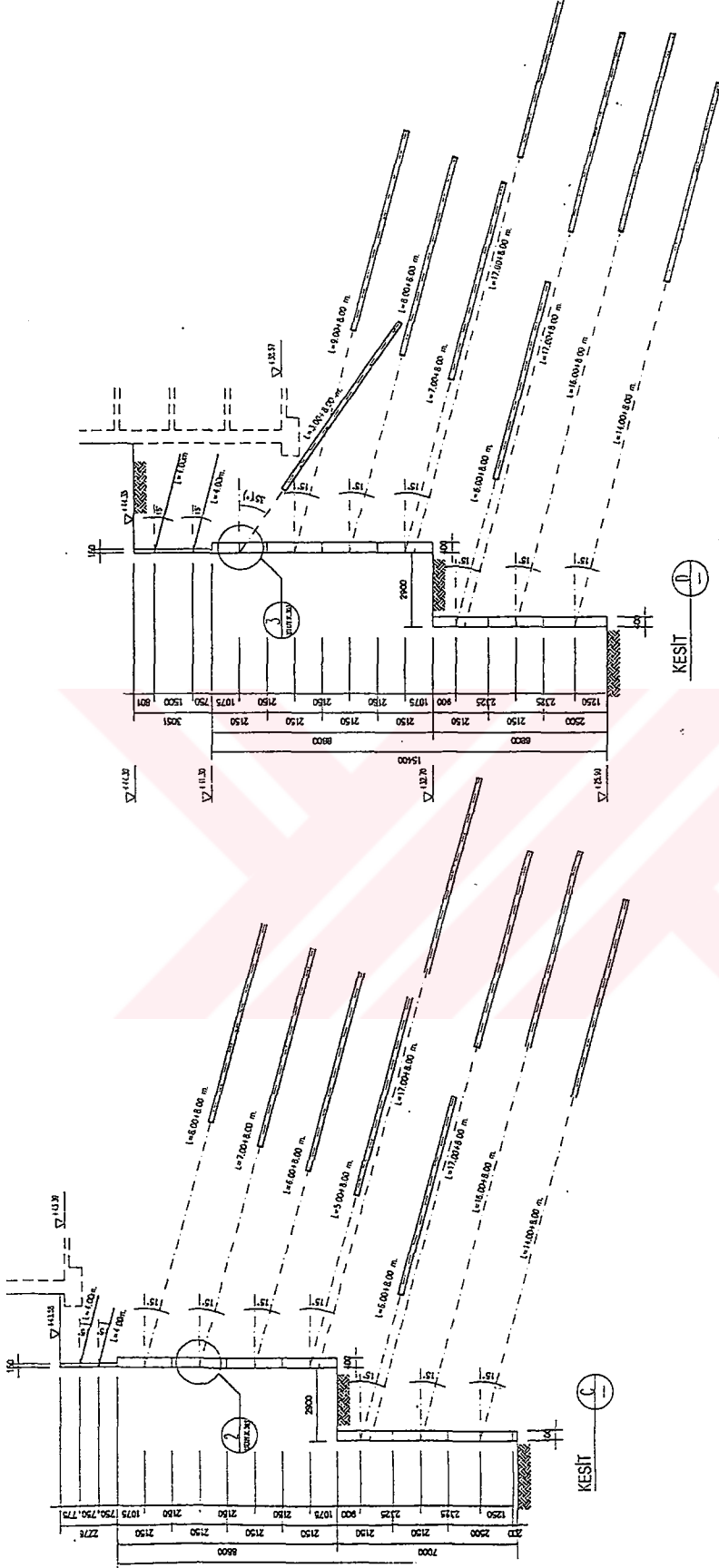
AD4 PERDESİ

AD6 PERDESİ



AD5 PERDESİ

Şekil 4.9 AD 4-5-6 perdesi ankrāj sistemi ve ilave ankrāj yerleşim detayı



Şekil 4.10 AD 4-5-6 perdesinde mevcut ve ilave ankrajların profili

## 5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Ankrajlı sistemlerin ülkemizde örnek olarak Trakya Formasyonundaki davranışlarını incelemek üzere yapılmış olan bu çalışmada, ülkemizde yapılan ankraj uygulamalarında kontrollerin, araştırmaların, deneylerin ve gözlemlerin yeterince özenli ve titiz yapılmadığı anlaşılmaktadır. Yabancı standartlardan yararlanarak yapılan bu çalışmada ankraj sistemlerinin imalatı, zemin koşulları, ankraj sisteminin bir bütün olarak tasarımı gibi konuların bir standart ile kontrol altına alınması gerekliliği görülmüştür. Yapılan bu çalışma sırasında karşılaşılan hata ve istenmeyen durumlar da bunun gerekliliğini göstermiştir.

Bu çalışmadan elde edilen bir başka sonuç, ankraj tasarımlarının elde bulunan ekipmanlara göre değil zemin koşullarına göre yapılması gerekliliğidir. Bir ankraj sisteminin en önemli bölgesini oluşturan kök bölgesinin bölüm 1.2.3' te açıklanmış olan ankraj tiplerine göre tasarlanmaması, ankraj sisteminin davranışını olumsuz etkiler 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, tasarım açısından eksik bir yaklaşım anlamına gelir. Ankraj sisteminin imalatları ile ankraj duvarı arkasında ankraj köklerinin yerleştirildiği bölgede istenmeyen etkilerin oluşmasına neden olmaktadır. Bu etkilerden en çok üzerinde durulması gereken, ankraj köklerinin bir hat boyunca oluşturulması nedeniyle meydana gelen blok hareketi etkisidir.

Ankraj sistemi tek başına düşünüldüğü zaman enjeksiyon – zemin arasındaki bağın kuvvetli olması ve ankraj sistemine uygulanan öngerme yükünü taşıması yeterli

gelmektedir. Ancak ankraj sistemi bütün kazı destek sistemi olarak düşünüldüğünde enjeksiyon - zemin bağı aracılığı ile zemine iletilen yükün, kök boyu boyunca yapay bir kuvvet hattı oluşturabileceği düşünülmelidir. Oluşturulan bu bloğun hareketi veya ankraj sisteminin bütün olarak davranışındaki yetersizlik nedeniyle duvar arkasındaki kütle hareketi kazı duvarlarının arkasındaki zemin yüzeylerinde kazı kenarına paralel çatlaklar ile kendisini göstermektedir. Nitekim bu çalışmada incelenen çalışma alanında bu durum, gerek ankrajlı perde duvarda, gerekse çevre yapılarda gözlenmiştir. Yapay olarak oluştuğu düşünülen bu hattın oluşumunun, ankrajların daha geniş bir alana zeminde daha düşük gerilme değerleri oluşturacak şekilde yerleştirilmesiyle önlenebileceği, duvarlarda gözlemlenen hareketlerin daha aza indirgeneceği düşünülmektedir. Bu, ankraj serbest boylarının yatayda şaşırtmalı olarak değerlerde oluşturulması ve ankraj sistemlerinin şaşırtmalı olarak düşeyde farklı açılarda imal edilmesi ile sağlanabilir.

Farklı deneylerden elde edilen sonuçlara göre kaya ortamında yapılan ankrajların davranışları için en önemli aşama deney yüküne çıkılıp çıkılamadığıdır. Kaya - enjeksiyon arasındaki bağıın kayanın çatlak sistemine göre ve enjeksiyon - kaya arasındaki kayma direncine göre farklılık göstereceği bilinmektedir. Arazi uygulamalarında kaya ortamında uygulanan ankraj sistemlerinde krip etkisinin birinci derecede önemli olmadığı uygulayıcılarca düşünülmektedir. Buna bağlı olarak da krip etkisini tayine yönelik bir test yapılmamaktadır. Oysaki öngörülemeyen zemin koşulları sabit veya artabilen gerilmenin uzun zaman zarfında etkimesiyle böyle bir etkiyi oluşturabilir ve de ciddi boyuta çıkarabilir. Uygulamada ise bu kesinlikle öngörülmemekte ve önceki imalatlar emsal alınıp kesin emniyette olduğu düşünülmektedir. Bu durum Trakya formasyonunda teşkil edilen ankrajlar için dikkate alınması gereken bir noktadır.

Ankraj sisteminin davranışını belirleyen tek bir etkenin olmadığını söylenebilir. Ankraj sisteminde amaç, kazı alanının içine doğru hareket etme eğiliminde olan kazı arkasındaki kütleyle neden olacağı yük ile beraber kazı alanı dışına doğru çekmektir. Amaçtan da görülebileceği 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 sadece uzama değişimi kontrolünün ankraj sisteminin davranışını belirlemeye tam anlamıyla yetmeyeceği söylenebilir.

Ülkemizde yapılan ankrajlı kazı destek sistemlerinin kapasitelerinin ve davranışlarının belirlenmesi amacıyla bütün uygulayıcıların kullandığı ortak bir standart 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 standartlar ışığında bir standart oluşturulması, karşılaşılan sorunların daha önceden belirlenmesini ve en aza indirilmesini sağlayacaktır. Bu öneriler gerçekleştirilmiş olan bu çalışmada elde edilen verilere ve şantiyede yapılmış olan gözlemlere dayanarak yapılmaktadır.

Ülkemizdeki ankrajlı kazı destek sistemi uygulamalarındaki deneylerde, ankraj sisteminin yük–uzama davranışını belirlemek üzere yapılan ölçümlerin duyarlılıklarının ve doğruluklarının yeterli olmadıkları yapılmış olan incelemelerde görülmüştür. Yabancı standartların özellikle üzerinde durdukları nokta, ölçümlerin, ankraj tendonuna yük ileten pistonun hareketi üzerinden alınmaması gerektiği ve ankraj sistemine bağlı olarak ölçüm alan ve en az 0.01 mm. duyarlılığa sahip bir ölçüm sisteminin kullanılması gerektiğidir. Ülkemizdeki uygulamalarda ise uzama değerleri milimetre duyarlılığındaki çelik şerit metre ile piston hareketi üzerinden ölçülmektedir.

Şantiyede uygulanan deneylerde, yabancı standartlarda önerildiği şekilde kademeli yükleme yapılmaya çalışıldığı görülmüştür. İmalat sürelerinin olabildiğince aza çekilmesi amacıyla bu deneylerde yük kademelerinde beklenecek süreler tam sağlanamayabilmektedir. Bir ankraj için kabul deneyinde maksimum yükte geçici ankrajlarda 15, kalıcı ankrajlarda ise 50 dakika beklenmesinin yapımda gecikmelere sebep olduğu sahada düşünülmekte ve önceki uygulama tecrübeleri esas alınarak bu süre çoğu kez birkaç dakikadan ibaret kalmaktadır. Halbuki yabancı standartlar, önceki deneyimler bulunsada dahi bu sürelerin sağlanması gerektiğini söylemektedirler. Ayrıca aynı sebepten dolayı kabul deneyinde 1.25P yüküne kadar 2 defa yükleme şartı uygulanmamakta, bir defa yükleme ile yetinilmektedir. Bu da yine tez kapsamında incelenen yabancı standartlarda ortak olarak istenen hususlardandır.

Ankraj imalatının prosedürü olarak ankraj anolarının birer atlanarak kazısının yapılması, betonarme imalatı ve ankrajın gerilmesi gerekli iken, arazide 1 değil komşu 2 anoyu aynı anda kazmak, riskli bir durum oluşturmaktadır. Çünkü bu durum, ankraj anolarında, bir diğer deyişle 90 derecelik şevlerde, desteklenmemiş zemin kütlesini 2 katına çıkarmaktadır ki, kütle hareketinin tetiklenmesinde rol oynayabilir. Bundan dolayı birer atlanarak ankraj teşkili ve herhangi bir anonun kazısına komşu 2 ano bitirilip gerilmeden başlanmaması büyük önem taşımaktadır.

Arazide yapılan ankraj kabul edilebilirlik deneyine ait hesaplarda ankrajın teorik minimum ve maksimum uzaması ile ölçülen gerçek uzama miktarları, proje yükünün %10 fazlasına göre yapılmaktadır. Ankrajın kabul veya reddedilmesi de bu hesaplar ve ölçümler sonucuna göre kararlaştırılmaktadır. Trakya formasyonu gibi belirsizlikler arzeden ortamlarda ve aslında genelde tüm formasyonlardaki ankrajlarda bunun yabancı standartlardaki gibi proje yükünün 1.10 katına göre değil, 1.25 katına göre yapılması gerekir. Nitekim 1.10P' ye göre yapılan analizde kabulü sağlayan kimi ankrajlar, 1.25P' ye göre yapılan analizde red sınırına yaklaşmaktadır.

Bu tespitler dikkate alınmadan yapılan ankrajlı destek sistemi uygulayıcıları sorunlarla karşı karşıya kalmaya aday hale getirmektedir. 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 göstermelidir. Yapılması zorunlu olarak yabancı standartlarda

belirtilmiş olan ankraj deneylerinin üç ayrı aşamada ele alınması gerekmektedir. Bu öneriler ışığında, ülkemizde yapılan geçici ve kalıcı 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 belirlenmelidir. Dolayısıyla ankraj sisteminin davranış sınırları belirlenerek üretim sırası deneylerde sistemin sınır değerlere ulaşip 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 sağlanacaktır. 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.

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.

İlerleyen kazı kademelerinde değişen zemin ve çevre koşullarıyla beraber bütün sisteme etkileyen yükteki değişimin kazı destek sistemi üzerindeki etkisinin sürekli olarak yapı dışından yapılacak olan ölçümler ile belirlenmesi gerektiği sonucuna da varılmıştır.

Bu kapsamda;

- Ankraj sistemlerine paralel olarak yerleştirilen çok noktalı yatay ekstansometreler,
- Ankraj duvarı arkasında , düşey doğrultuda yerleştirilen inklinometreler,
- Kazı alanı dışından optik okuma aletleri ile duvar üzerinde ve duvar arkasında sabitlenmiş olan noktalardan alınan yatay ve düşey optik okumalar,
- Uzun süreli olarak ankraj sistemlerine bağlanmış olan yük hücrelerinden alınan yük değişimi değerleri,
- Duvar arkasına yerleştirilen basınç ölçerler,
- Duvar arkasındaki binaların birleşme ve dilatasyon derzlerine yerleştirilen çatlak ölçerlerin teşkili ve sağlıklı okunarak, okumaların anlamlı olarak değerlendirilmesi önem taşımaktadır.

Optik okumalar ile 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 belirlenemeyeceğinden, belirlenemeyen bu etkilerin bilinmemesi ankraj sisteminin başarı ile uygulanıp uygulanmadığı sorusuna yanıt veremeyecektir.

