

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ZEMİN ANKRAJLARININ TAŞIMA GÜCÜ VE İMAL YÖNTEMLERİNİN  
TAŞIMA GÜCÜNE ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Anıl HELVACIOĞLU**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği**

**NİSAN 2015**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ZEMİN ANKRAJLARININ TAŞIMA GÜCÜ VE İMAL YÖNTEMLERİNİN  
TAŞIMA GÜCÜNE ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Anıl HELVACIOĞLU**

**(501111302)**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. A. Oğuz TAN**

**NİSAN 2015**



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501111302 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Anıl HELVACIOĞLU**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**Zemin Akrajlارının Taşıma Gücü ve İmal Yöntemlerinin Taşıma Gücüne Etkisi**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :**      **Doç. Dr. A. Oğuz TAN**      .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :**      **Prof. Dr. Recep İYİSAN**      .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Doç. Dr. Sadık ÖZTOPRAK**      .....  
İstanbul Üniversitesi

**Teslim Tarihi :**      **22 Nisan 2015**

**Savunma Tarihi :**      **5 Mayıs 2015**



*Aileme ve tüm sevdiklerime,*



## ÖNSÖZ

Yüksek Lisans eğitimim boyunca, bilgisini ve tecrübelerini benimle paylaşmaktan esirgemeyen, vermiş olduğu bilgi ve öğütler sayesinde, bugün siz değerli jüri üyelerine sunmuş olduğum "Yüksek Lisans Tezi" için, bana yardımcı olan tüm hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tezimin konusu hakkında değerli görüş ve fikirlerinden yararlandığım, bilgi ve tecrübelerini bana aktarmaktan esirgemeyen, başta Dr. İ. Rasin DÜZCEER olmak üzere tüm KASKTAŞ A.Ş. ekibine minnetlerimle teşekkür ederim. Ayrıca, bana her konuda destek olan, Yüksek Lisans Tezimi zamanında bitirebileceğime inanan ve inandıran çalışma arkadaşım sevgili dostum Nejla YILDIZ'a da buradan teşekkür ederim. Yaşamım ve eğitim hayatım boyunca çevremde yer alan dostlarımda bana hissettirdikleri ve yaşattıkları güzel duygular için kendilerine teşekkürlerimi iletirim. Dostum Feyzullah GÜLŞEN'e de tezim için vermiş olduğu emekleri için teşekkürlerimi iletirim. Bu günlere gelebilmem için gösterdikleri her türlü fedakarlık ve sağladıkları maddi ve manevi destekleri için sevgili Annem ve Babam'a sonsuz şükranlarımı sunarım. Son olarak, Yüksek Lisans Tezimi hazırlayıp zamanında verebileceğime inanan ve bana destek olan sevgili teyzem Prof. Dr. Güler MÜNGAN'a minnet duygularıyla teşekkür eder, yukarıda adı geçen herkese sevgilerimi sunarım.

Nisan 2015

Anıl HELVACIOĞLU

(İnşaat Mühendisi)



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|                                                                                       |       |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| ÖNSÖZ.....                                                                            | vii   |
| İÇİNDEKİLER .....                                                                     | ix    |
| KISALTMALAR .....                                                                     | xi    |
| ÇİZELGE LİSTESİ.....                                                                  | xiii  |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                                                    | xix   |
| ÖZET.....                                                                             | xxix  |
| SUMMARY .....                                                                         | xxxii |
| 1. GİRİŞ .....                                                                        | 1     |
| 1.1 Kapsam ve Amaç .....                                                              | 2     |
| 2. ZEMİN ANKRAJLARIN TARİHÇESİ .....                                                  | 3     |
| 2.1 Zemin Ankrajların Farklı Ülkelere Göre Tarihsel Gelişimi .....                    | 9     |
| 2.1.1 Almanya ve Avusturya.....                                                       | 10    |
| 2.1.2 İsviçre.....                                                                    | 15    |
| 2.1.3 Fransa .....                                                                    | 18    |
| 2.1.4 Birleşik Krallık (İngiltere) .....                                              | 19    |
| 2.1.5 Ankraj Uygulaması ve Teknolojilerin Avrupa'da Standartlaşması.....              | 23    |
| 2.1.6 Birleşik Devletler (ABD) .....                                                  | 24    |
| 2.1.7 Diğer Ülkeler.....                                                              | 30    |
| 2.1.8 Türkiye .....                                                                   | 31    |
| 3. ZEMİN ANKRAJLARIN TANIMI ve ÇALIŞMA PRENSİPLERİNE GÖRE TİPLERİ .....               | 35    |
| 3.1 Ankrajın Tanımı .....                                                             | 38    |
| 3.2 Aktif ve Pasif Ankraj Kavramları .....                                            | 40    |
| 3.3 Pasif Ankrajlar (Zemin Çivileri) .....                                            | 43    |
| 3.4 Aktif Ankraj ile Pasif Ankraj Arasındaki Farklar, Olumlu ve Olumsuz Yanları ..... | 46    |
| 3.5 Kalıcı ve Geçici Ankraj Kavramları.....                                           | 54    |
| 3.5.1 PTI (Ard Germe Enstitüsü-Post Tensioning Institute).....                        | 57    |
| 3.5.2 SIA 191 (İsviçre Standardı) .....                                               | 58    |
| 3.5.3 TA-95 (Tirants d'ancrage).....                                                  | 58    |
| 3.5.4 BS 8081( Zemin Ankrajları, British Standard Code of Practice) .....             | 59    |
| 3.5.5 EN 1537 (Avrupa Standardı, EuroNorm) .....                                      | 60    |
| 4. ANKRAJ TAŞIMA GÜCÜ HESAP YAKLAŞIMLARI.....                                         | 61    |
| 4.1 Enjeksiyon Uygulama Tekniğine Göre Öngermeli Ankrajlar.....                       | 64    |
| 4.2 Farklı Zemin ve Kaya Formasyonlarında Ankraj Taşıma Gücü Hesap Yaklaşımları ..... | 67    |
| 4.2.1 Kohezyonsuz Zeminlerde Ankraj Taşıma Gücü .....                                 | 67    |
| 4.2.2 Kohezyonlu Zeminlerde Ankraj Taşıma Gücü .....                                  | 80    |
| 4.2.3 Kaya Formasyonlarında Ankraj Taşıma Gücü.....                                   | 89    |
| 4.3 Ankraj Taşıma Gücü Hesabında Kullanılan Güvenlik Sayıları .....                   | 95    |

|                                                                                                                                                                              |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>5. YÜKSEK BASINÇLI ARD ENJEKSİYON ANKRAJLAR ve TEK DELGİLİ ÇOKLU ANKRAJLAR (SBMA).....</b>                                                                                | <b>101</b> |
| 5.1 Yüksek Basınçlı Ard Enjeksiyon Ankrajları (Tube-A Manchette) .....                                                                                                       | 101        |
| 5.2 Tek Delgili Çoklu Ankraj (SBMA) .....                                                                                                                                    | 106        |
| <b>6. VAKA ANALİZİ : İSTANBUL BAKIRKÖY SAHİL BÖLGESİNDE YAPILACAK OLAN DERİN KAZININ DESTEKLENMESİNDE KULLANILACAK ÖNGERMELİ ANKRAJLARIN KÖK TAŞIMA GÜCÜNÜN TAYİNİ .....</b> | <b>113</b> |
| 6.1 Proje Bilgisi .....                                                                                                                                                      | 114        |
| 6.2 Zemin Bilgisi .....                                                                                                                                                      | 115        |
| 6.3 Deney Programı ve Deney Amaçlı İmal Edilen Ankrajları.....                                                                                                               | 116        |
| 6.3.1 Tube a Manchette (Ard Enjeksiyon, Post-Grouting) .....                                                                                                                 | 118        |
| 6.3.2 SBMA (Single Borehole Multiplier Anchor).....                                                                                                                          | 119        |
| 6.4 Deney Alanı 1&6.....                                                                                                                                                     | 119        |
| 6.4.1 Deney Ankrajları İmalat Yöntemleri.....                                                                                                                                | 122        |
| 6.4.2 Saha Deneyleri .....                                                                                                                                                   | 122        |
| 6.4.3 Deney Ankrajı 1 .....                                                                                                                                                  | 124        |
| 6.4.4 Deney Ankrajı 13 .....                                                                                                                                                 | 130        |
| 6.5 Deney Alanı 2&5.....                                                                                                                                                     | 135        |
| 6.5.1 Deney Ankrajları ile İlgili İmalat Yöntemleri.....                                                                                                                     | 138        |
| 6.5.2 Saha Deneyleri .....                                                                                                                                                   | 141        |
| 6.5.3 Deney Ankrajı-2 (Alan-2) .....                                                                                                                                         | 143        |
| 6.5.4 Deney Ankrajı-3 (Alan-2) .....                                                                                                                                         | 148        |
| 6.5.5 Deney Ankrajı-4 (Alan-2) .....                                                                                                                                         | 153        |
| 6.5.6 Deney Ankrajı-18 (Alan-2) .....                                                                                                                                        | 170        |
| 6.5.7 Deney Ankrajı-11 (Alan-5) .....                                                                                                                                        | 176        |
| 6.5.8 Deney Ankrajı-12 (Alan-5) .....                                                                                                                                        | 181        |
| 6.6 Deney Alanı 3&4.....                                                                                                                                                     | 187        |
| 6.6.1 Deney Ankrajları ile İlgili İmalat Yöntemleri.....                                                                                                                     | 190        |
| 6.6.2 Saha Deneyleri .....                                                                                                                                                   | 196        |
| 6.6.3 Deney Ankrajı-5 (Alan-3) .....                                                                                                                                         | 198        |
| 6.6.4 Deney Ankrajı-6 (Alan-3) .....                                                                                                                                         | 204        |
| 6.6.5 Deney Ankrajı-7 (Alan-3) .....                                                                                                                                         | 209        |
| 6.6.6 Deney Ankrajı-15 (Alan-3) .....                                                                                                                                        | 226        |
| 6.6.7 Deney Ankrajı-16 (Alan-3) .....                                                                                                                                        | 233        |
| 6.6.8 Deney Ankrajı-19 (Alan-3) .....                                                                                                                                        | 239        |
| 6.6.9 Deney Ankrajı-20 (Alan-3) .....                                                                                                                                        | 254        |
| 6.6.10 Deney Ankrajı-21 (Alan-3) .....                                                                                                                                       | 259        |
| 6.6.11 Deney Ankrajı-8 (Alan-4) .....                                                                                                                                        | 275        |
| 6.6.12 Deney Ankrajı-9 (Alan-4) .....                                                                                                                                        | 279        |
| 6.6.13 Deney Ankrajı-10 (Alan-4) .....                                                                                                                                       | 284        |
| 6.7 Deney Ankrajları Taşıma Gücü Tayini .....                                                                                                                                | 299        |
| 6.7.1 Teorik Yaklaşımlar Kullanılarak Hesaplanan Ankraj Taşıma Gücü .....                                                                                                    | 299        |
| 6.7.2 Saha Deneyleri Sonucunda Ulaşılan Ankraj Taşıma Gücü.....                                                                                                              | 312        |
| <b>7. SONUÇ ve ÖNERİLER.....</b>                                                                                                                                             | <b>317</b> |
| 7.1 Sonuçlar.....                                                                                                                                                            | 318        |
| 7.2 Öneriler.....                                                                                                                                                            | 320        |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>                                                                                                                                                        | <b>321</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>                                                                                                                                                         | <b>325</b> |

## **KISALTMALAR**

|             |                                                                                        |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>BS</b>   | : İngiliz Standardı                                                                    |
| <b>VSL</b>  | : Losinger'in Germe Sistemleri (Vorspann System Losinger)                              |
| <b>FHWA</b> | : Birleşik Devletler Federal Otoyol Ulaştırma İdaresi (Federal Highway Administration) |
| <b>PTI</b>  | : Ard Germe Enstitüsü (Post Tensioning Institute)                                      |
| <b>PCI</b>  | : Prekast / Ön Gerilmiş Beton Enstitüsü                                                |
| <b>SIA</b>  | : İsviçre Mühendisler ve Mimarlar Topluluğu                                            |
| <b>TA</b>   | : Zemin Ankrajları (Fransız Normu)                                                     |
| <b>EN</b>   | : Avrupa Normu                                                                         |
| <b>BGA</b>  | : İngiliz Geoteknik Derneği                                                            |
| <b>DIN</b>  | : Alman Standartları Enstitüsü                                                         |
| <b>UCS</b>  | : Serbest Basınç Dayanımı                                                              |
| <b>SPT</b>  | : Standart Penetrasyon Testi                                                           |



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Çizelge 2.1 :</b> Birleşik devlet'lerde yer alan ankraj uygulamalarına ait örnek proje ve elde edilen maksimum ankraj yükleri (Xanthakos, 1991) .....             | 27  |
| <b>Çizelge 3.1 :</b> Ankrajların germe derecesi ve görevine göre sınıflandırması (Xanthakos, 1991).....                                                              | 42  |
| <b>Çizelge 3.2 :</b> Ankrajların germe derecesi ve görevine göre sınıflandırması (Byrne ve diğerleri, FHWA, 1998) .....                                              | 53  |
| <b>Çizelge 3.3 :</b> Farklı Yıllarda Yayınlanan PTI dokümanlarına göre Kalıcı Ankraj Hizmet Süresi (Bruce ve Wolfhope, 2007) .....                                   | 57  |
| <b>Çizelge 4.1 :</b> Narinlik-Nq Değeri Arasındaki İlişki (Littlejohn,1980) .....                                                                                    | 70  |
| <b>Çizelge 4.2 :</b> İnce daneli kum zeminde yapılan saha deneyleri özeti (Toğrol ve Sağlamer,1978) .....                                                            | 73  |
| <b>Çizelge 4.3 :</b> Lineer regresyon analize (Kramer, 1978) dayanarak oluşturulan ankraj taşıma gücü hesabı parametre sınır değerleri ve regresyon katsayıları..... | 78  |
| <b>Çizelge 4.4 :</b> Farklı kohezyonlu zeminlerde ankraj taşıma gücü hesabında kullanılan adezyon faktörü değerleri.....                                             | 81  |
| <b>Çizelge 4.5 :</b> Lineer regresyon analize (Kramer, 1978) dayanarak oluşturulan ankraj taşıma gücü hesabı parametre sınır değerleri ve regresyon katsayıları..... | 87  |
| <b>Çizelge 4.6 :</b> Ostermayer'in (1974) ankraj kök sürtünme direnci incelemesinde baz aldığı deney ankrajlarının açıklaması.....                                   | 88  |
| <b>Çizelge 4.7 :</b> Çimento enjeksiyonlu kaya ankrajları için uygulamada yapılmış/önerilen kök boyu değerleri (Littlejohn,1980) .....                               | 92  |
| <b>Çizelge 4.8 :</b> Farklı kaya çeşitlerine göre tasarım için önerilen kaya/enjeksiyon sürtünme direnci değerleri (Littlejohn,1980) .....                           | 93  |
| <b>Çizelge 4.9 :</b> Ankraj tasarımı (tendon ve ankraj kafası) için önerilen güvenlik sayıları (Littlejohn,1979) .....                                               | 96  |
| <b>Çizelge 4.10 :</b> Ankraj tasarımı için İsviçre Normu tarafından önerilen güvenlik sayıları (SIA 191-1977).....                                                   | 97  |
| <b>Çizelge 4.11 :</b> DIN 4125:1990'a göre izin verilebilir ankraj yükleri için farklı kriterler ve önerilen güvenlik sayıları .....                                 | 97  |
| <b>Çizelge 4.12 :</b> Ankraj tasarımı için İngiliz Standardında geçen güvenlik sayıları (BS8081:1989) .....                                                          | 98  |
| <b>Çizelge 4.13 :</b> TA'95 göre İzin Verilebilir Ankraj Yükleri için Farklı Kriterler ve Önerilen Güvenlik Sayıları .....                                           | 99  |
| <b>Çizelge 5.1 :</b> Ankrajları Ard Enjeksiyon Bilgisi ve Ankraj Taşıma Gücü Değerleri (Lacour ve diğerleri, 1978).....                                              | 104 |
| <b>Çizelge 5.2 :</b> Geleneksel-SBMA Ankrajı Taşıma Gücü Karşılaştırmasına Bir Örnek .....                                                                           | 109 |
| <b>Çizelge 6.1 :</b> Proje Sahasında Farklı Bölgelerde İmal Edilen Deney Ankrajları.....                                                                             | 117 |
| <b>Çizelge 6.2 :</b> Ankraj no-1&13 Deney Sırasında Yük Uygulama ve Bekleme Adımları .....                                                                           | 123 |
| <b>Çizelge 6.3 :</b> Deney Ankrajı-1 için Kullanılan Halat Tipi ve Özellikleri.....                                                                                  | 124 |

|                                                                                                                                         |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Çizelge 6.4 : Deney Ankrajı-1 için Kullanılan Çimento Tipi ve Sarfiyatı, Enjeksiyon Bilgileri.....</b>                               | <b>124</b> |
| <b>Çizelge 6.5 : Zamana Bağlı Ankrajın Taşıdığı Yük Altında İzin Verilebilir Uzama Değerleri.....</b>                                   | <b>127</b> |
| <b>Çizelge 6.6 : Yük Kademelerinde Ölçülen Elastik ve Kalıcı Ankraj Uzama Değerleri .....</b>                                           | <b>128</b> |
| <b>Çizelge 6.7 : Farklı Yükler Altında Ankraj-1 için Uzama Oranları ve İzin Verilebilir Limitler.....</b>                               | <b>129</b> |
| <b>Çizelge 6.8 : Deney Ankrajı-13 için Kullanılan Halat Tipi ve Özellikleri .....</b>                                                   | <b>130</b> |
| <b>Çizelge 6.9 : Deney Ankrajı-13 için Kullanılan Çimento Tipi ve Sarfiyatı, Enjeksiyon Bilgileri.....</b>                              | <b>130</b> |
| <b>Çizelge 6.10 : Yük Kademelerinde Ölçülen Elastik ve Kalıcı Ankraj Uzama Değerleri.....</b>                                           | <b>133</b> |
| <b>Çizelge 6.11 : Farklı Yükler Altında Ankraj-13 için Uzama Oranları ve İzin Verilebilir Limitler .....</b>                            | <b>134</b> |
| <b>Çizelge 6.12 : Deney Alanı-2 İçerisinde İmal Edilen Ankrajların Halat Tipi ve Özellikleri.....</b>                                   | <b>139</b> |
| <b>Çizelge 6.13 : Deney Alanı-2 İçerisinde İmal Edilen Ankrajlarda Kullanılan Çimento Tipi ve Sarfiyatı, Enjeksiyon Bilgileri .....</b> | <b>139</b> |
| <b>Çizelge 6.14 : Deney Alanı-5 İçerisinde İmal Edilen Ankrajların Halat Tipi ve Özellikleri.....</b>                                   | <b>140</b> |
| <b>Çizelge 6.15 : Deney Alanı-2 İçerisinde İmal Edilen Ankrajlarda Kullanılan Çimento Tipi ve Sarfiyatı, Enjeksiyon Bilgileri .....</b> | <b>141</b> |
| <b>Çizelge 6.16 : 2&amp;5 Numaralı Alanlarda Deney Sırasında İzlenecek Yük Uygulama ve Bekleme Adımları .....</b>                       | <b>142</b> |
| <b>Çizelge 6.17 : Yük Kademelerinde Ölçülen Elastik ve Kalıcı Ankraj Uzama Değerleri.....</b>                                           | <b>146</b> |
| <b>Çizelge 6.18 : Farklı Yükler Altında Ankraj-2 için Uzama Oranları ve İzin Verilebilir Limitler .....</b>                             | <b>147</b> |
| <b>Çizelge 6.19 : Yük Kademelerinde Ölçülen Elastik ve Kalıcı Ankraj Uzama Değerleri.....</b>                                           | <b>151</b> |
| <b>Çizelge 6.20 : Farklı Yükler Altında Ankraj-3 için Uzama Oranları ve İzin Verilebilir Limitler .....</b>                             | <b>153</b> |
| <b>Çizelge 6.21 : Deney Ankrajı-4 Ünite Özellikleri .....</b>                                                                           | <b>154</b> |
| <b>Çizelge 6.22 : Yük Kademelerinde Ölçülen Elastik ve Kalıcı Ankraj Uzama Değerleri.....</b>                                           | <b>165</b> |
| <b>Çizelge 6.23 : Farklı Yükler Altında Ankraj-4 (Ünite-A) için Uzama Oranları ve İzin Verilebilir Limitler .....</b>                   | <b>168</b> |
| <b>Çizelge 6.24 : Farklı Yükler Altında Ankraj-4 (Ünite-B) için Uzama Oranları ve İzin Verilebilir Limitler .....</b>                   | <b>168</b> |
| <b>Çizelge 6.25 : Farklı Yükler Altında Ankraj-4 (Ünite-C) için Uzama Oranları ve İzin Verilebilir Limitler .....</b>                   | <b>169</b> |
| <b>Çizelge 6.26 : Farklı Yükler Altında Ankraj-4 (Ünite-D) için Uzama Oranları ve İzin Verilebilir Limitler .....</b>                   | <b>169</b> |
| <b>Çizelge 6.27 : Yük Kademelerinde Ölçülen Elastik ve Kalıcı Ankraj Uzama Değerleri.....</b>                                           | <b>174</b> |
| <b>Çizelge 6.28 : Farklı Yükler Altında Ankraj-18 için Uzama Oranları ve İzin Verilebilir Limitler .....</b>                            | <b>175</b> |
| <b>Çizelge 6.29 : Yük Kademelerinde Ölçülen Elastik ve Kalıcı Ankraj Uzama Değerleri.....</b>                                           | <b>179</b> |

|                                                                                                                                         |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Çizelge 6.30 : Farklı Yükler Altında Ankraj-11 için Uzama Oranları ve İzin Verilebilir Limitler .....</b>                            | <b>181</b> |
| <b>Çizelge 6.31 : Yük Kademelerinde Ölçülen Elastik ve Kalıcı Ankraj Uzama Değerleri.....</b>                                           | <b>185</b> |
| <b>Çizelge 6.32 : Farklı Yükler Altında Ankraj-12 için Uzama Oranları ve İzin Verilebilir Limitler .....</b>                            | <b>186</b> |
| <b>Çizelge 6.33 : 15 Numaralı Deney Ankrajını Oluşturan Ünitelerin Farklı Çekme Yükleri Altında Beklenen Yük Dağılımı .....</b>         | <b>192</b> |
| <b>Çizelge 6.34 : : Deney Alanı-3 İçerisinde İmal Edilen Ankrajların Halat Tipi ve Özellikleri.....</b>                                 | <b>193</b> |
| <b>Çizelge 6.35 : Deney Alanı-3 İçerisinde İmal Edilen Ankrajlarda Kullanılan Çimento Tipi ve Sarfiyatı, Enjeksiyon Bilgileri .....</b> | <b>194</b> |
| <b>Çizelge 6.36 : Deney Alanı-4 İçerisinde İmal Edilen Ankrajların Halat Tipi ve Özellikleri.....</b>                                   | <b>195</b> |
| <b>Çizelge 6.37 : Deney Alanı-4 İçerisinde İmal Edilen Ankrajlarda Kullanılan Çimento Tipi ve Sarfiyatı, Enjeksiyon Bilgileri .....</b> | <b>196</b> |
| <b>Çizelge 6.38 : 3&amp;4 Numaralı Alanlarda Deney Sırasında İzlenecek Yük Uygulama ve Bekleme Adımları .....</b>                       | <b>197</b> |
| <b>Çizelge 6.39 : Yük Kademelerinde Ölçülen Elastik ve Kalıcı Ankraj Uzama Değerleri.....</b>                                           | <b>201</b> |
| <b>Çizelge 6.40 : Farklı Yükler Altında Ankraj-5 için Uzama Oranları ve İzin Verilebilir Limitler .....</b>                             | <b>203</b> |
| <b>Çizelge 6.41 : Yük Kademelerinde Ölçülen Elastik ve Kalıcı Ankraj Uzama Değerleri.....</b>                                           | <b>207</b> |
| <b>Çizelge 6.42 : Farklı Yükler Altında Ankraj-6 için Uzama Oranları ve İzin Verilebilir Limitler .....</b>                             | <b>209</b> |
| <b>Çizelge 6.43 : Deney Ankrajı-7 Ünite Özellikleri .....</b>                                                                           | <b>210</b> |
| <b>Çizelge 6.44 : Yük Kademelerinde Ölçülen Elastik ve Kalıcı Ankraj Uzama Değerleri.....</b>                                           | <b>221</b> |
| <b>Çizelge 6.45 : Farklı Yükler Altında Ankraj-7 (Ünite-A) için Uzama Oranları ve İzin Verilebilir Limitler .....</b>                   | <b>225</b> |
| <b>Çizelge 6.46 : Farklı Yükler Altında Ankraj-7 (Ünite-B) için Uzama Oranları ve İzin Verilebilir Limitler .....</b>                   | <b>225</b> |
| <b>Çizelge 6.47 : Farklı Yükler Altında Ankraj-7 (Ünite-C) için Uzama Oranları ve İzin Verilebilir Limitler .....</b>                   | <b>225</b> |
| <b>Çizelge 6.48 : Farklı Yükler Altında Ankraj-7 (Ünite-D) için Uzama Oranları ve İzin Verilebilir Limitler .....</b>                   | <b>225</b> |
| <b>Çizelge 6.49 : Yük Kademelerinde Ölçülen Elastik ve Kalıcı Ankraj Uzama Değerleri (0.5" Halatlı Ünite).....</b>                      | <b>230</b> |
| <b>Çizelge 6.50 : Yük Kademelerinde Ölçülen Elastik ve Kalıcı Ankraj Uzama Değerleri (0.6" Halatlı Ünite).....</b>                      | <b>231</b> |
| <b>Çizelge 6.51 : Farklı Yükler Altında Ankraj-15 için Uzama Oranları ve İzin Verilebilir Limitler .....</b>                            | <b>233</b> |
| <b>Çizelge 6.52 : Yük Kademelerinde Ölçülen Elastik ve Kalıcı Ankraj Uzama Değerleri.....</b>                                           | <b>237</b> |
| <b>Çizelge 6.53 : Farklı Yükler Altında Ankraj-16 için Uzama Oranları ve İzin Verilebilir Limitler .....</b>                            | <b>238</b> |
| <b>Çizelge 6.54 : Deney Ankrajı-19 Ünite Özellikleri .....</b>                                                                          | <b>239</b> |
| <b>Çizelge 6.55 : Yük Kademelerinde Ölçülen Elastik ve Kalıcı Ankraj Uzama Değerleri.....</b>                                           | <b>249</b> |

|                                                                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Çizelge 6.56</b> : Farklı Yükler Altında Ankraj-19 (Ünite-A) için Uzama Oranları ve İzin Verilebilir Limitler .....                  | 252 |
| <b>Çizelge 6.57</b> : Farklı Yükler Altında Ankraj-19 (Ünite-B) için Uzama Oranları ve İzin Verilebilir Limitler .....                  | 252 |
| <b>Çizelge 6.58</b> : Farklı Yükler Altında Ankraj-19 (Ünite-C) için Uzama Oranları ve İzin Verilebilir Limitler .....                  | 253 |
| <b>Çizelge 6.59</b> : Farklı Yükler Altında Ankraj-19 (Ünite-D) için Uzama Oranları ve İzin Verilebilir Limitler .....                  | 253 |
| <b>Çizelge 6.60</b> : Yük Kademelerinde Ölçülen Elastik ve Kalıcı Ankraj Uzama Değerleri (Deney Ankrajı-20) .....                       | 257 |
| <b>Çizelge 6.61</b> : Farklı Yükler Altında Ankraj-20 için Uzama Oranları ve İzin Verilebilir Limitler .....                            | 259 |
| <b>Çizelge 6.62</b> : Deney Ankrajı-21 Ünite Özellikleri .....                                                                          | 260 |
| <b>Çizelge 6.63</b> : Yük Kademelerinde Ölçülen Elastik ve Kalıcı Ankraj Uzama Değerleri.....                                           | 270 |
| <b>Çizelge 6.64</b> : Farklı Yükler Altında Ankraj-21 (Ünite-A) için Uzama Oranları ve İzin Verilebilir Limitler .....                  | 273 |
| <b>Çizelge 6.65</b> : Farklı Yükler Altında Ankraj-21 (Ünite-B) için Uzama Oranları ve İzin Verilebilir Limitler .....                  | 273 |
| <b>Çizelge 6.66</b> : Farklı Yükler Altında Ankraj-21 (Ünite-C) için Uzama Oranları ve İzin Verilebilir Limitler .....                  | 273 |
| <b>Çizelge 6.67</b> : Farklı Yükler Altında Ankraj-21 (Ünite-D) için Uzama Oranları ve İzin Verilebilir Limitler .....                  | 274 |
| <b>Çizelge 6.68</b> : Yük Kademelerinde Ölçülen Elastik ve Kalıcı Ankraj Uzama Değerleri.....                                           | 278 |
| <b>Çizelge 6.69</b> : Yük Kademelerinde Ölçülen Elastik ve Kalıcı Ankraj Uzama Değerleri (Deney Ankrajı-9) .....                        | 282 |
| <b>Çizelge 6.70</b> : Farklı Yükler Altında Ankraj-9 için Uzama Oranları ve İzin Verilebilir Limitler .....                             | 283 |
| <b>Çizelge 6.71</b> : Deney Ankrajı-10 Ünite Özellikleri .....                                                                          | 284 |
| <b>Çizelge 6.72</b> : Yük Kademelerinde Ölçülen Elastik ve Kalıcı Ankraj Uzama Değerleri.....                                           | 296 |
| <b>Çizelge 6.73</b> : : Farklı Yükler Altında Ankraj-10 (Ünite-A) için Uzama Oranları ve İzin Verilebilir Limitler .....                | 297 |
| <b>Çizelge 6.74</b> : Farklı Yükler Altında Ankraj-10 (Ünite-B) için Uzama Oranları ve İzin Verilebilir Limitler .....                  | 297 |
| <b>Çizelge 6.75</b> : Farklı Yükler Altında Ankraj-10 (Ünite-C) için Uzama Oranları ve İzin Verilebilir Limitler .....                  | 298 |
| <b>Çizelge 6.76</b> : Farklı Yükler Altında Ankraj-10 (Ünite-D) için Uzama Oranları ve İzin Verilebilir Limitler .....                  | 298 |
| <b>Çizelge 6.77</b> : Kireçtaşı Tabakasına Yapılan Nokta Yükleme Deneyi Değerleri....                                                   | 299 |
| <b>Çizelge 6.78</b> : 1 ve 13 Numaralı Deney Ankrajları Delgi Bilgisi ve Taşıma Gücü Değerleri.....                                     | 302 |
| <b>Çizelge 6.79</b> : N <sub>70</sub> - Suya Doygun Kil Zeminlerin Kıvam ve Serbest Basınç Dayanımı .....                               | 304 |
| <b>Çizelge 6.80</b> : Vane Deney Sonuçları (Deney Alanı 3 ve 4) .....                                                                   | 305 |
| <b>Çizelge 6.81</b> : Çizelge : Deney Alanı 2-3 bölgelerinde İmal Edilen Geleneksel Ankraj Delgi Bilgisi ve Taşıma Gücü Değerleri ..... | 309 |
| <b>Çizelge 6.82</b> : Çizelge : Deney Alanı 4 bölgesinde İmal Edilen Geleneksel Ankraj Delgi Bilgisi ve Taşıma Gücü Değerleri .....     | 309 |

|                                                                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Çizelge 6.83 :</b> Çizelge : Deney Alanı 5 bölgesinde İmal Edilen Geleneksel Ankraj Delgi Bilgisi ve Taşıma Gücü Değerleri ..... | 310 |
| <b>Çizelge 6.84 :</b> Çizelge : Vane Deneyi Sonuçlarına Göre 5 ve 8 Numaları Deney Ankraji Taşıma Gücü Hesabı .....                 | 310 |
| <b>Çizelge 6.85 :</b> Çizelge : Ard Enjeksiyon Tekniğinin Kullanıldığı Ankrajların Taşıma Gücü Hesabı .....                         | 312 |
| <b>Çizelge 6.86 :</b> Çizelge : SBMA Tekniğinin Kullanıldığı Ankrajların Taşıma Gücü Hesabı.....                                    | 312 |
| <b>Çizelge 6.87 :</b> Deney Alanı 1&6; Deney Ankrajları Kök Taşıma Gücü ve İmalat Teknikleri .....                                  | 313 |
| <b>Çizelge 6.88 :</b> Deney Alanı 4; Deney Ankrajları Kök Taşıma Gücü ve İmalat Teknikleri .....                                    | 313 |
| <b>Çizelge 6.89 :</b> : Deney Alanı 2&5; Deney Ankrajları Kök Taşıma Gücü ve İmalat Teknikleri .....                                | 314 |
| <b>Çizelge 6.90 :</b> Deney Alanı 3; Deney Ankrajları Kök Taşıma Gücü ve İmalat Teknikleri .....                                    | 315 |
| <b>Çizelge 7.1:</b> Ankraj Kök Taşıma Gücüne Farklı İmalat Yöntemlerinin Zemin Tipine Göre Etkisi .....                             | 320 |



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                                                                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 2.1 :</b> Alexander Mitchell tarafından icat edilmiş vidalı kazık sistemi (Lutenegger, 2011).....                                                                                                                           | 3  |
| <b>Şekil 2.2 :</b> Vidalı kazıkların yerleştirilmesi ve Maplin Sands Deniz Feneri Yapısı (Lutenegger, 2011).....                                                                                                                     | 4  |
| <b>Şekil 2.3 :</b> Ankraj/zemin çivisi olarak günümüzde kullanılan vidalı kazık uygulamaları.....                                                                                                                                    | 5  |
| <b>Şekil 2.4 :</b> Cheurfas Barajı - ankraj uygulaması projesi plan ve tipik kesit çizimi (Xanthakos -1991).....                                                                                                                     | 8  |
| <b>Şekil 2.5 :</b> Jument Deniz Feneri Yapısı (İnşaat Tarihi: 1911, <a href="http://www.foghornpublishing.com">www.foghornpublishing.com</a> ) .....                                                                                 | 9  |
| <b>Şekil 2.6 :</b> Bauer Sistemi'nin ilk kez kullanıldığı inşaat projesi,1958-Münih (BAUER Spezialtiefbau - GmbH, <a href="http://www.bauer.de">www.bauer.de</a> ).....                                                              | 11 |
| <b>Şekil 2.7 :</b> 1958-1974 yılları arasında bauer sistemi kullanılarak imal edilen geçici ve kalıcı ankraj miktarları (Ostermayer,1975) .....                                                                                      | 12 |
| <b>Şekil 2.8 :</b> Hannover-Kröpcke Metro İstasyonu derin kazısı projesi-tipik iksa kesitleri (Ostermayer,1975).....                                                                                                                 | 13 |
| <b>Şekil 2.9 :</b> Tivoli Binası-Münih (Xanthakos, 1991) .....                                                                                                                                                                       | 13 |
| <b>Şekil 2.10 :</b> (a) Olimpiyat oyunları çatısı günümüz görüntüsü (BAUER Spezialtiefbau - GmbH, <a href="http://www.bauer.de">www.bauer.de</a> ) (b) Olimpiyat oyunları çatısının ankrajlanmasına ait çizim (Xanthakos, 1991)..... | 13 |
| <b>Şekil 2.11 :</b> Obsertdorf-Münih yüksek kayak atlama rampası (Xanthakos, 1991)....                                                                                                                                               | 14 |
| <b>Şekil 2.12 :</b> Ankrajlı projelerde kullanılan yukarı-aşağı tekniği (Xanthakos, 1991). 15                                                                                                                                        |    |
| <b>Şekil 2.13 :</b> VSL teknolojisinin ilk kullanıldığı proje; Pont Des Cygnes Köprüsü (VSL anchor technology, "Over 50 Years of Excellence"2009) .....                                                                              | 16 |
| <b>Şekil 2.14 :</b> Segmentli duvar yapısı ve her bir duvarın ankraj ile kaya yüzeyine sabitlenmesi, Wingreis-İsviçre (Xanthakos, 1991) .....                                                                                        | 17 |
| <b>Şekil 2.15 :</b> (a) Çelik profil ve beton kaplamalı destek sistemleri (b) Kazık ve payanda amaçlı diyafram duvar içeren destek sistemleri (Xanthakos , 1991)...                                                                  | 18 |
| <b>Şekil 2.16 :</b> (a) Temelde imal edilen taban ankrajı (b) Barajın imalat aşamasını gösteren bir kare (c) Barajın tamamlanmış halini gösteren bir fotoğraf (Banks ve diğerleri, 1957).....                                        | 20 |
| <b>Şekil 2.17 :</b> Rıhtım duvarı tipik kesit çizimi (Xanthakos, 1991) .....                                                                                                                                                         | 21 |
| <b>Şekil 2.18 :</b> Seaforth rıhtım duvarı plan çizimi (Xanthakos, 1991).....                                                                                                                                                        | 22 |
| <b>Şekil 2.19 :</b> Seaforth rıhtım duvarı tipik kesit çizimi (Xanthakos, 1991).....                                                                                                                                                 | 22 |
| <b>Şekil 2.20 :</b> Atlantic Richfield Binası ve Pasifik Ulusal Güvenlik Binası kazılarının desteklenmesi için uygulanan birleşik iksa sistemi tipik kesit (Xanthakos, 1991) .....                                                   | 25 |
| <b>Şekil 2.21 :</b> Dünya Ticaret Merkezi güney cephesi için uygulanan ankrajlı diyafram duvar dayanma yapısı-1968 ( <a href="http://www.skyscrapercity.com">http://www.skyscrapercity.com</a> ) .....                               | 28 |

|                                                                                                                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 2.22</b> : U.S 22 / S.R 7 Değişimi Projesi, kalıcı zemin ve kaya ankrajlı dayanma yapısı - Ohio-Steubenville, ( <a href="http://www.dot.state.oh.us">http://www.dot.state.oh.us</a> )..... | 29 |
| <b>Şekil 2.23</b> : Deriner Barajı ve Hidroelektrik Santrali Projesi-Kalıcı ankraj imalatı, ~14,000m (KASKTAŞ,2003).....                                                                            | 32 |
| <b>Şekil 2.24</b> : Skyland-İstanbul Derin Kazı İksa Projesi, öngermeli ankraj miktarı ~195,000 m (KASKTAŞ,203).....                                                                                | 33 |
| <b>Şekil 2.25</b> : İstanbul Boğazı Tüp Geçiş Projesi-TBM Makinesi Asya Giriş Kutusu, öngermeli ankraj miktarı ~83,000 m (KASKTAŞ,2012).....                                                        | 33 |
| <b>Şekil 3.1</b> : Üst yapı projelerinde uygulanan ön gerilmeli kirişler (çekme yükleri; çelik eleman-beton malzemesi arasındaki bağ) .....                                                         | 37 |
| <b>Şekil 3.2</b> : Geoteknik mühendisliğinde ankrajlar, basınç veya çekme anındaki yük aktarım bölgeleri .....                                                                                      | 37 |
| <b>Şekil 3.3</b> : Ankraj yapısının 3 ana bileşeni (Xanthakos, 1991).....                                                                                                                           | 39 |
| <b>Şekil 3.4</b> : Aktif ve pasif ankrajlarda oluşan harici çekme yükleri-ankraj hareketleri ilişkisi (Xanthakos, 1991) .....                                                                       | 43 |
| <b>Şekil 3.5</b> : BS8081'e göre geçici ve kalıcı ankraj tanımları ve hizmet süreleri .....                                                                                                         | 59 |
| <b>Şekil 3.1</b> : Üst yapı projelerinde uygulanan ön gerilmeli kirişler (çekme yükleri; çelik eleman-beton malzemesi arasındaki bağ) .....                                                         | 37 |
| <b>Şekil 3.2</b> : Geoteknik mühendisliğinde ankrajlar, basınç veya çekme anındaki yük aktarım bölgeleri .....                                                                                      | 37 |
| <b>Şekil 3.3</b> : Ankraj yapısının 3 ana bileşeni (Xanthakos, 1991) .....                                                                                                                          | 39 |
| <b>Şekil 3.4</b> : Aktif ve pasif ankrajlarda oluşan harici çekme yükleri-ankraj hareketleri ilişkisi (Xanthakos, 1991) .....                                                                       | 43 |
| <b>Şekil 3.5</b> : BS8081'e göre geçici ve kalıcı ankraj tanımları ve hizmet süreleri .....                                                                                                         | 59 |
| <b>Şekil 4.1</b> : Öngermeli ankrajlarda yük aktarımı.....                                                                                                                                          | 62 |
| <b>Şekil 4.2</b> : Kök bölgesinde uygulanan enjeksiyon yöntemine göre ankraj tipleri (Xanthakos P.P, 1991).....                                                                                     | 66 |
| <b>Şekil 4.3</b> : Kayma mukavemeti açısına göre taşıma gücü faktörü; $h/D=25$ (Littlejohn,1980) .....                                                                                              | 70 |
| <b>Şekil 4.4</b> : Farklı zemin sınıflarına göre enjeksiyon basıncının 1 metredeki ankraj taşıma gücüne etki ilişkisi (Jorge,1969).....                                                             | 74 |
| <b>Şekil 4.5</b> : Kohezyonsuz zeminlerde, sıkılık ve üniformluk katsayısının kök boyu ile birlikte ankraj taşıma gücüne olan etkisi (Ostermayer,1978) .....                                        | 75 |
| <b>Şekil 4.6</b> : Farklı iki kohezyonsuz zeminlerde kök boyu-penetrasyon testleri / ankraj taşıma kapasitesi (Littlejohn,1980) .....                                                               | 76 |
| <b>Şekil 4.7</b> : Maksimum sürtünme direnci-ortalama SPT değerleri arasındaki ilişki (Fujita ve diğerleri, 1978).....                                                                              | 76 |
| <b>Şekil 4.8</b> : Ankraj sıyrılma yükü anında oluşan kök boyuna ve zemin sıkılığına bağlı sürtünme direnci dağılımı (Littlejohn,1980) .....                                                        | 79 |
| <b>Şekil 4.9</b> : Ankraj kök boyunun yük (P)-yer değiştirme ( $\delta$ ) ilişkisine olan etkisi (Fujita ve diğerleri,1978).....                                                                    | 80 |
| <b>Şekil 4.10</b> : Aynı zeminde imal edilen Tip-D ve Tip-A ankrajlarının yük-uzama ilişkilerinin karşılaştırılması (Wroth, 1975).....                                                              | 84 |
| <b>Şekil 4.11</b> : Kök bölgesi genişletilmiş ankraj (Xanthakos, 1991) .....                                                                                                                        | 85 |
| <b>Şekil 4.12</b> : Orta-yüksek plastisiteli kohezyonlu zeminlerde ard enjeksiyon ve enjeksiyon basıncının sürtünme direncine etkisi (Ostermayer, 1974) .....                                       | 87 |
| <b>Şekil 4.13</b> : Kohezyonlu zeminlerde sürtünme direncinin kök boyu-ard enjeksiyon-kıvam indislerine göre değişimi (Ostermayer, 1974).....                                                       | 88 |
| <b>Şekil 4.14</b> : Ankraj sıyrılma anında kök boyunca ölçülen kayma gerilmeleri (Sapio, 1975) .....                                                                                                | 89 |

|                                                                                                                                                                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 4.15 :</b> Ayrışmış Kaya Formasyonlarında İçsel Sürtünme Açısı - $\tau_{\text{mak}}$ / UCS Oranı İlişki Grafiği (Littlejohn, 1980).....                                                               | 91  |
| <b>Şekil 4.16 :</b> Ayrışmış kaya formasyonlarında kayma mukavemeti açısı - $\tau_{\text{mak}}$ / UCS oranı ilişki grafiği (Littlejohn, 1980) .....                                                            | 94  |
| <b>Şekil 4.17 :</b> Kaya/enjeksiyon temas yüzeyinde oluşan kayma gerilmelerin derinlik ve farklı elastisite modülleri oranına göre değişimi (Littlejohn,1980) .....                                            | 95  |
| <b>Şekil 4.18 :</b> Yük kademeleri sırasında kayıt altına alınan sünme oranları ( $\alpha$ ) ve sünme açısından kritik yük değeri grafiği (TA'95, 1995) .....                                                  | 100 |
| <b>Şekil 5.1 :</b> Soletanche tarafından kullanılan yüksek basınçlı ard enjeksiyon ankraj uygulaması şeması (Xantakos 1991).....                                                                               | 102 |
| <b>Şekil 5.2 :</b> Fransa'da ard enjeksiyon yöntemi kullanılarak imal edilen deney ankrajları yerleşim plan ve kesiti (Lacour ve diğerleri 1978).....                                                          | 103 |
| <b>Şekil 5.3 :</b> Ard Enjeksiyon Sayısı-Hacminin Taşıma Gücüne Olan Etkisi ; $T_L$ -Ankraj Taşıma Gücü, $T_C$ -Sünme Açısından Kritik Yük(Lacour ve diğerleri 1978) ...                                       | 104 |
| <b>Şekil 5.4 :</b> Kil ve Siltlerde Uygulanan Ard Enjeksiyon Ankrajı Maksimum Sürtünme Direnci-Drenajsız Kayma Mukavemeti Eğrisi (Sherwood ve Harris, 1993) ...                                                | 105 |
| <b>Şekil 5.5 :</b> Çakıl ve Kumlarda Uygulanan Ard Enjeksiyon Ankrajı Maksimum Sürtünme Direnci- SPT Direnci (Sherwood ve Harris, 1993) .....                                                                  | 105 |
| <b>Şekil 5.6 :</b> Geleneksel Yöntem ile İmal Edilen Tek Köklü Ankrajların Yük Taşıma Mekanizması (Düzceer, 2014) .....                                                                                        | 107 |
| <b>Şekil 5.7 :</b> SBMA Tipi Ankrajların Yük Taşıma Mekanizması (Düzceer, 2014) ...                                                                                                                            | 108 |
| <b>Şekil 5.8 :</b> Ankraj Kök Boyuna Göre Etkinlik Faktörü (Barley, 1995).....                                                                                                                                 | 109 |
| <b>Şekil 5.9 :</b> Killi Kum-Siltli Kil Formasyonlarında Gerçekleştirilen SBMA Deney Ankrajı; $T_{\text{maks}} = 1295 \text{ kN}$ , $P_{\text{germe}} = 600 \text{ kN}$ (Kuntsevo Projesi, KASKTAŞ 2011) ..... | 110 |
| <b>Şekil 5.10 :</b> Singapur'da Gerçekleştirilen Kazıklı İksa Duvarında Kullanılan 150 ton Servis Yüküne Sahip Ankraj Uygulaması (Barley ve diğerleri, 2003).....                                              | 111 |
| <b>Şekil 5.11 :</b> Hodenpyl Barajı-Mansap Bölgesi İstinat Duvarı;Yüksek Plastisiteli Killerde $P_{\text{kilit}}=1360 \text{ kN}$ Ard Enjeksiyonlu SBMA Ankrajı (Bruce ve diğerleri, 2004) .....               | 111 |
| <b>Şekil 6.1 :</b> Proje Sahasının Uydu Görünümü ( <a href="https://www.google.com/maps">https://www.google.com/maps</a> ).....                                                                                | 114 |
| <b>Şekil 6.2 :</b> Proje Sahasında 2011 ve 2012 Yıllarında Yapılan Sondaj Planı .....                                                                                                                          | 115 |
| <b>Şekil 6.3 :</b> Proje Sahasında İmal Edilen Deney Ankrajları ve Deney Alanları Planı .....                                                                                                                  | 116 |
| <b>Şekil 6.4 :</b> Deney Alanları 1 ve 6 ve Alanları Temsil Eden Sondaj Planı .....                                                                                                                            | 120 |
| <b>Şekil 6.5 :</b> 1 ve 6 Alanlarına Yakın Sondajlardan Çıkarılmış İdealize Zemin Profili ve Ankraj Delgisi Sırasında Tespit Edilen Zemin Profili .....                                                        | 121 |
| <b>Şekil 6.6 :</b> Deney Ankrajı-1 : Yük-Uzama Grafiği.....                                                                                                                                                    | 125 |
| <b>Şekil 6.7 :</b> Deney Ankrajı-1 Yük Uzama Grafiği (100% Yük Döngüsü).....                                                                                                                                   | 125 |
| <b>Şekil 6.8 :</b> Deney Ankrajı-1 Yük Uzama Grafiği (125% Yük Döngüsü).....                                                                                                                                   | 126 |
| <b>Şekil 6.9 :</b> Deney Ankrajı-1 Yük Uzama Grafiği (150% Yük Döngüsü).....                                                                                                                                   | 126 |
| <b>Şekil 6.10 :</b> BS8081'de belirtilen Kabul Kriterlerine göre Deney Ankrajı-1 için Sahada Ölçülen Elastik Uzama Değerlerinin Kontrolü ve Kalıcı Uzama-Yük İlişkisi.....                                     | 128 |
| <b>Şekil 6.11 :</b> Deney Ankrajı-13 : Yük-Uzama Grafiği.....                                                                                                                                                  | 131 |
| <b>Şekil 6.12 :</b> Deney Ankrajı-42 Yük Uzama Grafiği (100% Yük Döngüsü).....                                                                                                                                 | 131 |
| <b>Şekil 6.13 :</b> Deney Ankrajı-13 Yük Uzama Grafiği (125% Yük Döngüsü).....                                                                                                                                 | 132 |
| <b>Şekil 6.14 :</b> Deney Ankrajı-13 Yük Uzama Grafiği (150% Yük Döngüsü).....                                                                                                                                 | 132 |

|                                                                                                                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 6.15 :</b> BS8081'de belirtilen Kabul Kriterlerine göre Deney Ankraji-1 için<br>Sahada Ölçülen Elastik Uzama Değerlerinin Kontrolü ve Kalıcı Uzama-Yük<br>İlişkisi ..... | 134 |
| <b>Şekil 6.16 :</b> Deney Alanları 2 ve 5 ve Alanları Temsil Eden Sondajların Planı .....                                                                                         | 136 |
| <b>Şekil 6.17 :</b> 2 ve 5 Deney Alanlarına Yakın Sondajlardan Çıkarılmış İdealize Zemin<br>Profili ve Ankraj Delgisi Sırasında Tespit Edilen Zemin Profili .....                 | 137 |
| <b>Şekil 6.18 :</b> Deney Ankraji-18 İmalatında Kullanılan Tipik Kılçık Detay Gösterimi<br>.....                                                                                  | 139 |
| <b>Şekil 6.19 :</b> Deney Ankraji-2 : Yük-Uzama Grafiği .....                                                                                                                     | 143 |
| <b>Şekil 6.20 :</b> : Deney Ankraji-2 Yük Uzama Grafiği (75% Yük Döngüsü) .....                                                                                                   | 144 |
| <b>Şekil 6.21 :</b> Deney Ankraji-2 Yük Uzama Grafiği (100% Yük Döngüsü) .....                                                                                                    | 144 |
| <b>Şekil 6.22 :</b> Deney Ankraji-2 Yük Uzama Grafiği (125% Yük Döngüsü) .....                                                                                                    | 145 |
| <b>Şekil 6.23 :</b> BS8081'de belirtilen Kabul Kriterlerine göre Deney Ankraji-2 için<br>Sahada Ölçülen Elastik Uzama Değerlerinin Kontrolü ve Kalıcı Uzama-Yük<br>İlişkisi ..... | 146 |
| <b>Şekil 6.24 :</b> Deney Ankraji-3 : Yük-Uzama Grafiği .....                                                                                                                     | 148 |
| <b>Şekil 6.25 :</b> : Deney Ankraji-3 Yük Uzama Grafiği (100% Yük Döngüsü) .....                                                                                                  | 149 |
| <b>Şekil 6.26 :</b> Deney Ankraji-3 Yük Uzama Grafiği (125% Yük Döngüsü) .....                                                                                                    | 149 |
| <b>Şekil 6.27 :</b> Deney Ankraji-3 Yük Uzama Grafiği (150% Yük Döngüsü) .....                                                                                                    | 150 |
| <b>Şekil 6.28 :</b> Deney Ankraji-3 Yük Uzama Grafiği (175% Yük Döngüsü) .....                                                                                                    | 150 |
| <b>Şekil 6.29 :</b> BS8081'de belirtilen Kabul Kriterlerine göre Deney Ankraji-2 için<br>Sahada Ölçülen Elastik Uzama Değerlerinin Kontrolü ve Kalıcı Uzama-Yük<br>İlişkisi ..... | 152 |
| <b>Şekil 6.30 :</b> Deney Ankraji-4 : Yük-Uzama Grafiği (Ünite-A) .....                                                                                                           | 154 |
| <b>Şekil 6.31 :</b> Deney Ankraji-4 : Yük-Uzama Grafiği (Ünite-B) .....                                                                                                           | 155 |
| <b>Şekil 6.32 :</b> Deney Ankraji-4 : Yük-Uzama Grafiği (Ünite-C) .....                                                                                                           | 155 |
| <b>Şekil 6.33 :</b> Deney Ankraji-4 : Yük-Uzama Grafiği (Ünite-D) .....                                                                                                           | 156 |
| <b>Şekil 6.34 :</b> : Deney Ankraji-4: Yük Uzama Grafiği (100% Yük Döngüsü-Ünite A)<br>.....                                                                                      | 156 |
| <b>Şekil 6.35 :</b> Deney Ankraji-4: Yük Uzama Grafiği (125% Yük Döngüsü-Ünite A)<br>.....                                                                                        | 157 |
| <b>Şekil 6.36 :</b> Deney Ankraji-4: Yük Uzama Grafiği (150% Yük Döngüsü-Ünite A)<br>.....                                                                                        | 157 |
| <b>Şekil 6.37 :</b> Deney Ankraji-4: Yük Uzama Grafiği (175% Yük Döngüsü-Ünite A)<br>.....                                                                                        | 158 |
| <b>Şekil 6.38 :</b> : Deney Ankraji-4: Yük Uzama Grafiği (100% Yük Döngüsü-Ünite B)<br>.....                                                                                      | 158 |
| <b>Şekil 6.39 :</b> Deney Ankraji-4: Yük Uzama Grafiği (125% Yük Döngüsü-Ünite B)159                                                                                              |     |
| <b>Şekil 6.40 :</b> Deney Ankraji-4: Yük Uzama Grafiği (150% Yük Döngüsü-Ünite B)159                                                                                              |     |
| <b>Şekil 6.41 :</b> Deney Ankraji-4: Yük Uzama Grafiği (175% Yük Döngüsü-Ünite B)160                                                                                              |     |
| <b>Şekil 6.42 :</b> : Deney Ankraji-4: Yük Uzama Grafiği (100% Yük Döngüsü-Ünite C)<br>.....                                                                                      | 160 |
| <b>Şekil 6.43 :</b> Deney Ankraji-4: Yük Uzama Grafiği (125% Yük Döngüsü-Ünite C)161                                                                                              |     |
| <b>Şekil 6.44 :</b> Deney Ankraji-4: Yük Uzama Grafiği (150% Yük Döngüsü-Ünite C)161                                                                                              |     |
| <b>Şekil 6.45 :</b> Deney Ankraji-4: Yük Uzama Grafiği (175% Yük Döngüsü-Ünite C)162                                                                                              |     |
| <b>Şekil 6.46 :</b> : Deney Ankraji-4: Yük Uzama Grafiği (100% Yük Döngüsü-Ünite D)<br>.....                                                                                      | 162 |
| <b>Şekil 6.47 :</b> Deney Ankraji-4: Yük Uzama Grafiği (125% Yük Döngüsü-Ünite D)<br>.....                                                                                        | 163 |

|                                                                                                                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 6.48 : Deney Ankrağı-4: Yük Uzama Grafiğı (150% Yük Döngüsü-Ünite D)</b>                                                                                                     | 163 |
| <b>Şekil 6.49 : Deney Ankrağı-3 Yük Uzama Grafiğı (175% Yük Döngüsü-Ünite D)</b>                                                                                                      | 164 |
| <b>Şekil 6.50 : BS8081'de belirtilen Kabul Kriterlerine göre Deney Ankrağı-4 (Ünite-A)</b><br>Sahada Ölçülen Elastik Uzama Değerlerinin Kontrolü ve Kalıcı Uzama-Yük<br>İlişkisi..... | 166 |
| <b>Şekil 6.51 : BS8081'de belirtilen Kabul Kriterlerine göre Deney Ankrağı-4 (Ünite-B)</b><br>Sahada Ölçülen Elastik Uzama Değerlerinin Kontrolü ve Kalıcı Uzama-Yük<br>İlişkisi..... | 166 |
| <b>Şekil 6.52 : BS8081'de belirtilen Kabul Kriterlerine göre Deney Ankrağı-4 (Ünite-C)</b><br>Sahada Ölçülen Elastik Uzama Değerlerinin Kontrolü ve Kalıcı Uzama-Yük<br>İlişkisi..... | 167 |
| <b>Şekil 6.53 : BS8081'de belirtilen Kabul Kriterlerine göre Deney Ankrağı-4 (Ünite-D)</b><br>Sahada Ölçülen Elastik Uzama Değerlerinin Kontrolü ve Kalıcı Uzama-Yük<br>İlişkisi..... | 167 |
| <b>Şekil 6.54 : Deney Ankrağı-18 : Yük-Uzama Grafiğı.....</b>                                                                                                                         | 171 |
| <b>Şekil 6.55 : Deney Ankrağı-18 Yük Uzama Grafiğı (50% Yük Döngüsü).....</b>                                                                                                         | 171 |
| <b>Şekil 6.56 : Deney Ankrağı-18 Yük Uzama Grafiğı (75% Yük Döngüsü).....</b>                                                                                                         | 172 |
| <b>Şekil 6.57 : Deney Ankrağı-18 Yük Uzama Grafiğı (100% Yük Döngüsü).....</b>                                                                                                        | 172 |
| <b>Şekil 6.58 : Deney Ankrağı-18 Yük Uzama Grafiğı (125% Yük Döngüsü).....</b>                                                                                                        | 173 |
| <b>Şekil 6.59 : BS8081'de belirtilen Kabul Kriterlerine göre Deney Ankrağı-18 için</b><br>Sahada Ölçülen Elastik Uzama Değerlerinin Kontrolü ve Kalıcı Uzama-Yük<br>İlişkisi.....     | 174 |
| <b>Şekil 6.60 : Deney Ankrağı-11 : Yük-Uzama Grafiğı.....</b>                                                                                                                         | 176 |
| <b>Şekil 6.61 : Deney Ankrağı-11 Yük Uzama Grafiğı (100% Yük Döngüsü).....</b>                                                                                                        | 177 |
| <b>Şekil 6.62 : Deney Ankrağı-11 Yük Uzama Grafiğı (125% Yük Döngüsü).....</b>                                                                                                        | 177 |
| <b>Şekil 6.63 : Deney Ankrağı-11 Yük Uzama Grafiğı (150% Yük Döngüsü).....</b>                                                                                                        | 178 |
| <b>Şekil 6.64 : Deney Ankrağı-11 Yük Uzama Grafiğı (175% Yük Döngüsü).....</b>                                                                                                        | 178 |
| <b>Şekil 6.65 : BS8081'de belirtilen Kabul Kriterlerine göre Deney Ankrağı-11 için</b><br>Sahada Ölçülen Elastik Uzama Değerlerinin Kontrolü ve Kalıcı Uzama-Yük<br>İlişkisi.....     | 180 |
| <b>Şekil 6.66 : Deney Ankrağı-12 : Yük-Uzama Grafiğı.....</b>                                                                                                                         | 182 |
| <b>Şekil 6.67 : : Deney Ankrağı-12 Yük Uzama Grafiğı (100% Yük Döngüsü).....</b>                                                                                                      | 182 |
| <b>Şekil 6.68 : Deney Ankrağı-12 Yük Uzama Grafiğı (125% Yük Döngüsü).....</b>                                                                                                        | 183 |
| <b>Şekil 6.69 : Deney Ankrağı-12 Yük Uzama Grafiğı (150% Yük Döngüsü).....</b>                                                                                                        | 183 |
| <b>Şekil 6.70 : Deney Ankrağı-12 Yük Uzama Grafiğı (175% Yük Döngüsü).....</b>                                                                                                        | 184 |
| <b>Şekil 6.71 : BS8081'de belirtilen Kabul Kriterlerine göre Deney Ankrağı-2 için</b><br>Sahada Ölçülen Elastik Uzama Değerlerinin Kontrolü ve Kalıcı Uzama-Yük<br>İlişkisi.....      | 185 |
| <b>Şekil 6.72 : Deney Alanları 3 ve 4'ü Temsil Eden Sondajların Planı .....</b>                                                                                                       | 188 |
| <b>Şekil 6.73 : 3 ve 4 Numaralı Deney Alanlarına Yakın Sondajlardan Çıkarılmış</b><br>İdealize Zemin Profili ve Ankraj Delgisi Sırasında Tespit Edilen Zemin Profili<br>.....         | 190 |
| <b>Şekil 6.74 : 19 ve 21 Numaralı Deney Ankrajları Sondaj ve Delgi Sırasında Tespit</b><br>Edilen Zemin Profili.....                                                                  | 190 |
| <b>Şekil 6.75 : Deney Ankrağı-5 : Yük-Uzama Grafiğı.....</b>                                                                                                                          | 198 |
| <b>Şekil 6.76 : Deney Ankrağı-5 Yük Uzama Grafiğı (50% Yük Döngüsü).....</b>                                                                                                          | 199 |
| <b>Şekil 6.77 : Deney Ankrağı-5 Yük Uzama Grafiğı (75% Yük Döngüsü).....</b>                                                                                                          | 199 |
| <b>Şekil 6.78 : Deney Ankrağı-5 Yük Uzama Grafiğı (100% Yük Döngüsü).....</b>                                                                                                         | 200 |
| <b>Şekil 6.79 : Deney Ankrağı-5 Yük Uzama Grafiğı (125% Yük Döngüsü).....</b>                                                                                                         | 200 |

|                                                                                                                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 6.80</b> : BS8081'de belirtilen Kabul Kriterlerine göre Deney Ankrajı-5 için<br>Sahada Ölçülen Elastik Uzama Değerlerinin Kontrolü ve Kalıcı Uzama-Yük<br>İlişkisi ..... | 202 |
| <b>Şekil 6.81</b> : Deney Ankrajı-6 : Yük-Uzama Grafiği .....                                                                                                                     | 204 |
| <b>Şekil 6.82</b> : Deney Ankrajı-6 Yük Uzama Grafiği (100% Yük Döngüsü) .....                                                                                                    | 205 |
| <b>Şekil 6.83</b> : Deney Ankrajı-6 Yük Uzama Grafiği (125% Yük Döngüsü) .....                                                                                                    | 205 |
| <b>Şekil 6.84</b> : Deney Ankrajı-6 Yük Uzama Grafiği (150% Yük Döngüsü) .....                                                                                                    | 206 |
| <b>Şekil 6.85</b> : Deney Ankrajı-6 Yük Uzama Grafiği (175% Yük Döngüsü) .....                                                                                                    | 206 |
| <b>Şekil 6.86</b> : BS8081'de belirtilen Kabul Kriterlerine göre Deney Ankrajı-6 için<br>Sahada Ölçülen Elastik Uzama Değerlerinin Kontrolü ve Kalıcı Uzama-Yük<br>İlişkisi ..... | 208 |
| <b>Şekil 6.87</b> : Deney Ankrajı-7 : Yük-Uzama Grafiği (Ünite-A) .....                                                                                                           | 210 |
| <b>Şekil 6.88</b> : Deney Ankrajı-7 : Yük-Uzama Grafiği (Ünite-B) .....                                                                                                           | 211 |
| <b>Şekil 6.89</b> : Deney Ankrajı-7 : Yük-Uzama Grafiği (Ünite-C) .....                                                                                                           | 211 |
| <b>Şekil 6.90</b> : Deney Ankrajı-7 : Yük-Uzama Grafiği (Ünite-D) .....                                                                                                           | 212 |
| <b>Şekil 6.91</b> : : Deney Ankrajı-7: Yük Uzama Grafiği (50% Yük Döngüsü-Ünite A)<br>.....                                                                                       | 213 |
| <b>Şekil 6.92</b> : Deney Ankrajı-7: Yük Uzama Grafiği (75% Yük Döngüsü-Ünite A). 213                                                                                             |     |
| <b>Şekil 6.93</b> : Deney Ankrajı-7: Yük Uzama Grafiği (100% Yük Döngüsü-Ünite A)<br>.....                                                                                        | 214 |
| <b>Şekil 6.94</b> : Deney Ankrajı-7: Yük Uzama Grafiği (125% Yük Döngüsü-Ünite A)<br>.....                                                                                        | 214 |
| <b>Şekil 6.95</b> : Deney Ankrajı-7: Yük Uzama Grafiği (50% Yük Döngüsü-Ünite B). 215                                                                                             |     |
| <b>Şekil 6.96</b> : Deney Ankrajı-7: Yük Uzama Grafiği (75% Yük Döngüsü-Ünite B). 215                                                                                             |     |
| <b>Şekil 6.97</b> : Deney Ankrajı-7: Yük Uzama Grafiği (100% Yük Döngüsü-Ünite B) 216                                                                                             |     |
| <b>Şekil 6.98</b> : Deney Ankrajı-7: Yük Uzama Grafiği (125% Yük Döngüsü-Ünite B) 216                                                                                             |     |
| <b>Şekil 6.99</b> : Deney Ankrajı-7: Yük Uzama Grafiği (50% Yük Döngüsü-Ünite C). 217                                                                                             |     |
| <b>Şekil 6.100</b> : Deney Ankrajı-7: Yük Uzama Grafiği (75% Yük Döngüsü-Ünite C) 217                                                                                             |     |
| <b>Şekil 6.101</b> : Deney Ankrajı-7: Yük Uzama Grafiği (100% Yük Döngüsü-Ünite C)<br>.....                                                                                       | 218 |
| <b>Şekil 6.102</b> : Deney Ankrajı-7: Yük Uzama Grafiği (125% Yük Döngüsü-Ünite C)<br>.....                                                                                       | 218 |
| <b>Şekil 6.103</b> : Deney Ankrajı-7: Yük Uzama Grafiği (50% Yük Döngüsü-Ünite D)<br>.....                                                                                        | 219 |
| <b>Şekil 6.104</b> : Deney Ankrajı-7: Yük Uzama Grafiği (75% Yük Döngüsü-Ünite D)<br>.....                                                                                        | 219 |
| <b>Şekil 6.105</b> : Deney Ankrajı-7: Yük Uzama Grafiği (100% Yük Döngüsü-Ünite D)<br>.....                                                                                       | 220 |
| <b>Şekil 6.106</b> : Deney Ankrajı-7 Yük Uzama Grafiği (125% Yük Döngüsü-Ünite D)<br>.....                                                                                        | 220 |
| <b>Şekil 6.107</b> : Deney Ankrajı-7 Sahada Ölçülen Elastik Uzama Değerlerinin Kontrolü<br>ve Kalıcı Uzama-Yük İlişkisi (Ünite-A) .....                                           | 222 |
| <b>Şekil 6.108</b> : Deney Ankrajı-7 Sahada Ölçülen Elastik Uzama Değerlerinin<br>Kontrolü ve Kalıcı Uzama-Yük İlişkisi (Ünite-B) .....                                           | 223 |
| <b>Şekil 6.109</b> : Deney Ankrajı-7 Sahada Ölçülen Elastik Uzama Değerlerinin<br>Kontrolü ve Kalıcı Uzama-Yük İlişkisi (Ünite-C) .....                                           | 223 |
| <b>Şekil 6.110</b> : Deney Ankrajı-7 Sahada Ölçülen Elastik Uzama Değerlerinin<br>Kontrolü ve Kalıcı Uzama-Yük İlişkisi (Ünite-D) .....                                           | 224 |
| <b>Şekil 6.111</b> : Deney Ankrajı-15 : Yük-Uzama Grafiği .....                                                                                                                   | 227 |
| <b>Şekil 6.112</b> : Deney Ankrajı-15 Yük Uzama Grafiği (100% Yük Döngüsü) .....                                                                                                  | 228 |

|                                                                                                                                                                                    |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 6.113 :</b> Deney Ankraji-15 Yük Uzama Grafiği (125% Yük Döngüsü).....                                                                                                    | 228 |
| <b>Şekil 6.114 :</b> Deney Ankraji-15 Yük Uzama Grafiği (150% Yük Döngüsü).....                                                                                                    | 229 |
| <b>Şekil 6.115 :</b> Deney Ankraji-15 Yük Uzama Grafiği (175% Yük Döngüsü).....                                                                                                    | 229 |
| <b>Şekil 6.116 :</b> BS8081'de belirtilen Kabul Kriterlerine göre Deney Ankraji-15 için<br>Sahada Ölçülen Elastik Uzama Değerlerinin Kontrolü ve Kalıcı Uzama-Yük<br>İlişkisi..... | 231 |
| <b>Şekil 6.117 :</b> BS8081'de belirtilen Kabul Kriterlerine göre Deney Ankraji-15 için<br>Sahada Ölçülen Elastik Uzama Değerlerinin Kontrolü ve Kalıcı Uzama-Yük<br>İlişkisi..... | 232 |
| <b>Şekil 6.118 :</b> Deney Ankraji-16 : Yük-Uzama Grafiği.....                                                                                                                     | 234 |
| <b>Şekil 6.119 :</b> Deney Ankraji-16 Yük Uzama Grafiği (100% Yük Döngüsü).....                                                                                                    | 235 |
| <b>Şekil 6.120 :</b> Deney Ankraji-16 Yük Uzama Grafiği (125% Yük Döngüsü).....                                                                                                    | 235 |
| <b>Şekil 6.121 :</b> Deney Ankraji-6 Yük Uzama Grafiği (150% Yük Döngüsü).....                                                                                                     | 236 |
| <b>Şekil 6.122 :</b> BS8081'de belirtilen Kabul Kriterlerine göre Deney Ankraji-16 için<br>Sahada Ölçülen Elastik Uzama Değerlerinin Kontrolü ve Kalıcı Uzama-Yük<br>İlişkisi..... | 237 |
| <b>Şekil 6.123 :</b> Deney Ankraji-19 : Yük-Uzama Grafiği (Ünite-A).....                                                                                                           | 240 |
| <b>Şekil 6.124 :</b> Deney Ankraji-19 : Yük-Uzama Grafiği (Ünite-B).....                                                                                                           | 240 |
| <b>Şekil 6.125 :</b> Deney Ankraji-19 : Yük-Uzama Grafiği (Ünite-C).....                                                                                                           | 241 |
| <b>Şekil 6.126 :</b> Deney Ankraji-19 : Yük-Uzama Grafiği (Ünite-D).....                                                                                                           | 241 |
| <b>Şekil 6.127 :</b> Deney Ankraji-19: Yük Uzama Grafiği (75% Yük Döngüsü-ÜniteA)<br>.....                                                                                         | 242 |
| <b>Şekil 6.128 :</b> Deney Ankraji-19 Yük Uzama Grafiği (100% Yük Döngüsü-Ünite A)<br>.....                                                                                        | 243 |
| <b>Şekil 6.129 :</b> Deney Ankraji-19 Yük Uzama Grafiği (125% Yük Döngüsü- Ünite A)<br>.....                                                                                       | 243 |
| <b>Şekil 6.130 :</b> : Deney Ankraji-19 Yük Uzama Grafiği (125% Yük Döngüsü-Ünite B)<br>.....                                                                                      | 244 |
| <b>Şekil 6.131 :</b> Deney Ankraji-19 Yük Uzama Grafiği (150% Yük Döngüsü-Ünite B)<br>.....                                                                                        | 244 |
| <b>Şekil 6.132 :</b> Deney Ankraji-19 Yük Uzama Grafiği (175% Yük Döngüsü-Ünite B)<br>.....                                                                                        | 245 |
| <b>Şekil 6.133 :</b> Deney Ankraji-19 Yük Uzama Grafiği (125% Yük Döngüsü-Ünite C)<br>.....                                                                                        | 245 |
| <b>Şekil 6.134 :</b> Deney Ankraji-19 Yük Uzama Grafiği (150% Yük Döngüsü-Ünite C)<br>.....                                                                                        | 246 |
| <b>Şekil 6.135 :</b> Deney Ankraji-19 Yük Uzama Grafiği (175% Yük Döngüsü-Ünite C)<br>.....                                                                                        | 246 |
| <b>Şekil 6.136 :</b> Deney Ankraji-19 Yük Uzama Grafiği (125% Yük Döngüsü-Ünite D)<br>.....                                                                                        | 247 |
| <b>Şekil 6.137 :</b> Deney Ankraji-19 Yük Uzama Grafiği (150% Yük Döngüsü-Ünite D)<br>.....                                                                                        | 247 |
| <b>Şekil 6.138 :</b> Deney Ankraji-19 Yük Uzama Grafiği (175% Yük Döngüsü-Ünite D)<br>.....                                                                                        | 248 |
| <b>Şekil 6.139 :</b> Deney Ankraji-19 Sahada Ölçülen Elastik Uzama Değerlerinin<br>Kontrolü ve Kalıcı Uzama-Yük İlişkisi (Ünite-A).....                                            | 250 |
| <b>Şekil 6.140 :</b> Deney Ankraji-19 Sahada Ölçülen Elastik Uzama Değerlerinin<br>Kontrolü ve Kalıcı Uzama-Yük İlişkisi (Ünite-B).....                                            | 250 |
| <b>Şekil 6.141 :</b> Deney Ankraji-19 Sahada Ölçülen Elastik Uzama Değerlerinin<br>Kontrolü ve Kalıcı Uzama-Yük İlişkisi (Ünite-C).....                                            | 251 |

|                                                                                                                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 6.142</b> : Deney Ankraji-19 Sahada Ölçülen Elastik Uzama Değerlerinin Kontrolü ve Kalıcı Uzama-Yük İlişkisi (Ünite-D).....                                          | 251 |
| <b>Şekil 6.143</b> : Deney Ankraji-20 : Yük-Uzama Grafiği .....                                                                                                               | 254 |
| <b>Şekil 6.144</b> : Deney Ankraji-20 Yük Uzama Grafiği (100% Yük Döngüsü) .....                                                                                              | 255 |
| <b>Şekil 6.145</b> : Deney Ankraji-20 Yük Uzama Grafiği (125% Yük Döngüsü) .....                                                                                              | 256 |
| <b>Şekil 6.146</b> : Deney Ankraji-20 Yük Uzama Grafiği (150% Yük Döngüsü) .....                                                                                              | 256 |
| <b>Şekil 6.147</b> : BS8081'de belirtilen Kabul Kriterlerine göre Deney Ankraji-20 için Sahada Ölçülen Elastik Uzama Değerlerinin Kontrolü ve Kalıcı Uzama-Yük İlişkisi ..... | 258 |
| <b>Şekil 6.148</b> : Deney Ankraji-21 : Yük-Uzama Grafiği (Ünite-A) .....                                                                                                     | 260 |
| <b>Şekil 6.149</b> : Deney Ankraji-21 : Yük-Uzama Grafiği (Ünite-B) .....                                                                                                     | 261 |
| <b>Şekil 6.150</b> : Deney Ankraji-21 : Yük-Uzama Grafiği (Ünite-C) .....                                                                                                     | 261 |
| <b>Şekil 6.151</b> : Deney Ankraji-21 : Yük-Uzama Grafiği (Ünite-D) .....                                                                                                     | 262 |
| <b>Şekil 6.152</b> : Deney Ankraji-21: Yük Uzama Grafiği (75% Yük Döngüsü-ÜniteA) .....                                                                                       | 263 |
| <b>Şekil 6.153</b> : Deney Ankraji-21 Yük Uzama Grafiği (100% Yük Döngüsü-Ünite A) .....                                                                                      | 263 |
| <b>Şekil 6.154</b> : Deney Ankraji-21 Yük Uzama Grafiği (125% Yük Döngüsü- Ünite A) .....                                                                                     | 264 |
| <b>Şekil 6.155</b> : : Deney Ankraji-21 Yük Uzama Grafiği (100% Yük Döngüsü-Ünite B) .....                                                                                    | 264 |
| <b>Şekil 6.156</b> : Deney Ankraji-21 Yük Uzama Grafiği (125% Yük Döngüsü-Ünite B) .....                                                                                      | 265 |
| <b>Şekil 6.157</b> : Deney Ankraji-21 Yük Uzama Grafiği (150% Yük Döngüsü-Ünite B) .....                                                                                      | 265 |
| <b>Şekil 6.158</b> : Deney Ankraji-21 Yük Uzama Grafiği (125% Yük Döngüsü-Ünite C) .....                                                                                      | 266 |
| <b>Şekil 6.159</b> : Deney Ankraji-21 Yük Uzama Grafiği (150% Yük Döngüsü-Ünite C) .....                                                                                      | 266 |
| <b>Şekil 6.160</b> : Deney Ankraji-21 Yük Uzama Grafiği (175% Yük Döngüsü-Ünite C) .....                                                                                      | 267 |
| <b>Şekil 6.161</b> : Deney Ankraji-21 Yük Uzama Grafiği (125% Yük Döngüsü-Ünite D) .....                                                                                      | 267 |
| <b>Şekil 6.162</b> : Deney Ankraji-21 Yük Uzama Grafiği (150% Yük Döngüsü-Ünite D) .....                                                                                      | 268 |
| <b>Şekil 6.163</b> : Deney Ankraji-21 Yük Uzama Grafiği (175% Yük Döngüsü-Ünite D) .....                                                                                      | 268 |
| <b>Şekil 6.164</b> : Deney Ankraji-21 Sahada Ölçülen Elastik Uzama Değerlerinin Kontrolü ve Kalıcı Uzama-Yük İlişkisi (Ünite-A).....                                          | 270 |
| <b>Şekil 6.165</b> : Deney Ankraji-21 Sahada Ölçülen Elastik Uzama Değerlerinin Kontrolü ve Kalıcı Uzama-Yük İlişkisi (Ünite-B).....                                          | 271 |
| <b>Şekil 6.166</b> : Deney Ankraji-21 Sahada Ölçülen Elastik Uzama Değerlerinin Kontrolü ve Kalıcı Uzama-Yük İlişkisi (Ünite-C).....                                          | 271 |
| <b>Şekil 6.167</b> : Deney Ankraji-21 Sahada Ölçülen Elastik Uzama Değerlerinin Kontrolü ve Kalıcı Uzama-Yük İlişkisi (Ünite-D).....                                          | 272 |
| <b>Şekil 6.168</b> : Deney Ankraji-8 : Yük-Uzama Grafiği .....                                                                                                                | 275 |
| <b>Şekil 6.169</b> : : Deney Ankraji-8 Yük Uzama Grafiği (50% Yük Döngüsü) .....                                                                                              | 276 |
| <b>Şekil 6.170</b> : Deney Ankraji-8 Yük Uzama Grafiği (75% Yük Döngüsü) .....                                                                                                | 276 |
| <b>Şekil 6.171</b> : Deney Ankraji-8 Yük Uzama Grafiği (100% Yük Döngüsü) .....                                                                                               | 277 |

|                                                                                                                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 6.172 :</b> BS8081'de belirtilen Kabul Kriterlerine göre Deney Ankraji-8 için Sahada Ölçülen Elastik Uzama Değerlerinin Kontrolü ve Kalıcı Uzama-Yük İlişkisi..... | 278 |
| <b>Şekil 6.173 :</b> Deney Ankraji-9 : Yük-Uzama Grafiği.....                                                                                                               | 279 |
| <b>Şekil 6.174 :</b> Deney Ankraji-9 Yük Uzama Grafiği (75% Yük Döngüsü).....                                                                                               | 280 |
| <b>Şekil 6.175 :</b> Deney Ankraji-9 Yük Uzama Grafiği (125% Yük Döngüsü).....                                                                                              | 280 |
| <b>Şekil 6.176 :</b> Deney Ankraji-9 Yük Uzama Grafiği (150% Yük Döngüsü).....                                                                                              | 281 |
| <b>Şekil 6.177 :</b> BS8081'de belirtilen Kabul Kriterlerine göre Deney Ankraji-9 için Sahada Ölçülen Elastik Uzama Değerlerinin Kontrolü ve Kalıcı Uzama-Yük İlişkisi..... | 282 |
| <b>Şekil 6.178 :</b> Deney Ankraji-10 : Yük-Uzama Grafiği (Ünite-A).....                                                                                                    | 284 |
| <b>Şekil 6.179 :</b> Deney Ankraji-10 : Yük-Uzama Grafiği (Ünite-B).....                                                                                                    | 285 |
| <b>Şekil 6.180 :</b> Deney Ankraji-10 : Yük-Uzama Grafiği (Ünite-C).....                                                                                                    | 285 |
| <b>Şekil 6.181 :</b> Deney Ankraji-10 : Yük-Uzama Grafiği (Ünite-D).....                                                                                                    | 286 |
| <b>Şekil 6.182 :</b> Deney Ankraji-10: Yük Uzama Grafiği (75% Yük Döngüsü-ÜniteA).....                                                                                      | 287 |
| <b>Şekil 6.183 :</b> Deney Ankraji-10 Yük Uzama Grafiği (100% Yük Döngüsü-Ünite A).....                                                                                     | 287 |
| <b>Şekil 6.184 :</b> Deney Ankraji-10 Yük Uzama Grafiği (125% Yük Döngüsü- Ünite A).....                                                                                    | 288 |
| <b>Şekil 6.185 :</b> Deney Ankraji-10 Yük Uzama Grafiği (125% Yük Döngüsü-Ünite B).....                                                                                     | 288 |
| <b>Şekil 6.186 :</b> Deney Ankraji-10 Yük Uzama Grafiği (150% Yük Döngüsü-Ünite B).....                                                                                     | 289 |
| <b>Şekil 6.187 :</b> Deney Ankraji-10 Yük Uzama Grafiği (175% Yük Döngüsü-Ünite B).....                                                                                     | 289 |
| <b>Şekil 6.188 :</b> Deney Ankraji-10 Yük Uzama Grafiği (125% Yük Döngüsü-Ünite C).....                                                                                     | 290 |
| <b>Şekil 6.189 :</b> Deney Ankraji-10 Yük Uzama Grafiği (150% Yük Döngüsü-Ünite C).....                                                                                     | 290 |
| <b>Şekil 6.190 :</b> Deney Ankraji-10 Yük Uzama Grafiği (175% Yük Döngüsü-Ünite C).....                                                                                     | 291 |
| <b>Şekil 6.191 :</b> Deney Ankraji-20 Yük Uzama Grafiği (125% Yük Döngüsü-Ünite D).....                                                                                     | 291 |
| <b>Şekil 6.192 :</b> Deney Ankraji-20 Yük Uzama Grafiği (150% Yük Döngüsü-Ünite D).....                                                                                     | 292 |
| <b>Şekil 6.193 :</b> Deney Ankraji-20 Yük Uzama Grafiği (175% Yük Döngüsü-Ünite D).....                                                                                     | 292 |
| <b>Şekil 6.194 :</b> Deney Ankraji-10 Sahada Ölçülen Elastik Uzama Değerlerinin Kontrolü ve Kalıcı Uzama-Yük İlişkisi (Ünite-A).....                                        | 294 |
| <b>Şekil 6.195 :</b> Deney Ankraji-10 Sahada Ölçülen Elastik Uzama Değerlerinin Kontrolü ve Kalıcı Uzama-Yük İlişkisi (Ünite-B).....                                        | 294 |
| <b>Şekil 6.196 :</b> Deney Ankraji-10 Sahada Ölçülen Elastik Uzama Değerlerinin Kontrolü ve Kalıcı Uzama-Yük İlişkisi (Ünite-C).....                                        | 295 |
| <b>Şekil 6.197 :</b> Deney Ankraji-10 Sahada Ölçülen Elastik Uzama Değerlerinin Kontrolü ve Kalıcı Uzama-Yük İlişkisi (Ünite-D).....                                        | 295 |
| <b>Şekil 6.198 :</b> 1 ve 13 numaralı Deney Ankrajları Kök Bölgesi Etrafındaki Kaya Formasyonu TCR Değerleri.....                                                           | 300 |
| <b>Şekil 6.199 :</b> 2 ve 5 Numaralı Deney Alanlarına Yakın Sondajlarda Elde Edilen $N_{30}$ Değerleri.....                                                                 | 303 |

|                                                                                                                                                     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 6.200</b> : 3 ve 4 Numaralı Deney Alanlarına Yakın Sondajlarda Elde Edilen $N_{30}$ Değerleri.....                                         | 304 |
| <b>Şekil 6.201</b> : 3 ve 4 Numaralı Deney Alanlarına Yakın Sondajlarda Vane Deney Sonucu Kullanılarak Elde Edilen Kayma Mukavemeti Değerleri ..... | 306 |
| <b>Şekil 6.202</b> : 3 ve 4 Numaralı Deney Alanlarına Yakın Bölgelerde Pressiyometre Deneyi .....                                                   | 307 |
| <b>Şekil 6.203</b> : Deney Alanı 2-3-4 ve 5 Bölgelerindeki Killi Zeminin Plastisite İndisi .....                                                    | 307 |
| <b>Şekil 6.204</b> : Deney Alanı 2-3-4 ve 5 Bölgelerindeki Killi Zeminin Likit Limit....                                                            | 308 |

## **ZEMİN ANKRAJLARININ TAŞIMA GÜCÜ VE İMAL YÖNTEMLERİNİN TAŞIMA GÜCÜNE ETKİSİ**

### **ÖZET**

Çalışma prensibi olarak, aktif ve pasif olmak üzere iki ana gruba ayrılabilen ankrajların taşıma gücü bu tezin kapsamında esas alınmıştır. Ankrajlar ile ilgili geniş bir literatür taramasına da yer verilen tezin içerisinde sırasıyla, tarihçesi, farklı ülkelerdeki tarihsel olarak gelişimi, yapısal sistemi, malzemesi-imalat yöntemi-çalışma prensibine göre ankraj tiplerinin incelenmesine yer verilmiştir. Tezin asıl kapsamını oluşturan ankraj taşıma gücünün, farklı tip ankrajların farklı tip zemin veya kaya içerisindeki hesapları ve hesap yaklaşımları ile ilgili geniş bir araştırmaya yer verilmiştir. Bununla birlikte, imalat yöntem ve tekniklerinin taşıma gücüne etkisi ile ilgili yapılan araştırmalar ve sonuçlarında bulunan tasarım varsayımları da bu tezin kapsamında incelenmiştir.

Bu tezin hazırlanması esnasında yapılan çalışmaların amacında, değişik karakterlerdeki zeminlerde imalatı yapılan ankrajların imalat yöntemi ve tekniklerinin taşıma gücüne yansıtacağı etkisi yatmaktadır. Tez kapsamında, uygulanması planlanan derin kazı projesi için sahada uygulanan germe deneyleri ile birlikte farklı yöntem veya teknik kullanılarak imal edilen ankrajların taşıma gücü tayinleri yapılmış ve karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, Tezin literatür araştırması kapsamında incelenen taşıma gücü ile önerilen hesap yaklaşımları kullanılarak teorik taşıma gücü hesaplanmış ve saha sonuçları ile birlikte değerlendirilmiştir.

Sahada gerçekleştirilen uygulama, İstanbul'da yapılan projeye ait kazının desteklenmesinde kullanılacak olan zemin ankrajlarının taşıma gücünün tespit edilmesi amacıyla, imalatı yapılan deney ankrajlarına ait deneyleri kapsamaktadır. Yumuşak-Orta Katı, Orta Katı-Katı, ve Çok Katı kil tabakaları içerisinde gerçekleştirilen deneme ankrajları imalatında; geleneksel yöntem, ard enjeksiyon (Tube a Manchette) ve ard enjeksiyonlu tek delgi içerisinde yer alan çoklu ankraj (SBMA) teknikleri kullanılmıştır. Saha deneyleri sonucunda, mekanik özellikler açısından (Kayma Mukavemeti, Deformasyon Modülü vb.) düşük olan zeminlerde Tube a Manchette ve SBMA tekniğinin ankraj taşıma gücüne olan etkisi araştırılmıştır.



## **SOIL ANCHOR ULTIMATE LOAD CAPACITY and CONSTRUCTION METHODS EFFECT on ULTIMATE LOAD CAPACITY**

### **SUMMARY**

From past till today, different purposed structures have been built under the discipline of civil engineering. Bridges, highways, viaducts, dams, coastal and harbor structures, buildings and other related structures are the examples of such structures within the frame of civil engineering. These structures which have different intended use possess an important common property. They transfer the loads applied on them by statically, by earthquakes, by winds or other external forces safely to the soil or rock layers beneath them. Soil mechanics and Geotechnical Engineering come into stage at this phase and analyses the soil -structure relationship. Generally, loads transferred from super structures form compression forces on soil or rock interface, some may form tension forces. It is not possible for a soil layer or rock layer to resist applies forces directly. Although, change in geometry of foundation underneath a building overcome the tension forces; for long electricity transmission towers, wind turbines, high-rise buildings or dams tension forces which will react on soil is inevitable.

Anchor whose origin dates back to screw piles in 1800's, is a soil technology that has an important place in civil engineering world by transferring tension forces of structures to the soil. It was officially first used in Algeria to strengthen the Dam Cheurfas and has become widely used parallel to the developments in civil engineering era. Especially after Second World War, countries which had been affected from the war were rebuilding themselves and started to open excavation pits under ground level to meet the needs. In order to prevent damages of these pits to the near facilities such as buildings or highways and to construct safely, these excavation pits had to be supported. Generally steel-prefabricated systems which have been still used today were being utilized as a support system. This application which can also be named as internal support brought some difficulties and limitations regarding the progress of excavation. Moreover, it affected the construction stages of super-structure and made the process more complicated.

Anchors which have high tensional capacity and are capable of transferring subjected tensional forces to soil or rock layers have been evaluated as an alternative method for the solution of support system in excavations. Particularly, when difficulties of internal supports and their unfavorable costs are considered anchors have become more attractive. In 1958, anchors used for a successful excavation in Munchen/Germany proved the performance and easy use of anchors compared with the internal support system and contributed a lot to the spreading to world. Germany, France, Austria-Switzerland and England are the main countries in Europe which have used and developed ground anchor technology parallel with developed machine-materials technology. In addition to developments on anchor production, same countries have also contributed to advances on ground anchor design, such as

increasing anchor capacity and preparing of standards-regulations. Ground anchor technology which was an origin of West Europe, have been used by countries in different region of worlds; USA, Japan, Australia etc.

Ground anchors are load bearing elements which are made of steel tendons as a base material and can be installed in unsuitable soil conditions with any directions. In addition to this description, lots of definitions, terms are given in literatures by different researchers. In the third part of this thesis, ground anchors are examined with their definitions and parts which are anchor head, free length and fixed length. Moreover, terms of active and passive anchor are defined comparatively including also their advantages/disadvantages of each. Ground anchors are divided into two main groups according to their service life; temporary and permanent anchors. In addition to this, degree of risk after anchor will fail also affect definition of anchor as a permanent or temporary. In this part, definition of temporary and permanent anchors in accordance with different standards, regulations (PTI, SIA 191, TA'95, BS8081, EN 1537) are also considered.

In the scope of this thesis, bearing capacity of anchors which can be divided into passive and active with respect to their working principle are considered. By including a wide range of literature review, the content consists of historical development, structural system and researches to study anchor types changing with respect to material-production-working principle respectively. Calculation methods and approaches of anchor bearing capacity which constitutes the main scope of this thesis for different types of anchors and soil conditions are investigated. Furthermore, researches done for examination the effects of construction methods and techniques on bearing capacity and design assumptions derived from the results are also examined within the scope of this thesis.

In the first years which soil or rock anchors were began to be used, lack of specialized firms and experiences made it unavoidable to fail in this technology. This enforced countries such as America to prepare standards and specifications. At the beginning, these documents which had been made up in the lights of experiences of specialized firms were providing guidance. In the beginning of 1970's researches were mainly based on theoretical studies such as bearing capacity and load transfer mechanism of anchors. Results of these studies took their places on these standards and specifications and further provided a guidance on application methods and design of anchors. BS8081:1989, PTI 2004, DIN 4125 are the main ones which are examined under the scope of this thesis.

The studies in this thesis mainly focus on the determination of anchor capacities in different type of soils and effects of production methods on bearing capacities. The main indicative factor for bearing capacity of ground anchors is the grouting methods which are categorized in four types. Moreover, grouting methods are also determined in according to soil type where anchor is installed. Three main groups are examined for bearing capacity of ground anchors with regards of soil type; cohesionless soil, cohesive soil, and rocks. In these examinations, calculation or determination of bearing capacity of ground anchors with respect to different approaches including theoretical, statistical researches are considered.

There are four different failure system which can be available for ground anchors; failure of soil mass, failure of interface between soil and grout, failure of interface between grout and steel (bar or strand or wire), failure of steel or anchor head. Design of each issues will be performed with respect to safety factors defined in standards/regulations or by researchers. Moreover, service life of anchors (temporary or permanent) or degree of risk by failure of anchor are criteria which can affect safety factors.

In the fifth section of thesis, detail information about post grouting type anchors and special anchors (SBMA, single borehole multiple anchor) are given. Post grouting anchors can be preferred on soil types which are high plastic clay, marn, loose silt or highly fractured rocks. By application of post grouting, bearing capacity of ground anchors which are low for such soils, will be increased. In addition to this, post grouting can be preferred for anchors installed already and failed during stressing process especially when they do not pass the criteria as creep. Moreover, effect of post grouting to bearing capacity of ground anchors is also examined in this section by considering time of post grouting process. Advantage of post grouting process on bearing capacity of ground anchors by showing an example of site application in France is also shown in this section.

SBMA type anchors were invented based on non-uniform bond stress occurred during tensioning of anchors. Non-uniform shear stress between interface of grout and ground, mobilizes due to fact that soil-grout-steel do not show same elasticity behaviour under loading. Since 1970, a lot of investigations and researches about this issue have been performed and it has been concluded that shear stresses are not uniform such as assumption taken for conventional anchor design. While conventional anchors have single unit (bond), SBMA type anchors have multiple unit that is generally shorter than conventional's. At the stage of initial loadings, stresses are concentrated on top part of anchor bond which are near to discrimination of free and fixed part of anchors. By increasing of loading, stressed part of anchor bond is shifting to the end of bond and anchor bond will be failed at the end which is also described as progressive debonding. In according to investigations more than 60, conventional anchor design was developed by using efficiency factor which is depends on length of bond. Nowadays, it is possible to achieve higher loads; 1000-1500 kN by installation of SBMA type anchors in weak soils.

In the sixth section of thesis, the case study includes the experiments to determine anchor bearing capacities performed on trial anchors executed for the support of the excavation of a project located in İstanbul. In trial anchors performed in soft-medium clay, medium-hard and stiff clay layers, conventional method, post grouted (Tube a Manchette) and SBMA (Single Bore Multiple Anchors) methods were utilized. Mechanical properties of weak soils were determined as a result of site investigations (i.e. shear strength, deformation modulus etc.) and effect of Tube a Manchette and SBMA techniques on anchor bearing capacity is examined.

As a result of analysis done with case study given in this thesis, SBMA and post grouting type anchors provide significant advantage instead of conventional anchors in soft-medium clayey soil. It is also concluded that performing of trial tests are useful to determine design of ground anchor with theoretical calculations.



## 1. GİRİŞ

Geçmiş 1800'lü yıllara dayanan ankraj imalatlarının, Geoteknik Mühendisliği ve İnşaat Mühendisliği alanında önemli bir yeri bulunmaktadır. Özellikle, inşaat teknolojisinin 1900'lu yılların ortalarına doğru hız kazanarak ve gelişerek günümüze kadar gelmesi sonucunda, barajlar, köprüler, yüksek yapılar, santraller vb. gibi yapıların yapım öncesi esnasında, zeminde veya kayalarda karşılaşılan sorunların çeşitliliği ve farklılığı ortaya çıkmıştır. Bu sorunların bir kısmı, yapılacak olan yapılarla ilgiliyken, diğer bir kısmı da zemin/kaya karakteriyle ilgili olmuştur. Geçmişten günümüze kadar geçen süreç içinde her iki durum için karşılaşılan sorunların çözümü için yapılan çalışmalarda gerek Geoteknik Mühendisliği ve İnşaat Mühendisliği alanındaki imalat teknikleri, gerek tasarım yaklaşımları ve gerek kullanılan makine ve ekipman sektörü alanında teknolojik gelişmeler yaşanmıştır.

Geoteknik Mühendisliği alanında önemli bir yeri olan ankrajlar, yukarıdaki paragrafta belirtildiği gibi gelişen inşaat teknolojileri ile birlikte karşılaşılan sorunlara karşı önemli bir çözüm yöntemi olmuştur. Geçmiş 18. yüzyıl ortalarına dayanan, ankrajların kullanılmasına neden ihtiyaç duyulduğu ve kullanım alanları aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir.

- Derin kazılarda yapılan iksa sistemlerine gelecek yüklerin, öngerme verilerek karşılanması ve kazının güvenli bir şekilde yapılması,
- Baraj, Kuru Havuz vb. gibi büyük su yapılarında oluşacak çekme gerilmelerinin karşılanması,
- Yapay şev projelendirmelerinde karşılaşılan stabilizasyon problemleri,
- Mevcut kaya bloklarının düşey/yatay yöndeki hareketleri (rock fall stability/block failure) sonucunda meydana gelebilecek göçmelerin önlenmesi,
- Maruz kalacağı yatay yüke göre düşeydeki ağırlığı az olan Elektrik Direkleri, Rüzgar Tribünleri vb. gibi yüksek yapıların temel sistemlerinde ihtiyaç duyulan yüksek çekme kuvvetleri,

- Kazıklarda yapılacak yükleme testlerinde çekme elemanı olarak testin güvenli bir şekilde çalışır ve uygulanması,

## **1.1 Kapsam ve Amaç**

Araştırma kapsamında; geoteknik mühendisliğinde çeşitli problemlerde çokça kullanılan ve önemli bir uygulama tipi olan ankraj imalat yöntemleri araştırılmıştır. Ayrıca; ankrajların tarihçesi, çalışma prensipleri, uygulama teknikleri vb. özellikleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Değinilen bir başka konuda, ankraj tasarımlarında kullanılan parametreler, uygulanan yaklaşımlar ve teorik formüller, ankraj uygulamasını ve tasarımını bir standarda bağlayan farklı ülkeler tarafından yayımlanmış yönetmelik ve standartlar olmuştur.

Bunun dışında; vaka analizi olarak ele alınan derin kazı projesi kapsamında yer alan ankraj uygulamalarının ve proje hakkındaki bilgilere (ankraj uygulaması amacı, ankraj bilgisi, yükler, zemin/kaya bilgisi vb.) yer verilmiştir. Yine söz konusu proje kapsamında, proje öncesi sahada imal edilen ankraj deney sonuçlarının, yürürlükte yer alan BS8081:1989 standardına göre yorumlanmıştır. Değerlendirilen yorumların sonucunda, elde edilen izin verilebilir ankraj taşıma kapasitesi ile teorik yollardan elde edilen izin verilebilir taşıma kapasiteleri bir arada incelenerek karşılaştırılmıştır.

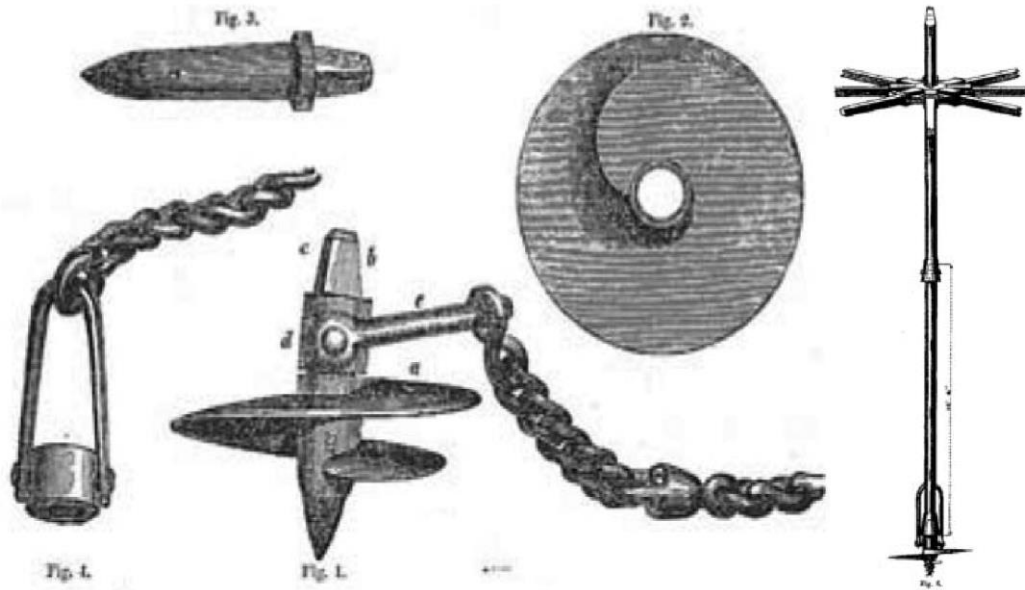
Tezin kapsamında yer alan konu ve çalışmalar aşağıda belirtildiği gibi maddeler halinde sıralanmıştır.

- Ankrajların tarihçesi ve çeşitli ülkelerdeki tarihsel gelişimi,
- Ankrajların yapısı ve çalışma prensibine göre tipleri,
- Uygulama tekniklerine göre ankraj çeşitleri,
- Ankrajların taşıma kapasitelerinin belirlenmesinde kullanılan teorik formüller, tasarım yaklaşımları ve tasarımların tarihsel gelişimi,
- Proje kapsamında uygulama öncesi imal edilen ankrajlara yapılan deney sonuçlarının sunulması ve elde edilen saha verilerinin BS8081:1989 standardına göre değerlendirilmesi,
- Geoteknik mekaniği bilgisi kullanılarak teorik yöntemle elde edilen taşıma kapasitelerinin deney sonuçlarından elde edilen taşıma kapasiteleri ile karşılaştırılması,

## 2. ZEMİN ANKRAJLARIN TARİHÇESİ

Vidalı Kazık (Screw Pile) Temel Sistemleri, birçok tarihçi tarafından İrlandalı inşaatçı ve tuğla üreticisi olan Alexander Mitchell tarafından İnşaat Mühendisliği dünyasına tanıttığını onaylanmıştır. 1836 yılında kullanımına başlanan ve özellikle Birleşik Krallık ve Birleşik Devletler Amerika'sından mühendisler tarafından yaygın bir şekilde devam ettirilen vidalı kazık ve sistemleri, büyük ölçekli çeşitli yapıların temel sistemini oluşturmuştur (Lutenegger, 2011).

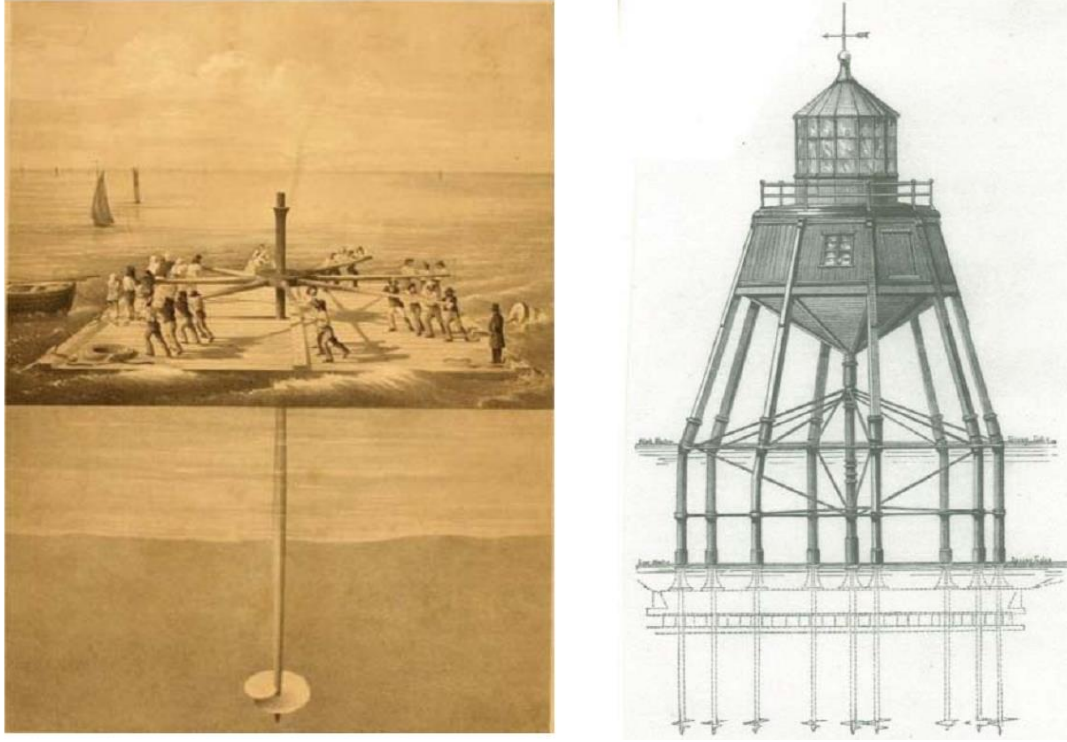
Alexander Mitchell tarafından icat edilen ve Şekil 2.1'de gösterilen Vidalı Kazık Temel Sistemine ait yapılar; Deniz Feneri, Köprüler ve Deniz Önü İskeleler'den oluşmuştur.



**Şekil 2.1 :** Alexander Mitchell tarafından icat edilmiş vidalı kazık sistemi (Lutenegger, 2011)

Vidalı kazık uygulamasının Temel Sistemi olarak kullanıldığı ilk uygulama olan Maplin Sands Deniz Feneri (Şekil 2.2), yapımı süresince günümüz Geoteknik Mühendisliğinde yapılan uygulamalarda da görülen saha inceleme ve araştırması, saha testleri, sahaya özel prototip temel sisteminin performansının değerlendirilmesi

(ön deneyler) gibi çalışmaları da içermesinden dolayı ayrı bir önemi bulunmaktadır. Boyu 7,92 m. çapı 1,20 m. olan dökme demir vidası ile zemine sokulan vidalı kazıkların 12,7 cm. çapındaki gövdesi işlenmiş demirden oluşmaktadır. Alexander Mitchell basit bir yaklaşımla, insan gücü yardımıyla zemine yerleştirilen (Şekil 2.2) kazıkların, en az 64 ton taşıyacak kapasitede olduğunu söylemiştir (Lutenegger, 2011).



**Şekil 2.2 :** Vidalı kazıkların yerleştirilmesi ve Maplin Sands Deniz Feneri Yapısı  
(Lutenegger, 2011)

Deniz fenerleri, köprüler, deniz önü iskeleleri gibi yapıların temel sistemlerinde kullanılan vidalı kazıklar, oturmaya devam eden mevcut yapıların askıya alınmasında ve geoteknik mühendisliği dünyasında önemli ve yaygın bir kullanım alanı olan ankrajlarda çalışma prensibi olarak kullanılmıştır.

18. yy. sonlarına doğru ve 19. yy. başlarında İnşaat Mühendisliği ve Geoteknik Mühendisliği dünyasına tanıtılan ve bu tarihten itibaren günümüze kadar değişik ülkelerde hızlı bir şekilde kullanımı yaygınlaşan zemin/kaya ankrajlarının da etkilendiği Vidalı Kazıklar, Şekil 2.3'te belirtilen fotoğraflarda görüldüğü gibi günümüzde bazı projelerde istinat veya iksa sistemlerinde kullanılmaya devam etmektedir (Pack, 2009).



(a)



(b)



(c)



(d)

**Şekil 2.3 : Ankraj/zemin çivisi olarak günümüzde kullanılan vidalı kazık uygulamaları**

*(a: Berlin Duvar tipi iksa sistemlerinde ankraj, b: Püskürtme Beton Kaplamalı İstinat Duvarlarında zemin çivisi, c: Çelik Panel Kaplamalı İksa Sistemlerinde Ankraj, d: Betonarme İstinat Duvarlarında Ankraj)*

Derin kazılarda, su yapılarında, temel sistemlerinde vb. birçok uygulamada kullanılan ankrajların, inşaat mühendisliği dünyasına tanıtılması 19. yy. başlarında gerçekleşmiştir. Vidalı kazık sistemlerinde etkisi altında olduğu ankrajların tarihsel gelişimi 19. yy.da yoğunlaşmış ve Almanya, Fransa, İngiltere ve ABD gibi ülkelerde kullanımı yaygınlaşmıştır.

Vidalı kazık sisteminin bulunması ve tanıtılmasından sonra, 19.yy başlarında kullanımına başlanan zemin/kaya ankrajlarının farklı ülkelere göre tarihsel gelişimi detaylı bir şekilde araştırılarak incelenmiştir.

1991 tarihinde, dünya çapında tanınan köprü ve yeraltı yapılarının inşaat teknolojisinde dikkate değer çalışmalar yapan inşaat ve yapı mühendisi Petros P. Xanthakos tarafından yazılmış "Ground Anchors and Anchored Structures" kitabında, ankraj teknolojinin evriminin büyük bir kısmının son 30 yılında gerçekleştiğini (1960-1990) söylemiştir. Petros P. Xanthakos, ilgili kitabında

ankrajların, zemin terminolojisi veya yapıldığı sahanın topografik ve jeolojik koşulları açısından 3 ana gruba ayırmanın mümkün olacağını söylemiştir. Bunlar;

- a) Zemin Ankrajları,
- b) Kaya Ankrajları,
- c) Deniz Ankrajları,

şeklinde gruplandırılan ankrajların dünya pazarındaki yeri; 70 % - 80 %'i Zemin Ankrajları, 10 % - 20 %'si Kaya Ankrajları ve yaklaşık 10 %'unu Deniz Ankrajları şeklinde oluşmaktadır.

Petros P. Xantakos tarafından 3 ana gruba ayrılan ankrajların kullanım alanları ve kullanım amaçları aşağıda belirtilmiştir.

### **Zemin Ankrajları**

- a) Derin kazılarda zemini tutmaya yarayan destek amaçlı,
- b) Yeraltı suyu veya zeminde meydana gelen kabarmalardan dolayı oluşan çekme kuvvetlerine karşı temel döşemelerinin ankrajlanması ve stabilizasyonu,
- c) Stabil olmayan zeminlerde ön konsolidasyonu sağlayarak taşıma güçlerinin artışı,
- d) Kazık yükleme testlerinde reaksiyon görevi görmek,
- e) Güç aktarım kuleleri (elektrik kuleleri-ana gerilim hatlarının geçtiği kuleler vb.), kayak atlama rampası, özel çatılar gibi sistemlerde oluşacak devrilmeye karşı olan kuvvetlerin dengelenmesi,
- f) Yeraltı tanklarının bağlanması,
- g) Aç-kapa kazılarını içeren tünellerde yatay destek elemanı,
- h) Nükleer yapıların derin temellerinin stabilizasyonu,

### **Kaya Ankrajları**

- a) Kaya formasyonlarının ve şevlerinin korunması ve stabilizasyonu,
- b) Yeraltında kaya formasyonlarında açılan kavite ve galerilerin desteklenmesi,
- c) Büyük çaptaki barajların kaldırılması ve güçlendirilmesinde kullanılması,
- d) Teleferik yolunun üzerinde yer alan mesnet ayakları, televizyon kuleleri, köprü ayakları gibi zemine aktarılabacak yüksek gerilmelerin olduğu yapıların temelinde,
- e) Maden shaftları ve diğer yapıların dayanaklı hale getirilmesinde,

## Deniz Ankrajları

- a) Kıyı yapıları ve savunma yapılarının korunması,
- b) Yeniden kullanılmaya hazır hale getirilen alanların stabilizasyonu,
- c) Dere toprak dolgularının ve kanallarının korunması,
- d) Deniz ve nehir/ırmak tesislerinin güçlendirilmesi,
- e) Petrol taşıma ve nakliyesinin kullanılmasında yapılan iskelelerin korunması,

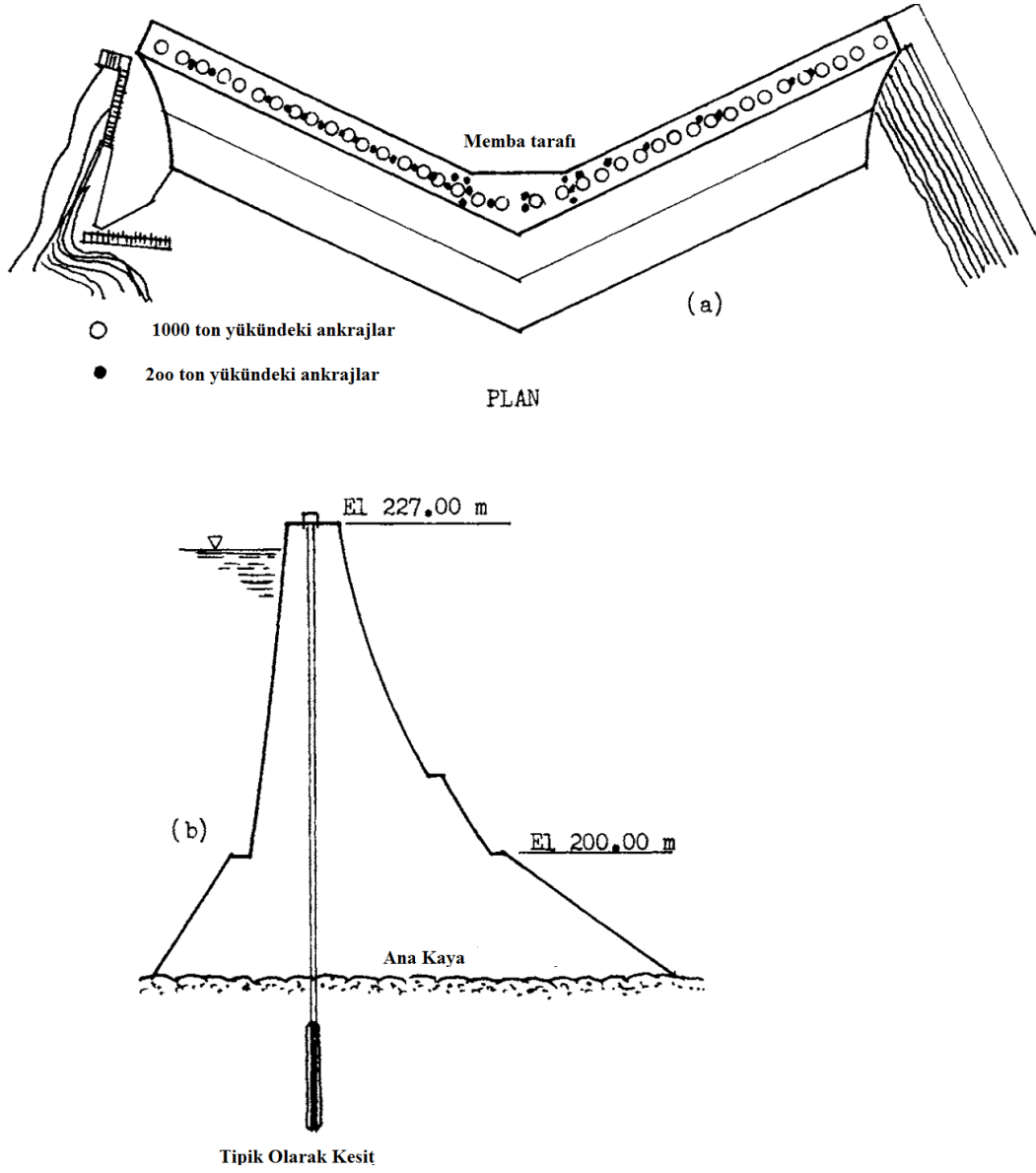
Petros P. Xanthakos (1991) tarafından ankraj uygulamalarının tarihçesine ait yaptığı araştırma çalışmalarına bakıldığında, ilk olarak Londra–Birmingham Demiryolu projesinde, Canal Bank desteklenmesinde kullanılan sert demir ankrajlarına yapılan deneylerinin Frazer tarafından 1874 yılında tanıtılması ile ankrajların İnşaat Mühendisliği ve Geoteknik Mühendisliği dünyasına girdiğini belirtmiştir. 19. yüzyılın başlarında Anderson (1900), döşemelerin yüzmesine karşı vidalı kazıkların kullanılması ile ilgili bir doküman hazırlamıştır (Xanthakos, 1991).

Vidalı kazıkların dünyaya tanıtılması ile etkilenen Geoteknik Mühendisliği ve İnşaat Mühendisliği alanlarında kullanılan ankrajların tarihçesine bakıldığında; ilk defa Cezayir’de yapılan Cheurfas Barajı gibi büyük ölçekli projede etkin olarak kullanıldığı görülmüştür (Şekil 2.4).

1880 yılında geleneksel kütle barajı olarak inşa edilen Cheurfas Barajı, 1885 yılında gerçekleşen büyük bir taşkın sırasında hasar görmüştür. 1930’lu yılların başında, tekrar inşa edilen barajın temelinde stabilizasyon sorunları tespit edilmiştir. Barajın güçlendirilmesi ve temeldeki stabilizasyon sorunlarının ortadan kaldırılması amacıyla, Fransız İnşaat Mühendisi Andre Coyne tarafından 1934 yılında dikey ankrajlar imal edilmiştir. Plan üzerinde yatay aralıkları 3,5 metre olan ve yük kapasiteleri 1000 ton olan bu ankrajlar, maruz kalacağı yüksek mertebedeki çekme yüklerini kumtaşı tabakasına aktaracak şekilde yapılmıştır (Xanthakos 1991).

Bunun yanı sıra, ankrajların ilk kullanımı (Fang ,1991) kaya formasyonuna oturan ve Şekil 2.5’te gösterilen Jument Deniz Feneri inşaatında gerçekleştirilmiştir. Söz konusu yapının tarihçesi ve projesi hakkında detaylı bir kaynak bulunmamasına rağmen ankrajların; kuvvetli fırtınalar esnasında oluşabilecek güçlü dalgaların deniz feneri yapısı üzerinde oluşturacağı olası stabilizasyon sorunlarının engellenmesi amacıyla kullanıldığı düşünülebilir. Jument Deniz Feneri yapısının altında kullanılan 2500 ton taşıma kapasiteli 3 adet ankrajın imalatı Cheurfas Barajı’nın güçlendirilmesinde

büyük rolü olan Andre Coyne tarafından 1930 yılında gerçekleştirilmiştir (Fang ,1991).



**Şekil 2.4 :** Cheurfas Barajı - ankraj uygulaması projesi plan ve tipik kesit çizimi (Xanthakos -1991)

Vidalı Kazık Sistemlerinin, İnşaat Mühendisliği dünyası tarafından bilinmesinden sonra ankraj teknolojisi ilk kez Coyne tarafından kullanılmıştır. 1930'lu yıllardan önce madencilik sektöründe; Tünel-Galeri vb. yapıların çatı stabilitelerinin sağlanması için 1918 yılında Polonya'da açılan kaya formasyonlarında ve 1926 yılında o zamanki adıyla Çekoslovakya olan bugün Çek Cumhuriyeti adıyla anılan ülkede, eğimli maden kuyularının desteklenmesi amacıyla kullanılmıştır (Merrifield C. ve diğerleri, 2013).



**Şekil 2.5 :** Jument Deniz Feneri Yapısı (İnşaat Tarihi: 1911, [www.foghornpublishing.com](http://www.foghornpublishing.com))

### **2.1 Zemin Ankrajların Farklı Ülkelere Göre Tarihsel Gelişimi**

Ankraj teknolojisinin ilk olarak maden sektörüne girmesi ve sonrasında İnşaat Mühendisliği dünyasına Andre Coyne tarafından etkin bir projede (Cheurfas Barajı) uygulanarak tanıtılması ile birlikte bu teknoloji Avrupa kıtası içerisinde hızlı bir şekilde yayılmaya ve uygulanmaya başlamıştır. II. Dünya Savaşı sırasında etkilenen Avrupa kıtası ülkelerinin yeniden yapılanması sırasında ivme kazanan inşaat sektörü ankraj teknolojisinin ve kullanımının yaygınlaşmasına sebep olan en önemli olaylardan biridir. 1950'li yıllara denk gelen bu süreç içerisinde, enjeksiyon ve delgi metotlarındaki olumlu yöndeki gelişmeler ve beraberinde yüksek çekme kapasiteli halat ve tendon üreticilerinin güvenilir olmaları ile birlikte, ankraj teknolojisinin gelişerek ilerlemesine ve Avrupa'dan başka diğer kıtalarda da farkındalığına sebep olmuştur. İlk olarak Fransa, Almanya, İsveç, İsviçre ve sonrasında İngilterede

kullanımı artan ankraj teknolojisi ilk zamanlarda derin kazıların desteklenmesinde kullanılmaktaydı (Xanthakos 1991).

1950'li yılların başında özellikle Batı Avrupa ülkelerinde derin kazıların desteklenmesinde kullanılan ankrajların, imalat-malzeme-makine teknolojilerinin gelişmesi ve giderek yaygınlaşması sonucunda; şev stabilitesinin sağlanması, yüksek yapıların ankrajlanması, temel veya binaların kaldırma kuvvetine karşı ankrajlanması, su önü yapıları, gibi farklı amaçlarla değişik projelerde kullanılmıştır.

1950'li yılların sonuna doğru Almanyada ve Fransada zemin içerisinde ankrajların imalatlarında serbest boy ile birlikte kök boyu kullanılmaya başlanmıştır (Barley ve Windsor, 2000). Yine aynı yıllarda, ankrajların kıyı bölgesi yapılarında kullanımı ile birlikte korozyon problemi ortaya çıkmış ve korozyondan korunma yöntemleri araştırılarak geliştirilmeye başlanmıştır (Özhan, 2000).

Fransız mühendis Andre Coyne tarafından kullanılan ankraj teknolojisinin tanıtılması ve uygulanması İkinci Dünya Savaşı sonrasında kentlerin yeniden kurulması ile birlikte gelişen inşaat sektörü; beraberinde ankraj teknolojisinin farklı ülkelerde kullanılmasına ve yayılmasına sebep olmuştur. Başta Türkiye olmak üzere, günümüz ankraj teknolojisinin uygulanmasına ve gelişmesine katkıda bulunan ülkeler, ankraj tarihçesi açısından detaylı bir şekilde incelenerek sonuçları aşağıda belirtilmiştir.

### **2.1.1 Almanya ve Avusturya**

İkinci Dünya Savaşı sonrasında ankraj teknolojisinin gelişimi açısından atılan temel adımlardan biri, 1958 yılında Dr. Karl Bauer tarafından Batı Almanya'da gerçekleştirilmiştir (Xanthakos 1991). Literatürlerde geçen ve herkes tarafından onaylanan ve bilinen ismi ile Bauer Sistem Ankrajları, ilk kez 1958 yılında Münih kentinde yapılan bir binanın kazısının desteklenmesi için düşey dayanma yapıları ile birlikte kullanılmıştır (Şekil 2.6).

Ankrajların zeminde kullanılmasının ilk öncüsü olan Bauer Sistem Ankrajları; zeminde açılan 8 cm. çapındaki delgi içerisine yerleştirilen demir çubuğun, yine aynı delgi içerisinde kullanılan uygun çimento karışımı ile ankrajın yapılmasından oluşmaktadır. 1958 yılında ilk kez tanıtılan Bauer Sistem Ankrajları aynı zamanda, enjeksiyonla birlikte kullanılan ilk ankraj olma özelliğini de taşımaktadır.

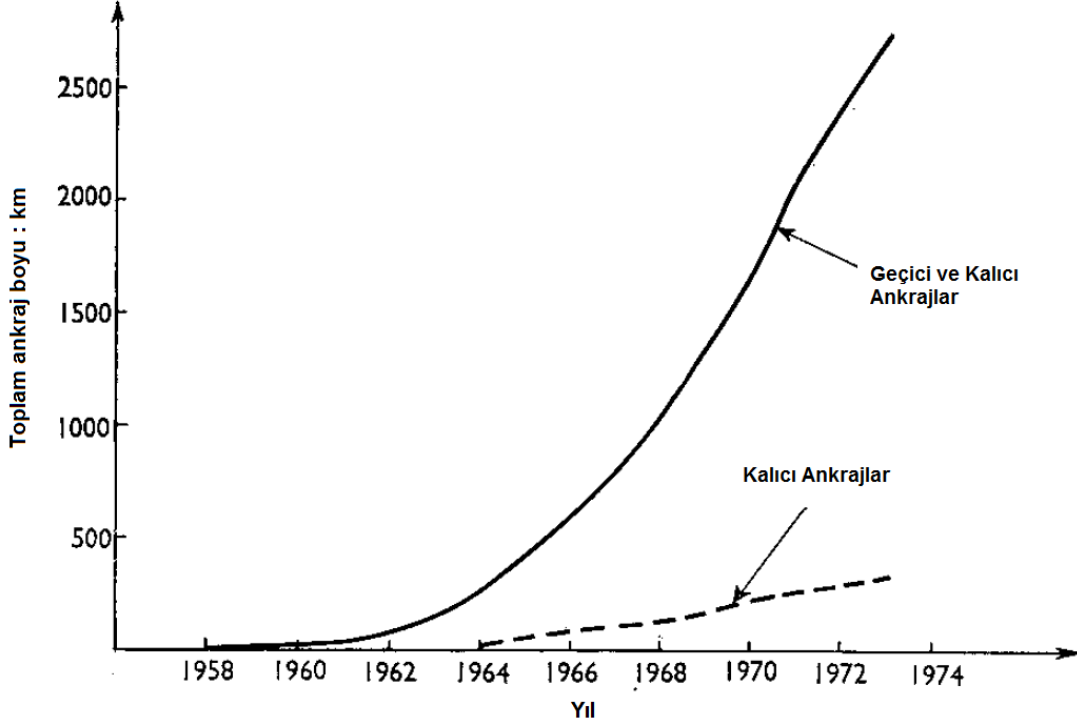


**Şekil 2.6 :** Bauer Sistemi'nin ilk kez kullanıldığı inşaat projesi,1958-Münih  
(BAUER Spezialtiefbau - GmbH, [www.bauer.de](http://www.bauer.de))

Bauer'in 1966 yılında hazırlamış olduğu rapora göre, Bauer tipi ankraj sistemlerinin tanıtılması ve inşaat dünyasına girmesiyle birlikte 1965 yılı sonu itibariyle toplam olarak 30.000 adet ankraj imalatı yapılmıştır (Xanthakos 1991). Ostermayer, 1974 yılında Bauer sistemi olarak imal edilen ankrajların yıllara göre uygulama miktarları Şekil 2.7'de verilen grafikte göstermiştir.

1958 yılında Bauer Sistemlerinin tanıtılmasıyla beraber ankraj imalatında meydana gelen ve yıllara göre uygulama oranının artış sebepleri aşağıda belirtilmiştir.

- Savaş sonrasında yerleşim alanları içerisinde şehirleşmenin artması, yeniden yapılanması ve inşaat sektörünün hız kazanması,
- Ankraj sistemleri öncesinde, şehirleşme sırasında açılan kazıların güvenli bir şekilde yapılması için kullanılan destekli duvarlara göre ankrajlı duvarların daha büyük bir ekonomik avantaj sağlaması (Ostermayer,1974),
- Ankraj teknolojisinin kullanıldığı projelerin başarılı olması ve zamana bağlı olarak başarılı projelerin yeni yapılan veya yapılacak diğer projeler üzerinde domino etkisi yaratması,

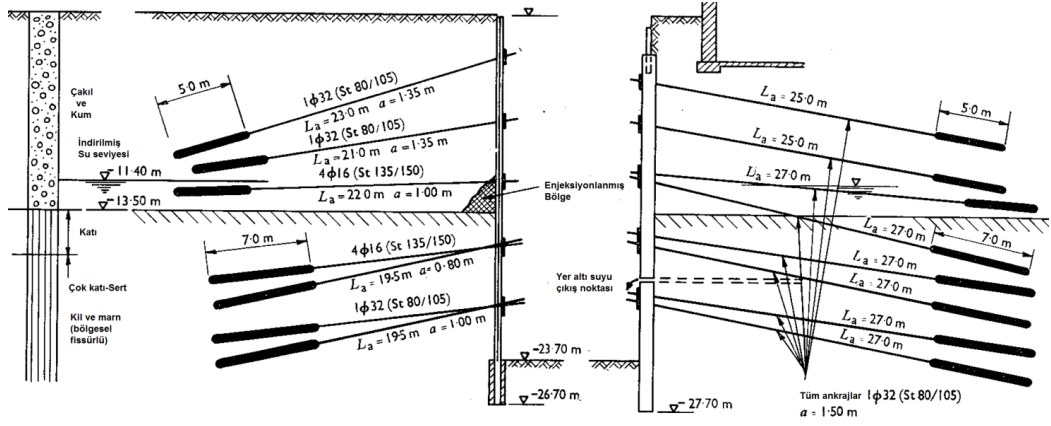


**Şekil 2.7 :** 1958-1974 yılları arasında bauer sistemi kullanılarak imal edilen geçici ve kalıcı ankraj miktarları (Ostermayer,1974)

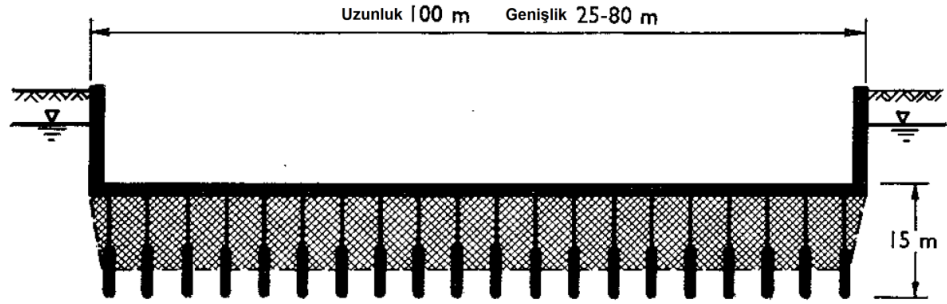
1958 yılında Bauer sisteminin tanıtıldığı proje dışında, Almanya'da o yıllarda ankraj teknolojisinin kullanıldığı bazı projeler aşağıda sıralanmıştır.

- Ostermayer'in 1974 yılında uyguladığı, genişliği 12 metreden büyük olan kazıların desteklenmesinde ankraj teknolojisinin desteklenmiş sistemlere göre daha ekonomik olduğunu gösteren, Münih'te yer alan Metro inşaatında yapılan açık kazı projesi
- Hannover'de yapılan Kröpcke Metro İstasyonu kapsamındaki derin kazının güvenli bir şekilde yapılması için kullanılan ankrajlı duvar (Şekil 2.8)
- Geçici ankrajların yanı sıra, dolgu ve 30m yüksekliğindeki Fore Kazık imalatlarından oluşan ve istinat duvarlarının güvenliği için Kalıcı Ankraj İmalatından oluşan Stuttgart'ta yapılan kazı projesi
- Münih'te yapılan Tivoli Binasının hidrostatik su basıncından dolayı meydana gelecek kaldırma kuvvetlerine karşı temelin ankrajlar ile tutulması projesi (Şekil 2.9)
- Münih'te yapılan Olimpiyat Stadının Çadır Tipli Çatısında kullanılan Çekme Halat Amaçlı Ankraj Projesi (Şekil 2.10)

- Obsertdorf'ta yapılan Kayak Sporu Yüksek Atlama Kulesinin dönme etkilerine karşı kayaya soketli ankraj projesi (Şekil 2.11)



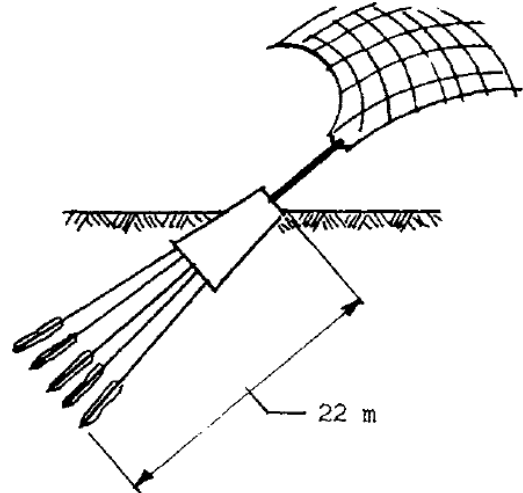
Şekil 2.8 : Hannover-Kröpcke Metro İstasyonu derin kazısı projesi-tipik iksa kesitleri (Ostermayer,1974)



Şekil 2.9 : Tivoli Binası-Münih (Xanthakos, 1991)

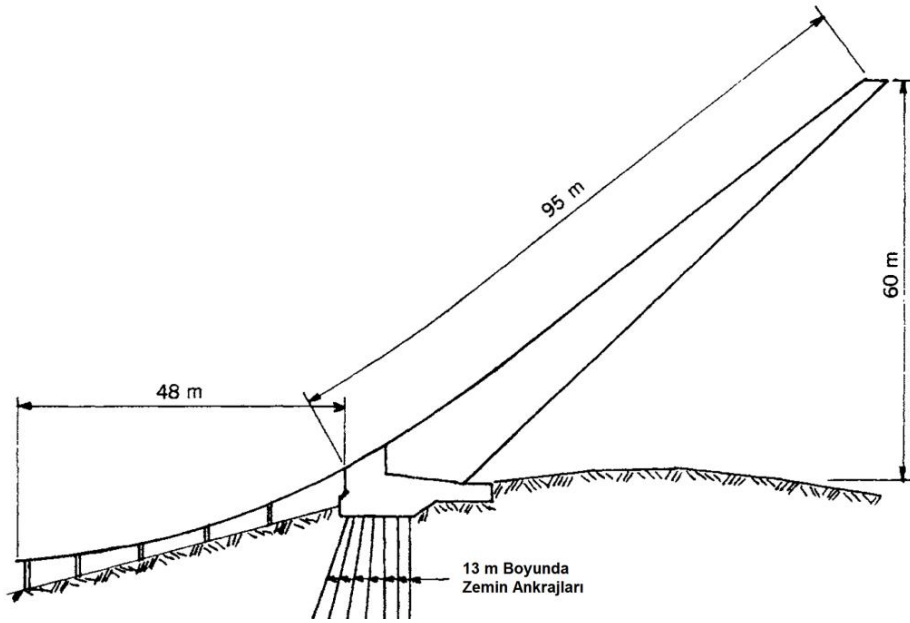


(a)



(b)

Şekil 2.10 : (a) Olimpiyat oyunları çatısı günümüz görüntüsü (BAUER Spezialtiefbau - GmbH, [www.bauer.de](http://www.bauer.de)) (b) Olimpiyat oyunları çatısının ankrajlanmasına ait çizim (Xanthakos, 1991)



**Şekil 2.11 :** Obserndorf-Münih yüksek kayak atlama rampası (Xanthakos, 1991)

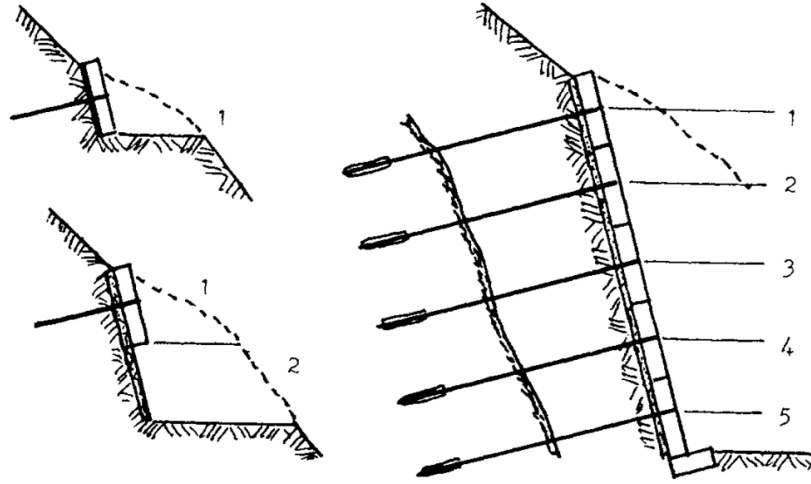
Ankraj teknolojisinin uygulanmasında ve günümüze kadar gelişmesinde önemli rol oynayan, 1958 yılı Batı Almanyasında (Almanya) tanıtılan ve önemli projelerde uygulanan Bauer Sistemi Ankrajları, Dr. Karl Bauer'e göre; rölatif olarak küçük boyutlu çaplarda (8–14 cm.) imal edilen ankrajların daha etkin olduğu ve aşağıda verilen zemin türüne göre ankrajların taşıyabileceği ortalama yük mertebelerinden daha yüksek yük değerlerine ulaşabilmenin mümkün olduğunu belirtmiştir.

- Kohezyonlu zeminler : 30-50 ton
- Kohezyonsuz zeminler : 40-80 ton

Bununla birlikte Bauer prensibi, yüksek yüklere ulaşabilmenin çözümü; aynı çapta kullanılan delgi içerisine çekme mukavemeti daha yüksek özelliğe sahip olan tendonların kullanılmasından geçtiğini açıklamaktadır (Xanthakos, 1991). İlk zamanlarda kullanılan demir çubukların çekme kapasitelerinin sınırlı olması nedeniyle, günümüzde kullanılan yüksek mukavemetli çeliğin veya halatın üretimi ile ilgili araştırma ve geliştirme çalışmalarının başlamasına önayak olmuştur.

Avusturya'da 1960'lı yılların ortasından itibaren kaya formasyonlarının hakim olduğu ve alüvyonal bölgelerde öngermeli ankrajların kullanıldığı bilinmektedir. Özellikle Alp Dağları bölgesinde ve ülkenin batı tarafında, ankraj imalatının olduğu projelerde yukarıdan aşağıya (*Top to Bottom Technique*) tekniği kullanılmaya başlanmıştır (Xanthakos, 1991). Şekil 2.12 tipik çizimi ile gösterilen teknik, daha sonra İsviçre'de

ıkacak olan VSL ankraj teknolojisinin kullanıldığı projelere ilham kaynağı olmuştur.



**şekil 2.12 :** Ankrajlı projelerde kullanılan yukarı-aşağı tekniği (Xanthakos, 1991)

Avusturya'da ilk kez uygulanan Yukarı-Aşağı tekniği; içerisinde lokal kil merccekleri barındıran, kazı sırasında potansiyel kayma riski bulunan stabil olmayan kaya formasyonlarının bulunduğu bölgelerde daha çok tercih edilmiş ve efektif olmuştur. şekil 2.12'de gösterilen çizime göre imalat aşamaları numaralandırılmış teknik; Kazı-İmalat-ngerme-Kazı Akış programını takip ederek nihai kazı kotuna ulaşılana kadar aynı program tekrarlanmaktadır. Bu teknikle hedeflenen amaç; düşeyde ve yatayda birbirinden bağımsız istinat duvarı gibi bloklar üretilip, ankrajların gerilmesi ile blokların temas yüzeylerinde oluşacak gerilmeler sayesinde büyük Kaya/Toprak kütlelerini tutmaktır. Rölatif olarak uygulanan yüklerin küçük olması ile doğal dengenin etkilenmesi/örselenmesi minimuma indirilmektedir (Xanthakos 1991).

### 2.1.2 İsviçre

Diğer taraftan aynı zaman diliminde İsviçre'de VSL Ankraj Sistemleri geliştirilmiştir. İsviçreli inşaatçı Losinger tarafından bulunan ve 1954-1955 yıllarından itibaren İsviçre'de "VSL" adıyla patent alan Ankraj Sistemlerinin, yaklaşık 60 yıllık süre içerisinde İnşaat Mühendisliği dünyasında kullanılmasına devam edilmektedir. VSL Ankraj Sistemlerinin kullanıldığı ilk resmi proje, İsviçrenin Yverdon kentinde inşa edilen Pont Des Cygnes Köprüsü (şekil 2.13) olmasına rağmen, Geoteknik

Mühendisliği dünyası açısından VSL Ankraj Sistemlerinin kullanım yeri çok farklı olmuş, sayısız projelerde uygulanmış günümüzde de uygulanmasına devam edilmektedir. (VSL Anchor Technology, 2009).

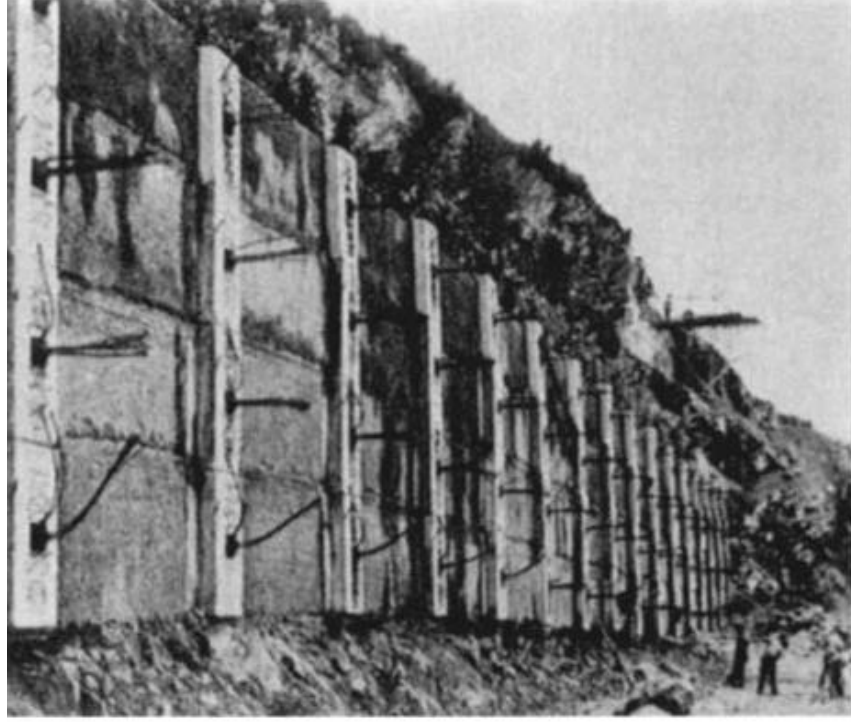


**Şekil 2.13 :** VSL teknolojisinin ilk kullanıldığı proje; Pont Des Cygnes Köprüsü (VSL anchor technology, "Over 50 Years of Excellence"2009)

İsviçre'de, günümüzdeki adıyla patentini almış VSL Ankraj Sistemleri, ilk olarak Pont Des Cygnes Köprüsünde uygulanmasıyla birlikte İsviçre'ye komşu olan ülkelerde kullanım lisansı alınmaya başlanmış ve tüm dünyada yayılarak uluslararası marka olma unvanına erişmiştir.

VSL Ankraj Sistemleri; kaya ve zeminde yapılan ankrajlar arasındaki farkı kaldırıp yerine günümüzde ankraj imalatı sırasında kullanılan malzeme teknolojisinin değişiklik gösterdiği 2 tür sınıf farkı getirmiştir. Geçici ve kalıcı olmak üzere yapıldığı ve servis ömrünün süresi ile ilgili durumu gösteren iki ayrı sınıfa ayrılmıştır. Bunun dışında, ankrajların kalıcı olarak imal edildiği durumda karşılaşılan korozyon problemlerine karşı belli gereklilikler tanımlanmıştır (Xanthakos 1991).

Avusturya'da olduğu gibi, özellikle Alp Dağları'nın bulunduğu bölgelerde yapılan yol inşaatlarında; süreksizlik ve çatlaklı kaya formasyonlarında uygulanan kazılarda yukarı-aşağı tekniği uygulanmıştır. Her bir duvar segmentine yapılan ve kazı derinliği boyunca aşamalarla ilerlenen bu teknik (Şekil 2.14) sayesinde; duvarların birbirinden bağımsız hareket etmesine, ankrajların gerilmesi esnasında oluşabilecek ikincil gerilmelerin önlenmesine, duvarların bağlantı yerlerinde şekil değiştirmesine ve buna bağlı olarak ilave gerilmelerin oluşmasına engel olunmaktadır.



**Şekil 2.14 :** Segmentli duvar yapısı ve her bir duvarın ankraj ile kaya yüzeyine sabitlenmesi, Wingreis-İsviçre (Xanthakos, 1991)

Öngermeli kaya ankrajları kullanılarak bölgesel stabiliteyi sağlayan bu imalat tekniği, kendiliğinden destekli yeraltı yapılarında da kullanılmaya başlanmıştır. İlk uygulama Veytaux–Geneva Gölü Kıyılarında 1970 yılında tamamlanmış Hongrin yeraltı pompa depo istasyonu kazısı sırasında gerçekleştirilmiştir. Yerin altına inşa edilen bu istasyonun; genişliği 30,50 m. kazı derinliği 23-26,50 m. boyu da 137,50 m.'ye kadar ulaşmaktadır. Marl içeren kireçtaşı ve çatlaklı kireçtaşı–şist formasyonunda yapılan kazının desteklenmesinde; germe yükleri 115-135 ton arasında değişen kaya ankrajları ve püskürtme beton kullanılmıştır. Belirli aşamalar halinde yapılan kazı sırasında, kaya davranışı ve stabilite sorunları incelenerek, tasarımı belirlenen projede kaya ankrajlarının karolajı 1 adet/14 m<sup>2</sup> olacak şekilde kullanılmıştır. ("*Soil and Rock Anchors: Examples From Practice*", VSL International LTD., 1992).

İngilizce terimi ile "Self Supported" olarak tanımlanan yeraltı yapılarında kullanılan teknolojiye dayanan ilk proje olan Veytaux–Pompa Depo İstasyonu, tünel kazıları sırasında kaya kütlelerinin analizinde kullanılan yöntemlerden biri olan "Convergence–Confinement Yaklaşımı" ve 1970'li yılların sonlarına doğru tanıtılacak NATM tekniğinin de öncüsü olmuştur (Xanthakos, 1991).

### 2.1.3 Fransa

Fransa'da savaş sonrası yıllarda gelişen inşaat sektörü ile birlikte yerleşim alanları içerisinde yapılacak olan yeni inşaat projelerinde yeraltı alanlarının kullanılması ihtiyacı sözkonusu olmuştur. Şehirleşmenin olduğu bölgelerde ortaya çıkan bu ihtiyaç, beraberinde yeraltına ulaşmak için yapılacak olan kazıların desteklenmesi problemini getirmiştir. İnşaat sektörünün gelişmesi ile birlikte yerleşim bölgelerinde yeraltındaki alanlara ihtiyaç duyulması ve beraberinde gündeme gelen problemlere karşı Zemin Ankrajları 1953 yılından itibaren önemli bir çözüm aracı olmaya devam etmektedir. Bununla birlikte ankrajların bu tür uygulamalarda kullanılmasının yararları ve teşvik edilmesi üçüncü şahıslar (İnşaat Firmaları, Üreticiler vb.) tarafından değerlendirilmiş ve paragrafın başında belirtildiği gibi ankraj uygulamalarının imalatı ve gelişmesi sağlanmıştır. (Xanthakos,1991).

Fransa'da ankraj teknolojisinin kullanılmaya ve yayılmaya başlandığı yıllarda, kentsel gelişim amaçlı uygulanan yeraltı alanlarının kullanıldığı projelerin başında Paris'te inşa edilen Halles Forum projesi gelmektedir. Açık hava meydanı, 4 katlı yapı ve bölgesel geçişlerin olduğu yeraltı metro istasyonu inşaatının yer aldığı proje kapsamında; geoteknik mühendisliği alanında birden farklı çözümü içeren uygulamalar yapılmıştır (Şekil-2.15).



(a)



(b)

**Şekil 2.15 :** (a) Çelik profil ve beton kaplamalı destek sistemleri (b) Kazık ve payanda amaçlı diyafram duvar içeren destek sistemleri (Xanthakos , 1991)

Yatay destek elemanı olarak ankrajların kullanıldığı bu projede, zemin ankrajlarının geçici amaçlı olarak kullanılmasına rağmen, proje inşaat süresinin 4–5 yıl sürecek olması şekilde planlanmasından dolayı ankrajlar korozyona karşı korunmuştur.

Halles Forum projesi örneği gibi, savaş sonrası gelişen inşaat sektörü ve şehirleşmenin olduğu bölgelerde yeraltı alanlarının kullanılmasına ihtiyaç duyulması nedeniyle, birçok projede zemin ankrajlarının kullanılmasına başlanmıştır. Bu durum, ankraj teknolojisinin Fransa'da gelişerek ilerlemesini ve Freyssinet® gibi öngermeli sistemler üzerinde uzmanlaşmış birçok uluslararası firmanın inşaat dünyası piyasasında önemli bir yere gelmesini sağlamıştır.

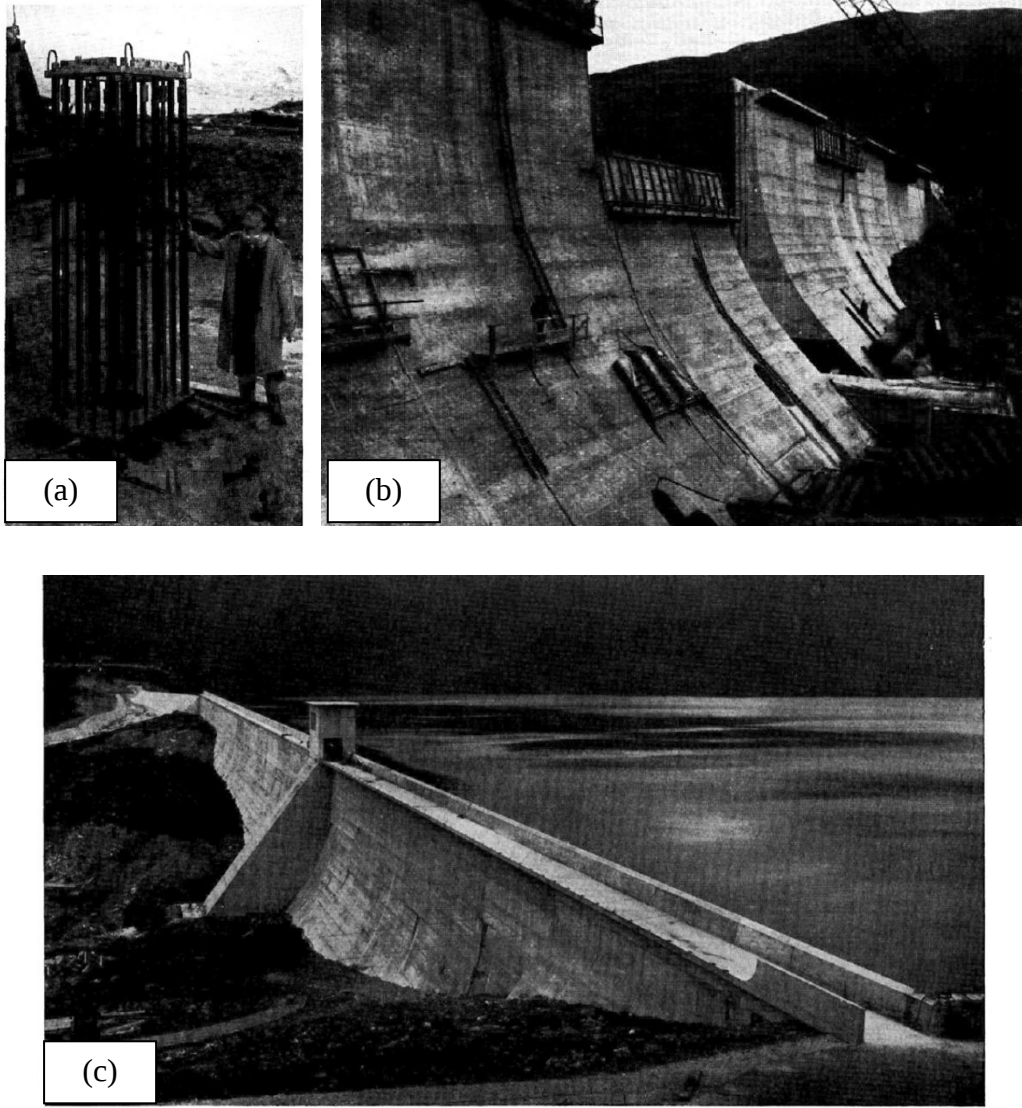
#### **2.1.4 Birleşik Krallık (İngiltere)**

Birleşik Krallık topraklarında ankraj; 1966 yılından önce Gillot ve Mielville tarafından kömür madenleri yolunun stabilizasyonunun sağlanması için ve kazık testlerinde reaksiyon elemanı olarak kullanılmıştır (Xanthakos 1991). Bununla birlikte, ankraj uygulaması ilk kez 1950'li yılların ortalarında İskoçya'da Allt–Na Lairige Barajı inşaatında kullanılmıştır (Özhan, 2000). Yaklaşık uzunluğu 415 m. yüksekliği 22,30 m. olan barajın 295 metrelik bölümü temel kotundan itibaren öngermeli betondan oluşmaktadır (Şekil 2.16).

1934 yılında Fransız Mühendis Andre Coyne tarafından imal edilen ankrajın çalışma prensibinden farkı olarak; masif ağırlık tekniği ile imal edilecek barajlara karşın öngermeli sistemler ile imal edilen baraj yüksekliğinin artmasının (arkasında biriktireceği su miktarının artması) ekonomik açıdan daha uygun hale getirmesi sebebi ile tercih edilmiştir (Banks ve diğerleri,1957).

Birleşik Krallık'ta uygulanan ankraj sistemleri, Batı Avrupa ülkelerinde 1960'lı yılların başından itibaren kullanılan ankraj sistemlerinin etkisi altında kalmıştır. Almanya'da geliştirilmiş muhafaza sonu basınçlı enjeksiyon (end of casing pressure grouting) ve Fransa'da geliştirilen sonradan enjeksiyon (post grouting) sistemlerinin tanıtılması ile birlikte; geniş aralıklar içerisinde değişen farklı tür zeminlerde imal edilen yeni ankrajların üretimi ve teknolojisi gelişmiştir. Ankraj teknolojisinin en önemli gelişmesi; özellikle katı kıvamdaki killi zeminlerde taşıma kapasitesinin iyileştirilmesi yönündeki, ankraj kök çapı ve delgi çapı ile ilişkisine dayanarak bulunan Çoklu Büyütme Sistemi (Multi Underreaming System) olmuştur (Barley ve

Windsor, 2000). İngiltere'de bulunan ve Çoklu Büyütme Sisteminin gelişmesini sağlayan kuruluş Universal Anchorage ve Cementation Şirketi olmuştur (Özhan, H.O , 2000).



**Şekil 2.16 :** (a) Temelde imal edilen taban ankrajı (b) Barajın imalat aşamasını gösteren bir kare (c) Barajın tamamlanmış halini gösteren bir fotoğraf (Banks ve diğerleri, 1957)

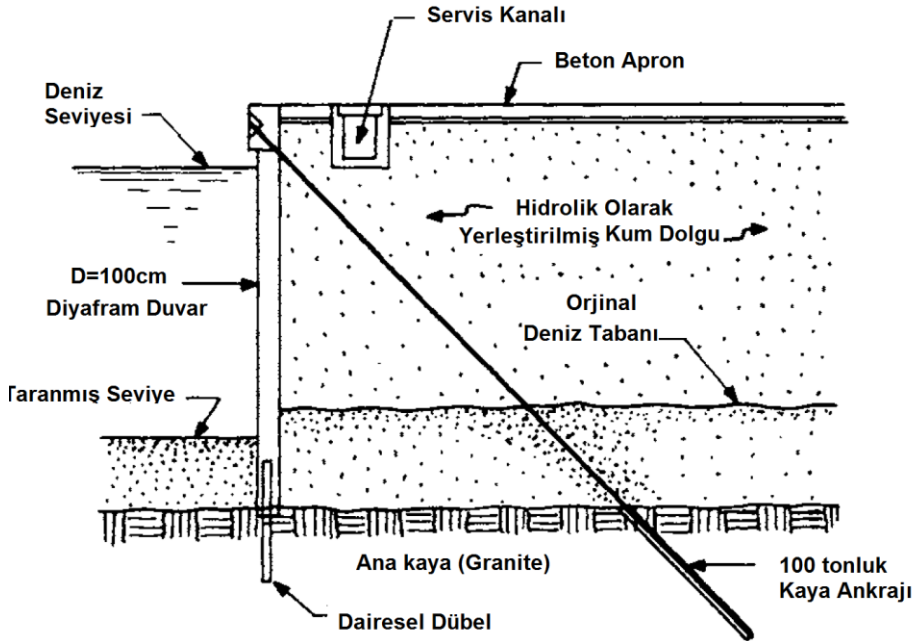
Birleşik Krallık'ta, ankraj teknolojisinin kullanıldığı projelerin başında olan İkinci Mersey Tüneli projesinde uygulanan ankraj sistemleri (1960'lı yılların sonu); Almanya'da ilk kez geliştirilmiş olan Bauer Ankraj Sistemleri prensibine dayanmaktadır. 2.000 kN kapasitesine sahip zemin ankrajlarının kullanıldığı bu proje, Almanya ve Fransa gibi Batı Avrupa ülkelerinde gelişen ankraj teknolojisinin tanıtılması açısından ayrıca büyük bir önem kazanmaktadır. Ofordness bölgesinde

yer alan savunma düzeninin oluşturulması ile ilgili proje; zamanın en büyük ankraj uygulamasını içermektedir (Xanthakos, 1991).

Batı Avrupa ülkeleri tarafından uygulanan ankraj sistemlerinin tanıtılması, bu sistemlerin kullanılarak yapılan projelerin artması ile yaygınlaşması, çoklu büyütme sistemleri gibi yeni ankraj teknolojilerinin gelişmesi sonrasında, 1960'lı yılların sonlarına denk gelen dönemde ankrajların dayanıklılığı hakkında bazı problemler ortaya çıkmıştır. Bunların başında gelen en büyük problem; ankraj sistemlerinin önemli bir parçası olan Tendon'ların uzun süre zarfı içerisinde çürümesi olmuştur. Ankraj teknolojisinde karşılaşılan bu problemin çözümü için yapılan araştırmalar; tendonların çürümesinin engellenmesi, ankraj teknolojisi ile ilgili malzeme sektörünün gelişmesi ve yeni malzemelerin kullanılması sonucunu getirmiştir.

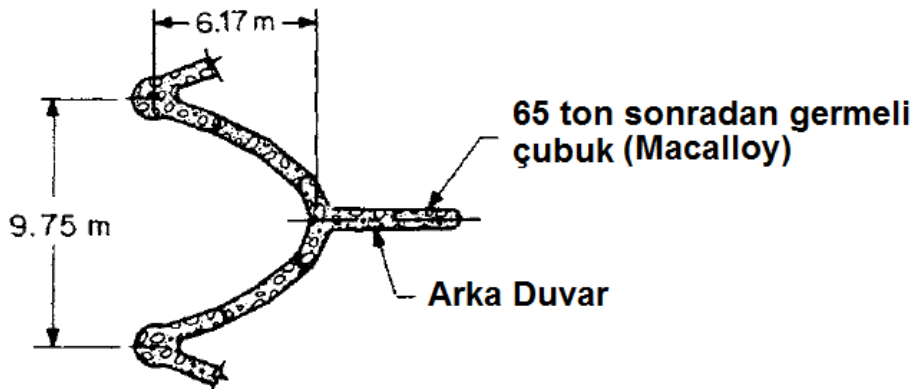
Birleşik Krallık topraklarında yapılan ankraj uygulaması, o tarihlerde özgün olarak geniş bir yelpaze oluşturan farklı tür projelerde kullanılmıştır. Rıhtım, iskele gibi projelerin de aralarında bulunduğu uygulamalardan bir kaçı aşağıda gösterilen şekillerde açıklanmıştır:

- Peterhead Liman Geliştirilmesi Kapsamında 1970'li yıllarda yapılmış Rıhtım Duvarı (Şekil-2.17)

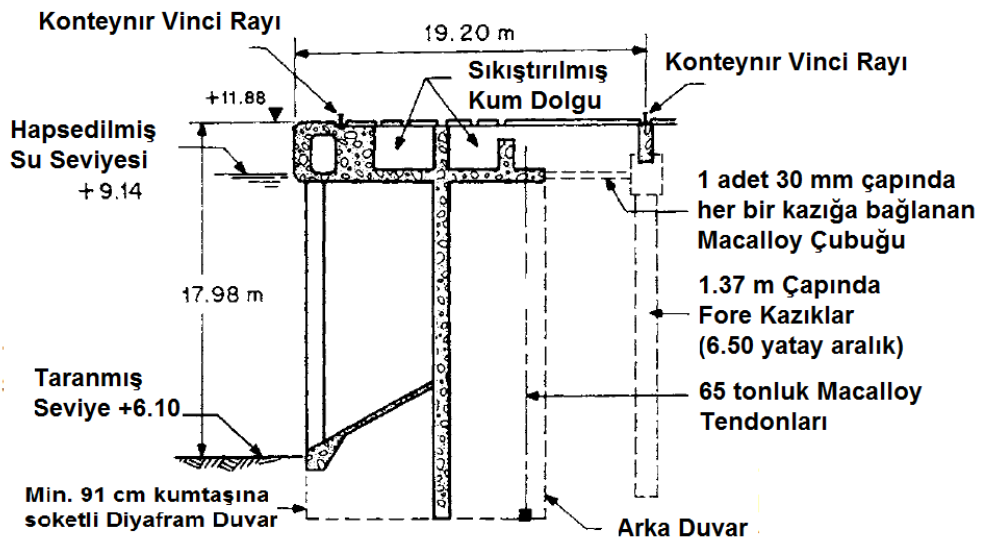


Şekil 2.17 : Rıhtım duvarı tipik kesit çizimi (Xanthakos, 1991)

- Liverpool şehri Seaforth Rıhtım Duvarı Projesi (Şekil-2.18 ve Şekil-2.19)



Şekil 2.18 : Seaforth rıhtım duvarı plan çizimi (Xanthakos, 1991)



Şekil 2.19 : Seaforth rıhtım duvarı tipik kesit çizimi (Xanthakos, 1991)

Hanna ve Leonard'a göre (1969); Batı Avrupa ülkelerinde kullanılan ankraj teknikleri ile beraber kullanımı yaygınlaşan, ve yeni tekniklerin gelişmesine önayak olan ankraj teknolojisinin kullanıldığı yapı ve uygulama çeşitliliğinin artmasıyla birlikte, Birleşik Krallık içerisinde standart bir uygulama haline gelmeye başlamıştır. Uygulamanın standart haline gelmesi ile birlikte yapılan projelerin başarılı olması sonucunda birçok mühendisin bu konu ile ilgilenmesini sağlamıştır.

1970 yılının başlaması ile beraber ankraj teknolojisi üzerinde yapılan araştırmalar ve çalışmalar; ankrajın yük taşıma mekanizması, yükün nasıl aktarıldığı, sünme gibi teorik yaklaşımlar ile birlikte ankrajların korozyondan korunması üzerine yoğunlaşmıştır. Ankraj uygulaması ve teknolojisi 1974 yılında bir kısım İnşaat Mühendisleri tarafından düzenlenen konferansta gündemin esas konusunu

oluşturmuştur (Xanthakos 1991). Özellikle ankraj tasarımının geliştirilmesi hakkında yapılan çalışmalar; o yıllarda ankrajlara uygulanan ve ankrajların göçmesi ile sonuçlanan saha testleri ile ankrajların uzun süre içerisindeki davranışlarının incelenmesine dayanmaktaydı. Merrifield ve diğerleri (2013); ankraj tasarımının hız kazandığı 1970–1980 yılları arasında yapılan bu çalışmalar ile birlikte, ankraj/kök direnci, sünme ve çoklu arayüz direncine (multiple interface resistance) dayanan birçok ampirik formül geliştirildiğinden bahsetmiştir.

1970–1980 yıllarında Birleşik Krallığın çeşitli bölgelerinde yapılan ankraj testlerinin sonuçları araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Ankrajların yük transfer mekanizmasını ele alan bu incelemeler sonucunda, İngilizce terimi ile "Progressive Debonding" olarak bilinen kademeli adezyon kaybı (sıyrılma) olayının açıkladığı ankraj kök boyu ile yük arasında lineer olmayan bir ilişkinin olduğu ortaya çıkmıştır. 1980'li yılların sonlarına doğru, Yük–Kök arasında incelenen ve yapılan testler ile doğruluğu ortaya çıkan bu ilişkiye dayanarak, 1980'li yılların sonlarına doğru yeni bir ankraj tekniği geliştirilmiştir. Çoklu ankraj sistemi olarak literatürde adı geçen bu uygulama ile birlikte zemin veya düşük mukavemetli kaya formasyonlarda daha önce uygulanan ankraj teknikleri ile elde edilecek yüklere göre; çalışma yükü 800-2000 kN arasında değişen ankrajlar imal edilmiştir (Barley ve Windsor, 2000).

#### **2.1.5 Ankraj uygulaması ve teknolojilerin Avrupa'da standartlaşması**

Ankraj uygulamasının resmi olarak başladığı ve İnşaat Mühendisliği tarafından tanınmaya başlandığı ilk ülke olan Almanya başta olmak üzere, Avrupa'nın farklı ülkelerinde ankraj teknolojileri uygulanmıştır. Hızla gelişen inşaat sektörü ile birlikte özellikle şehirleşmenin getirmiş olduğu yeraltı alanlarının kullanılması ihtiyacı sonucunda, içerden destekli sistemlere göre gerek ekonomik gerek de uygulama kolaylığı sağlayan ankrajların uygulanması yoğun bir şekilde Avrupa ülkelerinde yayılmıştır. Gelişen malzeme ve makine teknolojileri ile birlikte ankrajların tasarımı, taşıma kapasitelerinin artırılması, kalıcı olarak kullanılan tiplerini etkileyen korozyon korumasına karşı birçok araştırma ve çalışma yapılmıştır.

İnşaat sektörü, Geoteknik Mühendisliği alanında önemli bir uygulama tekniği olan ankrajların güvenilir ve kalitesinin, belli bir standart ve şartname kapsamında belirtilen esaslara göre yayınlanması ile sağlanacağını düşünen Avrupa ülkeleri,

farklı yönetmelik–standart ve normlar hazırlamıştır. Uzun süreli yapılan araştırmalar ve deneyimler sonucunda esasları oluşturulan bu standartlarla; ankrajlara yapılan testler ve test kriterleri, ankrajların uzun sürede gösterecekleri davranışlar, ankrajların kullanım amacına göre seçilecek uygulama ve malzeme teknikleri gibi birçok konu açıklığa kavuşturulmuştur.

Avrupa ülkeleri tarafından yayımlanan bu standartların başında (Fang H. Y. , 1991), (Carvalho, 2009);

- Alman Standartları: DIN 4125:1990
- Fransız Standartları: FIP 1996b, Bureau Securitas 1977, TA-95
- İsviçre Standartları: SIA V191/1995, 1996
- İngiliz Standartları: BS8081: 1989

Bunun dışında Avrupa ülkeleri tarafından oluşturulan komite; farklı ülke ve bölgeler tarafından hazırlanan bu standartları harmanlayarak tek bir standardın içeriğinde toplamış ve 1989 yılında Avrupa'ya bağlı olarak Eurocode7 (EN 1997-1: 2004) adı altında ortak bir standart çıkarmıştır. İnşaat mühendisliği işleri ile ilgili tasarımları geoteknik yaklaşım üzerinden bazalan bu standartın içerisinde ankraj tasarımına da yer verilmiştir (Merrifield C. ve diğerleri, 2013). Ankrajların tasarım kriterleri ve hesap yaklaşımları ile ilgili çıkan bu standarda ek olarak, ankraj imalatı ve kalite kontrol tespiti amacıyla yapılan testlerin gerçekleştirilmesi kurallarını kapsayan ve Avrupa ülkelerinde geçerli olan EN-1537 adlı standartını hazırlanmıştır. Bu standart içerisinde, ankrajlara uygulanan saha testlerinin değerlendirilmesi ile ilgili kriterlere de yer verilmiştir (Merrifield C. ve diğerleri, 2013).

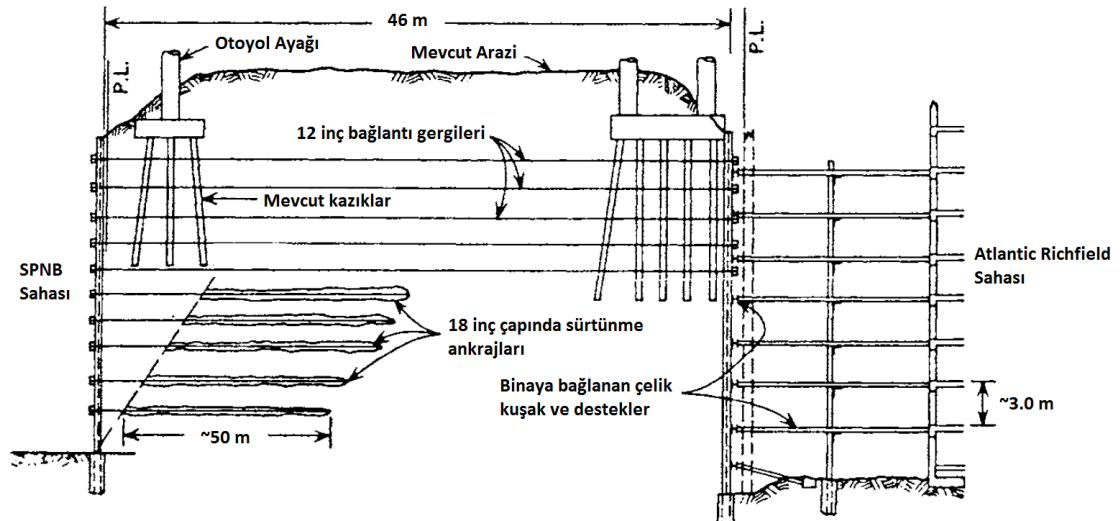
### **2.1.6 Birleşik Devletler (ABD)**

Ankraj teknolojisinin Amerika Birleşik Devletleri'nde kullanımı ve yaygınlaşması, Avrupa ülkelerine göre daha geç tarihlerde gerçekleşmiştir. 1960'lı yılların sonlarına doğru, derin kazılarda ve yeraltında yapılan uygulamalarda ankraj teknolojisinin avantajlarından bahsedilmesine rağmen, bu teknolojiye olan rağbet ve tercih çok fazla olamamıştır. O yıllarda sadece özel firmalar tarafından yürütülen ankraj işlerinin tercih edilmemesinin başlıca nedenleri Petros P. Xanthakos (1991) tarafından aşağıda açıklanmıştır:

- İşçilik maliyetlerinin yüksek olması,
- Ankraj imalatı ile ilgili hazırlanan projelerin, plansız ve düzensiz olmasından kaynaklanan problemler,
- Yaşanılan problemlerden dolayı düşük kapasiteli ankrajların elde edilmesi,

Kanada'da ise, 1960'lı yılların başlarında şev stabilitesi, kaya güçlendirilmesi, derin kazı amaçlı yapılan işlerde ankraj teknolojisi kullanılmaktaydı (Özhan, H.O , 2000).

1970'li yıllarının sonlarından itibaren yaygınlaşan ankraj uygulamaları, Amerika Birleşik Devletleri'nde ilk kez derin kazıların desteklenmesinde geçici olarak kullanılmıştır (FHWA, 1999). 1969 yılında tamamlanan Los Angeles şehrindeki Atlantik-Richfield Ofis binası için yapılan kazının desteklenmesi, bu tür uygulamalar için örnek verilebilecek büyük çaplı projelerden bir tanesidir. Toplamda yaklaşık olarak 300 adet ankrajın kullanıldığı uygulamada kazı derinliği 34 metreye ulaşmaktadır. Proje kapsamında yapılan kazı ve destekleme işlerinin bir aşamasında, Pasifik Ulusal Güvenlik Binası kazısı için yapılan destekleme işleri de göz önünde bulundurularak Şekil-2.20'deki gibi birleşik iksa sistemleri çözümü uygulanmıştır (Xanthakos, 1991).



**Şekil 2.20 :** Atlantik Richfield Binası ve Pasifik Ulusal Güvenlik Binası kazılarının desteklenmesi için uygulanan birleşik iksa sistemi tipik kesit (Xanthakos, 1991)

Jones ve Kerkhoff (1961); Ankraj teknolojisinin 1970'li yılların sonlarına doğru yaygınlaştığı Amerika Birleşik Devletleri'nde zeminde uygulanan ilk kalıcı ankraj imalatı Michigan otobanı projesi içerisinde yer alan istinat duvarları inşaatında

kullanıldığını belirtmiştir. Fang (1991), Birleşik Devletler'de ankraj kullanımının yaygın olmamasını Xanthakos'un "Ground Anchors and Anchored Structures" adlı kitabında nedenlerini açıkladığı gibi belirtmiş, ancak kalıcı ankrajlar açısından değerlendirmiştir. "Foundation Engineering Handbook" adlı kitabında kalıcı ankrajların yaygınlaşmamasının sebeplerinin mühendislik kaygılara dayandığını belirtmiş ve bu kaygılar aşağıda verilmiştir.

- Kalıcı ankrajların zamana bağlı uzun süreçte nasıl davranacağı hakkında,
- Zamana içerisinde ankraj köklerinin hareket etmesi (Sünme),
- Germe elemanlarının (halat, demir çubuk vb.) korozyona karşı korunması,
- Ankrajların kısa ve uzun süreli taşıyabileceği yük kapasitelerini belirleyecek güvenilir test prosedürlerine olan ihtiyaç,

Fang (1991) ve Petros P. Xanthakos (1991) tarafından açıklanan endişelerden dolayı kullanımı Avrupa'ya nazaran 1970'li yılların sonlarına kadar yaygınlaşmayan ankraj teknolojisinin, Birleşik Devletler içerisinde uygulamaların yaygınlaşması, gerek imalat ve dayanıklılık açısından, gerek kalite kontrol amacıyla yapılması ve gözlemlenmesi gereken test prosedürlerinin belirli bir standarda ulaşmasında rol oynayan etkenler aşağıda belirtilmiştir (Fang, 1991);

- Ankraj teknolojisinin gelişmesi üzerine sürekli yatırım yapan ve gelişiminin sürekliliğini sağlayan özel girişimciler,
- Korozyona karşı korunması için geliştirilen etkin sistemler,
- İmalat prosedürleri ve enjeksiyon metotlarının geliştirilmesi,
- Öngerme elemanlarının kapasitelerinin arttırılması,

Buna ilave olarak Birleşik Devletler Federal Otoyol Ulaştırma İdaresi (FHWA) Uygulama Teknolojileri, ankraj teknolojisinin yer aldığı bir gösteri projesi uygular. Kalıcı ankraj imalatının uygulandığı bu projede özellikle yol işleri ile ilgilenen inşaat firmalarının kalıcı ankraj ve ankrajlı duvar uygulamalarını kullanmalarını teşvik ederek bu tarz uygulamaların rutinleştirilmesi amaçlanmıştır (FHWA, 1999). Gösteri projesinin yapıldığı sırada, Birleşik Devlet'lerde kalıcı ankraj imalatının yer aldığı 5 adet gösteri projesi daha uygulanmıştır. Yapılan tüm bu projeler ile birlikte kalıcı ankrajlı sistemlerinin ölçümleri yapılmış ve davranışları incelenerek veriler halinde toplanmıştır. 1984 yılında, geliştirilen ve 1988 yılında da yapılan ilave projelerin raporlarına ve sonuçlarına göre güncelleştirmesi ile ortaya çıkan ankrajlar hakkında

tasarım kılavuzunun temelinde FHWA tarafından yapılan gösteri projeleri yer almaktadır (FHWA, 1999). Uygulanan gösteri projeleri, ankrajlı sistemlerin incelenmesi sonucunda elde edilen verilerin yayınlanması ve başarılı bir şekilde gerçekleştirilen projelerin sonucunda hazırlanan tasarım kılavuzları ile birlikte, Birleşik Devlet'lerde ankraj uygulamaları yaygınlaşmıştır. Daha önceleri, başta deneyimsizlik ve yetersiz kalitedeki işçilik sebebi ile ortaya çıkan başarısız uygulamaların yerini, FHWA tarafından yürütülen politika ile birlikte gelişen uygulama yöntemleri ve kalite kontrol amaçlı imal edilen ankrajların test prosedürlerine uygun olan başarılı uygulamalara bırakmıştır.

Ankraj teknolojisinin kullanımının yaygınlaşması, bu uygulamaları yapacak olan firmaların cesaretlendirilmesi ve ankraj teknolojisinin gelişmesi ile projelerde yer alan ankraj imalatının kalitesi artmış ve beraberinde zemin/kaya birimlerden elde edilen maksimum yüklerde ciddi bir artış gerçekleşmiştir (bkz. Çizelge 2.1).

**Çizelge 2.1 :** Birleşik devlet'lerde yer alan ankraj uygulamalarına ait örnek proje ve elde edilen maksimum ankraj yükleri (Xanthakos, 1991)

| <b>Kapasite (ton)</b> | <b>Zemin/Kaya Birimi</b> | <b>Proje-Lokasyon</b>                         | <b>Açıklama</b>        |
|-----------------------|--------------------------|-----------------------------------------------|------------------------|
| 300                   | Kaya                     | Dünya Ticaret Merkezi, New York               | Tasarım Yüğü           |
| 240                   | Killi Buzul Tili         | Kenosha Limanı, Wisconsin                     | Test Yüğü              |
| 750                   | Kaya                     | Newburg & Cannelton Barajı, Indiana           | Test Yüğü              |
| 150                   | İnce Kum                 | Cobian Ticaret Merkezi, San Juan, Puerto Rico | Test Yüğü              |
| 200                   | Kil-Şeyl                 | Tıp Merkezi, Pittsburgh, Pensilvanya          | Test Yüğü              |
| 186                   | Kum ve Çakıl             | Enerji Santrali, Shippingport, Pensilvanya    | Test Yüğü              |
| 80                    | Kum ve Kaya              | Yeraltı Kapalı Spor Salonu, Chicago           | Kalıcı Taşıyacağı Yüğü |

Amerika'da ankraj imalatının yaygınlaşması, yapılan ankraj imalatlarının güvenilirliğinin atması ve bunu denetleyen sistemlerin (kalite kontrol testleri vb.) geliştirilmesi ile birlikte "Gökdenler Ülkesi" olarak adlandırılabilen Birleşik Devlet'lerde derin kazıların desteklenmesinde ankraj önemli bir çözüm aracı olmuştur. Birleşik Devlet'lerde uygulanan geçici veya kalıcı ankrajlar ile desteklenen

dayanma yapılarını içeren projelerden örnek olarak bir kaçı aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



**Şekil 2.21** : Dünya Ticaret Merkezi güney cephesi için uygulanan ankrajlı diyafram duvar dayanma yapısı-1968 (<http://www.skyscrapercity.com>)

Amerika Birleşik Devletleri'nde FHWA yapmış olduğu gösteri projeleri ve bu projelerde elde edilen deneyimler, araştırmalar ve ölçümler sonucunda geliştirilen, daha sonra Amerika'da ankraj teknolojilerini uygulayan birçok firma için kılavuz olan ve örnek alınabilecek "FHWA A-DP-68-1R, 1988" araştırma raporu hazırlanmıştır. Kalitesiz imalatların ortadan kaldırılması ve firmaların ankraj teknolojisinin kullanılması yönünde teşvik edilmesi amacıyla hazırlanan bu raporlara, ankraj teknolojisinin yaygınlaşması ile birlikte ankrajlı iksa sistemlerinin tasarım performansları, analiz metotları ve tasarım prosedürleri ile ilgili araştırmaları kapsayan raporlar eklenmiştir. 1998 yılında FHWA tarafından hazırlanan, duvar tiplerine göre yatay hareketleri, oturmalar vb. konuları ele alan "A-RD-98-066/067" kodlu belgeler, bu tarz araştırma raporlarına örnek olarak sayılabilirler. Hazırlanan raporlar, sadece FHWA departmanının uyguladığı projelerden elde edilen sonuçlar ile kalmayıp, birçok karayolu işleri ile uğraşan firmaların uygulamış olduğu projelerin sonuçlarını da kapsamaktadır. AASHTO Özel Güç Kuvvetleri (ing. *Task Force*) 27 numaralı rapor içerisinde yer alan ankraj imalat prosedürleri-standartları, birçok firmanın yapmış olduğu projelerden edindikleri deneyimler, pratik çözüm teknikleri üzerine dayanarak hazırlanmıştır (FHWA, 1999). Bunun dışında, ankraj

teknolojisini uygulayan ve geliştirilmesine katkıda bulunan farklı disiplinlerin; tasarım danışmanları, ankraj uygulaması konusunda uzman firmalar, malzeme tedarikçileri, katkılarıyla PTI tarafından 1996 tarihinde hazırlanan "Öngermeli Zemin ve Kaya Ankrajları için Tavsiyeler" adlı belgesi, günümüzde ankraj uygulaması ve tasarımı açısından kabul edilen önemli kaynaklardan biridir.



**Şekil 2.22 :** U.S 22 / S.R 7 Değişimi Projesi, kalıcı zemin ve kaya ankrajlı dayanma yapısı - Ohio-Steubenville, (<http://www.dot.state.oh.us>)

Amerika'da ankraj teknolojisinin tarihçesini; "ilk zamanlar Avrupa'ya göre bilgi ve deneyimsizlik sonucu ankraj imalatı içeren projelerdeki başarısızlıklar, piyasalarda ankraj imalatı konusunda uzman firmaların yetersizliği, FHWA tarafından uygulanan gösteri projeleri ile birlikte firmalara yol gösterilmesi, teşvik edilmesi, kalite standartlarına ulaşılması, ankraj teknolojisinin yaygınlaşması ve uygulayan firma sayısının artması ile birlikte kaliteli imalatların yerini alması, FHWA gibi kuruluşlar ve firmalar tarafından yapılan projelerin araştırılması–incelenmesi–sonuçlarının toplanması ve bu sonuçlara dayanan araştırma raporlarının hazırlanarak karşılaşılan problemlere göre pratik çözümlerin üretilmesi, uygulama yöntemleri, farklı tip

zeminlerde elde edilebilecek sonuçlar hakkında kılavuz olması" şeklinde özetleyebiliriz.

### **2.1.7 Diğer ülkeler**

Avustralya'da ankraj teknolojisi; genellikle derin kazıların desteklenmesinde, yamaç yüzeylerinde ve temel döşemelerinde kullanılmaktaydı (Xanthakos 1991).

Güney Amerika kıtasında ankraj teknolojisi, Kuzey Amerika kıtasında olduğu gibi şehirleşmenin etkin olduğu günümüz metropol kentlerinde yoğunlaşmıştır. Petrini ve Roca (1974) Venezuela'nın başkenti Caracas, 1970'li yılların başından beri kalıcı ankraj sistemlerinin kullanıldığı birçok yer altı yapısı ve dayanma yapılarının inşaat etkinliğine sahip olmasının bu durumu açıklayan güzel bir örnek olduğundan bahsetmiştir (Xanthakos 1991).

Da Costa Nunes ve diğerleri (1969), Brezilya'daki ankraj teknolojisinin ilk olarak 1957 yılında Sao Paulo kentinin metro inşaatında uygulanarak ankraj test programı ile birlikte kullanıldığını söylemektedir (Xanthakos 1991).

Japonya'daki ilk ankraj kullanımı, 1957 yılında yapılan baraj inşaatı projesinde gerçekleştirilmiştir. Miyatake ve diğerleri (2007) bu tarihten itibaren 50 yıllık bir zaman diliminde, ankrajların 30,000'i aşkın çeşitli projelerde kullanıldığından bahsetmiştir. Kalıcı ankraj tipi de dahil olmak üzere bu süre içerisinde 20,000 kilometreyi aşan uzunlukta imal edilmiş ankrajların yer aldığı projeler; yol inşaatlarında yapay yarma veya doğal şevlerin stabilizasyonu, baraj inşaatları, yer altı su seviyesinden dolayı yüzen yapıların kontrol altına alınması vb. şeklinde sıralanabilir (Miyatake ve diğerleri, 2007). Japonya'da ankraj teknolojisinin kullanılmaya başlandığı ilk yıllarda imalat ve korozyona karşı korunma teknikleri henüz geliştirilme aşamasında olduğu için, şev hareketlenmeleri ve ankraj kafalarının kırılması gibi bir çok sorunla karşı karşıya kalmıştır. 1988 yılında geliştirilen "Zemin Ankrajı Tasarımı ve İmalat Standardı" ile yapılan ankrajların güvenilirliği, korozyona karşı korunma tekniklerinin uygulanmasını sağlamıştır. Ancak, bu standardın oluşturulmasından önce imalat ve korozyon nedeniyle hasar görüp ankraj kafalarının kırılmasına ve şevlerde hareketlere yol açacak sonuçları doğurduğu bilinmektedir. 2002 yılında Kamu İşleri Araştırma Enstitüsü ve Japonya Ankraj

Topluluğunun ortak çalıştığı bir program ile, özellikle 1988 yılından önce imal edilen potansiyel hasarlı ankrajların tespit edilmesi, iyileştirilmesi ve yeni yapılacak ankrajların bakımı için bir kılavuz rapor hazırlamıştır. (Miyatake ve diğerleri, 2007). Hazırlanan bu kılavuz rapor ile birlikte; ankrajların gerçekçi ve efektif bakımları için yapılan tespitlerin, bütünlük incelemeleri ve iyileştirici önlemlerin sistematığının anlaşılması, ankrajların servis ömrü boyunca davranışlarının incelenerek kayıt altına alınması ve araştırılması, tasarım, imalat ve bakım teknolojilerinin geliştirilmesi ile ilgili özellikler hedef alınmıştır (Miyatake ve diğerleri, 2007).

Yamada (1978), Japonya'nın başkenti Tokyo dahil olmak üzere Uzak Doğunun birçok metropol kentinde, derin kazılarda kullanılan ankrajların kalıcı olarak zeminde kalmasına müsaade edilmemesi sebebi ile, sökülebilir veya yerinden çıkartılabilir ankrajların popülerlik kazandığından bahsetmiştir.