Yabancı standartlarda, kazı alanı çevresindeki yapı sahipleri ile uygulayıcılar arasında düzenlenen bir sözleşme ile izinlerinin alınması ve bu yapıların sigortalanması zorunlu hale getirilmiştir. Kazı alanı çevresindeki yapı sahipleri ile uygulayıcılar arasında böyle bir sözleşmenin zorunlu hale getirilmesi, yapı sahipleri açısından bir kaçınılmaz ihtiyaçtır. Bu çalışma kapsamında incelenen iş böyle bir sigortayı içermektedir.

Kazı destek sisteminin bir bütün olarak davranışının izlenmesini sağlayacak olan gözlemlenmelerin yapılmasının zorunlu hale getirilmesi, hazırlanması gereken bir standartta özellikle belirtilmesi gereken hususlardandır. Bu çalışmada Trakya formasyonunda uygulanan ankraj imalatları süresince yapılan gözlem, deney ve incelemeler ışığında varılan sonuç, ülkemizdeki ankraj uygulamalarının genel bir standartlaştırmaya ihtiyacı olduğudur. Bu çalışma kapsamında; uygulama öncesi,

uygulama ve uygulama sonrası çeşitli aşamalarda oluşabilecek hata ve aksaklıklardan yola çıkılarak yapılan önerilerin gözönüne alınması ve hazırlanacak genel ankraj şartnamesinde bu hususlarla ilgili bağlayıcı maddelerin bulunması, olası sorunların yaşanmasını engelleyecek ve daha güvenli ve ekonomik kazı çalışmalarının yapılmasını sağlayacaktır.



## KAYNAKLAR

- [1] **Toğrol, E.**, 1972. Zemin Ankrajları, Temel Araştırma Yayınları, No. 2. İstanbul.
- [2] **Richards, L.R., Sharp. J.C.**, 1985. Yer altı Kaya Mühendisliği Semineri Notu Cilt 2. DSİ Jeoteknik Semineri Cevizli, İstanbul
- [3] **Bermek E.**, 1991. Yeni Galata Köprüsü Projesinde Kapak Metodu Uygulanması Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 4. Ulusal Kongresi, İstanbul
- [4] **Ostermayer, H.**, 1974. Construction, Carrying Behavior and Creep Characteristics of Ground Anchors, Proc. Diaphragm Walls and anchorages Inst. Civ. Eng., London 141-151
- [5] **Cheney, R.S.**, 1984. Permanent Ground Anchors, U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration Demonstration Projects Division, Washington D.C.
- [6] **DIN 4125**, 1990. Ground Anchorages, Deutsch Institut für Normung e. v., Berlin
- [7] **Xanthakos, P.P.**, 1991. Ground Anchors and Anchored Structures, John Wiley & Sons, Canada.
- [8] **SIA 191**, 1977. Ground Anchors, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten Verein, Zurich.
- [9] **Littlejohn, G.S. ve Bruce, D.A.**, 1975. Rock Anchors: State of Art, Ground Engineering Vol.9, No:2-4.
- [10] **Littlejohn, G.S., ve D.A. Bruce., ve Deppner**, 1977. Anchor Field Tests in Carboniferous Strata, 9<sup>th</sup> Int. Conf. On Soil Mechanics and Foundation Engineering, Tokyo, 82-86.
- [11] **Antill, J.M.**, 1967. Relaxation Characteristics of Prestressing Tendons, Civ.Eng. Trans., Inst. Eng. Australia, 151-159
- [12] **Bannister, J.H.L.**, 1959. Characteristics of Strand Prestressing Tendons, Struct.Eng., 79-96
- [13] **BS 8081**, 1989. British Standard Code of Practice for Ground Anchors, British Standard Institution.
- [14] **Köksal, M.D.**, 1994. İstanbul Metro inşaatı güzergahında mühendislik jeolojisi ve jeoteknik ölçüm çalışmaları. 1. Ulusal Yeraltı Kazıları Sempozyumu İstanbul, Aralık 1994.

- [15] **Ketin, İ.**, 1989. İstanbul Grovıkları, Mühendislik Jeolojisi Bülteni, sayı 11, s. 13-18.
- [16] **Toğrol, E.**, 1986. Haliç' in Geoteknik Sorunları ve Çözüm Yolları, Boğaziçi Üniversitesi Yayınları
- [17] **STFA.**, 1999. Temel Araştırma ve Sondaj Ltd. Şti. Rapor No : 6/3- 685
- [18] **TS 1901** İnşaat Mühendisliğinde Numune Alma Yöntemleri Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- [19] **BS 5930** : 1981. Code of Practice for Site Investigations, British Standart Institution
- [20] **Sağlam, A.**, 1985. İstanbul Grovıklarında yapılan derin kazılar. Türk Milli Komitesi, Derin Kazılar ve İksa Metodları Sempozyumu
- [21] **Schnabel, H.** 1982. Tiebacks in Foundation Engineering and Construction. Me Graw. Hill
- [22] **Teknik Şartname**, 1998. İstanbul Metrosu Taksim-Unkapanı arası inşaatı Sözleşme eki s. 49-53
- [23] **Clough, G.W. ve Rourke, T.D.**, 1990. Construction induced movements of in-situ walls, ASCE, GSP No : 25
- [24] **Koolstra, T.O. ve Beringen, F.L.** 1988. Predicted and Observed PP : 439-470 Lateral deformations of Anchored retaining walls. International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering. Missouri – Rolla, USA, PP : 309 – 315.
- [25] **Biberoğlu, S.**, 1999. Kişisel Görüşme
- [26] **Horoz, A.**, 1999. İlave Destek Sistemi Öneri Raporu., Yüksel Proje Uluslararası A.Ş.



Şekil A.1 Şişhane İstasyonu ŞH-4-99 no.lu sondaj karot resimleri

# İSTANBUL BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ

## İSTANBUL METROSU

UNKAPANI : TAKSİM ARASI SONDAJLARI

KUYU NO : ŞH-4-99

SANDIK NO : 1 / 6

DERİNLİK : 0.90-6.05 m

TARİH : 26 / 2 / 1999

3 / 3 / 1999



Şekil A.2 Şişhane İstasyonu ŞH-4-99 no.lu sondaj karot resimleri

# İSTANBUL BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ

## İSTANBUL METROSU

UNKAPANI - TAKSİM ARASI SONDAJLARI

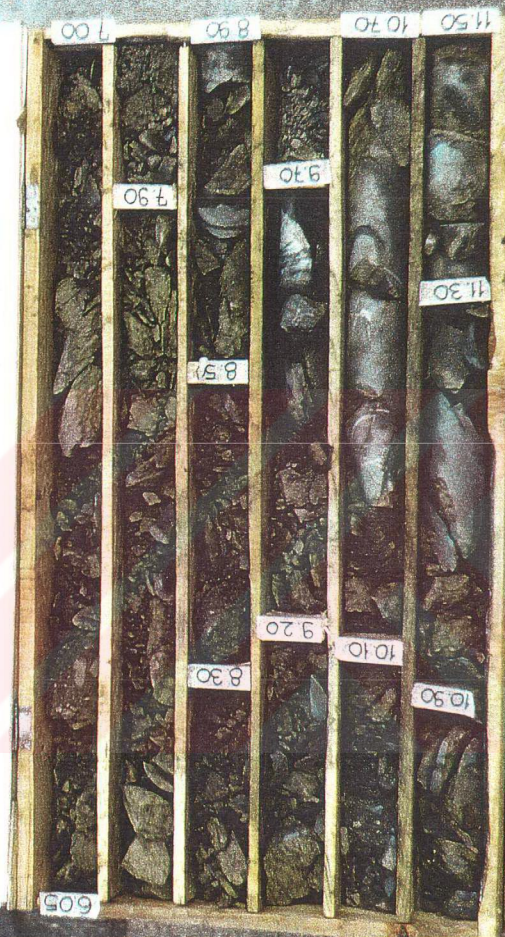
KUYU NO : ŞH-4-99

SANDIK NO : 2 / 6

DERİNLİK : 6.05 - 11.50m.

TARİH : 26 / 2 / 1999

3 / 3 / 1999



Şekil A.3 Şişhane İstasyonu ŞH-4-99 no.lu sondaj karot resimleri



Şekil A.4 Şişhane İstasyonu ŞH-4-99 no.lu sondaj karot resimleri

İSTANBUL BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ  
İSTANBUL METROSU

UNKAPANI - TAKSİM ARASI SONDAJLARI

KUYU NO : ŞH-4-99

SANDIK NO : 4 / 6

DERİNLİK : 1620-2140 m.

TARİH : 26 / 2 / 1999

3 / 3 / 1999



Şekil A.5 Şişhane İstasyonu ŞH-4-99 no.lu sondaj karot resimleri

İSTANBUL BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ  
İSTANBUL METROSU

UNKAPANI - TAKSİM ARASI SONDAJLARI

KUYU NO : ŞH-4-99

SANDIK NO : 5 / 6

DERİNLİK : 21.40-26.90m

TARİH : 26 / 2 / 1999

3 / 3 / 1999



Şekil A.6 Şişhane İstasyonu ŞH-4-99 no.lu sondaj karot resimleri



| YER :                       | TAKSİM-UNIKAPANI          | OFFSET :            | KUYU NO :             | ŞH-4-99                     |                                                      |                   |
|-----------------------------|---------------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------------|------------------------------------------------------|-------------------|
| EKİPMAN :                   | ACKER MOUNTAINER          |                     | ZEMİN KOTU :          | 45.37 m.                    |                                                      |                   |
| SONDAJ YÖNTEMİ :            | ROTORİ 0.00-20.0m arası   | KOORD. :            | N : 4 544 354.77      | E : 413 560.79              |                                                      |                   |
| KUYU ÇAPİ :                 | 0.00-20.80m arası - 50mm. | BAŞLANGIÇ :         | 06.02.99              | BITİŞ : 03.03.99            |                                                      |                   |
| NUMUNE VE<br>YERİNDE DENEY. | S.P.T.<br>darbe sayısı    | Muh.<br>Drn.<br>(m) | Y.A.S.<br>Drn.<br>(m) | TCRIRQDISCRI<br>Drn.<br>(m) | ZEMİN CİNSİ                                          | KOT LEJAND<br>(m) |
| Drn. (M)                    | TIP                       | 15                  | 15                    | 15                          |                                                      |                   |
| 0.50                        |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 1.50                        |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 2.50                        |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 3.40                        |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 4.25                        |                           |                     |                       |                             | Sarımsı kahverengili ince-orta taneli kumtaşı, zayıf |                   |
| 4.40                        |                           |                     |                       |                             | (Tamamen kırık-çatlaklı arımsız kum)                 |                   |
| 5.40                        |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 5.65                        |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 6.05                        |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 7.00                        |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 7.50                        |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 8.30                        |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 8.50                        |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 9.50                        |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 9.70                        |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 10.10                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 10.70                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 10.90                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 11.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 11.70                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 12.30                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 12.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 13.30                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 14.30                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 15.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 15.20                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 16.30                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 17.55                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 18.75                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 19.70                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 20.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 20.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 21.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 21.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 22.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 22.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 23.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 23.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 24.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 24.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 25.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 25.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 26.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 26.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 27.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 27.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 28.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 28.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 29.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 29.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 30.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 30.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 31.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 31.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 32.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 32.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 33.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 33.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 34.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 34.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 35.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 35.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 36.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 36.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 37.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 37.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 38.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 38.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 39.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 39.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 40.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 40.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 41.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 41.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 42.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 42.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 43.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 43.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 44.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 44.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 45.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 45.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 46.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 46.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 47.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 47.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 48.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 48.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 49.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 49.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 50.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 50.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 51.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 51.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 52.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 52.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 53.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 53.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 54.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 54.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 55.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 55.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 56.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 56.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 57.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 57.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 58.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 58.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 59.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 59.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 60.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 60.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 61.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 61.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 62.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 62.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 63.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 63.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 64.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 64.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 65.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 65.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 66.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 66.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 67.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 67.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 68.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 68.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 69.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 69.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 70.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 70.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 71.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 71.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 72.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 72.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 73.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 73.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 74.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 74.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 75.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 75.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 76.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 76.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 77.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 77.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 78.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 78.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 79.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 79.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 80.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 80.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 81.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 81.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 82.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 82.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 83.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 83.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 84.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 84.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 85.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 85.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 86.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 86.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 87.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 87.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 88.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 88.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 89.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 89.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 90.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 90.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 91.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 91.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 92.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 92.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 93.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 93.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 94.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 94.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 95.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 95.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 96.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 96.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 97.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 97.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 98.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 98.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 99.00                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 99.50                       |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 100.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 100.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 101.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 101.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 102.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 102.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 103.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 103.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 104.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 104.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 105.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 105.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 106.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 106.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 107.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 107.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 108.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 108.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 109.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 109.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 110.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 110.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 111.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 111.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 112.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 112.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 113.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 113.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 114.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 114.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 115.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 115.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 116.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 116.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 117.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 117.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 118.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 118.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 119.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 119.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 120.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 120.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 121.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 121.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 122.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 122.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 123.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 123.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 124.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 124.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 125.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 125.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 126.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 126.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 127.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 127.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 128.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 128.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 129.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 129.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 130.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 130.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 131.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 131.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 132.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 132.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 133.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 133.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 134.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 134.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 135.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 135.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 136.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 136.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 137.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 137.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 138.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 138.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 139.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 139.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 140.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 140.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 141.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 141.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 142.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 142.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 143.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 143.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 144.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 144.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 145.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 145.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 146.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 146.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 147.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 147.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 148.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 148.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 149.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 149.50                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |
| 150.00                      |                           |                     |                       |                             |                                                      |                   |

YER : TAKSİM-UNKAPANI

OFFSET : 1

KUYU NO : SH-439

EKİPMAN : ACKER MOUNTAINER

ZEMİN KOTU : +5.07 m.

SONDAJ YÖNTEMİ : ROTARI : 0.00-00.10m arası.

KCORD. : N : 4 544 354.77

E : 413 280.75

KUYU ÇAPI : 0.00-20.50m arası : 56mm.  
20.50-00.10m arası : 56mm.

BAŞLANGIÇ : 26.02.99

BİTİŞ : 23.03.99

| NUMUNE VE YERİNDE DENEY. |     | S.P.T. darbe sayısı |    | Mun. Drn. (m) | Y.A.S. Drn. (m) | TCR/RQD/SCR |               |    | Drn. (m) | ZEMİN CİNSİ | KOT 'LEJAND (m) |
|--------------------------|-----|---------------------|----|---------------|-----------------|-------------|---------------|----|----------|-------------|-----------------|
| Drn. (M)                 | TİP | 15                  | 15 | 15            | 15              | %           | %             | %  |          |             |                 |
|                          |     |                     |    | 26.02.99      |                 | 100         | 58            | 31 |          |             |                 |
| 00.60                    |     |                     |    |               |                 | 100         | 17            | 5  |          |             |                 |
| 01.30                    |     |                     |    |               |                 | 100         | 17            | 5  |          |             |                 |
| 02.00                    |     |                     |    |               |                 | 50          | 12            | 7  |          |             |                 |
| 02.40                    |     |                     |    |               |                 | 58          | 0             | 0  |          |             |                 |
| 03.00                    |     |                     |    |               |                 | 100         | 0             | 0  |          |             |                 |
| 03.30                    |     |                     |    |               |                 | 100         | 29            | 23 |          |             |                 |
| 04.00                    |     |                     |    |               |                 | 100         | 0             | 17 |          |             |                 |
| 04.50                    |     |                     |    |               |                 | 100         | 0             | 0  |          |             |                 |
| 05.15                    |     |                     |    |               |                 | 100         | 24            | 13 |          |             |                 |
| 05.50                    |     |                     |    |               |                 | 67          | 0             | 0  |          |             |                 |
| 06.50                    |     |                     |    |               |                 | 88          | 0             | 0  |          |             |                 |
| 07.00                    |     |                     |    |               |                 | 89          | 0             | 0  |          |             |                 |
| 07.35                    |     |                     |    |               |                 | 90          | 0             | 0  |          |             |                 |
| 07.85                    |     |                     |    |               |                 | 73          | 0             | 0  |          |             |                 |
| 08.40                    |     |                     |    |               |                 | 50          | 0             | 0  |          |             |                 |
| 08.50                    |     |                     |    |               |                 | 50          | 0             | 0  |          |             |                 |
| 09.40                    |     |                     |    |               |                 | 50          | 0             | 0  |          |             |                 |
| 09.50                    |     |                     |    |               |                 | 50          | 24            | 20 |          |             |                 |
| 30.10                    |     |                     |    |               |                 | 100         | 0             | 0  |          |             |                 |
|                          |     |                     |    |               |                 | 30.10       | SONDAJ BİTİMİ |    |          | 14.02       |                 |
|                          |     |                     |    |               |                 |             |               |    |          |             |                 |

NOTLAR :

Revizyon 00:  
 Revizyon 01:  
 Revizyon 02:

SONDÖR : H.YAZGU
LCGU HAZIRLAYAN : M.YILMAZ
KONTROL EDEN : M.KARTAL

**Şekil B.3** Şişhane İstasyonu ŞH-4,5,6-99 no.lu sondajlara ait loglar

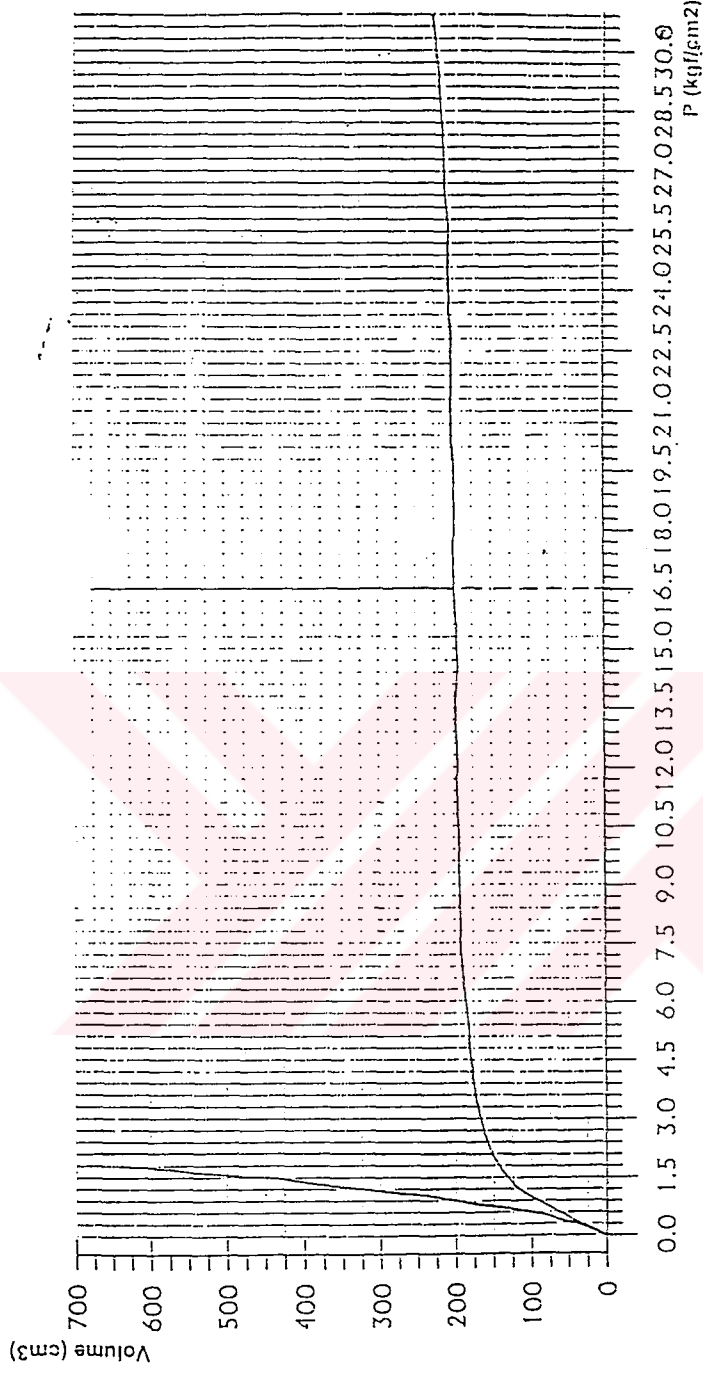
| YER : TAKSİM UNKAPANI,ŞİŞANE STASYONU        |                     |               |                            |     |     |       |                         |             |         | KUYU NO : ŞH-6-99                        |
|----------------------------------------------|---------------------|---------------|----------------------------|-----|-----|-------|-------------------------|-------------|---------|------------------------------------------|
| EKİPMAN : ACKER MCINTINER                    |                     |               |                            |     |     |       |                         |             |         | ZEMİN KOTU : -40.23 m.                   |
| SONDAJ YÖNTEMİ : ROTARY : 0.00-26.00m arası. |                     |               |                            |     |     |       |                         |             |         | KOORD. : N : 4 544 341.05 E : 413 559.00 |
| KUYU ÇAPI : 0.00-26.00m arası - 58mm.        |                     |               |                            |     |     |       |                         |             |         | BAŞLANGIÇ : 29.01.99 BİTİŞ : 03.02.99    |
| NUMUNE VE YERİNDE DENEY.                     | S.P.T. darbe sayısı | Muh. Drn. (m) | Y.A.S. Drn. (m)            | TCR | RQD | DISCR | Drn. (m)                | ZEMİN CİNSİ | KOT (m) | LEJAND                                   |
| Drn. (M)                                     | TİP                 | 15            | 15                         | 15  | %   | %     | %                       |             |         |                                          |
| 1.20                                         |                     |               |                            |     |     |       |                         | DOLMA ZEMİN | -36.93  |                                          |
| 2.50                                         |                     |               |                            |     |     |       |                         |             |         |                                          |
| 3.50                                         |                     |               |                            |     |     |       |                         |             |         |                                          |
| 4.50                                         |                     |               |                            |     |     |       |                         |             |         |                                          |
| 5.30                                         |                     |               |                            |     |     |       |                         |             |         |                                          |
| 6.60                                         |                     |               |                            |     |     |       |                         |             |         |                                          |
| 7.00                                         |                     |               |                            |     |     |       |                         |             |         |                                          |
| 7.60                                         |                     |               |                            |     |     |       |                         |             |         |                                          |
| 8.40                                         |                     |               |                            |     |     |       |                         |             |         |                                          |
| 9.10                                         |                     |               |                            |     |     |       |                         |             |         |                                          |
| 9.60                                         |                     |               |                            |     |     |       |                         |             |         |                                          |
| 10.20                                        |                     |               |                            |     |     |       |                         |             |         |                                          |
| 11.00                                        |                     |               |                            |     |     |       |                         |             |         |                                          |
| 12.00                                        |                     |               |                            |     |     |       |                         |             |         |                                          |
| 12.70                                        |                     |               |                            |     |     |       |                         |             |         |                                          |
| 13.25                                        |                     |               |                            |     |     |       |                         |             |         |                                          |
| 14.10                                        |                     |               |                            |     |     |       |                         |             |         |                                          |
| 14.25                                        |                     |               |                            |     |     |       |                         |             |         |                                          |
| 15.00                                        |                     |               |                            |     |     |       |                         |             |         |                                          |
| 16.50                                        |                     |               |                            |     |     |       |                         |             |         |                                          |
| 17.30                                        |                     |               |                            |     |     |       |                         |             |         |                                          |
| 18.40                                        |                     |               |                            |     |     |       |                         |             |         |                                          |
| 19.50                                        |                     |               |                            |     |     |       |                         |             |         |                                          |
| NOTLAR :                                     |                     |               |                            |     |     |       |                         |             |         |                                          |
| SONDÖR : H.YAZGU                             |                     |               | LOGU HAZIRLAYAN : M.YILMAZ |     |     |       | KONTROL EDEN : M.KARTAL |             |         |                                          |

Şekil B.4 Şişhane İstasyonu ŞH-4,5,6-99 no.lu sondajlara ait loglar

| YER : TAKSİM UNKAPANI/ŞİŞHANE STASYONU       |                        | KUYU NO : ŞH-4-99                        |                            |             |             |                         |            |                                                                                                                                             |               |        |
|----------------------------------------------|------------------------|------------------------------------------|----------------------------|-------------|-------------|-------------------------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|--------|
| EKİPMAN : ACKER MCINTYER                     |                        | ZEMİN KOTU : -40.23 m.                   |                            |             |             |                         |            |                                                                                                                                             |               |        |
| SONDAJ YÖNTEMİ : ROTARY : 0.00-25.00m arası. |                        | KOORD. : N : 4 544 341.35 E : 413 559.00 |                            |             |             |                         |            |                                                                                                                                             |               |        |
| KUYU ÇAPI : 0.00-25.00m arası : 25mm.        |                        | BAŞLANGIÇ : 29.01.99 BİTİŞ : 03.02.99.   |                            |             |             |                         |            |                                                                                                                                             |               |        |
| NUMUNE VE<br>YERİNDE DENEY.                  | S.P.T.<br>darbe sayısı | Muh.<br>Drn.<br>(m)                      | Y.A.S.<br>Drn.<br>(m)      | TCRIRGDISCR | Drn.<br>(m) | ZEMİN CİNSİ             | KOT<br>(m) | LEJAND                                                                                                                                      |               |        |
| Drn. (M)                                     | TİP                    | 15                                       | 15                         | 15          | %           | %                       | %          |                                                                                                                                             |               |        |
| 20.40                                        |                        |                                          |                            |             | 42          | 0                       | 0          | Koyu gri renkli, kısıtlı damarlı, 12. sınıfta CAMURTAŞI orta sağlam.<br>Çok çatlaklı, çatlak yüzeyleri düz ve çatlak ağuşu olan renkli kıl. |               |        |
| 21.10                                        |                        |                                          |                            |             | 42          | 0                       | 0          |                                                                                                                                             |               |        |
| 22.30                                        |                        |                                          |                            |             | 57          | 25                      | 23         |                                                                                                                                             |               |        |
| 23.60                                        |                        |                                          |                            |             | 73          | 40                      | 20         |                                                                                                                                             |               |        |
| 23.30                                        |                        |                                          |                            |             | 57          | 0                       | 0          |                                                                                                                                             |               |        |
| 24.30                                        |                        |                                          |                            |             | 70          | 15                      | 12         |                                                                                                                                             |               |        |
| 25.30                                        |                        |                                          |                            |             | 42          | 12                      | 10         |                                                                                                                                             |               |        |
| 26.00                                        |                        |                                          |                            |             | 100         | 0                       | 0          | 25.00                                                                                                                                       | SONDAJ BİTİŞİ | -40.23 |
| NOTLAR :                                     |                        |                                          |                            |             |             |                         |            |                                                                                                                                             |               |        |
| SONDÖR : H.YAZGU                             |                        |                                          | LOGU HAZIRLAYAN : M.YILMAZ |             |             | KONTROL EDEN : M.KARTAL |            |                                                                                                                                             |               |        |

Şekil B.5 Şişhane İstasyonu ŞH-4,5,6-99 no.lu sondajlara ait loglar

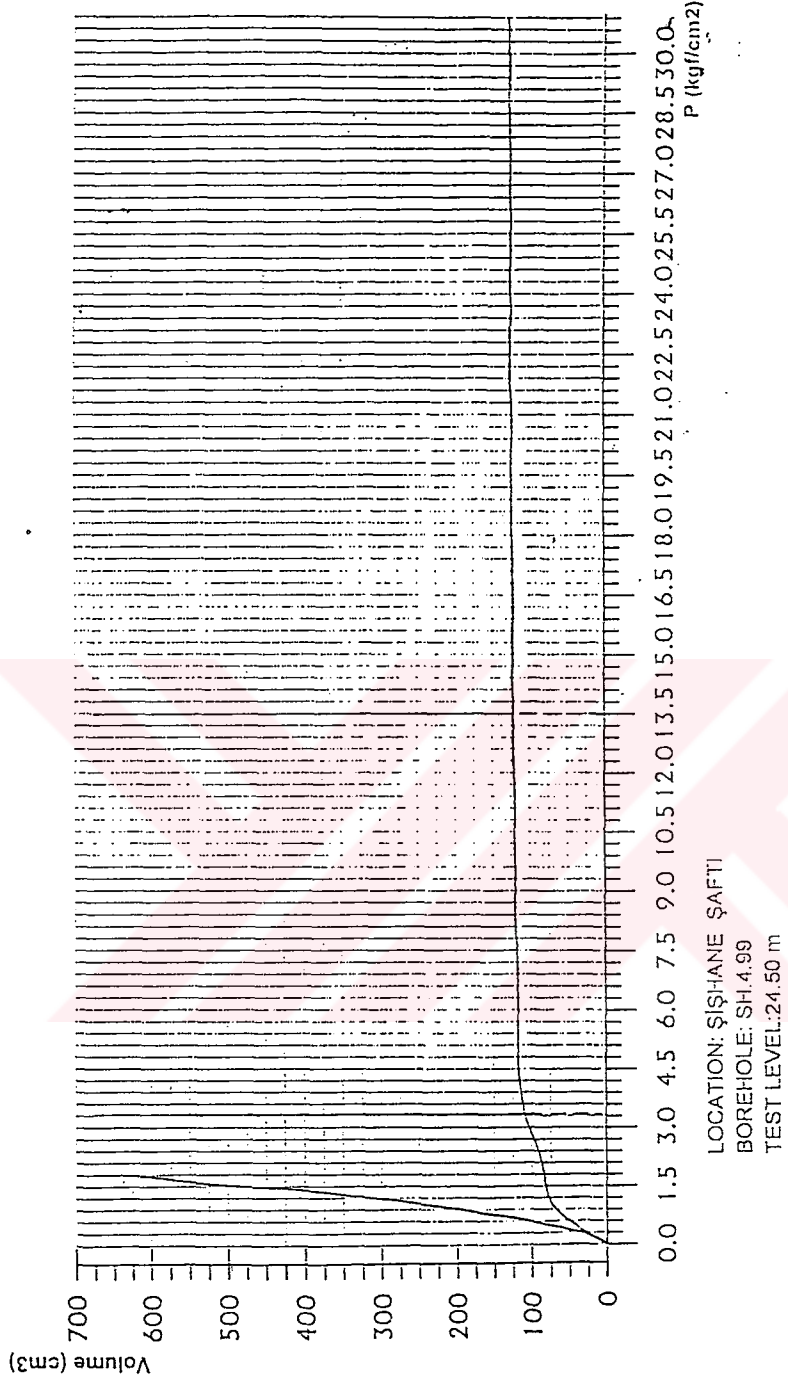
İSTANBUL BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ  
İSTANBUL METROSU UNİKAPANI - TAKSİM ARASI SONDAJLARI  
PRESSİYOMETRE DENEY GRAFİĞİ