### **2.1.8 Türkiye**

Türkiye'de ankraj teknolojisinin kullanılması ve geliştirilmesi 1980 yılından sonra gerçekleşmiştir. Yurtdışında gelişen ankraj teknolojisi ve beraberinde gelişen malzeme ile makine alanındaki teknolojinin Türkiye'de yer alan öncü firmalar tarafından kullanılması, ekonomik olarak Türkiye'nin lokomotif olan inşaat sektörünün gelişmesi ile birlikte ankraj kullanımı da yaygınlaşmıştır. 1990'lı yıllarda popülerlik kazanan ankraj teknolojisi, özellikle nüfusu zamana bağlı hızla artan İstanbul gibi büyük metropol kentlerde yapılan yapılarda elde edilen alanların düşey yönde sağlanması düşüncesi ile yapılan derin kazıların desteklenmesinde kullanılmıştır. Ankraj teknolojisinin projelerde kullanılarak yaygınlaşması ve başarılı bir şekilde uygulanması üzerine, bu teknolojiyi kullanan küçük ve büyük çaplı firmaların sayısal yönde artmasına neden olmuştur.

Türkiye'de ankraj teknolojisi sadece derin kazıların desteklenmesinde değil, inşaat sektörünün gelişmesi ile köprü, baraj vb. gibi özel yapıların projelerinde, yer altı ulaşım ağının gelişmesi ile birlikte metro ulaşım sistemleri gibi projelerde de uygulanmış ve halen uygulanmaya devam edilmektedir.

Ankraj teknolojisinin Türkiye'de uygulandığı önemli projelerden bir kısmı aşağıda şekillendirilerek gösterilmiştir.

- Artvin-Çoruh Nehri Üzerinde Yapılan Deriner Barajı ve Hidroelektrik Santral Projesi Kapsamında İmal Edilen servis yükü ~185 ton olan kalıcı ankraj imalatı (Şekil-2.23)



**Şekil 2.23 :** Deriner Barajı ve Hidroelektrik Santrali Projesi-Kalıcı ankraj imalatı, ~14,000m (KASKTAŞ,2003)

- Kazı Derinliği 70 metreye kadar ulaşan İstanbul Seyrantepe, Skyland Derin Kazı İksa Projesi (Şekil-2.24)
- İstanbul Boğazı Tüp Geçiş Projesi-TBM Makinesi için Asya Giriş Kutusu İksa Projesi (Şekil-2.25)

İnşaat Mühendisliği ve Geoteknik Mühendisliği dünyasında önemli bir uygulama aracı olan ve çeşitli projelerde kullanılan ankraj teknolojisinin ilham kaynağı olduğu kabul edilen vidalı kazıklardan yola çıkılarak hazırlanan detaylı tarihçe içerisinde; başta Almanya, Fransa, İngiltere ve İsviçre olmak üzere ankraj teknolojisinin gelişmesinde katkısı olan birçok ülkeye yer verilmiştir. Karşılaşılan sorunlar ve beraberinde geliştirilen teknikler ile birlikte makine, ekipman ve malzeme sektöründe meydana gelen gelişmelere ilave olarak günümüzde; derin kazıların desteklenmesi, şev stabilizasyonları gibi çeşitli projelerde yaygın bir şekilde tercih edilen ankrajların tasarımı, performanslarının gözlemlenebileceği ölçüm cihazları, imalat teknikleri vb. alanlarda gelişmeler halen devam etmektedir.



**Şekil 2.24 :** Skyland-İstanbul Derin Kazı İksa Projesi, öngermeli ankraj miktarı ~195,000 m (KASKTAŞ,2013)



**Şekil 2.25 :** İstanbul Boğazı Tüp Geçiş Projesi-TBM Makinesi Asya Giriş Kutusu, öngermeli ankraj miktarı ~83,000 m (KASKTAŞ,2012)



### **3. ZEMİN ANKRAJLARIN TANIMI ve ÇALIŞMA PRENSİPLERİNE GÖRE TİPLERİ**

19. yüzyılın başlarına doğru İnşaat Mühendisliği dünyasına giren ankraj teknolojisi kapsadığı elemanların yüksek çekme kapasitesine sahip olmasından dolayı genellikle çekme yüklerinin taşınması gerektiği durumlarda kullanılan bir zemin teknolojisidir. Çalışma yönünün tek taraflı olması ve kullanılan elemanın eksenini doğrultusunda olan ankrajların imalatlarında kullanılan malzeme ve imalat teknikleri, ankraj teknolojisinin ve inşaat dünyasında kullanılan makine ve ekipman teknolojilerinin gelişmesi ile birlikte değişik imalatlarda kullanılmasına başlanmıştır.

19. yüzyılın başlarından itibaren kullanılmasına başlanan ankraj teknolojisinin kullanıldığı proje, uygulama türleri ve kullanım amaçları inşaat sektöründeki gelişmelere paralel olarak artmaktadır. İnşaat sektöründe birçok farklı amaç için kullanılan ankraj teknolojisinin yer aldığı uygulama türleri ana başlıklarla aşağıda belirtilmiştir.

- Özellikle kentsel yönden gelişmiş şehirlerde yapılan derin kazıların desteklenmesinde,
- Yer altı su seviyesinin yüksek olduğu bölgelerde imal edilen yapıların suyun kaldırma kuvveti etkisi altında kalmasını engellemesinde ve kontrol altına alınmasında,
- Maden ocakları, tünel vb. yer altı yapılarının uygulamasındaki kazı stabilizasyonunun sağlanmasında,
- Yapının zemin/kaya ile etkileşimi olan bölgelerde zemin veya kayanın taşıyamadığı çekme gerilmelerinin oluşması durumunda,

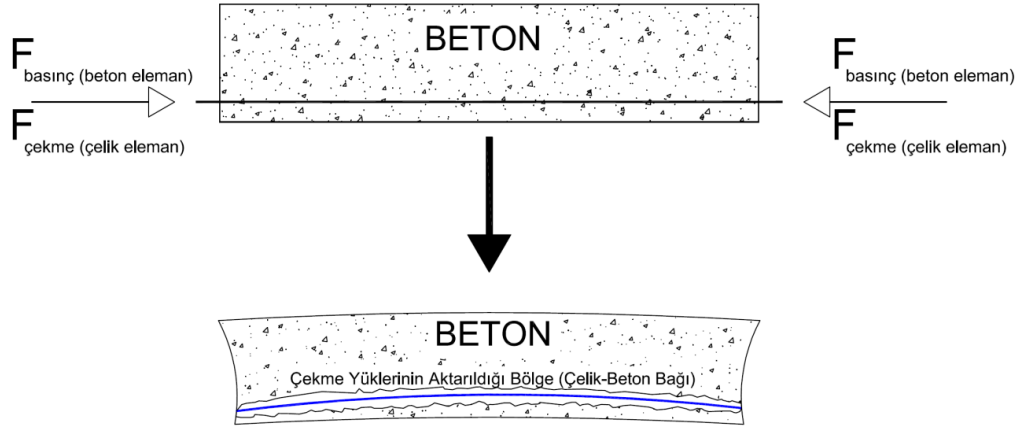
Ankrajlar, eksenleri doğrultusunda taşıyacağı yükün basınç veya çekme olması durumuna göre değişiklik göstermesi durumunda bile, genellikle birlikte kullanıldığı sistemin deformasyonunun engellenmesi amacıyla önceden yüklenirler. Literatürde öngerme olarak geçen bu uygulama ile ankrajların uygulandığı proje tipleri, projenin

yapıldığı bölgedeki zeminin özellikleri gibi çeşitli etkenlere göre değişen yükler ankraj elemanlarına aktarılmaktadır. Ankraj yapısının önemli kısımlarından birini oluşturan ve genellikle çelik malzemeden üretilen elemanların kesit alanlarının küçük olması ve yüksek elastisite özelliği göstermesi, çekme yükleri altında büyük mertebelerde uzamalar göstermektedir. Öngerme işleminin yapılması sonucunda; kullanılan sistem ile birlikte etkisi altında kalınan yükler nedeniyle meydana gelecek uzamaların önceden belirlenmiş yüklerin verilmesi ile sıfırlanacaktır.

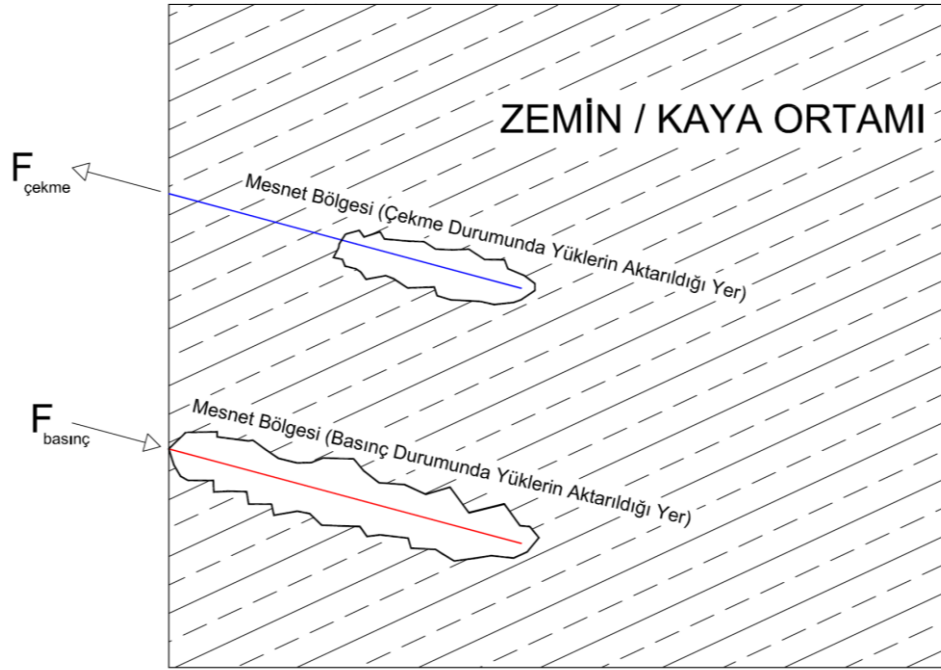
Ankrajlar, sadece yüksek çekme kapasitesi özelliğine sahip çelik elemanlardan oluşmamaktadır. Ankrajların maruz kalacağı çekme yüklerinin sürekli bir şekilde taşınması ve ankraj içerisinde yer alan çelik elemanların uzaması için mutlaka bir mesnet bölgesine ihtiyaç vardır.

İnşaat Mühendisliği dünyasında uygulanan; üst yapı projeleri, betonarme silolar, köprüler, büyük açıklıklı betonarme kiriş veya döşeme içeren binalar vb. gibi uygulamalarda kullanılan ankrajların mesnet bölgesi genellikle beton-çelik bağı ile sağlanırken, bu tezin asıl kapsamında incelenen ankrajların mesnet bölgesi de bulunduğu zemin veya kaya ortamıdır. Zemin veya kaya ile ankrajlarda kullanılan ve genellikle çelik malzemeden üretilen elemanlar arasındaki bağı, yukarıda bahsedilen beton-çelik arasındaki bağ gibi etkin olacağı beklenmemelidir. Bu sebepten dolayı, ankrajların içerisinde maruz kalacağı veya öngerme işlemi sırasında ankrajın uzaması ile çekme yüklerinin aktarılması için mesnet bölgesine ihtiyaç vardır. Yaygın olarak çimento/su karışımından oluşan ve literatürde "Kök Boyu" veya "Sabitlenmiş Boy" olarak adı geçen mesnet bölgesi ile çekme yükleri zemin/kaya ortamına transfer edilmektedir. Kök boyu içerisinde ve hareket etmeyeceği varsayılan mesnet bölgesinde kullanılan çimento/su karışımı, bir çeşit transfer mekanizmasını oluşturmakta; ankraj içerisinde yer alan çelik elemanların taşıyacağı yük kök boyu yardımı ile ortama aktarılmaktadır. Kök boyu (kök bölgesi-mesnet bölgesi), ankraj elemanının maruz kalacağı yükün basınç veya çekme olmasına paralel olarak değişmektedir. Buna ilaveten, öngerme işlemi ile yüklerin ankraja taşınması da, taşınan yükün basınç veya çekme olması durumuna göre değişecektir.

Ankrajların beton ve zemin/kaya ortamlarındaki çalışma mekanizmasını gösteren durum aşağıdaki şekillerde anlatılmıştır.



**Şekil 3.1 :** Üst yapı projelerinde uygulanan ön gerilmeli kirişler (çekme yükleri; çelik eleman-beton malzemesi arasındaki bağ)



**Şekil 3.2 :** Geoteknik mühendisliğinde ankrajlar, basınç veya çekme anındaki yük aktarım bölgeleri

Geoteknik mühendisliğinde ankrajların taşıyabileceği yük kapasiteleri, içerisinde bulundurduğu çelik veya farklı malzemelerden üretilen elemanların çekme kapasitelerinin yanı sıra, kökün veya yükün aktarılacağı bölge ile ankrajın içerisinde bulunduğu ortam arasındaki bağın kuvveti de etkilidir. Bununla birlikte, çelik elemanın kapasitesi ne olursa olsun, ankrajlar ile aktarılan yükler basit bir deyişle zemin veya kaya ortamın taşıyabileceği kapasiteyi aştığı takdirde ankrajın ilgili yükü taşıyamadığı kabul edilebilecektir.

Ankraj içerisinde yer alan elik elemanın, eksenini doğrultusunda etkileyecek yükler altında büyük uzama deformasyonları gösterirken, kök boyu (sabitlendirilmiş boy) olarak adlandırılan bölgenin zemin/kaya ortamı ile temas ettiği yüzeylerde de rölatif olarak çok kk deformasyonlar oluşmaktadır. Oluşan bu deformasyonlar sayesinde, elik elemanın taşıdığı yükler zemin veya kaya ortamı ile kök bölgesinin temas ettiği yüzeylerde kayma gerilmeleri meydana gelmektedir. Mühendislik yönünden yapılan sınıflandırmalar (iri daneli–ince daneli, orta katı–ok katı, gevşek–ok sıkı, düşük plastisiteli–yüksek plastisiteli, vb), efektif gerilme, serbest basınç mukavemeti gibi zemin ve kaya mekaniği kapsamında incelenen parametreler ile orantılı bir şekilde değişen zeminin ve kayanın taşıyabileceği kapasiteyi aşan kayma gerilmelerinin aktarılması durumunda, kk bölgesinde büyük hareketler meydana gelir ve Geoteknik Mühendisliğinde ankraj sıyrılması olarak isimlendirilen göçme olayı gerçekleşir.

### **3.1 Ankrajin Tanımı**

Geoteknik mühendisliğinde ankraj, değişik kaynaklar tarafından yapılan araştırmalara göre irdelenerek bu bölümde tanımlanmıştır. Ankraj hakkında yapılan tanımlamaların, ankrajin uygulandığı projelerin büyük çoğunluğunda çekme yükleri altında kalması sebebi ile bu yönde açıklanmıştır.

Barley ve Mothersille (2007), zemin ankrajları teknolojisinin özünde; zemin içerisine yerleştirilen elik elemanların akabinde çekme kuvvetlerine maruz kalarak şev veya yapının stabilizasyonu sağlamak gerçeğinin yattığını söylemiştir.

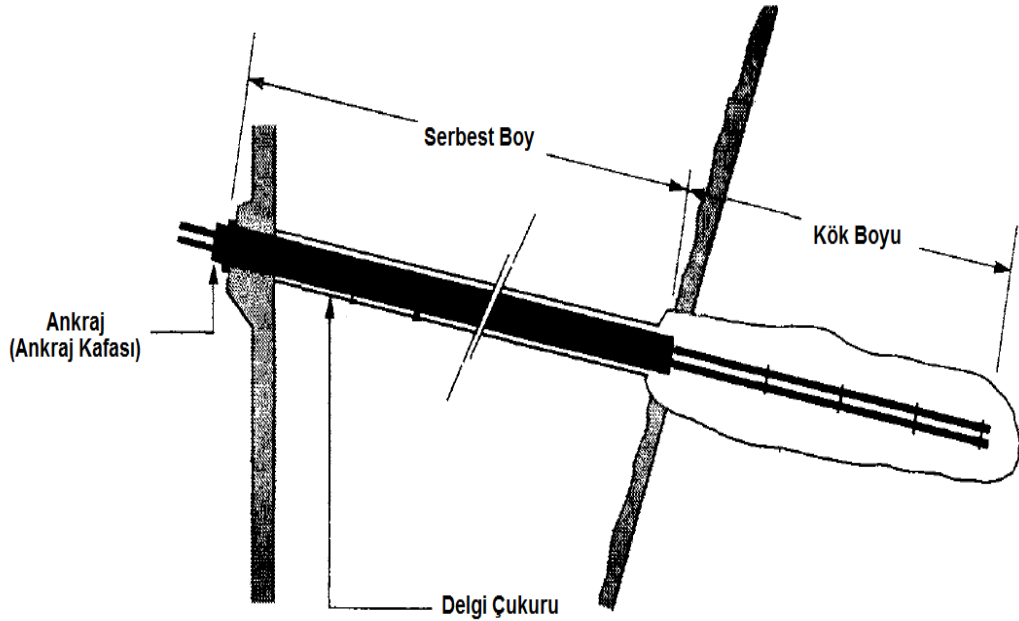
Elton ve Whitbeck (1997), ankraj işlerinin zemin veya kaya içerisinde açılacak delgi içerisine kısmi olarak kaplı elik elemanın (ubuk, halat vs.) enjeksiyon karışımı ile birlikte yerleştirilmesi ile oluşan bir uygulama ekleinde olduğunu tarif etmektedir.

Bir başka tanım ise Strom ve Ebelliing (2001), Amerikan Ordusuna ait Mühendislik Birliği (US Army Corps of Engineers) Araştırma ve Geliştirme Merkezi tarafından yürütülen programlar kapsamında hazırladığı bir teknik dokümanda ankrajlı istinat duvarlarının tasarımı ile ilgili tanım ve bilgilere yer vermiştir. Bu dokümandaki tanıma göre, öngermeli olarak adlandırılan enjeksiyonlu ankrajların, zemin veya kaya içerisine yerleştirilen yapısal elemanlar aracılığıyla bulunduğu ortama çekme yüklerinin aktarılmasında kullanıldığı anlatılmıştır. Bu tanım aynı zamanda, Birleşik

Devletler Federal Otoyol Ulaştırma İdaresi (FHWA) tarafından 1999 Haziran ayında yayımlanmış "Zemin Ankrajları ve Ankrajlı Sistemler" adlı doküman içerisinde ankrajların tanımı için kullanılmıştır.

Fang H.-Y. tarafından 1991 yılında düzeltilen "Foundation Engineering Handbook" adlı kitabında bahsedilen tanım kalıcı zemin ankrajı üzerinden yapılmıştır. Bu tanıma göre ankrajlar, zemin veya kaya içerisinde kullanılan döşeme duvar gibi yapısal elemanlarda meydana gelebilecek deformasyonların sınırlandırılması ve kontrol altına alınmasını sağlayan çimento enjeksiyonu ile birlikte öngermeli çelik elemanların oluşturduğu sistemlerdir. Uygulandığı bölgede yer alan zemin özelliklerine göre değişkenlik gösteren delme metotları ile açılmış sondaj deliklerine yerleştirilen ankrajlar; öngerme işleri sırasında zeminden alacağı direnç kuvvetlerini yapı sistemine aktarmaktadır (Fang H.-Y. 1991).

Petros P. Xanthakos (1991) göre ankraj; uygun olmayan zemin koşulları içerisinde hemen hemen her yönde yerleştirilebilen, temel malzemesinin çelik tendonların oluşturduğu yük taşıma kapasitesine sahip elemanlar olduğu tanımını yapmıştır. Ankrajın yük taşıma kapasitesi özelliği, gerilme ile birlikte ankraj bölgesi boyunca zemin içerisinde oluşan direnç kuvvetlerinin mobilize olmasıyla birlikte gelmektedir (Xanthakos 1991).



Şekil 3.3 : Ankraj yapısının 3 ana bileşeni (Xanthakos, 1991)

Zemin teknolojisi olarak inşaat ve geoteknik mühendisliğinin kapsamında yer alan birçok projede kullanılan ve halen kullanılmasına devam edilen ankrajların farklı kaynaklardan alınan tanımlarına yer verilmiştir. Ankraj yapısının incelendiğinde, Şekil-3.3'te gösterildiği gibi, ankrajın 3 ana kısımdan oluştuğu tespit edilmiştir.

- Ankraj (Ankraj kafası)
- Serbest Boy
- Kök Boyu

Farklı kaynaklardan yapılan araştırmalara göre ankrajın yapısını oluşturan 3 ana bileşen ve bileşenleri oluşturan malzeme, yardımcı ekipman vs. hakkında detaylı bilgi bu tezin kapsamında ilerleyen bölümlerde yer verilmiştir.

### **3.2 Aktif ve Pasif Ankraj Kavramları**

Zemin teknolojisi kapsamında ankrajların çalışma prensibi veya mekanizması birçok kaynakta da belirtildiği gibi 2 ana gruba ayrılmıştır.

- Aktif Ankrajlar

Bu tezin kapsamında geniş kapsamlı incelenen aktif ankrajlar; içerisinde bulunduğu projenin türüne göre belirlenen bir aşamada öngerme işlemi altında yüklenmesi ve bu yükleri yapıya aktaran ankrajların oluşturduğu gruptur. Germe sonrasında kazanılan yükler, aktif ankrajların desteklemiş olduğu yapının veya sistemin servis ömrü boyunca taşınması hedeflenir.

Çekme yüklerinin zemine veya kaya ortamına aktarılması amacıyla kullanılan aktif ankrajlar; Cestelli-Gudi (1974), desteklenmiş olan yapının nihai durumdaki doğal zemin ile yapmış olduğu etkileşimi hesaba katmadan, mevcut öngerme seviyesinde yük uygulanması ile oluştuğunu söylemiştir (Xanthakos 1991).

Kazıların desteklenmesi, şevlerin güçlendirilmesi, yapıların suyun kaldırma etkisi altında kontrol altına alınması gibi birçok farklı projede uygulanan aktif ankrajlar, desteklemiş olduğu yapının daha sonra maruz kalacağı yükler altında göstereceği deformasyonu sınırlandırmak ve azaltmak için tercih edilmektedir. Aktif ankrajların, özellikle derin kazılarda çözüm aracı olarak kullanılmasını Petros P. Xanthakos (1991), kazı ve ankraj imalatı aşamalarında meydana gelebilecek hareketlerin azaltılması amaçlı olduğunu söylemiştir.

- Pasif Ankrajlar

Zemin içerisine yerleştirilen çelik ve çimento/su karışımının birlikte kullanılması ile elde edilen bu tip ankrajlarda öngerme işlemi uygulanmamaktadır. Pasif ankraj kategorisine giren zemin çivisi ve kaya bulonu uygulamaları ile birlikte stabil olmayan şevlerin güçlendirilmesi, aktif ankrajların yer aldığı sistemlere göre rölatif olarak çok derin olmayan kazıların yapılması, yer altı tünelleri veya metro kazılarında bölgesel göçmelerin engellenmesini sağlamaktadır.

Petros P. Xanthakos (1991), pasif ankrajların yük almasının desteklemiş olduğu yapıda veya zeminde meydana gelecek hareketlerin başlaması ile gerçekleşeceğini söylemiştir. Zeminde veya kaya kütlelerinde gerçekleşecek hareketler ile birlikte mobilize olan çekme yükler pasif ankrajı oluşturan çelik elemanlar tarafından taşınarak sisteme aktarılır. Pratik uygulamalarda çok fazla tercih edilmese de, basınç yükleri taşıyan ankrajların çalışma mekanizması açısından pasif ankrajlar sınıfında yer alması mümkündür. Serbest boy-kök boyu farkının olmadığı pasif ankrajların içerisinde yer alan çelik eleman ile çevresini saran ve zemin/kaya ortamına yük aktarımını sağlayan enjeksiyon ile etkileşimi delgi boyunca gerçekleşmektedir.

Aktif ve pasif ankrajları ile ilgili yukarıda bahsedilen açıklamalar sonucunda aralarındaki en büyük farkın; aktif ankrajlar, desteklemiş olduğu yapının kazı sırasında oluşacak gerilmeler veya başka bir sebepten dolayı kuvvetler sırasında yapıda meydana gelecek deformasyonların sınırlandırılması amacıyla önceden yüklenmektedir. Pasif ankrajlar ise desteklemiş olduğu yapı veya sistemin hareket etmesi sonucunda, zemin/ankraj etkileşimi meydana gelerek yüklenmektedir.

Petros P. Xanthakos (1991), aktif ve pasif ankrajların kuvvet-deplasman ilişkisini karşılaştırmalı olarak Şekil-3.4’de basit bir mantıkla ifade etmeye çalışmıştır. Petros P. Xanthakos’un bu gerçek olmayan değerlere bağlı olarak oluşturduğu figürde, aktif ankrajların yüklenmesi sırasında gerçekleşen deplasmanların rölatif olarak çok küçük olduğu, pasif ankrajlarda ise aynı yüklere büyük deplasmanlar sonrasında ulaşabileceğini anlatmak istemiştir.

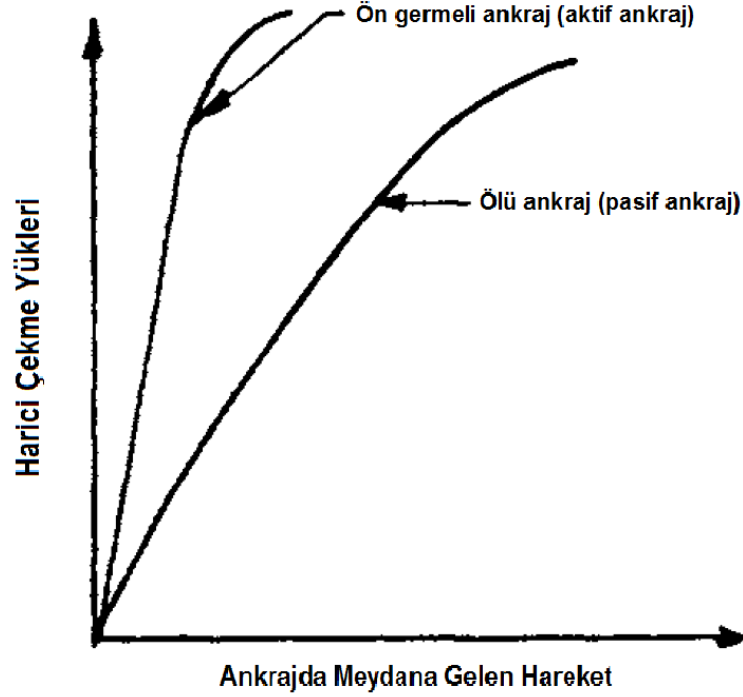
Aktif ve pasif ankrajların dışında, projenin ilerleyiş aşamalarında maruz kalacağı maksimum yükün bir kısmının öngerme verilerek uygulandığı "intermediary" adlı ankraj tipleri de bulunmaktadır (Xanthakos, 1991). Genellikle tasarım yükünün 1/3 ile 2/3’ü arasında uygulanan öngermeli bu ankrajların çalışma mekanizmasının

özellikleri tam olarak aktif ve pasif ankraj özelliklerine benzememektedir. Intermediary tipi ankrajlar, büyük deplasmanların engellenmesi istenilen, istinat yapılarında kullanılan yanal destekler ile birlikte kullanılmaktadır (Xanthakos, 1991).

Petros P. Xanthakos (1991), kitabında bahsetmiş olduğu çalışma prensibine göre ayrılan 3 tip ankrajın, her bir tip için yapılan işlemler, kullanılan ekipman ve imalat aşamalarını karşılaştırmalı olarak tablo halinde özetlemiştir. 1974 yılında Cestelli-Guidi tarafından hazırlanan tablonun içeriği genel çerçeve hatlarında belirlenmiş olup, özellikle ankraj imalatlarında kullanılan enjeksiyon metotlarına göre değişkenlik göstermektedir.

**Çizelge 3.1** : Ankrajların germe derecesi ve görevine göre sınıflandırması (Xanthakos, 1991)

| <b>Zemin<br/>Ankrajı Tipi</b> | <b>Ankraj<br/>Çelik Tipi</b> | <b>Yapı ile<br/>Bağlantıyı<br/>Sağlayan Ankraj<br/>(Ankraj Kafası)<br/>Tipi</b> | <b>Zemin<br/>İçerisindeki<br/>Kök Bölgesi<br/>(Ankraj<br/>Bölgesi)</b> | <b>Enjeksiyon<br/>Aşamaları</b>                  |
|-------------------------------|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Aktif                         | Öngermeli                    | Öngermeli çelik için cihaz, aparat                                              | Uç bölgesi ile sınırlı                                                 | 1) Uç bölgenin (kök bölgenin) enjeksiyonu        |
|                               |                              |                                                                                 |                                                                        | 2) Boruların zemine bağlanması için enjeksiyon   |
|                               |                              |                                                                                 |                                                                        | 3) Boruların enjeksiyonlanması                   |
| Pasif                         | Öngermesiz                   | Bağlantı ve göğüsleme için kullanılan sıradan aparata ve ekipmanlar             | Ankraj boyunca devam etmekte                                           | 1) Boruların zemine bağlanması için enjeksiyon   |
|                               |                              |                                                                                 |                                                                        | 2) Boruların enjeksiyonlanması                   |
| Ara<br>(Intermediary)         | Yarı<br>Öngermeli            | Öngermeli çelik için cihaz, aparat                                              | Uç bölgesi ile sınırlı                                                 | 1) Uç bölgenin (kök bölgenin) enjeksiyonu        |
|                               |                              |                                                                                 |                                                                        | 2) Boruların zemine bağlanması için enjeksiyon   |
|                               |                              |                                                                                 |                                                                        | 3) Çelik Elemanın Korunması (enjeksiyon olmadan) |



**Şekil 3.4 :** Aktif ve pasif ankrajlarda oluşan harici çekme yükleri-ankraj hareketleri ilişkisi (Xanthakos, 1991)

### 3.3 Pasif Ankrajlar (Zemin Çivileri)

Pasif ankraj sınıfına giren zemin çivileri; "Foundation Engineering Handbook" adlı kitapta bahsedildiği şekilde inşaat mühendisliği dünyasına, kitabın yazıldığı tarihten itibaren, geriye doğru 20 yılı aşkın zaman zarfı içinde yapılan bu uygulama, özellikle Fransa ve Almanya'da yaygın bir şekilde yer almıştır (Fang, 1991). Avrupa kıtasında, kayıt altına alınmış ilk uygulama; 1972/73 yılları arasında, Versaille kentinden geçen demir yolunun genişletme projesi kapsamında Fontainebleau Kumu olarak adlandırılan zemin profilinde yapılan yarma şevi olmuştur. Yaklaşık yüksekliği 18 metre ve şev eğimi 70 derece olarak planlanan bu uygulama Fransız firma Soletanche tarafından gerçekleştirilmiştir. Bunun dışında, inşaat ve geoteknik mühendisliği dünyasına giren zemin çivisi uygulamasının, günümüzde yaygın bir şekilde metro tünelleri veya benzeri uygulamalarda tercih edilen Rabcewicz tarafından geliştirilen NATM (Yeni Avusturya Tünel Metodu) tekniğinin bir uzantısı olduğu belirtilmektedir (Bryne ve diğerleri, FHWA, 1998).

Fang H.-Y. (1991), zemin içerisine yerleştirilen pasif elemanların oluşturmuş olduğu zemin çivilerinin, zeminin kayma dayanımını arttırarak meydana gelecek

deplasmanların kısıtlanmasında önemli bir rolü olduğundan bahsetmiştir. Bununla birlikte, zemin çivilerinin desteklemiş olduğu yüzeylerin kaplanması genellikle ince kalınlığa sahip donatılı püskürtme betonla yapılmaktadır. Dayanıklılık ve estetiklik açısından avantajlı olan prefabrik veya yerinde dökme panellerin tercih edilebilen zemin çivileri ile birlikte kullanılan yüzey kaplamaları; zeminde meydana gelebilecek lokal göçmeleri engellemekte, hava koşulları veya erozyona karşı zemin yüzeyini korumaktadır (Fang, 1991).

Fang H.-Y. (1991), zemin çivisi uygulaması için kullanılan çelik elemanları aşağıda belirtildiği gibi 4 sınıfa ayırmıştır:

1. Çakılmış Çiviler (Driven Nails)
2. Enjeksiyonlanmış Çiviler (Grouted Nails)
3. Jet Grout Yöntemi ile Enjeksiyonlanan Çiviler (Jet Grouted Nails)
4. Korozyon Korumalı Çiviler (Corrosion Protected Nails)

- Çakılmış Çiviler (Driven Nails)

Genel olarak Fransa ve Almanya'da tercih edilen bu tip çiviler; çapları 15-46 mm arasında değişen demir çubuklardan veya metal kısmı yumuşak çelikten meydana gelmektedir. Metrekareye düşen adet sayısı 2-4 arasında değişen bu tip zemin çivileri ile birlikte daha homojen güçlendirilmiş bir kütle elde edilir. Herhangi bir ön delgi işlemi yapılmadan özel teknikler yardımı ile zemine çakılan bu çiviler, uygulamada zaman ve ekonomi açısından avantaj sağlamaktadır. Çivi boylarının maksimum 20 metreye kadar çıkması ve iri parçalı blokları içeren heterojen zeminlerde çakılamaması nedenleriyle bu tip çivilerin uygulama alanlarını sınırlandırmaktadır (Fang ,1991).

- Enjeksiyonlanmış Çiviler (Grouted Nails)

Enjeksiyonlanmış çiviler; çapları 15-46 mm. arasında değişen demir çubukların önceden delgisi yapılmış 10-15 cm. çapındaki kuyuların içine yerleştirilerek çimento enjeksiyonunun serbest veya düşük basınç altında açılan delginin doldurulması şeklinde uygulanmaktadır. Yapıldığı bölgenin zemin özelliklerine göre düşey ve yatay aralıkları değişkenlik gösteren bu tip çivilerin; pratikte her iki yönde de

aralıkları 1 ile 3 metre arasında değişmektedir (Fang, 1991). Günümüzde yer alan ulusal ve uluslararası projelerde yaygın bir şekilde tercih edilen zemin çivileri sınıfıdır.

- Jet Grout Yöntemi ile Enjeksiyonlanan Çiviler (Jet-Grouted Nails)

Pratikte çok fazla rastlanmasa da, yüksek frekanslı çekiç yardımı ile çapı 30-40 cm. arasında değişen çelik çubuğun zemine yerleştirilmesi ve bu aşama sırasında yüksek basınçlı çimento enjeksiyonun verilmesi ile meydana gelmektedir. Geleneksel amaçlar ile yapılan jet grout uygulamalarında zemine verilen enjeksiyon basınç değerleri 20 MPa–40 MPa arasında değişmektedir. Aynı yöntemin kullanılması ile imal edilen bu tip zemin çivilerinde enjeksiyon basınç değerleri 4 MPa civarında olup, geleneksel jet grout yöntemi ile karşılaştırıldığında çok büyük farkın olduğu görülmektedir. Jet Grout yöntemi ile enjeksiyonlanan çiviler, daha çok kohezyonsuz zeminlerde tercih edilmekte olup; çivinin çakılması sırasında uygulanan titreşim ile zemin kompakte edilirken, diğer zemin çivisi uygulamalarına göre yüksek basınçlı enjeksiyon ile birlikte zemin iyileştirilerek, zeminden sıyrılması için gerekecek kuvvetlerde ciddi bir artışa sebep olacaktır (Fang, 1991).

- Korozyon Korumalı Çiviler (Corrosion Protected Nails)

Uzun süreli veya daha sonra açıklanacak kalıcı tip pasif ankraj imalatı kapsamında yapılan zemin çivilerinin korozyona karşı korunmuş olanlarıdır. Korozyona karşı koruma, zemin çivisinin uygun bir kimyasal ile kaplanarak sağlandığı gibi, pasif ankraj sisteminde kullanılan yardımcı malzemeler (ilave boru, bant vb.) aracılığıyla da sağlanmaktadır.

Prashnat ve Mukherjee (2010), yukarıda belirtilen zemin çivi uygulama metotlarından farklı olarak ilave yöntemlerden bahsetmiştir. Kendi kendine zemin veya kaya ortamında delik açılarak imal edilen zemin çivisi (self-drilling soil nail) ve fırlatılan zemin çivileri (launched soil nail) adı altında açıklanan 2 farklı yöntem hakkında kısa bilgi aşağıda verilmiştir.

- Kendi Kendine Delik Açılarak İmal Edilen Çiviler (Self Drilling Nails)

İçi boşluklu çelik elemanların zemine sürülmesi ve aynı anda boşluklu yapısından enjeksiyon verilmesi ile oluşan hızlı bir yöntemdir.

- Fırlatılan Zemin Çivileri (Launched Nails)

Basınçlı hava ile ateşlenerek yüksek hızlarda çelik elemanın zemine sürülmesidir. Bu yöntemle birlikte imalatla hız kazanılmasına rağmen, kontrolsüz olmasından dolayı zemine girecek çivi boyunun ayarlanmasında zorluklar yaşanmaktadır.

### **3.4 Aktif Ankraj ile Pasif Ankraj Arasındaki Farklar, Olumlu ve Olumsuz Yanları**

Değişik kaynaklardan yapılan araştırmalar sonucunda, çalışma prensibi olarak temelde 2 gruba ayrılan ankrajların birbirlerine olan üstünlükleri, olumlu ve olumsuz yanları bu bölümde incelenmiştir.

Fang H.-Y. (1991), "Foundation Engineering Handbook" adlı kitabında ankraj sistemlerinin kullanıldığı istinat duvarlarının veya kazık, palplanş, diyafram duvar vb. gibi dayanma yapılarının, ağırlık tipi veya dıştan desteklenmiş (çelik boru veya betonarme kirişler) kazı sistemlerine olan üstünlüğü özetlenerek aşağıda maddeler halinde açıklamıştır:

- Dayanma yapılarında kullanılan pasif ve aktif ankrajlar ile birlikte içeride yapılacak olan kalıcı yapı veya tesisin uyum içerisinde olması,
- Kazı için gerekli miktarların azalması ve böylece geri dolgunun ortadan kaldırılması,
- İstinat duvarı ayak bölgesi ve gövde kısmını oluşturan betonarme elemanın imalatında kullanılan beton ve donatı miktarlarının azaltılması,
- Kontrolsüz şevlerin yer almış olduğu dağlık bölgelerde veya altında yatan sıkışılabilirlik özelliği olan zeminlerde yapının desteklenmesi için olan temel kazık imalatının ortadan kaldırılması,
- Farklı tip zemin profilleri ve durumların göstermiş oldukları uyumluluk ve mevcut bir yapının yeniden inşası veya tamiratında efektif bir maliyet sağlaması,

Fang H.-Y. (1991), yukarıda aktif ve pasif ankrajların üstünlüklerini anlatmış olduğu kitap içerisinde, pasif ankrajlar ile aktif ankrajların karşılaştırmasına da yer vermiştir. Pasif ankrajların aktif ankrajlara göre üstünlükleri özetlenerek aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir:

- Püskürtme beton ve gerilmeyen çivilerin getirmiş olduğu öngermeli (aktif) ankrajların uygulandığı sistemlere göre hızlı ve esneklik,
- Öngermeli ankrajlar ve birlikte kullanıldığı sistemlere (diyafram duvar, fore kazık, palplanş vb.) göre hafif ve ekonomik çözüm üretimi,
- Pasif ankraj (zemin çivisi–gerili olmayan ankraj) ve kaplama amaçlı kullanılan püskürtme beton vb. teknolojilerinin üretiminde kullanılan ekipmanın, teknik vb. sahaya uyum sağlamasında esnek olması,
- Özellikle inşaat sahasının dar olduğu veya şehir merkezinde yer alan girişi kısıtlı olan sahalarda; çivi imalatlarında kullanılan makine ve ekipmanların hafif ve kompakt halde olmasının getirdiği avantaj,
- Öngermeli (aktif) ankrajlara göre, m<sup>2</sup>'ye düşen adet sayısının çok fazla olması ve bu sayede zemin çivilerinde meydana gelebilecek hasar sonrasında tüm sistemin etkilenmemesi, efektif ve hızlı bir şekilde önlem alınabilmesi,
- İri bloklu, sıkı çakıllı heterojen biçimdeki zeminler veya ayrıışmış-ayrışmamış (sert) kaya ortamlarında, aktif ankraj ve beraberinde yapılan büyük çaplı elemanlara (fore kazık, diyafram duvar vb.) göre uygulanabilirliğinin çok daha yüksek olması ve beraberinde gelen uygun maliyet,
- Zemin çivili sistemlerin betonarme istinat yapılarına (öngermeli ankrajlarla birlikte uygulanan fore kazık, diyafram duvar...) göre esnek olmasının getirdiği avantajlar, büyük hareketler ve farklı deplasmanlara karşı dayanması ve deprem bölgelerine uygun ve sönümleyici bir bünyeye sahip olması,

Bunların dışında, Fang H.-Y. (1991) öngermeli ankraj (aktif) ve zemin çivisi (pasif) teknolojilerinin kullanılmasının getirdiği kısıtlamalara da yer vermiştir. Yazarın, "Foundation Engineering Handbook" adlı kitabında maddeler halinde bahsetmiş olduğu kısıtlamalar özetlenerek aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir:

- Özellikle şehir içi bölgelerde yapılan kazıların desteklenmesinde tercih edilen ankrajların başka alanlar içerisinde yapılmasından dolayı irtifak hakkının gün

yüzüne çıkması (kalıcı ankraj uygulamalarında daha sık karşılaşılan bir problem),

- Plastik killi zeminlerde karşılaşılan sünme problemi ve bu sebepten dolayı yapılarda meydana gelen ilave deplasmanlar,
- Yumuşak kohezyonlu zeminlerde geleneksel yöntemler uygulanarak yapılan ankrajların sıyrılma direncinin düşük olması ve ekonomik olmayan çözümler,
- Ankrajın temel parçalarından ve çekme yüklerinin zemine aktarılmasını sağlayan çelik veya demir malzemelerin agresif ortamlarda imal edilmesi sonucunda dikkate alınan dayanım probleminin getirmiş olduğu sınırlamalar,

Prashnat ve Mukherjee (2010), zemin çivilerinin, öngermeli ankraj sistemlerine göre avantajlarından bahsetmiş ve aşağıda belirtildiği gibi maddeler halinde özetlemiştir:

- Çevresel ve trafik üzerinde etkisinin az olması,
- İmalatının hızlı ve malzeme sarfiyatının az olması,
- İmalat kapsamında kullanılan makine boyutlarının küçük olması,
- İmalat sırasında karşılaşılan zorluklar (iri blokların veya çakılların varlığı, alt yapı tesisleri) sırasında, yer değiştirilmesinin kolay ve az maliyetli olması,
- Öngermeli ankrajlara göre sayılarının kayda değer bir şekilde fazla olması sayesinde, tasarımda belirlenen yerleşimin planının güvenlik seviyesini etkilemeden yerinde değiştirilebilmesi,
- Toplam ve farklı oturmalara karşı esnek özellik göstermesinden dolayı uyumlu olması ve bu özelliğinden dolayı sismik olaylarda göstermiş olduğu performansının iyi olması,
- Zemin çivili sistemlerde kullanılan shotcrete veya benzeri kaplamaların, öngermeli ankrajlı sistemlerinde kullanılan düşey elemanlara (fore kazık vb.) göre efektif maliyet sağlaması,

Bunların dışında zemin çivili sistemlerin olumsuz yanlarını da aşağıdaki gibi açıklamıştır (Prashnat ve Mukherjee, 2010) :

- Zemin çivili sistemlerin yük taşıması için zemin veya kaya ortamında meydana gelecek hareketlerin, izin verilebilir deformasyonların sınırlı olduğu bölgelerde dezavantajlı olması ve bu bölgelerde tercih edilmemesi,

- Yeraltı su seviyesi yüksek olan bölgelerde, delgi zorluğu ve kazı içerisine gelecek suyun kesilememesi,
- Kohezyonsuz zeminlerde yapılan delgilerde karşılaşılan stabilizasyon problemi ve muhafaza borusu gerekliliği (öngermeli ankraj içeren sistemlerde de karşılaşılan bir problemdir.),
- Gömülü su borularının ve yer altından geçen kabloların bulunduğu bölgelerde, yerinde delgi yapılarak imal edilen zemin çivileri boylarının veya açılarının değiştirmek zorunluluğunda kalınması (öngermeli ankraj içeren sistemlerde de bu sorunla karşılaşılmaktadır.),
- Uzmanlaşmış ve deneyimli firmalara olan ihtiyaç (öngermeli ankraj imalatı için de geçerlidir.),

Hong Kong Devleti İnşaat Mühendisliği ve Geliştirme Dairesi tarafından 2008 yılında basılan "Zemin Çivisi Tasarımı ve İnşaatı için Kılavuz" adlı teknik doküman içerisinde, pasif ankrajlı sistemlerin avantajlarından ve sınırlarından bahsedilmiştir. Zemin çivilerinin avantajları olarak; boylarının ve dağılımlarının saha koşullarına göre değiştirilebilmesinin daha kolay ve az maliyetli olması, uygulamaların hızlı ve maliyet açısından efektif olması gibi diğer kaynaklarda bahsedilmiş noktalara değinilmiştir. Bunlara ilave olarak; zemin çivili sistemlerde meydana gelecek göçmelerin, sünek sistemlerde meydana gelen göçme tipine benzeterek önceden önlem alınabileceğini avantaj olarak gösterilmiştir. Aynı teknik dokümanda, zemin çivili sistemler hakkında bahsedilen sınırlandırmalar maddeler halinde aşağıda özetlenmiştir:

- Aktif ankrajlı sistemlerde olduğu gibi yer altı yapıları, altyapı sistemlerinden dolayı zemin çivilerinin yerleşimi ve boylarının sınırlandırılması,
- Parsel sınırının ötesinde kalan yerler için izin istenme zorunluluğu ve dolayısıyla zemin çivili sistemlerin yerleşiminin sınırlandırılması,
- Yer altı su seviyesinin yüksek olduğu bölgelerde yapılan delgi ve enjeksiyonun zorluğu, şev yüzeylerinde meydana gelen stabilite sorunları,
- İri çakıllı-bloklı zeminler gibi permeabilitesi yüksek ortamlarda veya çatlaklı-fissürlü kaya formasyonlarında yapılan zemin çivilerinde yüksek oranda enjeksiyon sarfiyatı (sızıntı veya kaçak problemleri),

- Zemin içerisinde yer alan yüksek orandaki ince dane sebebi ile çivi/zemin yük etkileşiminin olduğu bölgede sünme riski,
- Zemin çivilerinde kullanılan çelik elemanın uzun boylarda olmasının getirdiği zorluklardan dolayı derin şev içeren projelerde uygun olmaması,
- Zemin çivilerinin yük aktarmasının, zeminin rölatif olarak hareket etmesi sonucu gerçekleşmesi sebebi ile çevre yapılar ve tesisler üzerinde yapılan zemin çivili kazılarda deplasman problemi,

Bruce ve Jewell (1987), zemin çivileri ile öngermeli zemin ankrajlarını karşılaştırmış, zemin çivili sistemlerinin yararlarından ve sınırlarından bahsetmiştir. İki sistem arasında tespit edilen farklı özellikler aşağıda verilmiştir:

- Zemin ankrajlarına, imalatı yapıldıktan sonra yapıda meydana gelebilecek deformasyonların önlenmesi için öngerme uygulanmaktadır. Zemin çivilerinde ise, öngerme yapılmadığı özellikle tam tersine çalışması (zemin/çivi arasında kayma gerilmelerin mobilize olarak yük taşınması) için zeminde hareketlerin meydana gelmesi gerekmektedir,
- Zemin çivilerinin zeminle olan etkileşimi, uygulandığı yüzeyin arkasından başlayarak çivi boyunca gerçekleşirken, zemin ankrajlarında yüzeyden belirli bir uzaklıkta olan sabit boy bölgesinde gerçekleşmektedir,
- Zemin çivilerinin, ankrajlara göre uygulandığı yüzeyin alanına göre daha fazla miktarda kullanılmasından dolayı, zemin çivilerinde meydana gelecek göçmeler tüm sistemin göçmesini tetikleyecek etkiyi yapmamaktadır,
- Zemin ankrajlarında çivilere göre rölatif olarak daha yüksek mertebelerde yüklerin elde edilmesi, ankrajın bağlanmış olduğu yapıda zımbalamaya karşı dayanım gücü yüksek elemanlara ihtiyacı gerektirir. Düşük yükler altında çalışan zemin çivilerinde ise, yüzey kaplaması (püskürtme beton, prekast veya yerinde dökme betonarme duvar) üzerine küçük boyutta plakalar konulması yeterli olacaktır.
- Zemin ankrajlarının, çivilere göre boylarının daha uzun olmasından dolayı uygulama esnasında büyük ölçekli makinelere gereksinim vardır. Bununla birlikte, ankrajların genellikle desteklemiş olduğu kazık, palplanş, diyafram duvar vb. gibi dayanma yapılarının veya fore kazık gibi boyutları büyük

elemanlardan oluşması ve bu elemanların imalatları esnasında büyük çaplı ekipmanların kullanılması ihtiyacını doğurmaktadır.

Bruce ve Jewell (1987), zemin çivilerinin yararlarını aşağıda belirtilen faktörler üzerinden değerlendirmiştir.

- **Ekonomik Avantaj:**

Avrupa'dan uzman firmalar ile yapılan görüşmelere dayanarak, ankrajlı diyafram duvar veya berlin duvar sistemlerine göre 10 metrelik bir kazının zemin çivili sistemler ile desteklenmesinin, maliyet açısından % 10 ile % 30 arasında değişen bir oranda daha ekonomik olduğu görülmektedir.

- **İnşaat Makine ve Ekipmanları:**

Zemin çivilerinin imalatı için yapılan delgi işlemlerinde kullanılan makineler ve püskürtme beton kaplamasının yapılması için gerekli ekipmanların küçük ebatla, kolay hareket edebilir ve sessiz olması, özellikle şehir merkezlerinde olan inşaat sahalarına nakliye ve ulaşımının kolay sağlanması, çalışırken oluşturduğu sesin ve titreşimin düşük oranda olmasını sağlamaktadır. Diğer bir deyişle, ankrajlı sistemlerde kullanılan diyafram duvar veya kazık makineleri gibi büyük çaplı ekipmanların nakliye ve ulaşım esnasında karşılaşılan zorluk, zemin çivili sistemlerde kullanılan makine ve ekipmanlar için söz konusu değildir.

- **İnşaat (İmalat) Esnekliği:**

Zemin çivileri, hızlı uygulanabilir bir teknoloji olup zemin özelliklerinin durumuna ve kazının ilerleyişine göre kolay bir şekilde değiştirilebilen esnek bir uygulamadır.

- **Performans:**

Zemin çivileri uygulamalarının yapılacağı sahalardaki ölçümlere göre, çivilerde zemin etki yüzeyi boyunca kayma gerilmelerinin oluşması için gerekli toplam deplasmanların şaşırtıcı derecede düşük olduğu ortaya çıkmıştır. Kazı sonrasında zemine en kısa sürede müdahale edilerek, zeminin örselenmesini ve çevre binalarda meydana gelebilecek olası hasarların engellenmesi de sağlanmaktadır.

Bruce ve Jewell (1987), yukarıda belirtilen bilgilere ek olarak; zemin çivileri teknolojisinde pratik uygulamada karşılaşılan zorluk ve limitlerden de bahsedilmiş, karşılaşılan bu zorluk ve limitler aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir:

- Zemin çivileri teknolojisinin uygulama aşamaları düşünüldüğünde, püskürtme beton ve çivi imalatı öncesi genellikle 1-2 metre yüksekliğinde desteksiz kazıların yapıldığı görülmektedir. Yapılan bu kazıların yer aldığı bölge zemininin kohezyonsuz veya çimentolanmamış olması durumunda ilave iyileştirmelerin yapılması gerekmekte olup söz konusu uygulamada değişik zorluklar yaşanmakta ve ilave maliyet gerekmektedir,
- Zemin çivileri sistemlerinde kaplama amaçlı kullanılan püskürtme betonun uygulandığı yüzeyin sudan arındırılmış olması ve kuru olması gerekmektedir. Aksi takdirde, zemin/kaya ortamı ile tam bir bağlantı sağlanamaz ve yeterli bir püskürtme beton yüzeyi elde edilemez. Bunun dışında, yer altı su seviyesinin düşük olması durumunda, başlangıç aşaması olarak desteklenmemiş zemin yüzeylerinde göçme-kayma yaşanma riski bulunmaktadır,
- Yumuşak kil gibi mukavemet özelliği zayıf olan zeminlerde yapılan kazıların zemin çivisi ile birlikte stabiliteyi sağlamak uygun değildir. Bu tür zeminlerde elde edilecek düşük sürtünme direnci; stabilitenin sağlanması için daha uzun ve daha sık bir zemin çivisi uygulama ihtiyacını doğurmaktadır. Bu tarz zeminlerde yapılan kazılarda, öngermeli ankraj teknolojisini içeren kazık, palplanş, diyafram duvar vb. gibi dayanma yapılarında, destekleyici sistem olarak kullanılması daha uygundur,

Öngermeli ankraj teknolojisinin yer aldığı İnşaat Mühendisliği projelerinin çeşitlilik göstermesine rağmen, pasif ankraj teknolojisinin (zemin çivisi/kaya bulunu) kullanıldığı alanların kazı desteklenmesi veya şev iyileştirme amaçlı olmuştur. Bu bölümde farklı kaynaklardan yararlanılarak elde edilen aktif ve pasif ankrajların olumlu-olumsuz yanları ve birbirlerine göre karşılaştırılması, her iki tür ankrajın yer aldığı projedeki amaçlarının aynı olması durumu dikkate alınarak yapılmıştır. Bunun bir başka örneği de, FHWA tarafından kazıların desteklenmesinde veya yol projelerinde uygulanan istinat duvarlarında zemin çivilerinin veya ankraj teknolojisi kullanılmasının farklılıklarının incelenmesi olmuştur. Birleşik Devletler Federal

Otoyol Ulaştırma İdaresi (FHWA) tarafından 1998 yılında hazırladığı teknik doküman içerisinde, öngermeli ankraj ve zemin çivileri ile desteklenmiş dayanma (istinat) yapılarını; duvar imalatı, duvar davranışı açısından karşılaştırmalı olarak incelemiştir (Çizelge-3.2).

**Çizelge 3.2 : Ankrajların germe derecesi ve görevine göre sınıflandırması**  
(Byrne ve diğerleri, FHWA, 1998)

| Duvar Tipi                | Öngermeli Ankrajlı Duvar                                                                                                                                              | Zemin Çivili Duvar                                                                                |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Duvar İmalatı Açısından   | Yukarıdan Aşağıya (zemin/kaya ortamında kazı)                                                                                                                         | Yukarıdan Aşağıya (zemin/kaya ortamında kazı)                                                     |
|                           | Yerinde açılan delgi ve enjeksiyon, aktif bölgenin arkasında yük kapasitesi elde edilmesi                                                                             | Yerinde açılan delgi ve aktif/direnç bölgesi dahil tüm çelik eleman boyunca enjeksiyon            |
|                           | Her bir kazı aşamasında ankrajlar gerilmektedir.                                                                                                                      | Kazı aşamalarında imal edilen çiviler, kazının ilerleyişi sırasında pasif olarak gerilmektedir.   |
| Duvar Davranışı Açısından | Üniform Şekilde Gerilme Dağılımı                                                                                                                                      | Yukarıdan Aşağıya İndikçe Azalan Çivi Kuvvetleri                                                  |
|                           | Yüzey için kullanılan elemanlar, zeminden gelecek tüm gerilmeleri taşır.                                                                                              | Yüzey için kullanılan elemanlar, çivinin alamadığı gerilmeleri taşır.                             |
|                           | Zemin ile ankraj arasındaki yük aktarımı sadece aktif bölge arkasında olan direnç bölgesinde (kök bölgesi) meydana gelir. Aktif bölgede yük aktarımına izin verilmez. | Zemin ile çivi arasında yük aktarımı çelik eleman boyunca gerçekleşir.                            |
|                           | Aktif bölgede yer alan zeminin ağırlığı ile öngerme yükü sırasında ankraj kafasına uygulanan çekme yükleri eşitliğinden dolayı, ankrajda çekme yükleri oluşur.        | Aktif bölgede yer alan zemin diliminin ağırlığından dolayı çiviler üzerinde çekme yükleri oluşur. |
|                           | Zeminin sınırlandırılması sadece yüzey için kullanılan elemanlar tarafından gerçekleştirilmektedir.                                                                   | Zemin kısmi olarak çiviler ile sınırlandırılmaktadır.                                             |
|                           | Ankrajların nasıl gerildiğine bağlı olarak, genellikle orta seviyelerde maksimum yüzey deplasmanı                                                                     | Duvarın üst tarafında maksimum yüzey deplasmanı                                                   |

### 3.5 Kalıcı ve Geçici Ankraj Kavramları

İnşaat Mühendisliği ve Geoteknik Mühendisliği alanında önemli bir çözüm aracı olan ankraj teknolojisi, kullanım amacı olarak belirli bir süre içinde hizmet edebileceği gibi bir köprü veya bir yapının ömrü boyunca da hizmet edebilmektedir. Ankrajların; hizmet edeceği ve amacını gerçekleştireceği süre açısından geçici ve kalıcı olmak üzere 2 farklı ankraj çeşidi bulunmaktadır. Kendini tutamayan zeminlerde veya şehir merkezlerinde yapılan kazıların desteklenmesinde, kazı içerisine yapılacak olan yapının statik tasarımının uygun olması durumunda genellikle geçici ankraj uygulaması tercih edilmektedir. Bununla birlikte geçici olarak yapılan şevli kazıların iyileştirilmesinde veya tünel gibi yer altı yapılarının inşası esnasında kullanılan ankrajlar servis ömrü açısından geçici ankraj sınıfına girmektedir. Öte yandan, proje ve uygulamalarda kullanılan her ankrajın geçici ankraj olması diye bir durum söz konusu değildir. Proje ve uygulama kapsamında yapılan kazının açık kalma süresi, yapının statik tasarımının uygun olmaması (ankrajların geçici olması durum, yapının yük alması) durumundaki etkiler de imal edilecek olan ankrajın geçici veya kalıcı olmasını belirlemektedir. Kalıcı ankraj teknolojisi, yapıların suyun kaldırma etkisi altında kontrol edilmesi, büyük televizyon veya anten kulelerinin temelinde meydana gelebilecek çekme gerilmelerin karşılanması gibi genellikle üst yapı sistemleri ile entegre bir biçimde kullanılmakta ve yapı sisteminin ömrü boyunca hizmet etmektedir. Buna ilave olarak, uzun süreli veya sürekli açık kalacak kazıların desteklenmesi, şevlerin güçlendirilmesi ve kazı içerisine yapılacak olan yapının zemin/kaya ortamından gelecek yükleri taşıması istenmediği durumlarda da kalıcı ankraj teknolojisi tercih edilmektedir.

Zemin teknolojisi olarak İnşaat Mühendisliği dünyasında kullanılmaya başlandığından beri birçok projede yer alan ankrajların kalıcı veya geçici olmasını belirleyen en büyük faktör; yapılacak olan ankrajın hizmet süresi veya amacını yerine getirmek için gerekli olan zaman dilimidir. Ankraj teknolojisinin kullanılmaya başlandığı ilk yıllarda, firmaların yönlendirilmesi ve uygulama tekniklerini belirlemesi, geçici ve kalıcı ankraj aralarındaki farkların anlaşılması için her hangi bir standart-yönetmelik-şartname bulunmamaktaydı. Söz konusu zaman diliminde yapılan uygulamalardan elde edilen deneyim, daha sonraki yıllarda kullanımı yaygınlaşan ankraj teknolojisi ile birlikte artan istatistiksel veriler (ankrajların

zamana karşı performansları yükler, zemin durumları, kullanım amacı vb.) bir arada değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda elde edilen sonuçlar, konusunda uzman bilim adamları ve mühendislerin ortak olarak yapmış olduğu çalışmaların (teorik yaklaşımlar, deneysel analizler vb.) sonuçlarıyla bir araya getirilerek günümüzde uygulanan Standart-Yönetmelik-Şartnamelerin oluşmasında önemli bir etkisi olmuştur. Kalıcı ankraj ve geçici ankraj ayrımının yapılması; uygulama açısından kullanılan malzemeleri, imalat yöntemleri vb. ankrajın kalitesini, yapısını, performansını belirleyecek faktörler hakkında da fark olmasını ve hangi faktörlerin önem kazandığını sağlamaktadır.

Petros P. Xanthakos (1991)'e göre; kalıcı ankraj ve geçici ankraj uygulamalarında planlamanın ve ihtiyaçların farklılık göstereceğinden bahsetmiştir. Geçici ankraj uygulamasında, öncelikle uygulandığı sistemin analizi ve tasarımı ile birlikte ankrajın boyutlandırılması (çelik eleman seçimi, serbest boy, kök boyu vb.) dikkate alınmakta olup servis ömrünün geçici olması nedeniyle zamansal etkiler çok fazla irdelenmemektedir. Bununla birlikte, sahadaki uygulamalar ile birlikte yapılan tasarımların ve varsayımların doğrulanması da geçici ankraj uygulamalarında istenilen bir durumdur. Petros P. Xanthakos (1991), kalıcı ankraj uygulamalarında dikkat edilmesi ve önem verilmesi gereken hususların başında; tasarım, boyutlandırma, yük taşıma kapasitesi ile birlikte kalıcı olarak hizmet etmesini sağlayacak malzeme-ekipmanların dayanıklılığı ve korunması yer almaktadır. Zamana karşı performansı incelenen kalıcı ankraj imalatlarında gereken teknikleri tek başına yapmanın yeterli olmayacağı, ankrajların dayanım sürecini etkileyecek zemin durumu, zemin içerisindeki kimyasallar vb. maddelerin incelenmesi, verilen yüklerin uzun süreli performansı, yük düşüş oranı gibi faktörlerin de dikkate alınması gerektiği ifade edilmektedir (Petros P. Xanthakos 1991).

Petros P. Xanthakos (1991), birçok standart ve yönetmeliklerde yer alan kalıcı ankrajların, 2 yıl ve daha fazla süre içerisinde hizmet vermesi gerektiğini, geçici ankrajların ise 2 yıllık süre içerisinde kullanım amacına hizmet edebileceğini söylemiştir. Ancak, bu durumun sağlanması için, ankrajların imal edileceği zemin ve çevre şartlarının iyi bilinmesi, kontrol edilebilmesi ve Standartlarda-Şartnamelerde belirtilen sınırların iyice anlaşılması ile gerçekleştirilebileceğinden bahsetmiştir. Petros

P. Xanthakos 1991 yılında yazmış olduğu kitabında ankrajları; Geçici, Yarı Kalıcı ve Kalıcı olmak üzere 3 ana grupta incelemiştir.

- Geçici ankraj

Amacı doğrultusunda vereceği hizmet süresinin 6 aydan daha az olduğu durumlarda geçerli olan ankrajlardır. Bu süre zarfında dış etkilere veya zemin koşullarından dolayı gerçekleşebilecek korozyonun yıkıcı etkisi henüz başlamamıştır. Dolayısıyla, ankrajların korunması veya izlenmesi gerekli değildir.

- Yarı kalıcı ankraj

Kullanım periyodunun 6–18 ay arasında değiştiği ankrajlardır. Bu ankraj uygulamasında da korozyona karşı herhangi bir koruma önlemi alınmasa bile, inşaat planlamasında yer alan ankrajların bazı konular çerçevesinde izlenmesi önerilmektedir.

- Kalıcı ankraj

Kullanım amaçları doğrultusunda vereceği hizmet süresinin 18 ay ve daha uzun süreli olması durumunda, imalat sırasında ankrajın korunmasına karşın alınacak önlemlerin ve imalat sonrasında bir izleme programının zorunlu olduğu ankrajlardır.

Prof. Hans-Jürgen Lang (1974), zemin veya kaya ortamında yapılan ankrajları hizmet süresi açısından kalıcı ve geçici olmak üzere iki ana sınıfa ayırmıştır. Geçici ankrajların fonksiyonlarının iki yıllık bir süre ile kısıtlı olduğunu söyleyen Lang, kalıcı ankrajların ise bağlı olmuş olduğu yapının ömrü süresince fonksiyonlarını gerçekleştireceğini söylemiştir.

İnşaat mühendisliği dünyasında kullanılmakta olan ankraj teknolojisinin, geçici ve kalıcı olması durumuna göre alınacak önlemler, tasarım yaklaşımları, imalat sonrası izleme programı gibi pek çok alanda farklılık göstermektedir. Bu yüzden, projelerde uygulanan ankraj teknolojisinin, kalıcı veya geçici olması gerektiğinin cevapları ve kılavuz olarak kabul edilmesi amacıyla, geçmişten günümüze kadar ulaşan uluslararası veya bölgesel standartlar-şartnameler hazırlanmıştır.

Geçici ve kalıcı ankrajların hizmet sürelerini farklı şekilde belirleyen standartlardan bir kısmı bu bölümde karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

### 3.5.1 PTI (Ard Germe Enstitüsü-Post Tensioning Institute)

Amerika'da 1960'lı yılların ilk zamanlarında kullanılmaya başlanan ankraj teknolojisinin, pazardaki büyüme (inşaat sektörünün gelişmesi, malzeme, makine ve ekipman teknolojisinin ilerlemesi vb.) sonucunda birçok uygulamada yer alarak hızlı bir şekilde yayılmıştır. Ankraj teknolojisinin kullanıldığı ilk zamanlarda, uzman firmaların kendilerine özgü felsefe ve sisteme dayanarak ankraj uygulamasını gerçekleştirmesi nedeniyle ülke içinde karışıklığa yol açmıştır. Bu sebepten dolayı, ülke içerisinde kullanılan ankraj teknolojisinin firmalar tarafından bilinmesini sağlamak, genel bir standarta bağlayarak tek bir çatı altında toplamak için teknik bir dokümana ihtiyaç duyulmuştur. Bunun sonucunda, 1974 yılında PTI tarafından Amerika'ya özgü ilk resmi doküman yayınlanmıştır. 1974 yılında Öngermeli Beton Enstitüsüne bağlı olan PTI, daha sonra ayrılarak sırasıyla 1980, 1986, 1996 ve 2004 yıllarında zemin ve kaya ortamında yapılan öngermeli ankrajlar hakkında tavsiyeler/öneriler amaçlı teknik dokümanları hazırlamıştır (Bruce ve Wolfhope (2007)). Yayınlanan bu 5 farklı dokümanda, kalıcı ankraj-geçici ankraj zaman açısından sınırı Çizelge 3.3 içerisinde verilmiştir. Çizelge içerisinde kullanılan değerler, 2007 yılında Bruce ve Wolfhope tarafından yazılan "Barajlar için Kaya Ankrajı: Korozyon Koruma Sistemlerinin Gelişimi ve Analizi ve İnşaat Maliyetleri" yayınından alınmıştır.

**Çizelge 3.3 : Farklı yıllarda yayınlanan PTI dokümanlarına göre kalıcı ankraj hizmet süresi (Bruce ve Wolfhope, 2007)**

| Açıklama                         | Kuruluş | Teknik Doküman Basım Tarihi | Zaman Sınırı                                          |
|----------------------------------|---------|-----------------------------|-------------------------------------------------------|
| Kalıcı Ankraj min. Hizmet Süresi | PTI-PCI | 1974                        | Hizmet süresinin 3 yıldan fazla olduğu durum          |
|                                  | PTI     | 1980                        | Hizmet süresinin 18 ay veya daha fazlası olduğu durum |
|                                  | PTI     | 1986                        | Hizmet süresinin 18 ay veya daha fazlası olduğu durum |
|                                  | PTI     | 1996-2004                   | Hizmet süresinin 24 ay veya daha fazlası olduğu durum |

PTI, 2014 Ekim ayında, yayınlanan 5 adet teknik dokümanın incelemiş olduğu konulara değinerek genişletilmiş bir biçimde yeni bir doküman hazırlayarak yayınlamıştır. İlgili dokümana ulaşıl原因ması sebebiyle, kalıcı ankrajlar için zaman sınırının nasıl olduğuna dair veriler Çizelge 3.3 üzerine işlenmemesine rağmen, 2004 yılında hazırlanan doküman ile aynı olduğu düşünülmektedir.

### **3.5.2 SIA 191 (İsviçre Standardı)**

İsviçreli İnşaat Mühendisleri ve Mimarlarının oluşturduğu SIA topluluğu tarafından 1977 yılında hazırlanan, zemin ankrajlarının tasarımı, imalatı, deneyleri ve imal edildikten sonra gözlemlenmesi hakkındaki verileri sağlayan basılmış bir standarttır. Bu standartta geçici ve kalıcı ankraj ayrımı çok yüzeysel yapılmış ve basit olarak aşağıdaki gibi anlatılmıştır.

- Geçici (kısa dönemli) ankrajlar: Genellikle 3 yıldan daha fazla olmayan kısa dönem içerisinde sadece kullanıldığı amacı yerine getiren ankraj grubudur,
- Kalıcı (uzun dönemli) ankrajlar: Özel tasarım ve denetimin gerekli olduğu, kullanıldığı yapının servis ömrü boyunca işlevini yerine getiren ankraj grubudur,

Standart içerisinde kalıcı ankraj için bir zaman sınırı verilmemesine rağmen, geçici ankraj için yapmış olduğu tanımdan yola çıkarak, kalıcı ankraj sınıfının hizmet süresinin 3 yıldan daha fazla olması durumunda yapılabileceğini söylemek mümkündür. 1995 yılında yeniden yayınlanan SIA 191 standardı, geçici ve kalıcı ankrajları kendi içerisinde aktif ve pasif olmak üzere ikiye ayırarak daha detaylı bir tanımlama yapmıştır.

### **3.5.3 TA-95 (Tirants d'ancrage)**

Fransız Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği komitesi tarafından dördüncü olarak yayınlanmış olan standardın daha önceki baskıları sırasıyla, 1972, 1977 ve 1986 yılında gerçekleşmiştir. 1995 yılında yayınlanan bu standardın kapsamında; ankrajların tasarımı, hesaplamaları, imalatı ve kontrolü amacıyla yapılan öneriler yer almaktadır.

Standart içerisinde ankrajlar, hizmet süresi açısından 3 ana başlık altında toplanmıştır (Recommendations T.A 95, 1995).

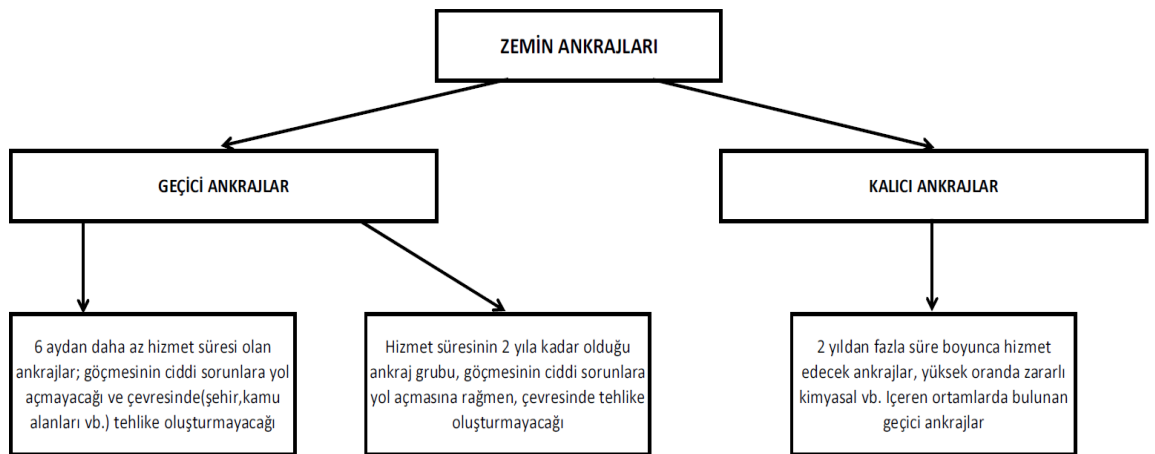
- 9 ay süre boyunca hizmet eden ankrajlar; geçici ankraj olarak,
- 18 ay süre boyunca hizmet eden ankrajlar; geçici ankraj olarak,
- 18 aydan daha uzun süre boyunca hizmet eden ankrajlar; kalıcı ankraj olarak tanımlanmıştır,

Geçici olan ankrajların 2 ana grup altında toplanmasının sebebi, bulunduğu çevre koşullarına göre uygulanacak malzeme teknolojisinin farklı olmasından ve bu koşullara göre önerilen koruma seviyelerinin (önlemlerinin) farklı derecelerde olmasından kaynaklanmaktadır.

### 3.5.4 BS 8081( Zemin Ankrajları, British Standard Code of Practice)

1982 yılında yayınlanan ve başlığı "Zemin Ankrajları için Öneriler (Recommendations for ground anchorages)" olan DD 81: 1982 adlı kodun yerine geçen BS 8081, 1989 yılında basılmıştır. İçerisinde yer alan öneri ve kılavuzların birçoğunun pasif tipi ankrajlara uygulanabilir olmasına rağmen, öngermeli zemin ve kaya ankrajlı sistemler üzerinde duran bu standart kapsamında ankrajlar geçici ve kalıcı olmak üzere 2 ana sınıf altında toplanmıştır. Fransa'da yayınlanan TA-95 standardı gibi, BS 8081'de geçici ankrajlar kendi içinde 2 gruba ayırmıştır.

Bu standart kapsamında önerilen geçici ve kalıcı ankrajların hizmet süreleri ilişkisi Şekil-3.5'de gösterilmiştir.



Şekil 3.5 : BS8081'e göre geçici ve kalıcı ankraj tanımları ve hizmet süreleri

Yukarıdaki şekilde belirtilen bilgilere göre; geçici ankrajların yüksek oranda zararlı kimyasal veya benzeri maddeler içeren ortamlarda imal edilmesi ve geçici olarak belirlenen hizmet süresi içerisinde ciddi zararlar görerek fonksiyonel işlevlerini gerçekleştirememesi sebebi ile kalıcı ankraj sınıfı içerisinde yer verilmiştir.

1989 yılında hazırlanan bu standardın içeriğindeki zemin ve kaya ankrajı hakkında verilen öneriler, limitler, yaklaşımlar vb. günümüzde dikkate alınmakta olup birçok projede kullanılarak geçerliliğini korumaktadır.

### **3.5.5 EN 1537 (Avrupa Standardı, EuroNorm)**

İngiltere, Almanya ve Fransa başta olmak üzere birçok avrupa ülkesinde geçerli olan ve bu ülkelerin temsilcilerinin oluşturduğu Avrupa Standartlaştırma ve Teknik Komitesi tarafından hazırlanan bu standart ilk olarak 1999 yılında yayınlanmıştır. Geçici ve kalıcı ankraj ayrımını tanımsal olarak açıklayan bu standart daha sonra 2013 yılında yenilenmiştir.

2013 yılında yayınlanan standarda göre geçici ve kalıcı ankrajların tanımı aşağıdaki gibi yapılmıştır.

- Geçici ankraj: Tasarım (hizmet) ömrünün 2 yıl ve daha az olduğu ankraj grubu,
- Kalıcı ankraj: Tasarım (hizmet) ömrünün 2 yıldan daha fazla olduğu ankraj grubu,

#### 4. ANKRAJ TAŞIMA GÜCÜ HESAP YAKLAŞIMLARI

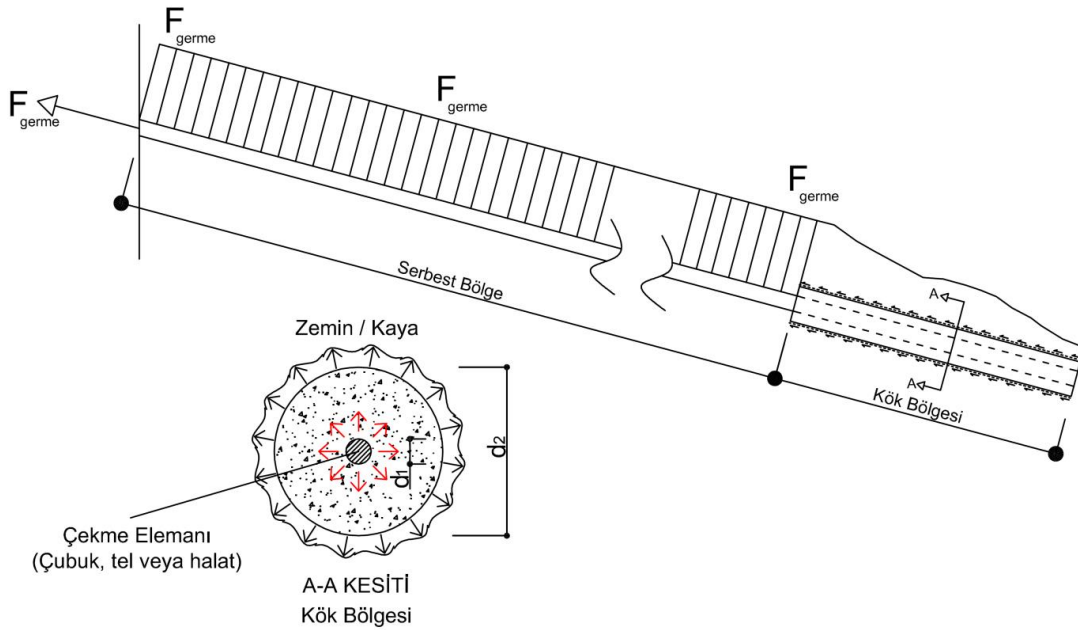
Bu bölümünde, ankraj taşıma güç hesap yaklaşımlarına yer verilmiştir. Ankrajların taşıma gücünün belirlenmesinde rol oynayan etkenler aşağıda sıralanmıştır:

- Ankrajların çekme yüklerini taşıyabilmesi için kullanılan ve genellikle çelik veya cam elyafla güçlendirilmiş polimer vb. malzemelerden üretilen elemanların çekme kapasiteleri,
- Ankraj Kafasını oluşturan elemanların taşıma kapasitesi (ankraj plakası, halat veya tel elemanlarda kullanılan kilitleme kaması, çelik çubuk elemanlarında kullanılan somun vb.),
- Öngermeli ankrajların belirli bir bölgesinde veya pasif ankraj boyunca yer alan enjeksiyon ile ankraj elemanı arasındaki bağ kuvveti,
- Enjeksiyon ile ankrajın uygulandığı ortam (zemin/kaya) arasındaki etkileşim sonucunda oluşacak gerilmelerin ortam tarafından taşınabilmesi,

Ankraj taşıma gücünün belirlenmesinde rol oynayan ve yukarıda belirtilen etkenlerden ilk üçü, kullanılacak elemanların tipine, malzeme özelliklerine göre değişkenlik göstermektedir. Ankraj taşıma gücünün belirlenmesinde, ankrajın zemin veya kaya ortamında yapılmasına bağlı olarak yukarıda verilen etkenlerden öncelik sırası da değişkenlik gösterebilir. Örnek verilecek olursa; kaya ortamlarında uygulanan ankrajlardan aktarılabilecek çekme yükleri sonucu oluşan gerilmeler genellikle kaya-enjeksiyon etkileşiminin taşıyabileceği kapasiteyi aşmamakta olup, ankrajların taşıyacağı yüklere göre çekme yüklerini iletecek elemanın ve ankraj kafasını oluşturan ekipmanların tasarımı önem kazanmaktadır. Demir çubuk çapı, halat sayısı, ankraj plakası vb. elemanlarla beraber, ankrajların tasarımında enjeksiyon-zemin etkileşimi boyunca zeminin taşıyabileceği gerilme değerleri önem kazanır. Dolayısıyla bu tür ortamlarda yapılan ankrajların tasarımında öncelik enjeksiyon-zemin etkileşimine verilir ve güvenli taşıyabileceği yüklere göre yukarıda belirtilmiş üç maddenin tasarımı yapılır.

Ankrajların taşıma gücünü olumsuz bir şekilde etkileyen bu üç faktör, tamamen seçilecek olan malzemenin özelliği-sınıfı ile ilgili olup, çok kolay bir şekilde müdahale edilebilir.

Bu bölümde, ankraj taşıma gücü hesabı ve hesap yaklaşımlarında ön gerilmeli (aktif) ankrajlara değenilmiş, taşıma gücünü belirleyecek olan dördüncü faktör baz alınarak incelemeler yapılmıştır. Bu (dördüncü) faktörde belirtildiği gibi, ankraj taşıma gücünü etkileyecek etkenlerin başında, kullanılan malzemeden bağımsız olarak ankrajın yer aldığı zeminin veya kaya formasyonlarının mühendislik özellikleri önem kazanmaktadır. Ankraj imalatında uygulanan delgi yöntemi, kullanılan ekipmanı, delgi aparatları, enjeksiyon yöntemleri de taşıma gücü ve hesap yaklaşımlarında belirleyici faktörler olarak yer almaktadır. Ankraj teknolojisinin kullanılmaya başlandığı ilk yıllardan günümüze kadar geçen süreçte, ankrajların kök taşıma gücünün belirlenmesi için birçok deneysel ve teorik çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bu çalışmaların bir kısmı, zemin ve kaya özelliğine göre taşıma gücü yaklaşımlarını belirlenmesini sağlarken, bir kısmı da uygulama yöntemlerinin taşıma gücüne olan etkisinin incelenmesini sağlamıştır. Ankraj kök taşıma gücünün farklı tip formasyonlara göre hesaplanmasında kullanılan yaklaşımlar ve ankraj uygulama yöntemlerinin taşıma gücüne etkisinin araştırıldığı bu bölüme geçmeden önce, ankraj yük aktarım mekanizmasının bilinmesi (Şekil 4.1) gerekmektedir.



**Şekil 4.1 : Öngermeli ankrajlarda yük aktarımı**

Şekil 4.1'de gösterildiği gibi öngermeli ankrajların yük aktarım mekanizması üç aşamada gerçekleşir:

1. Uygun bir ekipman aracılığı ile çelik veya farklı malzemeden yapılan çekme elemanının gerilmesi,
2. Serbest bölge boyunca herhangi bir kayıp yaşanmadan verilen germe yükünün taşınması ve kök bölgesini oluşturan genellikle çimento-su karışımından oluşan enjeksiyona iletilmesi,
3. Ankraj kök bölgesinin zemin/kaya ile etkileşim gösterdiği yüzey boyunca, bu yükleri iletmesi,

Transfer mekanizmasını oluşturan her bir aşamada meydana gelecek gerilmeleri etkileyen parametreler aşağıda özetlenmiştir:

- Çekme Elemanında Oluşan Gerilme : Verilen germe yükünün değeri ve çekme elemanın kesit alanına bağlı ( Şekil 4.1) ve basit olarak eşitliği;

$$\sigma = F_{germe} / A_{çekme-elemanı} \Leftrightarrow \sigma_{kapasite} \quad (4.1)$$

$\sigma$ : Verilen germe yükü sonrasında çekme elemanında oluşacak gerilme

$F_{germe}$ : Uygun bir ekipman ile çekme elemanının gerilmesi sırasında aktarılan yük

$A_{çekme-elemanı}$ : Çekme elemanının kesit alanı [ $d_1$ ],

$\sigma_{kapasite}$ : Üretici tarafından standartlara göre uygulanan deneyler sonucunda belirlenen maksimum çekme kapasitesi

- Enjeksiyon ile Çekme Elemanı Arasında Oluşan Gerilme : Verilen germe yükü değeri, çekme elemanın enjeksiyon ile temas ettiği yüzey çevresi ve enjeksiyon içerisinde kaldığı boy ile ilişkili olup basit olarak eşitliği;

$$\tau = F_{germe} / A_{yüzey} \Leftrightarrow \tau_{kapasite} \quad (4.2)$$

$\tau$  : Enjeksiyon ile çekme elemanın temas ettiği yüzey boyunca oluşacak kayma gerilmesi

$A_{yüzey}$ : Çekme elemanın çapı ( $d_1$ ) ve enjeksiyon içerisinde kalan boyuna bağlı olarak hesaplanan yüzey alanı

$\tau_{kapasite}$  : Kök bölgesinde kullanılan ve genellikle çimento/su karışımından oluşan enjeksiyonun taşıyabileceği maksimum kayma gerilmesi.

- Kök Bölgesi-Zemin/Kaya Arasında Oluşacak Gerilme : Enjeksiyon ile çekme elemanında olduğu gibi, kayma gerilmeleri oluşmaktadır. Verilen germe yükünün değeri, kök ile zemin/kaya temas eden yüzeyin çevresi ve kök boyu ile ilişkili kayma gerilmesinin eşitliği;

$$\tau_{kök} = F_{germe}/A_{yüzey} \Leftrightarrow \tau_{zemin/kaya} \quad (4.3)$$

$\tau_{kök}$  : Enjeksiyon ile çekme elemanın temas ettiği yüzey boyunca oluşacak kayma gerilmesi

$A_{yüzey}$  : Kök bölgesinde oluşan ve zemin/kaya ile temasta bulunan enjeksiyonun çapı (d2) ve kök bölgesinin boyuna bağlı hesaplanan yüzey alanı

$\tau_{zemin/kaya}$  : Zemin veya kaya formasyonunun özelliğine göre değişkenlik gösteren maksimum kayma gerilmesi değeridir. Bu değer, ankraj kökünün temas ettiği zemin veya kaya ortamının mekanik özelliklerine (kayma mukavemeti açısı, drenajsız kayma mukavemeti vb.) ve ortam koşullarına bağlı olarak geliştirilen hesap yaklaşımları ile bulunabileceği gibi, sahada gerçekleştirilen deneyler sonucunda da tespit edilebilir.

Kök taşıma kapasitesinin değerine doğrudan doğruya etkisi olan zemin veya kayanın taşıyabileceği maksimum kayma gerilmeleri, zeminin veya kayanın sahip olduğu özelliklere ilave olarak, ankraj imalatında uygulanan delgi yöntemi veya enjeksiyon yönteminin de etkin olduğunu söylemek mümkündür. Birçok araştırmacı tarafından gerçekleştirilmiş ve birçoğu bu tez kapsamında incelenmiş olan çalışmalar bu durumu doğrulamaktadır..

#### 4.1 Enjeksiyon Uygulama Tekniğine Göre Öngermeli Ankrajlar

Littlejohn (1980), Ground Engineering dergisinde yayınlanan makalede, zemin durumuna göre ankraj taşıma gücünü, ankraj geometrisine bağlı olduğunu, ancak kök bölgesinin etrafını çevreleyen zeminin seçilecek imalat yöntemi, özellikle enjeksiyon tekniği ve etki derecesinin, ikinci planda olan delgi tekniğine bağlı olarak

etkilendiğinden bahsetmiştir. Şekil 4.2'de verilen ankraj kök taşıma gücü hesabında kullanılan tasarım yaklaşımları farklı enjeksiyon yöntemleriyle imal edilen ankrajlara göre farklılık göstermektedir.

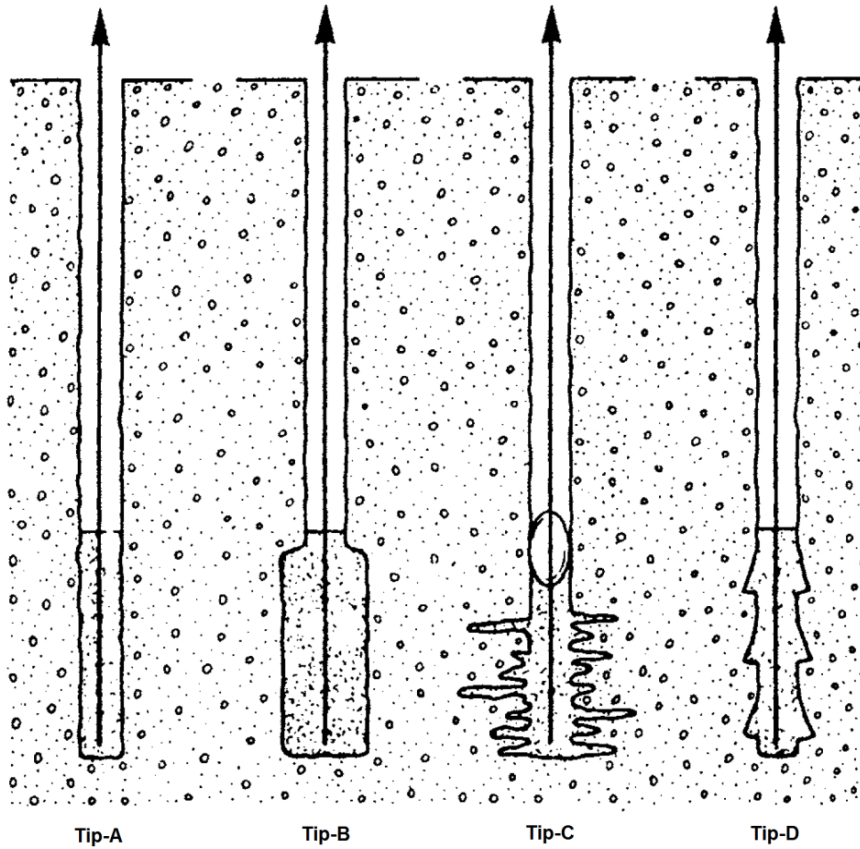
**Tip-A:** Delgi stabilitesine göre muhafaza borusu veya muhafaza borusu kullanılmadan imal edilen bu ankrajlarda uygulanan enjeksiyon yöntemi ile kök bölgesinde yer alan enjeksiyonun çapında herhangi bir değişiklik olmayacağı gibi delgi çapı ile aynı olacaktır. Kök bölgesi de dahil olmak üzere delgi boyunca düz bir gövdenin olduğu düşünülen bu ankrajlarda enjeksiyon yerçekimi kuvveti ile delgi içerisine dökülür. Çoğunlukla kaya ve çok katı-sert kohezyonlu zeminlerde tercih edilen Tip-A ankrajlarında, çekme anında oluşan direnç kuvvetleri kök bölgesini oluşturan enjeksiyon ile zeminin temas ettiği yüzeylerinde meydana gelen kayma gerilmelerine bağlıdır (Littlejohn,1980).

**Tip-B:** Boru veya paker yardımı ile kök bölgesine verilen düşük basınçlı enjeksiyon kök bölgesi çapının arttırıldığı bir uygulama tekniğidir. Düşük basınçlı enjeksiyon, kök bölgesini saran zeminin boşluklu yapısını veya doğal çatlaklı yapısını doldurarak minimum şekilde örseler. Çoğunlukla yumuşak çatlaklı kaya formasyonlarında veya iri daneli alüvyon çökellerinin yer aldığı bölgelerde tercih edilen bu ankrajlar, ince daneli kohezyonsuz zeminlerde de yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. İnce daneli zeminlerin boşluklu yapısının enjeksiyonun zemin içerisine yayılmasını engellese bile, verilen enjeksiyon basıncı sayesinde zeminde lokal sıkışmalar gerçekleşerek kök bölgesindeki çapın artışı sağlanmaktadır (Littlejohn,1980). Kök bölgesinde yer alan çapın delgi çapına göre rölatif olarak büyük olmasına istinaden, teorik ankraj kök taşıma gücüne katılabilir. Ancak, ankrajların gerilmesi esnasında oluşan çekme yüklerinin büyük bir çoğunluğu Tip-A'da olduğu gibi çevre sürtünmesinden dolayı oluşan kayma gerilmeleri ile zemine veya kayaya aktarılır.

**Tip-C:** Boru veya paker yardımı ile verilen yüksek basınçlı enjeksiyon aracılığıyla ankraj kök bölgesi çapının büyütülmesi tekniğidir. Özellikle kohezyonsuz zeminlerde tercih edilen bu teknik sayesinde, kök bölgesinde yer alan zeminde çatlaklar meydana getirerek bu çatlakların enjeksiyon ile dolmasını sağlamaktadır. Şekil 4.2'de gösterildiği gibi düzensiz bir şekilde oluşan enjeksiyon saçakları, ankraj kök bölgesi-zemin etkileşimini iyileştirerek ankraj taşıma kapasitesini arttırmaktadır. Tasarım esası kök bölgesi boyunca oluşan eşit kayma gerilmesine dayanmaktadır (Littlejohn,

1980). Enjeksiyonu tamamlanmış ankrajların sonradan enjeksiyonlanmasına olanak veren Tube A Manchette (Ard Enjeksiyon) tekniğinin temelini oluşturan bu yöntem ile killi zeminlerde imal edilen öngermeli ankrajlarda da kullanılmaktadır. Yüksek basınçlı enjeksiyon ile zemin-kök etkileşimini iyileştiren bu yöntem, çok katı-sert kil ve kaya formasyonlarında getirmiş olduğu olumlu yanların etkin olmaması sebebi ile çok fazla tercih edilmemektedir.

**Tip-D:** Çoğunlukla katı-sert kıvamda olan killi zeminlerde tercih edilen ankraj kök bölgesinin tek veya çoklu çan şekline mekanik yöntem ile getirilerek uygulanan enjeksiyon yöntemidir. Tip-A yönteminde olduğu gibi enjeksiyon yer çekimi kuvveti etkisi ile delik içerisini doldurmaktadır. Çekme yükleri altında kök bölgesi ile zemin arasında oluşacak kayma gerilmeleri, direnç kuvvetinin temelini oluşturmaktadır. Bununla birlikte, kök bölgesinde verilen çan şeklindeki genişletmelerin sayısı veya aralıklarına göre kayma gerilmelerine ilave olarak uç taşıma direnci de dahil olmaktadır (Littlejohn,1980).



**Şekil 4.2 :** Kök bölgesinde uygulanan enjeksiyon yöntemine göre ankraj tipleri (Xanthakos P.P, 1991)

## 4.2 Farklı Zemin ve Kaya Formasyonlarında Ankraj Taşıma Gücü Hesap Yaklaşımları

Ankraj imalatı sırasında tercih edilen enjeksiyon yöntemi ile beraber taşıma gücüne etki eden en büyük unsurlardan biri, ankraj kök bölgesinin etkileşimde olduğu zemin veya kayanın özellikleridir. Farklı zemin ve kaya formasyonlarında imal edilen ankrajların taşıma gücü hesap yaklaşımları 3 ana başlık altında toplanabilir.

- Kohezyonsuz Zeminler (İri Daneli, %50 > #200 Elek)
- Kohezyonlu Zeminler (İnce Daneli, %50 < #200 Elek)
- Kaya Formasyonları

Bu bölümde incelenen hesap yaklaşımları, ankraj kök bölgesini oluşturan enjeksiyonun etkileşimde olduğu zemin/kaya özellikleri yanı sıra, "4.1" bölümünde bahsedilen enjeksiyon yöntemlerine bağlıdır.

### 4.2.1 Kohezyonsuz zeminlerde ankraj taşıma gücü

Enjeksiyon yöntemine göre Tip-B düşük basınçlı enjeksiyonlu öngermeli ankrajların kohezyonsuz zeminlerdeki maksimum çekme yükü kapasitesi basit bir şekilde denklem 4.4'te verildiği gibi hesaplanmaktadır (Littlejohn, 1980).

$$T_f = L n \tan \phi \quad (4.4)$$

$T_f$ : Ankraj kök taşıma gücü (Yük kapasitesi, sıyrılma kuvveti)

$\phi$ : Kayma mukavemeti açısı

$L$ : Kök boyu (Halat-enjeksiyon-zemin etkileşimin olduğu bölgenin boyu)

$n$ : 0.3 - 10 Bar basınçlı enjeksiyon kullanılarak imal edilen ankrajlarda, imalat tekniği, kök boyu çapı, derinlik, arazideki gerilmeler (efektif basınç) ve zeminin dilatasyon özelliğine göre değişen faktör

Zemin permeabilite değerinin (k)  $10^{-4}$  m/s büyük olan iri kum ve çakıllı zeminlerde 1.5-2.5 güvenlik sayıları kullanılarak 80 ton proje yüküne göre tasarlamak mümkündür. Denklem 4.4 içerisinde yer alan n değeri bu tip zeminlerde 40-60 ton/m arasında olup, ankraj kök çapı 400-610 mm arasında ve kök boyu 0.9 -3.7 m arasında değişen ankrajlara yapılan deney sonuçlarından elde edilmiştir. Bununla birlikte taşıma gücünü belirleyen parametrelerden n faktörü; kök bölgesinin üzerindeki

zemin tabakası kalınlığının 12.5-15.7 m olması durumuna göre belirlenmiştir (Littlejohn, 1970).

Zemin permeabilite değerin (k)  $10^{-4}$  -  $10^{-6}$  m/s arasında olan ince-orta boyutlu kumlar için 1.5 güvenlik sayısı kullanılarak 40 ton proje yüklerine göre tasarımının yapılması mümkündür. İnce-orta boyutlu kum tabakasının sahip olduğu düşük permeabilite değeri ile kök bölgesinde elde edilen çaplar 180-200 mm arasında değişmektedir. Bu tip zeminlerde imal edilecek ankrajların taşıma gücünün belirlenmesi için kullanılan denklem 4.4; kök bölgesi üzerindeki zemin tabakası kalınlığının 6.1-9.2 m ve kök boyunun 0.9-3.7 m arasında olması durumunda geçerlidir. İri kum ve çakıllı zeminlere göre taşıma gücünü etkileyen n faktörü değeri 13-16.5 ton/m arasında değişmektedir (Littlejohn, 1970).

Dane boyutları ve permeabilite oranları farklı kohezyonsuz zeminlerde imal edilen ankrajların kök taşıma gücü hesabı için kullanılan denklem(4.4), sahada gerçekleştirilen deneyler ve deneyimlere göre elde edilmiş olup, kullanım alanı belirli derinlikleri, ankraj kök boyları ve belirli çaplar için geçerli olduğundan dolayı genel olarak kullanmak uygun olmayacaktır. İlgili denklemi basit ancak ham bulan Littlejohn (1970);(1980), ankraj geometrisi, kök bölgesi üzerindeki zemin gerilmesi gibi parametrelere bağlı olarak ankraj taşıma gücünü hesaplayan daha kapsamlı denklem geliştirmiştir (4.5).

$$T_f = (A \sigma'_v \pi D L \tan \phi) + B \gamma h \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \quad (4.5)$$

$T_f$ : Ankraj kök taşıma gücü (Yük kapasitesi, sıyrılma kuvveti)

$\phi$ : Kayma mukavemeti açısı

$L$ : Kök boyu (Halat-enjeksiyon-zemin etkileşimin olduğu bölgenin boyu)

$A$ : Kök /zemin temas yüzeyine uygulanan enjeksiyon basıncının ortalama efektif toprak basıncına oranı

$B$ : Taşıma gücü faktörü

$\gamma$ : Zemin tabii birim hacim ağırlığı (Su seviyesi altındaki zeminler için su altındaki birim hacim ağırlığı)

$h$ : Ankraj kök bölgesi üst noktasına kadar olan zeminin derinliği

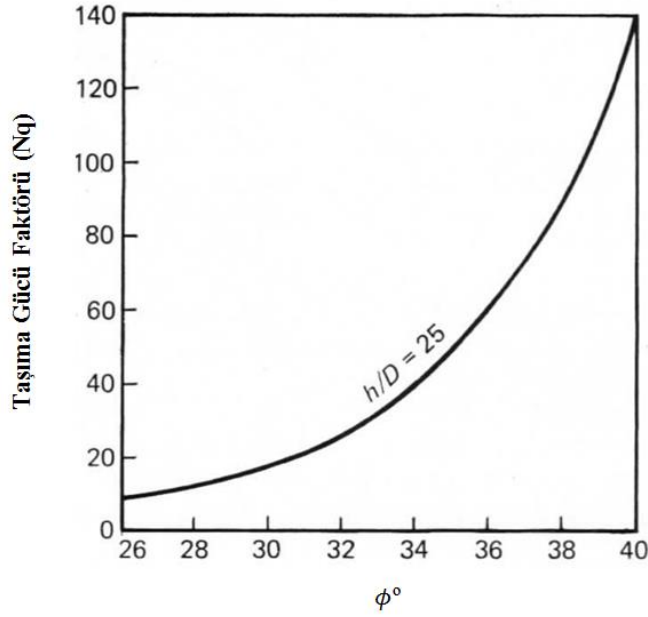
- $\sigma'_v$ : Kök bölgesinin yük aktardığı tabakaya etki eden ortalama efektif toprak basıncı (düşey ankrajlar için  $h+L/2$  olarak hesaplanır)
- $D$ : Kök bölgesinin etkin çap değeri
- $d$ : Kök bölgesi üzerindeki gövdenin etkin çap değeri (~delgi çapı)

Denklem 4.5; iki ana bileşenden oluşmaktadır. Birincisi, kök bölgesi ile zeminin sürtünme direncini temsil ederken, ikincisi kök bölgesinin rölatif olarak delgi çapına göre büyük çapa sahip olmasından dolayı oluşan uç direnci temsil etmektedir. Ancak, denklemde uç direncini temsil eden ikinci bileşen genellikle zemin ankrajları hakkında uzmanlığı olan kişi/firmalar tarafından ihmal edilmektedir. Littlejohn (1970), ankraj göçmelerinin gözlemlendiği kökte meydana gelen deplasmanların, uç direncin tamamı oluşabilmesi için gerekli deplasmanlara göre rölatif olarak çok küçük olmasından dolayı bu bileşenin ihmal edildiğini düşünmektedir.

Ankraj delgi çapından ( $d$ ) farklı olduğu düşünülen etkin kök gövde çapı değerine ( $D$ ) nadiren ulaşılabilsede, kohezyonsuz zeminlerin porozitesine göre tahmin edilebilmektedir. Delgi çapı 100-150 mm arasında değişen iri kum ve çakıllı zeminlerde imal edilen ankrajlar için ( $D$ ) değerinin delgi çapının 3-4 katı arasında, enjeksiyon nüfuz edemediği veya bölgesel kompaksiyon yapabildiği orta sıkı kumlarda 1.5-2 katı arasında değişebilmektedir. Çok sıkı kumlarda ise, 10 bar basınç değerine kadar uygulanan basınçlı enjeksiyon altında elde edilen etkin kök çapı değerinin delgi çapının 1.2-1.5 katına eşit olmuştur (Littlejohn,1980).

B değeri, kohezyonsuz zeminlerin kayma mukavemeti açısı ve narinlik oranına ( $h/D$ ) bağlı olarak hesaplanan taşıma gücü faktörü değerine ( $N_q$ ) bağlıdır.  $N_q$  narinlik oranının 25 olması durumunda kayma mukavemeti açısına göre değişimi şekil 4.3'te verilmiştir. Bununla birlikte, narinlik oranındaki değişimin aynı kayma mukavemeti açısına sahip zeminlerin taşıma gücü faktörü üzerindeki etkisi azdır (çizelge 4.1).

Denklem 4.5'te verilen B değeri; taşıma gücü faktörüne bağlı olarak  $N_q/B$  oranının 1.3-1.4 değerine eşit olduğu varsayımı yapılarak bulunmaktadır. Bu oran, vidalı kazıklar (Screw Piles) üzerinde gerçekleştirilen çekme-basınç yükleme deneyleri sonucuna göre eşit alan için hesaplanan taşıma gücü değerlerine göre belirlenmiştir (Littlejohn,1970).



**Şekil 4.3 :** Kayma mukavemeti açısına göre taşıma gücü faktörü;  $h/D=25$  (Littlejohn,1980)

**Çizelge 4.1 :** Narinlik-Nq değeri arasındaki ilişki (Littlejohn,1980)

| $\frac{h}{D}$ | $\phi$ |     |     |     |     | Nq |
|---------------|--------|-----|-----|-----|-----|----|
|               | 26°    | 30° | 34° | 37° | 40° |    |
| 15            | 11     | 20  | 43  | 75  | 143 | Nq |
| 20            | 9      | 19  | 41  | 74  | 140 |    |
| 25            | 8      | 18  | 40  | 73  | 139 |    |

Kohezyonsuz zeminlerde ankraj taşıma gücünü belirleyen bileşenlerden sürtünme direnci değeri için kullanılan A (denklem 4.5) katsayısı değeri 1-2 arasında olup, zeminin dane boyutları-dağılımı ve ankraj imalatı yöntemine göre değişmektedir. Zeminin yer değiştirmedeği veya sıkışmadığı durumlarda, A değeri sükunet toprak basıncı katsayısına ( $K_0$ ) düşürülebilir (Littlejohn, 1970). Sahada yapılan ankraj sıyırma testleri sonucunda, enjeksiyon yöntemi-B tipi (düşük basınçlı enjeksiyon) kullanılarak imal edilen ankrajlar için A katsayısının; sıkı çakıllı kum tabakası ( $\phi=40^\circ$ ) için 1.7, sıkı kumlar için ( $\phi=35^\circ$ ) için 1.4 olarak belirlenmiştir (Littlejohn, 1970).

Littlejohn tarafından geliştirilen denklem 4.5 içerisinde yer alan, çekme karşısında kök bölgesi etkin çapın farklı olmasından dolayı oluşan uç direnç bileşeni ihmal edilerek, ankraj taşıma gücü hesabı için yeni bir eşitlik geliştirilmiştir. Robinson (1969), tarafından orta sıkı-sıkı kumlu çakıllar için geliştirilen enjeksiyonlu çubuk tipi ankrajların taşıma gücü hesabı denklem 4.6'da verilmiştir.

$$T_f = K_1 \pi D L \sigma'_v \tan \phi \quad (4.6)$$

$T_f$ : Ankraj kök taşıma gücü (Yük kapasitesi, sıyrılma kuvveti)

$\phi$ : Kayma mukavemeti açısı

$L$ : Kök boyu (Halat-enjeksiyon-zemin etkileşimin olduğu bölgenin boyu)

$\sigma'_v$ : Kök bölgesinin yük aktardığı tabakaya etki eden ortalama efektif toprak basıncı

$D$ : Kök bölgesinin etkin çap değeri

$K_1$ : Basıncsız enjeksiyon (Tip-A) yöntemi ile imal edilen ankrajlar için toprak basıncı katsayısı (1.4-2.3 arasında değişmektedir), ince kum ve siltli zeminlerde rölatif sıkılığın yüksek veya düşük olmasına göre 1-0.5 değerleri arasındadır.

Denklem 4.6'da kullanılan kök bölgesi etkin çap değerine ( $D$ ) kolay ve kesin bir şekilde ulaşılamaması üzerine, ankraj taşıma gücü hesabında Moller ve Widing (1969) benzer bir eşitlik geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu eşitliğin (denklem 4.7) getirmiş olduğu farklar; taşıma gücü hesabında ankraj delgi çapının kullanılmasıdır.

$$T_f = K_2 \pi d L \sigma'_v \tan \phi \quad (4.7)$$

$d$ : Ankraj delgisi çapı

$K_2$ : Toprak basıncı katsayısı; İri silt ve ince kumlar ile birlikte kum ve çakıllı zeminlerde yapılan deneylere dayanarak, 3-6 bar enjeksiyon basıncı altında 4-9 değeri arasında değişmektedir.

Yukarıda verilen üç farklı denklemde kullanılan ve ankraj taşıma gücünde kök/zemin sürtünme direncini belirleyen " $A$ ,  $K_1$ ,  $K_2$ " katsayıları ankraj imalatı sırasında kullanılan enjeksiyonun kök çeperlerine uyguladığı basınç ile alakalıdır. Özellikle ince daneli zeminlerde uygulanan ankrajların enjeksiyonu sırasında, zemin temas

yüzeyi arasında filtre keki oluşmaktadır. Su geçişinin sadece izin verildiği filtre keki sayesinde enjeksiyon imalatı sırasında gerek yerçekimi gerek de kontrol mekanizmalı uygulanan basınç zemine aktarılmaktadır (Littlejohn, 1980). Kök-zemin temas yüzeyine etki eden bu basıncın ankraj taşıma gücüne etkisi olduğu kabulünden yola çıkılarak, bazı yükleniciler tarafından ankraj taşıma gücü aşağıda verilen denklem (denklem 4.8) kullanılmaktadır (Littlejohn, 1980). Ankraj imalatı sırasında uygulanan enjeksiyon basıncı ( $P_i$ ) doğrudan denkleme katılmıştır.

$$T_f = P_i \pi D L \tan \phi \quad (4.8)$$

Toğrol ve Sağlamer (1978), ankraj taşıma gücü hesabında imalat sırasında uygulanan enjeksiyon basıncının taşıma gücüne olan etkisini incelemiştir. İstanbul Küçükçekmece Göl yakınlarında kalınlığı 10 metre olan ince daneli kum zeminde imal edilmiş 12 adet ankrajın sıyrılma deneyi gerçekleştirilerek denklem 4.8'de hesaplanan taşıma gücü değerinin fazla olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Kesme kutusu deneyi sonuçlarına göre  $\phi = 40^\circ$  kayma mukavemeti açısına sahip olan ince daneli kum tabakası için ankraj taşıma gücü denklem 4.9'da verilen ifade ile hesaplanmıştır (Toğrol ve Sağlamer, 1978).

$$T_f = \frac{2 P_i}{3} \pi D L \tan \phi \quad (4.9)$$

Kohezyonsuz zeminlerde imal edilen ankrajların taşıma gücü hesabı için önerilen 4.9 numaralı denklem, 1-2 bar basınç altında kök bölgesi enjeksiyonlanmış ankrajları temsil etmektedir. Çelik çubuk eleman içeren ankrajlara uygulanmış saha deney sonuçları çizelge 4.2'de verilmiştir.

Kohezyonsuz zeminlerde imal edilen ankrajlarda uygulanan yüksek basınçlı enjeksiyonun kök-zemin temas yüzeyinde özellikle ince daneli kohezyonsuz zeminlerde rezidüel temas basıncı oluşturmaya ve bu basıncın bu noktada kalmasını sağlayacaktır. Bu tip zeminlerde ankraj taşıma gücü hesabı uygulanan enjeksiyon basıncına bağlı olacak şekilde yukarıda verilen denklemler kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Basset (1970), yüksek basınçlı imal edilen ankrajların taşıma gücü hesabı için basınç parametresinden bağımsız olmak üzere farklı bir formül kullanmaktadır (denklem 4.10). Granüler zeminlerde gerçekleştirilen saha

ölçümlerine göre ankrajın sıyrılması sırasında etkilenen zemin kütlesinin çapına bağlı olarak geliştirilen bu formül, Toğrol ve Sağlamer (1978) tarafından yeterli bulunmamıştır. Ankraj sıyrılması sırasında etkilenen zemin kütlesi yarıçapı (  $r_s$  ) denklem 4.11'de verilmiştir (Basset, 1970).

$$T_f = 3 (2 \pi \left( \frac{4}{3} r_{delgi} \right) \sigma'_{av} \tan \phi') L \quad (4.10)$$

$$r_s = \left( \frac{4}{3} r_{delgi} \right) \quad (4.11)$$

$r_{delgi}$ : Ankraj delgi yarı çapı

$\phi$ : Kayma mukavemeti açısı

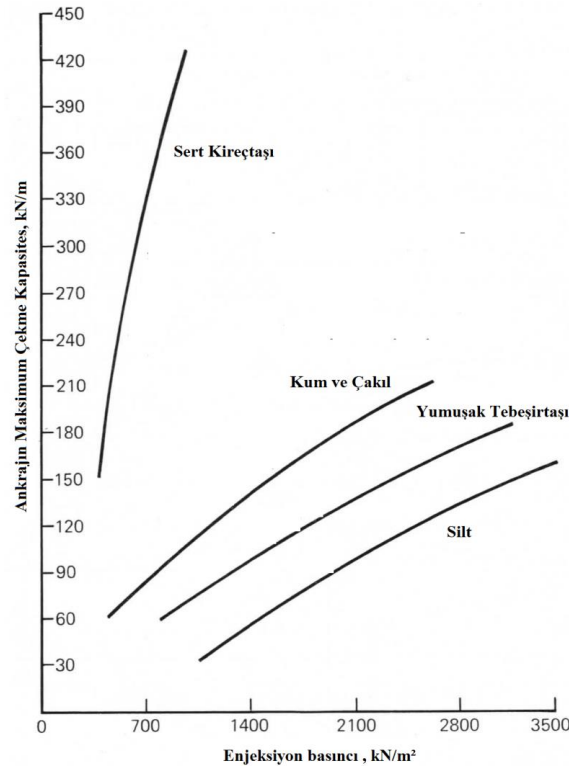
$L$ : Kök boyu (Halat-enjeksiyon-zemin etkileşimin olduğu bölgenin boyu)

$\sigma'_{av}$ : Ankraj kök bölgesine etki eden ortalama efektif düşey gerilme

**Çizelge 4.2** : İnce daneli kum zeminde yapılan saha deneyleri özeti  
(Toğrol ve Sağlamer,1978)

| Deney No | Ankraj Açısı (°) | Kök Boyu (m) | Maksimum Çekme Kapasitesi (Ton) | Deplasman (mm) | $\sigma'_{av}$ Ortalama Efektif Gerilme (ton/m <sup>2</sup> ) | $p_i$ Enjeksiyon Basıncı (ton/m <sup>2</sup> ) |
|----------|------------------|--------------|---------------------------------|----------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 1        | 28               | 9.0          | -                               | -              | 7.4                                                           | 10.0                                           |
| 2        | 29               | 9.2          | 21.0                            | 4.5            | 7.4                                                           | 10.0                                           |
| 3        | 30               | 9.0          | 19.8                            | 16.7           | 7.3                                                           | 10.0                                           |
| 4        | 29               | 9.0          | 13.2                            | 4.0            | 7.1                                                           | 10.0                                           |
| 5        | 29               | 9.1          | 19.8                            | 8.5            | 6.3                                                           | 10.0                                           |
| 6        | 29               | 9.0          | 26.5                            | 7.5            | 6.1                                                           | 10.0                                           |
| 7        | 29               | 9.0          | 17.6                            | 9.0            | 5.3                                                           | 10.0                                           |
| 8        | 29               | 8.1          | 26.5                            | 3.0            | 6.9                                                           | 15.0                                           |
| 9        | 29               | 8.0          | 24.2                            | 11.8           | 6.3                                                           | 15.0                                           |
| 10       | 29               | 7.5          | 22.5                            | 7.0            | 6.4                                                           | 18.0                                           |
| 11       | 90               | 7.6          | 26.5                            | 10.5           | 7.5                                                           | 20.0                                           |
| 12       | 90               | 9.2          | 39.5                            | -              | 8.7                                                           | 20.0                                           |

Littlejohn (1980), zeminin geçirirliiliğinin artmasıyla birlikte, uygulanan enjeksiyon basıncının büyük bir çoğunluğunun (kök-zemin çeperi) enjeksiyonun zemin içerisine yavaş bir şekilde nüfuz etmesi sebebi ile plastik sertleşme zamanı sırasında dağılmakta ve etkisini kaybetmektedir. Dolayısıyla ankraj taşıma gücü hesabında kullanılan enjeksiyon basınç etkisi göz ardı edilmektedir. Ankraj uygulamasında kullanılan enjeksiyonun kök bölgesini doldurması sırasında verilen basıncın özellikle kohezyonsuz zeminlerde etkisi göz önünde bulundurulmalıdır. Her ne kadar kaba daneli kohezyonsuz zeminlerde, kök-zemin temas yüzeyi üzerinde basınç etkisi kalmasa da, ilk uygulama aşamasında zeminin kolay bir şekilde sıkışması ve enjeksiyonun yayılması ile birlikte kök bölgesinde daha yüksek çaplar elde edilmektedir. Taşıma gücüne artışı da bu yöndedir. Jorge (1969) yapmış olduğu çalışmalar sonucunda, enjeksiyon basıncının 4 ana zemin tipine göre ankraj taşıma kapasitesinin 1 metredeki değerine etkisini incelemiştir (şekil 4.4). İnceleme sonucunda farklı zeminler için elde edilen ilişki, uygulama sırasında enjeksiyon basıncının 1000 kN/m<sup>2</sup> geçen Tip-C ankrajları için kullanıldığı belirtmiştir.

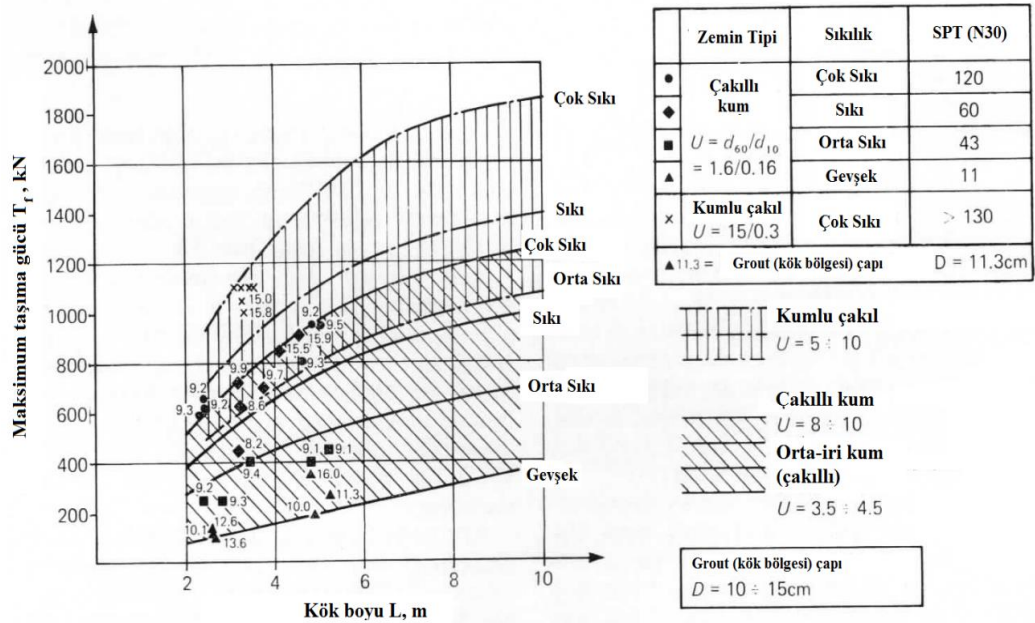


**Şekil 4.4 :** Farklı zemin sınıflarına göre enjeksiyon basıncının 1 metredeki ankraj taşıma gücüne etki ilişkisi (Jorge,1969)

Enjeksiyon basıncının ankraj taşıma gücüne etkisine bakıldığında, özellikle Tip-C metodu ile imal edilen ankrajların taşıma gücü hesabının, sahada elde edilen

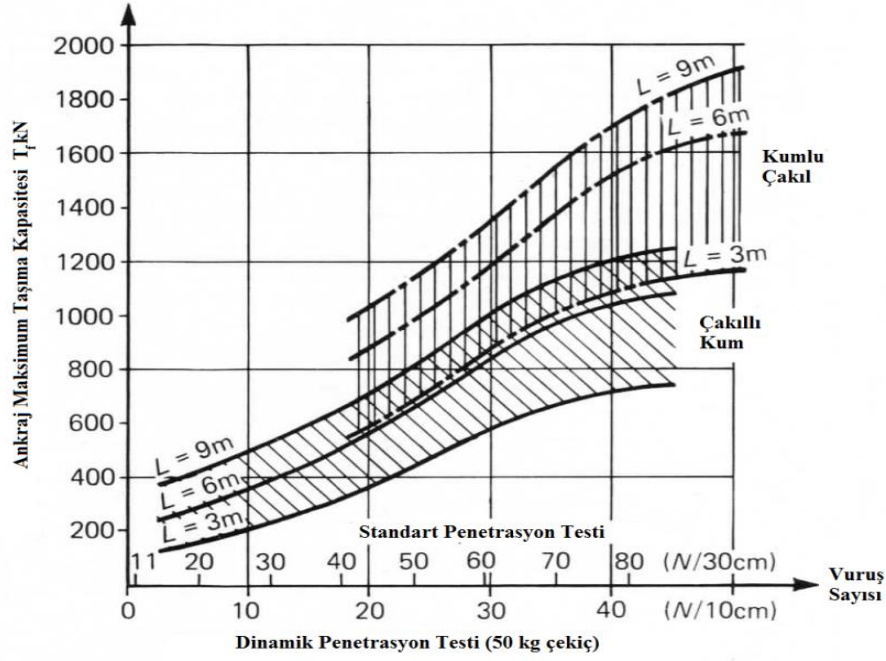
tecrübelere ve deneyimlere dayanarak oluşturulan tasarım eğrileri (şekil 4.4) baz alınarak yapılmasının, zemin mekanik özelliklerinin kullanıldığı teorik veya amprik formüllere göre yapılmasından daha güvenilir olmuştur (Littlejohn, 1980).

Kohezyonsuz zeminlerde imal edilen ankrajların taşıma gücü ile ilgili Almanya'da yapılan deneyler sonucunda, Tip-C yöntemi ile imal edilen ankrajların farklı sıklık ve üniformluk katsayısı özelliğine bağlı olarak taşıma gücü değişimi incelenmiştir (Ostermayer, 1974-1978). Zeminin bu iki özelliğinin ankraj taşıma gücüne olan etkisi ile karşılaştırıldığında, uygulama sırasında verilen enjeksiyon basıncının (5 bar-50bar) taşıma gücüne etkisinin çok az olduğu görülmüştür. Bu duruma karşı olarak Fransızlar (Jorge, 1969), enjeksiyon basıncının kök taşıma gücüne dikkate değer bir etkide bulunduğunu söylemektedir (şekil 4.4). Almanya'da gerçekleştirilen deneyler sonucunda sıklık ve üniformluk katsayısının ankraj kök taşıma gücü ile olan ilişkisi şekil 4.5'te verilmiştir.



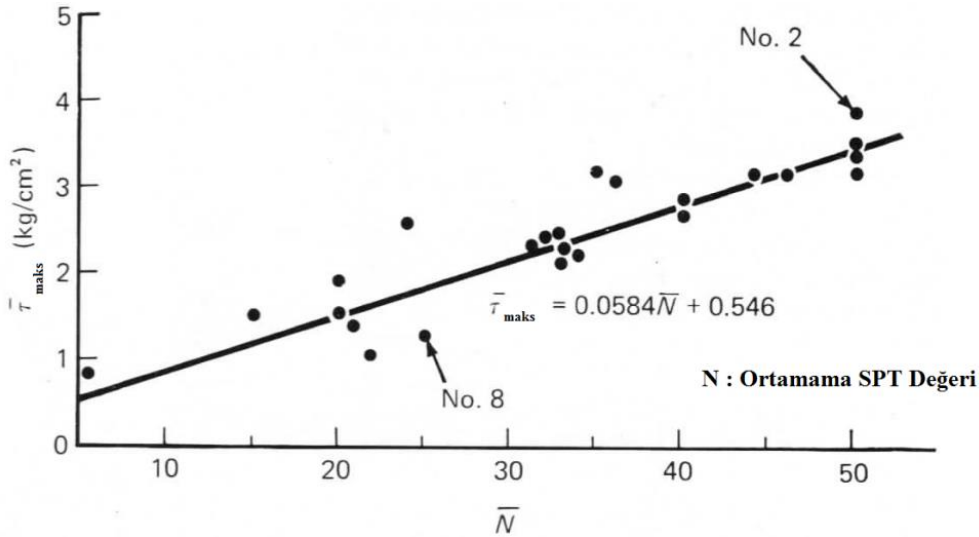
**Şekil 4.5 :** Kohezyonsuz zeminlerde, sıklık ve üniformluk katsayısının kök boyu ile birlikte ankraj taşıma gücüne olan etkisi (Ostermayer, 1978)

Kohezyonsuz zeminlerin sıklığını tespit etmek için sahada gerçekleştirilen penetrometre testleri sonuçlarına göre ankraj taşıma gücünü farklı zemin tiplerine göre tahmin Takribi olmak üzere, Standart ve Dinamik Penetrasyon testlerine bağlı tahmin edilen taşıma gücü değerleri şekil 4.6'da verilmiştir.



**Şekil 4.6 :** Farklı iki kohezyonsuz zeminlerde kök boyu-penetrasyon testleri / ankraj taşıma kapasitesi (Littlejohn,1980)

Arazide gerçekleştirilen Standart Penetrasyon Deneyi sonuçlarına bağlı olarak Fujita ve diğerleri (1978), ankraj kök bölgesi-zemin ara yüzeyinde oluşabilecek maksimum sürtünme direncini ilişkilendirmiştir (şekil 4.7).



**Şekil 4.7 :** Maksimum sürtünme direnci-ortalama SPT değerleri arasındaki ilişki (Fujita ve diğerleri, 1978)

Batı Almanya-Hannover'de gerçekleştirilen test ankrajlarının değerlendirilmesine dayanarak, "Lineer Çoklu Regresyon Analizi" yöntemine göre oluşturulan kompleks eşitlik (denklem 4.11) kullanılarak kohezyonsuz zeminlerde taşıma gücü doğru bir şekilde hesaplanmıştır (Kramer, 1978).

$$T_f = a_o + a_1 \pi D L + a_2 D_5 + a_3 D_6 + a_4 D_7 + a_5 D_8 + a_6 k + a_7 \tau \quad (4.11)$$

$a_i$ : Regresyon sabitleri

$D$ : Efektif kök çapı (cm)

$L$ : Kök boyu (m)

$D_5$ : % Dane oranı < 0.2 mm

$D_6$ : 0.2 mm < % Dane oranı < 0.6 mm

$D_7$ : 0.6 mm < % Dane oranı < 2.0 mm

$D_8$ : % Dane oranı < 2.0 mm

$k$ : Permeabilite katsayısı (cm/sn)

$\tau$ : Kök ile zemin arasındaki maksimum sürtünme direnci, kN/m<sup>2</sup> **(denklem 4.12)**

$$\tau = \frac{2 - \sin \phi'}{2} \gamma h_m \tan \phi' \quad (4.12)$$

$\phi'$ : Daneler arası kayma mukavemeti açısı

$h_m$ : Ankraj kök bölgesinin orta noktasına göre zemin derinliği (m)

$\gamma$ : Zemin birim hacim ağırlığı (kN / m<sup>3</sup>)

Enjeksiyon yöntemi açısından Tip-C sınıfına giren ankrajlar için geçerli olan 4.11 denklemi belirli bir gradasyon eğrisine sahip zeminler için geçerlidir. Denklemden yer alan zemin özellikleri ve ankraj geometrisi özelliklerinin kullanılabilir sınır aralıkları regresyon katsayıları ile birlikte Çizelge 4.3 üzerinde gösterilmiştir.

Kohezyonsuz zeminlerde farklı araştırmacılar tarafından geliştirilmiş ankraj taşıma gücü hesabı denklemleri, ankrajların zemine yük aktarımı sırasında kök boyunca eşit gerilme oluşumu olduğu varsayımına dayanmaktadır.

Ankrajların sıyrılması anında kök bölgesinde oluşan gerilme dağılımı ile ilgili çalışmalar yapılarak ölçümler alınmıştır. Farklı sıklığa sahip zeminlerde gerçekleştirilen ve kök boyları 2-4.5 metre arasında değişen zemin ankrajlarının sıyrılma anında kök bölgelerinde meydana gelen ve kayıtlı edilen gerilme dağılımı (şekil 4.8) incelenmiştir (Ostermayer ve Scheele, 1978). Yapılan bu incelemelere

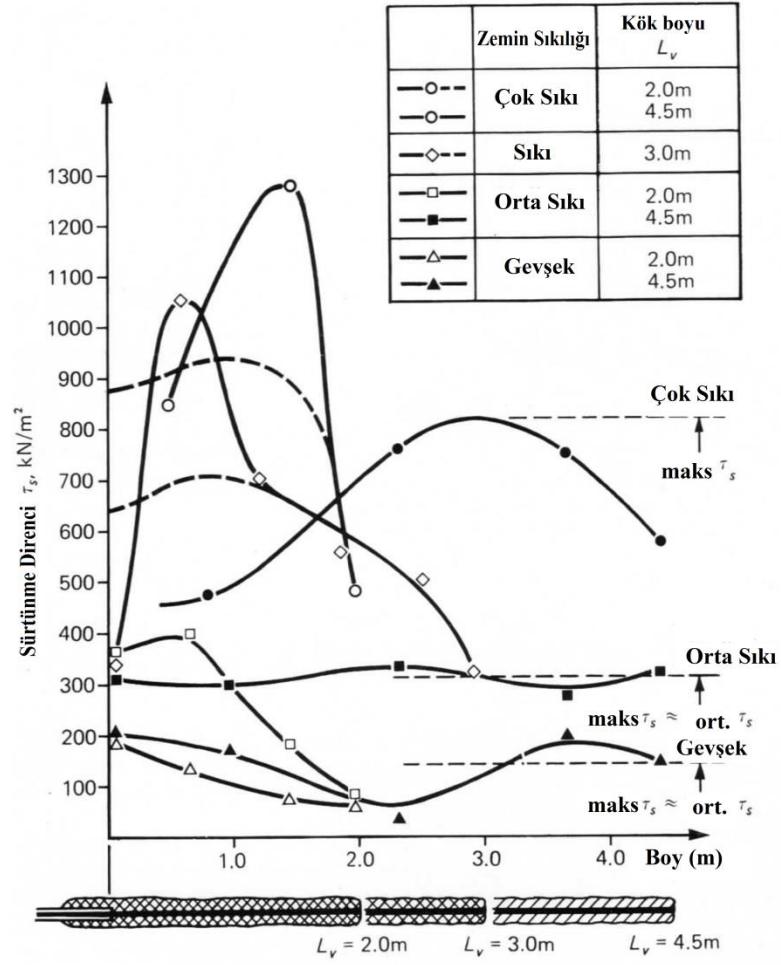
göre, zemin sıklılığının artması ile birlikte kök bölgesinde oluşan gerilmenin kök boyunca eşit dağılımdan uzaklaştığı görülmektedir.

Ayrıca bu araştırmalara göre, gevşek-orta sıkı çakıllı kumlarda 4.5 metre uzunluğundaki kök boyunca oluşan gerilmelerin az çok sabit olduğu görülmektedir. Sıkı ve çok sıkı kumlu zeminlerde imal edilen ankrajlarda ise, gerilmelerin eşit olmadığı ve maksimum gerilmenin rölatif olarak belirli bir bölgede etkin olduğu sonucu çıkmıştır.

Şekil 4.8'de gösterildiği gibi sıkı-çok sıkı çakıllı kum zeminlerde kök-zemin temas yüzeyinde oluşan maksimum gerilmenin tepe yaptığı noktanın ankrajın yükün artmasıyla beraber bu tepenin kök boyunca kaydığı gözükmemektedir (Littlejohn, 1980). Sonuç olarak, kohezyonsuz zeminlerin sıklılığı arttıkça kök bölgesinde oluşan kayma gerilme eş dağılımdan uzaklaşmaktadır. Buna ilave olarak, çok sıkı-sıkı kohezyonsuz zeminlerde ankraj kökü-zemin arasında sıyrılma anında oluşan kayma gerilmelerin kök boyunun belirli bir kısmında oluşmaktadır.

**Çizelge 4.3 :** Lineer regresyon analize (Kramer, 1978) dayanarak oluşturulan ankraj taşıma gücü hesabı parametre sınır değerleri ve regresyon katsayıları

| Regresyon Katsayıları |          | Zemin Özellikleri ve Ankraj Geometrisi Sınır Değerleri |                             |                            |
|-----------------------|----------|--------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| $a_n$                 | Değer    | Parametre                                              | Minimum                     | Maksimum                   |
| $a_0$                 | -2679.36 | $\pi D L$                                              | 0.98 m <sup>2</sup>         | 3.61 m <sup>2</sup>        |
| $a_1$                 | 34.12    | D                                                      | 7.40 cm                     | 11.50 cm                   |
| $a_2$                 | 29.20    | L                                                      | 4.10 m                      | 15.00 m                    |
| $a_3$                 | 30.94    | $D_5$                                                  | % 0                         | % 86                       |
| $a_4$                 | 20.63    | $D_6$                                                  | % 10                        | % 78                       |
| $a_5$                 | 31.92    | $D_7$                                                  | % 0                         | %17                        |
| $a_6$                 | -2051.48 | $D_8$                                                  | % 0                         | %77                        |
| $a_7$                 | 9.73     | k                                                      | 0.122 10 <sup>-2</sup> cm/s | 25.2 10 <sup>-2</sup> cm/s |
|                       |          | $\tau$                                                 | 31.7 kN/m <sup>2</sup>      | 95.6 kN/m <sup>2</sup>     |

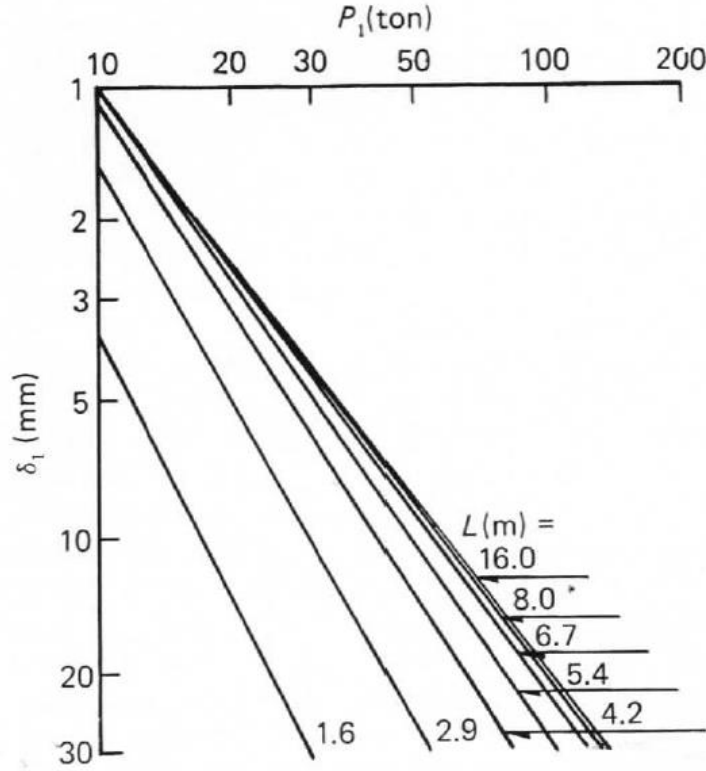


**Şekil 4.8 :** Ankraj sıyrılma yükü anında oluşan kök boyuna ve zemin sıklılığına bağlı sürtünme direnci dağılımı (Littlejohn,1980)

Tip-C yöntemi ile imal edilen ankrajlar için gerçekleştirilen bu araştırmalar, Washington Eyaletinde benzer zemin özelliklerinde uygulanan ankraj deneyleri ile doğrulanmıştır (Littlejohn, 1980). Schields ve diğerleri (1978); basınçlı enjeksiyon yöntemi ile imal edilen ankrajlara uygulanan deneyler sırasında, ankraj kök bölgesi / zemin temas yüzeylerinde yüksek yüklerin etkin olması için kökün 2-3 mm yer değiştirmesi gerektiğini tespit etmiştir.

Kohezyonsuz zeminlerde imal edilen ankrajların sıyrılma anında, zemin-kök bölgeleri arasında oluşan kayma gerilmelerin dağılımına bakıldığında, kök boyunda gerçekleşen artışların belirli bir limitten sonra taşıma gücüne çok etki etmediği araştırılmıştır. Kohezyonsuz zeminlerde ankraj taşıma gücü hesabı için verilen teorik hesapların aksine, taşıma gücü artış oranlarının kök boyunun artması ile birlikte azaldığı yapılan deneyler ile doğrulanmıştır (Ostermayer, 1974). Buna ilave olarak, Fujita ve diğerleri (1978)  $N_{SPT} = 50$  değerine sahip sıkı kohezyonsuz zeminlerde

ankraj kök taşıma gücünün boydaki meydana gelen artışlarla olan ilişkisini incelemiştir. Yapılan incelemelerin sonuçlarında ortaya çıkan grafiğe (şekil 4.9) göre kök boyunun 6.7 metreden fazla olması ankraj taşıma gücüne etkisinin az olacağı yönünde olmuştur.



**Şekil 4.9 :** Ankraj kök boyunun yük (P)-yer değiştirme (δ) ilişkisine olan etkisi (Fujita ve diğerleri,1978)

#### 4.2.2 Kohezyonlu zeminlerde ankraj taşıma gücü

Enjeksiyon uygulama yöntemlerinden A-tipi (tiremi metodu) kullanılarak imal edilen ankrajların kohezyonlu zeminlerdeki taşıma gücü hesabını Littlejohn (1980), denklem 4.13'te verilen formülü kullanarak hesaplamıştır.

$$T_f = \pi D L \alpha c_u \quad (4.13)$$

$D$ : Kök bölgesi etkin çapı

$c_u$ : Kök bölgesi boyunca zeminin ortalama drenajsız kayma mukavemeti

$\alpha$ : Adezyon Faktörü

Kohezyonlu zeminlerdeki ankraj taşıma gücü hesabı için kullanılan adezyon faktörü ( $\alpha$ ), drenajsız kayma mukavemeti değeri ( $c_u$ ) 90 kN/m<sup>2</sup>'den yüksek olan Londra Kili için 0.3-0.35 değerleri arasında kullanılmaktadır (Littlejohn, 1968).

Farklı tip ve kıvama sahip olan kohezyonlu zeminlerde Tip-A yöntemi kullanılarak imal edilen ankrajların taşıma gücü tespit edilerek, adezyon faktörü değerlerinin bulunması ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Littlejohn vb. bir çok araştırmacı tarafından incelenmiş, kohezyonlu zeminlerin özelliklerine bağlı olarak adezyon faktörü değerleri Çizelge 4.4'te verilmiştir.

**Çizelge 4.4 :** Farklı kohezyonlu zeminlerde ankraj taşıma gücü hesabında kullanılan adezyon faktörü değerleri

| Zemin Tanımı | Bölge                      | Zemin Özelliği                                      | Adezyon Faktörü ( $\alpha$ ) | Kaynak                        |
|--------------|----------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Kil          | Londra, İngiltere          | Katı, $c_u > 90$ kN/m <sup>2</sup>                  | 0.30-0.35                    | Littlejohn (1968)             |
| Kil          | Taranta, Güney İtalya      | Aşırı Konsolide-Katı, $c_u = 270$ kN/m <sup>2</sup> | 0.28-0.36                    | Sapio (1975)                  |
| Keuper Marn  | Leicester, İngiltere       | Katı-Çok Katı, $c_u = 287-570$ kN/m <sup>2</sup>    | 0.48-0.60 (0.45 önerilen)    | Littlejohn (1970)             |
| Killi Silt   | Johannesburg, Güney Afrika | Orta Katı, $c_u = 90$ kN/m <sup>2</sup>             | 0.45                         | Neely & Montague-Jones (1974) |

Kohezyonlu zeminlerde yerinde dökme kazıkların (fore kazık) sürtünme direnci hesabında da kullanılan adezyon faktörü değeri, zeminin drenajsız mukavemet değeri ve zemin efektif düşey basınç gerilmesine bağlı olarak denklem 4.14-15'te verilmiştir (Det Norkse Veritas, 2005).

$$\alpha = 0.5 \left( \frac{c_u}{p'_o} \right)^{-0.5} \quad (c_u/p'_o < 1.0) \quad (4.14)$$

$$\alpha = 0.5 \left( \frac{c_u}{p'_o} \right)^{-0.25} \quad (c_u/p'_o > 1.0) \quad (4.15)$$

$\alpha$ : Adezyon Faktörü

$c_u$ : Zeminin Ortalama Drenajsız Kayma Mukavemeti

$p'_o$ : Zemin Efektif Düşey Basınç Gerilmesi

Kohezyonlu zeminlerde Tip-A yöntemi kullanılarak imal edilen ankrajların taşıma gücü genellikle düşük çıkması üzerine taşıma gücünün arttırılması için bir çok farklı yöntem denenmiştir. Ankraj taşıma gücünü arttırmaya yönelik en başarılı yöntem, kazık uygulamasından esinlenerek geliştirilmiş Tip-D olmuştur (Littlejohn,1980). Hindistan-Roorkee şehrinde yer alan Merkez Araştırma Enstitüsü Binasında, kazıkların tekli-çift-çoklu genişletilmesinin geliştirilmesi ile ilgili araştırmalar yapılmıştır. Yapılan araştırmaların içeriğinde;

- Maksimum taşıma gücünün tahmin edilmesi için eşitliklerin geliştirilmesi
- Genişletilmiş kazıkların basınç ve çekme anında benzer davranış göstermesinin doğrulanması
- Genişletme aralıkları/çap oranının 1.25-1.50'de iyileştirilmesi

yer almaktadır (Mohan ve diğerleri, 1969). Kazıkların genişletilmesi hakkında yapılan öncü çalışmalara ilave olarak, yumuşak şeyl çok katı kil zeminde Amerika'da inşa edilen istinat duvarlarının ankrajları olarak tekli genişletme yapılmış çekme kazıkları kullanılmıştır (Jones ve Kerkhoff,1961). 1966 yılı Güney Afrika-Durban şehrinde, 75 mm gövde (delgi) çapına sahip ankrajın kök bölgesinde 250 mm genişletme yapılarak killi zeminde 4 metrelik kök boyu ile 340 kN güvenli servis yüküne ulaşılmıştır (Parry-Davies, 1966). İngiltere'de 1967 yılından sonra katı kil ve marn tabakalarında yüksek taşıma kapasitesine sahip çoklu genişletme uygulanan ankrajların taşıma gücü hesabı denklem 4.16'da verilmiştir (Littlejohn,1970).

$$T_f = \pi D L c_u^{(1)} + \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) N_c c_u^{(2)} + \pi d l c_a^{(3)} \quad (4.16)$$

Denklem 4.16'yı oluşturan ve numaralandırılmış bileşenler sırasıyla, çevresel sürtünme direnci, uç direnci ve adezyon kuvvetini temsil etmektedir. İngiltere-Lambeth bölgesinde Londra Kili ( $c_u = 136-168 \text{ kN/m}^2$ ) içerisinde çoklu genişletme yöntemi kullanılarak ispatlanmış 4.16 denklemini oluşturan bileşenlerin açıklamaları ve değerleri aşağıda verilmiştir.

$D$ : Genişletme çapı ; 350-400 mm (2.5-3d)

$d$ : Gövde çapı ; 130-150mm

$L$ : Ankraj kök boyu ; 3.1-7.6m

$l$ : Gövde boyu ; 1.5-3.0m (kök üzerinde delgi çapına eşit bölge)

$c_a$ : Gövde adezyonu ; 0.3-0.35 $c_u$

$N_c$ : Taşıma gücü faktörü; 9 (Londra kili üzerinde uygulanan fore kazıklar üzerinden)

Tip-D yöntemi kullanılarak imal edilen ankrajların sahada uygulanmış deney sonuçlarının yetersizliği sebebi ile, imalat sırasında zeminin örselenmesi ve yumuşaması sonucuna bağlı olarak çevresel sürtünme direnci ve uç direnci bileşenlerinde 0.75-0.95 arasında azaltma faktörü kullanılır. İçerisinde açık veya kum dolu ince çatlak bulunduran killi zeminlerde, azaltma faktörü olarak 0.5 kullanılması önerilmektedir (Littlejohn,1980).

Kohezyonlu zeminlerde yüksek taşıma kapasitesine ulaşıldığı Tip-D ankrajlarının kök bölgesindeki silindirik yüzey boyunca sıyrılmanın oluşması için genişletme bölgeleri arasındaki izin verilebilir maksimum aralık ( $\delta l$ ) denklem 4.17 kullanılarak tahmin edilmektedir.

$$\delta l < \frac{D^2 - d^2}{4D} N_c \quad (4.17)$$

Littlejohn'un (1970) geliştirmiş olduğu Tip-D yöntemi kullanılarak imal edilen ankrajların taşıma gücü formülüne ilave olarak yine aynı yıllarda, Bassett (1970) Londra kili ( $c_u = 54-72$  kN/m<sup>2</sup>) içerisinde uygulanan Tip-D ankrajı için bağımız benzer bir denklem geliştirmiştir. Kök bölgesinde mekanik olarak genişletme yapılan ankrajın taşıma gücü denklemi 4.18'de verilmiştir.

$$T_f = \pi D L f_u c_u + \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) (N_c c_{u\text{end}} + \sigma'_E) + \pi d l f_s c_{u\text{shaft}} \quad (4.18)$$

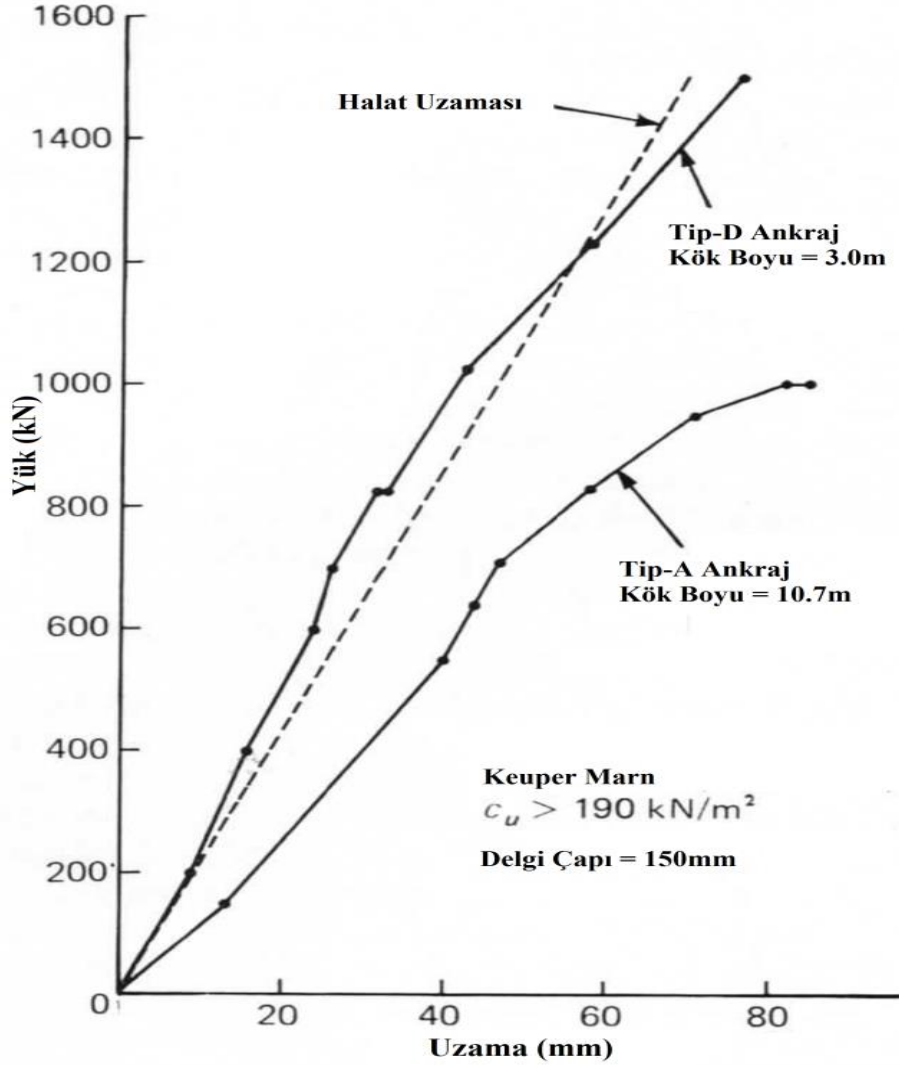
$f_u$ : 0.75-0.95 (sürtünme direnci faktörü)

$f_s$ : 0.3-0.6 (gövde adezyonu faktörü)

$N_c$ : 6.5 (6-13 arası veya daha fazla)

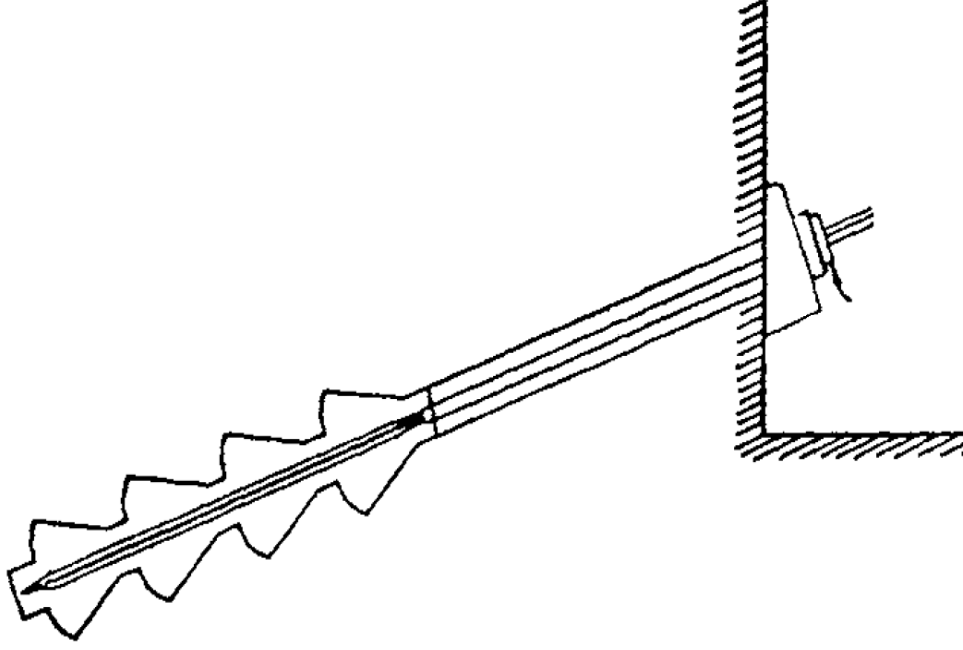
$\sigma'_E$ : Genişletme yapılan noktaların üzerindeki efektif düşey gerilme

Wroth (1975), Tip-D yöntemi kullanılarak katı-çok katı-sert kıvamlı kohezyonlu zeminlerde imal edilen ankrajların Tip-A yöntemine göre imal edilen ankrajlara göre taşıma gücü açısından getirmiş olduğu olumlu yanı şekil 4.10'da açıkça göstermiştir.



**Şekil 4.10 :** Aynı zeminde imal edilen Tip-D ve Tip-A ankrajlarının yük-uzama ilişkilerinin karşılaştırılması (Wroth, 1975)

Kohezyonlu zeminlerde uygulanarak yüksek taşıma kapasitesine ulaşılmasını sağlayan kök bölgesi genişletilen ankrajlar, beraberinde imalat açısından olumsuz yanlarda getirmektedir. Littlejohn (1980), drenajsız mukavemet değeri ( $c_u$ ) 90 kPa'dan yüksek kohezyonlu zeminlerde uygulanmasının mümkün olduğunu ancak, imalat sırasında kök boyuna verilen geometriden dolayı lokal çökmeler veya genişletme bölgeleri arasında kırılmalar yaşanma olasılığının özellikle 50-60 kPa kayma dayanımı olan zeminlerde yüksek olduğunu, 50 kPa altındaki zeminlerde ise pratik olarak mümkün olmadığı belirtilmiştir (şekil-4.11).



**Şekil 4.11 :** Kök bölgesi genişletilmiş ankraj (Xanthakos, 1991)

Yüksek basınçlı ard enjeksiyon kullanılarak imal edilen ankrajların kohezyonlu zeminlerde taşıma gücü üzerinde etkisi bulunmaktadır. İmalatı tamamlanan ankrajların içerisinde bırakılan özel borular sayesinde, tek veya çoklu yüksek basınçlı enjeksiyon ile kök bölgesi çevresini iyileştirmektedir. Orta-yüksek plastisiteye sahip killerde, uygulanan ard enjeksiyon basıncının imalat sırasında kullanılan çimento miktarı ile birlikte çevresel sürtünme direncine olan etkisi şekil 4.12'de verilen grafik üzerinde gösterilmiştir (Ostermayer, 1974). 19 adet deney ankrajından elde edilen sonuçlar; uygulanan ard enjeksiyon basıncı değerinin 30 bar'a kadar sabit bir şekilde çevre sürtünme direncinde artış sağladığı gözükmemektedir.

Kramer (1978), aynı kohezyonsuz zeminlerde olduğu gibi kohezyonlu zeminlerde imal edilen Tip-C ankrajlarının taşıma gücü hesabını da "Lineer-Çoklu Regresyon" yöntemine göre denklem 4.19'da yapmaktadır.

$$T_f = a_o + a_1 \pi D L + a_2 D_1 + a_3 D_2 + a_4 D_3 + a_5 D_4 + a_6 I_c + a_7 \tau_c \quad (4.19)$$

$a_i$ : Regresyon katsayıları

$D$ : Efektif kök çapı (cm)

$L$ : Kök boyu (m)

$D_1$ : % Dane oranı < 0.006 mm

$D_2$ : 0.006 mm < % Dane oranı < 0.02 mm

$D_3$ : 0.02 mm < % Dane oranı < 0.06 mm

$D_4$ : % Dane oranı > 0.06 mm

$I_c$ : Kıvam İndisi

$$\tau_c = \frac{\gamma h_m \tan \phi'}{\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha (1 + 2 \tan^2 \phi') + 2 \sin \alpha \sin \alpha} + c' \cos^2 \phi \quad (4.20)$$

$\alpha$ : Ankraj eğiminin açısı

$c'$ : Kök bölgesi çevresindeki zeminin kohezyon değeri

$\phi'$ : Kök bölgesi çevresindeki zeminin kayma mukavemeti açısı değeri

$h_m$ : Kök bölgesinin üzerindeki zeminin yüksekliği

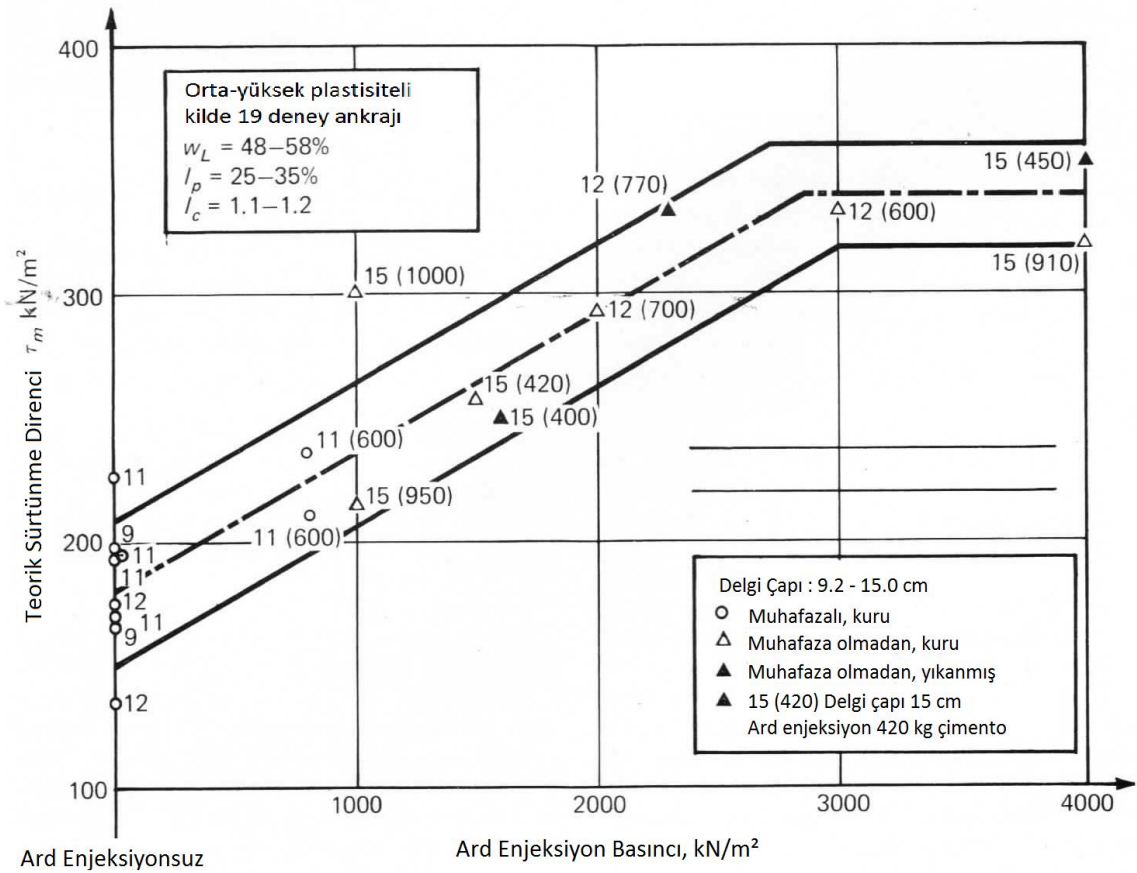
$\gamma$ : Kök bölgesi çevresindeki zeminin doğal birim hacim ağırlığı

Kramer'in (1978), 0.98 korelasyon katsayısı ile ankraj taşıma gücünü hesapladığı denklem içerisinde kullanılan regresyon sabitleri ve denklemini oluşturan parametrelerin sınır değerleri Çizelge 4.5'te verilmiştir.

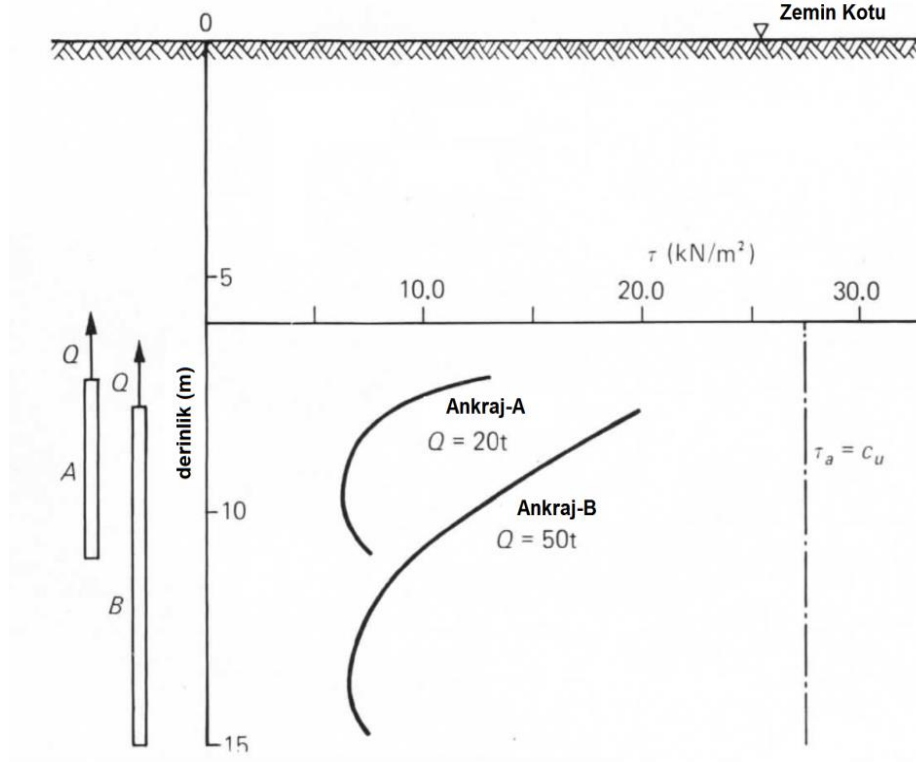
Kohezyonlu zeminlerde, ard enjeksiyonun ve fiziksel özelliklerin ankraj kök bölgesi-zemin temas yüzeyinde oluşan maksimum sürtünme direncine olan etkisi geniş kapsamlı incelenmiştir. Ostermayer (1974) tarafından çok sayıda sahada uygulanmış ankraj deney sonuçları kullanılarak gerçekleştirilen bu inceleme şekil 4.13'de verilen grafikler üzerinde gösterilmiştir. Delgi çapı 80-160 mm arasında değişen kohezyonlu zeminlerde imal edilen ankrajların tasarımında kılavuzluk yapabilecek bu incelemeye göre, sürtünme direncinin zemin kıvamının katılığa doğru geçmesi ve plastisitesinin düşmesi ile arttığı görülmektedir. Aynı grafikler üzerinde, ard enjeksiyon uygulamasının orta-yüksek plastisiteli katı killerde imal edilen ankrajların sürtünme direncinde büyük bir artış getirdiğinin yanısıra, çok katı killi zeminlerde de artış gösterdiği görülmektedir (Littlejohn,1970).

**Çizelge 4.5 :** Lineer regresyon analize (Kramer, 1978) dayanarak oluşturulan ankraj taşıma gücü hesabı parametre sınır değerleri ve regresyon katsayıları

| Regresyon Katsayıları |        | Zemin Özellikleri ve Ankraj Geometrisi Sınır Değerleri |                        |                         |
|-----------------------|--------|--------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------|
| $a_n$                 | Değer  | Parametre                                              | Minimum                | Maksimum                |
| $a_0$                 | 721.51 | $\pi D L$                                              | 0.98 m <sup>2</sup>    | 6.48 m <sup>2</sup>     |
| $a_1$                 | 71.84  | D                                                      | 6.50 cm                | 16.80 cm                |
| $a_2$                 | -9.81  | L                                                      | 4.10 m                 | 15.00 m                 |
| $a_3$                 | -1.99  | $D_1$                                                  | % 20                   | % 76                    |
| $a_4$                 | -21.22 | $D_2$                                                  | % 12                   | % 27                    |
| $a_5$                 | 10.34  | $D_3$                                                  | % 4                    | % 27                    |
| $a_6$                 | 95.15  | $D_4$                                                  | % 2                    | % 34                    |
| $a_7$                 | 2.56   | $I_c$                                                  | 0.84                   | 1.35                    |
|                       |        | $\tau_c$                                               | 50.7 kN/m <sup>2</sup> | 165.3 kN/m <sup>2</sup> |







**Şekil 4.14 :** Ankraj sıyrılma anında kök boyunca ölçülen kayma gerilmeleri (Sapio, 1975)

#### 4.2.3 Kaya formasyonlarında ankraj taşıma gücü

İnşaat ve Geoteknik mühendisliği dünyasında, zemin ankrajlarının ilk kez uygulandığı kaya formasyonları için ankraj taşıma gücü basit bir denklem ile ifade edilmiştir. Enjeksiyon yöntemlerine göre 4 farklı grubunda uygulanabilir olmasına rağmen, kaya formasyonlarında Tip-A enjeksiyon yöntemi ile imal edilen ankraj uygulamaları diğerlerine göre daha yaygındır (Littlejohn,1980).

Öngermeli ankrajların çekme yükü altında kayada oluşturacağı kayma gerilmelerinin kök bölgesi boyunca eşit olduğu varsayımına dayanan taşıma gücü hesabı için basit bir denklem yazılmıştır (4.4).

(4.4)

$T_f$ : Ankraj kök taşıma gücü (Yük kapasitesi, sıyrılma kuvveti)

$D$ : Ankraj kök bölgesinin çapı (delgi çapı)

$L$ : Kök boyu (Halat-enjeksiyon-kaya etkileşiminin olduğu bölgenin boyu)

$\tau_{mak}$ : Kaya/enjeksiyonu temas yüzeyinde oluşan maksimum sürtünme direnci

Fransa, İtalya, İngiltere, Amerika gibi bir çok ülkede kullanımı yaygın olan taşıma gücü hesabının dayanmış olduğu 5 ana kabul bulunmaktadır (Littlejohn, 1980).

1. Ankraj kök bölgesinden kaya formasyonuna yük aktarımı, kök boyunca ve tüm çevresinde eşit yayılan gerilme şeklinde gerçekleşir.
2. Ankraj delgi ve kök bölgesini oluşturan enjeksiyonun çapı eşittir.
3. Göçme, kaya/enjeksiyon etkileşiminin olduğu yüzeyin kayması veya kaya/enjeksiyon etkileşiminin olduğu yüzeye yakın daha zayıf bölgenin kesilmesi şeklinde olur.
4. Göçme olması beklenen yüzey boyunca, herhangi bir süreksizlik veya zayıf bir düzlem bulunmamaktadır.
5. Kaya/enjeksiyon temas yüzeyi boyunca lokal sıyrılma yaşanmamaktadır.

Kaya/enjeksiyon temas yüzeyinde izin verilebilir (proje) maksimum sürtünme direncinin, arazide etkin olan kaya kütlelerini temsil eden numuneler üzerinde gerçekleştirilen kesme dayanımı testleri sonuçlarının düzeltilmiş (güvenlik sayısı ile bölünmüş) değerlerini geçmemesi önerilmektedir. Güvenlik sayı değeri olarak 2 ve üzeri dikkate alınan bu yaklaşım, darbeli-rotari delgi yönteminin kullanıldığı ve UCS değeri 7 MPa ve düşük olan yumuşak kaya formasyonları için uygulanmaktadır. Laboratuvar deneyleri veya sahada gerçekleştirilen sıyrılma deneylerinin eksikliği ve yeterli veri olmaması durumunda, kaya/enjeksiyon temas yüzeyinde oluşacak maksimum sürtünme direnci değerlerinin kaya kütlelerinin UCS değeri ile ilişkisini ampirik bir bağıntı ile açıklanmıştır (4.5).

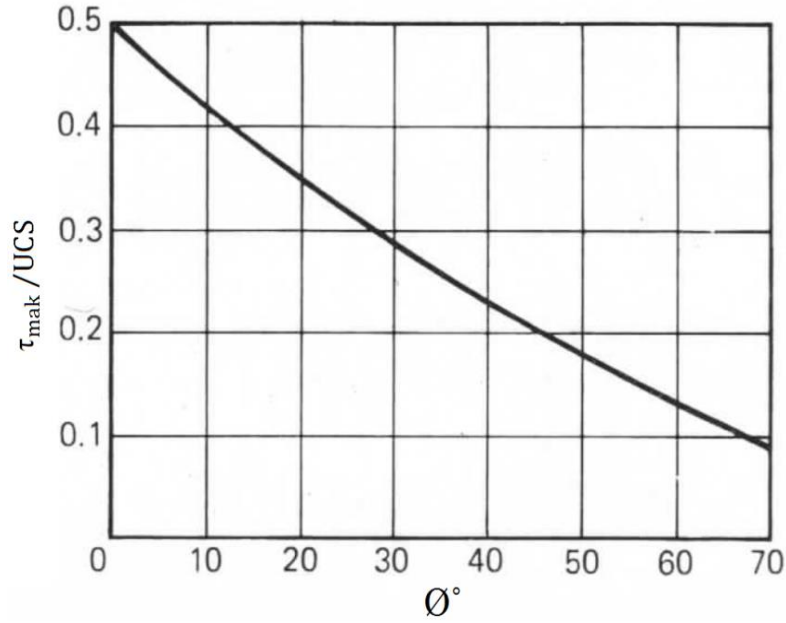
**(4.5)**

$\tau_{mak}$  : Kaya/enjeksiyonu temas yüzeyinde oluşan maksimum sürtünme direnci

$UCS$  : Kaya Kütlelerinin Serbest Basınç Dayanımı

Yukarıda verilen denklemde kullanılan %10 katsayısı, arazide karot alımının %100'ü sağladığı kaya formasyonlarında geçerli olmakla beraber, kaya kütlelerinin mekanik

yapısına göre bu katsayı değişmektedir. Littlejohn (1980), kayma mukavemeti açısına göre değişen bu katsayıyı grafik üzerinde göstermiştir (şekil 4.3).



**Şekil 4.15 :** Ayrışmış kaya formasyonlarında içsel sürtünme açısı -  $\tau_{mak} / UCS$  oranı ilişkisi grafiği (Littlejohn, 1980)

Littlejohn (1980), "Design Estimation of the Ultimate Load-Holding Capacity of Ground Anchors" adlı teknik dokümanın içerisinde, volkanik-başkalaşmış-tortul kayalar için kaya/enjeksiyon temas yüzeyindeki sürtünme direnci ile ilgili farklı çalışmalar sonrasında elde edilen önerileri tablo halinde özetlemiştir (çizelge 4.1). İlgili tablo içerisinde farklı kaya çeşitlerine göre, maksimum sürtünme direnci, proje sürtünme direnci ve güvenlik sayıları yer almaktadır.

Ayrışmış kaya formasyonlarında gerçekleştirilen standart penetrasyon testi (SPT) değerlerinden yola çıkılarak kaya/enjeksiyon temas yüzeyinde oluşan maksimum sürtünme direnci değeri hesaplanmaktadır. Japonya'da ayrışmış granit içerisinde yapılacak ankrajın SPT değerleri kullanılarak hesaplanan maksimum sürtünme direnci değerinin hesabı için aşağıdaki denklem kullanılmıştır (Littlejohn, 1980). SPT değeri kullanılarak ayrışmış kaya formasyonlarına hesaplanan sürtünme değerinin bir başka örneği de çizelge 4.1 bölümünde tebeşir taşı için verilmiştir.

$$\tau_{mak} = 0.007N + 0.12 \quad (4.6)$$

$\tau_{mak}$  : Kaya/enjeksiyonu temas yüzeyinde oluşan maksimum sürtünme direnci  
(N/mm<sup>2</sup>)

$N$  : SPT-30 Değeri (30 cm penetrasyon için gerekli vuruş sayısı)

Kaya formasyonlarda yapılan çimento enjeksiyonlu öngermeli ankrajların minimum kök boyları ve kök boyu aralığı ile ilgili bir çok mühendis çalışma yapmış ve önerilerde bulunmuştur. Dünyanın farklı yerlerinde yapılan uygulamalar ve önerilere göre belirlenen kök boyu kıstasları çizelge 4.7 de verilmiştir (Littlejohn,1980). Kaya formasyonlarında imal edilen ankrajların tasarımı sırasında kullanılan yüksek güvenlik sayılarına rağmen, çizelge 4.8'de belirtilen minimum kök boyu değeri altında olan kök boyları da genellikle yeterlidir. Ancak, kök boyu üzerinde etkin olan kayanın kalitesinde yaşanabilecek ani değişimler yada imalat sebebi ile yaşanabilecek hatalar, kaya formasyonunda beklenen ankraj taşıma kapasitelerinde ciddi düşüslere yol açabilmektedir. Bu sebepten dolayı, kaya formasyonlarında imal edilen ankrajların kök boyu çizelge 4.8'de de belirtildiği gibi minimum 3.0 metre olması önerilmektedir (Littlejohn,1980).

**Çizelge 4.7 : Çimento enjeksiyonlu kaya ankrajları için uygulamada yapılmış/önerilen kök boyu değerleri (Littlejohn,1980)**

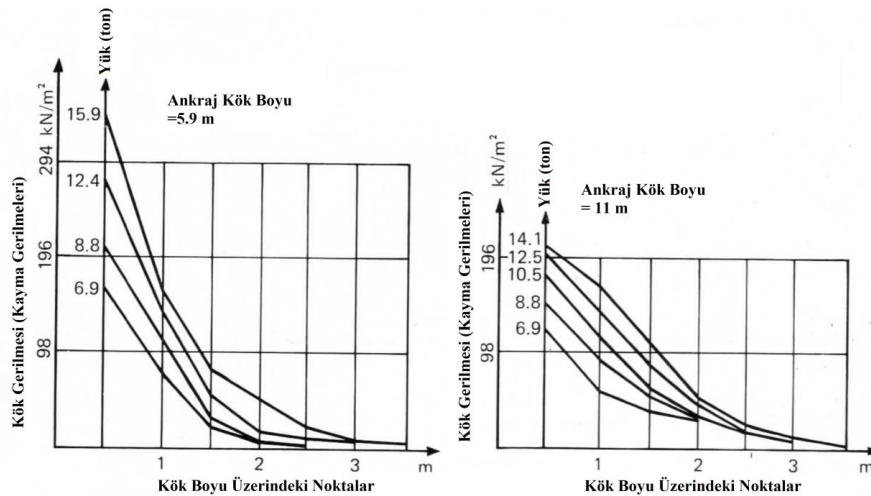
| Ankraj Kök Boyu (metre) |          |                                                |
|-------------------------|----------|------------------------------------------------|
| Minimum                 | Aralık   | Kaynak                                         |
| 3                       |          | İsveç-Nordin (1966)                            |
| 3                       |          | İtalya-Berardi (1967)                          |
| 3                       | 4.0-6.5  | Kanada-Hanna&Seaton (1967)                     |
|                         | 3.0-10.0 | İngiltere-Littlejohn (1972)                    |
|                         | 3.0-10.0 | Fransa-Fenoux ve diğerleri (1972)              |
|                         | 3.0-8.0  | İtalya-Conti (1972)                            |
| 4.0 (çok sert kaya)     |          | Güney Afrika-Code of Practice (1972)           |
| 6.0 (yumuşak kaya)      |          | Güney Afrika-Code of Practice (1972)           |
| 5                       |          | Fransa-Bureau Securitas (1972)                 |
| 5                       |          | ABD-White (1973)                               |
| 3                       | 3.0-6.0  | Almanya-Stocker (1973)                         |
| 3                       |          | İtalya-Mascardi (1973)                         |
| 3                       |          | İngiltere-Universal Anchorage Co. Ltd. (1972)  |
| 3                       |          | İngiltere-Ground Anchors Ltd. (1974)           |
| 3.5 (tebeşir taşı)      |          | İngiltere-Associated Tunnelling Co Ltd. (1973) |

**Çizelge 4.8 : Farklı kaya çeşitlerine göre tasarım için önerilen kaya/enjeksiyon sürtünme direnci değerleri (Littlejohn,1980)**

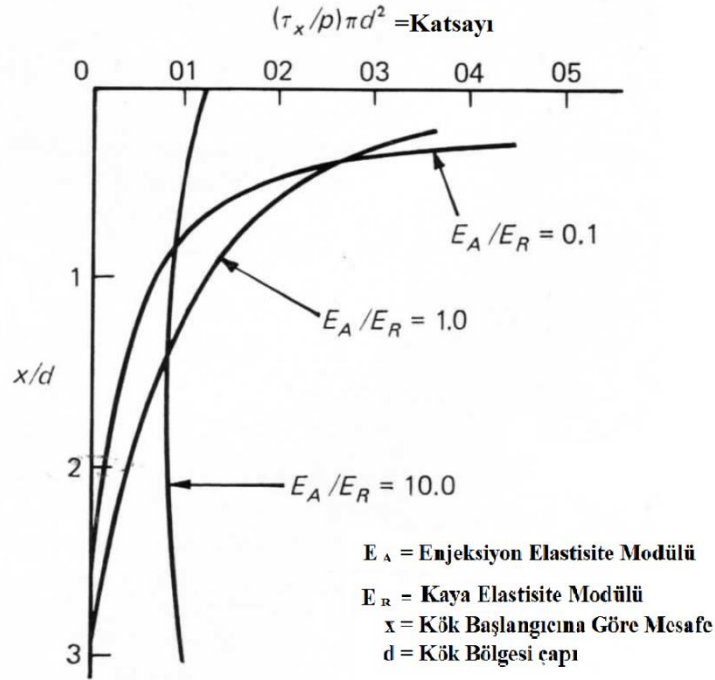
| Kaya-Enjeksiyon Sürtünme Direnci                     |                           |                                     |                                  |                                      |
|------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| Kaya Tipi                                            | İzin Verilebilir (MPa)    | Maksimum (MPa)                      | G.S.                             | Kaynak                               |
| <b>Volkanik</b>                                      |                           |                                     |                                  |                                      |
| Orta Sertlikte Bazalt                                |                           | 5.73                                | 3.0-4.0                          | Hindistan - Rao (1964)               |
| Ayrışmış Granit                                      |                           | 1.50-2.50                           | -                                | Japonya - Suzuki ve diğerleri (1972) |
| Bazalt                                               | 1.21-1.38                 | 3.86                                | 2.8-3.2                          | İngiltere-Wycliffe,Jones (1974)      |
| Granit                                               | 1.38-1.55                 | 4.83                                | 3.1-3.5                          | İngiltere-Wycliffe,Jones (1974)      |
| Yılantaşı (Serpantin)                                | 0.45-0.59                 | 1.55                                | 2.6-3.5                          | İngiltere-Wycliffe,Jones (1974)      |
| Granit-Bazalt                                        |                           | 1.72-3.10                           | 1.5-2.5                          | ABD-PCI (1974)                       |
| <b>Başkalaşmış</b>                                   |                           |                                     |                                  |                                      |
| Manhattan Şisti                                      | 0.70                      | 2.8                                 | 4.0                              | ABD-White (1973)                     |
| Killi Şist/ Şeyl                                     |                           | 0.83-1.38                           | 1.5-2.5                          | ABD-PCI (1974)                       |
| <b>Kalkerli Tortullar</b>                            |                           |                                     |                                  |                                      |
| Kireçtaşı                                            | 1.0                       | 2.83                                | 2.8                              | İsviçre-Losinger (1966)              |
| Tebeşirtaşı (I-III Derece) (N=SPT vuruş sayısı/0.3m) | 0.005N                    | 0.22-1.07<br>0.01N                  | 2.0 (Geçici)<br>3.0-4.0 (Kalıcı) | İngiltere-Littlejohn (1970)          |
| Tersiyer Yaşlı Kireçtaşı                             | 0.83-0.97                 | 2.76                                | 2.9-3.3                          | İngiltere-Wycliffe,Jones (1974)      |
| Tebeşir Kireçtaşı                                    | 0.86-1.00                 | 2.76                                | 2.8-3.2                          | İngiltere-Wycliffe,Jones (1974)      |
| Yumuşak Kireçtaşı                                    |                           | 1.03-1.52                           | 1.5-2.5                          | ABD-PCI (1974)                       |
| Dolomitik Kireçtaşı                                  |                           | 1.38-2.07                           | 1.5-2.5                          | ABD-PCI (1974)                       |
| <b>Kumlu Tortullar</b>                               |                           |                                     |                                  |                                      |
| İri Daneli Sert Kumtaşı                              | 2.45                      |                                     | 1.75                             | Kanada-Coates (1970)                 |
| Ayrışmış Kumtaşı                                     |                           | 0.69-0.85                           | 3.0                              | Yeni Zelanda-Irwin (1971)            |
| İyi Çimentolaşmış Çamurtaşı                          |                           | 0.69                                | 2.0-2.5                          | Yeni Zelanda-Irwin (1971)            |
| Kaba Dairesel Çakıllı Kumtaşı                        | 0.4                       |                                     | 3.0                              | İngiltere-Littlejohn (1970)          |
| Kaba Dairesel Çakıllı Kumtaşı (UCS > 2.0 MPa)        | 0.6                       |                                     | 3.0                              | İngiltere-Littlejohn (1970)          |
| İnce Daneli Sert Kumtaşı                             | 0.69-0.83                 | 2.24                                | 2.7-3.3                          | İngiltere-Wycliffe,Jones (1974)      |
| Kumtaşı                                              |                           | 0.83-1.73                           | 1.5-2.5                          | ABD-PCI (1974)                       |
| <b>Killi Tortullar</b>                               |                           |                                     |                                  |                                      |
| Keuper Marn                                          |                           | 0.17-0.25<br>(0.45 c <sub>u</sub> ) | 3.0                              | İngiltere-Littlejohn (1970)          |
| Zayıf Şeyl                                           |                           | 0.35                                |                                  | Kanada-Golder Brawner (1973)         |
| Yumuşak Kumtaşı & Şeyl                               | 0.10-0.14                 | 0.37                                | 2.7-3.7                          | İngiltere-Wycliffe,Jones (1974)      |
| Yumuşak Şeyl                                         |                           | 0.21-0.83                           | 1.5-2.5                          | ABD-PCI (1974)                       |
| <b>Genel</b>                                         |                           |                                     |                                  |                                      |
| Dayanımlı-Sert Kaya (UCS > 20 MPa)                   | UCS/30<br>(maks. 1.4 MPa) | UCS/10<br>(maks. 4.2 MPa)           | 3.0                              | İngiltere-Littlejohn (1972)          |
| Zayıf Kaya                                           | 0.35-0.70                 |                                     |                                  | Avustralya-Koch (1972)               |
| Orta Sertlikte Kaya                                  | 0.70-1.05                 |                                     |                                  |                                      |
| Sert Kaya                                            | 1.05-1.40                 |                                     |                                  |                                      |
| Çeşitli Volkanik-Başkalaşım Kayaları                 | 1.05                      |                                     | 2.0                              | Avustralya-CA35 Standardı (1973)     |
| Çeşitli Kaya Tipleri                                 | 0.98                      |                                     |                                  | Fransa-Fargeot (1972)                |
|                                                      | 0.5                       |                                     |                                  | İsviçre-Walther (1959)               |
|                                                      | 0.7                       |                                     |                                  | İsviçre-Comte (1965)                 |
|                                                      |                           | 1.20-1.50                           |                                  | İsviçre-Comte (1971)                 |
|                                                      | 0.7                       |                                     | 2.0-2.5 (Geçici)<br>3.0 (Kalıcı) | İtalya-Mascardi (1973)               |
|                                                      | 0.69                      | 2.76                                | 4.0                              | Kanada-Golder Brawner (1973)         |
|                                                      | 1.4                       | 4.2                                 | 3.0                              | ABD-White (1973)                     |
|                                                      |                           | %15-20 Enjeksiyon Basınç Dayanımı   | 3.0                              | Avustralya-Longworth (1971)          |
| Beton                                                |                           | 1.38-2.76                           | 1.5-2.5                          | ABD-PCI (1974)                       |

Kaya formasyonlarda uygulanan öngermeli ankrajların kök bölgesinde oluşan kayma gerilmelerinin dağılımı ile ilgili İtalya'da çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalar neticesinde, çekme yükü altında ankraj kök bölgesi etrafında oluşan kayma gerilmelerin dağılımının kök boyundan bağımsız olduğu belirlenmiştir. Çalışmalar sonucunda kök boyunca oluşan kayma gerilmeleri dağılımının, ankraj delgi çapı ve kök bölgesinin yük aktardığı kaya özelliğine bağlı olduğu anlaşılmıştır (Littlejohn, 1980). Delgi çapı 120 mm olan, kök boyları sırasıyla 5.9 ve 11 metre olan marn içerikli kireçtaşı biriminde imal edilen iki adet ankrajın kök bölgesi ile kaya formasyonu arasında oluşan kayma gerilmelerin dağılımı incelenmiştir. Kök bölgesine yerleştirilen Strain-Gauge (Birim Deformasyon Ölçer) aracılığı ile kayıt altına alınan yük ve gerilmelerin kök boyu üzerindeki dağılımları grafik üzerinde gösterilmiştir (Şekil 4.16). Grafikler üzerinden, kök boyundan bağımsız bir şekilde ankrajın maruz kalacağı çekme yükünün büyüklüğüne göre kaya formasyonuna kayma gerilmeleri aktaran bölgenin boyu değişmektedir. Kök boyları farklı olan iki ankrajın mertebe olarak yakın çekme yükleri altında kayma gerilmesi oluşan bölge boylarının yaklaşık olarak eşit olduğu görülmektedir.

Kanadalı araştırmacılar tarafından, ankraj kök bölgesini oluşturan çimento enjeksiyonlu malzemenin elastisite modülü ve kaya formasyonun elastisite modülü oranlarına göre kök bölgesindeki yük dağılımının değişkenlik göstereceğini ileri sürmüşler ve bu oranlara göre yük dağılımını grafik (şekil 4.17) üzerinde özetlemişlerdir (Littlejohn,1980).



**Şekil 4.16 :** Ayrışmış kaya formasyonlarında kayma mukavemeti açısı -  $\tau_{\text{mak}}$  / UCS oranı ilişkisi grafiği (Littlejohn, 1980)



**Şekil 4.17 :** Kaya/enjeksiyon temas yüzeyinde oluşan kayma gerilmelerin derinlik ve farklı elastisite modülleri oranına göre değişimi (Littlejohn,1980)

#### 4.3 Ankraj taşıma gücü hesabında kullanılan güvenlik sayıları

Littlejohn (1980), zemin ankrajlarında meydana gelebilecek göçmelerin 4 farklı şekilde olacağını açıklamıştır:

- Zemin kütleğinde meydana gelen göçme
- Zemin-Enjeksiyon arasında meydana gelen göçme
- Enjeksiyon-Çelik Eleman (Çubuk-Tel-Halat) arasında meydana gelen göçme
- Çelik Eleman veya Ankraj Kafasında meydana gelen göçme

Zemin ankrajlarının tasarımı, yukarıda belirtilen her bir göçme durumu için uygun güvenlik sayıları kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Güvenlik sayılarının belirlenmesinde, ankraj ve ankrajın oluşturan sistemin kalıcı veya geçici olması, sistemde meydana gelecek göçmelerin vereceği potansiyel hasarlar vb. parametreler dikkate alınmaktadır. Littlejohn (1979), ankrajı oluşturan tendon (çubuk, tel veya halat) ve ankraj kafasının tasarımı sırasında önerdiği minimum güvenlik sayılarını bu parametrelere göre ayırmıştır (Çizelge 4.9).

**Çizelge 4.9 :** Ankraj tasarımı (tendon ve ankraj kafası) için önerilen güvenlik sayıları (Littlejohn,1979)

| Ankraj Sınıfı                                                                                                                                                                                                                                               | Minimum Güvenlik Sayısı | İspat Yüğü Çarpanı |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------|
| Kullanım süresi 6 aydan az olan, göçmesinin çok ciddi sonuçlar doğurmayacağı ve toplum güvenliğini tehlikeye atmayacağı durumdaki geçici ankrajlar (örnek;kısa süreli kazık testleri)                                                                       | 1.4                     | 1.1                |
| Kullanım süresi 2 yıla kadar çıkan, göçmesinin oldukça ciddi sonuçlara yol açmasına rağmen toplum güvenliğini tehlikeye atmayacak durumdaki geçici ankrajlar (örnek;istinat duvarlarında kullanılan ankrajlar)                                              | 1.6                     | 1.25               |
| Bütün kalıcı ankrajlar, yüksek şekilde zararlı çevre şartlarında kullanılan veya göçmesinin sonuçlarının ciddi olacak geçici ankrajlar (örnek;Süspansiyon tipi köprülerin ana kabloları veya ağır yapısal elemanların kaldırılmasında kullanılan elemanlar) | 2.0                     | 1.5                |

Littlejohn (1980), ankraj kök bölgesinde yük aktarımını sırasında enjeksiyon ile zemin temas yüzeyinde oluşan kayma gerilmelerin güvenli bir şekilde zemin tarafından taşınması için farklı zemin tipleri veya kaya formasyonlarına göre hesaplanan ankraj taşıma gücü (kök taşıma gücü) değerlerine güvenlik sayısı uygulanır. İzin verilebilir ankraj taşıma gücü hesabı için genellikle 2-4 arasında güvenlik sayısı kullanılırken, ankrajın imal edildiği zeminin kalitesine göre güvenlik sayısı değeri değişkenlik göstermektedir (Littlejohn, 1980). Ankrajın maruz kaldığı yük altında göstereceği deplasmanların büyük olması veya sabit yük altında kök bölgesinin deplasman göstermesi (sünme olayı) gibi durumlar yüksek güvenlik sayılarının kullanılmasını gerektirmektedir.