LOCATION: ŞİŞANE ŞAFTI  
BOREHOLE: SH.4.99  
TEST LEVEL: 22.00 m

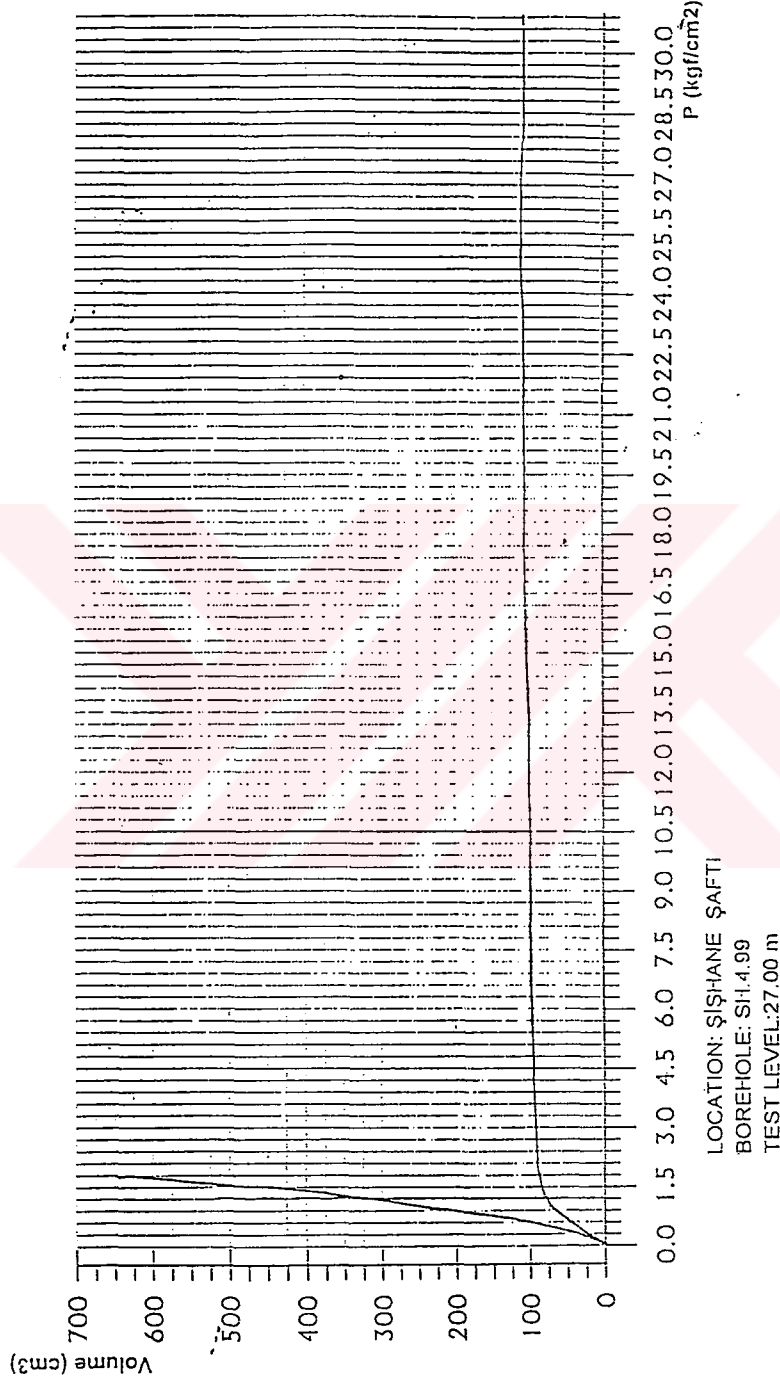
Şekil C.1 Pressiyometre Deneyi verileriyle çizilen Menard Eğrileri

İSTANBUL BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ  
İSTANBUL METROSU UNKAPANI - TAKSİM ARASI SONDAJLARI  
PRESSİYOMETRE DENEY GRAFİĞİ



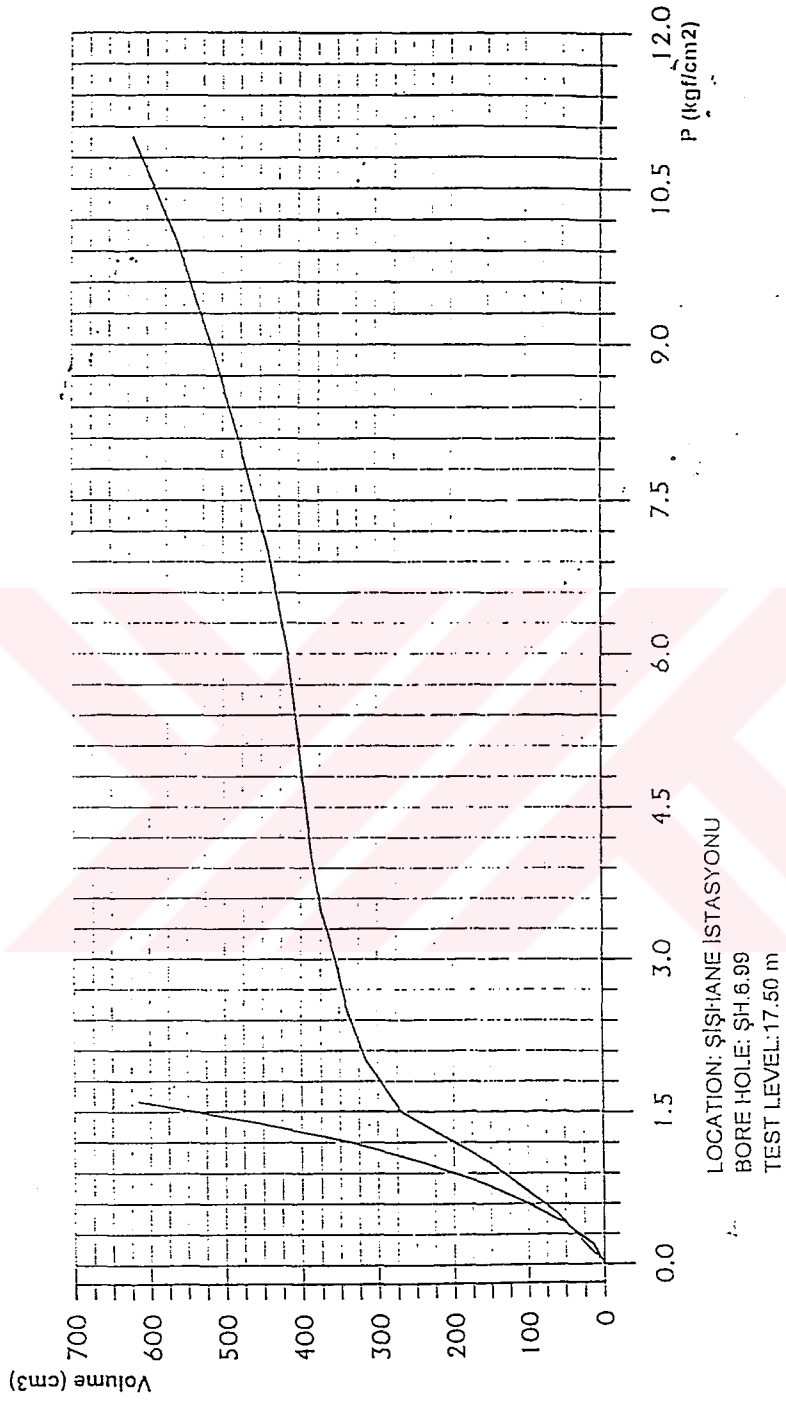
Şekil C.2 Pressiyometre Deneyi verileriyle çizilen Menard Eğrileri

İSTANBUL BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ  
İSTANBUL METROSU UNKAPANI - TAKSİM ARASI SONDAJLARI  
PRESSİYOMETRE DENEY GRAFİĞİ



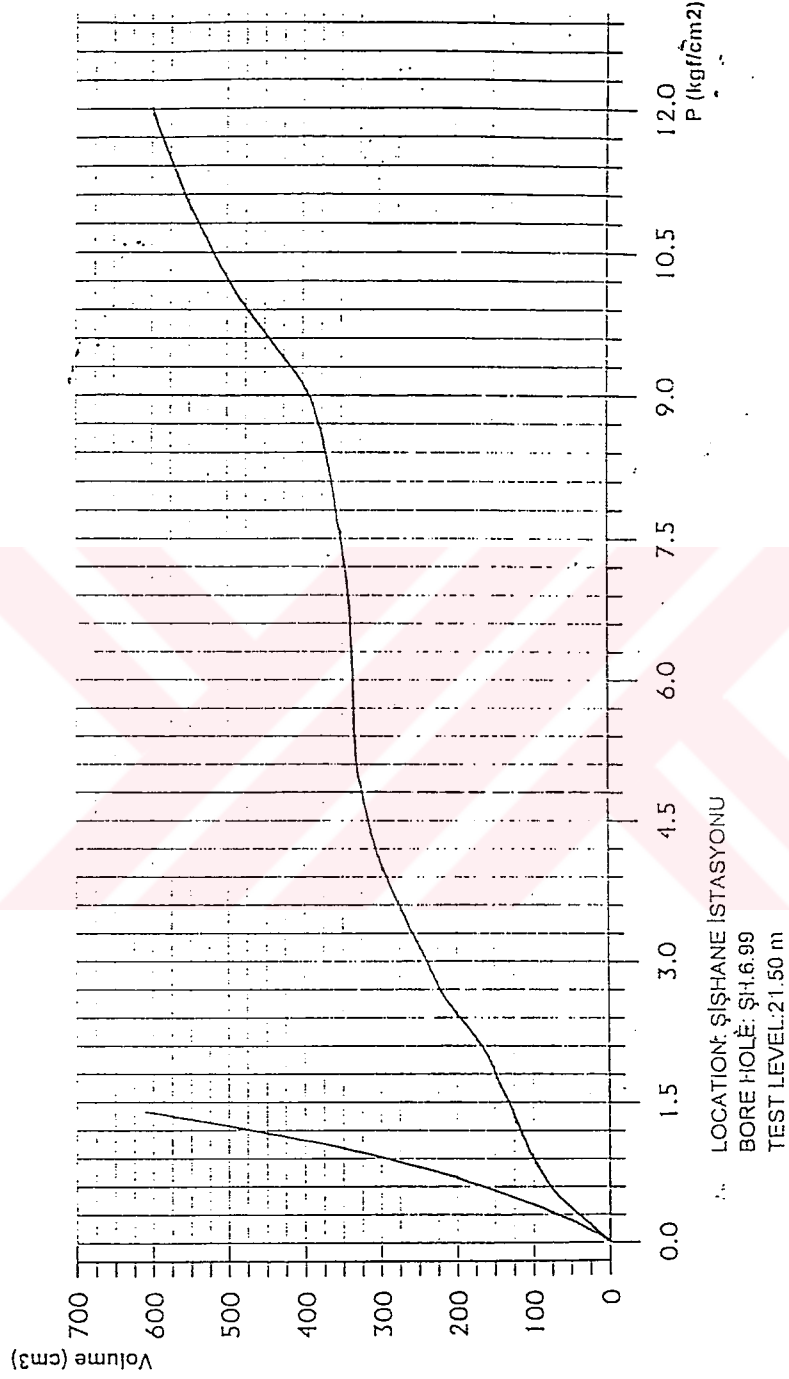
Şekil C.3 Pressiyometre Deneyi verileriyle çizilen Menard Eğrileri

İSTANBUL BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ  
İSTANBUL METROSU UNKAPANI - TAKSİM ARASI SONDAJLARI  
PRESSİYOMETRE DENEY GRAFİĞİ