Servis süresi 2 yıldan daha az olan ve killi zeminlerde imal edilen geçici ankrajların izin verilebilir yükleri için 2-2.5 güvenlik sayıları, kalıcı ankrajlar için 3-3.5 güvenlik sayıları kullanılabilmektedir (Littlejohn,1980).

SIA 191-1977 İsviçre Normu, zemin ankrajlarının güvenli taşıma gücü hesabı için kullanılan güvenlik sayılarını; ankraj göçmesinin vermiş olduğu etki ile ankrajın geçici-kalıcı olup olmaması durumunu dikkate alarak önermiştir (Çizelge 4.10).

**Çizelge 4.10 :** Ankraj tasarımı için İsviçre Normu tarafından önerilen güvenlik sayıları (SIA 191-1977)

| Risk Derecesi                                                                                                        | Geçici Ankrajlar |                 | Kalıcı Ankrajlar |                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|
|                                                                                                                      | Ankraj Sınıfı    | Güvenlik Sayısı | Ankraj Sınıfı    | Güvenlik Sayısı |
| Göçmesinin birkaç ciddi sonuçlar doğuracağı, kamu güvenliğini ve düzeni için tehlike oluşturmayacak ankrajlar        | 1                | 1.3             | 4                | 1.6             |
| Göçmesinin oldukça ciddi sonuçlar doğuracağı, ancak kamu güvenliğini ve düzeni için tehlike oluşturmayacak ankrajlar | 2                | 1.5             | 5                | 1.8             |
| Göçmesinin ciddi sonuçlar doğuracağı, kamu güvenliğini ve düzeni için tehlike oluşturacak ankrajlar                  | 3                | 1.8             | 6                | 2.0             |

PTI (Ard Germe Enstitüsü), 2004 yılında güncellemiş olduğu öngermeli zemin ve kaya ankrajları için öneriler içerisinde; kalıcı ankrajların kök tasarımı için minimum 2.0 güvenlik sayısının kullanılmasını tavsiye etmektedir. İlgili doküman içerisinde geçici ankrajların kök tasarımında kullanılacak güvenlik sayısı verilmemiştir. PTI (2004), sünme potansiyeli olan zeminlerde imal edilen ankrajların kök bölgesinde oluşacak ortalama gerilmelerin düşürmek için, güvenlik sayılarının artırılması gerektiğini açıklamıştır. Zemin veya kaya ankrajlarının kullanım süresi boyunca taşıyacağı güvenli yükün belirlenmesi için kullanılan güvenlik sayılarını net bir şekilde açıklamamıştır. İngiliz Zemin Ankrajı Standardı (BS8081:1989), ankrajların tasarımında kullanılması gereken minimum güvenlik sayılarını ankraj sınıfına ve tasarımı yapılan bileşenin tipine göre ayırmıştır (çizelge 4.11).

**Çizelge 4.11 :** DIN 4125:1990'a göre izin verilebilir ankraj yükleri için farklı kriterler ve önerilen güvenlik sayıları

| Maksimum Yük                                     | Güvenlik Sayısı | İzin Verilebilir Ankraj Yüğü |
|--------------------------------------------------|-----------------|------------------------------|
| $T_y$ ; Çelik elemanın ispatlanmış akma dayanımı | 1.75            | $T_y/1.75$                   |
| $T_f$ ; Ankraj kök taşıma gücü                   | 1.75            | $T_f/1.75$                   |
| $T_k$ ; Sünme kriteri için sınır kuvveti         | 1.5             | $T_k/1.50$                   |

**Çizelge 4.12 : Ankraj tasarımı için İngiliz Standardında geçen güvenlik sayıları (BS8081:1989)**

| Ankraj Sınıfı                                                                                                                                                                                                                                        | Minimum Güvenlik Sayısı |                   |                                                                                     | İspat Yüğü Çarpanı |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                      | Çelik Eleman            | Enjeksiyon/ Zemin | Enjeksiyon/Çelik Eleman veya Enjeksiyon İç Muhafaza Elemanı Arasındaki Temas Yüzeyi |                    |
| Kullanım süresi 6 aydan az olan, göçmesinin çok ciddi sonuçlar doğurmayacağı ve toplum güvenliğini tehlikeye atmayacağı durumdaki geçici ankrajlar (örnek;kısa süreli kazık testleri)                                                                | 1.40                    | 2.0               | 2.0                                                                                 | 1.1                |
| Kullanım süresi 2 yıla kadar çıkan, göçmesinin oldukça ciddi sonuçlara yol açmasına rağmen toplum güvenliğini tehlikeye atmayacak durumdaki geçici ankrajlar (örnek;istinat duvarlarında kullanılan ankrajlar)                                       | 1.6                     | 2.5*              | 2.5*                                                                                | 1.25               |
| Bütün kalıcı ankrajlar, yüksek şekilde korozyon riski olan ortamlarda veya göçmesinin ciddi sonuçlar doğuracak geçici ankrajlar (örnek;Süspansiyon tipi köprülerin ana kabloları veya ağır yapısal elemanların kaldırılmasında kullanılan elemanlar) | 2.0                     | 3.0 <sup>†</sup>  | 3.0 <sup>†</sup>                                                                    | 1.5                |

\*Sahada tam ölçüde deney sağlandığı durumda 2.0 olarak kullanılabilir.

† Sünme potansiyeli olan zeminlerde 4.0'e çıkartılabilir

DIN 4125:1990 Alman Normu, zemin ankrajlarının izin verilebilir yüklerini çizelge 4.12'de hesabı vermiş olduğu üç kriterin en küçüğü ile sınırlandırılmasını önermektedir.

Çizelge 4.12'de verilen ankraj kök taşıma gücü ( $T_f$ ), zemin tipine göre değişmek üzere teorik formüller kullanılarak hesaplandığı gibi sahada yapılan germe deneyleri sonucunda da belirlemek mümkündür. Sünme kriteri için sınır kuvveti, zemin ankrajına standart kapsamında belirtilmiş yöntemle göre uygulanan deney sırasında; sünme oranının (  $K_\Delta$  ) 2 mm değerini aştığı kademeye denk gelen kuvveti temsil etmektedir (DIN 4125:1990). Sünme oranı, deney sırasında uygulanan her bir yük aşamasında kontrol edilip, denklem 4.7'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$K_{\Delta} = \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{\log t_2/t_1} \quad (4.7)$$

$\Delta_n$  : n.zaman dilimi sırasında kayıt altına alınan ankraj uzaması (mm)

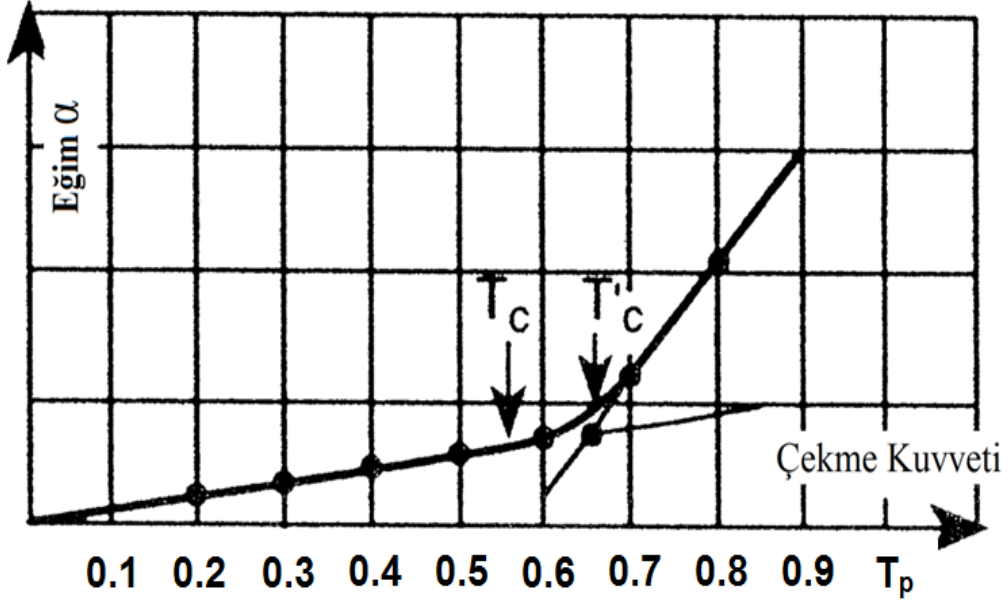
$t_n$  : n zaman diliminin dakika biriminden değeri (dk)

Fransız Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği tarafından 1995 yılında basılan TA'95 norm içeriğinde, izin verilebilir ankraj yüklerinin hesabı aynı Alman normunda olduğu gibi sünme kriteri açısından tanımlanan kritik yük ile ankraj kök taşıma gücü değerinin önerilen güvenlik sayıları ile birlikte kullanılarak yapılmaktadır. Tasarımı yapılan ankrajların geçici veya kalıcı olup olmamasına göre izin verilebilir ankraj taşıma gücü değerleri çizelge 4.13'de verilmiştir.

**Çizelge 4.13 : TA'95 göre izin verilebilir ankraj yükleri için farklı kriterler ve önerilen güvenlik sayıları**

| Maksimum Yük                                                                                     | Güvenlik Sayısı |        | İzin Verilebilir Ankraj Yüğü |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------|------------------------------|------------|
|                                                                                                  | Geçici          | Kalıcı | Geçici                       | Kalıcı     |
| $T_u$ ; Ankraj Kök Taşıma Gücü                                                                   | 1.50            | 1.50   | $T_u/1.50$                   | $T_u/1.50$ |
| $T_s$ ; Ankrajın Kullanıldığı Sistemin Servis Sınırları İçerisinde Dengede Tutacak Maksimum Yüğü | 1.00            | 1.00   | $T_s/1.00$                   | $T_s/1.00$ |
| $T_c$ ; Sünme kriteri için kritik yüğü                                                           | 1.11            | 1.25   | $T_c/1.11$                   | $T_c/1.25$ |

TA'95 normunun izin verilebilir ankraj yüklerinin belirlenmesi için önerdiği kriterlerden biri olan sünme açısından kritik yüğü değeri ( $T_c$ ), ankrajlara yapılan çekme deneyleri sırasında her bir yüğü adımında kayıt edilen sünme oranına ( $\alpha$ ) göre tespit edilmektedir (şekil 4.18).



Şekil 4.18 : Yük kademeleri sırasında kayıt altına alınan sünme oranları ( $\alpha$ ) ve sünme açısından kritik yük değeri grafiği (TA'95, 1995)

## **5. YÜKSEK BASINÇLI ARD ENJEKSİYON ANKRAJLAR ve TEK DELGİLİ ÇOKLU ANKRAJLAR (SBMA)**

Tezin bu bölümünde, yüksek basınçlı ard enjeksiyon (Tube-A Manchette) ankrajları ve tarihçesi yaklaşık olarak 20 yıl öncesine dayanan geleneksel ankrajlardan farklı bir sistem olan tek delgili çoklu ankraj hakkında detaylı bilgi verilmiş ve her iki ankrajın kök taşıma gücü üzerindeki etkisi incelenmiştir.

### **5.1 Yüksek Basınçlı Ard Enjeksiyon Ankrajları (Tube-A Manchette)**

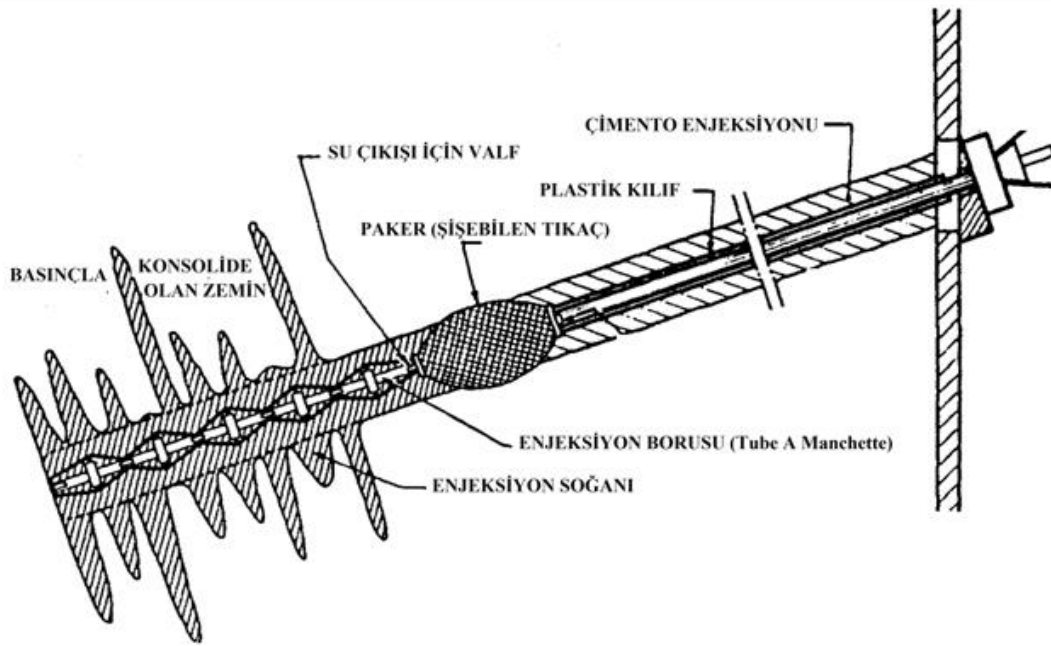
Yeniden enjeksiyon uygulanabilir ankraj olarak da literatürde geçen ard enjeksiyon ankrajları, özellikle plastik kil, marn, gevşek silt veya çok çatlaklı yumuşak kaya içeren formasyonlarda genellikle tercih edilmektedir. Bu tip formasyonlarda imal edilen zemin ankrajlarının ilk gerilmesi sırasında, yük aktarımı sırasında problemler yaşanmakta ve düşük taşıma gücü sonuçları çıkmaktadır. Yüksek Basınçlı Ard Enjeksiyon Ankrajları, bu tip formasyonlarda karşılaşılan sorunları gidererek yüksek taşıma güçlerine ulaşılmasını sağlamaktadır (Xantakos 1991).

Zemin ankrajlarında, özel bir teknik olan ard enjeksiyon uygulaması, ankrajların imalatı sırasında uygulanan enjeksiyon sonrasındaki herhangi bir zaman diliminde yüksek basınçlı enjeksiyonun kontrollü bir şekilde kök bölgesi içerisine yerleştirilen özel bir sistemle zemine doğru basılmasını içermektedir (Xanthakos, 1991). Ankraj imalatı sırasında kullanılan ilk enjeksiyonun prizini aldıktan sonra uygulanan yüksek basınçlı ard enjeksiyon teknolojisi;

- a) İlk germe sırasında taşıma gücü açısından göçen ankrajların, yük taşıma kapasitesini arttırmak ve tekrardan kullanılabilir olmasını sağlamak
- b) Ankrajların gemesi yapılmadan önce uygulanarak, zayıf formasyonlarda yüksek taşıma kapasitelerine ulaşılmasını sağlamak

Fransız geoteknik firması Soletanche tarafından zemin ankrajları için geliştirilen ve uygulanan yüksek basınçlı ard enjeksiyon (şekil 5.1), ankraj kök bölgesi-zemin arasında oluşan direnç kuvvetlerini iyileştirmesine ilave olarak, aşağıda belirtilen yararları da bulunmaktadır (Xantakos 1991).

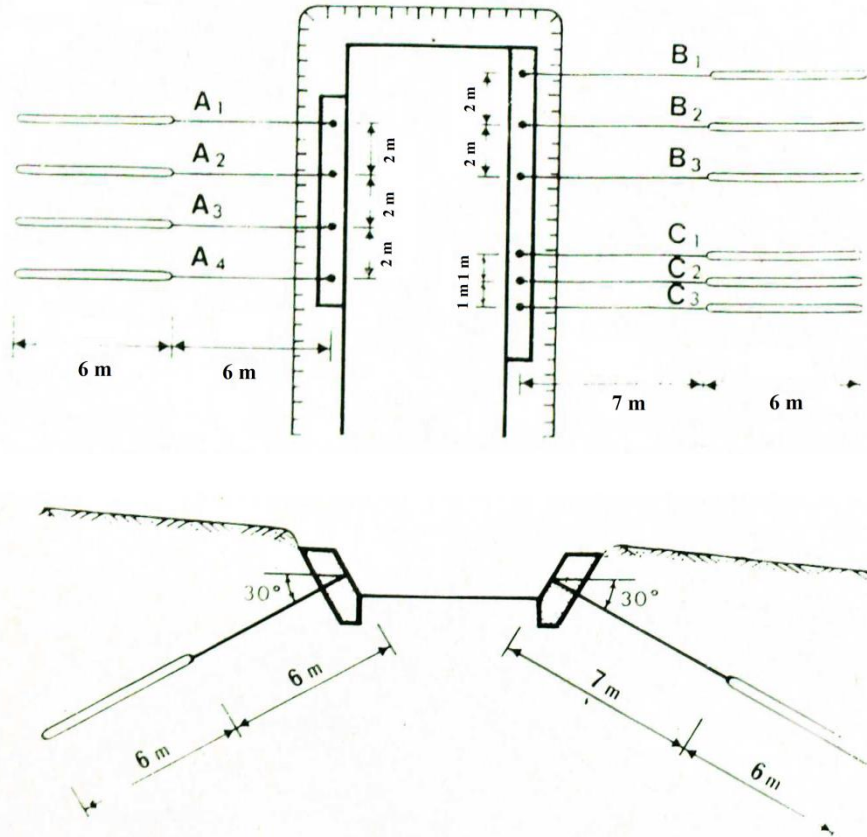
- a) Zemin veya kaya formasyonları içerisinde yer alan küçük çatlakları doldurma imkanı ile ankrajın gerilmesi anında oluşan enjeksiyon kolonu
- b) Ankraji oluşturan çelik halat veya çubuğun korozyona karşı iki kat korunması



**Şekil 5.1 :** Soletanche tarafından kullanılan yüksek basınçlı ard enjeksiyon ankraj uygulaması şeması (Xantakos 1991)

Yüksek basınçlı enjeksiyon ile imal edilen zemin ankrajları (Tip-C) gibi kök oluşumu olması beklenen ard enjeksiyon ankrajları içerisinde, özel sert plastik malzemeden yapılmış ve kök bölgesi içerisinde yer alan kısmı delikli olan boru yer almaktadır. İmalat sırasında ankraj sistemi ile birlikte delgi içerisine yerleştirilen boru, prizini alan enjeksiyon üzerinden zemine yüksek basınç uygulanarak tekrarlı enjeksiyon verilmesini sağlamaktadır. Ard enjeksiyon uygulaması sırasında şekil 5.1'de de gösterildiği gibi ankrajın serbest bölgesi ile kök bölgesini ayıran şişirilebilir pakler kullanılmaktadır. Ard enjeksiyon uygulamasının yaklaşık olarak her 30 cm'de bir kontrollü bir şekilde çift taraftan şişebilen pakler kullanılarak yapılması mümkündür.

Fransızlar tarafından geliştirilen Yüksek Basıncılı Ard Enjeksiyon Uygulamasının, ankraj taşıma gücüne olan etkisinin incelenmesi için bir çok araştırma yapılmıştır. Fransa'nın Lille-Dunkerque şehirlerini bağlayan A-25 otoyoluna yakın bir bölgede gerçekleştirilen ankraj deneyleri bu araştırmalara verilen örneklerden biridir. Bu araştırma kapsamında genel anlamıyla incelenmiş konular; ard enjeksiyon uygulaması ile uygulana ard enjeksiyon sayısının ve grup tesirinin ankraj taşıma gücüne olan etkisidir.



**Şekil 5.2 :** Fransa'da ard enjeksiyon yöntemi kullanılarak imal edilen deney ankrajları yerleşim plan ve kesiti (Lacour ve diğerleri 1978)

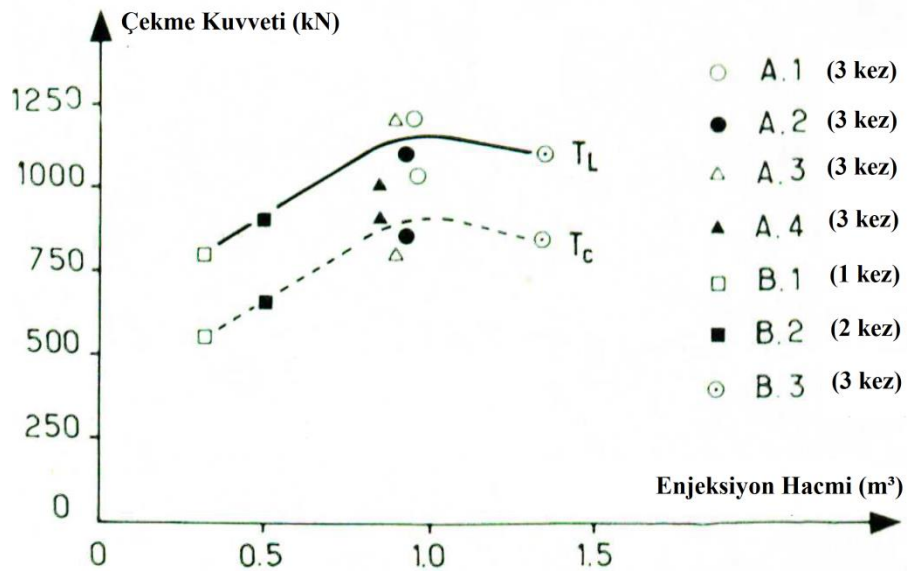
Yüksek plastisiteli ( $I_p = \%50-60$ ) orta katı kil formasyonlarda imal edilmiş 10 adet ankraja yapılmış germe deneyleri sonucunda, taşıma gücü (ankraj kökünün zeminden sıyrılması) değerleri geleneksel yöntem (Tip-A) ile yapılan ankrajlarda elde edilebilecek taşıma gücü değerlerine göre yüksek çıkmıştır. Buna ilave olarak, C numaralı ankrajlara yapılmış germe deneyi sonucunda elde edilen taşıma gücü değerlerinin grup tesiri sebebi ile aynı yöntem ve teknikle imal edilmiş diğer ankrajlara göre daha düşük çıktığı gözlemlenmiştir. Deney ankrajlarının imalatı

sonrasında uygulanan ard enjeksiyon bilgisi ve ankrajların taşıma gücü değerleri Çizelge 5.1'de verilmiştir.

**Çizelge 5.1 :** Ankrajları ard enjeksiyon bilgisi ve ankraj taşıma gücü değerleri (Lacour ve diğerleri, 1978)

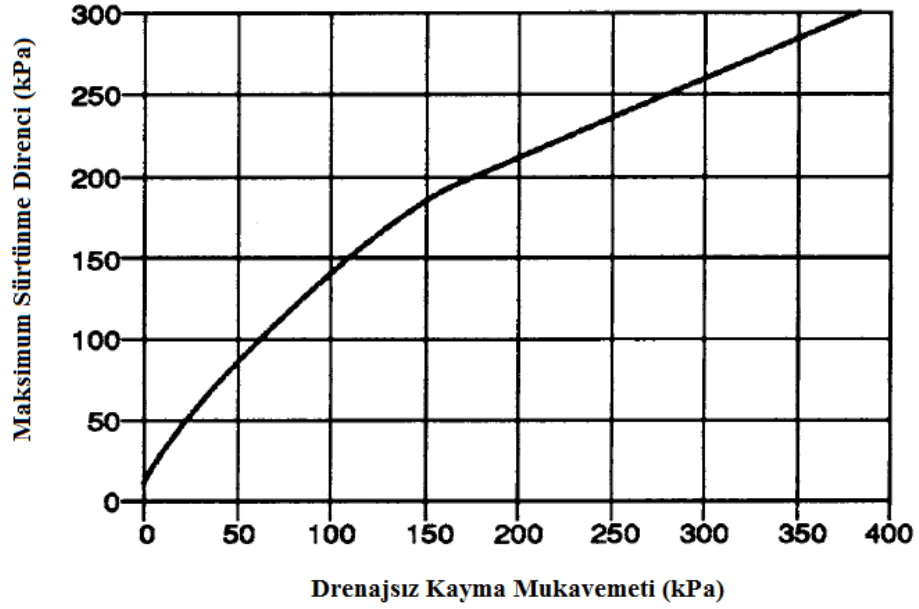
| Ankraj | Ortalama Enjeksiyon Basıncı (MPa) | Kullanılan Enjeksiyon Miktarı (lt) | Çimento (kg) | su/çimento | Ard Enjeksiyon Sayısı | Taşıma Gücü (kN) |
|--------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------|------------|-----------------------|------------------|
| A1     | 0.5                               | 955                                | 1210         | 0.44       | 3                     | 1150             |
| A2     | 0.5                               | 958                                | 1220         |            | 3                     | 1100             |
| A3     | 0.5                               | 890                                | 1150         |            | 3                     | 1150             |
| A4     | 0.5                               | 858                                | 1110         |            | 3                     | 1000             |
| B1     | 0.5                               | 365                                | 470          | 0.44       | 1                     | 800              |
| B2     | 0.5                               | 520                                | 670          |            | 2                     | 900              |
| B3     | 0.5-1.0                           | 1370                               | 1765         |            | 3                     | 1100             |
| C1     | 0.5                               | 750                                | 970          | 0.44       | 3                     | 950              |
| C2     | 0.5                               | 890                                | 1145         |            | 3                     | 750              |
| C3     | 0.5                               | 770                                | 1000         |            | 3                     | 900              |

Zemin ankrajlarının imalatı sonrasında yapılan ard enjeksiyon sayısının taşıma gücüne olan etkisi olduğu, Fransa'da yapılan araştırma (Lacour ve diğerleri, 1978) kapsamında incelenmiştir. Bir ve üç defa uygulanmış ard enjeksiyonlu deney ankrajlarındaki (B1-B3) taşıma gücü farklı %40'lara çıkmıştır (şekil 5.3).

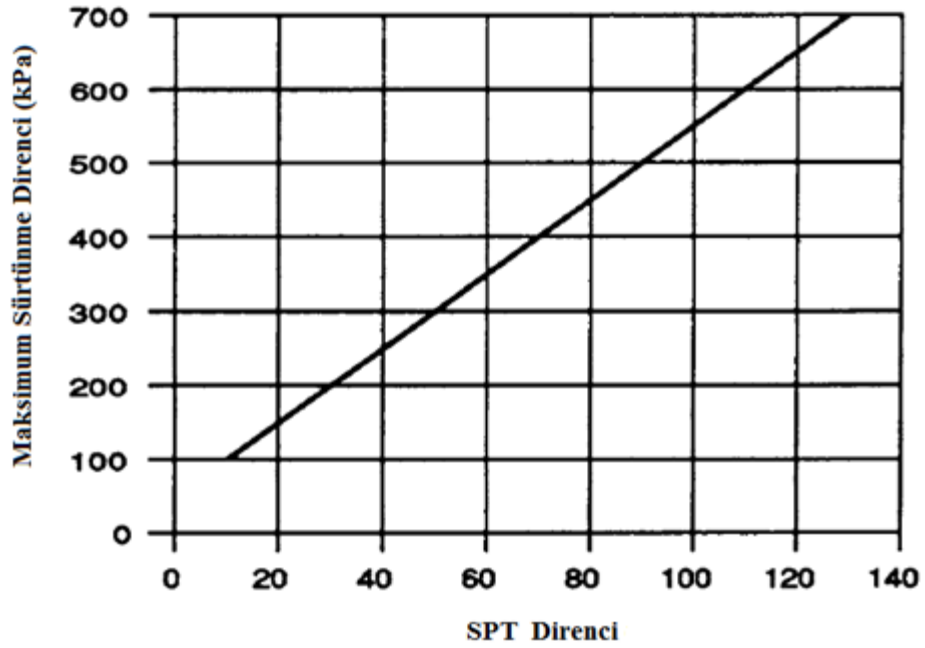


**Şekil 5.3 :** Ard enjeksiyon sayısı-hacminin taşıma gücüne olan etkisi ;  $T_L$  -ankraj taşıma gücü,  $T_C$  -sünme açısından kritik yük(Lacour ve diğerleri 1978)

Sherwood ve Harris (1993); 15 yılı aşkın bir süredir ard enjeksiyon (Tube a Manchette) tekniğinin kullanılarak imal edildiği ankrajlar için gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen ampirik tasarım eğrileri şekil 5.4 ve 5.5'te gösterilmiştir.



**Şekil 5.4 :** Kil ve siltlerde uygulanan ard enjeksiyon ankrajı maksimum sürtünme direnci-drenajsız kayma mukavemeti eğrisi (Sherwood ve Harris, 1993)



**Şekil 5.5 :** Çakıl ve kumlarda uygulanan ard enjeksiyon ankrajı maksimum sürtünme direnci- SPT direnci (Sherwood ve Harris, 1993)

Deneyimler üzerinden yola çıkılarak belirlenen maksimum sürtünme direncinin ( $q_s$ ) aşağıda verilen denklemde (5.1) kullanılarak, ard enjeksiyon uygulanan ankrajların güvenli taşıma gücü hesaplanmaktadır (Sherwood ve Harris, 1993).

$$T_a = \frac{\pi n D_d L q_s}{\text{Güvenlik Sayısı}} \quad (5.1)$$

$T_a$ : Ard Enjeksiyon Tekniği Kullanılan Ankrajların Güvenli Taşıma Gücü

$D_d$ : Delgi Çapı

$L$ : Kök boyu

$n$ : Teorik ankraj çapı için kullanılan katsayı; tebeşir taşı, marn, çakıl ve killi için 1.8, kum ve siltler için 1.4

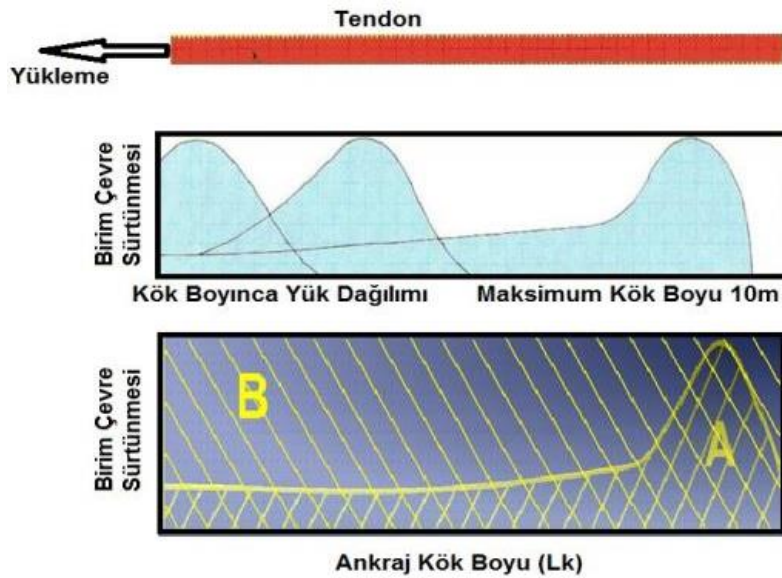
Ard enjeksiyon tekniğinin kullanıldığı ankrajların teorik çapı hesaplanırken kullanılan  $n$  değeri için enjeksiyon ile ilgili şartlar aşağıda verilmiştir (Sherwood ve Harris, 1993).

- Uygulanan saf çimento bazlı enjeksiyonun karışımında kullanılan su/çimento oranının 0.5 değerini aşmaması
- Uygulama sırasında basılan enjeksiyonun en az delginin alacağı teorik hacmin %50'sinden büyük olacak şekilde olması

## 5.2 Tek Delgili Çoklu Ankraj (SBMA)

Zemin veya kaya ankrajlarının kök taşıma gücü esasları, enjeksiyon-zemin veya enjeksiyon-kaya arasında meydana gelen yük aktarımı sırasında kök boyunca eşit gerilmelerin olduğu kuralına dayanmaktadır. 1970'li yıllardan beri bir çok araştırmacı tarafından gerçekleştirilen incelemeler ve deney sonuçları ankraj yük aktarım mekanizmasının tasarımıda esas alınan eşit gerilme kuralından farklı olduğunu göstermektedir. Ankrajı oluşturan ana bileşenlerden; çelik eleman (çubuk-tel-halat) ve enjeksiyon ile zemin/kaya elastisite modüllerinin birbirleriyle olan uyumsuzlukları nedeniyle yük aktarımı sırasında enjeksiyon/zemin-kaya temas yüzeyinde eşit olmayan gerilmeler oluşmaktadır (Barley ve diğerleri,2003). Geleneksel yöntemler kullanılarak imal edilen tek köklü ankrajların büyük bir kısmında, ilk yükleme anında ankraj kökünün serbest boy bölgesine yakın yerlerinde

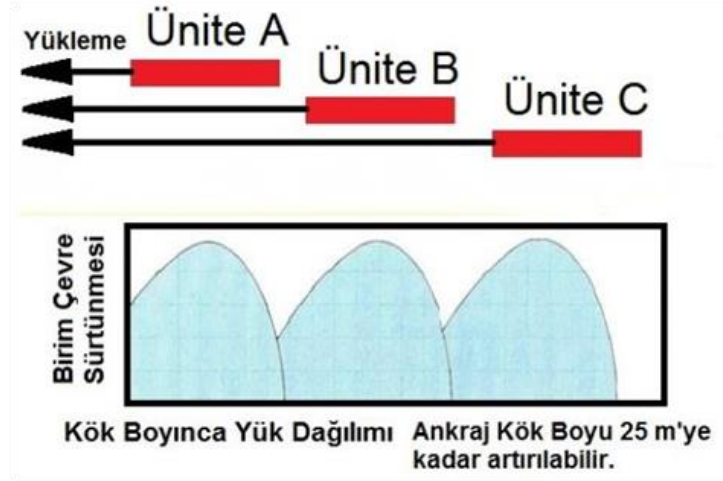
gerilmelerin yoğunlaşmakta ve kök bölgesi sonlarına doğru gerilmeler oluşmamaktadır (Düzceer, 2014). Ankraja uygulanan yüklerin artması ile beraber, çelik eleman-enjeksiyon veya enjeksiyon-zemin/kaya temas yüzeylerinde oluşacak gerilmeler, nihai taşıma gücünü aşarak rezidüel gerilme değerlerine düşecektir (Barley ve diğerleri,2003). Nihai taşıma gücünün aşıldığı bu bölgede meydana gelecek deplasmanlar sonrasında, ankraja uygulanan yük arttırıldıkça deplasman yapan bölgenin yük aktarımı gerçekleşemeyecek ve gerilmenin yoğunlaştığı bölge kademeli bir şekilde kök başlangıcından bitişine doğru hareket edecektir. Ankrajların zeminden veya kayadan sıyrılmasından önce oluşan kayma gerilmeleri yukarıda anlatılan yük aktarım mekanizmasından dolayı kök bölgesinin sonuna doğru yoğunlaşmaktadır (Barley ve diğerleri, 2003). Kademeli sıyrılma olarak da adlandırılabilen bu mekanizma (şekil 5.6) üzerinden yola çıkılarak, yeni bir ankraj teknolojisi üzerine çalışmalar başlanmıştır. 1970'li yılların sonlarına doğru çalışmalarını sürdüren ve Tek Dalgili Çoklu Ankraj teknolojisini getiren Anthony D. Barley, kayıtlara geçen büyük ölçekli ilk SBMA uygulamasını İngiltere-Southampton şehrinde gerçekleştirmiştir. Killi Bracklesham yatakları içerisinde imal edilen ve birbirinden ayrı beş farklı kökten oluşan çoklu ankraja uygulanan maksimum yük 1337 kN olarak kaydedilmiştir (Barley, 1997).



**Şekil 5.6 :** Geleneksel yöntem ile imal edilen tek köklü ankrajların yük taşıma mekanizması (Düzceer, 2014)

SBMA tipi ankrajları oluşturan çoklu üniteler (kök), ankraja uygulanan çekme kuvveti altında aynı zamanda ancak birbirlerinden bağımsız olacak şekilde

zemin/kaya ortamına yük aktarmaktadır. Geleneksel yöntemde göre, etkin bir şekilde kökün kullanıldığı SBMA tipi ankrajların yük taşıma mekanizması şekil 5.7'de verilmiştir. SBMA sistemi; kök bölgesinin yük aktarım mekanizmasını iyileştirmekte ve geleneksel ankrajlarda meydana gelen kademeli sıyrılma olayı önüne geçerek aynı boyda kökün etkin bir şekilde kullanılarak yüksek taşıma kapasitelerine ulaşılmasını sağlamaktadır (Barley ve diğerleri, 2003).



**Şekil 5.7 :** SBMA tipi ankrajların yük taşıma mekanizması (Düzceer, 2014)

SBMA tipi ankrajların tasarımı; geleneksel yöntem tek köklü ankrajların tasarımında kullanılan teorik formüllere ilave olarak, kök bölgesinde eşit olmayan gerilme dağılımından (şekil 5.8) dolayı gelen etkinlik faktörü gelmektedir. Kil, siltli kil, buzul til, iri parçalı kil ve kumlu kil gibi geniş aralıktaki zemin türlerinde imal edilen 60'tan fazla inceleme ankrajına yapılan deney sonuçlarına göre etkinlik faktörü geliştirilmiştir.

Etkinlik faktörünün geliştirilmesi ile birlikte, ankraj kök taşıma gücü hesabı denklem 5.2' ye göre hesaplanmaktadır (Barley ve diğerleri, 2003).

$$T_u = \pi d L \tau_{mak} f_{etk} \quad (5.2)$$

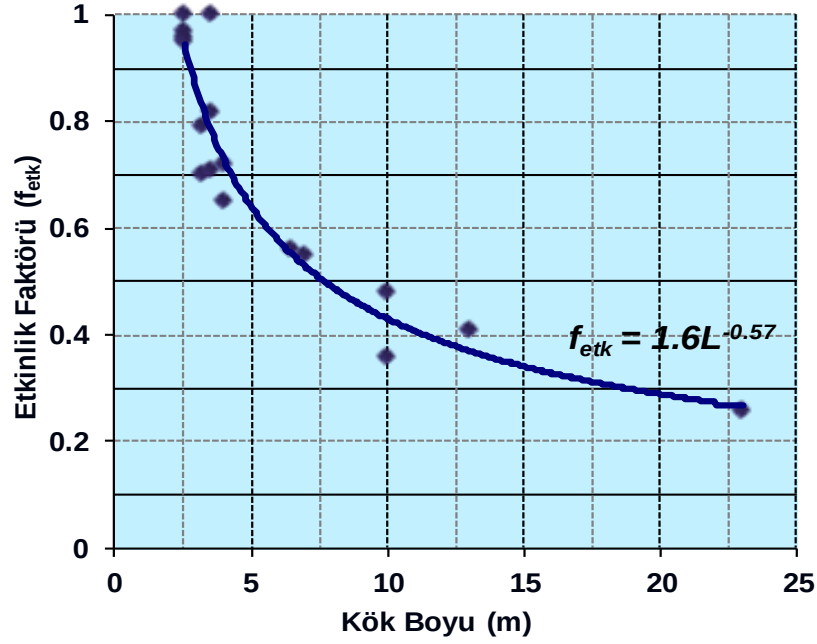
$T_u$ : Ankraj Kök Taşıma Gücü (Yük Kapasitesi, Sıyrılma Kuvveti)

$d$ : Ankraj kök bölgesinin çapı (delgi çapı)

$L$  : Kök boyu

$\tau_{mak}$  : Zemin veya kaya tipine göre değişen maksimum sürtünme direnci

$f_{etk}$  : Kök boyuna bağlı olarak değişen etkinlik faktörü



Şekil 5.8 : Ankraj kök boyuna göre etkinlik faktörü (Barley, 1995)

SBMA tipi ankrajların geleneksel yöntem ile imal edilen tek köklü ankrajlara göre daha yüksek taşıma kapasitesine sahip olduğunu, denklem 6.1 kullanılarak aşağıda verilen örnek bir problemle gösterilmiştir.

- Geleneksel Ankraj; Ø215 mm delgi çapı, 12 m kök boyu, ( $\tau = 300 \text{ kN/m}^2$ )
- SBMA Ankraj (4 Ünite); Ø215 mm delgi çapı, 4x3m kök, ( $\tau = 300 \text{ kN/m}^2$ )

Şekil 5.8'de verilen grafik üzerindeki kök boyuna bağlı etkinlik faktörü değerleri ve denklem 5.2'e göre her iki ankraj için hesaplanan taşıma gücü değerleri çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2 : Geleneksel-SBMA ankrajı taşıma gücü karşılaştırmasına bir örnek

| Ankraj Tipi       | Kök Boyu (m) | $f_{etk}$ | Delgi Çapı (mm) | $\tau$ (kPa) | Ankraj Taşıma Gücü (kN) |
|-------------------|--------------|-----------|-----------------|--------------|-------------------------|
| Geleneksel Ankraj | 12.00        | %38.8     | Ø215.0          | 300.00       | 943.8                   |
| SBMA Ankrajı      | 3.00         | %85.5     | Ø215.0          | 300.00       | 520.0                   |
|                   | 3.00         | %85.5     | Ø215.0          | 300.00       | 520.0                   |
|                   | 3.00         | %85.5     | Ø215.0          | 300.00       | 520.0                   |
|                   | 3.00         | %85.5     | Ø215.0          | 300.00       | 520.0                   |

Geleneksel yöntem ile imal edilen 12 metrelik ankrajın sırasında yaklaşık olarak kök bölgesinin %40'lık bir bölümü etkin olurken, aynı kök boyunu sağlayacak 3'er metrelik ünitelerden oluşan SBMA ankrajının sıyırılma sırasında kök bölgesinin yaklaşık olarak %86'lık bölümü etkin olacaktır. Taşıma gücü değerleri açısından incelendiğinde, geometrik olarak aynı kök boyuna sahip geleneksel ankraj ile ulaşılabilecek maksimum yükün 2.20 katına SBMA ankrajı ile ulaşılabileceği sonucu çıkmaktadır.

SBMA teknolojisinin kullanılması ile birlikte, özellikle zayıf alüvyonel kökenli zeminler, gevşek kumlar ve yumuşak killer gibi zeminlerde imal edilen yüksek taşıma kapasitesine sahip ankrajlar, Geoteknik ve İnşaat Mühendisliğinde uygulanan projelerde zaman açısından önemli bir ekonomik çözüm olmaktadır. SBMA teknolojisinin kullanıldığı örnek uygulamalar ve ulaşılan maksimum yükler ilerleyen sayfalarda gösterilmiştir.



**Şekil 5.9 :** Killi kum-siltli kil formasyonlarında gerçekleştirilen SBMA deney ankrajı;  $T_{maks} = 1295 \text{ kN}$  ,  $P_{germe} = 600 \text{ kN}$  (Kuntsevo Projesi, KASKTAŞ 2011)



**Şekil 5.10 :** Singapur'da gerçekleştirilen kazıklı iksa duvarında kullanılan 150 ton servis yüküne sahip ankraj uygulaması (Barley ve diğerleri, 2003)



**Şekil 5.11 :** Hodenpyl Barajı-Mansap Bölgesi İstinat Duvarı;yüksek plastisiteli killerde  $P_{kilit}=1360$  kN ard enjeksiyonlu SBMA ankrağı (Bruce ve diğerleri, 2004)



## **6. VAKA ANALİZİ : İSTANBUL BAKIRKÖY SAHİL BÖLGESİNDE YAPILACAK OLAN DERİN KAZININ DESTEKLENMESİNDE KULLANILACAK ÖNGERMELİ ANKRAJLARIN KÖK TAŞIMA GÜCÜNÜN TAYİNİ**

Tezin bu bölümünde, farklı zemin profillerinde uygulanan ankrajların taşıma gücünün belirlenmesi amacıyla yapılan saha deneylerinin değerlendirilmesi ve analizi ile birlikte, imalat sırasında kullanılan yöntemlerin (delgi yöntemi, enjeksiyon yöntemi vs.) taşıma gücüne olan etkisinin araştırılmasına yer verilmiştir. **KASKTAŞ A.Ş.** firması tarafından yapılması planlanan derin kazı projesinin bulunduğu sahada gerçekleştirilen ankraj deneyleri ile ulaşılması istenilen hedefler:

1. Farklı zemin profili içerisinde farklı yöntemler ile imal edilen ankrajların taşıma gücünün belirlenmesi
2. Derin kazı projesi kapsamında yapılacak olan imalat ankrajlarına yapılacak olan deneylerin performansının incelenmesi ve standartlarda yer alan kriterlere göre bu deney sonuçlarının değerlendirilmesi

İki tanesi İstanbul, ve diğeri Rusya’da yer alan derin kazı projelerin belirlenmesinden önce yapılan ankraj saha deneyleri ile projenin uygulaması sırasında ankrajların güvenli bir şekilde taşıyabileceği germe yükleri belirlenmiştir.

Ankraj saha deneylerinin uygulandığı projelerin alt başlıklar halinde toplandığı bu bölümlerde, anlatılacaklar genel anlamda özetlenirse:

1. Proje bilgisi ve yeri
2. Zemin verisi
3. Deney Ankrajları ve imalatında kullanılan yöntemler
4. Ankraj delgisi sırasında karşılaşılan tabakalar
5. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve Nihai Kök Taşıma Gücünün Belirlenmesi

Proje ile ilgili bilgi verilmeden önce, Kasktaş firmasının farklı lokasyonlarda yapılan ankrajlara yapılan testlerden sorumlu olduğu notunu düşmek gerekir. Projenin yer aldığı bölgenin imar izni açısından getirmiş olduğu zorluklar ve yapılan mimari değişiklikler sebebi ile projenin askıya alınmasına sebep olmuştur.

## 6.1 Proje Bilgisi

İstanbul İli Bakırköy ilçesi sahil kesiminde yer alan ve uydu görüntüsü Şekil 6.1'de verilen proje sahasının yüz ölçümü yaklaşık olarak 62500 metrekaredir.

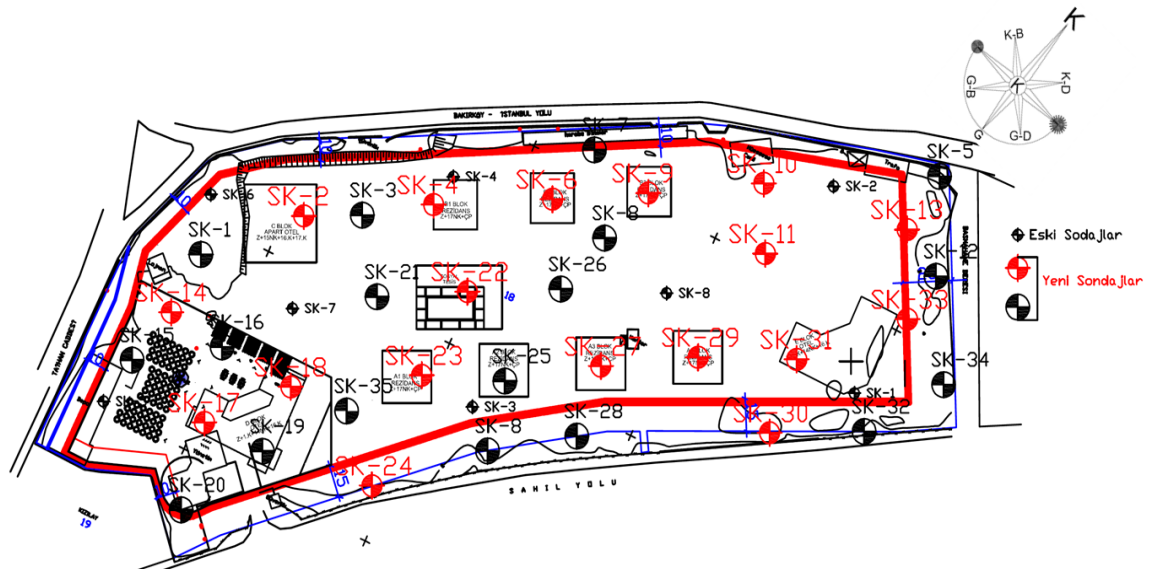


**Şekil 6.1 :** Proje sahasının uydu görünümü (<https://www.google.com/maps>)

Statik ve mimari projeleri netlik kazanmayan bu proje kapsamında mevcut arazi kotundan yaklaşık olarak 12-13 metre civarında kazı yapılması ön görülmektedir. Yapılması planlanan derin kazının çevre yollara, binalara ve şehir hatlarına zarar vermeden inşaat çalışmalarının güvenli bir şekilde yapılması için iksa sistemi ile desteklenmesi gerekmektedir. Kazı geometrisi ve bölge zemini olarak dikkate alındığında geçirimsiz perde olarak diyafram duvar uygulaması, yatay destek olarak da öngermeli ankraj yapılması uygun görülmüştür.

## 6.2 Zemin Verisi

Projenin yer aldığı sahanın zemin koşullarının belirlenmesi amacıyla 2011 ve 2012 yıllarında **ELFA Mühendislik Danışmanlık ve Tic. Ltd. Şti** tarafından zemin etüt programı gerçekleştirilmiştir. Zemin etüt programı kapsamında 2011 yılında 8 adet ve 2012 yılında 35 adet olmak üzere toplamda 43 adet sondaj kuyusu açılmıştır. Şekil 6.2'de verilen plan üzerinde gösterilen her iki yılda yapılmış sondaj uygulaması sırasında; SPT, yer altı su seviyesi tayini, laboratuvar deneyleri yapılması için örselenmemiş numune alımı, kaya formasyonlarında karot alımı gibi işlemlerde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.2 : Proje sahasında 2011 ve 2012 yıllarında yapılan sondaj planı

Yapılan sondaj çalışmalarına göre, yüzeyden itibaren kalınlığı 3.50-7.00 metre arasında değişen deniz kumu-kiremit parça içerikli heterojen bir dolgunun olduğu gözükmemektedir. Bu tabakanın hemen altında, SPT değerleri 2-7 arasında değişen ince kum bantlı yumuşak-orta katı kıvamında kil tabakasının başladığı ve kalınlığı sahanın kuzey yönüne doğru 6-8 metrelere ulaştığı görülmüştür. Yumuşak-orta katı kıvamında olan bu kil tabakasının, sahanın her yerinde rastlanmamasının sebebinin, kuzey-doğu cephesine komşu geçen Basmahane deresinin zamanında taşımış olduğu çökellerin olduğu söylenebilir (bkz. Şekil-6.2). Sahanın dere tarafına uzak olduğu bölgelerinde ise, alüvyon kaynaklı olduğu düşünülen bu kil tabakası yerini, SPT değerleri 20-50 arasında değişen çok katı kıvamda ve yer yer kireçtaşı-marn ara bantlı kil tabakalarına rastlanmıştır. Özellikle sahanın batı ve güney yönünün oluşturduğu bölge içerisinde yapılan sondajlarda (SK-1, SK-2, SK-14 gibi), dolgu

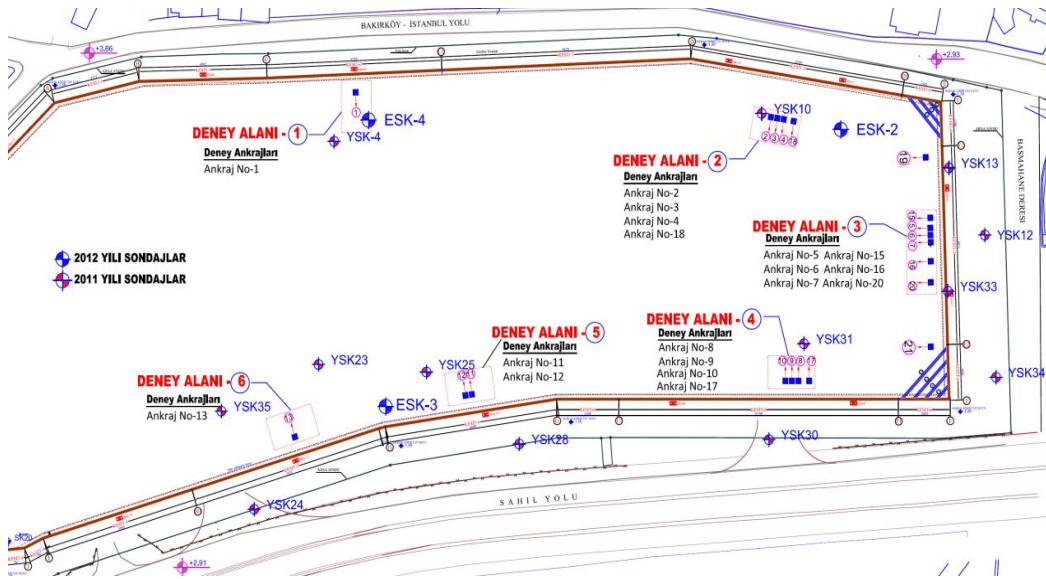
tabakasının altında yer alan çok katı-sert kil tabakasını takiben, marn ara bantlı zayıf dayanımlı kireçtaşı üyesine rastlanmıştır (ELFA Müh. Dan. ve Tic. Ltd. Şti.,Eylül-2012). Yapılan sondaj çalışmaları neticesinde, yer altı suyunun mevcut arazi kotundan 1.00-2.00 metre derinliğinde olduğu tespit edilmiştir.

### 6.3 Deney Programı ve Deneme Ankrajları

Proje sahasında yapılan zemin araştırmaları sonucunda elde edilen bilgiler doğrultusunda, kazının yatay olarak desteklenmesinde kullanılacak ve özellikle Basmahane deresi tarafında bulunan bölgede imal edilecek ankrajların kök taşıma gücü değerlerinin düşük çıkacağı ön görülmüştür. Buna ilaveten, proje sahasında hakim olan ve imal edilecek olan ankrajların kök bölgesinin kalacağı zemin biriminin ağırlık olarak kil içermesi sebebi ile, germe anından sonraki zamana bağlı uzama göstermesi ve buna bağlı olarak yük kaybı yaşanması riski de bulunmaktadır.

**Kasktaş A.Ş** firması tarafından, proje sahasında zemin incelemeleri kapsamında yapılan ve tespit edilen zemin profillerine göre Şekil-6.3'te planı verilen toplam 6 adet deney bölgesi belirlenmiştir. Deney bölgelerinde yapılan her bir ankrajın imalat sırasında tespit edilen kök bölgesi etrafındaki zemin profili aşağıda verilmiştir :

- Deney Alanı 1 ve 6 : Zayıf Dayanımlı Kireçtaşı Birimi
- Deney Alanı 2 ve 5 : Orta Katı-Katı Kil Birim
- Deney Alanı 3 ve 4 : Yumuşak-Orta Katı Kil Birim



Şekil 6.3 : Proje sahasında imal edilen deney ankrajları ve deney alanları planı

**Kasktaş AŞ** firması tarafından hazırlanan ve gerçekleştirilen deney programı kapsamında; zayıf dayanımı kireçtaşı formasyonundan elde edilebilecek kök taşıma gücü tespiti için proje sahasında belirlenen 1 ve 6 numaralı deney alanlarında 1'er adet ankraj imal edilmiştir. Diğer bölgelerde ankraj kök taşıma gücünün kritik ve zamana bağlı uzama eğiliminin yüksek olduğu kil birimleri olması sebebiyle, aynı deney alanlarında birden çok ankraj imalatı yapılmış ve deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney programı kapsamında, proje çizimleri tamamlanmış 13 adet ankraja ilaveten, programın ilerleyiş aşamasında farklı yöntem ve teknikler uygulanarak imal edilen 8 adet ankraj bulunmaktadır. Deney alanlarına göre yerleştirilen 21 adet ankrajların boyları, imalat tekniği ve hangi deney bölgesini temsil ettiği hakkındaki bilgiler Çizelge 6.1' de verilmiştir.

**Çizelge 6.1 : Proje sahasında farklı bölgelerde imal edilen deney ankrajları**

| <b>Deney Alanı</b> | <b>Ankraj No.</b> | <b>Ankraj Tipi</b> | <b>Ankraj Boyu</b> | <b>Ankraj Kök Boyu</b> |
|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|------------------------|
| 1                  | 1                 | Geleneksel Yöntem  | 18.00 m            | 8.00 m                 |
| 2                  | 2                 | Geleneksel Yöntem  | 18.00 m            | 8.00 m                 |
|                    | 3                 | Tube a Manchette   | 18.00 m            | 8.00 m                 |
|                    | 4                 | SBMA               | 19.00 m            | Değişken               |
|                    | 18                | Geleneksel Yöntem  | 18.00 m            | 8.00 m                 |
| 3                  | 5                 | Geleneksel Yöntem  | 18.00 m            | 8.00 m                 |
|                    | 6                 | Tube a Manchette   | 18.00 m            | 8.00 m                 |
|                    | 7                 | SBMA               | 19.00 m            | Değişken               |
|                    | 15                | SBMA               | 18.00 m            | Değişken               |
|                    | 16                | Tube a Manchette   | 18.00 m            | 8.00 m                 |
|                    | 19                | SBMA               | 19.00 m            | Değişken               |
|                    | 20                | Tube a Manchette   | 18.00 m            | 8.00 m                 |
|                    | 21                | SBMA               | 19.00 m            | Değişken               |
| 4                  | 8                 | Geleneksel Yöntem  | 18.00 m            | 8.00 m                 |
|                    | 9                 | Tube a Manchette   | 18.00 m            | 8.00 m                 |
|                    | 10                | SBMA               | 19.00 m            | Değişken               |
|                    | 17                | Tube a Manchette   | 18.00 m            | 8.00 m                 |
| 5                  | 11                | Geleneksel Yöntem  | 18.00 m            | 8.00 m                 |
|                    | 12                | Tube a Manchette   | 18.00 m            | Değişken               |
| 6                  | 13                | Geleneksel Yöntem  | 24.00 m            | 8.00 m                 |

Deney alanı 1 ve 6 içerisinde yapılan ankrajların deney sırasında kök ile kireçtaşı birimi arasında oluşacak gerilmelerin nihai taşıma gücüne ulaşamayacağı düşünülmüştür.

Projede yapılacak olan kazı derinliği de dikkate alınarak, kazı sırasında ankraj kökünün kireçtaşı biriminden sıyrılacak büyüklükte germe yüklerine gerek kalmayacağı için, bu alanlarda sadece geleneksel yöntem ile imal edilen ankrajlara deney yapılmıştır. Bu deneyler ile amaçlanan, kazı sırasında ankrajların standartlarca belirlenen kriterleri sağlayan germe yüklerini belirlenmesi olmuştur.

Diğer bölgelerde imal edilen ankrajlarda; başta geleneksel yöntem olmak üzere, özellikle yumuşak-orta katı kıvamda olan kil zeminde kök taşıma gücüne etkisinin araştırılması amacıyla iki farklı yöntem kullanılmıştır.

#### **6.3.1 Tube a Manchette (Ard Enjeksiyon, Post-Grouting)**

Kohezyonsuz zeminlerde; kök bölgesinde oluşan enjeksiyonun delgi çapına göre arttırarak veya kompaksiyon (sıkıştırma) işlemi gerçekleştirerek geleneksel yöntem ile imal edilen ankrajlara göre daha yüksek kök taşıma gücüne ulaşılmasını sağlar. Bu uygulama ankrajın imalatının ilk aşamasında gerçekleştirilebileceği gibi, ankraj boyunca uzanan ve kök bölgesinde delikleri olan özel borular yardımı ile imalatı tamamlanan ankrajlara da yapılabilmektedir.

Uygulamanın temelinde, ankraj kökünün veya çevre zeminin geleneksel yöntemlerde kullanılan tekniğin dışında yüksek basınçlı (10~30 bar) enjeksiyonun imalat sırasında veya imalat sonrasında 1-2 gün sonra tekrar gerçekleştirilmesi yer almaktadır.

Ard enjeksiyon adıyla anılmasını gösteren örneklerden biri; özellikle kohezyonlu zeminlerde ankraj kökünün zamana bağlı olarak gerçekleştirdiği hareket sonucunda gerilmiş ankrajlarda yük kaybı gerçekleşir.

Yük kaybı yaşanan ankrajın tekrar gerilmesi aşamasında, imalat sırasında önceden bırakılan özel borular ile yüksek basınçlı enjeksiyon yapılarak sünme gerçekleştirilen zemin ve mevcut kök iyileştirilir. Tezin ilerleyen bölümlerinde, TAM tipi ankraj olarak geçecektir.

### **6.3.2 SBMA (Single Borehole Multiplier Anchor)**

Tek delgi içerisinde çoklu ankraj olarak türkçeleştirilebilen SBMA ankrajların tarihçesi, ankrajların yük aktarım mekanizmasının incelenmesinin başladığı yıllara (1970-1980 arası) dayanmaktadır. Yapılan bu araştırmalar sonucunda, ankraj kök bölgesinin boyu ile kök taşıma gücünün doğrudan bir orantısı olmadığı ve zemin/kaya ara yüzünde oluşacak kayma gerilmelerinin kök üzerindeki dağılımının germe yükü değerine göre değişeceği belirlenmiş ve gerçekleştirilen deneyler ile doğrulanmıştır.

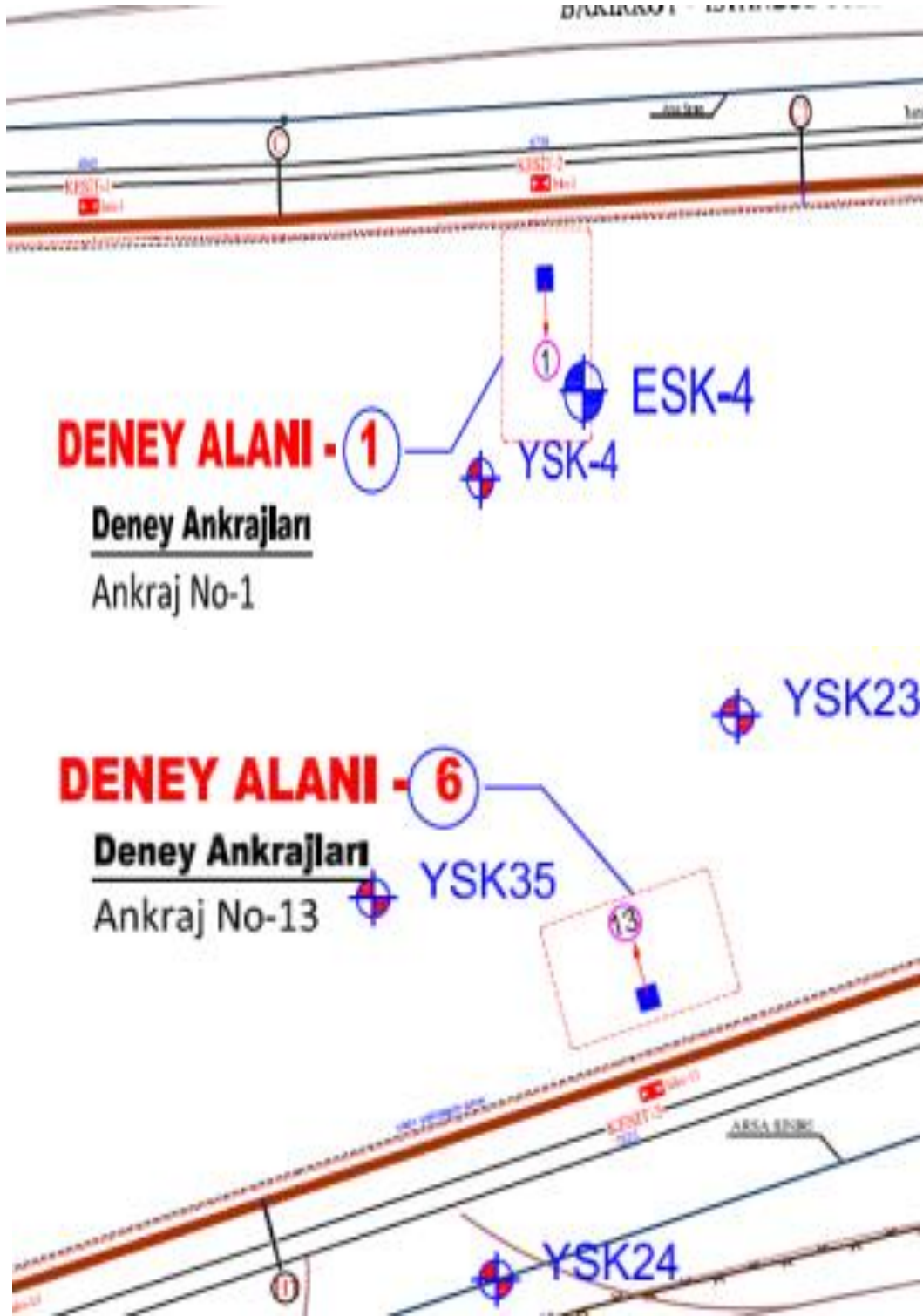
Buna ilaveten, ankrajlarda kök sıyrılmasının veya kök taşıma gücünün yenilmesinin, aşamalı sıyrılma olarak gerçekleşeceği araştırılmış ve efektif kök uzunluğu veren bağıntılar geliştirilmiştir.

SBMA teknolojisinin temelini oluşturan efektif kök, geleneksel yöntem ile imal edilen ankrajlara göre özellikle zayıf zeminlerde (yumuşak kil-silt, az sıkı kum tabakaları, zayıf dayanımlı bol çatlaklı kaya formasyonları) yüksek kapasitelere ulaşılmasını sağlamaktadır. Tezin ilerleyen bölümlerinde SBMA tipi ankraj olarak geçecektir.

### **6.4 Deney Alanı 1 ve 6**

Zemin araştırmaları ve incelemelerine göre bu alanlarda yapılan ankrajların kök bölgesi zayıf dayanımlı marn ara bantlı kireç taşı üyesi içerisinde kalmaktadır. Kazı derinliğine göre uygulama sırasında ihtiyaç duyulacak germe yüklerinin fazla olmaması sebebi ile bu alanlarda imal edilen ankrajlara yapılan deneylerde ulaşılacak hedef; ilgili standartlarca belirtilen kriterlere göre deney ankrajlarının performansını incelemek ve bu kriterleri sağlayacak proje germe yüklerini belirlemek olmuştur.

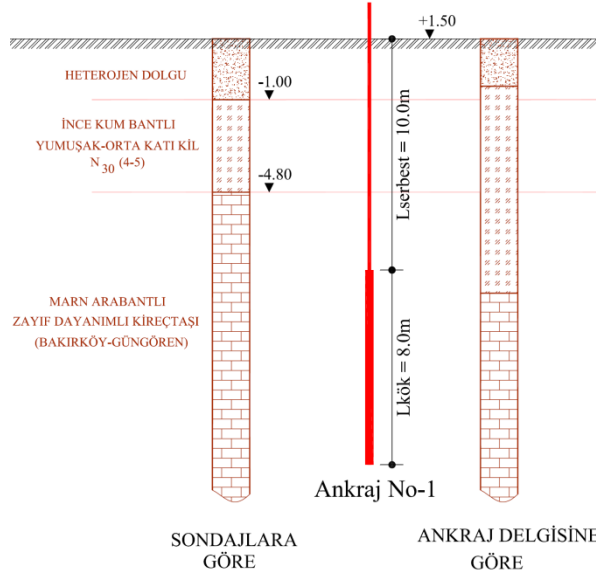
Geleneksel yöntemler ile imal edilen deney ankrajlarının yer aldığı alanlardaki zemin profilini temsil eden sondajlar Şekil 6.4' te verilmiştir. Zemin etüt programı kapsamında gerçekleştirilen saha ve laboratuvar çalışmaları sonuçları dikkate alınarak, kireçtaşı üyesi içerisinde kalan deney ankrajlarının kök taşıma gücü farklı hesap yaklaşımları ile teorik olarak hesaplanmıştır.



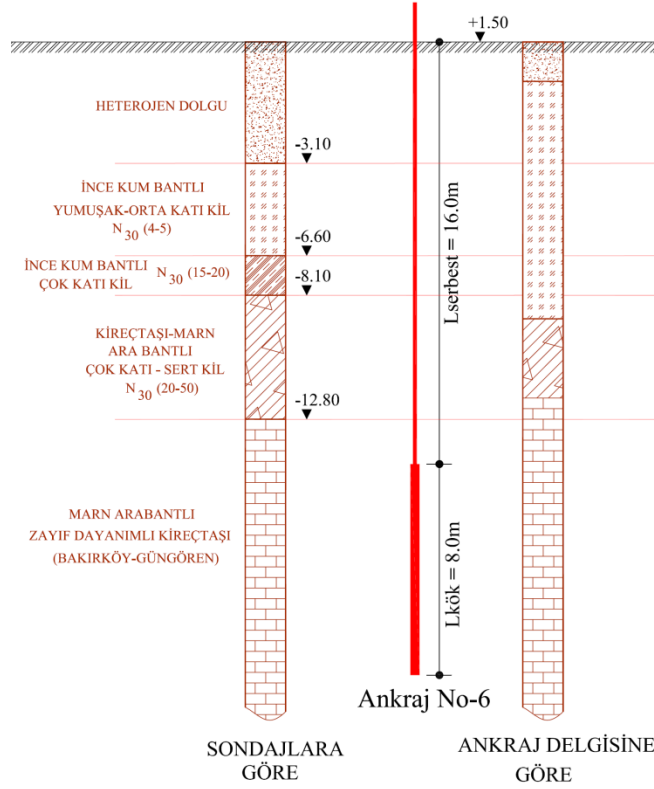
Şekil 6.4 : Deney alanları 1 ve 6 ve alanları temsil eden sondaj planı

1 ve 6 numaralı alanlarda imal edilen ankrajların kök taşıma gücü hesabında dikkate alınan sondaj noktalarına göre çıkarılan zemin profili içerisindeki boy kesit gösterimleri Şekil 6.5'te gösterilmiştir.

## DENEY ALANI - ①



## DENEY ALANI - ⑥



**Şekil 6.5 :** 1 ve 6 alanlarına yakın sondajlardan çıkartılmış idealize zemin profili ve ankraj delgisi sırasında tespit edilen zemin profili

Deney ankrajlarının delgileri sırasında gözlemlenen zemin profili ile deney alanları yakınında yer alan sondajların idealleştirilmesi sonucunda ortaya çıkan profilin birbirlerine yakın olduğu tespit edilmiştir. Ancak, 1 numaralı deney alanında imal edilen ankrajın kök bölgesinin yaklaşık olarak bir metresinin yumuşak-orta katı kil

zeminde kaldığı gözükmemektedir. Bu sebepten dolayı, deney ankrajı-1 taşıma gücü hesabında kökün ilk bir metresinde elde edilecek sürtünmenin rölatif olarak kireçtaşı üyesinden elde edilecek sürtünmeye göre çok düşük olması da düşünülerek kök 7 metre olarak dikkate alınmıştır.

#### **6.4.1 Deney ankrajları imal yöntemleri**

Geleneksel yöntemler kullanılarak imal edilen 1 ve 13 numaralı deney ankrajlarının delgisi sırasında, yüksek yer altı su seviyesi altında heterojen dolgu ve yumuşak kil tabakalarında yaşanacak kuyu stabilitesinin sağlanması amacıyla muhafaza borusu sürülmüştür. Dış çapı 170 mm olan muhafaza boruları ilk aşamada kireçtaşı formasyonuna kadar sürülmüş, ancak delgi tamamlandıktan sonra kireçtaşı içerisinde kalan kuyuda göçmeler yaşanmıştır. Kireçtaşı üyesinin zayıf olmasının getirmiş olduğu avantaj ile muhafaza borusu delgi boyu kadar sürülmüştür. Delgilerin tamamlanması sonrasında, kuyu içerisine kılavuz olarak adlandırılan enjeksiyon hortumu indirilerek önceden enjeksiyon yapılarak kuyu içerisi doldurulmuştur. Bu işlemten sonra proje çizimlerine göre hazırlanan ankraj halatları önceden enjeksiyonlanmış kuyu içerisine atılmıştır. Tam boy sürülen muhafaza boruları yukarı çekilirken önce kök bölgesi ve sonrasında diğer bölgelerin enjeksiyonlanması yapılarak ankraj imalatı tamamlanmıştır.

#### **6.4.2 Saha deneyleri**

1 ve 6 numaralı ankrajların deneyleri sırasında izlenen yük adımları ve her bir adımda çıkılacak yük tasarım sırasında yapılan ön analizler sonucunda belirlenen germe yükü ( $P_{tas}$ ) değerine göre belirlenmiştir.

Proje kapsamında yapılacak olan kazının desteklenmesi için önerilen ankrajlı duvar çözümünün ön analizleri sonucunda, ankraj kökünün kireçtaşı formasyonuna gireceği bölgelerdeki ankraj germe yükü 800 kN olarak belirlenmiştir. her iki bölgede de yapılan deney sırasında ankrajlara verilen yükler aşamalı olarak 5 döngüde gerçekleştirilmiştir (Çizelge 6.2). Deneyler öncesinde her bir aşamada verilecek germe yükleri altında ankraj kökünün sıyrılmayacağı varsayımı yapılarak, BS 8081:1989, standart kapsamında belirlenen deney kriterleri açısından değerlendirilmiştir. Böylece, imalat sırasında kireçtaşı içerisinde kökleri kalan

ankrajların standartlarca uygulanan deneyler karşısındaki performansı da incelenmiş olundu.

**Çizelge 6.2 :** Ankraj no-1 ve 13 deney sırasında yük uygulama ve bekleme adımları

| Döngü | Yükleme Adımları | Yük kN | Zaman dakika |
|-------|------------------|--------|--------------|
| 1     | 10.0%            | 80     | 1            |
|       | 25.0%            | 200    | 1            |
|       | 50.0%            | 400    | 1            |
|       | 25.0%            | 200    | 1            |
|       | 10.0%            | 80     | 1            |
| 2     | 10.0%            | 80     | 1            |
|       | 50.0%            | 400    | 1            |
|       | 75.0%            | 600    | 1            |
|       | 50.0%            | 400    | 1            |
|       | 10.0%            | 80     | 1            |
| 3     | 10.0%            | 80     | 1            |
|       | 50.0%            | 400    | 1            |
|       | 75.0%            | 600    | 1            |
|       | 100.0%           | 800    | 1            |
|       |                  |        | 1.5          |
|       |                  |        | 3            |
|       |                  |        | 5            |
|       |                  |        | 10           |
|       |                  |        | 15           |
|       | 75.0%            | 600    | 1            |
|       | 50.0%            | 400    | 1            |
|       | 10.0%            | 80     | 1            |
| 4     | 10.0%            | 80     | 1            |
|       | 50.0%            | 400    | 1            |
|       | 75.0%            | 600    | 1            |
|       | 100.0%           | 800    | 1            |
|       | 125.0%           | 1000   | 1            |
|       |                  |        | 1.5          |
|       |                  |        | 3            |
|       |                  |        | 5            |
|       |                  |        | 10           |
|       |                  |        | 15           |
|       | 100.0%           | 800    | 1            |
|       | 75.0%            | 600    | 1            |
|       | 50.0%            | 400    | 1            |
|       | 10.0%            | 80     | 1            |
| 5     | 10.0%            | 80     | 1            |
|       | 50.0%            | 400    | 1            |
|       | 100.0%           | 800    | 1            |
|       | 125.0%           | 1000   | 1            |
|       | 150.0%           | 1200   | 1            |
|       |                  |        | 1.5          |
|       |                  |        | 3            |
|       |                  |        | 5            |
|       |                  |        | 10           |
|       |                  |        | 15           |
|       | 125.0%           | 1000   | 1            |
|       | 100.0%           | 800    | 1            |
|       | 50.0%            | 400    | 1            |
|       | 10.0%            | 80     | 1            |

Çizelge 6.2'de verilen deney yük uygulama ve bekleme adımları sahada sırasında izlenen adımı izlemiş olup, her bir yük kademesinde ( %100, %125, %150) en az 15 dakika beklenilmesi planlanmıştır. Daha sonra sonuçları verilecek olan 1 numaralı ankrajda olduğu gibi 15 dakika sonunda ankrajda belirtilen yük kademelerinde uzamanın devam ettiği gözlemleniyorsa, okumaların süresi 50 dakikaya çıkarılır.

#### 6.4.3 Deney ankrajı 1

Deney ankrajı ile ilgili halat, enjeksiyon karışım oranı, harcanan enjeksiyon miktarı vb. gibi bilgiler Çizelge 6.3 ve Çizelge 6.4 altında özetlenmiştir.

**Çizelge 6.3 :** Deney ankrajı-1 için kullanılan halat tipi ve özellikleri

| Halat Tipi                                                                                        | A <sub>halat</sub><br>(mm <sup>2</sup> ) | Maks. Kopma Yüğü<br>(kN/halat) | Maks. Ankraj<br>Kopma Yüğü<br>(kN) | İzin Verilebilir<br>Maks. Test<br>Yüğü* (kN) | E<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | A <sub>ankraj</sub><br>(mm <sup>2</sup> ) |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------|
| 6x0.6"                                                                                            | 140                                      | 260.7                          | 1564.2                             | 1251.4                                       | 195000                    | 840                                       |
| * BS8081-1989; Maksimum test yükünü halatın kopma yükünün %80'i ile sınırlamıştır. (Madde 11.2.4) |                                          |                                |                                    |                                              |                           |                                           |

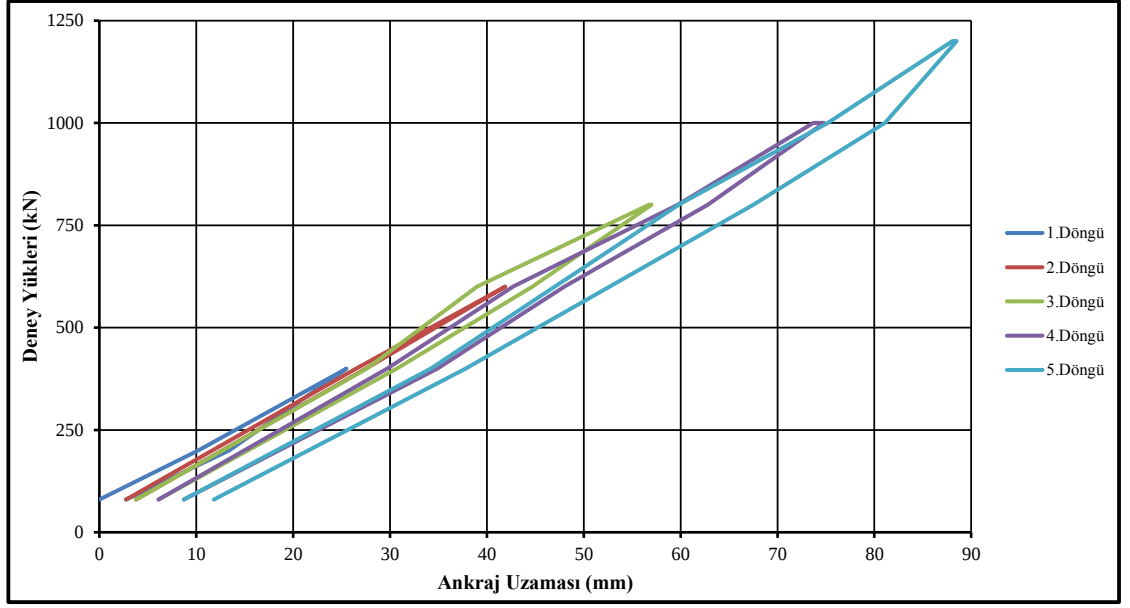
**Çizelge 6.4 :** Deney ankrajı-1 için kullanılan çimento tipi ve sarfiyatı, enjeksiyon bilgileri

| Çimento Sınıfı                                                                                                                    | Su/Çimento* | Katkı Türü   | Ağırlıkça Oranı | Enjeksiyon<br>Miktar** (lt) | Çimento<br>(kg) | Birim Çimento<br>Sarfiyatı (kg/m) |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------|-----------------|-----------------------------|-----------------|-----------------------------------|
| CEM I (PÇ 42.5)                                                                                                                   | 0.45        | Interplast-Z | 1.00%           | 1404.0                      | 1996            | 110.9                             |
| *100 kg çimento 45 lt su ile karıştırılmıştır.<br>**Enjeksiyon miktarı; Ön enjeksiyon + İkincil Enjeksiyon + Patlatma Enjeksiyonu |             |              |                 |                             |                 |                                   |

Enjeksiyon karışımında kullanılan interplast-z katkısı, zemin veya kaya ortamlarında imal edilen ankrajlarda kullanılmakta ve aşağıda belirtilen hususlarda avantaj sağlamaktadır (Sika®, 2007) :

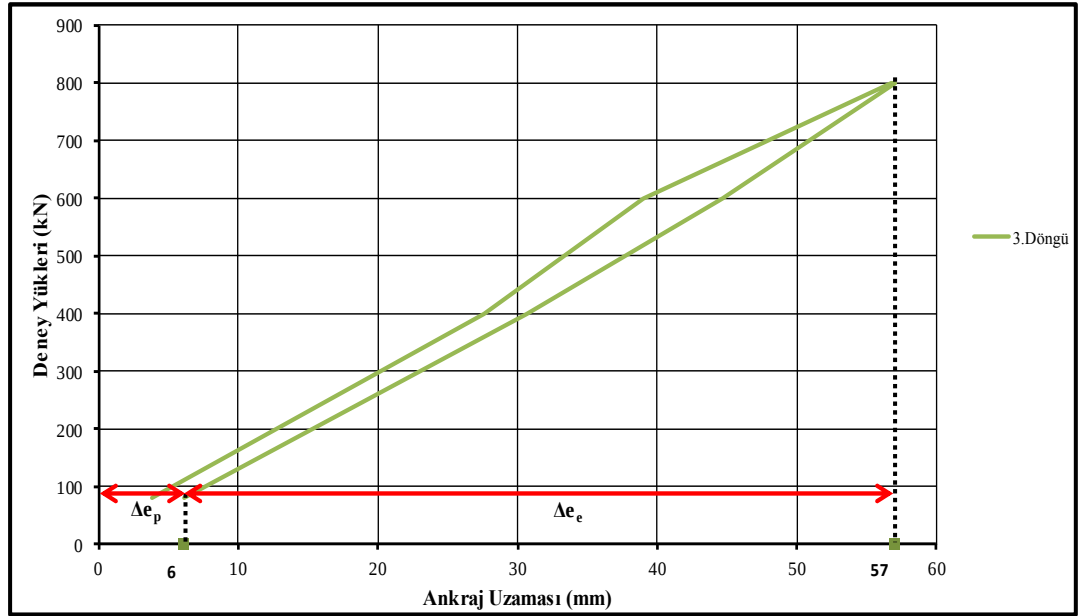
- Dona karşı dayanıklılığı yükseltir.
- Akışkanlık sağlamasına karşı, bir miktar su kullanımını azaltır.
- Karışımındaki suyun terlemesini engelleyerek, enjeksiyon prizi süresince mikro balonların oluşma riskini düşürür ve kohezyonu artırır.
- Çimentolu karışımların prizden önce genleşmesini sağlar.

5 döngüde gerçekleştirilen ankraj no-1'in germe deneyi sonucunda elde edilen yük-uzama ilişkisi, Şekil 6.6'da verilmiştir.

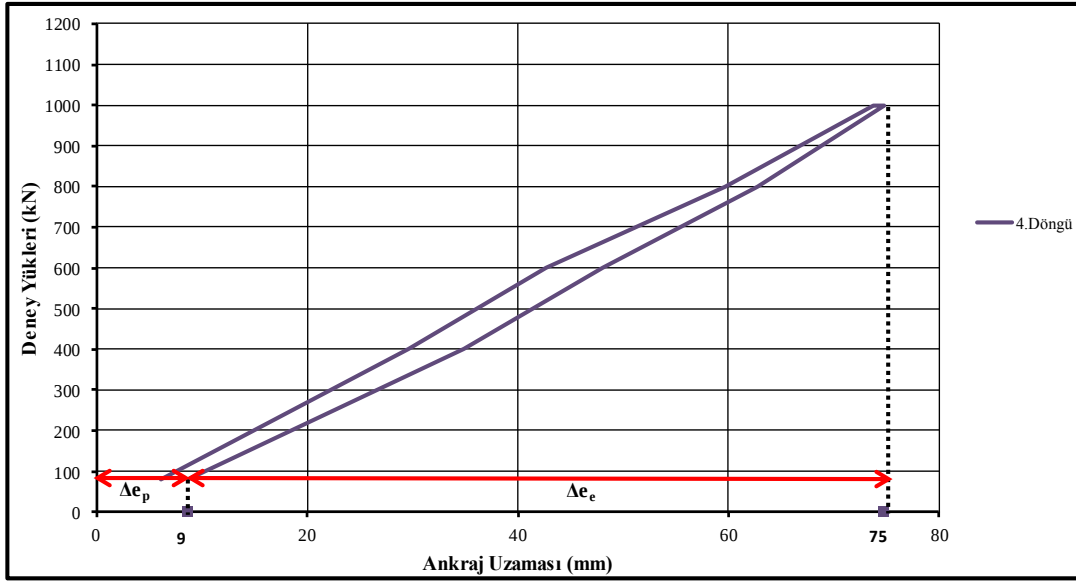


**Şekil 6.6 : Deney ankrajı-1 : yük-uzama grafiği**

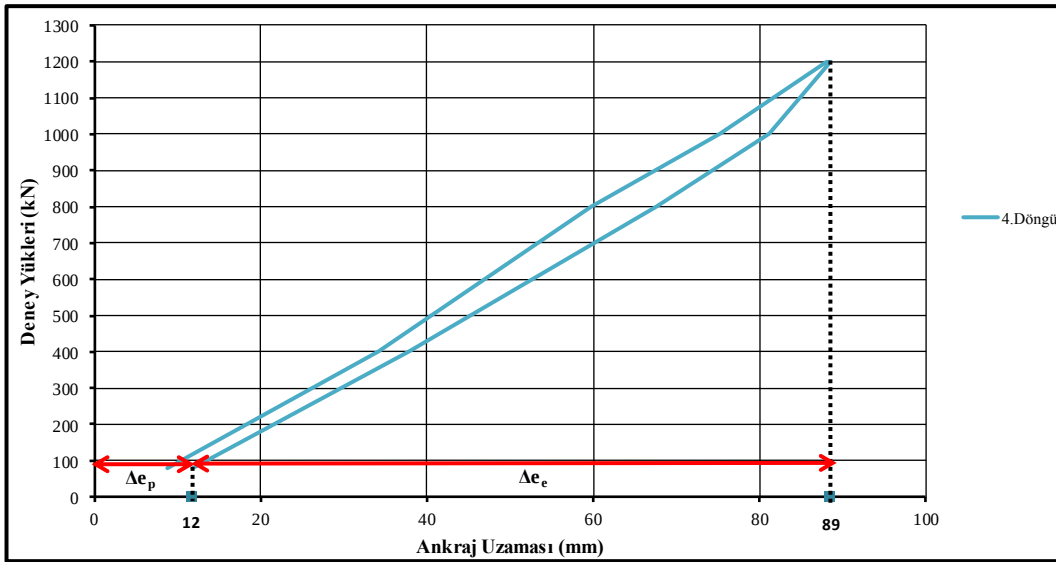
1 numaralı ankraj, deney sırasında uygulanan her bir yükleme adımında kireçtaşı formasyonundan sıyrılmamış ve çekme yüklerini kök üzerinden başarılı bir şekilde aktarmıştır. Proje de uygulanması beklenen 800 kN germe yükünün 100%, 125% ve 150% katları maks. yüklere denk gelen döngülerde ölçülen uzama-yük eğrileri 3 farklı grafikte ayrı bir şekilde gösterilmiştir. Grafikler üzerinde bu yük döngülerinde belirlenen plastik-elastik uzama farkı da eklenmiştir (Şekil 6.7, 6.8, 6.9).



**Şekil 6.7 : Deney ankrajı-1 yük uzama grafiği (100% Yük döngüsü)**



**Şekil 6.8 :** Deney ankraşı-1 yük uzama grafiği (125% Yük döngüsü)



**Şekil 6.9 :** Deney ankraşı-1 yük uzama grafiği (150% Yük döngüsü)

Proje kapsamında yapılacak olan imalat ankrajlarının performansını belirlemek ve standartlarca belirtilmiş deney kriterlerini sağlayıp sağlamadığını kontrol edilmesi amacıyla yapılan bir numaralı deney ankraşı aşağıda verilen kıstaslara (BS8081:1989) göre değerlendirilmiştir.

- Görünen serbest boy hesabı (BS8081:1989, Madde 11.2.9)

$$\text{Görünen Serbest Boy } (L_{app}) = \frac{A_{ank} E_t \Delta_e}{T} \quad (6.1)$$

$A_{ank}$  : Ankrajda kullanılan halatın toplam kesit alanı

$E_t$  : Ankrajda kullanılan halatın elastisite modülü

$\Delta_e$  : Herhangi bir yük kademesinde ankrajda meydana gelen elastik uzama

$T$  : Elastik uzamanın ölçüldüğü yük kademesindeki net yük değeri ( $T_x - T_o$ )

- Denklem 6.1'e göre hesaplanan görünen serbest boy BS8081'e göre aşağıda verilen şartları sağlaması gerekmektedir.

$\geq \%90 \times \text{Tasarım Serbest Boyu}$

$\leq \text{min. } (\%110 \times \text{Tasarım Serbest Boyu, Tasarım Serbest Boyu} + \%50 \text{ Kök Boyu})$

$$\text{Tasarım Serbest Boyu}(L_f) = L_h + L_g \quad (6.2)$$

$L_h$ : Tasarımda belirlenen, yapı arkasından itibaren kök bölgesinin başlangıcına olan mesafe

$L_g$ : Yapının ön yüzünden itibaren, germe için bırakılan pay

- Belirli bir yük kademesi altında zamana bağlı gözlemlenen uzama miktarı veya uzama oranı Çizelge 6.5' te verilen şartları sağlamak zorundadır (BS8081:1989)

**Çizelge 6.5** : Zamana bağlı ankrajın taşıdığı yük altında izin verilebilir uzama değerleri

| Gözlem Periyodu (dakika) | İzin Verilebilir Uzama Değeri |
|--------------------------|-------------------------------|
| 5                        | $\%1 \Delta_{et}$             |
| 15                       | $\%2 \Delta_{et}$             |
| 50                       | $\%3 \Delta_{et}$             |
| 150                      | $\%4 \Delta_{et}$             |
| 500*                     | $\%5 \Delta_{et}$             |
| 1500 (~1 gün)            | $\%6 \Delta_{et}$             |
| 5000 (~3 gün)            | $\%7 \Delta_{et}$             |
| 15000 (~5 gün)           | $\%8 \Delta_{et}$             |

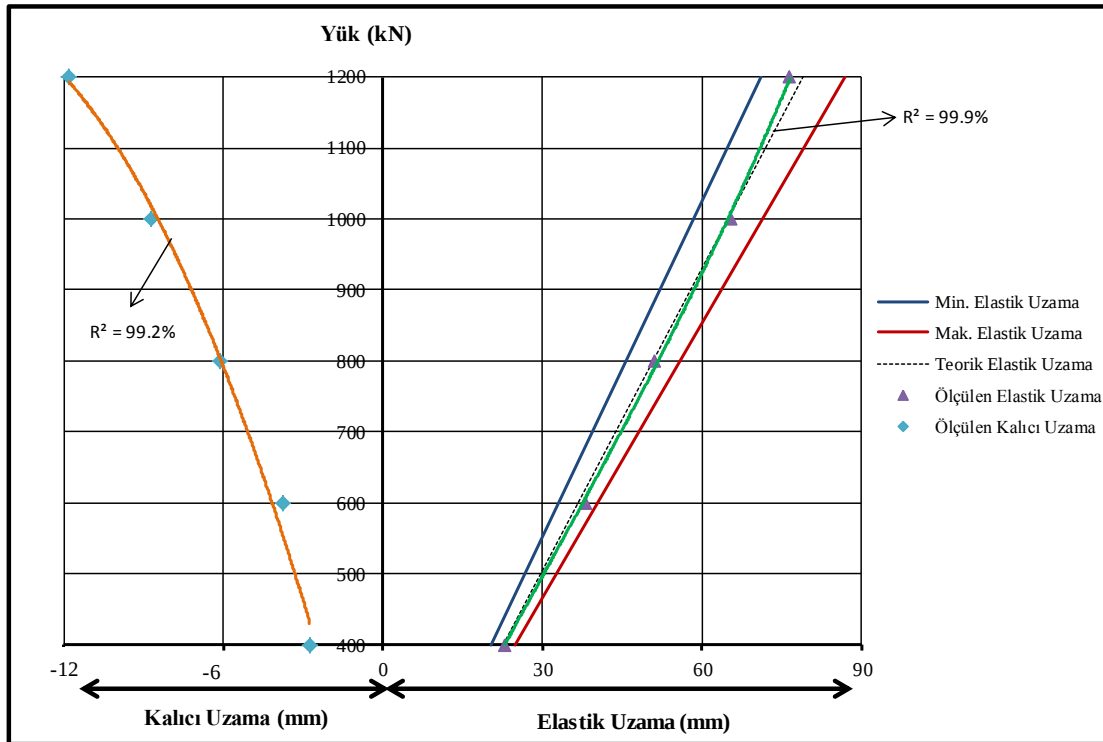
$\Delta_{et}$  : Ankrajın kalıcı olarak taşıyacağı yük altında meydana gelecek elastik biçimdeki teorik uzama değeri (denklem 6.1 kullanılarak hesaplanabilir).

Deney ankrajı-1 için yukarıda verilen her bir madde ayrı ayrı incelenmiştir. Birinci maddeye göre, her bir döngü içerisinde çıkılan maksimum yük kademesinde ankrajda gözlemlenen elastik uzama ve buna bağlı görünen boy Çizelge 6.6' da verilmiştir.

**Çizelge 6.6 :** Yük kademelerinde ölçülen elastik ve kalıcı ankraj uzama değerleri

| Döngü | Yük (kN) | $\Delta_{ank}$ (mm) | $\Delta_p$ (mm) | $\Delta_e$ (mm) | $L_{app}$ (m) |
|-------|----------|---------------------|-----------------|-----------------|---------------|
| 1     | 400.00   | 26                  | 3               | 23              | 11.65         |
| 2     | 600.00   | 42                  | 4               | 38              | 12.00         |
| 3     | 800.00   | 57                  | 6               | 51              | 11.58         |
| 4     | 1000.00  | 74                  | 9               | 65              | 11.64         |
| 5     | 1200.00  | 88                  | 12              | 76              | 11.19         |

1 numaralı deney ankrajı BS8081'de belirtilen serbest boy kriteri açısından incelenmiştir ve Şekil 6.10'da verilen grafik üzerinde özetlenmiştir. Grafik hazırlanış biçimi, ilgili standardın 11.2.12 numaralı maddesinde belirtilen şekil formatı referans alınmıştır.



**Şekil 6.10 :** BS8081'de belirtilen kabul kriterlerine göre deney ankrajı-1 için sahada ölçülen elastik uzama değerlerinin kontrolü ve kalıcı uzama-yük ilişkisi

Şekil 6.10'da verilen grafik üzerinde gösterilmiş maksimum ve minimum elastik uzama değerleri, her bir yük kademesinde çıkılan maksimum yük değerine göre denklem 6.1 kullanılarak hesaplanmıştır.

Deney ankrajı-1'in kök bölgesinin yük aktaracağı tabakanın kireçtaşı formasyonu olmasına rağmen yapısında barındırmış olduğu marn arabantları ve kireçtaşı tabakaları arasında süreksizliklerin çok olması sebebi ile sünme kontrolü açısından da değerlendirmiştir. Ankrajlar için hazırlanan deney programına göre; kritik olarak görülen her bir yük kademesinde ( $100 P_{tas}$  ,  $125 P_{tas}$  ,  $150 P_{tas}$ ) minimum 15 dakika süresince ankrajda meydana gelen uzamalar ölçülmüştür. Sabit yük altında, çizelge 6.5'te verilen gözlem periyotlarında belirtilen izin verilebilir uzama oranlarına göre sahada gerçekleştirilen deney sırasında ölçülen uzama değerleri aşağıda özetlenmiştir (Çizelge 6.7).

**Çizelge 6.7 :** Farklı yükler altında ankraj-1 için uzama oranları ve izin verilebilir limitler

| Döngü | Kademe | Gözlem Periyodu (dk) | Yük (kN) | $\Delta_{ank}$ (mm) | Teo. $\Delta_e$ (mm) | Uzama Oranı (mm) | İzin verilebilir Uzama Oranı (mm) |
|-------|--------|----------------------|----------|---------------------|----------------------|------------------|-----------------------------------|
| 3     | 100    | -                    | 800      | 57                  | 50.77                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 57                  |                      | 0.26             | 0.51                              |
|       |        | 15                   |          | 57                  |                      | 0.26             | 1.02                              |
| 4     | 125    | -                    | 1000     | 74                  | 64.87                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 74                  |                      | 0.40             | 0.65                              |
|       |        | 15                   |          | 75                  |                      | 0.80             | 1.30                              |
|       |        | 30*                  |          | 75                  |                      | 1.10             | 1.51                              |
|       |        | 50                   |          | 75                  |                      | 1.10             | 1.95                              |
| 5     | 150    | -                    | 1200     | 88                  | 78.97                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 89                  |                      | 0.44             | 0.79                              |
|       |        | 15                   |          | 89                  |                      | 0.44             | 1.58                              |

\*30. dakikada izin verilebilir uzama oranı, 15. ve 50.dakikada belirtilen izin verilebilir uzama oranlarında kullanılan değerlerin interpolasyonu alınarak hesaplanmıştır.

Deney alanı-1 bölgesinde imalatı gerçekleştirilen ankraj-1'in önceden yapılan iksa sistemi analizlerinde belirlenmiş proje germe yüklerine göre ayarlanan deney programı altında yük-uzama ilişkisi incelenmiştir. Teorik olarak yapılan hesaplamalar sonucunda belirlenen taşıma gücüne, deney programı sırasında verilen yükler altında ulaşılmayacağı gözükmesine rağmen BS8081'de belirtilen kriterler açısından performansı incelenmiştir. Yapılan analizler sonucundan geleneksel yöntem ile imal edilecek proje ankrajlarının ön görülen germe yükü değeri olan 800 kN başarılı bir şekilde kireçtaşı formasyonuna aktaracağı görülmüştür. Bununla birlikte BS8081'de geçen imalat ankrajlarına yapılacak olan deneyler kapsamında verilecek olan maksimum germe yükü altında göstereceği performansta, ilgili standardın deneyleri içerisinde verilen kriterleri sağlayacaktır.

#### 6.4.4 Deney ankrajı 13

Deney ankrajı ile ilgili halat, enjeksiyon karışım oranı, harcanan enjeksiyon miktarı vb. gibi bilgiler Çizelge 6.8 ve Çizelge 6.9 altında özetlenmiştir.

**Çizelge 6.8 : Deney ankrajı-13 için kullanılan halat tipi ve özellikleri**

| Halat Tipi                                                                                        | A <sub>halat</sub><br>(mm <sup>2</sup> ) | Maks. Kopma Yüğü<br>(kN/halat) | Maks. Ankraj<br>Kopma Yüğü<br>(kN) | İzin Verilebilir<br>Maks. Test<br>Yüğü* (kN) | E<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | A <sub>ankraj</sub><br>(mm <sup>2</sup> ) |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------|
| 6x0.6"                                                                                            | 140                                      | 260.7                          | 1564.2                             | 1251.4                                       | 195000                    | 840                                       |
| * BS8081-1989; Maksimum test yükünü halatın kopma yükünün %80'i ile sınırlamıştır. (Madde 11.2.4) |                                          |                                |                                    |                                              |                           |                                           |

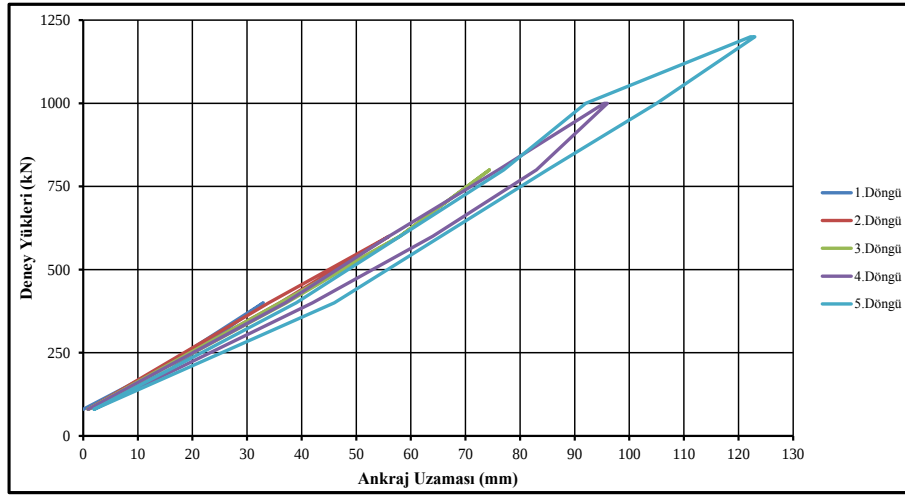
**Çizelge 6.9 : Deney ankrajı-13 için kullanılan çimento tipi ve sarfiyatı, enjeksiyon bilgileri**

| Çimento Sınıfı                                                                  | Su/Çimento* | Katkı Türü   | Ağırlıkça Oranı | Enjeksiyon<br>Miktarı** (lt) | Çimento<br>(kg) | Birim Çimento<br>Sarfiyatı (kg/m) |
|---------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------|-----------------|------------------------------|-----------------|-----------------------------------|
| CEM I (PÇ 42.5)                                                                 | 0.45        | Interplast-Z | 1.00%           | 1326.0                       | 1885.6          | 78.6                              |
| *100 kg çimento 45 lt su ile karıştırılmıştır.                                  |             |              |                 |                              |                 |                                   |
| **Enjeksiyon miktarı; Ön enjeksiyon + İkincil Enjeksiyon + Patlatma Enjeksiyonu |             |              |                 |                              |                 |                                   |

Deney ankrajı-13 ile deney ankrajı-1 imalatında birim metreye harcanan çimento miktarına bakıldığında yaklaşık olarak 40kg/m bir fark olduğu görülmektedir. Deney

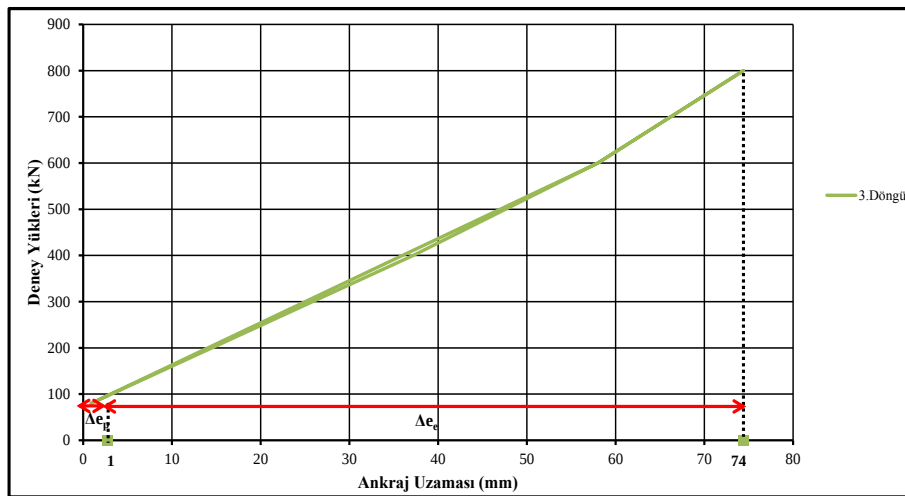
ankrajı-1'de uygulandığı gibi 5 döngüde gerçekleştirilen germe deneyi sonucunda elde edilen yük-uzama ilişkisi Şekil 6.11'de verilmiştir.

Deney sonucunda, 13 numaralı ankrajın maruz kaldığı germe yüklerini kök bölgesi üzerinden kireçtaşı formasyonuna aktarmış ve herhangi bir sıyrılma problemi yaşanmamıştır. Projede uygulanması ön görülen 800 kN değerindeki germe yükleri altında ve ilgili yükün 1.25 ve 1.50 katı yük kademelerindeki performansı incelenmiştir.

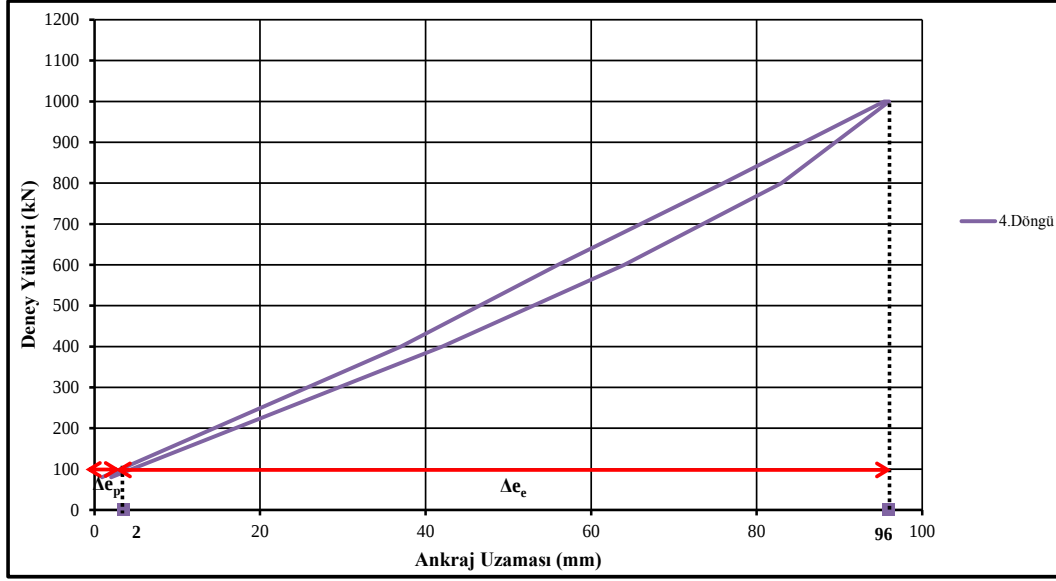


**Şekil 6.11 :** Deney ankrajı-13 : yük-uzama grafiği

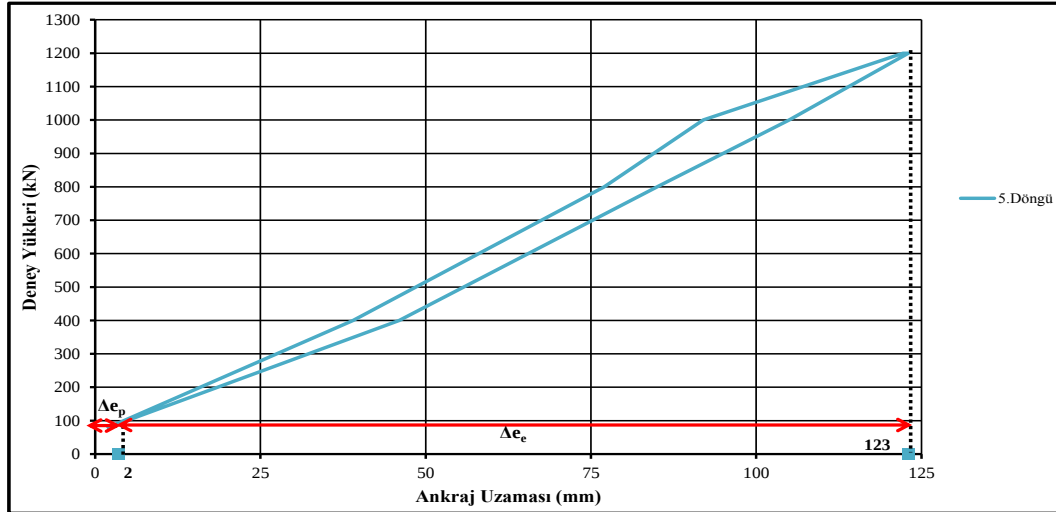
Proje de uygulanması beklenen 800 kN germe yükünün 100%, 125% ve 150% katları maks. yüklere denk gelen döngülerde ölçülen uzama-yük eğrileri 3 farklı grafikte ayrı bir şekilde gösterilmiştir. Grafikler üzerinde bu yük döngülerinde belirlenen plastik-elastik uzama farkı da eklenmiştir (Şekil 6.12, 6.13, 6.14).



**Şekil 6.12 :** Deney ankrajı-42 yük uzama grafiği (100% Yük döngüsü)



**Şekil 6.13 :** Deney ankrajı-13 yük uzama grafiği (125% Yük döngüsü)



**Şekil 6.14 :** Deney ankrajı-13 yük uzama grafiği (150% Yük döngüsü)

Proje kapsamında yapılacak olan imalat ankrajlarının performansını belirlemek ve standartlarca belirtilmiş deney kriterlerini sağlayıp sağlamadığını kontrol edilmesi amacıyla yapılan deney ankrajı-13 aşağıda verilen kıstaslara (BS8081:1989) göre değerlendirilmiştir.

- Görünen serbest boy hesabı (BS8081:1989, Madde 11.2.9)
- Denklem 6.1'e göre hesaplanan görünen serbest boy BS8081'e göre aşağıda verilen şartları sağlaması gerekmektedir.

$$\geq \%90 \times \text{Tasarım Serbest Boyu}$$

$$\leq \min. (\%110 \times \text{Tasarım Serbest Boyu}, \text{Tasarım Serbest Boyu} + \%50 \text{ Kök Boyu})$$

- Belirli bir yük kademesi altında zamana bağlı gözlemlenen uzama miktarı veya uzama oranı çizelge 6.5'te verilen şartları sağlamak zorundadır (BS8081:1989)

Deney ankrajı-13 için yukarıda verilen her bir madde ayrı ayrı incelenmiştir. Birinci maddeye göre, her bir döngü içerisinde çıkılan maksimum yük kademesinde ankrajda gözlemlenen elastik uzama ve buna bağlı görünen boy Çizelge-6.10'da verilmiştir.

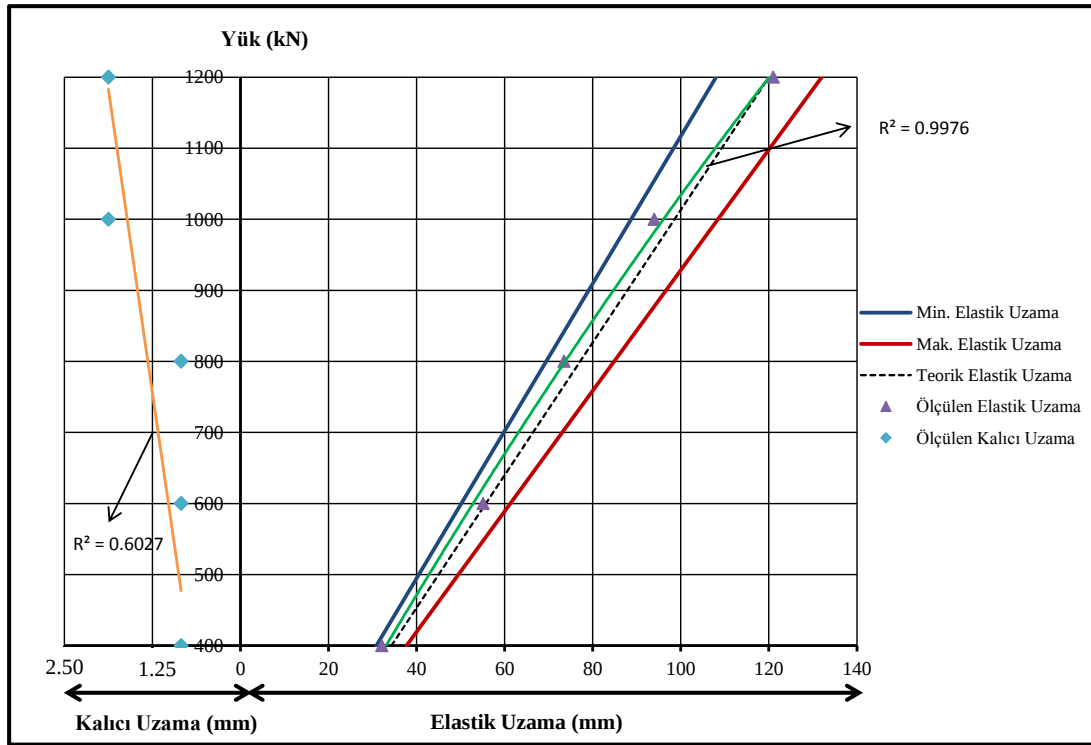
**Çizelge 6.10 :** Yük kademelerinde ölçülen elastik ve kalıcı ankraj uzama değerleri

| Döngü | Yük (kN) | $\Delta_{ank}$ (mm) | $\Delta_p$ (mm) | $\Delta_e$ (mm) | $L_{app}$ (m) |
|-------|----------|---------------------|-----------------|-----------------|---------------|
| 1     | 400.00   | 33                  | 1               | 32              | 16.43         |
| 2     | 600.00   | 56                  | 1               | 55              | 17.36         |
| 3     | 800.00   | 74                  | 1               | 73              | 16.72         |
| 4     | 1000.00  | 96                  | 2               | 94              | 16.74         |
| 5     | 1200.00  | 123                 | 2               | 121             | 17.70         |

13 numaralı deney ankrajı BS8081'de belirtilen serbest boy kriteri açısından incelenmiştir ve Şekil 6.15'te verilen grafik üzerinde özetlenmiştir. Grafik hazırlanış biçimi, ilgili standardın 11.2.12 numaralı maddesinde belirtilen şekil formatı referans alınmıştır.

Şekil 6.15'te verilen grafik üzerinde gösterilmiş maksimum ve minimum elastik uzama değerleri, her bir yük kademesinde çıkılan maksimum yük değerine göre denklem 6.1 kullanılarak hesaplanmıştır.

Deney ankrajı-13'ün kök bölgesinin yük aktaracağı tabakanın kireçtaşı formasyonu olmasına rağmen yapısında barındırmış olduğu marn arabantları ve kireçtaşı tabakaları arasında süreksizliklerin çok olması sebebi ile sünme kontrolü açısından da değerlendirmiştir. Ankrajlar için hazırlanan deney programına göre; kritik olarak görülen her bir yük kademesinde ( $\%100 P_{tas}$  ,  $\%125 P_{tas}$  ,  $\%150 P_{tas}$ ) minimum 15 dakika süresince ankrajda meydana gelen uzamalar ölçülmüştür. Sabit yük altında, çizelge 6.5'te verilen gözlem periyotlarında belirtilen izin verilebilir uzama oranlarına göre sahada gerçekleştirilen deney sırasında ölçülen uzama değerleri aşağıda özetlenmiştir (çizelge 6.11).



**Şekil 6.15 :** BS8081'de belirtilen kabul kriterlerine göre deney ankrajı-1 için sahada ölçülen elastik uzama değerlerinin kontrolü ve kalıcı uzama-yük ilişkisi

**Çizelge 6.11 :** Farklı yükler altında ankraj-13 için uzama oranları ve izin verilebilir limitler

| Döngü | Kademe | Gözlem Periyodu (dk) | Yük (kN) | $\Delta_{ank}$ (mm) | Teo. $\Delta_e$ (mm) | Uzama Oranı (mm) | İzin verilebilir Uzama Oranı (mm) |
|-------|--------|----------------------|----------|---------------------|----------------------|------------------|-----------------------------------|
| 3     | 100    | -                    | 800      | 74.40               | 77.14                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 74.40               |                      | 0.00             | 0.77                              |
|       |        | 15                   |          | 74.40               |                      | 0.00             | 1.54                              |
| 4     | 125    | -                    | 1000     | 95.40               | 98.57                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 96.00               |                      | 0.60             | 0.99                              |
|       |        | 15                   |          | 96.00               |                      | 0.60             | 1.97                              |
|       |        | 30*                  |          | 96.00               |                      | 0.60             | 2.30                              |
|       |        | 50                   |          | 96.00               |                      | 0.60             | 2.96                              |
| 5     | 150    | -                    | 1200     | 122.20              | 120.00               | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 122.40              |                      | 0.20             | 1.20                              |
|       |        | 15                   |          | 123.00              |                      | 0.80             | 2.40                              |

\*30. dakikada izin verilebilir uzama oranı, 15. ve 50. dakikada belirtilen izin verilebilir uzama oranlarında kullanılan değerlerin interpolasyonu alınarak hesaplanmıştır

6 numaralı deney alanında imal edilen deney ankrajı-13 üzerine sahada gerçekleştirilmiş germe deneyi sonucunda, ankrajın 800 kN değerindeki çekme yüklerini başarılı bir şekilde kireçtaşı formasyonuna aktaracağı gözükmiştir. Uygulama sırasında 800 kN öngerme yükü verilecek olan ankrajların BS8081'de belirtilen deneyler karşısında göstereceği performansta bu deney programında incelenmiş ve standartta belirtilen kriterleri sağladığı gözükmiştir.

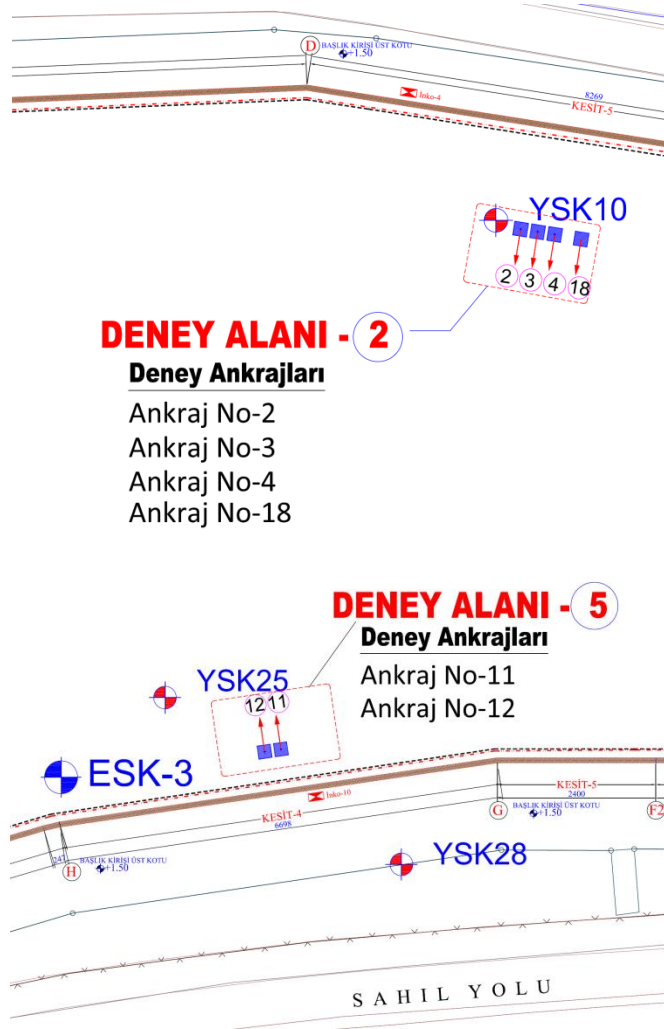
## **6.5 Deney Alanı 2 ve 5**

Proje sahasında gerçekleştirilen zemin araştırmaları ve incelemeleri neticesinde, 5 numaralı deney alanı içerisinde yapılacak olan ankrajların kökleri, yer yer marn ve kireçtaşı (ayırışmış parçalar halinde) içeren çok katı kil tabakası içerisinde kalacağı anlaşılmıştır. Bununla birlikte, 2 numaralı deney alanının da aynı başlık altında toplanmasının sebebi; bölgeye yakın sondajlara göre ankraj kökünün yumuşak-orta katı kil tabakası içerisinde kalması beklenmesine rağmen, delgi sırasında gözlemlenen zemin profilinin sondaja göre uyumsuz olduğu tespit edilmesidir. Ankraj kökü, 5 numaralı deney alanında olduğu gibi kil tabakası içerisinde kalmıştır (bkz. şekil-48). Delgi sırasında edinilen gözlemlere göre, 2 numaralı deney alanında karşılaşılan kil tabakasının 5 numaralı alanda karşılaşılan kil tabakasına göre farkları; kıvamının katı olması ve içerisinde marn-kireçtaşı içermemesi olmuştur.

Proje kapsamında yapılacak kazı sırasında gerekli olacağı tahmin edilen öngerme yükü ve bu yükün katları her iki bölgede imal edilen deney ankrajlarına uygulanmıştır. Yapılan analizler sonucunda gerekli olan öngerme yükü 45 ton olarak belirlenmiştir. Zeminin sahip olduğu yüksek plastisite ve kohezyon, zamana bağlı ankraj kökünde meydana gelecek uzamalara ve yük düşüşüne sebep olması beklenmektedir. Bu sebepten dolayı, geleneksel yöntem ile yapılan ankrajlara ilave olarak farklı teknikler kullanılarak imal edilen deney ankrajların da saha performansı germe yükleri altında incelenmiştir. Sonuç olarak, geleneksel yöntem ile diğer yöntemlerin taşıma gücü ve sünme gibi problemler açısından karşılaştırması yapılmıştır.

Geleneksel yöntemler ile birlikte farklı tekniklerin kullanılarak imal edildiği deney ankrajlarının yer aldığı bölgelerdeki (2 ve 5) zemin profilini temsil eden sondajlar şekil-46'da verilmiştir. Zemin etüt programı kapsamında gerçekleştirilen saha ve laboratuvar deney sonuçları dikkate alınarak, imalat tekniklerine göre katı-çok katı

kil tabakası içerisinde yer alan ankraj kökünün taşıma gücü farklı yaklaşımlar kullanılarak teorik olarak hesaplanmıştır.

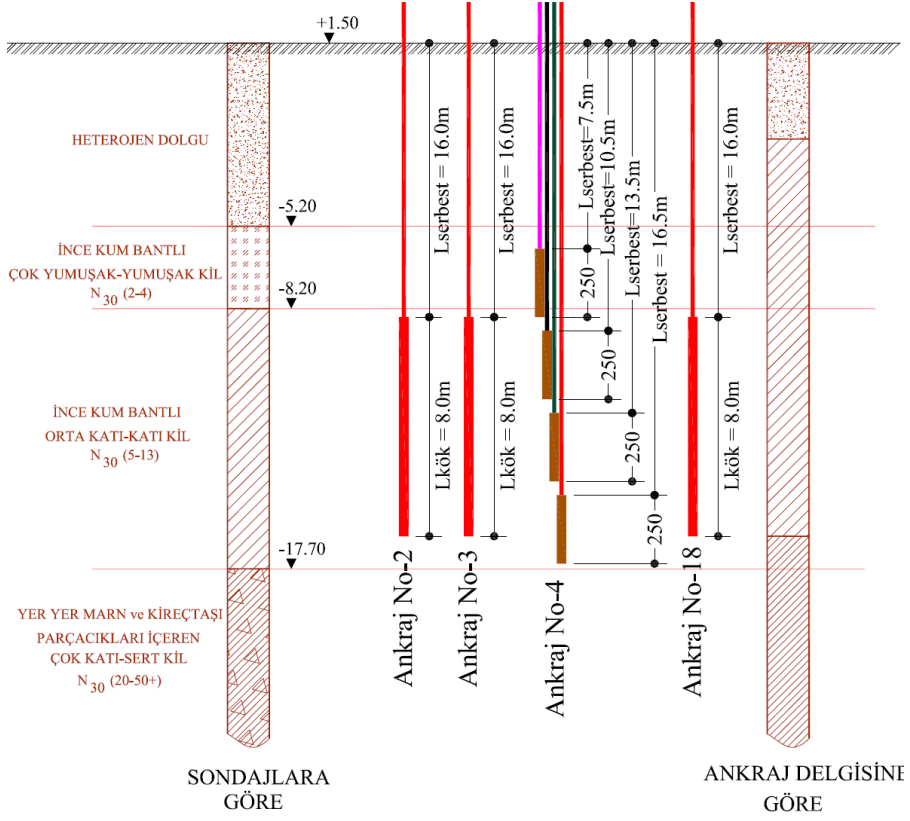


**Şekil 6.16 :** Deney alanları 2 ve 5 ve alanları temsil eden sondajların planı

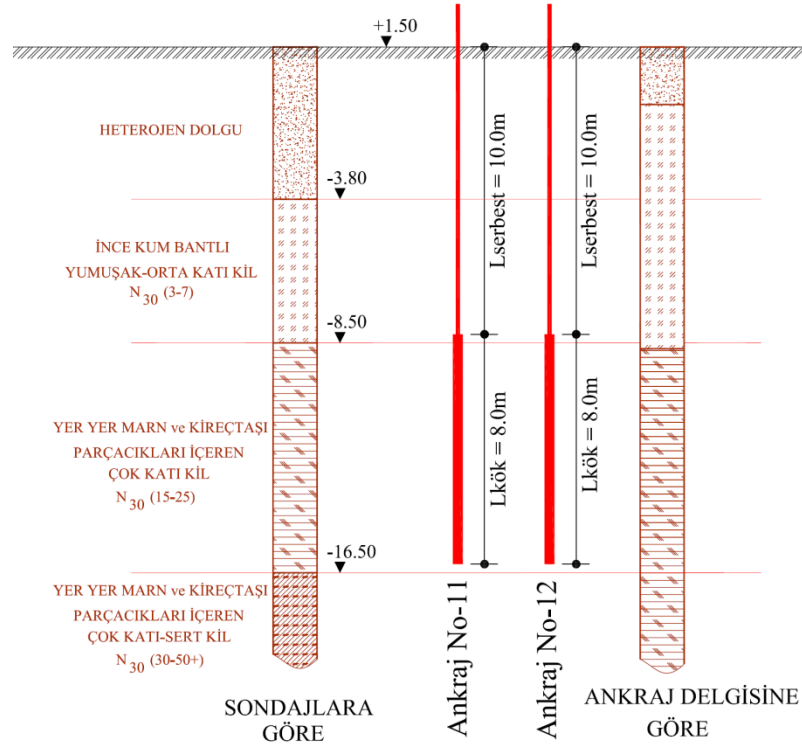
2 ve 5 numaralı alanlarda imal edilen ankrajların kök taşıma gücü hesabında dikkate alınan sondaj noktalarına göre çıkarılan zemin profili içerisindeki ankrajların boy kesit çizimleri Şekil 6.16'da gösterilmiştir.

2 numaralı deney alanlarında imal edilen 4 farklı ankrajın delgisi sırasında, ilgili deney alanına yakın sondajlar kullanılarak çıkartılan zemin profili ile örtüştüğü gözlemlenmiştir. Bu bölgede imal edilen ankraj kökleri, ince kum bantlı orta katı-katı kil tabakası içerisinde yer almıştır. 5 numaralı deney alanında imal edilen ankraj delgilerinin tümünde, ilgili alana yakın sondajların bilgileri doğrultusunda çıkartılan zemin profiline benzer bir profil gözlemlendiği, ankraj kök bölgelerinin çok katı kil tabakası içerisinde kaldığı tespit edilmiştir.

## DENEY ALANI - ②



## DENEY ALANI - ⑤



Şekil 6.17 : 2 ve 5 deney alanlarına yakın sondajlardan çıkartılmış idealize zemin profili ve ankraj delgisi sırasında tespit edilen zemin profili

### 6.5.1 Deney ankrajları ile ilgili imalat yöntemleri

2 numaralı deney alanında yer alan ankrajların imalatında kullanılan teknikler aşağıda özetlenmiştir :

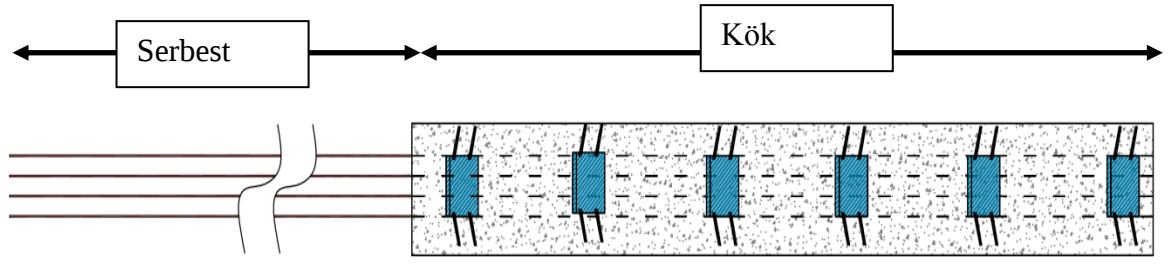
- Ankraj No-2 : Geleneksel Yöntem
- Ankraj No-3 : Ard Enjeksiyon (Tube a Manchette) Yöntemi
- Ankraj No-4 : SBMA (Tek Delgili Çok Ankraj) Tekniği
- Ankraj No-18: Geleneksel Yöntem

Yukarıda bahsi geçen tüm ankrajların delgisi sırasında, meydana gelebilecek göçmelerin engellenmesi amacıyla tam boy boru sürülmüştür. Orta katı-katı kıvamındaki kil tabakasının ankraj kök taşıma gücünün belirlendiği bölgede imalat veya tekniklerin taşıma gücüne etkisi amacıyla iki farklı deney ankrajı da imal edilmiştir.

Ard enjeksiyon yöntemi ve SBMA tekniği kullanılarak imal edilen ankrajların birinci aşaması ile geleneksel yöntem kullanılarak imal edilen ankrajların aşaması arasında hiç bir fark yoktur. Diğer bir taraftan, deney alanında imalatı yapılan ard enjeksiyonlu ve SBMA ankrajları sistemi içerisinde dış çapı ~50mm civarında olan sert plastik boru bırakılmıştır. Kök bölgesinde belirli aralıklarda yer alan delikleri sayesinde, yüksek basınçlı enjeksiyon verilerek ankraj kök taşıma gücü artırılması hedeflenmiştir. Bununla birlikte, ankraj kökünün efektif bir şekilde kullanana SBMA tipi ankrajlarında, geleneksel yöntemle göre tüm kökün çalışması sağlanması ve daha yüksek taşıma gücüne ulaşılması hedeflenmiştir. Deney programı hazırlanması aşamasında, 3 tip ankraj yapılması planlanan bu alanda, geleneksel yöntem kullanılarak ilave bir adet ankraj (no-18) daha imal edilmiştir.

18 nolu deney ankrajı imalatında, kök bölgesi ile serbest bölge birleşim yerine çuval geçirilmiştir ve kök bölgesinin etkili bir şekilde enjeksiyonlanması amaçlanmıştır. Bunun dışında, kök bölgesinde 50 cm aralıkta bir çelik malzemeden üretilmiş kılçıklar (Şekil 6.18) yerleştirilerek halat ile enjeksiyon arasındaki direnç kuvvetinin artırılması hedeflenmiştir.

2 numaralı deney alanında imal edilen ankrajların halat, enjeksiyon karışım oranı, harcanan enjeksiyon miktarı vb. bilgiler Çizelge 6.12 ve Çizelge 6.13 altında özetlenmiştir.



**Şekil 6.18 :** Deney ankrajı-18 imalatında kullanılan tipik kılçık detay gösterimi

**Çizelge 6.12 :** Deney alanı-2 içerisinde imal edilen ankrajların halat tipi ve özellikleri

| Ankraj No | Halat Tipi                   | $A_{\text{halat}}$ (mm <sup>2</sup> ) | Maks. Kopma Yüğü (kN/halat) | Maks. Ankraj Kopma Yüğü (kN) | İzin Verilebilir Maks. Test Yüğü* (kN) | E (N/mm <sup>2</sup> ) | $A_{\text{ankraj}}$ (mm <sup>2</sup> ) |
|-----------|------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|----------------------------------------|------------------------|----------------------------------------|
| 2         | 4x0.6"                       | 140                                   | 260.7                       | 1042.8                       | 834.2                                  | 195000                 | 560                                    |
| 3         | 4x0.6"                       | 140                                   | 260.7                       | 1042.8                       | 834.2                                  | 195000                 | 560                                    |
| 4         | 4 Ünite, 1x0.6" (Ünite Başı) | 140                                   | 260.7                       | 1042.8                       | 834.2                                  | 195000                 | 560                                    |
| 18        | 4x0.6"                       | 140                                   | 260.7                       | 1042.8                       | 834.2                                  | 195000                 | 560                                    |

\* BS8081-1989; Maksimum test yüğü halatın kopma yüğünün %80'i ile sınırlamıştır. (Madde 11.2.4)

**Çizelge 6.13 :** Deney alanı-2 içerisinde imal edilen ankrajlarda kullanılan çimento tipi ve sarfiyatı, enjeksiyon bilgileri

| Ankraj No | Çimento Sınıfı   | Su/Çimento* | Katkı Türü   | Ağırlıkça Oranı | Enjeksiyon Miktarı** (lt) | TAM Enjeksiyon Miktarı*** (lt) | Çimento (kg) | Birim Çimento Sarfiyatı (kg/m) |
|-----------|------------------|-------------|--------------|-----------------|---------------------------|--------------------------------|--------------|--------------------------------|
| 2         | CEM I (PÇ 42.5)  | 0.45        | Interplast-Z | 1.00%           | 741.0                     | -                              | 1054.0       | 58.6                           |
| 3         | CEM I (PÇ 42.5)  | 0.45        | Interplast-Z | 1.00%           | 546****                   | 1840.0                         | 3683.6       | 204.6                          |
| 4         | CEM I (PÇ 42.5)  | 0.45        | Interplast-Z | 1.00%           | 624****                   | 2071.0                         | 4159.0       | 218.9                          |
| 18        | CEM II (PÇ 42.5) | 0.45        | -            | -               | 1100****                  | -                              | 1565.0       | 86.9                           |

\*100 kg çimento 45 lt su ile karıştırılmıştır.  
 \*\*Enjeksiyon miktarı; Ön enjeksiyon + İkincil Enjeksiyon + Patlatma Enjeksiyonu  
 \*\*\*Ard Enjeksiyon (Tube a Manchette)  
 \*\*\*\*3,4,18 numaralı ankrajların imalatında; patlatma enjeksiyonu uygulanmamıştır.

5 numaralı deney alanında yer alan ankrajların imalatında kullanılan teknikler aşağıda özetlenmiştir :

- Ankraj No-11 : Geleneksel Yöntem
- Ankraj No-12 : Ard Enjeksiyon (Tube a Manchette) Yöntemi

Yukarıda bahsi geçen tüm ankrajların delgisi sırasında, meydana gelebilecek göçmelerin engellenmesi amacıyla tam boy boru sürülmüştür.

Delgi sırasında gözlemlenen zemin profiline göre ankraj kök bölgesi, parçalar halinde yer yer kireçtaşı ve marn içeren çok katı kil tabakası içerisinde kalacağı tespit edilmiştir. 5 numaralı alanda, geleneksel yöntem ile imal edilen ankrajın kök taşıma gücünün ön görülen germe yükleri ve katları altında yenilmeyeceği düşünülerek geleneksel yönteme alternatif olarak bir adet ankraj imal edilmiştir.

Bununla birlikte, 5 numaralı alanda imal edilmiş ankrajların germe yükleri altında göstermiş olduğu performansın standartlarda belirtilen kriterlere göre değerlendirilmesi ve ard enjeksiyonun performansa olan etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

5 numaralı deney alanında imal edilen ankrajların halat, enjeksiyon karışım oranı, harcanan enjeksiyon miktarı vb. bilgiler Çizelge 6.14 ve Çizelge 6.15 altında özetlenmiştir.

**Çizelge 6.14 :** Deney alanı-5 içerisinde imal edilen ankrajların halat tipi ve özellikleri

| Ankraj No                                                                                       | Halat Tipi | $A_{\text{halat}}$ (mm <sup>2</sup> ) | Maks. Kopma Yüğü (kN/halat) | Maks. Ankraj Kopma Yüğü (kN) | İzin Verilebilir Maks. Test Yüğü* (kN) | E (N/mm <sup>2</sup> ) | $A_{\text{ankraj}}$ (mm <sup>2</sup> ) |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|----------------------------------------|------------------------|----------------------------------------|
| 11                                                                                              | 4x0.6"     | 140                                   | 260.7                       | 1042.8                       | 834.2                                  | 195000                 | 560                                    |
| 12                                                                                              | 4x0.6"     | 140                                   | 260.7                       | 1042.8                       | 834.2                                  | 195000                 | 560                                    |
| * BS8081-1989; Maksimum test yüğü halatın kopma yüğünün %80'i ile sınırlamıştır. (Madde 11.2.4) |            |                                       |                             |                              |                                        |                        |                                        |

**Çizelge 6.15 :** Deney alanı-2 içerisinde imal edilen ankrajlarda kullanılan çimento tipi ve sarfiyatı, enjeksiyon bilgileri

| Ankraj No                                                                                                                                                                                                                                                                     | Çimento Sınıfı  | Su/Çimento* | Katkı Türü   | Ağırlıkça Oranı | Enjeksiyon Miktarı** (lt) | TAM Enjeksiyon Miktarı*** (lt) | Çimento (kg) | Birim Çimento Sarfiyatı (kg/m) |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------|--------------|-----------------|---------------------------|--------------------------------|--------------|--------------------------------|
| 11                                                                                                                                                                                                                                                                            | CEM I (PÇ 42.5) | 0.45        | Interplast-Z | 1.00%           | 1248.0                    | -                              | 1774.7       | 98.6                           |
| 12                                                                                                                                                                                                                                                                            | CEM I (PÇ 42.5) | 0.45        | Interplast-Z | 1.00%           | 1560****                  | 1273.0                         | 4229.6       | 235.0                          |
| <p>*100 kg çimento 45 lt su ile karıştırılmıştır.</p> <p>**Enjeksiyon miktarı; Ön enjeksiyon + İkincil Enjeksiyon + Patlatma Enjeksiyonu</p> <p>***Ard Enjeksiyon (Tube a Manchette)</p> <p>****12 numaralı ankrajların imalatında; patlatma enjeksiyonu uygulanmamıştır.</p> |                 |             |              |                 |                           |                                |              |                                |

### 6.5.2 Saha deneyleri

2 ve 5 numaralı deney alanlarında imal edilen ankrajların deneyleri sırasında izlenen yük adımları ve her bir adımda çıkılacak yük değeri, projenin tasarım aşamasında yapılan ön analizler sonucunda belirlenen germe yükü ( $P_{tas}$ ) değerine göre belirlenmiştir.

Proje kapsamında yapılacak olan kazının desteklenmesi için önerilen ankrajlı duvar çözümünün ön analizleri sonucunda, her iki alanda yer alan zemin profilinin etkin olduğu bölgelerdeki ankraj germe yükü 450 kN olarak belirlenmiştir. Her iki bölgede gerçekleştirilen deney sırasında ankrajlara verilen yükler aşamalı olarak 6 döngüde gerçekleştirilmiştir (Çizelge 6.16).

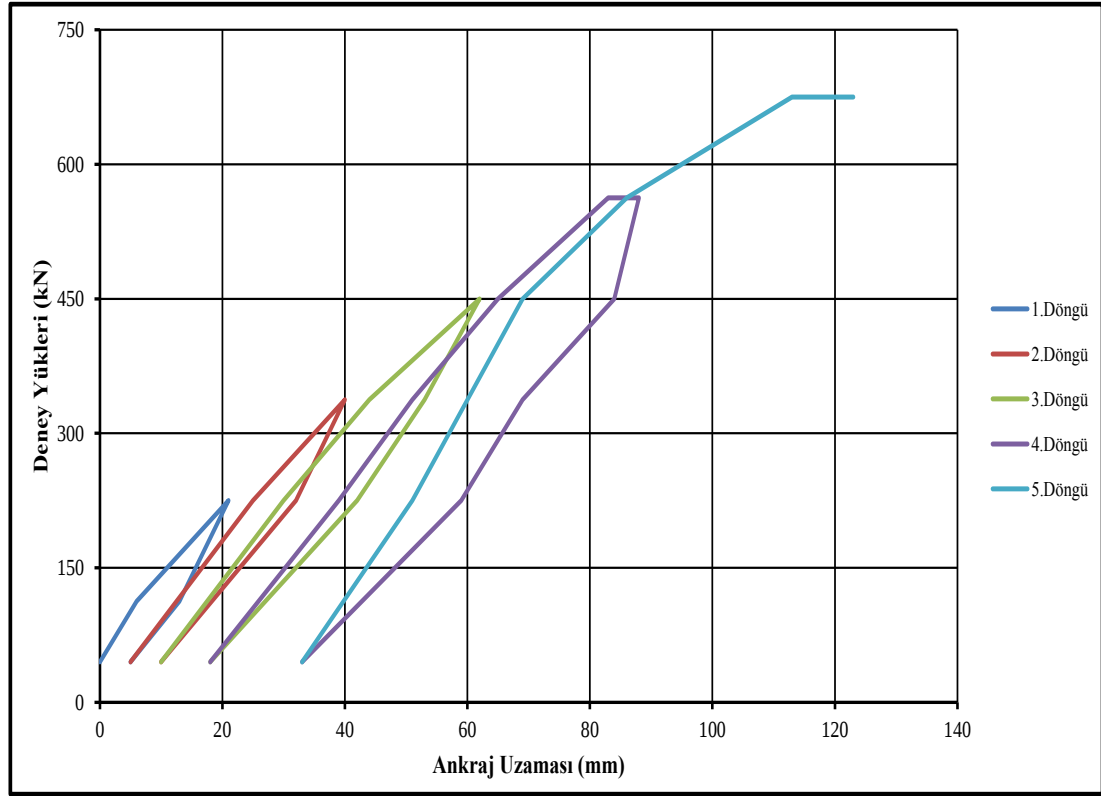
Deney sırasında, kademeli olarak verilen germe yükleri altında ankraj köklerinin bulundukları zeminden sıyrılıp sıyrılmayacağı ve ilgili yük kademelerindeki performansı incelenmiştir. Sahada gerçekleştirilen germe deneyleri ile birlikte ankraj kök taşıma gücü tayini yapılmış ve ilave olarak deney sırasında göstermiş oldukları performansın incelenerek imalat ankrajlarına verilebilecek öngerme yükleri belirlenmiştir. Ankrajların deney sırasında göstermiş oldukları performans, BS8081:1989 standardı kapsamında yer alan deney kriterlerine göre incelenmiştir. Çizelge 6.16'da yükleme kademeleri ve her bir yük kademesinde beklenene süreleri gösteren deney programı verilmiştir. Ön görülen germe yükünün katları olan 125%, 150%, 175% yük kademelerinde en az 15 beklemesi planlanan deney programına göre, sahada 15 dakika sonrasında meydana gelen uzamaların sabit kalmayıp devam ettiği gözlemleniyorsa, bu süre 50 dakikaya uzatılması planlanmıştır.

**Çizelge 6.16 :** 2 ve 5 numaralı alanlarda deney sırasında izlenecek yük uygulama ve bekleme adımları

| Döngü | Yükleme Adımları | Yük<br>kN | Zaman<br>dakika |
|-------|------------------|-----------|-----------------|
| 1     | 10.0%            | 45        | 1               |
|       | 25.0%            | 112.5     | 1               |
|       | 50.0%            | 225       | 1               |
|       | 25.0%            | 112.5     | 1               |
|       | 10.0%            | 45        | 1               |
| 2     | 10.0%            | 45        | 1               |
|       | 50.0%            | 225       | 1               |
|       | 75.0%            | 337.5     | 1               |
|       | 50.0%            | 225       | 1               |
|       | 10.0%            | 45        | 1               |
| 3     | 10.0%            | 45        | 1               |
|       | 50.0%            | 225       | 1               |
|       | 75.0%            | 337.5     | 1               |
|       | 100.0%           | 450       | 1               |
|       | 75.0%            | 337.5     | 1               |
|       | 50.0%            | 225       | 1               |
|       | 10.0%            | 45        | 1               |
| 4     | 10.0%            | 45        | 1               |
|       | 50.0%            | 225       | 1               |
|       | 75.0%            | 337.5     | 1               |
|       | 100.0%           | 450       | 1               |
|       | 125.0%           | 562.5     | 1               |
|       |                  |           | 1.5             |
|       |                  |           | 3               |
|       |                  |           | 5               |
|       |                  |           | 10              |
|       |                  |           | 15              |
|       | 100.0%           | 450       | 1               |
|       | 75.0%            | 600       | 1               |
|       | 50.0%            | 400       | 1               |
|       | 10.0%            | 45        | 1               |
|       | 10.0%            | 45        | 1               |
| 5     | 50.0%            | 225       | 1               |
|       | 100.0%           | 450       | 1               |
|       | 125.0%           | 562.5     | 1               |
|       | 150.0%           | 675       | 1               |
|       |                  |           | 1.5             |
|       |                  |           | 3               |
|       |                  |           | 5               |
|       |                  |           | 10              |
|       |                  |           | 15              |
|       | 125.0%           | 562.5     | 1               |
|       | 100.0%           | 450       | 1               |
|       | 50.0%            | 225       | 1               |
|       | 10.0%            | 45        | 1               |
|       | 10.0%            | 45        | 1               |
|       | 50.0%            | 225       | 1               |
| 6     | 100.0%           | 450       | 1               |
|       | 125.0%           | 562.5     | 1               |
|       | 175.0%           | 787.5     | 1               |
|       |                  |           | 1.5             |
|       |                  |           | 3               |
|       |                  |           | 5               |
|       |                  |           | 10              |
|       |                  |           | 15              |
|       | 125.0%           | 562.5     | 1               |
|       | 100.0%           | 450       | 1               |
|       | 50.0%            | 225       | 1               |
|       | 10.0%            | 45        | 1               |
|       | 10.0%            | 45        | 1               |
|       | 50.0%            | 225       | 1               |
|       | 10.0%            | 45        | 1               |

### 6.5.3 Deney ankraжі-2 (Alan-2)

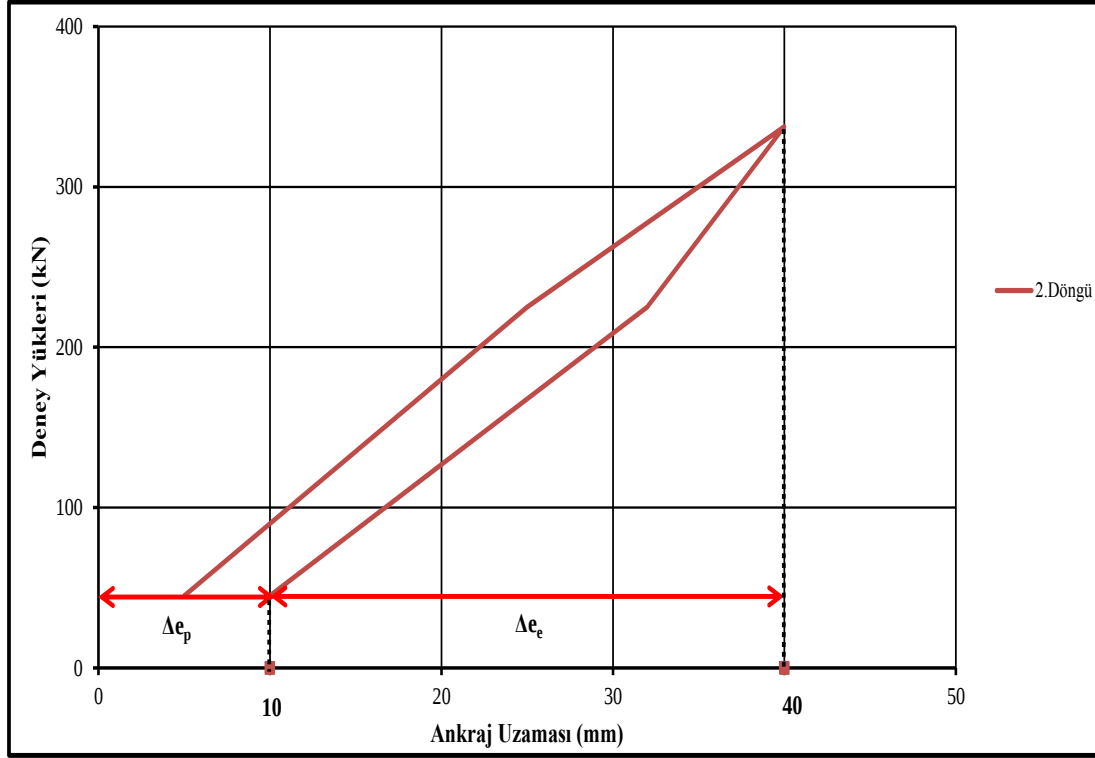
Geleneksel yöntem ile imal edilen ankraжіn, 4 döngüde gerçekleştirilen germe deneyi sonucunda elde edilen yük-uzama ilişkisi, Şekil 6.19'da verilmiştir.



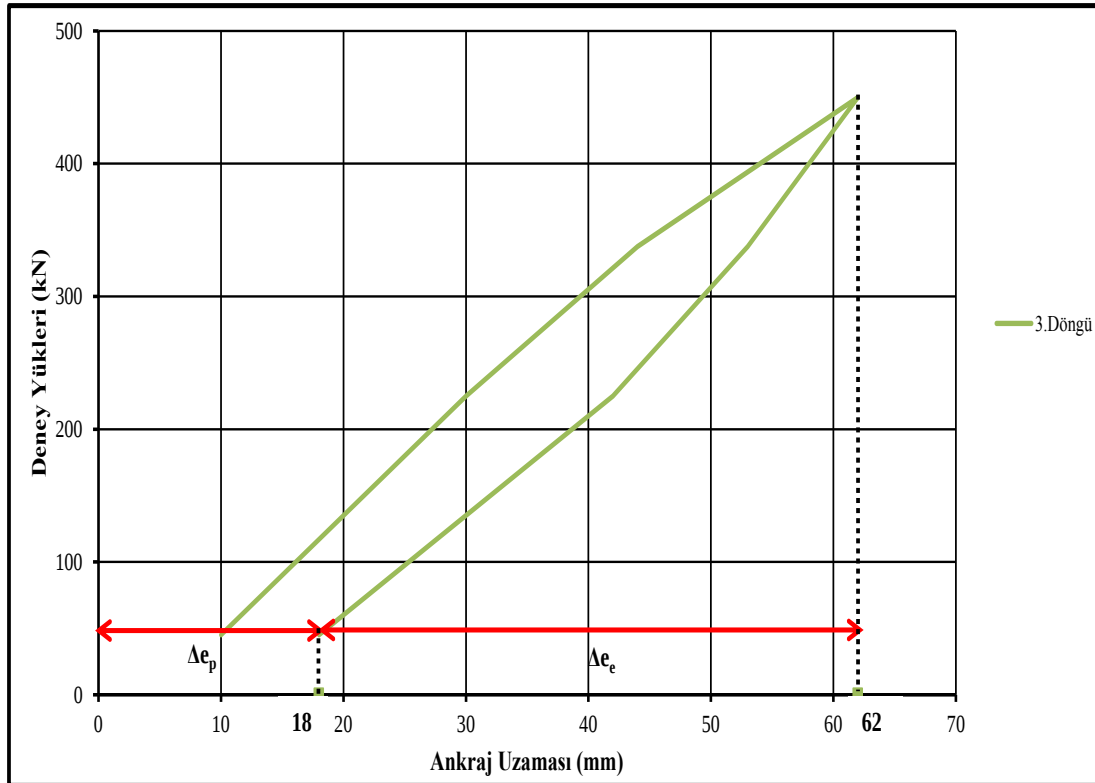
Şekil 6.19 : Deney ankraжі-2 : yük-uzama grafiğı

Deney alanı içerisinde, geleneksel yöntem ile imal edilen 2 numaralı ankraжіn, deney sırasında sırasıyla proje yükü olan 450 kN, proje yükünün 1.25 katı olan 562.5 kN değerindeki çekme yüklerini kök sıyrılmadan orta katı-katı kıvamına sahip kumlu kil tabakasına aktardığı gözlemlenmiştir. Proje yükünün 1.5 katı olan 675 kN değerine ulaşıldığında ise, ankraжіn hızlı bir şekilde uzadığı ve 1.5 dakika içerisinde sıyrılarak yükün düştüğü gözlemlenmiştir. Kökün zeminden sıyrılması ile ankraжі kökü-zemin etkileşimi arasında oluşacak kayma gerilmelerinin, zeminin taşıma kapasitesini aştığı anlaşılmıştır. Kök bölgesindeki kil zeminin sahip olduğu yüksek plastisite, ankraжіn sabit bir yük altında sünme yapması riskini beraberinde getirmektedir. Projenin uygulama aşamasında, ankraжіların geleneksel yöntemler ile imal edilmesi halinde seçilecek olan germe yükünün değerinin belirlenmesi için sırasıyla ön görülen germe yükünün 75%, 100% ve 125% katlarına denk gelen yük kademelerinde ölçülen uzama-yük eğrileri çıkarılmış ve 3 farklı grafikte ayrı bir şekilde gösterilmiştir.

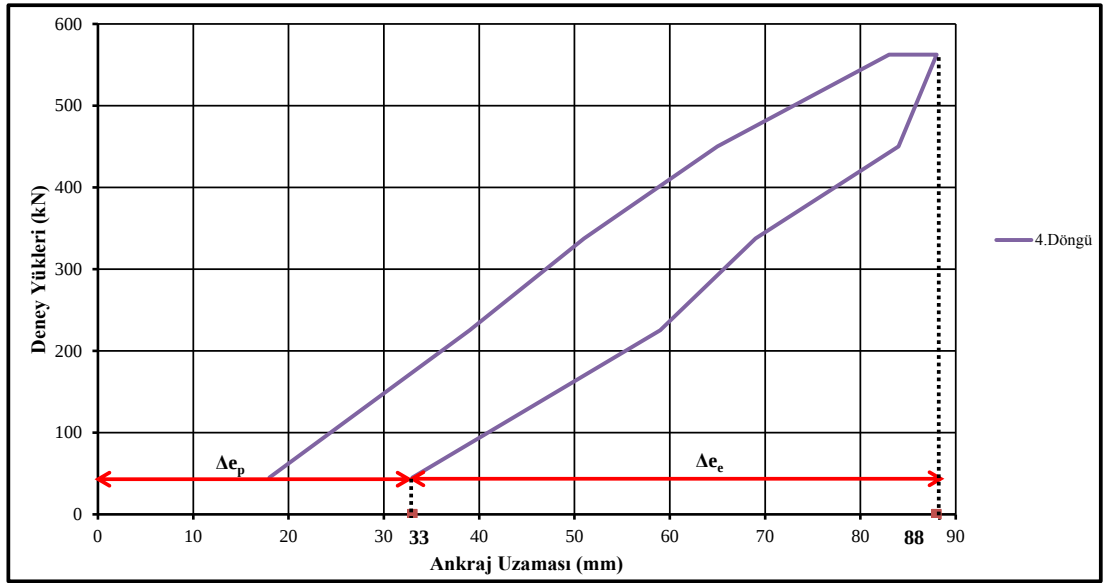
Grafikler üzerine, her bir yük değerinin maksimum olduğu döngü içerisinde belirlenen plastik-elastik uzama farkı da eklenmiştir (Şekil 6.20, 6.21, 6.22 ).



Şekil 6.20 : : Deney ankrajı-2 yük uzama grafiği (75% Yük döngüsü)



Şekil 6.21 : Deney ankrajı-2 yük uzama grafiği (100% Yük döngüsü)



**Şekil 6.22 :** Deney ankrajı-2 yük uzama grafiği (125% Yük döngüsü)

Ön görülen proje yükünün 1.75 katı germe yükü altında kök taşıma gücünün yenildiği geleneksel yöntem ile imal edilen deney ankrajının, uygulama sırasında verilecek öngerme yükünün nihai değerinin tespiti için, BS8081:1989 belirtilen kriterler göz önünde bulundurulmuştur. Deney ankrajı-2' nin ilgili standart üzerinden aşağıda verilen maddelerce değerlendirilmiştir.

- Görünen serbest boy hesabı (BS8081:1989, Madde 11.2.9)
- Denklem 6.1'e göre hesaplanan görünen serbest boy BS8081'e göre aşağıda verilen şartları sağlaması gerekmektedir.

$$\geq \%90 \times \text{Tasarım Serbest Boyu}$$

$$\leq \min. (\%110 \times \text{Tasarım Serbest Boyu}, \text{Tasarım Serbest Boyu} + \%50 \text{ Kök Boyu})$$

- Belirli bir yük kademesi altında zamana bağlı gözlemlenen uzama miktarı veya uzama oranı çizelge 6.5'te verilen şartları sağlamak zorundadır (BS8081:1989)

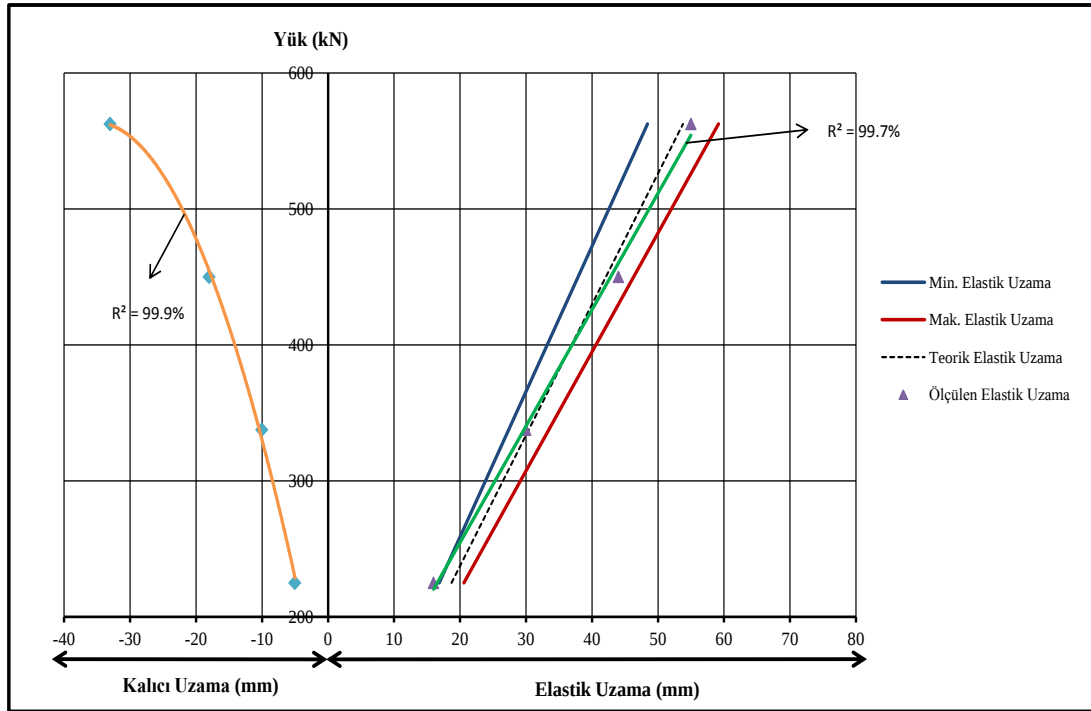
Yukarıda verilen maddelerden ilk ikisi, ankrajın zeminden sıyrıldığı yükün verildiği döngü hariç, diğer döngülerde elde edilen sonuçlara göre irdelenmiştir. Son maddede belirtilen kriter ise sadece 4.döngü sırasında elde edilen sonuçlara göre değerlendirilmiştir. Birinci maddeye göre, her bir döngü içerisinde çıkılan

maksimum yük kademesinde ankrajda gözlemlenen elastik uzama ve buna bağlı görünen boy Çizelge 6.17'de verilmiştir.

**Çizelge 6.17 :** Yük kademelerinde ölçülen elastik ve kalıcı ankraj uzama değerleri

| Döngü | Yük (kN) | $\Delta_{ank}$ (mm) | $\Delta_p$ (mm) | $\Delta_e$ (mm) | $L_{app}$ (m) |
|-------|----------|---------------------|-----------------|-----------------|---------------|
| 1     | 225.00   | 21                  | 5               | 16              | 9.71          |
| 2     | 337.50   | 40                  | 10              | 30              | 11.20         |
| 3     | 450.00   | 62                  | 18              | 44              | 11.86         |
| 4     | 562.50   | 88                  | 33              | 55              | 11.61         |

2 numaralı deney ankrajı BS8081'de belirtilen serbest boy kriteri açısından incelenmiştir ve Şekil 6.23'te verilen grafik üzerinde özetlenmiştir. Grafik hazırlanış biçimi için, ilgili standardın 11.2.12 numaralı maddesinde belirtilen şekil formatı referans alınmıştır.



**Şekil 6.23 :** BS8081'de belirtilen kabul kriterlerine göre deney ankrajı-2 için sahada ölçülen elastik uzama değerlerinin kontrolü ve kalıcı uzama-yük ilişkisi

Şekil6.23 'te verilen grafik üzerinde gösterilmiş maksimum ve minimum elastik uzama değerleri, her bir yük kademesinde çıkılan maksimum yük değerine göre denklem 6.1 kullanılarak hesaplanmıştır.

Deney ankrajı-2'in kök bölgesinin yük aktaracağı tabakanın orta katı-katı kıvamda yüksek plastisiteli kil olması sebebi aynı yük altında ankrajın uzama yapması riski bulunmaktadır. Ankrajlar için hazırlanan deney programına göre; kritik olarak görülen her bir yük kademesinde (%125  $P_{tas}$  , %150  $P_{tas}$  , %175  $P_{tas}$ ) minimum 15 dakika süresince ankrajda meydana gelecek uzamaların ölçülmesi planlanmasına rağmen, %150 yük kademesinde ankrajın sıyrılması sebebi ile bu kontrol sadece bir döngüde gerçekleştirilmiştir. Sabit yük altında, çizelge 6.5'te verilen gözlem periyotlarında belirtilen izin verilebilir uzama oranlarına göre sahada gerçekleştirilen deney sırasında ölçülen uzama değerleri aşağıda özetlenmiştir (Çizelge 6.18).

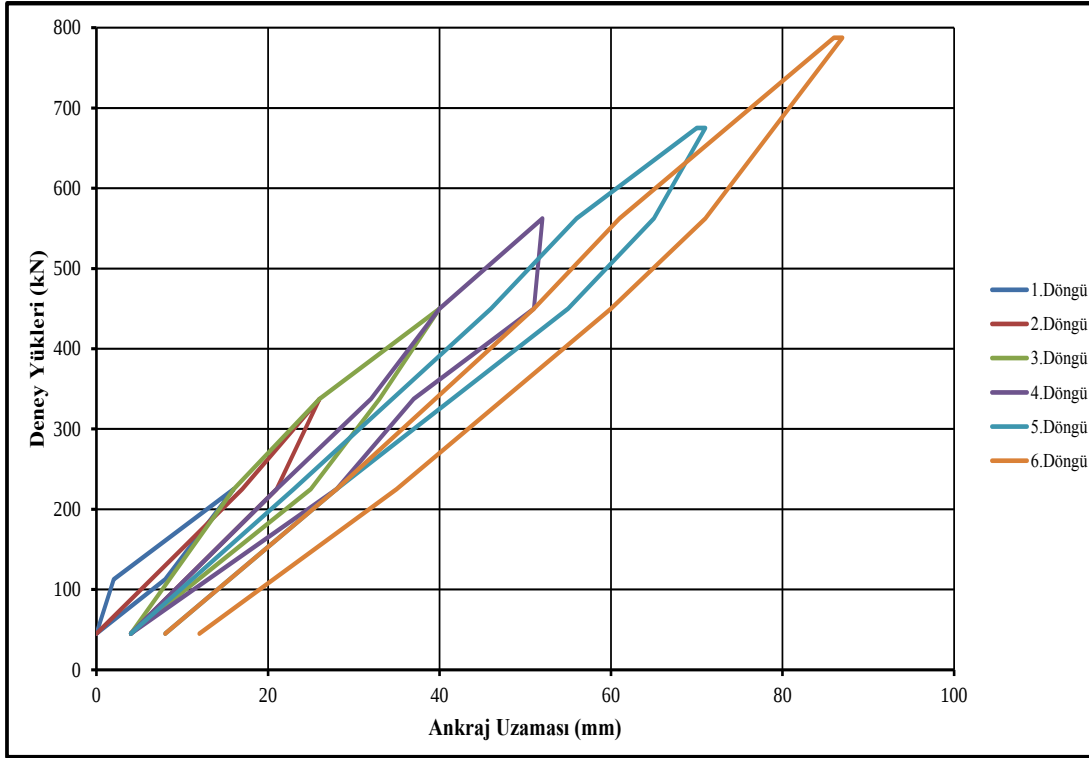
**Çizelge 6.18 :** Farklı yükler altında ankraj-2 için uzama oranları ve izin verilebilir limitler

| Döngü | Kademe | Gözlem Periyodu (dk) | Yük (kN) | $\Delta_{ank}$ (mm) | Teo. $\Delta_e$ (mm) | Uzama Oranı (mm) | İzin verilebilir Uzama Oranı (mm) |
|-------|--------|----------------------|----------|---------------------|----------------------|------------------|-----------------------------------|
| 4     | 125    | -                    | 562.5    | 83                  | 53.79                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 86                  |                      | 3.00             | 0.54                              |
|       |        | 15                   |          | 88                  |                      | 5.00             | 1.08                              |

Deney alanı-2 bölgesinde geleneksel yöntem kullanılarak imalatı gerçekleştirilen ankraj-2' nin projenin tasarım aşamasında yapılan analizler sonucunda belirlenen proje germe yüklerine göre ayarlanan deney programı altında yük-uzama ilişkisi incelenmiştir. 450 kN olarak belirlenmiş proje germe yükünün 1.5 katı olan 675 kN altında ankrajın kök taşıma gücünün yenilmiş olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, BS8081'de belirtilen deney kriterlerinin sağlayıp sağlamadığı kontrolü yapılmıştır. Deney sırasında kayıt altına alınan uzamalar dikkate alındığında, ankrajın tüm yük kademelerinde minimum ve maksimum serbest boy şartını sağladığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, sabit yük altındaki ankraj uzamasının gözlemlenmesi sadece 4. döngüde yapılabilmektedir. Proje yükünün 1.25 katı olan 562.5 kN değerine ulaşıldığı bu yük altında, 5. ve 15. dakikalar içerisinde ankrajda meydana gelen uzama oranlarının BS8081'de geçen ve çizelge 6.5'te belirtilen kriterleri sağlamadığı görülmüştür.

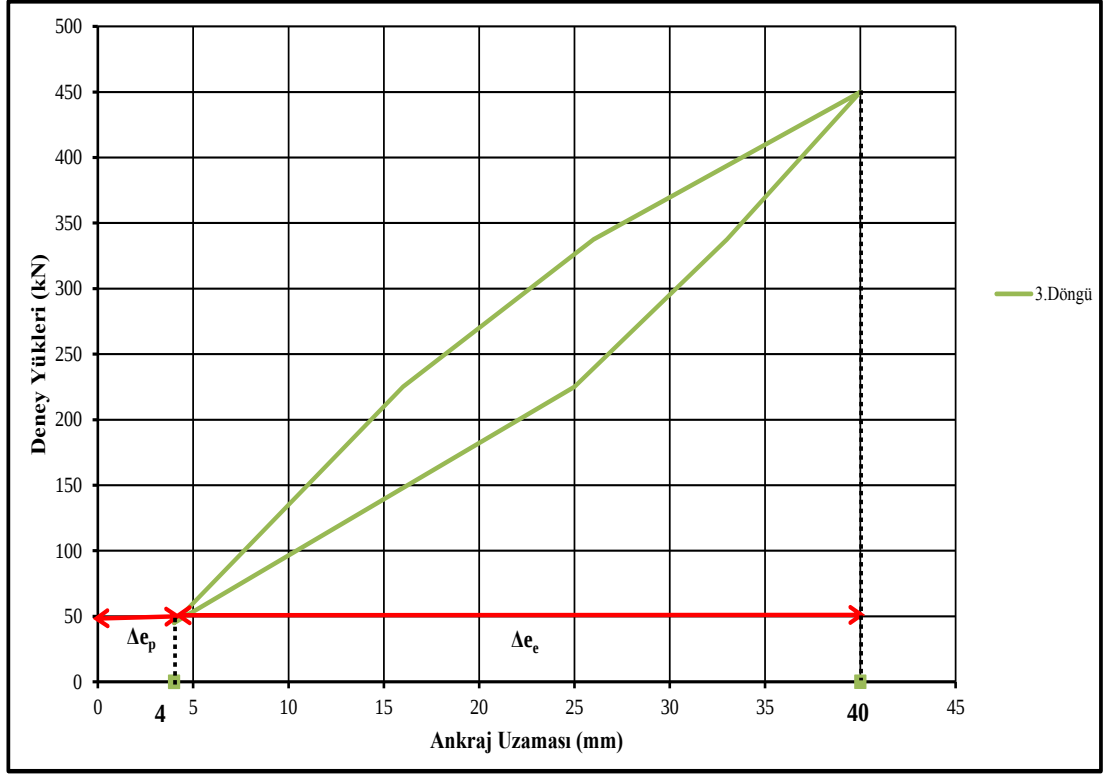
#### 6.5.4 Deney ankraji-3 (Alan-2)

Ard enjeksiyon (*Tube A Manchette*) tekniğinin kullanıldığı 3 numaralı deney ankrajına yapılan germe deneyi 6 döngüde gerçekleştirilmiştir. Germe deneyi sırasında gözlemlenen uzama-yük ilişkisi Şekil 6.24'te verilmiştir.

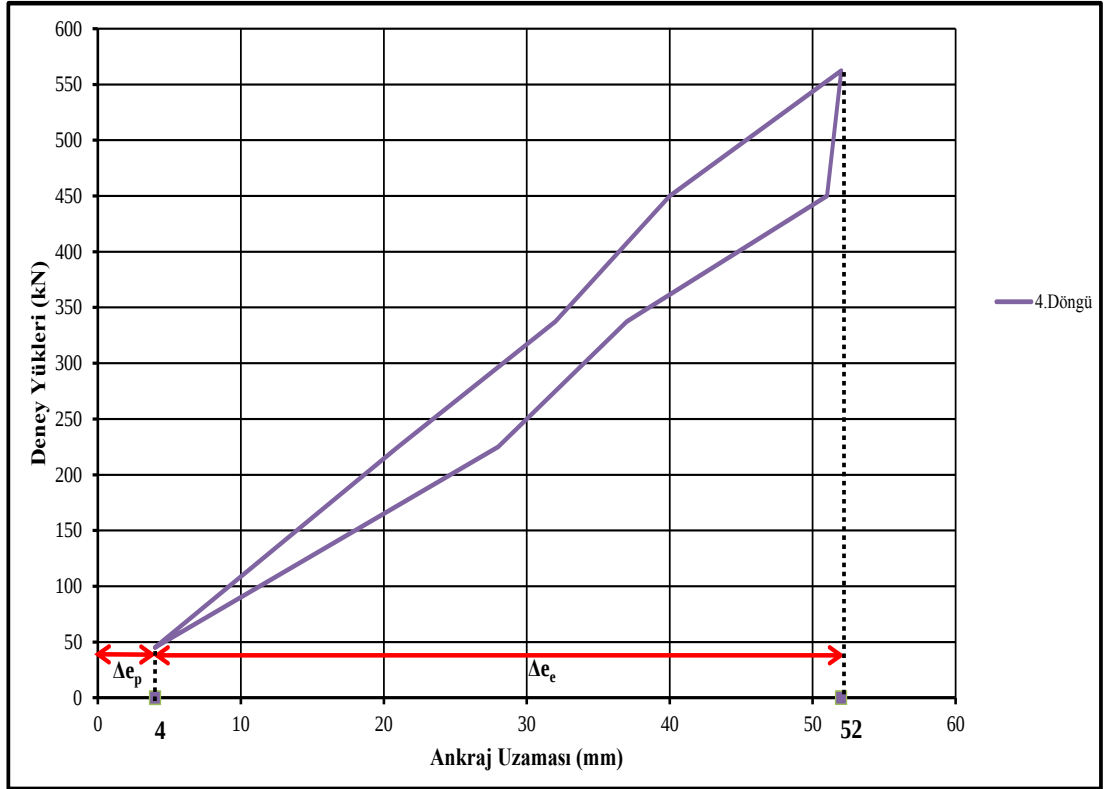


Şekil 6.24 : Deney ankraji-3 : yük-uzama grafiği

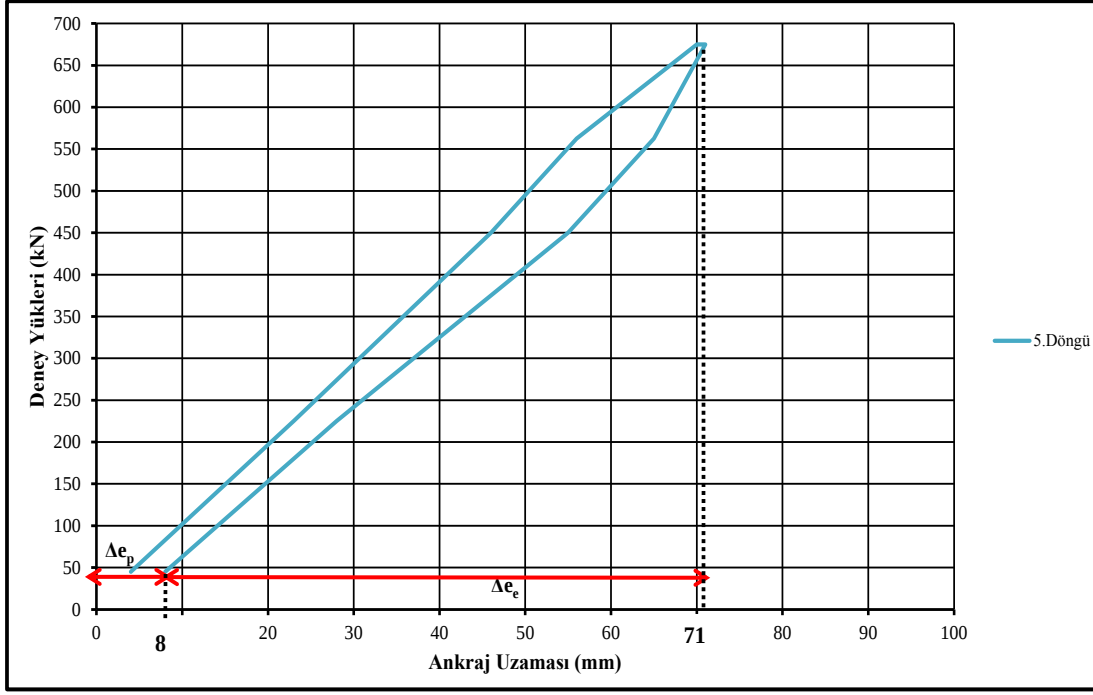
Ard enjeksiyon (*Tube a Manchette*) yöntemi ile imal edilen 3 numaralı deney ankrajının, ön görülen proje yükü olan 450 kN ve sırasıyla ilgili yükün 1.25, 1.5 ve 1.75 katları olan germe yüklerini kök sıyrılması meydana gelmeden orta katı-katı kıvamında olan kumlu kil tabakasına aktarmış olduğu ve nihai taşıma gücüne ulaşılmadığı gözlemlenmiştir. Kök bölgesinin etkileşimde olduğu zeminin yüksek plastisite özelliğinde olması ve kohezyon içermesi sebebi ile beklenen sünme uzamalarının gözlemi bu deney ankrajında da gerçekleştirilmiştir. Ard enjeksiyon tekniği kullanılarak imal edilen deney ankrajının, proje aşamasında izin verilecek maksimum germe yükünün belirlenmesi amacıyla ön görülen proje yükünün sırasıyla 100%, 125%, 150% ve 175% katlarına denk gelen kademelerdeki yük-uzama eğrileri hazırlanmış ve 4 farklı grafikte gösterilmiştir (Şekil 6.25, 6.26, 6.27 ve 6.28). İlgili grafiklerin üzerine, deney sırasında belirlenen plastik-elastik uzama farklı da eklenmiştir.



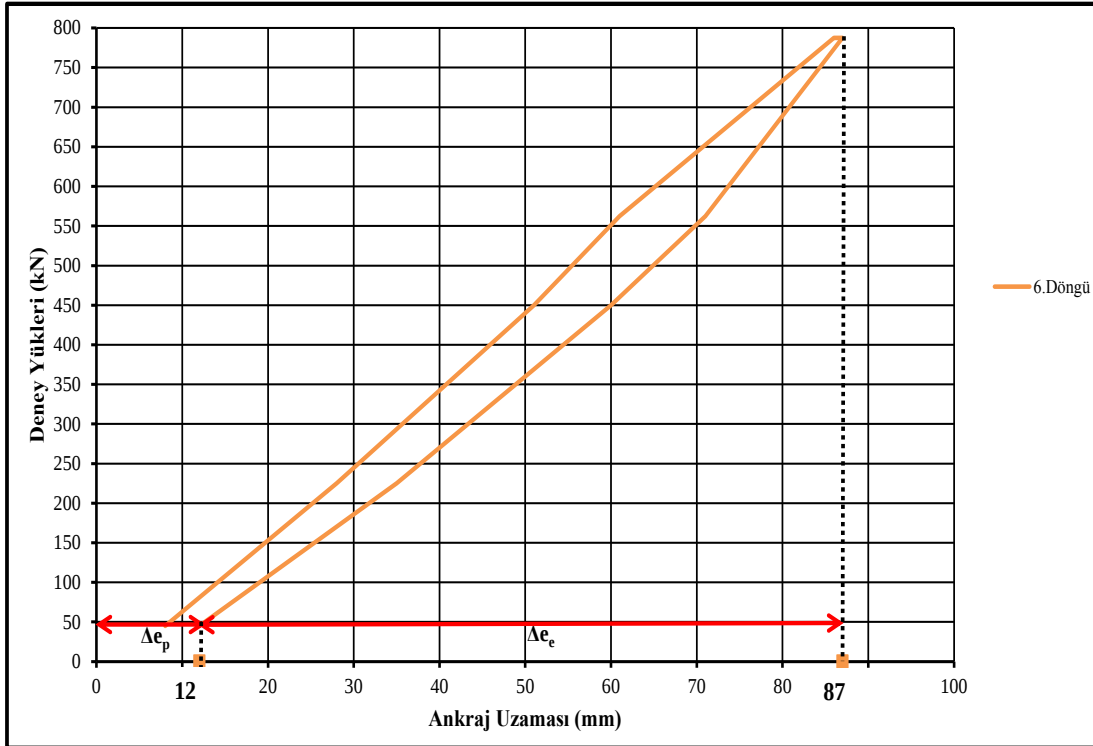
Şekil 6.25 : : Deney ankrajı-3 yük uzama grafiği (100% Yük döngüsü)



Şekil 6.26 : Deney ankrajı-3 yük uzama grafiği (125% Yük döngüsü)



Şekil 6.27 : Deney ankrajı-3 yük uzama grafiği (150% Yük döngüsü)



Şekil 6.28 : Deney ankrajı-3 yük uzama grafiği (175% Yük döngüsü)

Deney sırasında verilen germe yüklerini başarılı bir şekilde aktaran Ard Enjeksiyon yöntemi kullanılarak imal edilen ankrajın, proje aşamasında verilebilecek maksimum öngerme yükünün belirlenmesi için, BS8081:1989'da belirtilen deney kriterleri dikkate alınmıştır. İlgili kriterler aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- Görünen serbest boy hesabı (BS8081:1989, Madde 11.2.9)
- Denklem 6.1 'e göre hesaplanan görünen serbest boy BS8081'e göre aşağıda verilen şartları sağlaması gerekmektedir.

$$\geq \%90 \times \text{Tasarım Serbest Boyu}$$

$$\leq \min. (\%110 \times \text{Tasarım Serbest Boyu}, \text{Tasarım Serbest Boyu} + \%50 \text{ Kök Boyu})$$

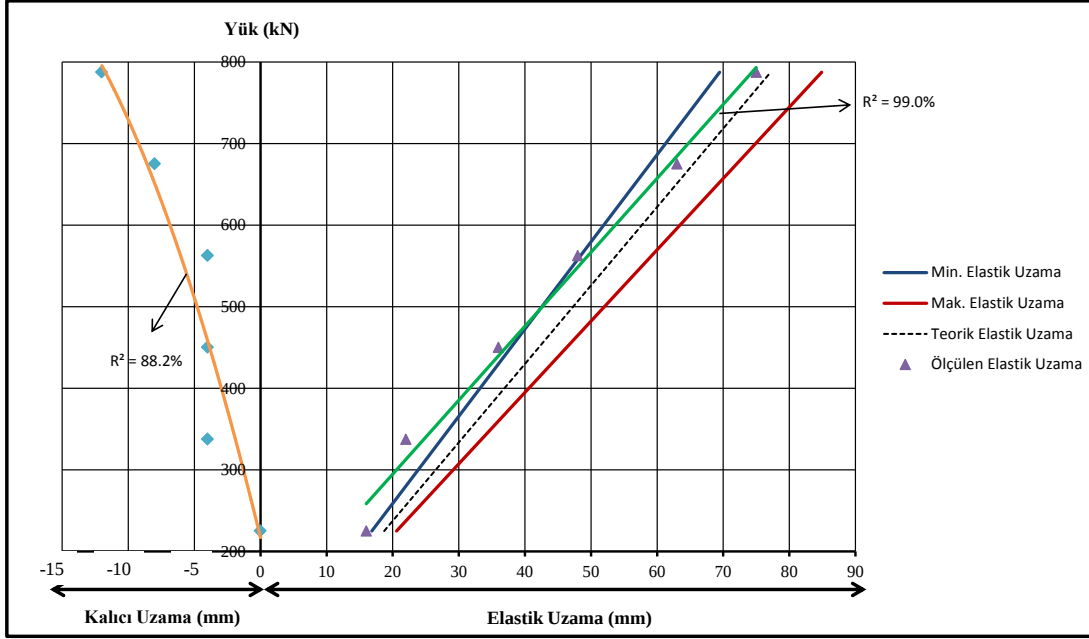
- Belirli bir yük kademesi altında zamana bağlı gözlemlenen uzama miktarı veya uzama oranı Çizelge 6.5'te belirtilen şartları sağlamak zorundadır (BS8081:1989).

Yukarıda belirtilen maddelerden ilk ikisi, deney sırasında uygulanan tüm döngüler için dikkate alınmış ve döngü sonuçlarına göre değerlendirme yapılmıştır. Sabit yük altında gözlemlenen uzama oranı kriteri ise, ön görülen proje yükü **450 kN** değerinin 1.25, 1.5 ve 1.75 katlarına ulaşıldığı döngülerde dikkate alınmıştır. Birinci maddeye göre, her bir döngü içerisinde ulaşılan maksimum yük kademesinde ankrajda gözlemlenen elastik uzama ve buna bağlı hesaplanan görünen boy çizelge 6.19'da verilmiştir.

**Çizelge 6.19 :** Yük kademelerinde ölçülen elastik ve kalıcı ankraj uzama değerleri

| Döngü | Yük (kN) | $\Delta_{\text{ank}}$ (mm) | $\Delta_p$ (mm) | $\Delta_e$ (mm) | $L_{\text{app}}$ (m) |
|-------|----------|----------------------------|-----------------|-----------------|----------------------|
| 1     | 225.00   | 16                         | 0               | 16              | 9.71                 |
| 2     | 337.50   | 26                         | 4               | 22              | 8.21                 |
| 3     | 450.00   | 40                         | 4               | 36              | 9.71                 |
| 4     | 562.50   | 52                         | 4               | 48              | 10.13                |
| 5     | 675.00   | 71                         | 8               | 63              | 10.92                |
| 6     | 787.50   | 87                         | 12              | 75              | 11.03                |

3 numaralı deney ankrajı BS8081'de belirtilen serbest boy kriteri açısından incelenmiştir ve Şekil 6.29'da verilen grafik üzerinde özetlenmiştir. Grafik hazırlanış biçimi için, ilgili standardın 11.2.12 numaralı maddesinde belirtilen şekil formatı referans alınmıştır.



**Şekil 6.29 :** BS8081'de belirtilen kabul kriterlerine göre deney ankrajı-2 için sahada ölçülen elastik uzama değerlerinin kontrolü ve kalıcı uzama-yük ilişkisi

Şekil 6.29'da verilen grafik üzerinde gösterilmiş maksimum ve minimum elastik uzama değerleri, her bir yük kademesinde çıkılan maksimum yük değerinin denklem 6.1' de kullanılması ile elde edilmiştir.

Deney ankrajı-3'ün kök bölgesinin yük aktaracağı tabakanın orta katı-katı kıvamında yüksek plastisiteli kil olması sebebi aynı yük altında ankrajın uzama yapması riski bulunmaktadır. Ankrajlar için hazırlanan deney programına göre; kritik olarak görülen her bir yük kademesinde (%125  $P_{tas}$  , %150  $P_{tas}$  , %175  $P_{tas}$ ) minimum 15 dakika süresince ankrajda meydana gelecek uzamalar gözlemlenmiş ve kayıt altına alınmıştır. Sabit yük altında, çizelge 6.5' te verilen gözlem periyotlarında belirtilen izin verilebilir uzama oranlarına göre sahada gerçekleştirilen deney sırasında ölçülen uzama değerleri aşağıda özetlenmiştir (Çizelge 6.20).

Deney alanı-2 bölgesinde ard enjeksiyon tekniği (Tube a Manchette) kullanılarak imal edilen 3 numaralı deney ankrajının saha performansı incelenmiştir. Projenin tasarım aşamasında belirlenen 450 kN öngerme yüküne göre hazırlanan germe deney programı çerçevesinde incelenen bu performansına göre, deney ankrajının 450 kN ve katları (1.25, 1.5 ve 1.75) olan yükleri başarılı bir şekilde zemine aktardığı anlaşılmaktadır. BS8081'de belirtilen deney kriterlerine göre incelendiğinde, 3 numaralı ankrajın serbest boy şartını 450 kN ve altı yükler altında sağlamadığı görülmektedir (şekil 5.29). Bununla birlikte 450 kN ve üzeri yükler altında da serbest

boy şartlarını sağladığı görülmektedir. Sabit yük altındaki uzama performansı açısından değerlendirildiğinde, ön görülen proje yükünün 1.25 katı (562.5 kN) altında 15 dakika boyunca uzama yapmadığı, 1.5 ve 1.75 katı altında ise 15 dakika içerisinde 1.00mm'lik uzama yaptığı ve BS8081'de belirtilen şartları sağladığı görülmektedir.