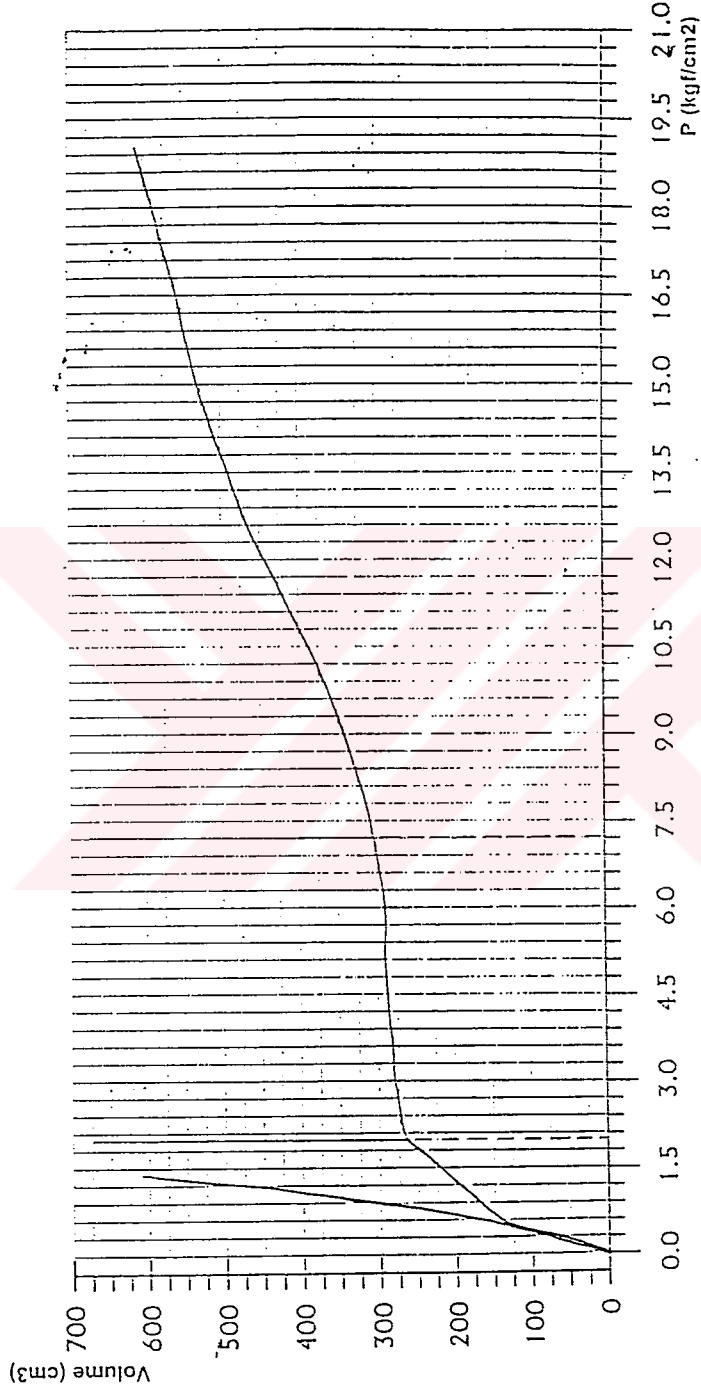
Şekil C.4 Pressiyometre Deneyi verileriyle çizilen Menard Eğrileri

İSTANBUL BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ  
İSTANBUL METROSU UNKAPANI - TAKSİM ARASI SONDAJLARI  
PRESSİYOMETRE DENEY GRAFİĞİ



Şekil C.5 Pressiyometre Deneyi verileriyle çizilen Menard Eğrileri

İSTANBUL BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ  
İSTANBUL METROSU UNİKAPANI - TAKSİM ARASI SONDAJLARI  
PRESSİYOMETRE DENEY GRAFİĞİ



Şekil C.6 Pressiyometre Deneyi verileriyle çizilen Menard Eğrileri

| İSTANBUL BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ İSTANBUL METROSU İNŞAATI<br>UNKAPANI - TAKSİM ARASI SONDAJLARI                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                       |                                                       |                                  |                                         |            |                           |                     |                     |                      |                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------|------------|---------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| PAKER DENEYİ / PACKER TEST                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                       |                                                       |                                  |                                         |            |                           |                     |                     |                      |                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Yüzeyden derinlikler (m)<br>Depths below ground level to                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                       | Deney No<br>Test No                                   | 1                                | Kuyu No<br>Borehole No                  | Şh-3-99    |                           |                     |                     |                      |                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| a) test kesiminin üstü<br>top of test section                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 5,50                                  | Paker basıncı(kg/cm <sup>2</sup> )<br>Packer pressure | 25,00                            | Sayfa<br>Sheet                          | 1 of 2     |                           |                     |                     |                      |                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| b) test anındaki kuyu tabanı<br>bot. of hole at time of test                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 7,50                                  | Delik Çapı (mm)<br>Diameter (mm)                      | 86,00                            | Tarih<br>Date                           | 06.01.1999 |                           |                     |                     |                      |                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| c) munafaza borusu tabanı<br>bottom of casing                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 3,00                                  | Mano. seri no.su<br>Serial # of p.gauge               | -                                | Hava<br>Weather                         | GÜNEŞLİ    |                           |                     |                     |                      |                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| d) yeraltı suyu seviyesi<br>initial groundwater level                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 4,80                                  | Akım ölç. seri no.su<br>Serial # of flow gauge        | -                                | Su kaynağı<br>Water source              | TEMİZ SU   |                           |                     |                     |                      |                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Manometrenin yerden yük.<br>gauge height above GL (m)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 0,30                                  | Kot (m)<br>Ground elevation                           | 49,80                            | Kaya cinsi<br>Type of rock              | KUMTAŞI    |                           |                     |                     |                      |                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Borunun yerden yüksekliği<br>Casing height above GL(m)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0,30                                  | Koordinatlar<br>Coordinates                           | N: 4 544 379.85<br>E: 413 668.31 | Hesaplayan / Computation by<br>M.KARTAL |            |                           |                     |                     |                      |                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| DENEY DÖNEMLERİ / TEST RECORDS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                       |                                                       |                                  |                                         |            |                           |                     |                     |                      |                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 1. AŞAMA<br>1st PERIOD<br>Basınç (kg/cm <sup>2</sup> )<br>Pressure gauge<br>(2.00)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Zaman (dak) / Time (min)              | 0                                                     | 5                                | 10                                      | 15         | Ortalama akış (lt/dak)    |                     |                     |                      |                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Sayaç okumaları<br>Flowmeter readings | 0                                                     | 8                                | 16                                      | 23         | Average flow (q) (lt/min) |                     |                     |                      |                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Giden su (lt)<br>Water take (lt)      | 0,00                                                  | 8,00                             | 8,00                                    | 7,00       | 1,53                      |                     |                     |                      |                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 2. AŞAMA<br>2st PERIOD<br>Basınç (kg/cm <sup>2</sup> )<br>Pressure gauge<br>(4.00)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Zaman (dak) / Time (min)              | 0                                                     | 5                                | 10                                      | 15         | Ortalama akış (lt/dak)    |                     |                     |                      |                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Sayaç okumaları<br>Flowmeter readings | 25                                                    | 38                               | 40                                      | 53         | Average flow (q) (lt/min) |                     |                     |                      |                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Giden su (lt)<br>Water take (lt)      | 0,00                                                  | 12,00                            | 12,00                                   | 13,00      | 2,47                      |                     |                     |                      |                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 3. AŞAMA<br>3rd PERIOD<br>Basınç (kg/cm <sup>2</sup> )<br>Pressure gauge<br>(6.00)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Zaman (dak) / Time (min)              | 0                                                     | 5                                | 10                                      | 15         | Ortalama akış (lt/dak)    |                     |                     |                      |                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Sayaç okumaları<br>Flowmeter readings | 56                                                    | 72                               | 90                                      | 110        | Average flow (q) (lt/min) |                     |                     |                      |                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Giden su (lt)<br>Water take (lt)      | 0,00                                                  | 16,00                            | 18,00                                   | 20,00      | 3,50                      |                     |                     |                      |                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 4. AŞAMA<br>4th PERIOD<br>Basınç (kg/cm <sup>2</sup> )<br>Pressure gauge<br>(4.00)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Zaman (dak) / Time (min)              | 0                                                     | 5                                | 10                                      | 15         | Ortalama akış (lt/dak)    |                     |                     |                      |                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Sayaç okumaları<br>Flowmeter readings | 120                                                   | 124                              | 129                                     | 135        | Average flow (q) (lt/min) |                     |                     |                      |                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Giden su (lt)<br>Water take (lt)      | 0,00                                                  | 4,00                             | 5,00                                    | 6,00       | 1,00                      |                     |                     |                      |                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 5. AŞAMA<br>5th PERIOD<br>Basınç (kg/cm <sup>2</sup> )<br>Pressure gauge<br>(2.00)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Zaman (dak) / Time (min)              | 0                                                     | 5                                | 10                                      | 15         | Ortalama akış (lt/dak)    |                     |                     |                      |                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Sayaç okumaları<br>Flowmeter readings | 140                                                   | 146                              | 154                                     | 162        | Average flow (q) (lt/min) |                     |                     |                      |                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Giden su (lt)<br>Water take (lt)      | 0,00                                                  | 6,00                             | 8,00                                    | 8,00       | 1,47                      |                     |                     |                      |                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Notlar / Remarks :                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                       |                                                       |                                  |                                         |            |                           |                     |                     |                      |                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| <p style="text-align: center;">Deney sırasında kuyu su seviyeleri<br/>Ground Water Levels</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>0.00<br/>(dak./min.)</th> <th>5.00<br/>(dak./min.)</th> <th>10.00<br/>(dak./min.)</th> <th>15.00<br/>(dak./min.)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 st</td> <td>4,80</td> <td>4,80</td> <td>4,80</td> <td>4,80</td> </tr> <tr> <td>2 nd</td> <td>4,80</td> <td>4,80</td> <td>4,80</td> <td>4,80</td> </tr> <tr> <td>3 rd</td> <td>4,80</td> <td>4,80</td> <td>4,80</td> <td>4,80</td> </tr> <tr> <td>4 th</td> <td>4,80</td> <td>4,80</td> <td>4,80</td> <td>4,80</td> </tr> <tr> <td>5 th</td> <td>4,80</td> <td>4,80</td> <td>4,80</td> <td>4,80</td> </tr> </tbody> </table> |                                       |                                                       |                                  |                                         |            |                           | 0.00<br>(dak./min.) | 5.00<br>(dak./min.) | 10.00<br>(dak./min.) | 15.00<br>(dak./min.) | 1 st | 4,80 | 4,80 | 4,80 | 4,80 | 2 nd | 4,80 | 4,80 | 4,80 | 4,80 | 3 rd | 4,80 | 4,80 | 4,80 | 4,80 | 4 th | 4,80 | 4,80 | 4,80 | 4,80 | 5 th | 4,80 | 4,80 | 4,80 | 4,80 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 0.00<br>(dak./min.)                   | 5.00<br>(dak./min.)                                   | 10.00<br>(dak./min.)             | 15.00<br>(dak./min.)                    |            |                           |                     |                     |                      |                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 1 st                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 4,80                                  | 4,80                                                  | 4,80                             | 4,80                                    |            |                           |                     |                     |                      |                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 2 nd                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 4,80                                  | 4,80                                                  | 4,80                             | 4,80                                    |            |                           |                     |                     |                      |                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 3 rd                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 4,80                                  | 4,80                                                  | 4,80                             | 4,80                                    |            |                           |                     |                     |                      |                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 4 th                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 4,80                                  | 4,80                                                  | 4,80                             | 4,80                                    |            |                           |                     |                     |                      |                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 5 th                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 4,80                                  | 4,80                                                  | 4,80                             | 4,80                                    |            |                           |                     |                     |                      |                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Sondör/Driller:Hacı YAZGU                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                       | Arazi Müh./Site Eng.:Mustafa YILMAZ                   |                                  | Mühendis / Supervisor : Murat KARTAL    |            |                           |                     |                     |                      |                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

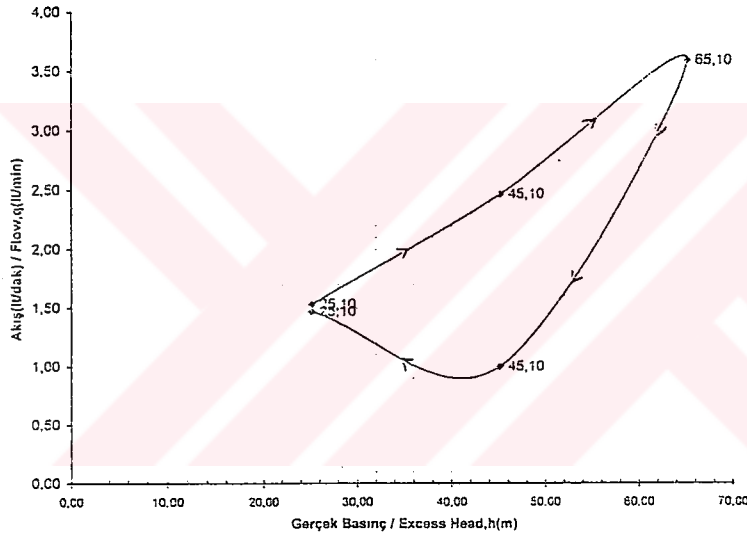
Şekil D.1 Geçirimlilik Deneyi rapor ve hesap tablosu

İSTANBUL BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ İSTANBUL METRO İNŞAATI TAKSİM-UNKAPANI  
UNKAPANI-YENİKAPI ARASI / ŞİŞANE İSTASYONU

PAKER DENEYİ(Hesaplama sayfası) / PACKER TEST( Computation sheet)

|                                                            |                                  |                                          |               |                    |                    |        |                      |
|------------------------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------|---------------|--------------------|--------------------|--------|----------------------|
| Test kesim boyu / Length of test section (m)               | 2,00                             | Kuyu No / BH No                          | Sh-3-99       |                    |                    |        |                      |
| YAS seviyesi / Initial GW level(m)                         | 4,80                             | Savris / Sheer                           | 3 of 2        |                    |                    |        |                      |
| Manometre Yüksekliği / Gauge height ab. GL(2)              | 0,30                             | Denev No / Test No                       |               |                    |                    |        |                      |
| Kuyu yarıçapı / Radius of borehole, r (m)                  | 0,043                            | Tari / Date                              | 25.01.1999    |                    |                    |        |                      |
| Test Kesiminin Üstü / Top of Test section (m)              | 5,50                             | Kat / Level                              |               |                    |                    |        |                      |
| Test Anındaki Kuyu Tabanı / Bottom of hole at time of test | 5,50                             | Su sav. sen no / Serial no of flow gauge |               |                    |                    |        |                      |
| Test derinliği / Section depth                             | 5,50                             | Hava durumu / Weather                    | Açık / Sunny  |                    |                    |        |                      |
| Koordinatlar                                               | N: 4 544 379,85<br>E: 413 668,31 | Hesaplayan/Computation by                | M.KARTAL      |                    |                    |        |                      |
| Asama                                                      | Akış, q(l/dk)                    | Basıncı, kg/cm2                          | Su sütunu(m)  | Sürtünme kavgı(m)  | Gerçek basınç      | Lüyeon | Geçirimsilik         |
| Period                                                     | Flow, q(l/min)                   | Pressure gauge                           | Head of water | Friction head loss | Excess head, h (m) | Lugeon | Permeability, k(m/s) |
|                                                            | (3)                              | (4)                                      | (5)           | (6)                | (1)-(2)-(5)-(6)    |        |                      |
| 1                                                          | 1,53                             | 2,00                                     | 20,00         | 0,00               | 25,10              | 3,05   | 3,1E-07              |
| 2                                                          | 2,47                             | 4,00                                     | 40,00         | 0,00               | 45,10              | 2,74   | 2,3E-07              |
| 3                                                          | 3,60                             | 6,00                                     | 60,00         | 0,00               | 65,10              | 2,76   | 2,3E-07              |
| 4                                                          | 1,00                             | 4,00                                     | 40,00         | 0,00               | 45,10              | 1,11   | 1,1E-07              |
| 5                                                          | 1,47                             | 2,00                                     | 20,00         | 0,00               | 25,10              | 2,93   | 3,0E-07              |