**Çizelge 6.20 : Farklı yükler altında ankraj-3 için uzama oranları ve izin verilebilir limitler**

| Döngü | Kademe | Gözlem Periyodu (dk) | Yük (kN) | $\Delta_{ank}$ (mm) | Teo. $\Delta_e$ (mm) | Uzama Oranı (mm) | İzin verilebilir Uzama Oranı (mm) |
|-------|--------|----------------------|----------|---------------------|----------------------|------------------|-----------------------------------|
| 4     | 125    | -                    | 562.5    | 52                  | 53.79                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 52                  |                      | 0.00             | 0.54                              |
|       |        | 15                   |          | 52                  |                      | 0.00             | 1.08                              |
| 5     | 150    | -                    | 675      | 70                  | 65.48                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 70                  |                      | 0.00             | 0.65                              |
|       |        | 15                   |          | 71                  |                      | 1.00             | 1.31                              |
| 6     | 175    | -                    | 787.5    | 86                  | 77.17                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 86                  |                      | 0.00             | 0.77                              |
|       |        | 15                   |          | 87                  |                      | 1.00             | 1.54                              |

#### 6.5.5 Deney ankrajı-4 (Alan-2)

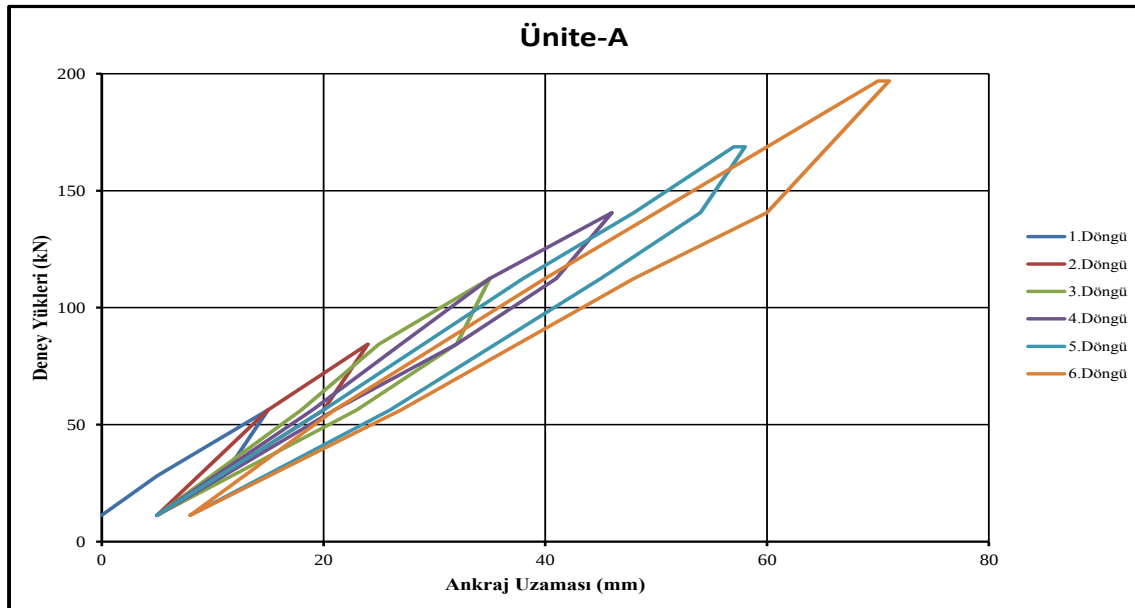
Tek delgi içerisinde çoklu ankraj ünitesi (SBMA) tekniğinin kullanılarak imal edildiği 4 numaralı deney ankrajının içerisinde birbirinden bağımsız 4 farklı ankraj ünitesi yer almaktadır. Deney sırasında, bağımsız 4 farklı hidrolik kriko kullanılarak 6 döngüde gemesi yapılan ünitelerin uzama-yük ilişkisi sırasıyla Şekil 6.30, 6.31, 6.32 ve 6.33'de verilmiştir. Deney ankrajının olduğu 4 ünitenin her birinde, 1 adet düşük gevşemeli tendon kullanılmıştır ( çizelge 6.12). Her bir üniteye ait serbest ve kök boy özellikleri Çizelge 6.21'de verilmiştir. Geleneksel yöntem ve ard enjeksiyon tekniği kullanılarak imal edilen ankrajlara nazaran, oluşan kök bölgesinin daha efektif çalışması amacıyla imal edilen 4 numaralı deney ankrajının kök taşıma gücünün artırılması açısından, ard enjeksiyon tekniği de uygulanmıştır.

SBMA ve ard enjeksiyon tekniğinin kullanılarak imal edilen 4 numaralı deney ankrajının, ön görülen proje yükü ve katlarını başarılı bir şekilde orta katı-katı kıvamında olan kumlu kil tabakasına aktarmış olduğu gözlemlenmiştir.

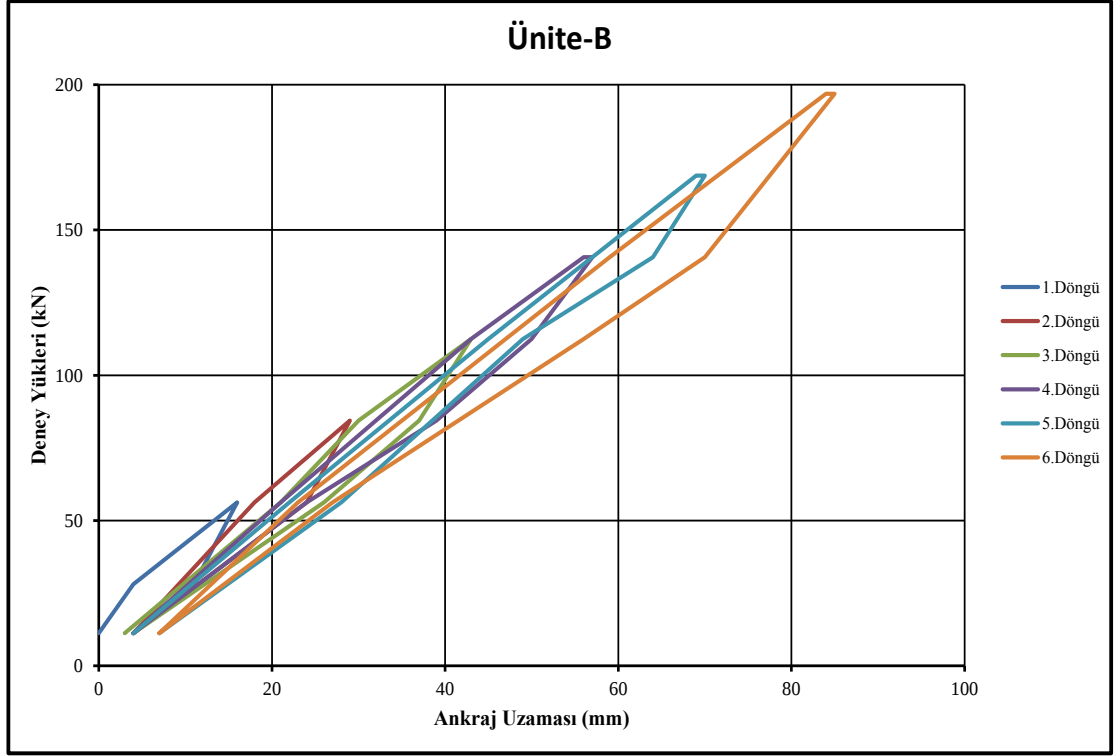
**Çizelge 6.21 : Deney ankrajı-4 ünite özellikleri**

| Ünite                                                                   | Halat Tipi ve Sayısı | Kuyu İçerisinde Kalan Serbest Bölge Boyu (m) | Germe Payı (m) | $L_{serbest}$ (m)* | $L_{kök}$ (m) |
|-------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------------------------------|----------------|--------------------|---------------|
| A                                                                       | 1x0.6"               | 7.5                                          | 1.35           | 8.85               | 2.5           |
| B                                                                       | 1x0.6"               | 10.5                                         | 1.35           | 11.85              | 2.5           |
| C                                                                       | 1x0.6"               | 13.5                                         | 1.35           | 14.85              | 2.5           |
| D                                                                       | 1x0.6"               | 16.5                                         | 1.35           | 17.85              | 2.5           |
| * $L_{serbest}$ = Kuyu İçerisinde Kalan Serbest Bölge Boyu + Germe Payı |                      |                                              |                |                    |               |

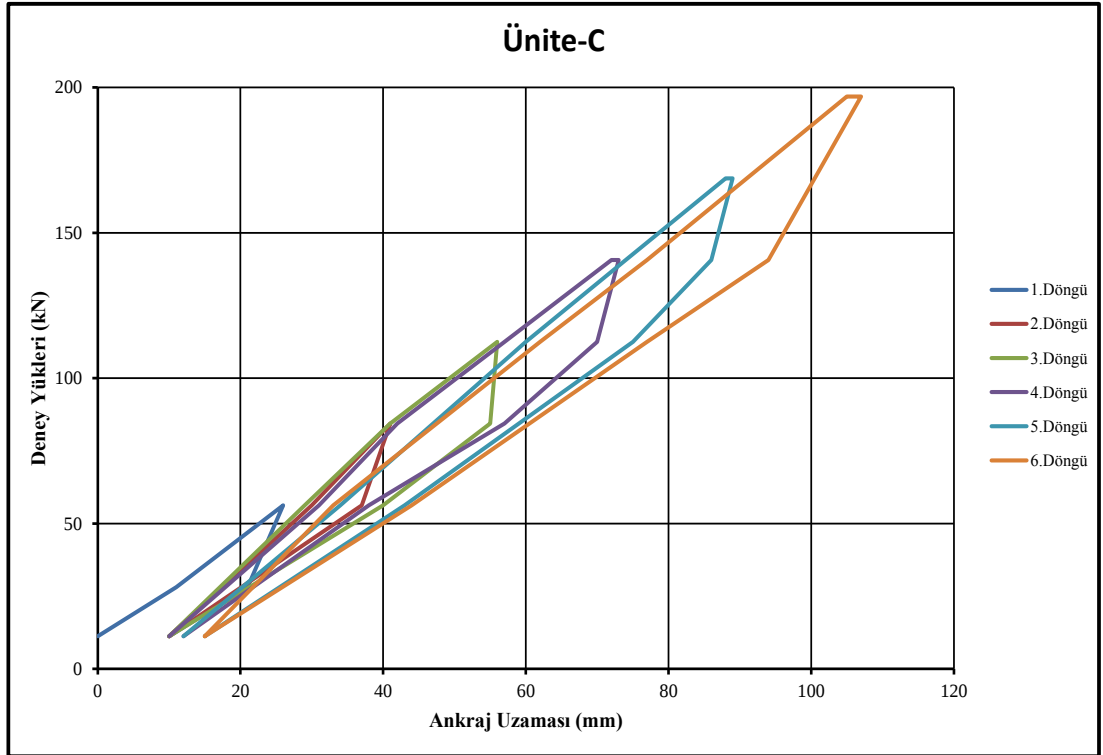
2 ve 3 numaralı deney ankrajlarında olduğu gibi, bu ankraj için sahada yapılan germe deneyi sırasında da sabit yük altında uzamalar takip edilmiştir. Ard enjeksiyon ve SBMA tekniğinin kullanıldığı 4 numaralı deney ankrajının proje aşamasında izin verilecek maksimum germe yükünün belirlenmesi amacıyla ön görülen proje yükünün sırasıyla 100%, 125%, 150% ve 175% katlarına denk gelen kademelerdeki yük-uzama eğrileri hazırlanmış ve her bir ünite için 4 farklı grafikte gösterilmiştir (şekil 6.34, 6.35, 6.36, ... 6.49). İlgili grafiklerin üzerine, deney sırasında belirlenen plastik-elastik uzama farklı da eklenmiştir.



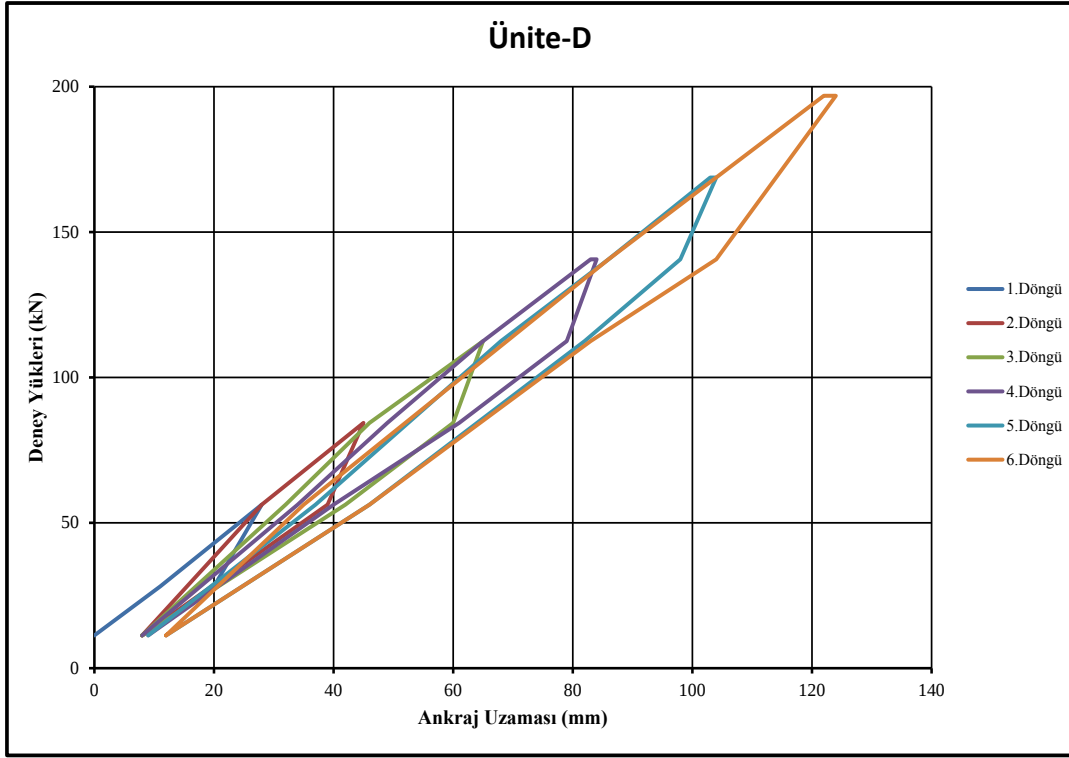
**Şekil 6.30 : Deney ankrajı-4 : yük-uzama grafiği (Ünite-A)**



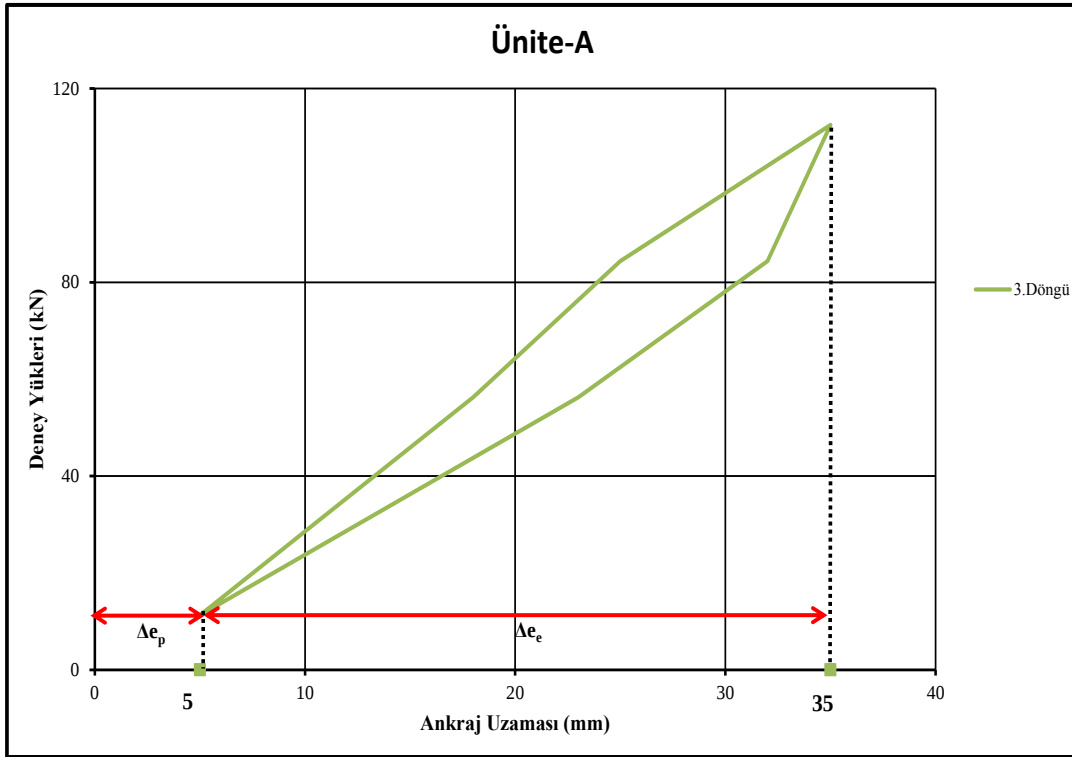
**Şekil 6.31 : Deney ankrajı-4 : yük-uzama grafiği (Ünite-B)**



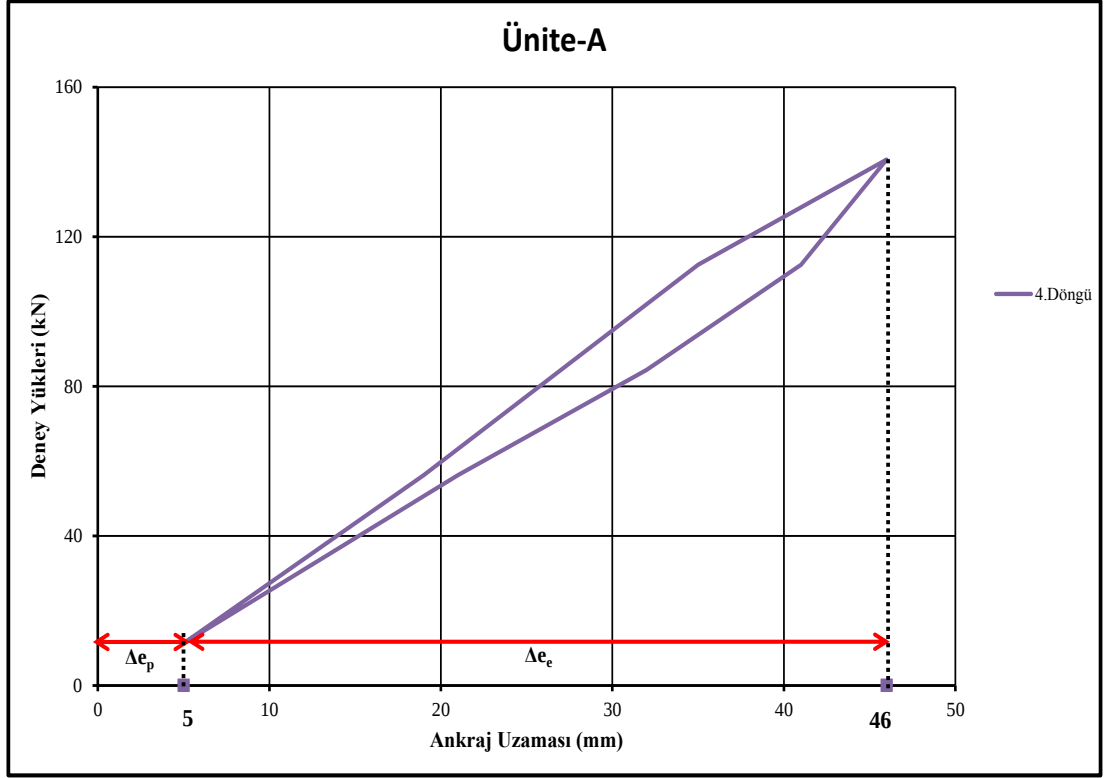
**Şekil 6.32 : Deney ankrajı-4 : yük-uzama grafiği (Ünite-C)**



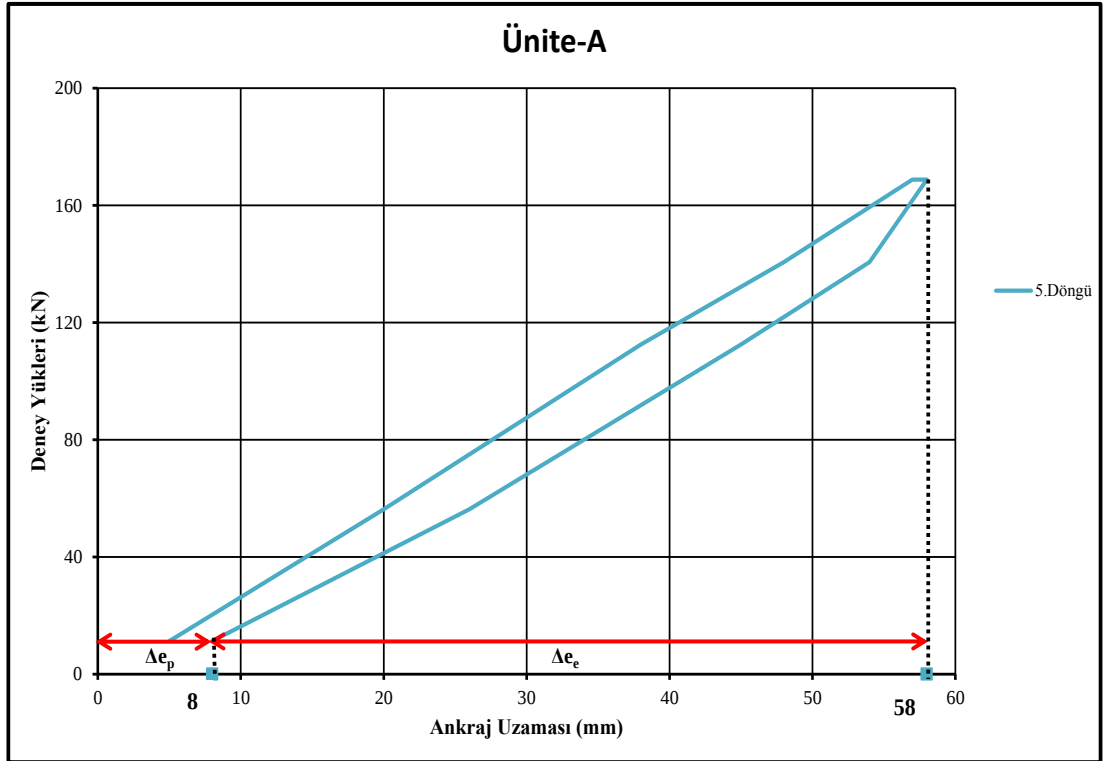
**Şekil 6.33** : Deney ankrajı-4 : yük-uzama grafiği (Ünite-D)



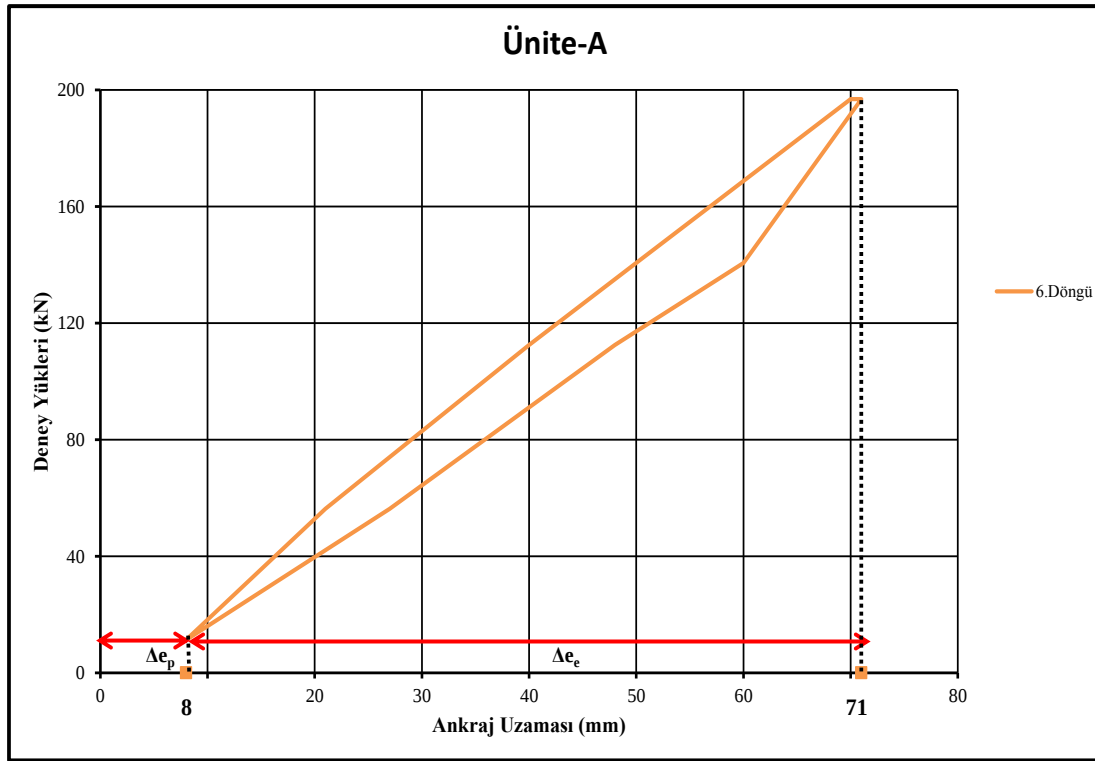
**Şekil 6.34** : : Deney ankrajı-4: yük uzama grafiği (100% Yük döngüsü-Ünite A)



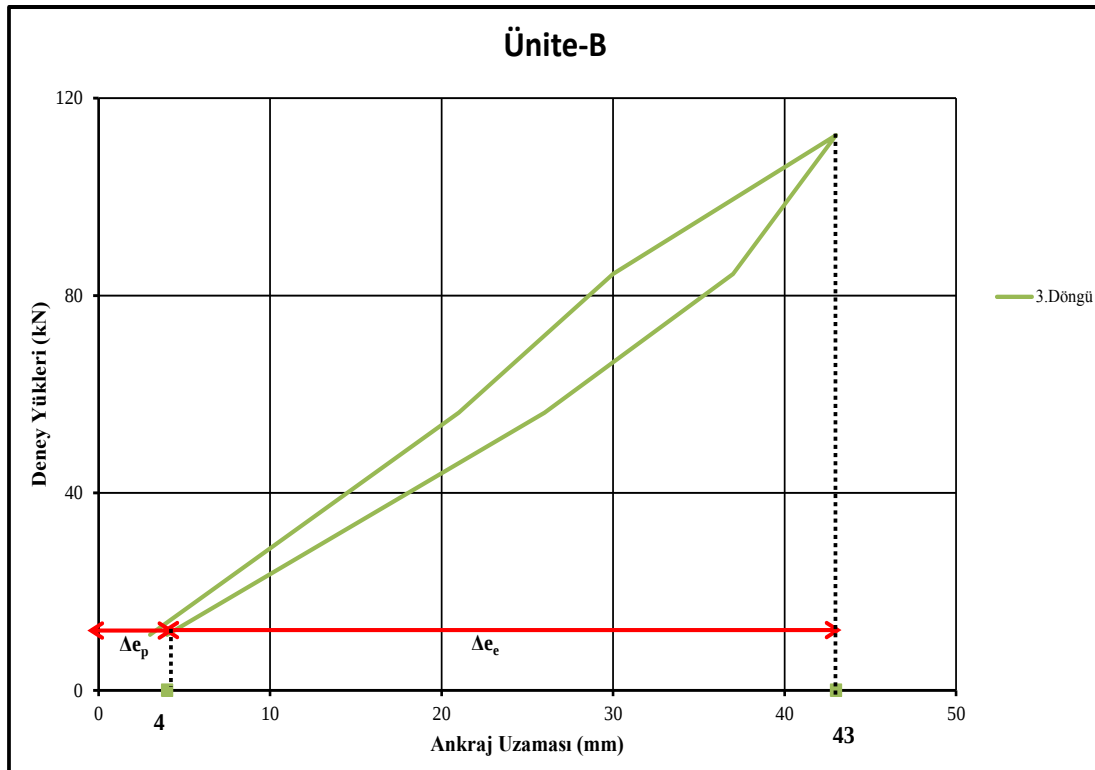
**Şekil 6.35 :** Deney ankrajı-4: yük uzama grafiği (125% Yük döngüsü-Ünite A)



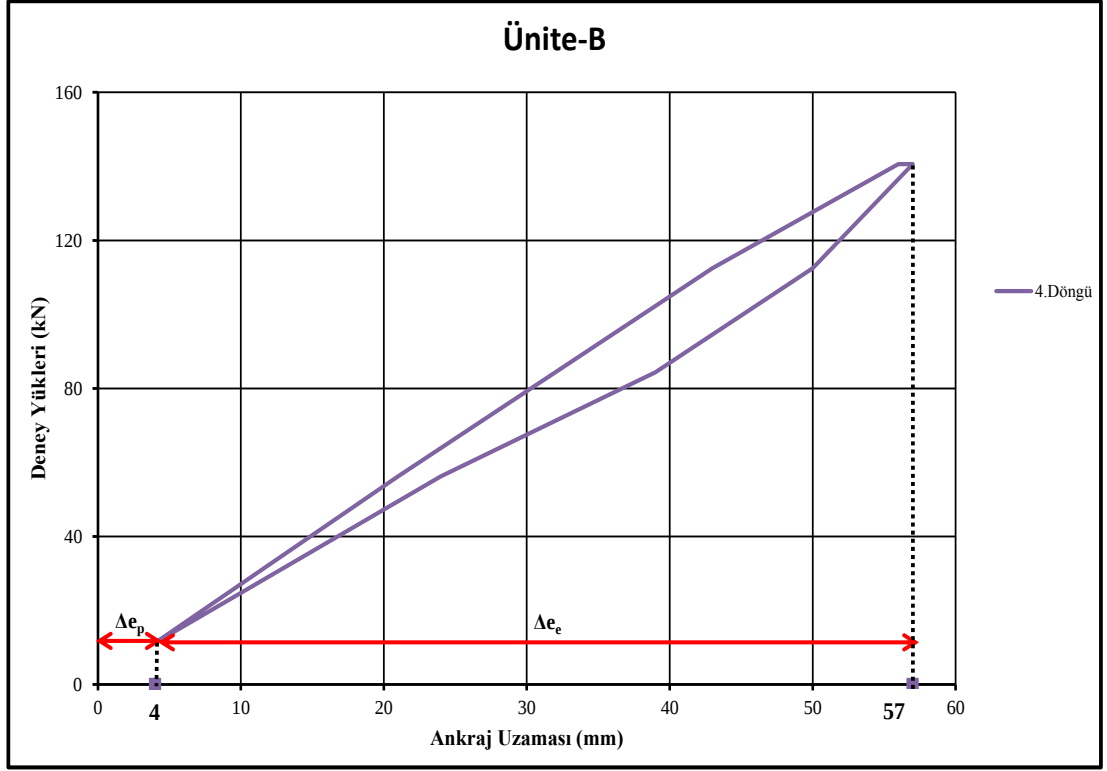
**Şekil 6.36 :** Deney ankrajı-4: yük uzama grafiği (150% Yük döngüsü-Ünite A)



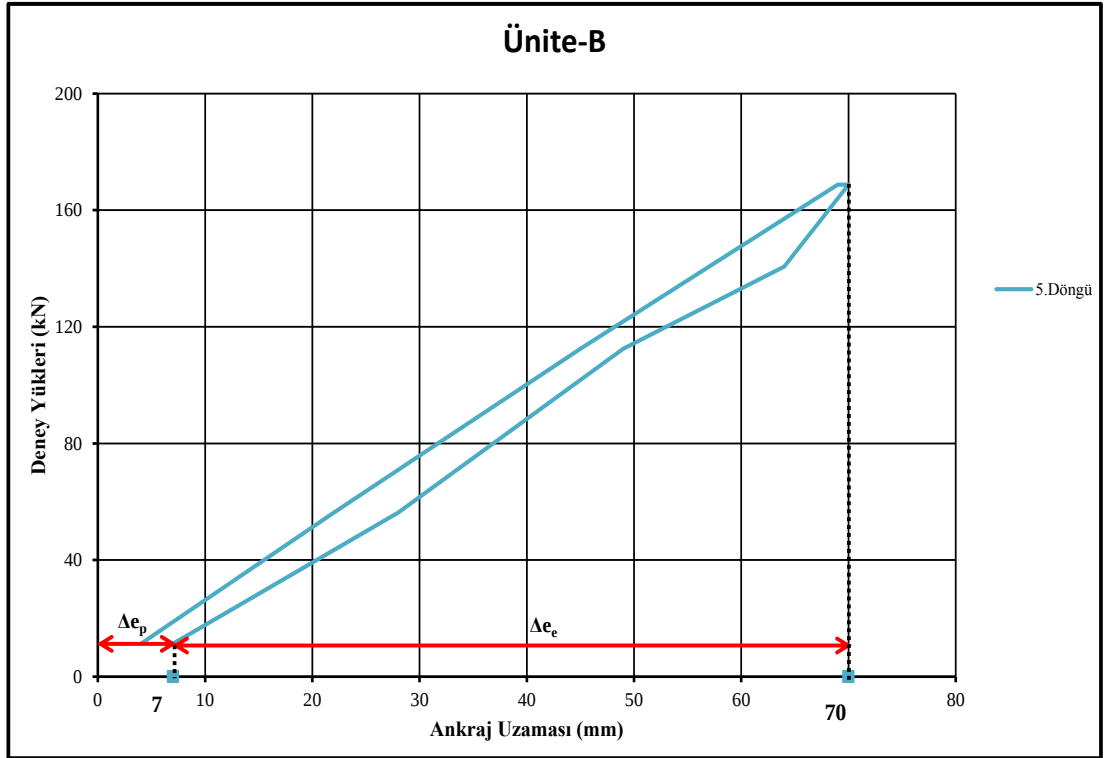
**Şekil 6.37 :** Deney ankrajı-4: Yük uzama grafiği (175% Yük döngüsü-Ünite A)



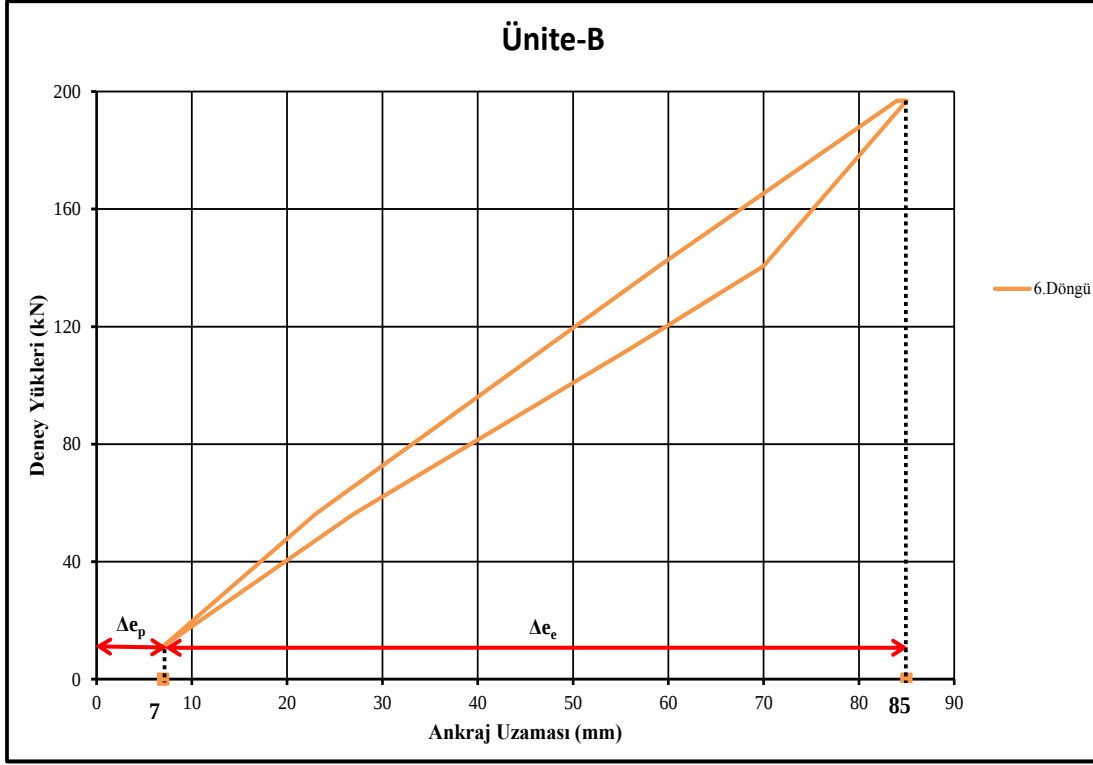
**Şekil 6.38 :** : Deney ankrajı-4: yük uzama grafiği (100% Yük döngüsü-Ünite B)



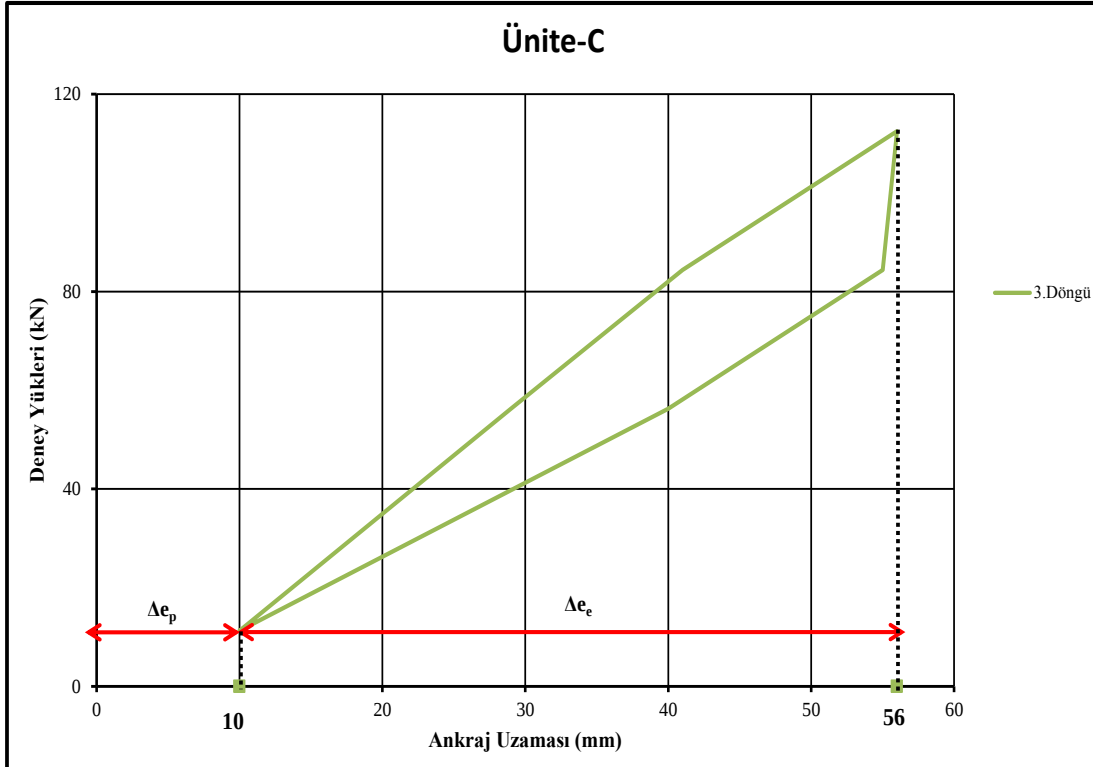
**Şekil 6.39 :** Deney ankrajı-4: yük uzama grafiği (125% Yük döngüsü-Ünite B)



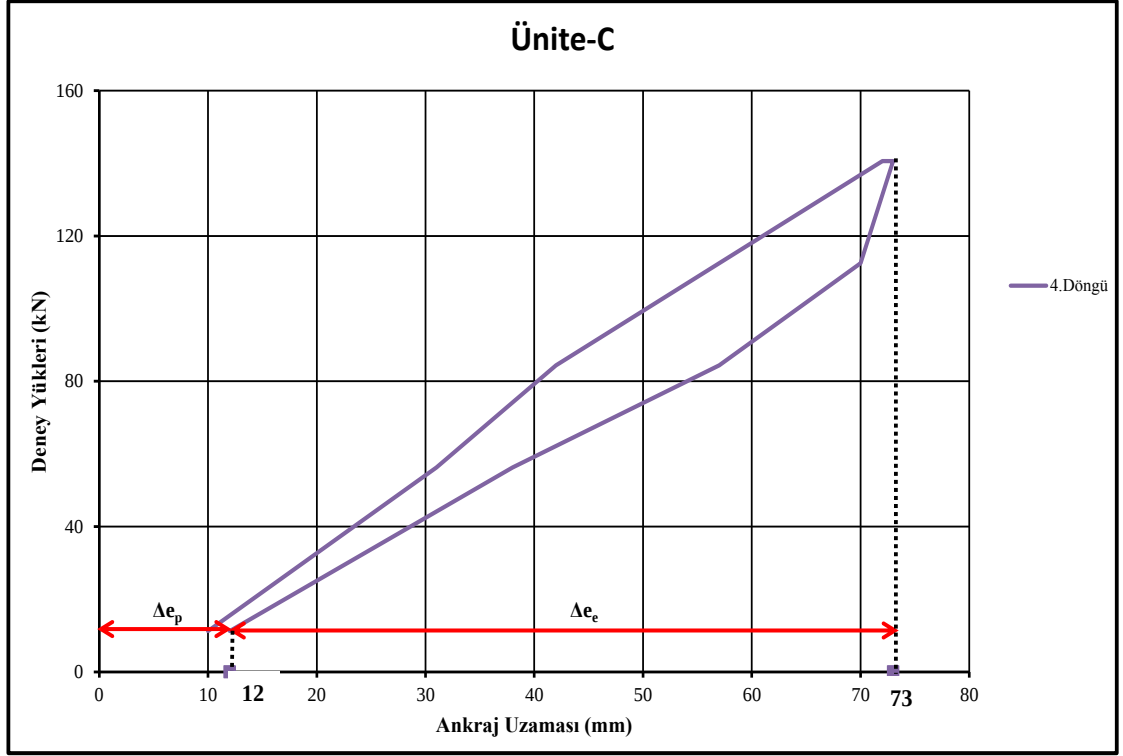
**Şekil 6.40 :** Deney ankrajı-4: Yük uzama grafiği (150% Yük döngüsü-Ünite B)



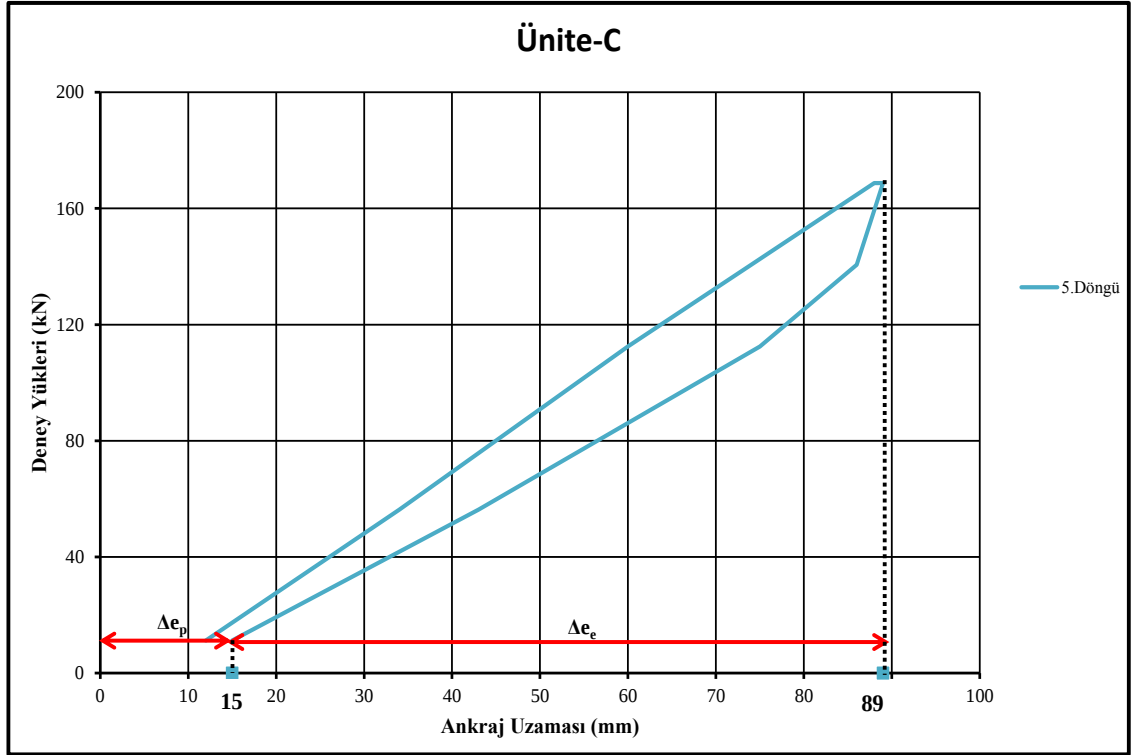
**Şekil 6.41 :** Deney ankrajı-4: Yük uzama grafiği (175% Yük döngüsü-Ünite B)



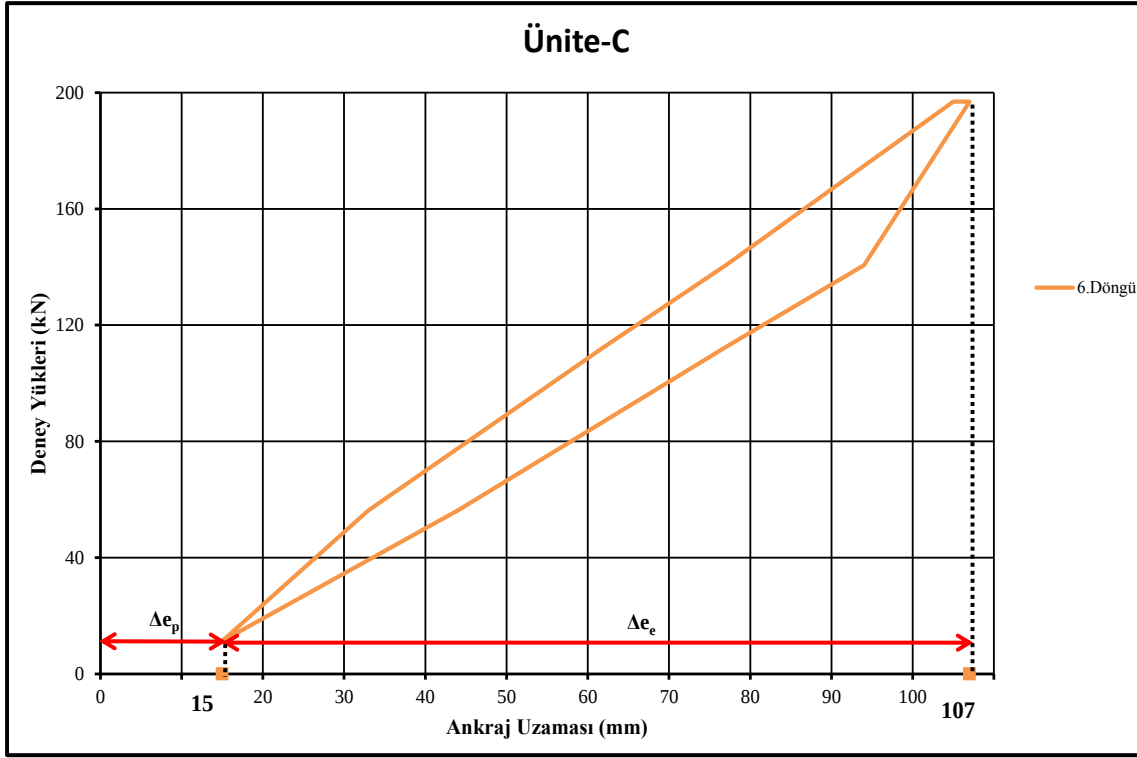
**Şekil 6.42 :** Deney ankrajı-4: Yük uzama grafiği (100% Yük döngüsü-Ünite C)



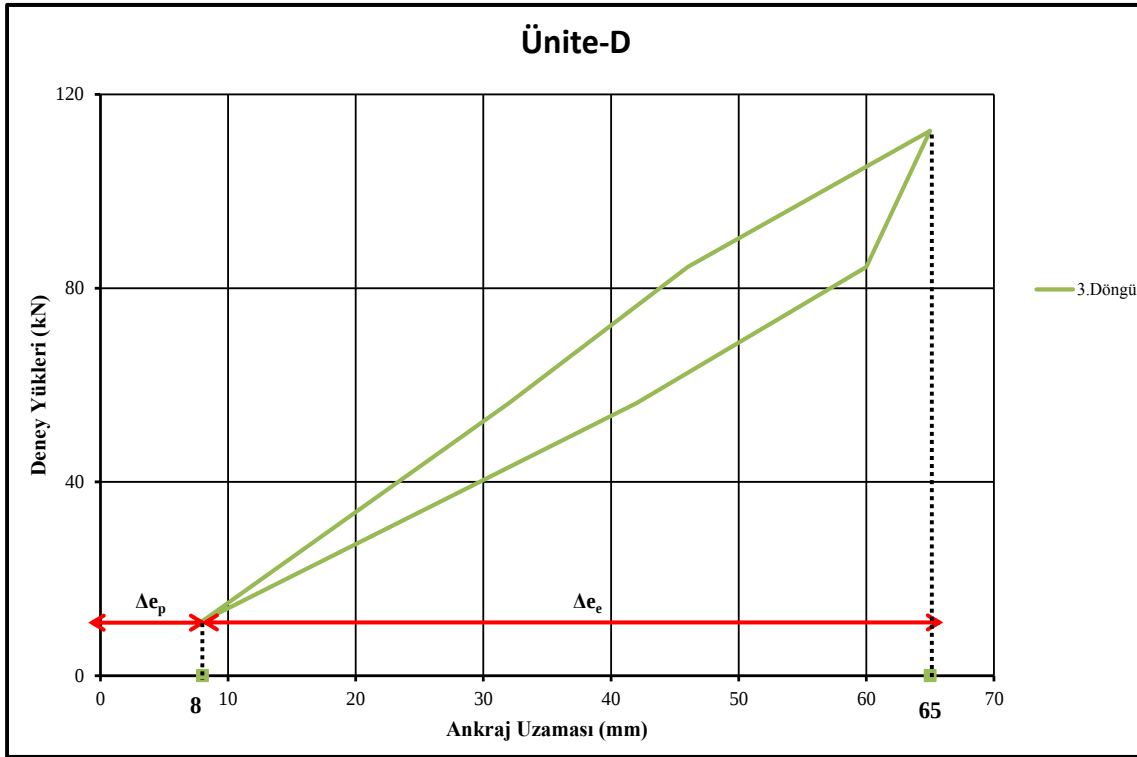
**Şekil 6.43 :** Deney ankrajı-4: Yük uzama grafiği (125% Yük döngüsü-Ünite C)



**Şekil 6.44 :** Deney ankrajı-4: Yük uzama grafiği (150% Yük döngüsü-Ünite C)



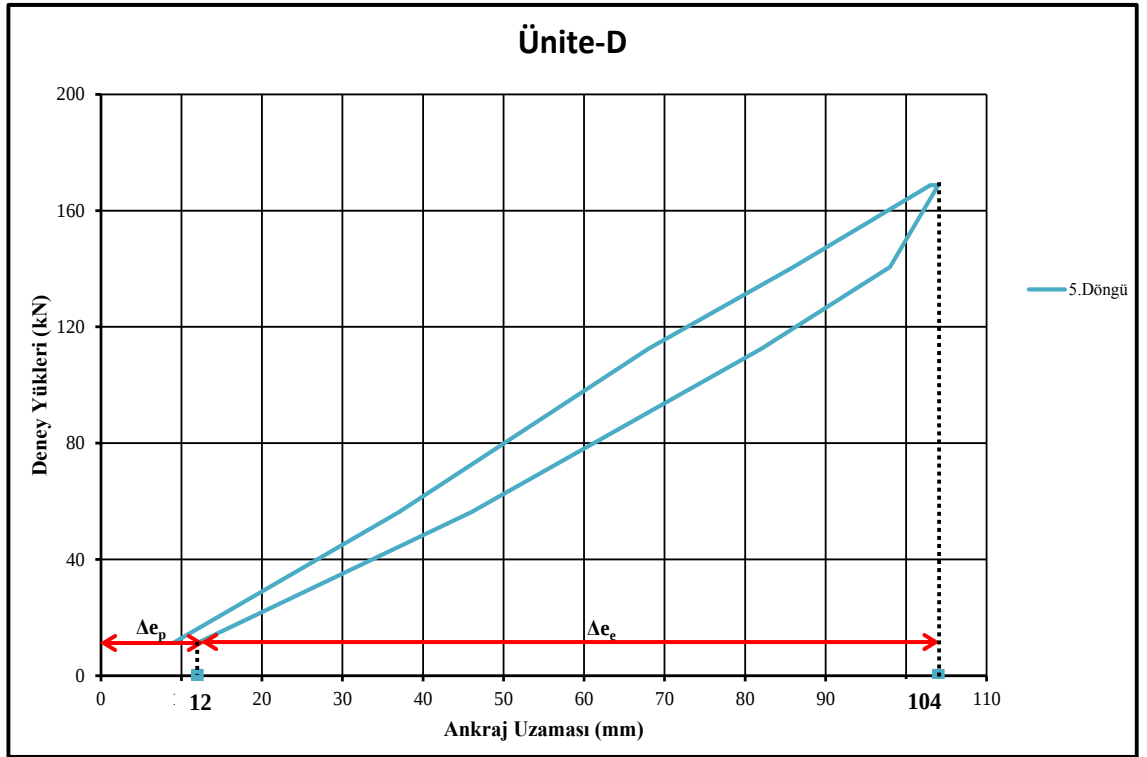
**Şekil 6.45 :** Deney ankrajı-4: Yük uzama grafiği (175% Yük döngüsü-Ünite C)



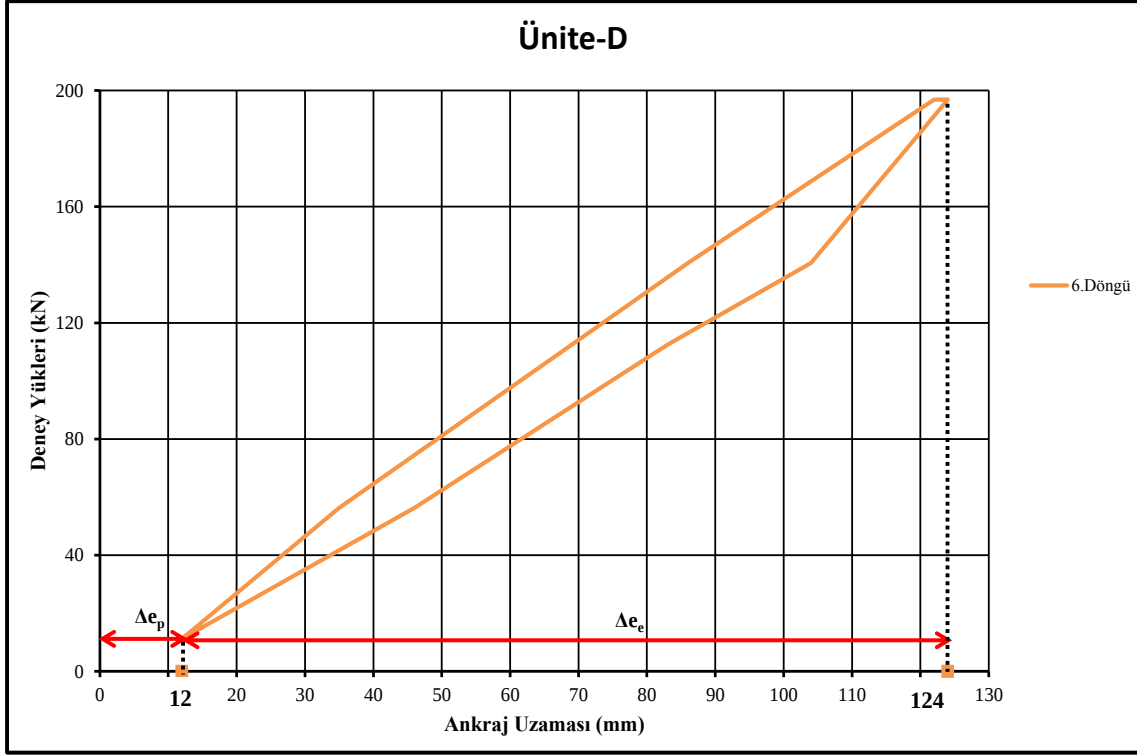
**Şekil 6.46 :** Deney Ankrajı-4: Yük Uzama Grafiği (100% Yük Döngüsü-Ünite D)



**Şekil 6.47 :** Deney Ankrajı-4: Yük Uzama Grafiği (125% Yük Döngüsü-Ünite D)



**Şekil 6.48 :** Deney ankrajı-4: Yük uzama grafiği (150% Yük döngüsü-Ünite D)



**Şekil 6.49 :** Deney ankrajı-3 Yük uzama grafiği (175% Yük döngüsü-Ünite D)

Deney sırasında verilen germe yüklerini başarılı bir şekilde aktaran SBMA ve ard enkejsiyon tekniğinin kullanıldığı 4 numaralı deney ankrajına, proje aşamasında verilebilecek maksimum öngerme yükünün belirlenmesi için, BS8081:1989'da belirtilen deney kriterleri deney ankrajını oluşturan her bir ünite için dikkate alınmıştır. İlgili kriterler aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- Görünen serbest boy hesabı (BS8081:1989, Madde 11.2.9)
- Denklem 6.1 'e göre hesaplanan görünen serbest boy BS8081'e göre aşağıda verilen şartları sağlaması gerekmektedir.

$$\geq \%90 \times \text{Tasarım Serbest Boyu}$$

$$\leq \min. (\%110 \times \text{Tasarım Serbest Boyu}, \text{Tasarım Serbest Boyu} + \%50 \text{ Kök Boyu})$$

- Belirli bir yük kademesi altında zamana bağlı gözlemlenen uzama miktarı veya uzama oranı Çizelge 6.5' te belirtilen şartları sağlamak zorundadır (BS8081:1989).

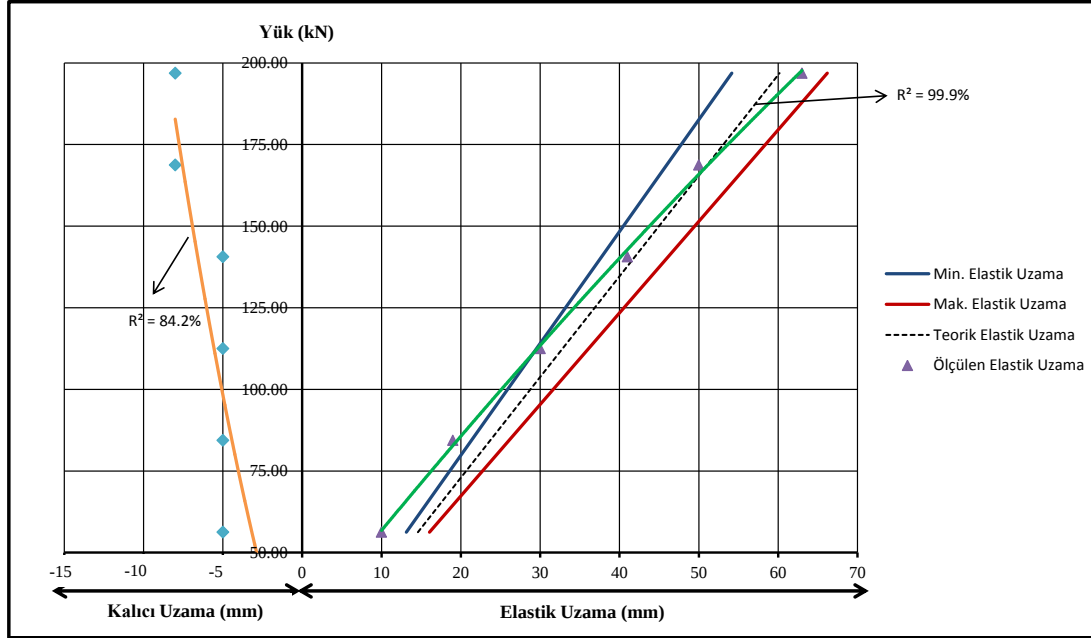
Yukarıda belirtilen maddelerden ilk ikisi, deney sırasında uygulanan tüm döngüler için dikkate alınmış ve döngü sonuçlarına göre değerlendirme yapılmıştır. Sabit yük

altında gözlemlenen uzama oranı kriteri ise, ön görülen proje yükü **450 kN** değerinin 1.25, 1.5 ve 1.75 katlarına ulaşıldığı döngülerde dikkate alınmıştır. Birinci maddeye göre, her bir döngü içerisinde ulaşılan maksimum yük kademesinde deney ankrajını oluşturan ünitelerde gözlemlenen elastik uzama ve buna bağlı hesaplanan görünen boy çizelge 6.22'de verilmiştir.

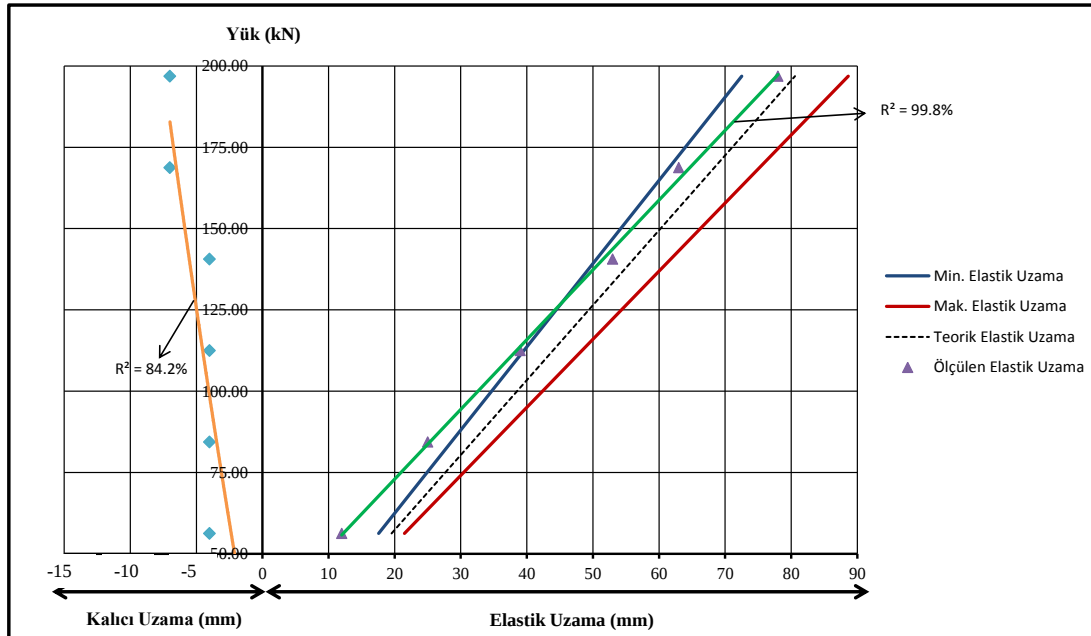
**Çizelge 6.22 : Yük kademelerinde ölçülen elastik ve kalıcı ankraj uzama değerleri**

| Ünite | Döngü | Yük (kN) | $\Delta_{ank}$ (mm) | $\Delta_p$ (mm) | $\Delta_e$ (mm) | $L_{app}$ (mm) |
|-------|-------|----------|---------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| A     | 1     | 56.25    | 15                  | 5               | 10              | 6.07           |
|       | 2     | 84.38    | 24                  | 5               | 19              | 7.09           |
|       | 3     | 112.50   | 35                  | 5               | 30              | 8.09           |
|       | 4     | 140.63   | 46                  | 5               | 41              | 8.65           |
|       | 5     | 168.75   | 58                  | 8               | 50              | 8.67           |
|       | 6     | 196.88   | 71                  | 8               | 63              | 9.27           |
| B     | 1     | 56.25    | 16                  | 4               | 12              | 7.28           |
|       | 2     | 84.38    | 29                  | 4               | 25              | 9.33           |
|       | 3     | 112.50   | 43                  | 4               | 39              | 10.52          |
|       | 4     | 140.63   | 57                  | 4               | 53              | 11.18          |
|       | 5     | 168.75   | 70                  | 7               | 63              | 10.92          |
|       | 6     | 196.88   | 85                  | 7               | 78              | 11.47          |
| C     | 1     | 56.25    | 26                  | 10              | 16              | 9.71           |
|       | 2     | 84.38    | 41                  | 10              | 31              | 11.57          |
|       | 3     | 112.50   | 56                  | 10              | 46              | 12.40          |
|       | 4     | 140.63   | 73                  | 12              | 61              | 12.87          |
|       | 5     | 168.75   | 89                  | 15              | 74              | 12.83          |
|       | 6     | 196.88   | 107                 | 15              | 92              | 13.53          |
| D     | 1     | 56.25    | 28                  | 8               | 20              | 12.13          |
|       | 2     | 84.38    | 45                  | 8               | 37              | 13.81          |
|       | 3     | 112.50   | 65                  | 8               | 57              | 15.37          |
|       | 4     | 140.63   | 84                  | 9               | 75              | 15.83          |
|       | 5     | 168.75   | 104                 | 12              | 92              | 15.95          |
|       | 6     | 196.88   | 124                 | 12              | 112             | 16.47          |

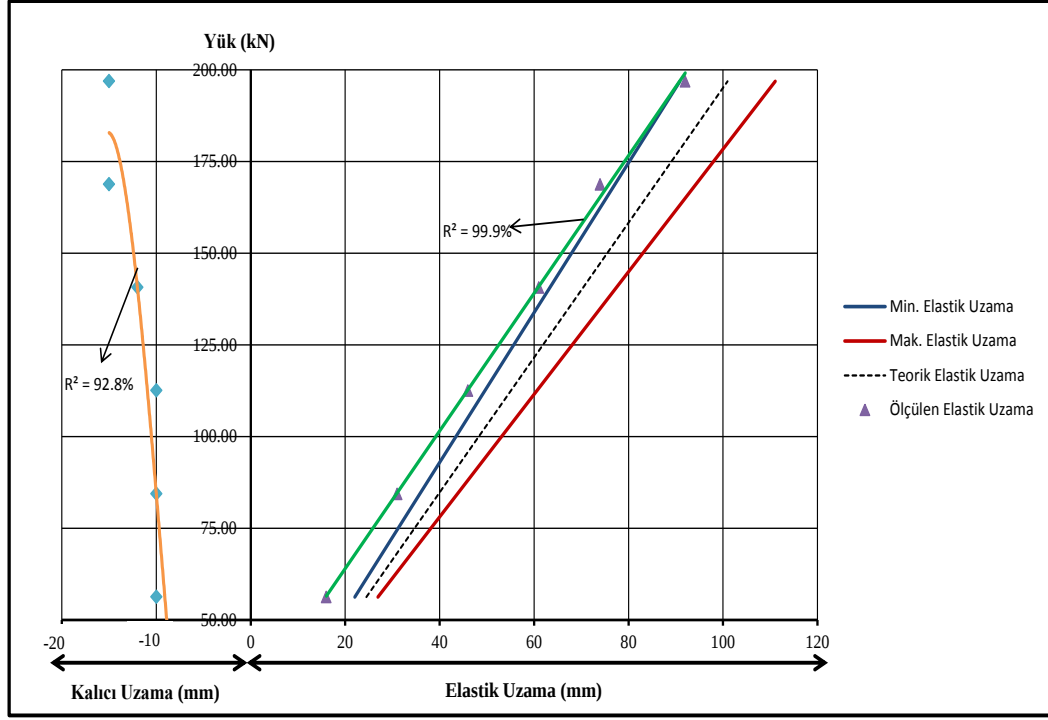
4 numaralı deney ankrajı ve ankrajı oluşturan her bir ünite BS8081'de belirtilen serbest boy kriteri açısından incelenmiştir ve grafikler üzerinde özetlenmiştir (Şekil-6.50, 6.51, 6.52, 6.53). Grafiklerin hazırlanış biçimi için, ilgili standardın 11.2.12 numaralı maddesinde belirtilen şekil formatı referans alınmıştır.



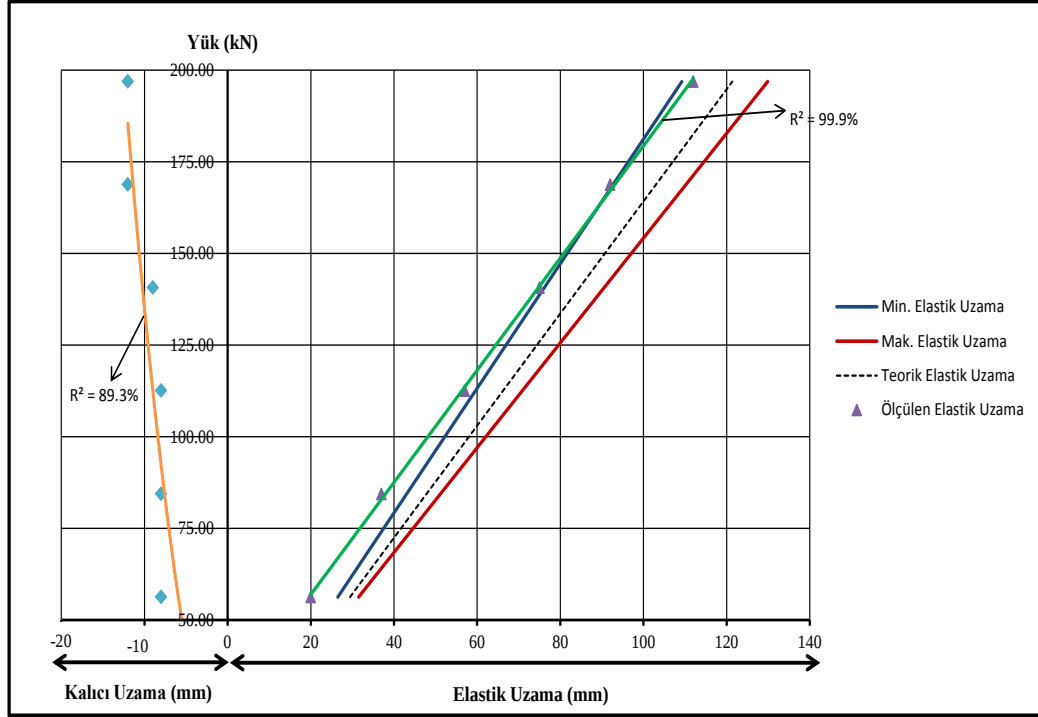
**Şekil 6.50 :** BS8081'de belirtilen kabul kriterlerine göre deney ankrajı-4 (Ünite-A) sahada ölçülen elastik uzama değerlerinin kontrolü ve kalıcı uzama-yük ilişkisi



**Şekil 6.51 :** BS8081'de belirtilen kabul kriterlerine göre deney ankrajı-4 (Ünite-B) sahada ölçülen elastik uzama değerlerinin kontrolü ve kalıcı uzama-yük ilişkisi



**Şekil 6.52 :** BS8081'de belirtilen kabul kriterlerine göre deney ankrajı-4 (Ünite-C) sahada ölçülen elastik uzama değerlerinin kontrolü ve kalıcı uzama-yük ilişkisi



**Şekil 6.53 :** BS8081'de belirtilen kabul kriterlerine göre deney ankrajı-4 (Ünite-D) sahada ölçülen elastik uzama değerlerinin kontrolü ve kalıcı uzama-yük ilişkisi

Serbest boy kriteri değerlendirmesi için yukarıda verilen grafikler üzerinde gösterilmiş maksimum ve minimum elastik uzama değerleri, her bir yük

kademesinde çıkılan maksimum yük değerinin denklem 6.1' de kullanılması ile elde edilmiştir.

Deney ankrajı-4'ün kök bölgesinin yük aktaracağı tabakanın orta katı-katı kıvamında yüksek plastisiteli kil olması sebebi aynı yük altında ankrajın uzama yapması riski bulunmaktadır. Ankrajlar için hazırlanan deney programına göre; kritik olarak görülen her bir yük kademesinde ( $\%125 P_{tas}$  ,  $\%150 P_{tas}$  ,  $\%175 P_{tas}$ ) minimum 15 dakika süresince ankrajda meydana gelecek uzamalar gözlemlenmiş ve kayıt altına alınmıştır. Sabit yük altında, Çizelge 6.5'te verilen gözlem periyotlarında belirtilen izin verilebilir uzama oranlarına göre sahada gerçekleştirilen deney sırasında ankrajı oluşturan her bir ünitenin ölçülen uzama değerleri aşağıda verilen tablolarca özetlenmiştir (Çizelge 6.23, 6.24, 6.25, 6.26).

**Çizelge 6.23 :** Farklı yükler altında ankraj-4 (Ünite-A) için uzama oranları ve izin verilebilir limitler

| Döngü | Kademe | Gözlem Periyodu (dk) | Yük (kN) | $\Delta_{ank}$ (mm) | Teo. $\Delta_e$ (mm) | Uzama Oranı (mm) | İzin verilebilir Uzama Oranı (mm) |
|-------|--------|----------------------|----------|---------------------|----------------------|------------------|-----------------------------------|
| 4     | 125    | -                    | 140.63   | 46                  | 41.94                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 46                  |                      | 0.00             | 0.42                              |
|       |        | 15                   |          | 46                  |                      | 0.00             | 0.84                              |
| 5     | 150    | -                    | 168.75   | 57                  | 51.06                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 58                  |                      | 1.00             | 0.51                              |
|       |        | 15                   |          | 58                  |                      | 1.00             | 1.02                              |
| 6     | 175    | -                    | 196.88   | 70                  | 60.18                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 71                  |                      | 1.00             | 0.60                              |
|       |        | 15                   |          | 71                  |                      | 1.00             | 1.20                              |

**Çizelge 6.24 :** Farklı yükler altında ankraj-4 (Ünite-B) için uzama oranları ve izin verilebilir limitler

| Döngü | Kademe | Gözlem Periyodu (dk) | Yük (kN) | $\Delta_{ank}$ (mm) | Teo. $\Delta_e$ (mm) | Uzama Oranı (mm) | İzin verilebilir Uzama Oranı (mm) |
|-------|--------|----------------------|----------|---------------------|----------------------|------------------|-----------------------------------|
| 4     | 125    | -                    | 140.63   | 56                  | 56.16                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 57                  |                      | 1.00             | 0.56                              |
|       |        | 15                   |          | 57                  |                      | 1.00             | 1.12                              |
| 5     | 150    | -                    | 168.75   | 69                  | 68.37                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 69                  |                      | 0.00             | 0.68                              |
|       |        | 15                   |          | 70                  |                      | 1.00             | 1.37                              |
| 6     | 175    | -                    | 196.88   | 84                  | 80.57                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 84                  |                      | 0.00             | 0.81                              |
|       |        | 15                   |          | 85                  |                      | 1.00             | 1.61                              |

**Çizelge 6.25 :** Farklı yükler altında ankraj-4 (Ünite-C) için uzama oranları ve izin verilebilir limitler

| Döngü | Kademe | Gözlem Periyodu (dk) | Yük (kN) | $\Delta_{ank}$ (mm) | Teo. $\Delta_e$ (mm) | Uzama Oranı (mm) | İzin verilebilir Uzama Oranı (mm) |
|-------|--------|----------------------|----------|---------------------|----------------------|------------------|-----------------------------------|
| 4     | 125    | -                    | 140.63   | 72                  | 70.37                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 73                  |                      | 1.00             | 0.70                              |
|       |        | 15                   |          | 73                  |                      | 1.00             | 1.41                              |
| 5     | 150    | -                    | 168.75   | 88                  | 85.67                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 89                  |                      | 1.00             | 0.86                              |
|       |        | 15                   |          | 89                  |                      | 1.00             | 1.71                              |
| 6     | 175    | -                    | 196.88   | 105                 | 100.97               | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 106                 |                      | 1.00             | 1.01                              |
|       |        | 15                   |          | 107                 |                      | 2.00             | 2.02                              |

**Çizelge 6.26 :** Farklı yükler altında ankraj-4 (Ünite-D) için uzama oranları ve izin verilebilir limitler

| Döngü | Kademe  | Gözlem Periyodu (dk) | Yük (kN) | $\Delta_{ank}$ (mm) | Teo. $\Delta_e$ (mm) | Uzama Oranı (mm) | İzin verilebilir Uzama Oranı (mm) |
|-------|---------|----------------------|----------|---------------------|----------------------|------------------|-----------------------------------|
| 4     | 140.625 | -                    | 140.63   | 83                  | 84.59                | 0.00             | 0.00                              |
|       |         | 5                    |          | 84                  |                      | 1.00             | 0.85                              |
|       |         | 15                   |          | 84                  |                      | 1.00             | 1.69                              |
| 5     | 168.75  | -                    | 168.75   | 103                 | 102.98               | 0.00             | 0.00                              |
|       |         | 5                    |          | 103                 |                      | 0.00             | 1.03                              |
|       |         | 15                   |          | 104                 |                      | 1.00             | 2.06                              |
| 6     | 196.875 | -                    | 196.88   | 122                 | 121.37               | 0.00             | 0.00                              |
|       |         | 5                    |          | 124                 |                      | 2.00             | 1.21                              |
|       |         | 15                   |          | 124                 |                      | 2.00             | 2.43                              |

Deney alanı-2 bölgesinde SBMA ve ard enjeksiyon tekniklerinin bir arada kullanılarak imal edilen 4 numaralı deney ankrajının saha performansı incelenmiştir. Projenin tasarım aşamasında belirlenen 450 kN öngerme yüküne göre hazırlanan germe deney programı çerçevesinde incelenen bu performansına göre, deney ankrajının 450 kN ve katları (1.25, 1.5 ve 1.75) olan yükleri başarılı bir şekilde zemine aktardığı gözlemlenmiştir. BS8081'de belirtilen deney kriterlerine göre incelendiğinde, 4 numaralı deney ankrajını oluşturan ünitelerden A ve B 450 kN yükün katları (1.25, 1.5, 1.75) altında göstermiş olduğu uzamalara göre serbest boy şartını sağladığı 450 kN ve altı yüklerinde ise sağlamadığı görülmektedir. C ve D

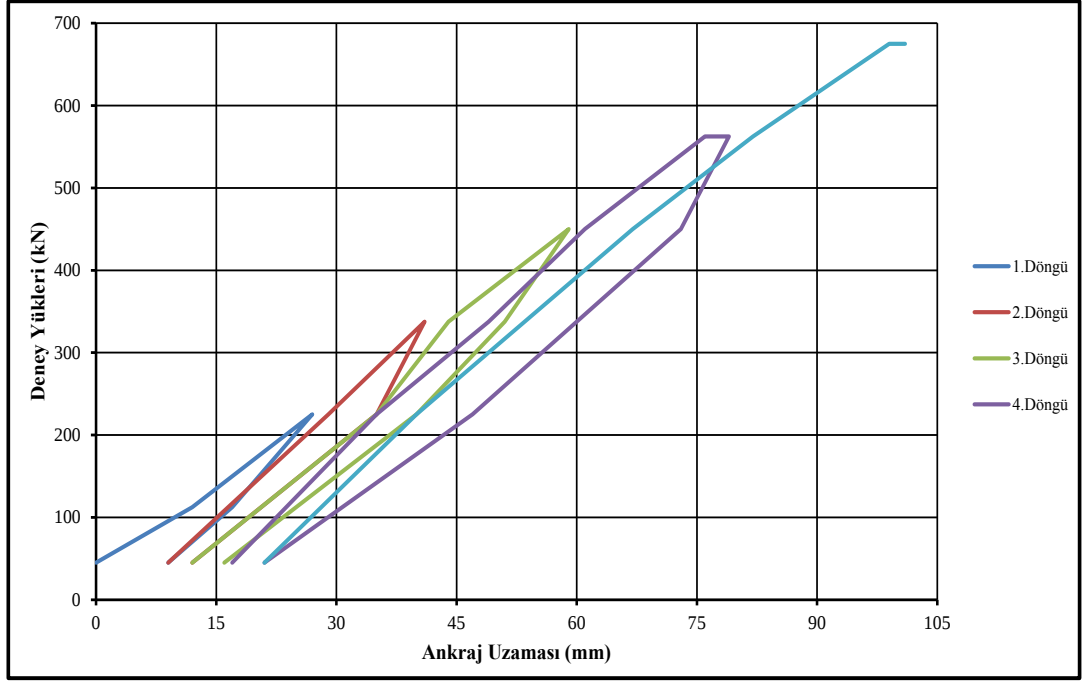
ünitelerinde germe deneyi sırasında meydana gelen uzamalara göre serbest boy şartının hiç bir kademede sağlanmadığı tespit edilmiştir. Sabit yük altında deney ankrajını oluşturan her bir ünitenin performansı ayrı ayrı incelenmiştir. C ve D ünitelerin ön görülen proje yükünün 1.75 katına denk gelen 6. döngü içerisinde BS 8081'de belirtilen şartları sağlamadığı görülmektedir. Diğer ünitelerde sabit yük altında meydana gelen uzamaların tüm döngülerde şartları sağladığı görülmektedir. Tüm ünitelere uygulanan yükün toplamı ve ön görülen proje yükünün 1.75 katı olan 787.5 kN altında ankrajda gözlemlenen uzama oranları limit değerlere yaklaşmış veya bu değerleri geçmiştir. her ne kadar germe deneyi sırasında, uygulana yükleri 4 numaralı deney ankrajı zeminden sıyrılmasa bile, uzun dönemli periyotlarda C ve D ünitelerinde yük kaybı yaşanmasına sebep olacaktır. Dolayısıyla SBMA ve Ard Enjeksiyon tekniğinin kullanıldığı 4 numaralı deney ankrajının göçme yükü 787.5 kN olarak ele alınabilir. Bu durumda her bir ünitenin göçme yükü değeri de 196.9 kN olarak hesaplanır.

#### **6.5.6 Deney ankrajı-18 (Alan-2)**

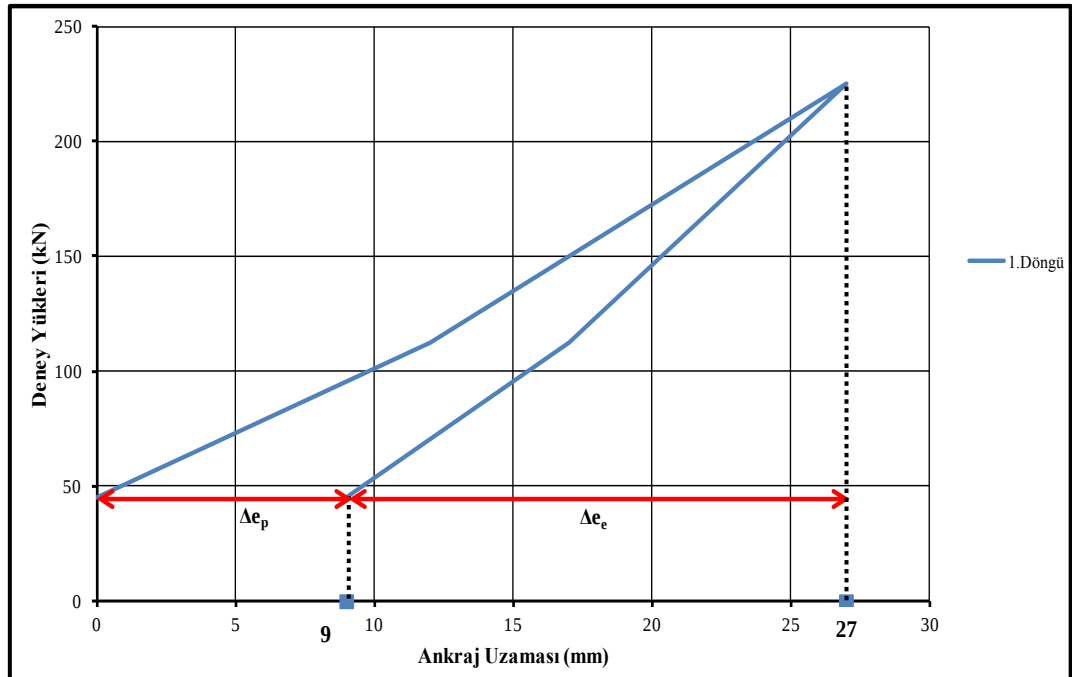
Geleneksel yöntem kullanılarak imal edilen 18 numaralı deney ankrajının farkı, kök bölgesinin çuval ile sarılması ve kök bölgesinde 50 cm aralıklar ile çelik kılçıkların yerleştirilmesi olmuştur. Ankraj kök bölgesinde kullanılan bu malzemeler ile kök taşıma gücünde artış beklenmiştir. Normalde 6 döngüde gerçekleşmesi beklenen germe deneyi 4 döngü içerisinde tamamlanmıştır. Deney sırasında ankrajda gözlemlenen uzama-yük ilişkisi Şekil 6.54'te verilmiştir.

Geleneksel yöntem ile birlikte kök bölgesinde taşıma gücünü arttırmaya yönelik malzemelerin kullanılarak imal edilen 18 numaralı deney ankrajı, ön görülen proje yükü 450 kN ve sırasıyla yükün 1.25 ve 1.5 katları olan germe yüklerini kök sıyrılması gerçekleşmeden orta katı-katı kıvamında olan kumlu kil tabakasına aktarmış olduğu gözlemlenmiştir. Proje yükünün 1.5 katına çıkmış olduğu döngüde gözlemlenen ankraj uzamalarının teorik hesaba göre fazla olması sebebi ile, ilgili döngü tamamlanmayıp proje yükünün 1.75 katına çıkmıştır. 787.5 kN'luk germe yüküne ulaştığında, ankrajın hızlı bir şekilde uzadığı ve yükün sabit kalmayarak düşüşe geçtiği gözlemlenmiştir. Ankraj kök taşıma gücünün 787.5 kN olduğu 18 numaralı deney ankrajı, kök bölgesinin etkileşimde olduğu zeminin yüksek plastisiteli ve kohezyonlu olması sebebi ile beklenen sünme uzamalarının gözlemi bu

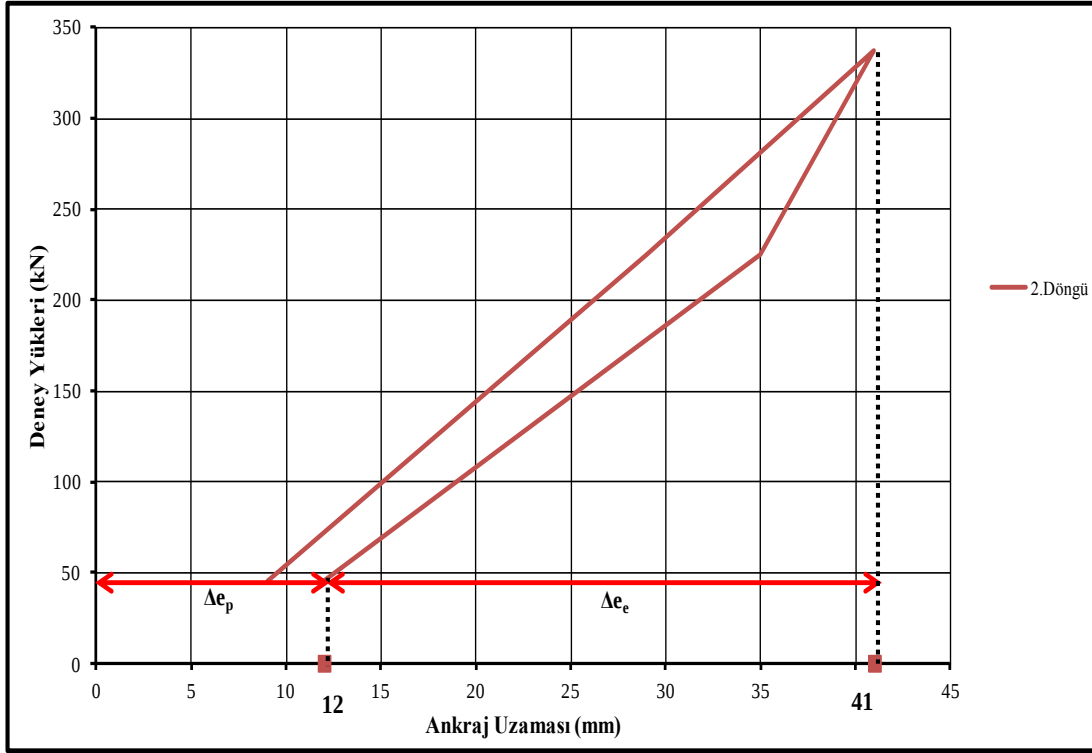
deney ankrajında da gerçekleştirilmiştir. Proje aşamasında izin verilecek maksimum germe yükünün belirlenmesi amacıyla, germe deneyi sırasında uygulanan her bir döngü sırasında oluşan ankraj uzamalarına göre elde edilen yük-uzama eğrileri 4 farklı grafik üzerinde gösterilmiştir (şekil 6.55, 6.56, 6.57 ve 6.58). İlgili grafiklerin üzerine, deney sırasında belirlenen plastik-elastik uzama da eklenmiştir.



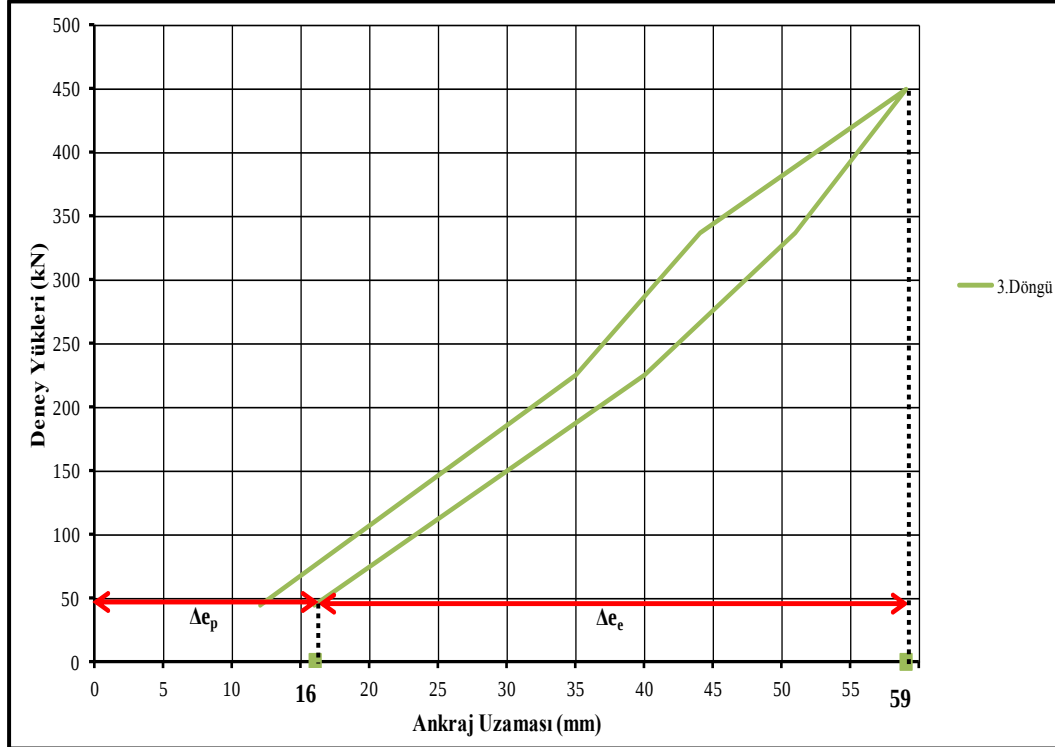
Şekil 6.54 : Deney ankrajı-18 : yük-uzama grafiği



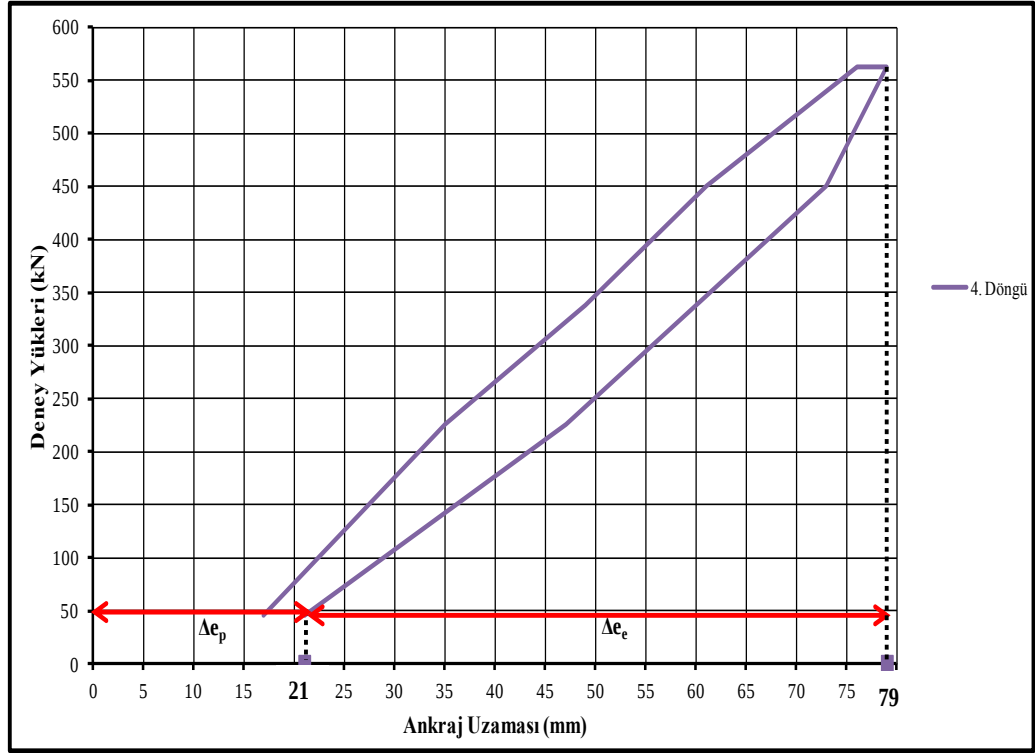
Şekil 6.55 : : Deney ankrajı-18 yük uzama grafiği (50% Yük döngüsü)



Şekil 6.56 : Deney ankrajı-18 yük uzama grafiği (75% Yük döngüsü)



Şekil 6.57 : Deney ankrajı-18 yük uzama grafiği (100% Yük döngüsü)



**Şekil 6.58 :** Deney ankrajı-18 yük uzama grafiği (125% Yük döngüsü)

Kök bölgesinde kullanılan malzemeler ile taşıma gücünün artırılması hedeflenen 18 numaralı deney ankrajına proje aşamasında verilebilecek maksimum öngerme yükünün belirlenmesi için, BS8081:1989'da belirtilen deney kriterleri dikkate alınmıştır. İlgili kriterler aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- Görünen serbest boy hesabı (BS8081:1989, Madde 11.2.9)
- Denklem 6.1 'e göre hesaplanan görünen serbest boy BS8081'e göre aşağıda verilen şartları sağlaması gerekmektedir.

$$\geq \%90 \times \text{Tasarım Serbest Boyu}$$

$$\leq \min. (\%110 \times \text{Tasarım Serbest Boyu}, \text{Tasarım Serbest Boyu} + \%50 \text{ Kök Boyu})$$

- Belirli bir yük kademesi altında zamana bağlı gözlemlenen uzama miktarı veya uzama oranı Çizelge 6.5'te belirtilen şartları sağlamak zorundadır (BS8081:1989).