Tamamı Lüyeon / Assessed Lugeon : 2,97  
Tamamı Geçirimsilik / Assessed Permeability : 2,93E-07 (m/s)



|                                                        |                                                                                                                                                                                   |
|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Notlar / Remarks                                       |                                                                                                                                                                                   |
| Lüyeon eşitliği / Equation for Lugeon                  | $L = (100/r) \cdot (q/h)$                                                                                                                                                         |
|                                                        | l = Denev kesiminin boyu / Length of test section<br>q/h = Grafiğin Eğimi / Slope of graph                                                                                        |
| Geçirimsilik eşitliği / Equation for Permeability      | $K = (q/2 \cdot 3,1417 \cdot H \cdot L) \cdot (L/r)$                                                                                                                              |
|                                                        | q = Akış oranı / Rate of injection<br>H = Su sütunu / Pressure head<br>L = Denev kesiminin boyu / Length of test section<br>r = Denev kesiminin yarıçapı / Radius of test section |
| Calculation of assessed permeability and Lugeon values |                                                                                                                                                                                   |
|                                                        |                                                                                                                                                                                   |

Şekil D.2 Geçirimsilik Deneyi rapor ve hesap tablosu

| İSTANBUL BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ İSTANBUL METROSU İNŞAATI<br>UNKAPANI - TAKSİM ARASI SONDAJLARI                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                       |                                                       |                                  |                                         |            |                           |  |                     |                     |                      |                      |      |      |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------|------------|---------------------------|--|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|------|------|--|--|--|------|--|--|--|--|------|--|--|--|--|------|--|--|--|--|------|--|--|--|------|
| PAKER DENEYİ / PACKER TEST                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                       |                                                       |                                  |                                         |            |                           |  |                     |                     |                      |                      |      |      |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |      |
| Yüzeyden derinlikler (m)<br>Depths below ground level to                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Denei No<br>Test No                   | 2                                                     | Kuyu No<br>Borehole No           | r Şh-4-99                               |            |                           |  |                     |                     |                      |                      |      |      |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |      |
| a) test kesiminin üstü<br>top of test section                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 13,30                                 | Paker basıncı(kg/cm <sup>2</sup> )<br>Packer pressure | 20,00                            | Sayfa -<br>Sheet                        | 1 of 2     |                           |  |                     |                     |                      |                      |      |      |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |      |
| b) test anındaki kuyu tabanı<br>bot. of hole at time of test                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 15,30                                 | Delik Çapı (mm)<br>Diameter (mm)                      | 86,00                            | Tarih<br>Date                           | 01.03.1999 |                           |  |                     |                     |                      |                      |      |      |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |      |
| c) münafaza borusu tabanı<br>bottom of casing                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 9,00                                  | Mano. sen no.su<br>Senal # of p.gauge                 | -                                | Hava<br>Weather                         | GÜNEŞLİ    |                           |  |                     |                     |                      |                      |      |      |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |      |
| d) yeraltı suyu seviyesi<br>initial groundwater level                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 5,40                                  | Akım ölç. sen no.su<br>Senal # of flow gauge          | -                                | Su kaynağı<br>Water source              | TEMİZ SU   |                           |  |                     |                     |                      |                      |      |      |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |      |
| Manometrenin yercen yük.<br>gauge height above GL (m)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0,30                                  | Kot (m)<br>Ground elevation                           | 45,07                            | Kaya cinsi<br>Type of rock              | KUMTAŞI    |                           |  |                     |                     |                      |                      |      |      |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |      |
| Borunun yerden yüksekliği<br>Casing height above GL(m)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | -                                     | Koordinatlar<br>Coordinates                           | N: 4 544 364,77<br>E: 413 630,79 | Hesaplayan / Computation by<br>M.KARTAL |            |                           |  |                     |                     |                      |                      |      |      |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |      |
| DENEY DONELERİ / TEST RECORDS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                       |                                                       |                                  |                                         |            |                           |  |                     |                     |                      |                      |      |      |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |      |
| 1. AŞAMA<br>1st PERIOD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Zaman (dak) / Time (min)              | 0                                                     | 5                                | 10                                      | 15         | Ortalama akış (lt/dak)    |  |                     |                     |                      |                      |      |      |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |      |
| Basınç (kg/cm <sup>2</sup> )<br>Pressure gauge                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Sayaç okumaları<br>Flowmeter readings | 8207                                                  | 8209                             | 8210                                    | 8210       | Average flow (q) (lt/min) |  |                     |                     |                      |                      |      |      |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |      |
| (2.00)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Giden su (lt)<br>Water take (lt)      | 0,00                                                  | 2,00                             | 1,00                                    | 0,00       | 0,20                      |  |                     |                     |                      |                      |      |      |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |      |
| 2. AŞAMA<br>2st PERIOD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Zaman (dak) / Time (min)              | 0                                                     | 5                                | 10                                      | 15         | Ortalama akış (lt/dak)    |  |                     |                     |                      |                      |      |      |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |      |
| Basınç (kg/cm <sup>2</sup> )<br>Pressure gauge                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Sayaç okumaları<br>Flowmeter readings | 8210                                                  | 8211                             | 8211                                    | 8211       | Average flow (q) (lt/min) |  |                     |                     |                      |                      |      |      |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |      |
| (4.00)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Giden su (lt)<br>Water take (lt)      | 0,00                                                  | 1,00                             | 0,00                                    | 0,00       | 0,07                      |  |                     |                     |                      |                      |      |      |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |      |
| 3. AŞAMA<br>3rd PERIOD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Zaman (dak) / Time (min)              | 0                                                     | 5                                | 10                                      | 15         | Ortalama akış (lt/dak)    |  |                     |                     |                      |                      |      |      |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |      |
| Basınç (kg/cm <sup>2</sup> )<br>Pressure gauge                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Sayaç okumaları<br>Flowmeter readings | 8211                                                  | 8214                             | 8215                                    | 8216       | Average flow (q) (lt/min) |  |                     |                     |                      |                      |      |      |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |      |
| (6.00)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Giden su (lt)<br>Water take (lt)      | 0,00                                                  | 3,00                             | 1,00                                    | 1,00       | 0,33                      |  |                     |                     |                      |                      |      |      |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |      |
| 4. AŞAMA<br>4th PERIOD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Zaman (dak) / Time (min)              | 0                                                     | 5                                | 10                                      | 15         | Ortalama akış (lt/dak)    |  |                     |                     |                      |                      |      |      |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |      |
| Basınç (kg/cm <sup>2</sup> )<br>Pressure gauge                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Sayaç okumaları<br>Flowmeter readings | 8215                                                  | 8215                             | 8215                                    | 8215       | Average flow (q) (lt/min) |  |                     |                     |                      |                      |      |      |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |      |
| (4.00)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Giden su (lt)<br>Water take (lt)      | 0,00                                                  | 0,00                             | 0,00                                    | 0,00       | 0,00                      |  |                     |                     |                      |                      |      |      |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |      |
| 5. AŞAMA<br>5th PERIOD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Zaman (dak) / Time (min)              | 0                                                     | 5                                | 10                                      | 15         | Ortalama akış (lt/dak)    |  |                     |                     |                      |                      |      |      |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |      |
| Basınç (kg/cm <sup>2</sup> )<br>Pressure gauge                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Sayaç okumaları<br>Flowmeter readings | 8214                                                  | 8214                             | 8214                                    | 8214       | Average flow (q) (lt/min) |  |                     |                     |                      |                      |      |      |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |      |
| (2.00)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Giden su (lt)<br>Water take (lt)      | 0,00                                                  | 0,00                             | 0,00                                    | 0,00       | 0,00                      |  |                     |                     |                      |                      |      |      |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |      |
| Notlar / Remarks :                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                       |                                                       |                                  |                                         |            |                           |  |                     |                     |                      |                      |      |      |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |      |
| <p style="text-align: center;">Deney sırasında kuyu su seviyeleri<br/>Ground Water Levels</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>0.00<br/>(dak./min.)</th> <th>5.00<br/>(dak./min.)</th> <th>10.00<br/>(dak./min.)</th> <th>15.00<br/>(dak./min.)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 st</td> <td>5,40</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2 nd</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3 rd</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4 th</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5 th</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>5,40</td> </tr> </tbody> </table> |                                       |                                                       |                                  |                                         |            |                           |  | 0.00<br>(dak./min.) | 5.00<br>(dak./min.) | 10.00<br>(dak./min.) | 15.00<br>(dak./min.) | 1 st | 5,40 |  |  |  | 2 nd |  |  |  |  | 3 rd |  |  |  |  | 4 th |  |  |  |  | 5 th |  |  |  | 5,40 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 0.00<br>(dak./min.)                   | 5.00<br>(dak./min.)                                   | 10.00<br>(dak./min.)             | 15.00<br>(dak./min.)                    |            |                           |  |                     |                     |                      |                      |      |      |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |      |
| 1 st                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 5,40                                  |                                                       |                                  |                                         |            |                           |  |                     |                     |                      |                      |      |      |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |      |
| 2 nd                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                       |                                                       |                                  |                                         |            |                           |  |                     |                     |                      |                      |      |      |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |      |
| 3 rd                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                       |                                                       |                                  |                                         |            |                           |  |                     |                     |                      |                      |      |      |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |      |
| 4 th                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                       |                                                       |                                  |                                         |            |                           |  |                     |                     |                      |                      |      |      |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |      |
| 5 th                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                       |                                                       |                                  | 5,40                                    |            |                           |  |                     |                     |                      |                      |      |      |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |      |
| Sondaj/Driller: H.YAZGU                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Arazi Müh./Site Eng.:M.YILMAZ         |                                                       |                                  | Mühendis / Supervisor : M.KARTAL        |            |                           |  |                     |                     |                      |                      |      |      |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |  |  |  |      |

STFA Temel Araştırma ve Sondaj Ltd. Şti.

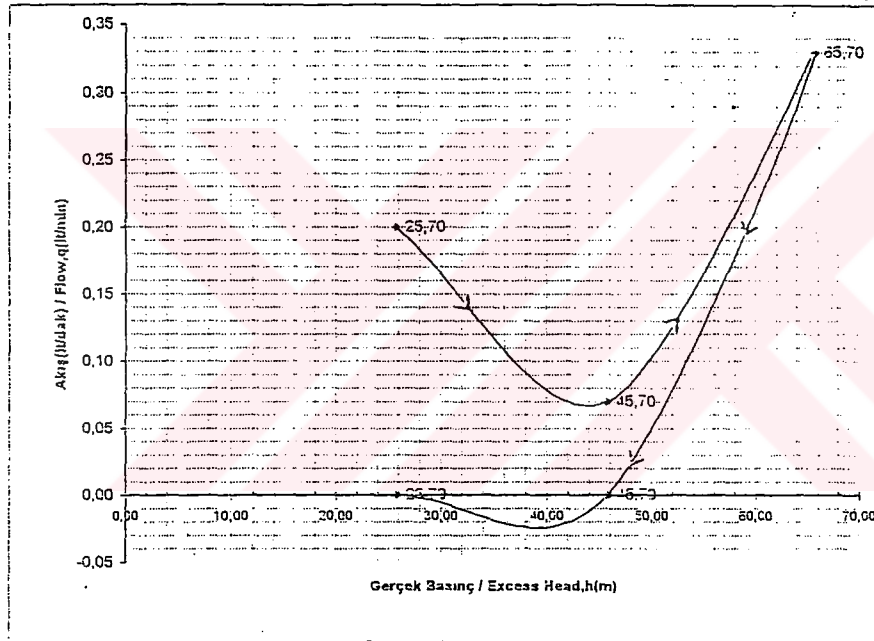
Şekil D.3 Geçirimlilik Deneyi rapor ve hesap tablosu

İSTANBUL BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ İSTANBUL METRO İNŞAATI  
TAKSİM-UNKAPANI ARASI / ŞİŞHANE İSTASYONU

PAKER DENEYİ (Hesaplama sayfası) / PACKER TEST (Computation sheet)

|                                                            |                 |                                           |                    |                    |                    |        |                       |
|------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------|-----------------------|
| Test kesimi boyu / Length of test section, l (m)           | 2.00            | Kuyu No / BH No                           | SH-139             |                    |                    |        |                       |
| YAS seviyesi / Initial GW level (m)                        | 5.40            | Sayfa / Sheet                             | 2 of 2             |                    |                    |        |                       |
| Manometre Yüksekliği / Gauge height ab. GL (2)             | 0.30            | Deney No / Test No                        | 2                  |                    |                    |        |                       |
| Kuyu yarıçapı / Radius of borehole, r (m)                  | 0.043           | Tarih / Date                              | 31.03.1999         |                    |                    |        |                       |
| Test Kesiminin Üstü / Top of Test section (m)              | 13.30           | Ket / Level                               | 45.07              |                    |                    |        |                       |
| Test Anındaki Kuyu Tabanı / Bottom of hole at time of test | 15.30           | Su sev. seri no / Serial no of flow gauge |                    |                    |                    |        |                       |
| Test derinliği / Section depth                             | 14.30           | Hava durumu / Weather                     | Açık / Sunny       |                    |                    |        |                       |
| Koordinatlar                                               | N:1454384.77    | Hesaplama/Computation by                  | M. KARTAL          |                    |                    |        |                       |
| Coordinates                                                | E:1413630.79    | Maxine Türü / Machine Type                | CKR MOUNTAIN       |                    |                    |        |                       |
|                                                            |                 | Packer type / Packer tip                  | merouk / Hyspauric |                    |                    |        |                       |
| Asama                                                      | Akis, q (lt/dk) | Basıncı (kg/cm2)                          | Su sütunu (m)      | Sürtünme kaybı (m) | Gerçek basınç      | Lujyon | Geçirimlilik          |
| Period                                                     | Flow, q (l/min) | Pressure gauge                            | Head of water      | Friction head loss | Excess head, h (m) | Lugeon | Permeability, k (m/s) |
|                                                            | (3)             | (4)                                       | (5)                | (6)                | (1)+(2)+(5)-(6)    |        |                       |
| 1                                                          | 0.23            | 2.00                                      | 20.00              | 0.00               | 25.70              | 0.39   | 4.0E-08               |
| 2                                                          | 0.07            | 4.00                                      | -0.00              | 0.00               | 45.70              | 0.03   | 7.3E-09               |
| 3                                                          | 0.23            | 6.00                                      | 50.00              | 0.00               | 65.70              | 0.25   | 2.5E-08               |
| 4                                                          | 0.00            | 4.00                                      | -0.00              | 0.00               | 45.70              | 0.00   | 0.0E+00               |
| 5                                                          | 0.00            | 2.00                                      | 20.00              | 0.00               | 25.70              | 0.00   | 0.0E+00               |

Temsil Lujyon / Assessed Lugeon : 0.39  
Temsil Permeabilite / Assessed Permeability : 3.97E-08 (m/s)

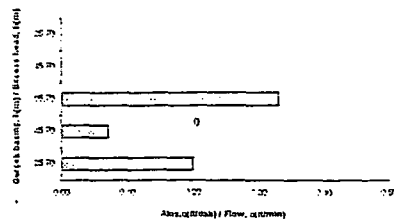


Notlar / Remarks

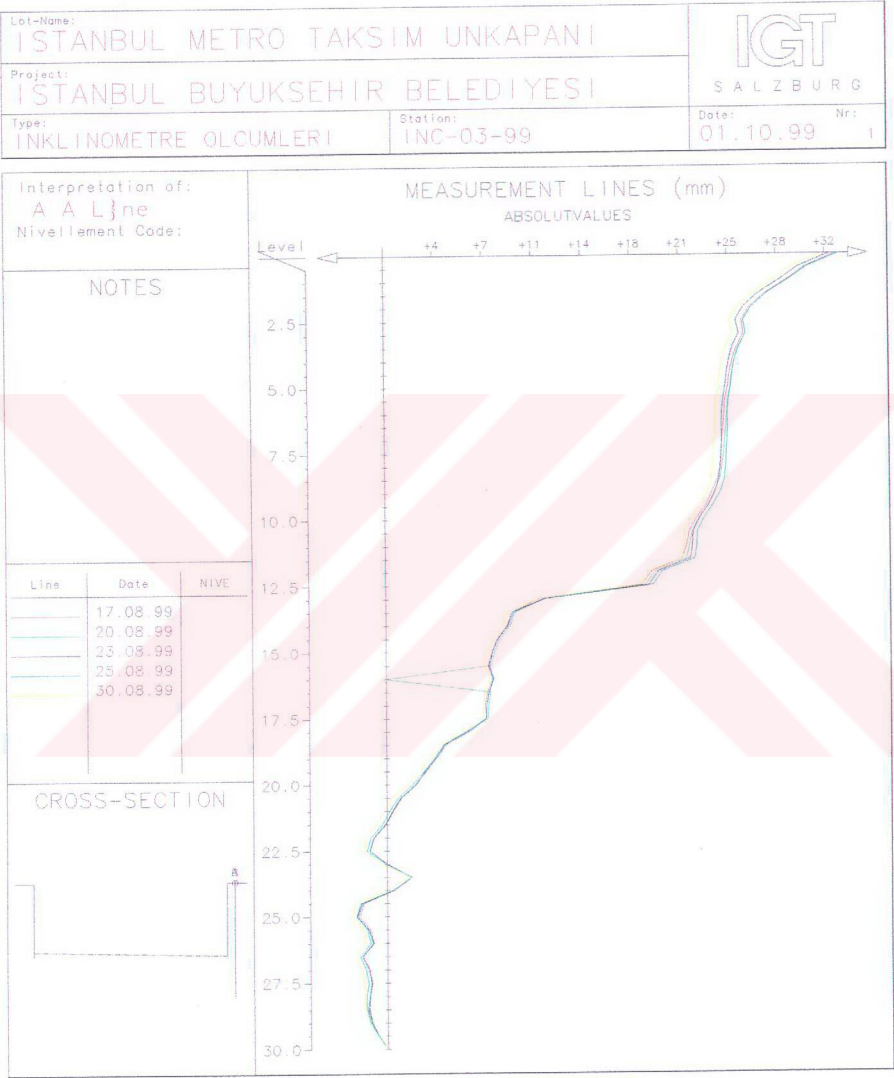
Lujyon eşitliği / Equation for Lugeon  $L = (100/l) * (q/h)$   
l = Deney kesitinin boyu / Length of test section  
q/h = Grafiğin Eğimi / Slope of graph

Geçirimlilik eşitliği / Equation for Permeability  $K = (q/(3.1417 * H * L)) * LN(L/r)$   
q = Akış oranı / Rate of injection  
H = Su sütunu / Pressure head  
L = Deney kesitinin boyu / Length of test section  
r = Deney kesitinin yarıçapı / Radius of test section

Calculation of assessed permeability and Lugeon values

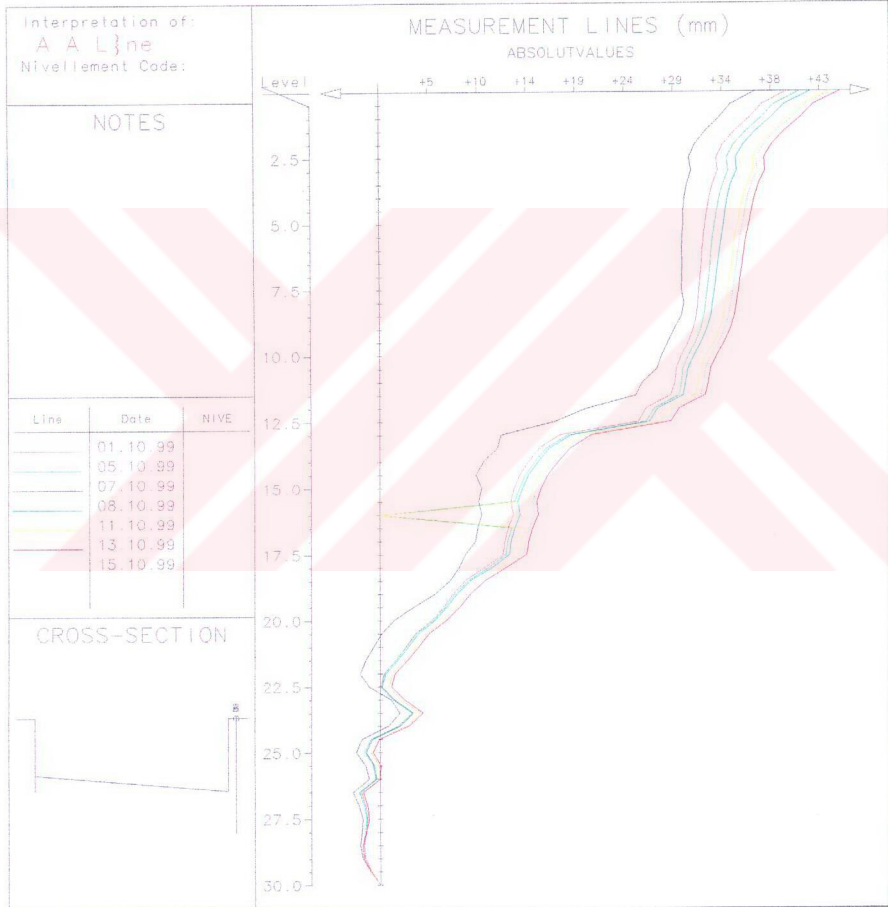


Şekil D.4 Geçirimlilik Deneyi rapor ve hesap tablosu



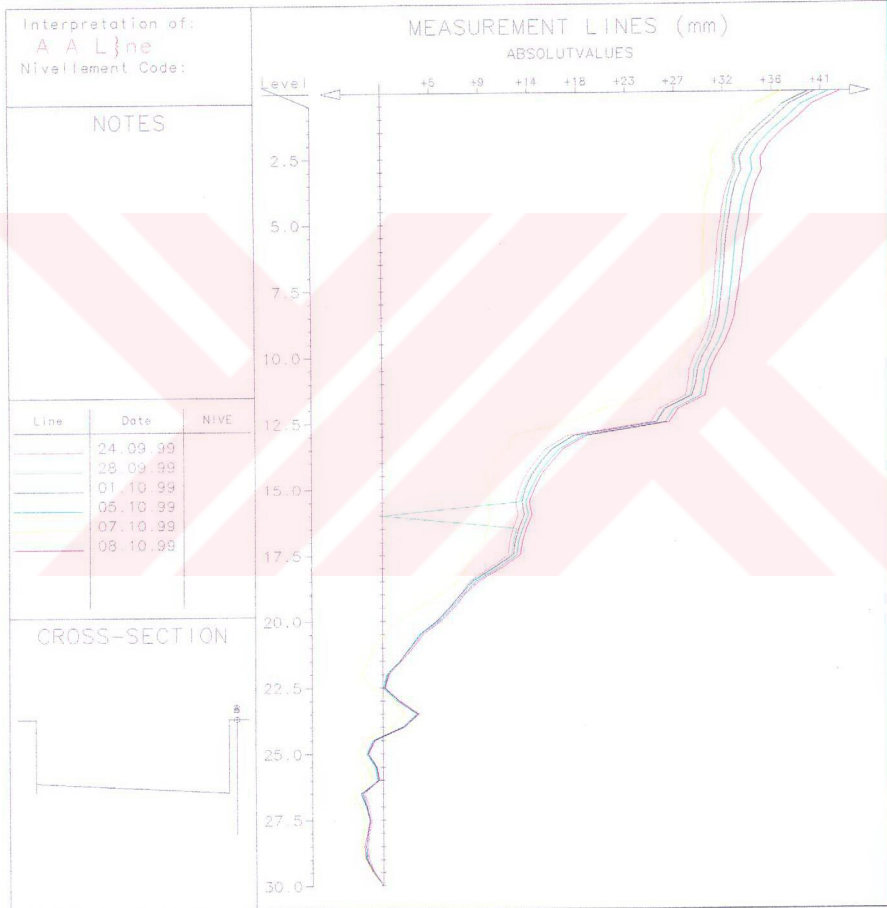
**Şekil E.1** Şişhane İstasyonu inklinometre (İNC-03-99) ölçüm grafiği

|                                            |                       |                                                                                   |          |
|--------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Lot-Name:<br>İSTANBUL METRO T BM UNKAPANI  |                       |  |          |
| Project:<br>İSTANBUL BUYUKSEHIR BELEDİYESİ |                       |                                                                                   |          |
| Type:<br>İNKLINOMETRE OLCUMLARI            | Station:<br>İNC-03-99 | Date:<br>16.10.99                                                                 | Nr:<br>1 |



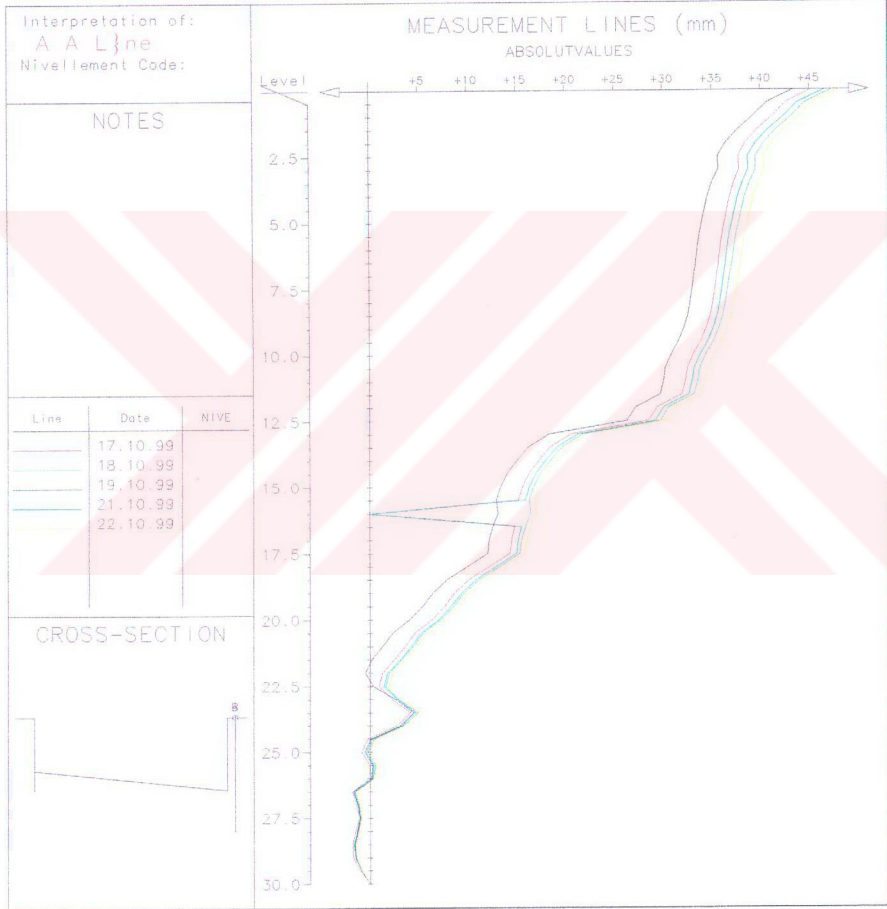
Şekil E.2 Şişhane İstasyonu inklinometre (İNC-03-99) ölçüm grafiği

|                                             |                       |                                                                                   |         |
|---------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Lot-Name:<br>İSTANBUL METRO TML AM UNKAPANI |                       |  |         |
| Project:<br>İSTANBUL BUYUKSEHIR BELEDİYESİ  |                       |                                                                                   |         |
| Type:<br>İNKLINOMETRE OLCUMLARI             | Station:<br>INC-03-99 | Date:<br>27.10.99                                                                 | №:<br>1 |

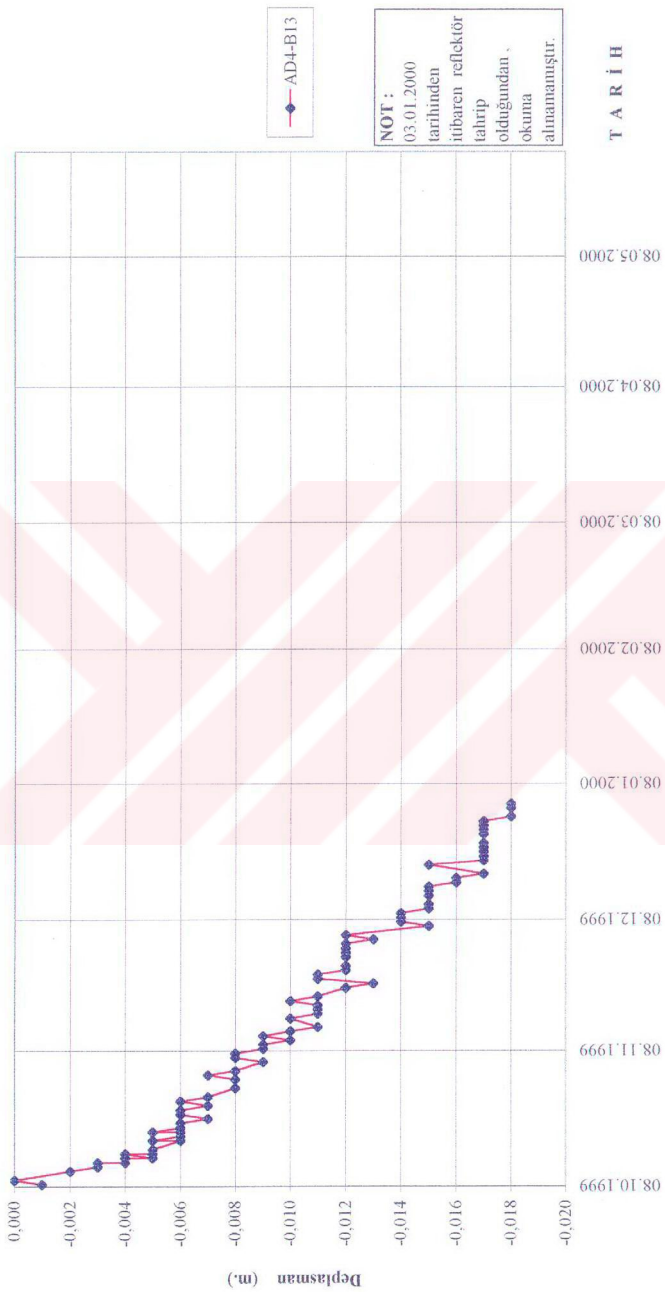


Şekil E.3 Şişhane İstasyonu inklinometre (INC-03-99) ölçüm grafiği

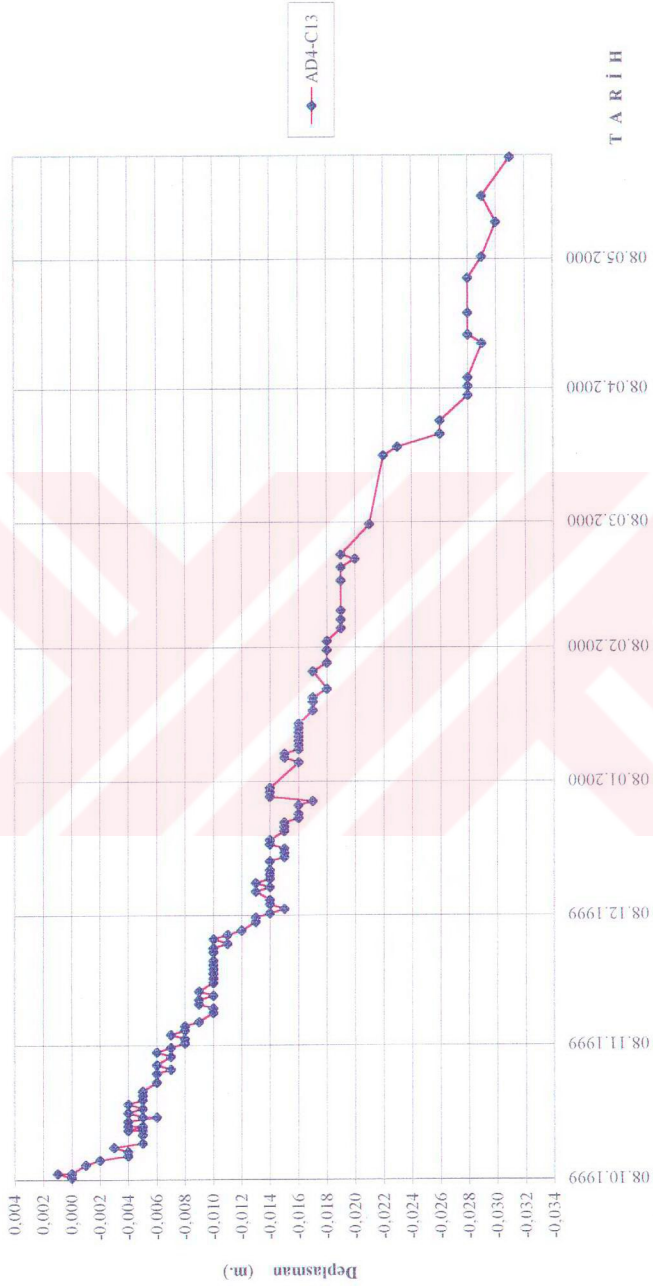
|                                             |                       |                               |
|---------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| Lot-Name:<br>İSTANBUL METRO T1Q BM UNKAPANI |                       | IGT<br>SALZBURG               |
| Project:<br>İSTANBUL BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ  |                       |                               |
| Type:<br>İNKLINOMETRE ÖLÇÜMLERİ             | Station:<br>INC-03-99 | Date:<br>28.10.99<br>Nr:<br>1 |



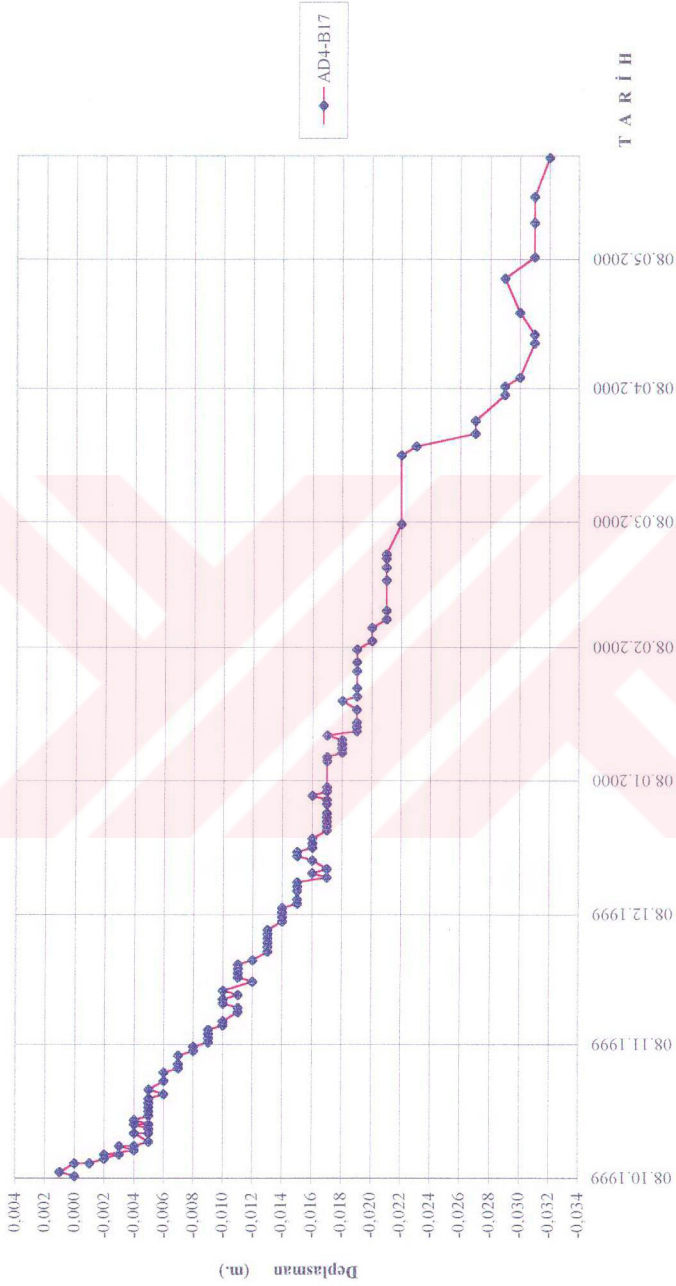
Şekil E.4 Şişhane İstasyonu inklinometre (INC-03-99) ölçüm grafiği



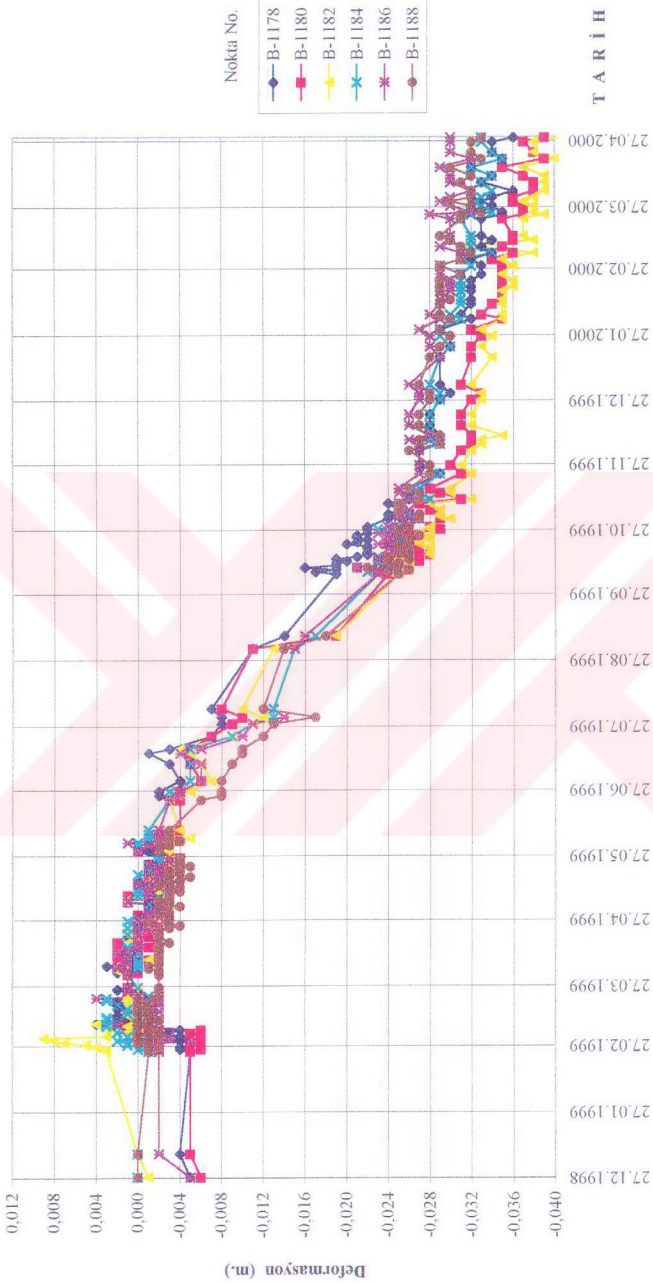
**Şekil F.1** Şişhane İstasyonu Konkors 1 İstasyon Destekleme Duvarı (AD4-B13 sırası) Reflektör Ölçüm Grafiği



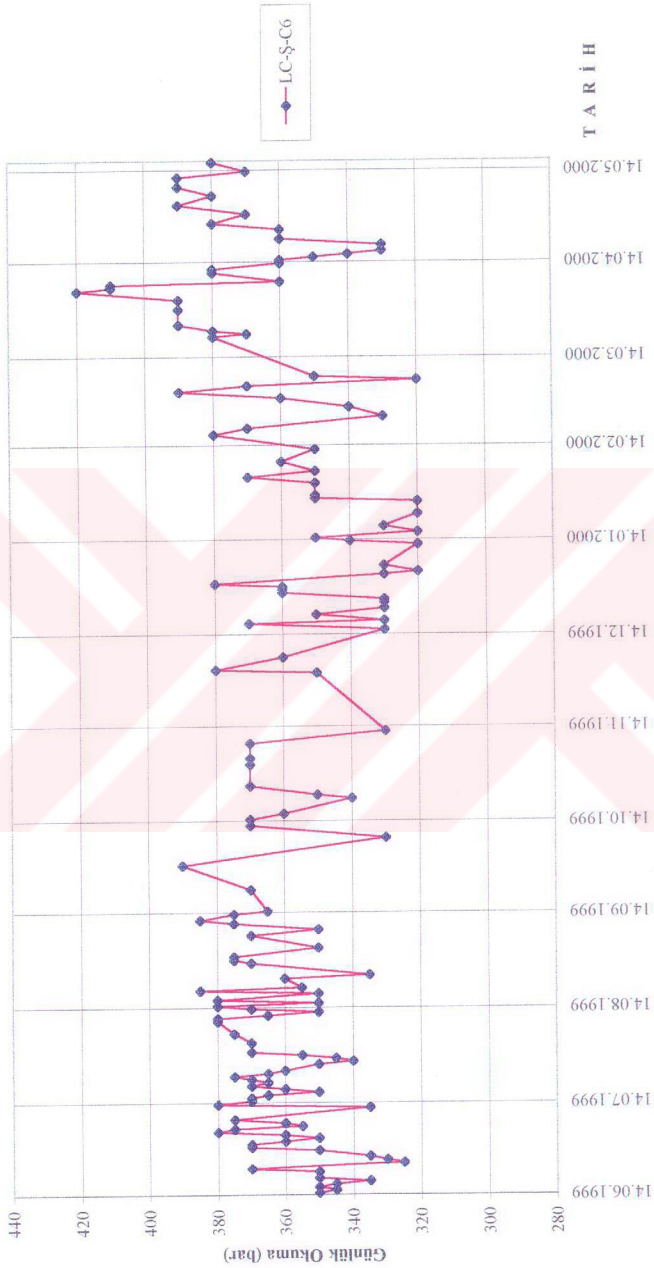
**Şekil F.2** Şişhane İstasyonu Konkors 1 İstasyon Destekleme Duvarı (AD4-C13 sırası) Reflektör Ölçüm Grafiği



**Şekil F.3** Şişhane İstasyonu Konkors 1 İstasyon Destekleme Duvarı (AD4-B17 sırası) Reflektör Ölçüm Grafiği



**Şekil G.1** Şişhane İstasyonu Konkors 1 AD-4 Duvarı Üstü Bina Nivelman Bulonu Ölçüm Grafiği



**Şekil H.1** Şişhane İstasyonu Konkors 1 (AD-4) Diskli Yük Hücresi (Load Cell) Ölçüm Grafiği

## ÖZGEÇMİŞ

1974 yılında Tatvan’ da doğdu. İlkokulu Tatvan Fuar İlkokulu’ nda (1985), orta öğrenimini ise Tatvan Atatürk Lisesi’ nde (1991) tamamladı. 1991-1995 yılları arasında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’ nü bitirdi. Ardından yine aynı üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Geoteknik Programı’ nda Yüksek Lisansını tamamladı. Halen İstanbul Büyükşehir Belediyesi Teknik İşler Müdürlüğü’ nde Metro İnşaatı Kontrol Mühendisi olarak çalışmaktadır.