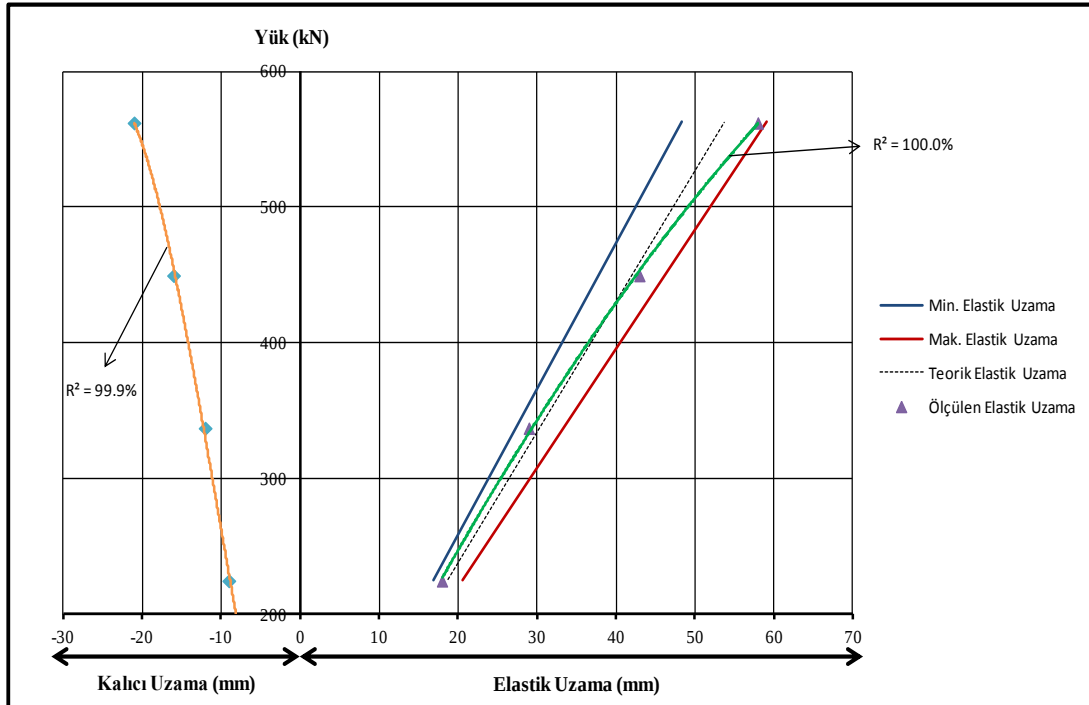
Yukarıda belirtilen maddelerden ilk ikisi, deney sırasında uygulanan 4 döngü için de dikkate alınmış (1...4) ve döngü sonuçlarına göre değerlendirme yapılmıştır. Sabit yük altında gözlemlenen uzama oranı kriteri ise, ön görülen proje yükü **450 kN**

değerinin 1.25 ve 1.5 katlarına ulaşıldığı döngülerde dikkate alınmıştır. Birinci maddeye göre, her bir döngü içerisinde ulaşılan maksimum yük kademesinde ankrajda gözlemlenen elastik uzama ve buna bağlı hesaplanan görünen boy Çizelge 6.27'de verilmiştir.

**Çizelge 6.27 : Yük kademelerinde ölçülen elastik ve kalıcı ankraj uzama değerleri**

| Döngü | Yük (kN) | $\Delta_{\text{ank}}$ (mm) | $\Delta_p$ (mm) | $\Delta_e$ (mm) | $L_{\text{app}}$ (m) |
|-------|----------|----------------------------|-----------------|-----------------|----------------------|
| 1     | 225.00   | 27                         | 9               | 18              | 10.92                |
| 2     | 337.50   | 41                         | 12              | 29              | 10.83                |
| 3     | 450.00   | 59                         | 16              | 43              | 11.59                |
| 4     | 562.50   | 79                         | 21              | 58              | 12.24                |

18 numaralı deney ankrajı BS8081'de belirtilen serbest boy kriteri açısından incelenmiştir ve Şekil 6.59'da verilen grafik üzerinde özetlenmiştir. Grafik hazırlanış biçimi için, ilgili standardın 11.2.12 numaralı maddesinde belirtilen şekil formatı referans alınmıştır.



**Şekil 6.59 : BS8081'de belirtilen kabul kriterlerine göre deney ankrajı-18 için sahada ölçülen elastik uzama değerlerinin kontrolü ve kalıcı uzama-yük ilişkisi**

Şekil 6.59'da verilen grafik üzerinde gösterilmiş maksimum ve minimum elastik uzama değerleri, her bir yük kademesinde çıkılan maksimum yük değerinin denklem 6.1'de kullanılması ile elde edilmiştir.

Deney ankrajı-18'ün kök bölgesinin yük aktaracağı tabakanın orta katı-katı kıvamda yüksek plastisiteli kil olması sebebi aynı yük altında ankrajın uzama yapması riski bulunmaktadır. Ankraj kökünün ön görülen proje yükünün 1.75 katında sıyrılması sebebi ile sabit yük altında göstereceği uzama performansı sadece 4. ve 5. döngülerde incelenmiştir. İnceleme kapsamında, deney programında belirtildiği gibi minimum 15 dakika süresince ankrajda meydana gelen uzamalar kayıt altına alınmıştır. Sabit yük altında, Çizelge 6.5'te verilen gözlem periyotlarında belirtilen izin verilebilir uzama oranlarına göre sahada gerçekleştirilen deney sırasında ölçülen uzama değerleri aşağıda özetlenmiştir (Çizelge 6.28).

**Çizelge 6.28 :** Farklı yükler altında ankraj-18 için uzama oranları ve izin verilebilir limitler

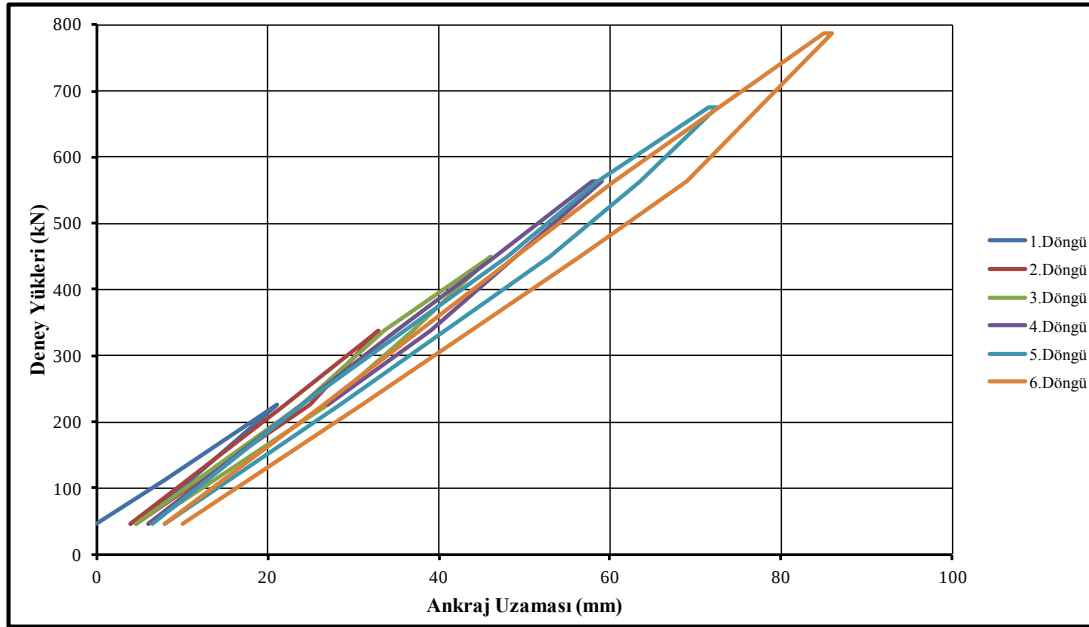
| Döngü | Kademe | Gözlem Periyodu (dk) | Yük (kN) | $\Delta_{ank}$ (mm) | Teo. $\Delta_e$ (mm) | Uzama Oranı (mm) | İzin verilebilir Uzama Oranı (mm) |
|-------|--------|----------------------|----------|---------------------|----------------------|------------------|-----------------------------------|
| 4     | 125    | -                    | 562.5    | 76                  | 53.79                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 78                  |                      | 2.00             | 0.54                              |
|       |        | 15                   |          | 79                  |                      | 3.00             | 1.08                              |
| 5     | 150    | -                    | 675.0    | 99                  | 65.48                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 100                 |                      | 1.00             | 0.65                              |
|       |        | 15                   |          | 101                 |                      | 2.00             | 1.31                              |

Deney alanı-2 içerisinde imal edilen ve kök bölgesinde geleneksel yöntemden farklı olarak çuval ve çelik kılçıkların kullanıldığı 18 numaralı deney ankrajının saha performansı incelenmiştir. Projenin tasarım aşamasında belirlenen 450 kN öngerme yüküne göre hazırlanan germe deney programı çerçevesinde incelenen bu performansına göre, deney ankrajının 450 kN ve katları (1.25, 1.5) olan yükleri başarılı bir şekilde zemine aktardığı tespit edilmiştir. Deney sırasında ankraj kök taşıma gücünün yenildiği yük değerinin 787.5 kN olduğu belirlenmiştir. BS8081'de belirtilen serbest boy kriterlerine göre incelendiğinde, deney ankrajının 450 kN ve altı tüm döngülerde belirlenen serbest boyun teorik uzamaya denk gelen boya yakın

olduğu, 562.5 kN altında ise maksimum serbest boy sınırına yakın olduğu tespit edilmiştir. Ankrajın sabit yük altında göstermiş olduğu uzama performansının incelendiği ön görülen proje yükünün 1.25 (562.5 kN) ve 1.50 (675 kN) katına ulaşıldığı yük kademelerinde ise, 15 dakika içerisinde meydana gelen uzamanın limit değeri aşığı görülmektedir.

#### 6.5.7 Deney ankrajı-11 (Alan-5)

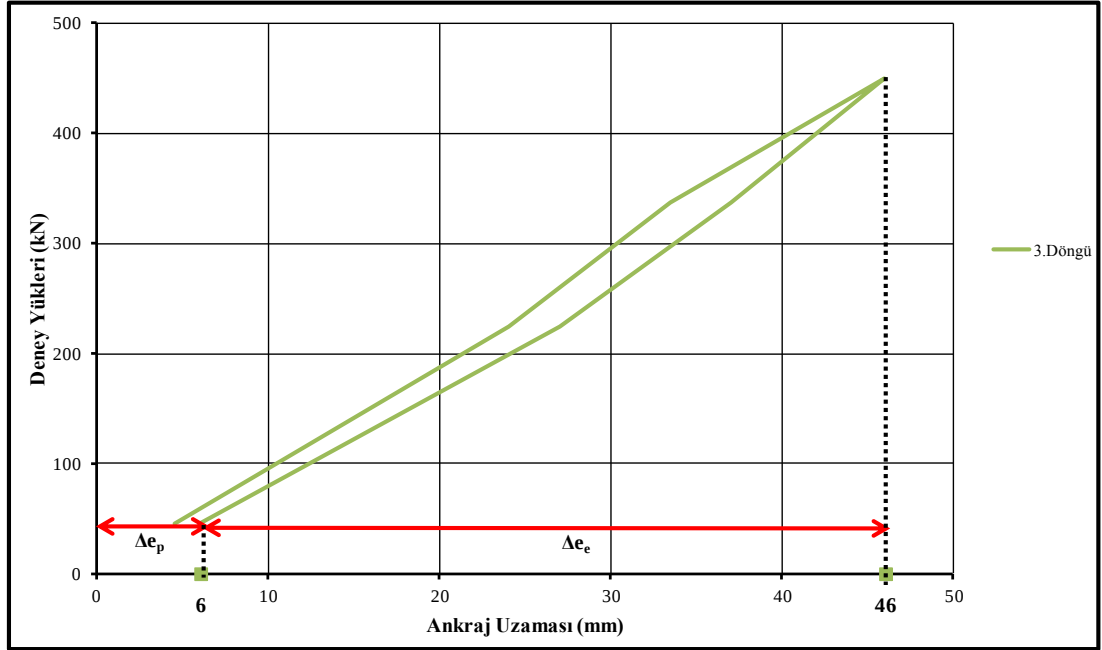
Geleneksel yöntem kullanılarak imal edilen 11 numaralı deney ankrajına yapılan germe deneyi 6 döngüde gerçekleşmiştir. Germe deneyi sırasında gözlemlenen uzama-yük ilişkisi şekil 6.60'da verilmiştir.



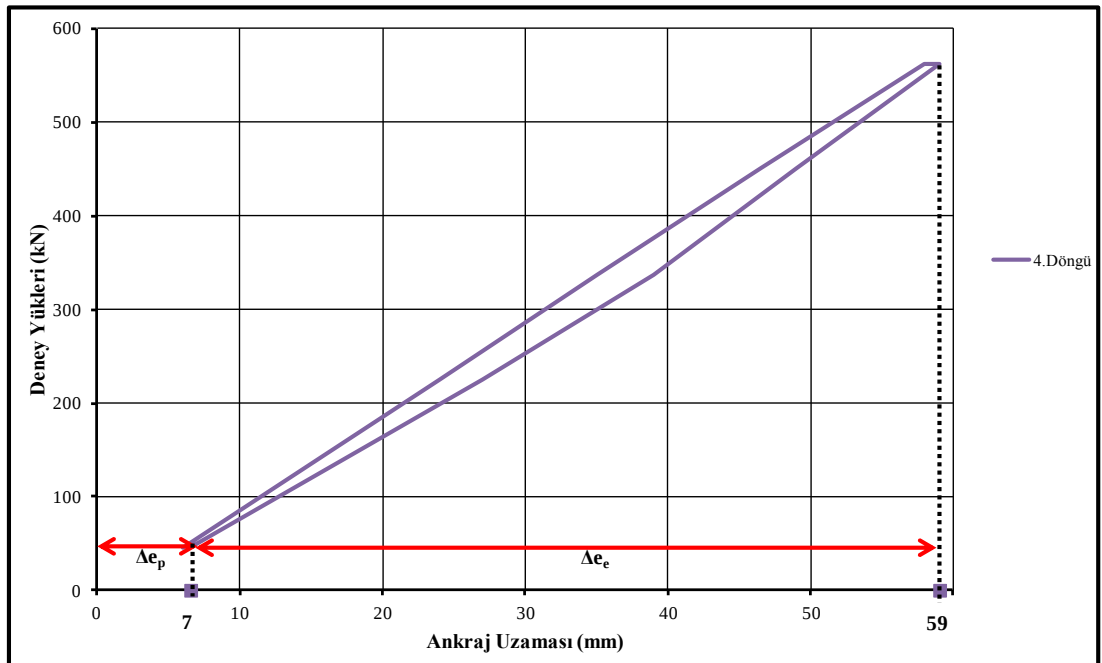
Şekil 6.60 : Deney ankrajı-11 : yük-uzama grafiği

Kök bölgesinin yer yer marn ve kireçtaşı parçaları içeren çok katı kil tabakasında kaldığı 11 numaralı deney ankrajının, ön görülen proje yükü olan 450 kN ve sırasıyla ilgili yükün 1.25, 1.5 ve 1.75 katları olan germe yüklerini kök sıyrılması meydana gelmeden zemine aktardığı ve nihai taşıma gücüne ulaşılmadığı gözlemlenmiştir. Geleneksel yöntem kullanılarak imal edilen bu ankrajın kök bölgesi etrafındaki zeminin de yüksek oranda kil içermesi sebebi ile sabit yük altında uzama yapıp yapmadığı gözlemlenmiştir. 5 numaralı deney alanının etkin olduğu bölgelerde 11 numaralı deney ankrajı imalat tekniklerinin kullanılarak imal edilecek ankrajların izin verilebilecek maksimum germe yüklerinin belirlenmesi amacıyla ön görülen

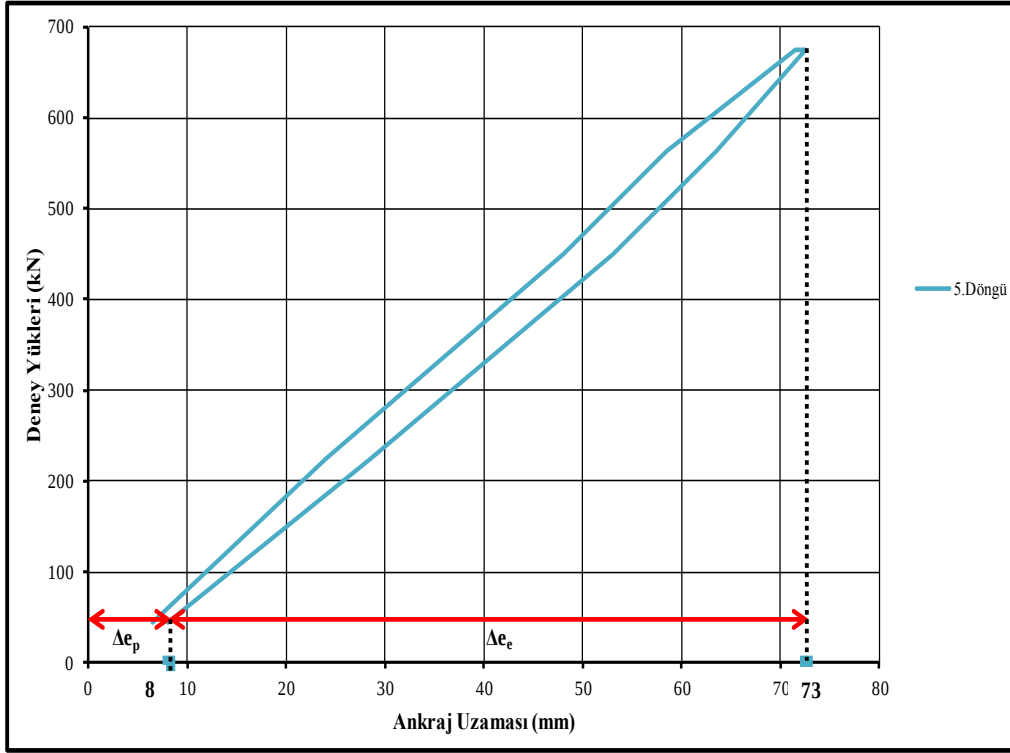
proje yükünün sırasıyla 100%, 125%, 150% ve 175% katlarına denk gelen kademelerdeki yük-uzama eğrileri hazırlanmış ve 4 farklı grafikte gösterilmiştir (şekil 6.61, 6.62, 6.63 ve 6.64). İlgili grafiklerin üzerine, deney sırasında belirlenen plastik-elastik uzama farklı da eklenmiştir.



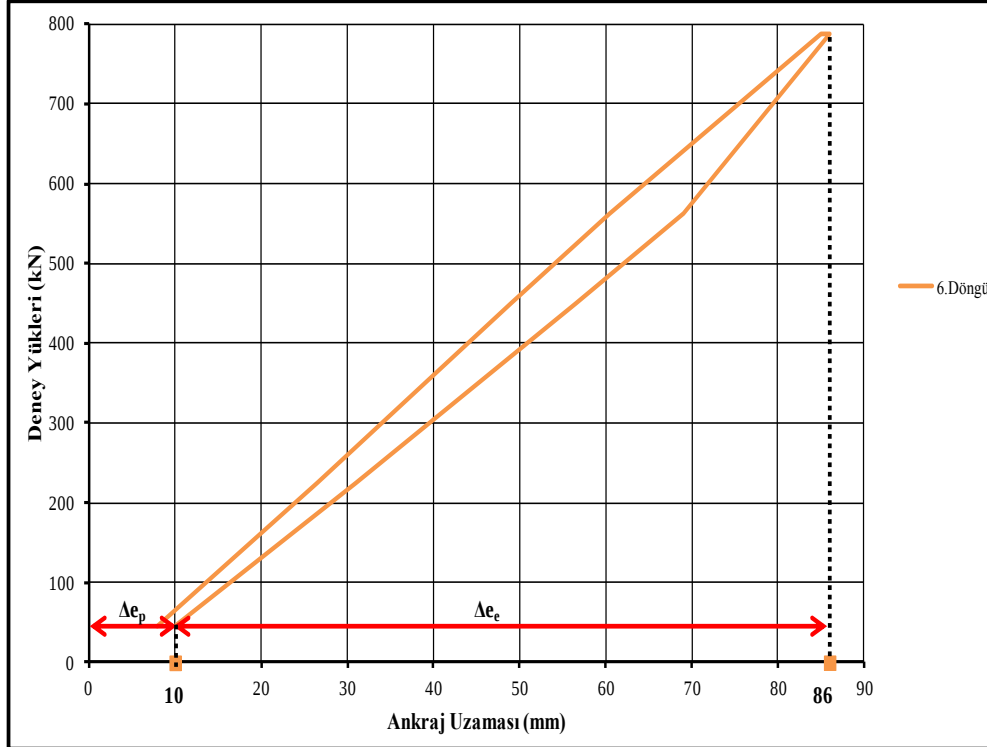
Şekil 6.61 : : Deney ankrajı-11 yük uzama grafiği (100% Yük döngüsü)



Şekil 6.62 : Deney ankrajı-11 yük uzama grafiği (125% Yük döngüsü)



Şekil 6.63 : Deney ankrajı-11 yük uzama grafiği (150% Yük döngüsü)



Şekil 6.64 : Deney ankrajı-11 yük uzama grafiği (175% Yük döngüsü)

Deney sırasında verilen germe yüklerini başarılı bir şekilde zemine aktaran geleneksel yöntem kullanılarak imal edilen ankrajın, proje aşamasında verilebilecek maksimum öngerme yükünün belirlenmesi için, BS8081:1989'da belirtilen deney kriterleri dikkate alınmıştır. İlgili kriterler aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- Görünen serbest boy hesabı (BS8081:1989, Madde 11.2.9)
- Denklem 6.1 'e göre hesaplanan görünen serbest boy BS8081'e göre aşağıda verilen şartları sağlaması gerekmektedir.

$$\geq \%90 \times \text{Tasarım Serbest Boyu}$$

$$\leq \min. (\%110 \times \text{Tasarım Serbest Boyu}, \text{Tasarım Serbest Boyu} + \%50 \text{ Kök Boyu})$$

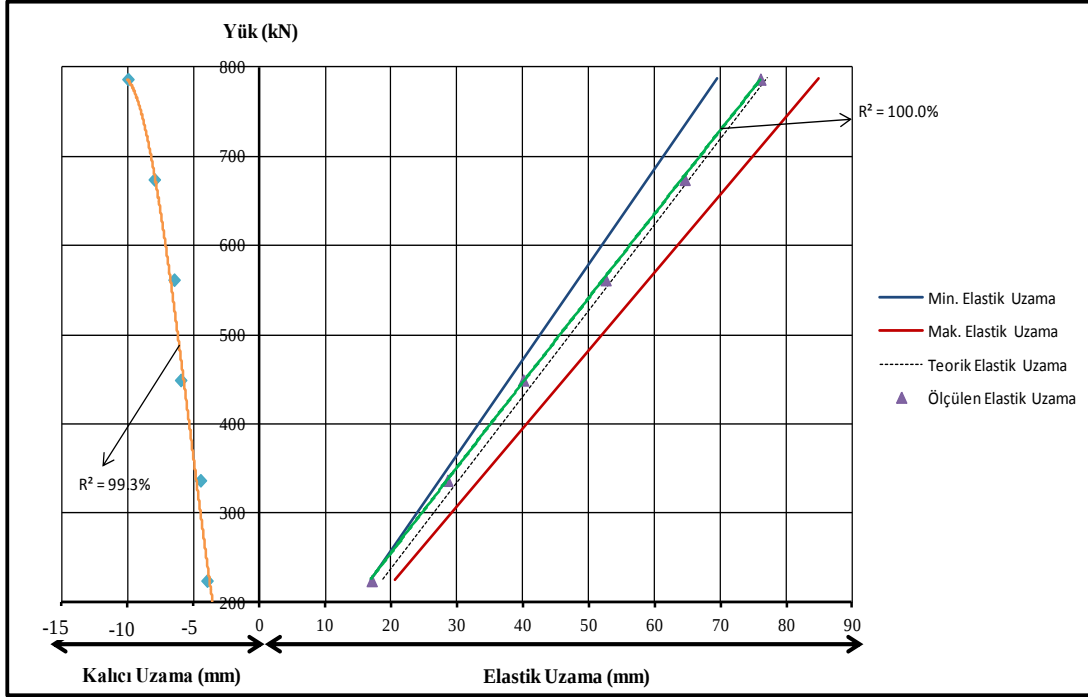
- Belirli bir yük kademesi altında zamana bağlı gözlemlenen uzama miktarı veya uzama oranı Çizelge 6.5'te belirtilen şartları sağlamak zorundadır (BS8081:1989).

Yukarıda belirtilen maddelerden ilk ikisi, deney sırasında uygulanan 6 döngü için de dikkate alınmış ve döngü sonuçlarına göre değerlendirme yapılmıştır. Sabit yük altında gözlemlenen uzama oranı kriteri ise, ön görülen proje yükü **450 kN** değerinin 1.25, 1.5 ve 1.75 katlarına ulaşıldığı döngüler içerisinde dikkate alınmıştır. Yukarıda verilen birinci maddeye göre, her bir döngü içerisinde ulaşılan maksimum germe yükü altında ankrajda gözlemlenen elastik uzama ve buna bağlı olarak hesaplanan serbest boy Çizelge 6.29'da verilmiştir.

**Çizelge 6.29 :** Yük kademelerinde ölçülen elastik ve kalıcı ankraj uzama değerleri

| Döngü | Yük (kN) | $\Delta_{\text{ank}}$ (mm) | $\Delta_p$ (mm) | $\Delta_e$ (mm) | $L_{\text{app}}$ (m) |
|-------|----------|----------------------------|-----------------|-----------------|----------------------|
| 1     | 225.00   | 21                         | 4               | 17              | 10.31                |
| 2     | 337.50   | 33                         | 4               | 29              | 10.64                |
| 3     | 450.00   | 46                         | 6               | 40              | 10.79                |
| 4     | 562.50   | 59                         | 6               | 53              | 11.08                |
| 5     | 675.00   | 73                         | 8               | 65              | 11.18                |
| 6     | 787.50   | 86                         | 10              | 76              | 11.18                |

11 numaralı deney ankrajı BS8081'de belirtilen serbest boy kriteri açısından incelenmiştir ve Şekil 6.65'te verilen grafik üzerinde özetlenmiştir. Grafik hazırlanış biçimi için, ilgili standardın 11.2.12 numaralı maddesinde belirtilen şekil formatı referans alınmıştır.



**Şekil 6.65 :** BS8081'de belirtilen kabul kriterlerine göre deney ankrajı-11 için sahada ölçülen elastik uzama değerlerinin kontrolü ve kalıcı uzama-yük ilişkisi

Şekil 6.65'te verilen grafik üzerinde gösterilmiş maksimum ve minimum elastik uzama değerleri, her bir yük kademesinde çıkılan maksimum yük değerinin denklem 6.1'de kullanılması ile elde edilmiştir.

Deney ankrajı-11'in kök bölgesinin yük aktaracağı tabakanın her ne kadar kıvamı çok katı olmasına rağmen içerisinde barındırmış olduğu yüksek orandaki kil sebebi ile sabit yük altında ankrajda uzamaların devam etmesi riski bulunmaktadır. Ankrajlar için hazırlanan deney programına göre; kritik olarak görülen her bir yük kademesinde ( $0.125 P_{tas}$  ,  $0.150 P_{tas}$  ,  $0.175 P_{tas}$ ) minimum 15 dakika süresince ankrajda meydana gelen uzamalar gözlemlenmiş ve kayıt altına alınmıştır. Sabit yük altında, Çizelge 6.5'te verilen gözlem periyotlarında belirtilen izin verilebilir uzama oranlarına göre sahada gerçekleştirilen deney sırasında ölçülen uzama değerleri aşağıda özetlenmiştir (çizelge 6.30).

**Çizelge 6.30 :** Farklı yükler altında ankraj-11 için uzama oranları ve izin verilebilir limitler

| Döngü | Kademe | Gözlem Periyodu (dk) | Yük (kN) | $\Delta_{ank}$ (mm) | Teo. $\Delta_e$ (mm) | Uzama Oranı (mm) | İzin verilebilir Uzama Oranı (mm) |
|-------|--------|----------------------|----------|---------------------|----------------------|------------------|-----------------------------------|
| 4     | 125    | -                    | 562.5    | 78                  | 53.79                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 79                  |                      | 1.00             | 0.54                              |
|       |        | 15                   |          | 79                  |                      | 1.00             | 1.08                              |
| 5     | 150    | -                    | 675.0    | 92                  | 65.48                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 92                  |                      | 0.50             | 0.65                              |
|       |        | 15                   |          | 93                  |                      | 1.00             | 1.31                              |
| 6     | 175    | -                    | 787.5    | 105                 | 77.17                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 106                 |                      | 0.50             | 0.77                              |
|       |        | 15                   |          | 106                 |                      | 1.00             | 1.54                              |

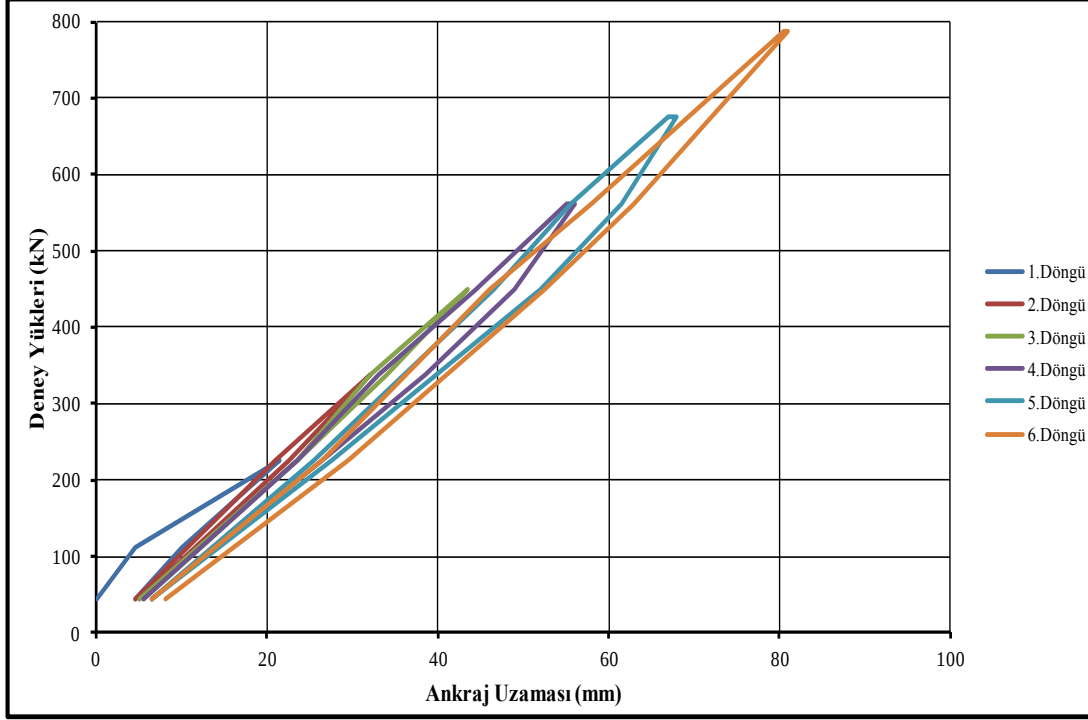
Deney alanı-5 bölgesinde geleneksel yöntem kullanılarak imal edilen 11 numaralı deney ankrajının saha performansı incelenmiştir. Projenin tasarım aşamasında belirlenen germe yükü 450 kN ve deney programı içerisinde yer alan ilgili yükün katlarını (1.25, 1.50 ve 1.75) başarılı bir şekilde zemine aktardığı tespit edilmiştir. BS8081'de belirtilen serbest boy şartını germe deneyi sırasında çıkan tüm yük kademelerinde (6 döngü) sağladığı gözüken 11 numaralı deney ankrajının, sabit yük altındaki uzama oranları da limit değerler içerisinde kalmıştır.

#### 6.5.8 Deney ankrajı-12 (Alan-5)

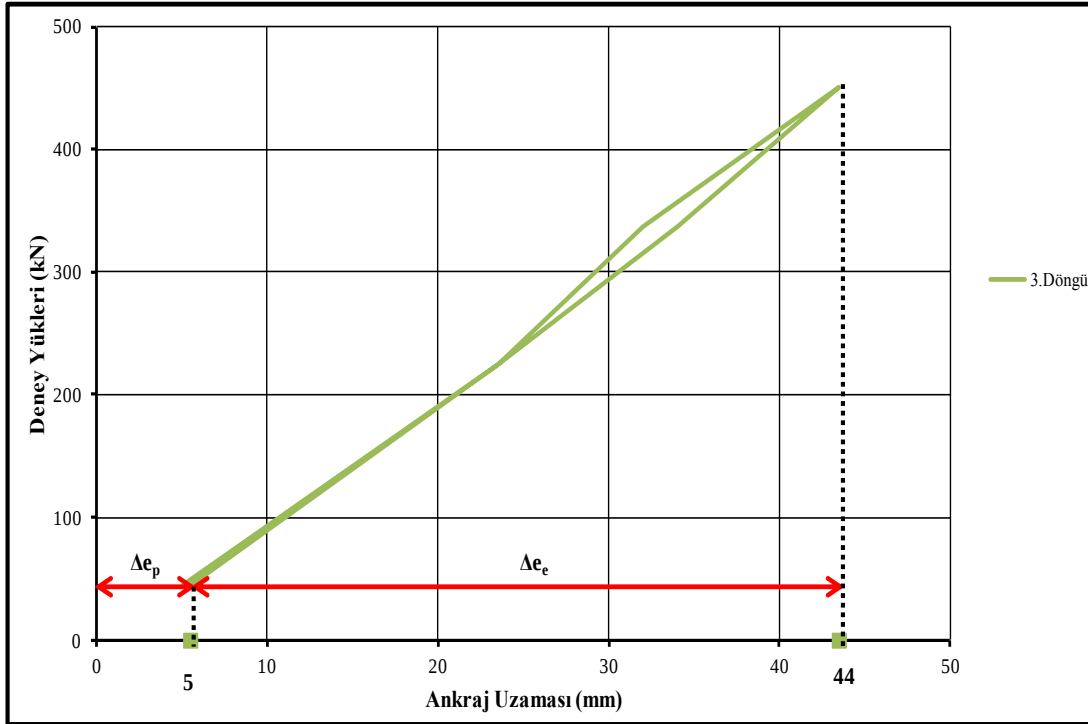
Ard enjeksiyon (*Tube A Manchette*) tekniğinin kullanıldığı 12 numaralı deney ankrajına yapılan germe deneyi 6 döngüde gerçekleştirilmiştir. Germe deneyi sırasında gözlemlenen uzama-yük ilişkisi şekil 6.66'da verilmiştir.

Ard enjeksiyon (*Tube A Manchette*) yöntemi ile imal edilen 12 numaralı deney ankrajının, ön görülen proje yükü 450 kN ve sırasıyla ilgili yükün 1.25, 1.50 ve 1.75 katları olan germe yüklerini başarılı bir şekilde marn ve kireçtaşı parçaları içerikli çok katı kil tabakasına aktarmış olduğu gözlemlenmiştir. Kök taşıma gücünün yenilmediği deney ankrajında, kök bölgesinin etkileşimde olduğu zemin tabakasının yüksek oranda kil içermesi sebebi ile sünme uzamaları gözlemi yapılmıştır. Deney

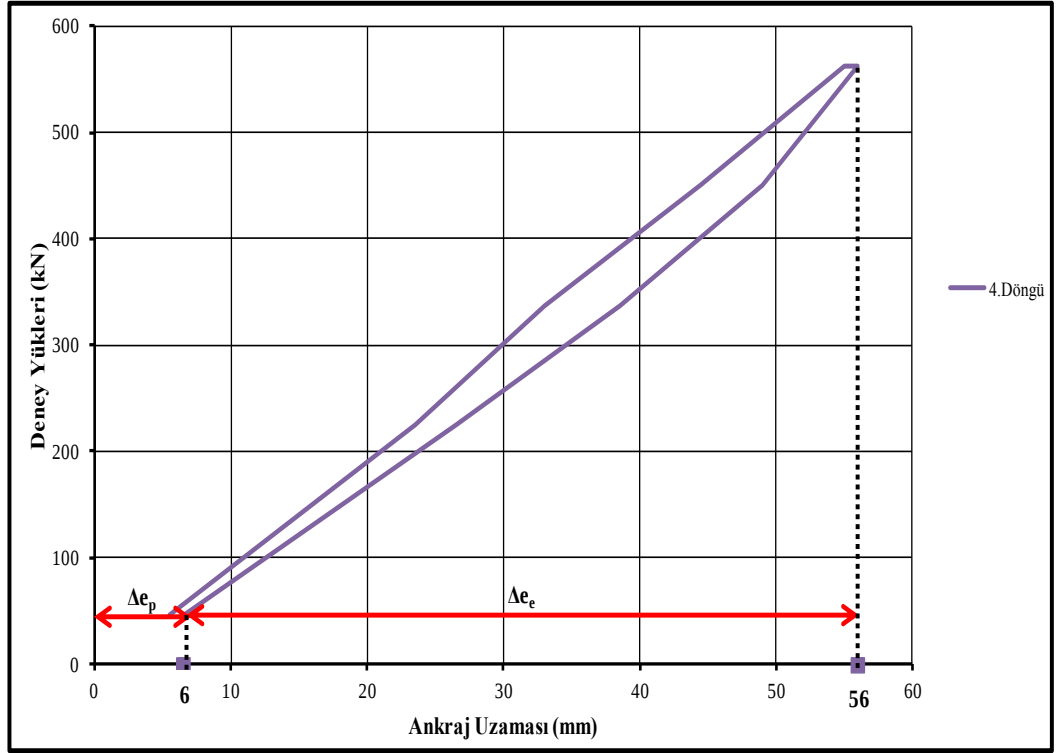
ankrajının ön görülen proje yükünün 100%, 125%, 150% ve 175% katlarına denk gelen kademelerdeki yük-uzama eğrileri 4 farklı grafikte gösterilmiştir (şekil 6.67, şekil 6.68, şekil 6.69, şekil 6.70). İlgili grafiklerin üzerine, deney sırasında belirlenen plastik-elastik uzama farklı da eklenmiştir.



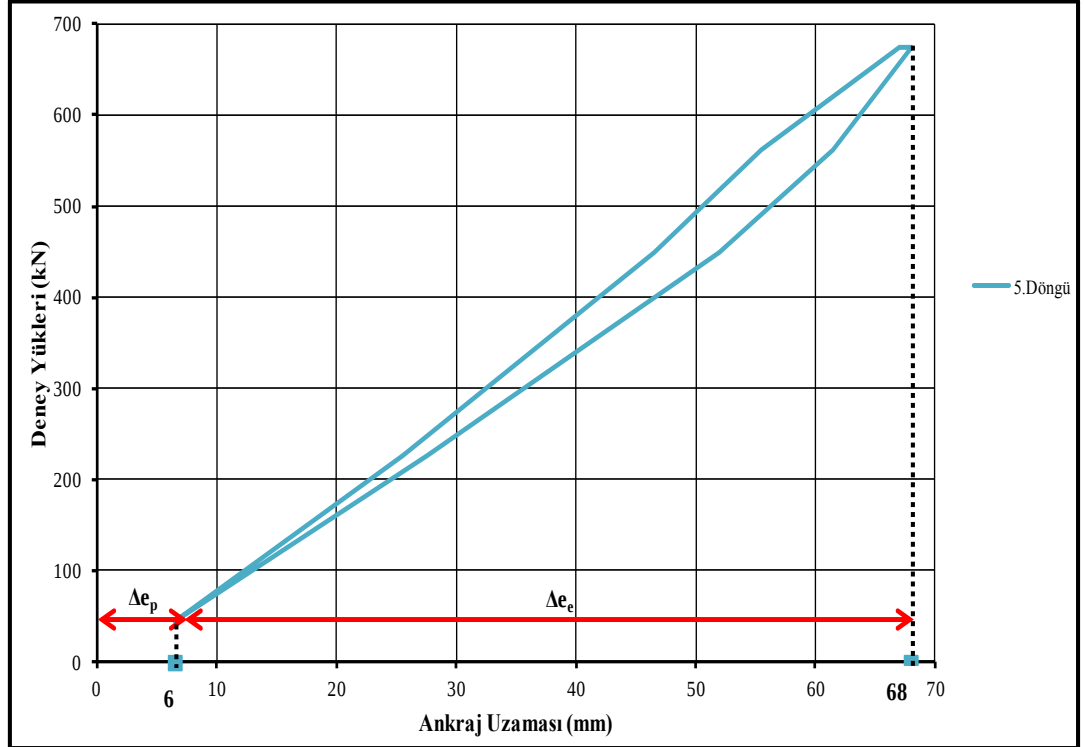
Şekil 6.66 : Deney ankraşı-12 : yük-uzama grafiği



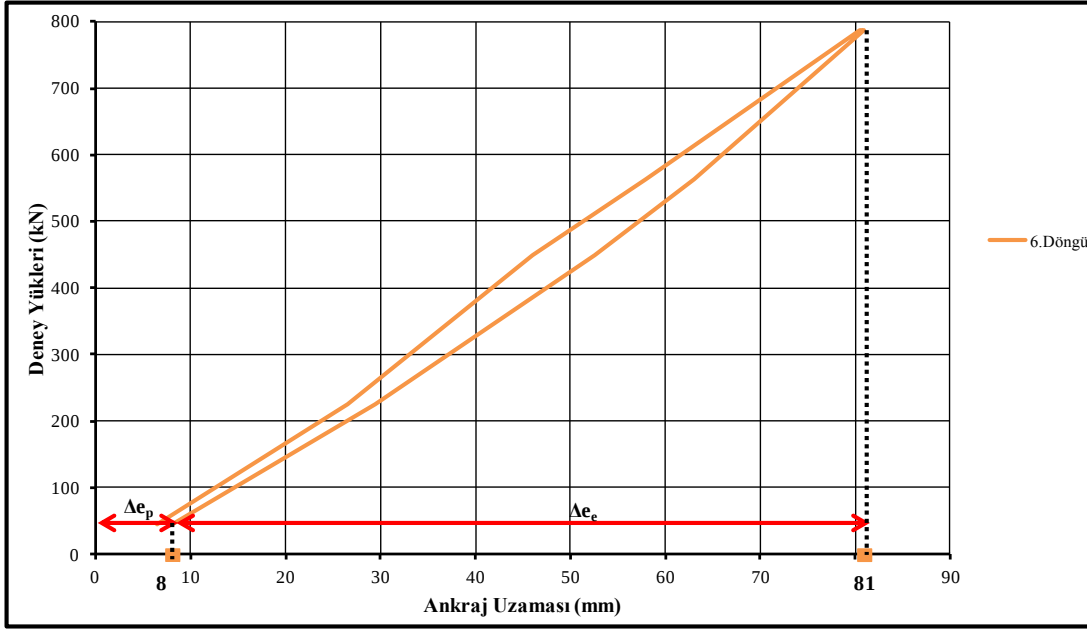
Şekil 6.67 : : Deney ankraşı-12 yük uzama grafiği (100% Yük döngüsü)



Şekil 6.68 : Deney ankrajı-12 yük uzama grafiği (125% Yük döngüsü)



Şekil 6.69 : Deney ankrajı-12 yük uzama grafiği (150% Yük döngüsü)



**Şekil 6.70 :** Deney ankrajı-12 yük uzama grafiği (175% Yük döngüsü)

Deney sırasında verilen germe yüklerini başarılı bir şekilde aktaran Ard Enjeksiyon yöntemi kullanılarak imal edilen ankrajın, proje aşamasında verilebilecek maksimum öngerme yükünün belirlenmesi için, BS8081:1989'da belirtilen deney kriterleri dikkate alınmıştır. İlgili kriterler aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- Görünen serbest boy hesabı (BS8081:1989, Madde 11.2.9)
- Denklem 6.1 'e göre hesaplanan görünen serbest boy BS8081'e göre aşağıda verilen şartları sağlaması gerekmektedir.

$$\geq \%90 \times \text{Tasarım Serbest Boyu}$$

$$\leq \min. (\%110 \times \text{Tasarım Serbest Boyu}, \text{Tasarım Serbest Boyu} + \%50 \text{ Kök Boyu})$$

- Belirli bir yük kademesi altında zamana bağlı gözlemlenen uzama miktarı veya uzama oranı çizelge 6.5'te belirtilen şartları sağlamak zorundadır (BS8081:1989).

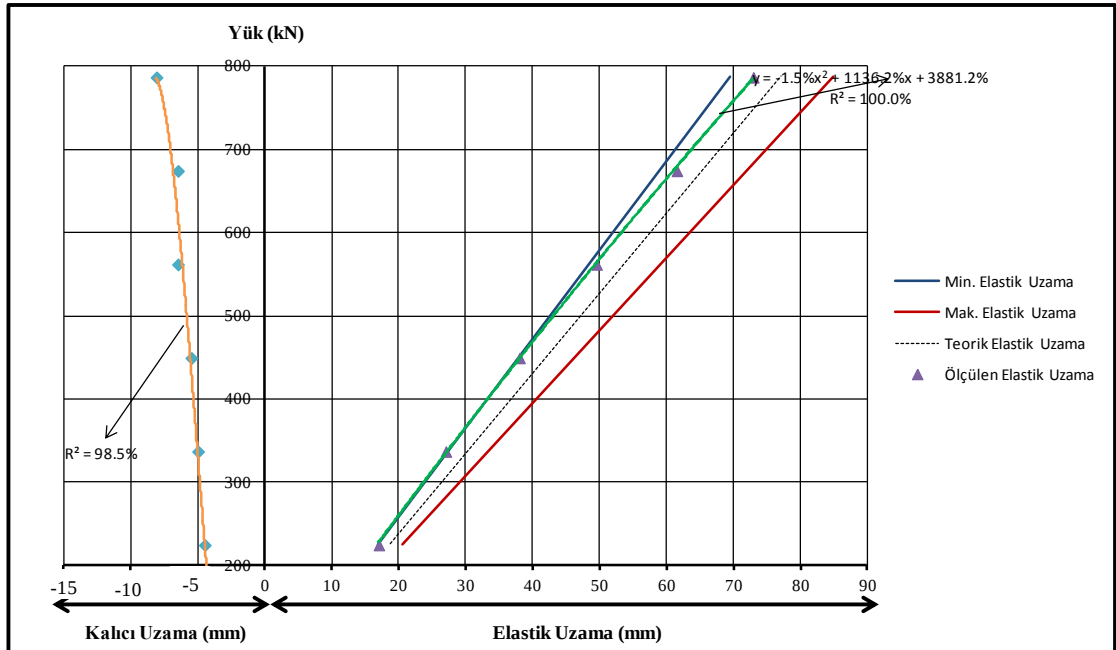
Yukarıda belirtilen maddelerden ilk ikisi, deney sırasında uygulanan tüm döngüler için dikkate alınmış ve döngü sonuçlarına göre değerlendirme yapılmıştır. Sabit yük altında gözlemlenen uzama oranı kriteri ise, ön görülen proje yükü **450 kN** değerinin 1.25, 1.5 ve 1.75 katlarına ulaşıldığı döngülerde dikkate alınmıştır. Birinci maddeye göre, her bir döngü içerisinde ulaşılan maksimum yük kademesinde ankrajda

gözlemlenen elastik uzama ve buna bağlı hesaplanan görünen boy çizelge 6.31'de verilmiştir.

**Çizelge 6.31 :** Yük kademelerinde ölçülen elastik ve kalıcı ankraj uzama değerleri

| Döngü | Yük (kN) | $\Delta_{\text{ank}}$ (mm) | $\Delta_p$ (mm) | $\Delta_e$ (mm) | $L_{\text{app}}$ (m) |
|-------|----------|----------------------------|-----------------|-----------------|----------------------|
| 1     | 225.00   | 22                         | 5               | 17              | 10.31                |
| 2     | 337.50   | 32                         | 5               | 27              | 10.08                |
| 3     | 450.00   | 44                         | 5               | 39              | 10.25                |
| 4     | 562.50   | 56                         | 6               | 49              | 10.45                |
| 5     | 675.00   | 68                         | 6               | 62              | 10.66                |
| 6     | 787.50   | 81                         | 8               | 73              | 10.72                |

12 numaralı deney ankrajı BS8081'de belirtilen serbest boy kriteri açısından incelenmiştir ve Şekil 6.71'de verilen grafik üzerinde özetlenmiştir. Grafik hazırlanış biçimi için, ilgili standardın 11.2.12 numaralı maddesinde belirtilen şekil formatı referans alınmıştır.



**Şekil 6.71 :** BS8081'de belirtilen kabul kriterlerine göre deney ankrajı-2 için sahada ölçülen elastik uzama değerlerinin kontrolü ve kalıcı uzama-yük ilişkisi

Şekil 6.71'de verilen grafik üzerinde gösterilmiş maksimum ve minimum elastik uzama değerleri, her bir yük kademesinde çıkılan maksimum yük değerinin denklem 6.1'de kullanılması ile elde edilmiştir.

12 numaralı deney ankrajının kök bölgesinin yük aktaracağı tabakanın yüksek oranda kil içermesi sebebi ile sabit yük altında deney ankrajının uzama yapma riski vardır. Her ne kadar kıvamı çok katı olmasına rağmen, uygulama aşamasında izin verilebilir germe yüklerinin belirlenmesi için kritik olarak görülen her bir yük kademesinde ( $125 P_{tas}$ ,  $150 P_{tas}$ ,  $175 P_{tas}$ ) minimum 15 dakika süresince ankrajda meydana gelecek uzamalar gözlemlenmiş ve kayıt altına alınmıştır. Sabit yük altında, çizelge 6.5'te verilen gözlem periyotlarında belirtilen izin verilebilir uzama oranlarına göre sahada gerçekleştirilen deney sırasında ölçülen uzama değerleri aşağıda özetlenmiştir (çizelge 6.32).

**Çizelge 6.32 :** Farklı yükler altında ankraj-12 için uzama oranları ve izin verilebilir limitler

| Döngü | Kademe | Gözlem Periyodu (dk) | Yük (kN) | $\Delta_{ank}$ (mm) | Teo. $\Delta_e$ (mm) | Uzama Oranı (mm) | İzin verilebilir Uzama Oranı (mm) |
|-------|--------|----------------------|----------|---------------------|----------------------|------------------|-----------------------------------|
| 4     | 125    | -                    | 562.5    | 92                  | 53.79                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 92                  |                      | 0.50             | 0.54                              |
|       |        | 15                   |          | 93                  |                      | 1.00             | 1.08                              |
| 5     | 150    | -                    | 675.0    | 104                 | 65.48                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 104                 |                      | 0.50             | 0.65                              |
|       |        | 15                   |          | 105                 |                      | 1.00             | 1.31                              |
| 6     | 175    | -                    | 787.5    | 117                 | 77.17                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 118                 |                      | 0.50             | 0.77                              |
|       |        | 15                   |          | 118                 |                      | 0.50             | 1.54                              |

5 numaralı deney alanında imal edilen ve imalatında ard enjeksiyon tekniğinin kullanıldığı deney ankrajı-12'nin sahada gerçekleştirilen germe deneyi sırasındaki performansı incelenmiştir. Ankrajın başta projenin tasarım aşamasında belirlenen 450 kN öngerme yükünü ve katlarını başarılı bir şekilde zemine aktardığı ve kök taşıma gücünün yenilmediği tespit edilmiştir. BS8081'de belirtilen deney kriterlerine göre incelendiğinde, 12 numaralı deney ankrajının 450 kN ve altı yükler altında göstermiş olduğu uzamalara göre hesaplanan serbest boy değerlerinin minimum sınır şartlarına yakın ama limitler içerisinde kaldığı görülmektedir. Diğer kademelerde ( $1.25 P_{tas}$ ,  $1.5 P_{tas}$ ,  $1.75 P_{tas}$ ) meydana gelen uzamalara göre hesaplanan serbest boy değerlerinin de teorik serbest boy ile minimum serbest boy değerleri arasında kaldığı

görülmektedir. Deney ankrajının sabit yük altında göstermiş olduğu uzama oranları, gözlemlendiği döngülerin tamamında izin verilebilir aralıkta kalmıştır (çizelge 6.32).

#### **6.6 Deney alanı 3 ve 4**

Proje sahasında gerçekleştirilen zemin araştırmaları ve incelemeleri neticesinde, 3 ve 4 numaralı deney alanları içerisinde yapılacak olan ankrajların köklerinin etkileşimde olduğu zemin tabakaların tanımı aşağıda özetlenmiştir.

- 3 numaralı deney alanı için orta katı-katı az kumlu kil tabakası
- 4 numaralı deney alanı için yumuşak-orta katı kil tabakası

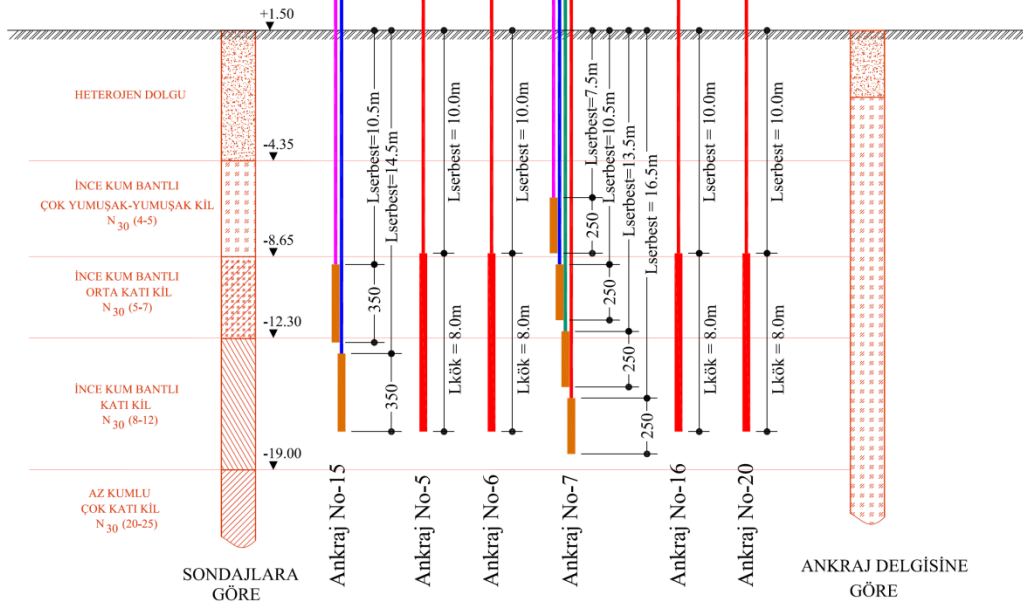
Deney ankrajlarının imalatı sırasında ankraj kök bölgesinin etkileşimde olduğu zemin tabakasının, her iki bölgede de az kumlu yumuşak-orta katı kıvamda kilden oluştuğu tespit edilmiştir. Ankraj delgileri sırasında karşılaşılan bu yumuşak-orta katı kıvamdaki az kumlu kil tabakasının 3 numaralı deney alanına yakın olan Basmahane Deresinin taşımış olduğu veya geçmişte dere kollarının bu bölgelere uzanması sebebi ile etkin olan alüvyon bazlı çökellerin birikmesi sonucu oluştuğu tahmini yapılması uygun olabilir.

Proje kapsamında yapılacak olan kazının ankrajlar ile desteklenmesine ve ankrajlara verilmesi gereken öngerme yüklerine tasarım aşamasında karar verilmiştir. Deney alanlarının etkin olduğu bölgelerde yapılmış sondaj çalışmaları (şekil 6.72), saha ve laboratuvar deney sonuçları baz alınarak yapılan analizler sonucunda projenin uygulanması aşamasında gerekecek olan germe yükü 450 kN olarak belirlenmiştir. Bu bölgede yapılacak olan proje ankrajlarının kök taşıma gücünün ve izin verilebilir maksimum germe yükünün tespiti amacıyla, ön görülen proje yükü ve katlarına göre bir germe programı oluşturulmuştur. Ankraj kök bölgesinin yük aktaracağı zeminin zayıf dayanımlı olması sebebi ile kök taşıma gücünün yüksek olması beklenmemektedir. Bu sebepten dolayı ilgili deney alanlarında geleneksel yöntem ile imal edilen ankrajlara ilaveten farklı tekniklerin kullanılarak imal edildiği ankrajların da germe deneyi gerçekleştirilmiştir. Böylece ankraj imalatında kullanılan farklı tekniklerinin taşıma gücüne olan etkisi incelenmiş olundu. Bununla birlikte, ankraj yük-uzama ilişkisi ve sabit yük altında göstermiş olduğu uzama oranları performansları da hem geleneksel yöntem hem de diğer imalat tekniklerinin

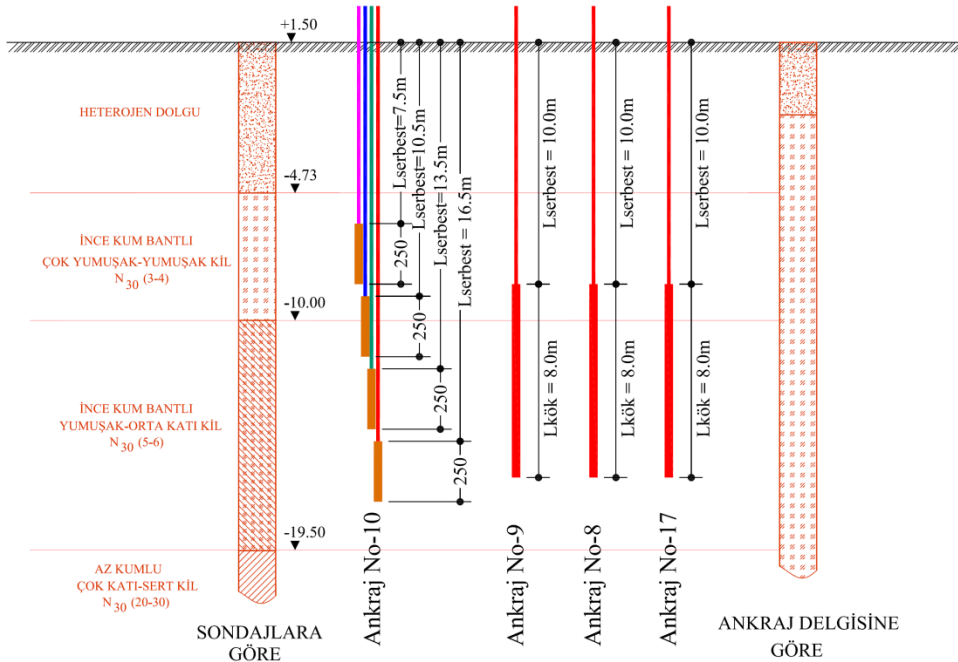


3 ve 4 numaralı alanlarda imal edilen ankrajların teorik kök taşıma gücü hesabında dikkate alınan zemin profili deney alanlarına yakın bölgelerde yapılan sondaj ve deney ankrajlarının imalatı sırasında yapılan gözlemlere göre oluşturulmuştur. Sondaj ve delgi sırasında yapılan gözlemlere göre her bir deney alanı için çıkarılan zemin profili Şekil 6.73 içerisinde gösterilmiştir.

#### DENEY ALANI - ③

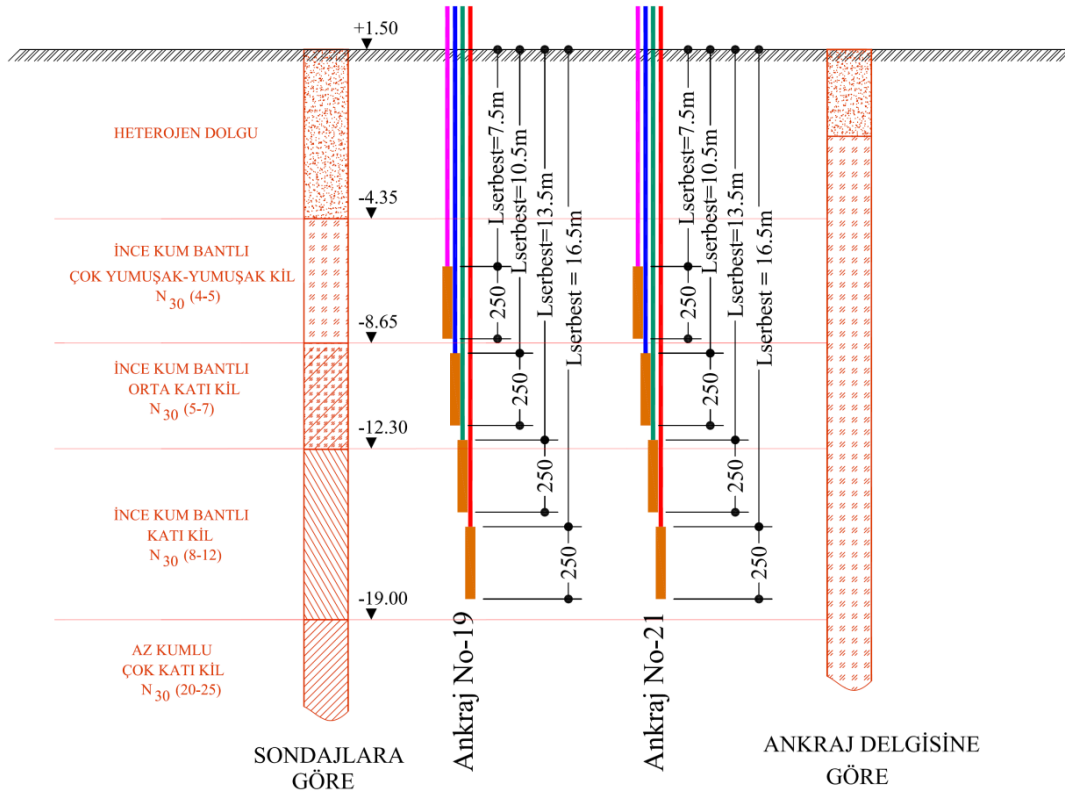


#### DENEY ALANI - ④



**Şekil 6.73 :** 3 ve 4 numaralı deney alanlarına yakın sondajlardan çıkartılmış idealize zemin profili ve ankraj delgisi sırasında tespit edilen zemin profili

Şekil 6.72’de verilen plan üzerinde görüleceği üzere önceden belirlenen deney alanlarına ilave olarak 19 ve 21 numaralı deney ankrajları bu alanlardan bağımsız bir şekilde imal edilmiştir. Yapılan deney ankrajlarının delgisi sırasında karşılaşılan zemin profili ile 3-4 numaralı deney alanlarında gözlemlenen zemin profili ile örtüştüğü tespit edilmiştir. Deney ankrajlarının 3 numaralı deney alanına yakın olması sebebi ile şekil 6.73’te ilgili alan için belirlenen idealize zemin profili bu ankrajlar için de dikkate alınmıştır (Şekil 6.74).



**Şekil 6.74 :** 19 ve 21 numaralı deney ankrajları sondaj ve delgi sırasında tespit edilen zemin profili

### 6.6.1 Deney ankrajları ile ilgili imalat yöntemleri

3 numaralı deney alanına yakın gerçekleştirilen sondajlara göre ankraj kök bölgesinin yer aldığı yumuşak / orta katı / katı kil tabakasında yaşanacak taşıma gücü problemleri sebebi ile geleneksel yöntemlere ilave olarak farklı tekniklerin kullanıldığı deney ankrajları imal edilmiştir. Bu alanda yer alan deney ankrajlarının imalatında kullanılan teknikler aşağıda özetlenmiştir:

- Ankraj No-5 : Geleneksel Yöntem
- Ankraj No-6 : Ard Enjeksiyon (Tube a Manchette) Yöntemi
- Ankraj No-7 : SBMA (Tek Delgili Çok Ankraj) Tekniği
- Ankraj No-15: SBMA Tekniğine Dayalı Geleneksel Yöntem
- Ankraj No-16: Ard Enjeksiyon (Tube a Manchette) Yöntemi
- Ankraj No-20: Ard Enjeksiyon (Tube a Manchette) Yöntemi

Bununla birlikte deney alanı 3 bölgesi çevresinde yer alan 19 ve 21 numaralı deney ankrajlarında SBMA tekniği kullanılmıştır.

Diğer deney alanlarında imal edilen ankrajlarda olduğu gibi, yukarıda bahsi geçen tüm deney ankrajlarının delgisi sırasında tam boy muhafaza borusu kullanılmıştır. Delgi sırasında kullanılan burgu (auger) ekipmanının boru içerisini tam olarak temizlememesi ve boru iç yüzeyinin delgi sırasında çıkarılan yumuşak zemin ile sıvanması sebebi ile tüm delgiler tamamlandıktan sonra ön enjeksiyon yapılmıştır.

Bu deney alanında, daha önceki bölümlerde açıklanmış geleneksel yöntem, Ard Enjeksiyon ve SBMA Tekniğine ilave olarak farklı imalat yöntemlerinin kullanıldığı deney ankrajları da yer almaktadır.

15 numaralı deney ankrajı imalatında kullanılan yöntem SBMA tekniğine dayanmakta olup, imalat sonrasında ard enjeksiyon (Tube a Manchette) uygulaması gerçekleştirilmiştir. SBMA tekniğine dayalı olarak bağımsız 2 farklı kök ünitesi oluşturularak, geleneksel yönteme göre kökün efektif bir şekilde çalışması sağlanan bu deney ankraja yapılan germe deneyi sırasında bir adet hidrolik krik o kullanılmıştır. Deney ankrajını oluşturan 2 farklı ünitenin eş zamanlı olarak aynı hidrolik krikodan yük alması için, uzamalarının aynı olması gerekmektedir. Geometrik özelliklerine bakıldığında serbest boyların farklı olan iki ünitenin aynı uzamayı yapabilmesi için, bu deney ankrajında 0.5 inç ve 0.6 inç öngermeli halatlar beraber kullanılmıştır. SBMA tekniğine dayalı olarak imal edilen bu deney ankrajını oluşturan her bir ünitenin kök boyu belirlenmesinde, ünitelerin aynı uzamayı yapması durumu dikkate alınmıştır. Denklem 6.3' de verilen bağıntıya göre farklı yükler altında deney ankrajını oluşturan ünitelerde beklenen elastik uzama değerleri çizelge 6.33'te gösterilmiştir.

$$Elastik\ Uzama(\Delta_e) = \frac{P L_{Serbest}}{A_{ank} E_t} \quad (6.3)$$

$A_{ank}$  : Ankrajda kullanılan halatın toplam kesit alanı

$E_t$  : Ankrajda kullanılan halatın elastisite modülü

$\Delta_e$  : Ankrajı oluşturan halatlarda belirli yük altında beklenen elastik uzama

$T$  : Ankrajı oluşturan halatlara uygulanacak çekme yükü

**Çizelge 6.33** : 15 numaralı deney ankrajını oluşturan ünitelerin farklı çekme yükleri altında beklenen yük dağılımı

|                                                                                                                                                                                                                                                                |                                | Ünite-1                 |                     |                              |                  |            | Ünite-2                 |                     |                              |                  |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------|---------------------|------------------------------|------------------|------------|-------------------------|---------------------|------------------------------|------------------|------------|
| Yük<br>(kN)                                                                                                                                                                                                                                                    | $E_t$<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) | Halat Tipi ve<br>Sayısı | $L_{Serbest}^*$ (m) | $A_{ank}$ (mm <sup>2</sup> ) | $x^{**}$ (mm/kN) | $P_1$ (kN) | Halat Tipi ve<br>Sayısı | $L_{Serbest}^*$ (m) | $A_{ank}$ (mm <sup>2</sup> ) | $x^{**}$ (mm/kN) | $P_2$ (kN) |
| 50                                                                                                                                                                                                                                                             | 195                            | 2x0.5"                  | 11.85               | 200                          | 0.304            | 24         | 2x0.6"                  | 15.85               | 280                          | 0.290            | 26         |
| 100                                                                                                                                                                                                                                                            | 195                            | 2x0.5"                  | 11.85               | 200                          | 0.304            | 49         | 2x0.6"                  | 15.85               | 280                          | 0.290            | 51         |
| 200                                                                                                                                                                                                                                                            | 195                            | 2x0.5"                  | 11.85               | 200                          | 0.304            | 98         | 2x0.6"                  | 15.85               | 280                          | 0.290            | 102        |
| 1000                                                                                                                                                                                                                                                           | 195                            | 2x0.5"                  | 11.85               | 200                          | 0.304            | 489        | 2x0.6"                  | 15.85               | 280                          | 0.290            | 511        |
| <p>* <math>L_{Serbest}</math> = Kuyu İçerisinde Kalan Serbest Bölge Boyu + Germe Payı</p> <p>** <math>x</math> = Serbest boy ve ankraj kesit özelliklerine bağlı katsayı olarak tanımlanmıştır.</p> <p><math>x = L_{Serbest} / (E_t \times A_{ank})</math></p> |                                |                         |                     |                              |                  |            |                         |                     |                              |                  |            |

Yukarıda verilen çizelge sonuçlarına göre deney ankrajını oluşturan ünitelerin aynı uzama yapması durumunda her bir ünite başına gelecek yük değerinin yaklaşık olarak uygulanan yükün yarısına eşit olduğu görülmektedir.

Ard enjeksiyon tekniğinin kullanıldığı 16 numaralı deney ankrajı imalatında ilave olarak kök bölgesi çevresinde halat ve enjeksiyon arasındaki direnç kuvvetinin artırılmasını sağlayacak çelik malzemeden üretilmiş kılçıklar kullanılmıştır. Kılçıkların taşıma gücüne olan etkisi de yapılan deneyler ile incelenmiştir.

3 numaralı deney alanında imal edilen ankrajların halat,enjeksiyon karışım oranı, harcanan enjeksiyon miktarı vb. bilgiler çizelge 6.34 ve çizelge 6.35 altında özetlenmiştir.

**Çizelge 6.34 : : Deney alanı-3 içerisinde imal edilen ankrajların halat tipi ve özellikleri**

| Ankraj No                                                                                         | Halat Tipi                               | A <sub>halat</sub> (mm <sup>2</sup> ) | Maks. Kopma Yüğü (kN/halat) | Maks. Ankraj Kopma Yüğü (kN) | İzin Verilebilir Maks. Test Yüğü* (kN) | E (N/mm <sup>2</sup> ) | A <sub>ankraj</sub> (mm <sup>2</sup> ) |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|----------------------------------------|------------------------|----------------------------------------|
| 5                                                                                                 | 4x0.6"                                   | 140                                   | 260.7                       | 1042.8                       | 834.2                                  | 195000                 | 560                                    |
| 6                                                                                                 | 4x0.6"                                   | 140                                   | 260.7                       | 1042.8                       | 834.2                                  | 195000                 | 560                                    |
| 7                                                                                                 | 4 Ünite, 1x0.6" (Ünite Başı)             | 140                                   | 260.7                       | 1042.8                       | 834.2                                  | 195000                 | 560                                    |
| 15                                                                                                | 2 x 0.6" (Ünite-1)<br>2 x 0.5" (Ünite-2) | 140<br>100                            | 260.7<br>186                | 744                          | 669.6                                  | 195000                 | 480                                    |
| 16                                                                                                | 4x0.6"                                   | 140                                   | 260.7                       | 1042.8                       | 834.2                                  | 195000                 | 560                                    |
| 19                                                                                                | 4 Ünite, 1x0.6" (Ünite Başı)             | 140                                   | 260.7                       | 1042.8                       | 834.2                                  | 195000                 | 560                                    |
| 20                                                                                                | 4x0.6"                                   | 140                                   | 260.7                       | 1042.8                       | 834.2                                  | 195000                 | 560                                    |
| 21                                                                                                | 4 Ünite, 1x0.6" (Ünite Başı)             | 140                                   | 260.7                       | 1042.8                       | 834.2                                  | 195000                 | 560                                    |
| * BS8081-1989; Maksimum test yükünü halatın kopma yükünün %80'i ile sınırlamıştır. (Madde 11.2.4) |                                          |                                       |                             |                              |                                        |                        |                                        |

15 numaralı deney ankrajını oluşturan ünitelerin farklı kopma yüküne sahip halatlardan oluşması sebebi ile, ankrajın maksimum kopma yükü küçük olan değere göre hesaplanmıştır. BS 8081'de belirtilen ifadeye göre maksimum deney yükü halat kopma yükünün 80% eşit olması gerekmektedir. 0.5" tipi halatların maksimum kopma yükü 0.6" tipi halatların maksimum kopma yükünün ~70% katı olması sebebi ile çizelge 6.34'de verilen izin verilebilir maksimum deney yükü hesabında 0.6" tipi halatlar için 100%'ü dikkate alınmıştır.

**Çizelge 6.35 : Deney alanı-3 içerisinde imal edilen ankrajlarda kullanılan çimento tipi ve sarfiyatı, enjeksiyon bilgileri**

| Ankraj No                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Çimento Sınıfı   | Su/Çimento* | Katkı Türü      | Ağırlıkça Oran | Enjeksiyon Miktarı** (lt) | TAM Enjeksiyon Miktarı*** (lt) | Çimento (kg) | Birim Çimento Sarfiyatı (kg/m) |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|-----------------|----------------|---------------------------|--------------------------------|--------------|--------------------------------|
| 5                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | CEM I (PÇ 42.5)  | 0.45        | -               | 1.00%          | 1014.0                    | -                              | 1441.9       | 80.1                           |
| 6                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | CEM I (PÇ 42.5)  | 0.45        | Interplast-Z    | 1.00%          | 858****                   | 1442.0                         | 3498.4       | 194.4                          |
| 7                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | CEM I (PÇ 42.5)  | 0.45        | Interplast-Z    | 1.00%          | 780****                   | 2637.0                         | 5275.6       | 277.7                          |
| 15                                                                                                                                                                                                                                                                                                | CEM II (PÇ 42.5) | 0.45        | Sikament HE-200 | 1.00%          | 1100****                  | 1337.0                         | 3676.7       | 204.3                          |
| 16                                                                                                                                                                                                                                                                                                | CEM II (PÇ 42.5) | 0.45        | Sikament HE-200 | 1.00%          | 900****                   | 1282.0                         | 3305.4       | 174.0                          |
| 19                                                                                                                                                                                                                                                                                                | CEM II (PÇ 42.5) | 0.45        | Sikament HE-200 | 1.00%          | 900****                   | 1700.0                         | 3831.5       | 201.7                          |
| 20                                                                                                                                                                                                                                                                                                | CEM II (PÇ 42.5) | 0.45        | Sikament HE-200 | 1.00%          | 800****                   | 1200.0                         | 2844.0       | 158.0                          |
| 21                                                                                                                                                                                                                                                                                                | CEM II (PÇ 42.5) | 0.45        | Sikament HE-200 | 1.00%          | 800****                   | 1700.0                         | 3555.0       | 187.1                          |
| <p>*100 kg çimento 45 lt su ile karıştırılmıştır.</p> <p>**Enjeksiyon miktarı; Ön enjeksiyon + İkincil Enjeksiyon + Patlatma Enjeksiyonu</p> <p>***Ard Enjeksiyon (Tube a Manchette)</p> <p>****6,7,15, 16, 19, 20, 21 numaralı ankrajların imalatında; patlatma enjeksiyonu uygulanmamıştır.</p> |                  |             |                 |                |                           |                                |              |                                |

5, 6 ve 7 numaralı deney ankrajları hariç deney alanı-3 içerisinde imal edile diğer deney ankrajlarının enjeksiyonlarında (ön+ikincil+Tube a Manchette) kullanılan çimento sınıfı CEM II (PÇ 42.5) özelliğindedir. Bununla birlikte enjeksiyon katkısı olarak Interplast-Z yerine Sikament HE-200 tercih edilmiş ve ağırlıkça 1% oranında kullanılmıştır. Süper akışkanlaştırıcı ve hızlandırıcı olarak geçen Sikament HE-200 katkısının avantajları aşağıda belirtilmiştir (Sika®, 2007) :

- Akışkanlaştırıcı özelliği ile enjeksiyonun kolay bir şekilde pompalanması, delgi içerisine dökülmesini kolaylaştırır ve her yere eşit nüfus ederek olası boşlukların oluşmasını engeller.
- 1-2 saatlik beklemler içerisinde kullanımının ve işlenmesinin mümkün olması

- 4 ve 24 saatlik dilim içerisinde yüksek mukavemetlere ulaşabilmesi, dolayısıyla imalat sonrası yapılacak germe uygulaması için gereken sürenin kısaltılması
- 28 günlük basınç dayanımlarından %40'luk bir artışın sağlanması

4 numaralı deney alanında yer alan ankrajların imalatında kullanılan teknikler aşağıda özetlenmiştir :

- Ankraj No-8 : Geleneksel Yöntem
- Ankraj No-9 : Ard Enjeksiyon (Tube a Manchette) Yöntemi
- Ankraj No-10 : SBMA (Tek Delgili Çok Ankraj) Tekniği
- Ankraj No-17 : Ard Enjeksiyon (Tube a Manchette) Yöntemi

Yukarıda bahsi geçen deney ankrajların delgisi sırasında, göçme yaşanma riski bulunduğu için tam boy muhafaza borusu kullanılmıştır.

Bu deney alanında, daha önceki bölümlerde açıklanmış geleneksel yöntem, Ard Enjeksiyon ve SBMA Tekniğine ilave olarak imal edilen 17 numaralı deney ankrajında; 3 numaralı deney alanında gerçekleştirilen deney ankrajı-16 kullanılan teknik (ard enjeksiyon + kök bölgesi çelik kılıçık) kullanılmıştır.

4 numaralı deney alanında imal edilen ankrajların halat,enjeksiyon karışım oranı, harcanan enjeksiyon miktarı vb. bilgiler çizelge 6.36 ve çizelge 6.37 altında özetlenmiştir.

**Çizelge 6.36 : Deney alanı-4 içerisinde imal edilen ankrajların halat tipi ve özellikleri**

| Ankraj No | Halat Tipi                   | A <sub>halat</sub> (mm <sup>2</sup> ) | Maks. Kopma Yüğü (kN/halat) | Maks. Ankraj Kopma Yüğü (kN) | İzin Verilebilir Maks. Test Yüğü* (kN) | E (N/mm <sup>2</sup> ) | A <sub>ankraj</sub> (mm <sup>2</sup> ) |
|-----------|------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|----------------------------------------|------------------------|----------------------------------------|
| 8         | 4x0.6"                       | 140                                   | 260.7                       | 1042.8                       | 834.2                                  | 195000                 | 560                                    |
| 9         | 4x0.6"                       | 140                                   | 260.7                       | 1042.8                       | 834.2                                  | 195000                 | 560                                    |
| 10        | 4 Ünite, 1x0.6" (Ünite Başı) | 140                                   | 260.7                       | 1042.8                       | 834.2                                  | 195000                 | 560                                    |
| 17        | 4x0.6"                       | 140                                   | 260.7                       | 1042.8                       | 834.2                                  | 195000                 | 560                                    |

\* BS8081-1989; Maksimum test yükünü halatın kopma yükünün %80'i ile sınırlamıştır. (Madde 11.2.4)

**Çizelge 6.37 : Deney alanı-4 içerisinde imal edilen ankrajlarda kullanılan çimento tipi ve sarfiyatı, enjeksiyon bilgileri**

| Ankraj No                                                                                                                                                                                                                                                                               | Çimento Sınıfı   | Su/Çimento* | Katkı Türü      | Ağırlıkça Oranı | Enjeksiyon Miktarı** (lt) | TAM Enjeksiyon Miktarı*** (lt) | Çimento (kg) | Birim Çimento Sarfiyatı (kg/m) |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|-----------------|-----------------|---------------------------|--------------------------------|--------------|--------------------------------|
| 8                                                                                                                                                                                                                                                                                       | CEM I (PÇ 42.5)  | 0.45        | Interplast-Z    | 1.00%           | 858.0                     | -                              | 1220.1       | 67.8                           |
| 9                                                                                                                                                                                                                                                                                       | CEM I (PÇ 42.5)  | 0.45        | Interplast-Z    | 1.00%           | 702****                   | 2078.0                         | 4281.5       | 237.9                          |
| 10                                                                                                                                                                                                                                                                                      | CEM I (PÇ 42.5)  | 0.45        | Interplast-Z    | 1.00%           | 624****                   | 2801.0                         | 5312.9       | 279.6                          |
| 17                                                                                                                                                                                                                                                                                      | CEM II (PÇ 42.5) | 0.45        | Sikament HE-200 | 1.00%           | 800****                   | 1644.0                         | 3735.1       | 207.5                          |
| <p>*100 kg çimento 45 lt su ile karıştırılmıştır.</p> <p>**Enjeksiyon miktarı; Ön enjeksiyon + İkincil Enjeksiyon + Patlatma Enjeksiyonu</p> <p>***Ard Enjeksiyon (Tube a Manchette)</p> <p>****8, 9, 10, 17 numaralı ankrajların imalatında; patlatma enjeksiyonu uygulanmamıştır.</p> |                  |             |                 |                 |                           |                                |              |                                |

## 6.6.2 Saha deneyleri

3 ve 4 numaralı deney alanlarında imal edilen ankrajların deneyleri sırasında izlenen yük adımları ve her bir adımda çıkılacak yük değeri, projenin tasarım aşamasında yapılan ön analizler sonucunda belirlenen germe yükü ( $P_{tas}$ ) değerine göre belirlenmiştir.

Proje kapsamında yapılacak olan kazının desteklenmesi için önerilen ankrajlı duvar çözümünün ön analizleri sonucunda, her iki alanda yer alan zemin profilinin etkin olduğu bölgelerdeki ankraj germe yükü 450 kN olarak belirlenmiştir. Her iki bölgede gerçekleştirilen deney sırasında ankrajlara verilen yükler aşamalı olarak 6 döngüde gerçekleştirilmiştir (çizelge-6.38). Deney sırasında, kademeli olarak verilen germe yükleri altında ankraj köklerinin bulundukları zeminden sıyrılıp sıyrılmayacağı ve ilgili yük kademelerindeki performansı incelenmiştir. Sahada gerçekleştirilen germe deneyleri ile birlikte ankraj kök taşıma gücü tayini yapılmış ve ilave olarak deney sırasında göstermiş oldukları performansın incelenerek imalat ankrajlarına verilebilecek öngerme yükleri belirlenmiştir. Ankrajların deney sırasında göstermiş oldukları performans, BS8081:1989 standardı kapsamında yer alan deney kriterlerine göre incelenmiştir. Çizelge 5.36'da yükleme kademeleri ve her bir yük kademesinde beklenen süreleri gösteren deney programı verilmiştir. Ön görülen germe yükünün katları olan 125%, 150%, 175% yük kademelerinde en az 15 beklemesi planlanan

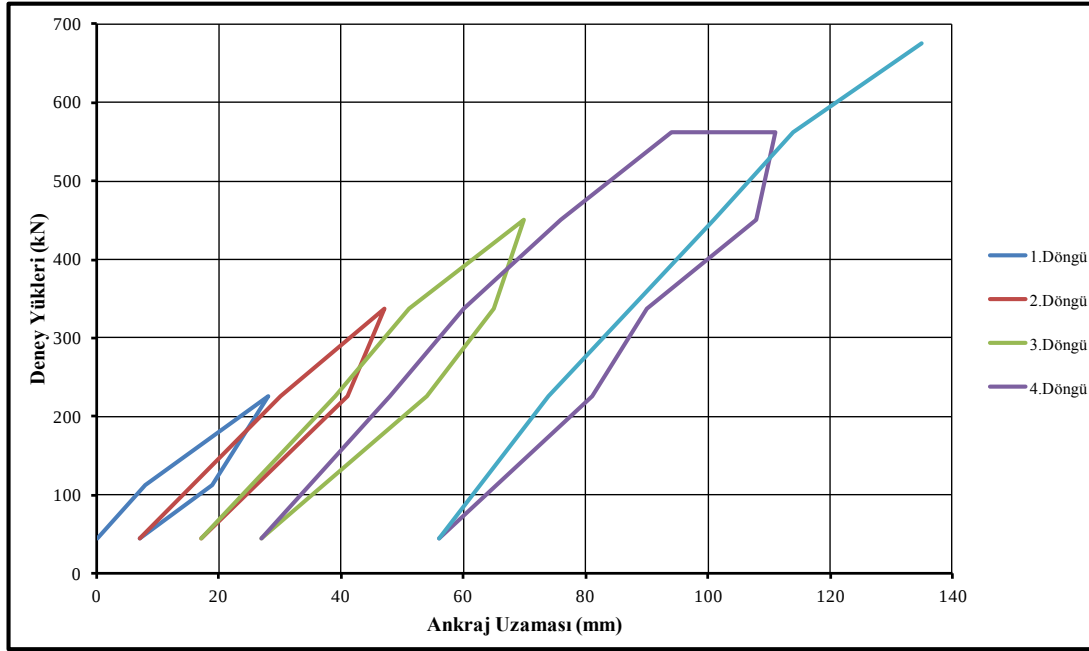
deney programına göre, sahada 15 dakika sonrasında meydana gelen uzamaların sabit kalmayıp devam ettiği gözlemleniyorsa, bu süre 50 dakikaya uzatılması planlanmıştır.

**Çizelge 6.38 :** 3 ve 4 numaralı alanlarda deney sırasında izlenecek yük uygulama ve bekleme adımları

| Döngü | Yükleme Adımları | Yük<br>kN | Zaman<br>dakika |
|-------|------------------|-----------|-----------------|
| 1     | 10.0%            | 45        | 1               |
|       | 25.0%            | 112.5     | 1               |
|       | 50.0%            | 225       | 1               |
|       | 25.0%            | 112.5     | 1               |
|       | 10.0%            | 45        | 1               |
| 2     | 10.0%            | 45        | 1               |
|       | 50.0%            | 225       | 1               |
|       | 75.0%            | 337.5     | 1               |
|       | 50.0%            | 225       | 1               |
|       | 10.0%            | 45        | 1               |
| 3     | 10.0%            | 45        | 1               |
|       | 50.0%            | 225       | 1               |
|       | 75.0%            | 337.5     | 1               |
|       | 100.0%           | 450       | 1               |
|       | 75.0%            | 337.5     | 1               |
|       | 50.0%            | 225       | 1               |
| 4     | 10.0%            | 45        | 1               |
|       | 50.0%            | 225       | 1               |
|       | 75.0%            | 337.5     | 1               |
|       | 100.0%           | 450       | 1               |
|       | 125.0%           | 562.5     | 1               |
|       |                  |           | 1.5             |
|       |                  |           | 3               |
|       |                  |           | 5               |
|       |                  |           | 10              |
|       |                  |           | 15              |
|       | 100.0%           | 450       | 1               |
|       | 75.0%            | 600       | 1               |
|       | 50.0%            | 400       | 1               |
|       | 10.0%            | 45        | 1               |
| 5     | 10.0%            | 45        | 1               |
|       | 50.0%            | 225       | 1               |
|       | 100.0%           | 450       | 1               |
|       | 125.0%           | 562.5     | 1               |
|       | 150.0%           | 675       | 1               |
|       |                  |           | 1.5             |
|       |                  |           | 3               |
|       |                  |           | 5               |
|       |                  |           | 10              |
|       |                  |           | 15              |
|       | 125.0%           | 562.5     | 1               |
|       | 100.0%           | 450       | 1               |
|       | 50.0%            | 225       | 1               |
|       | 10.0%            | 45        | 1               |
| 6     | 10.0%            | 45        | 1               |
|       | 50.0%            | 225       | 1               |
|       | 100.0%           | 450       | 1               |
|       | 125.0%           | 562.5     | 1               |
|       | 175.0%           | 787.5     | 1               |
|       |                  |           | 1.5             |
|       |                  |           | 3               |
|       |                  |           | 5               |
|       |                  |           | 10              |
|       |                  |           | 15              |
|       | 125.0%           | 562.5     | 1               |
|       | 100.0%           | 450       | 1               |
|       | 50.0%            | 225       | 1               |
|       | 10.0%            | 45        | 1               |

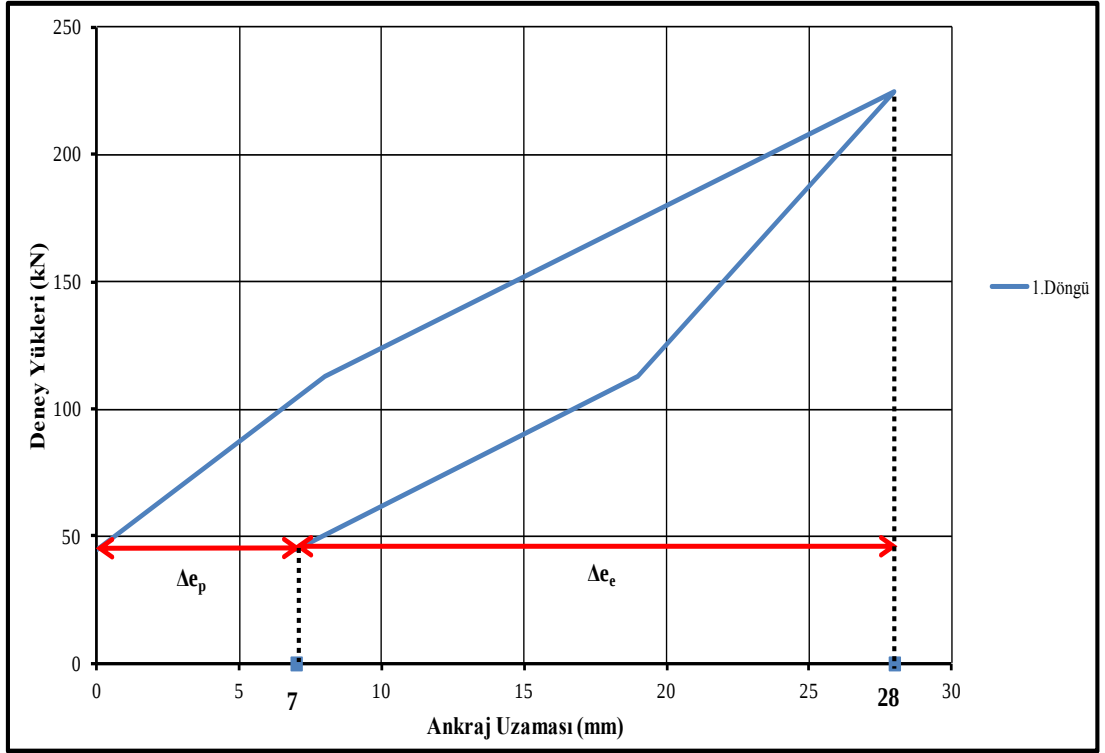
### 6.6.3 Deney ankraji-5 (Alan-3)

Geleneksel yöntem kullanılarak imal edilen 5 numaralı deney ankrajına uygulanan germe deneyi, programda belirtilen 6 döngünün aksine 4 döngü içerisinde gerçekleştirilmiştir. Deney sırasında ankrajda gözlemlenen uzama-yük ilişkisi Şekil 6.75'te verilmiştir.

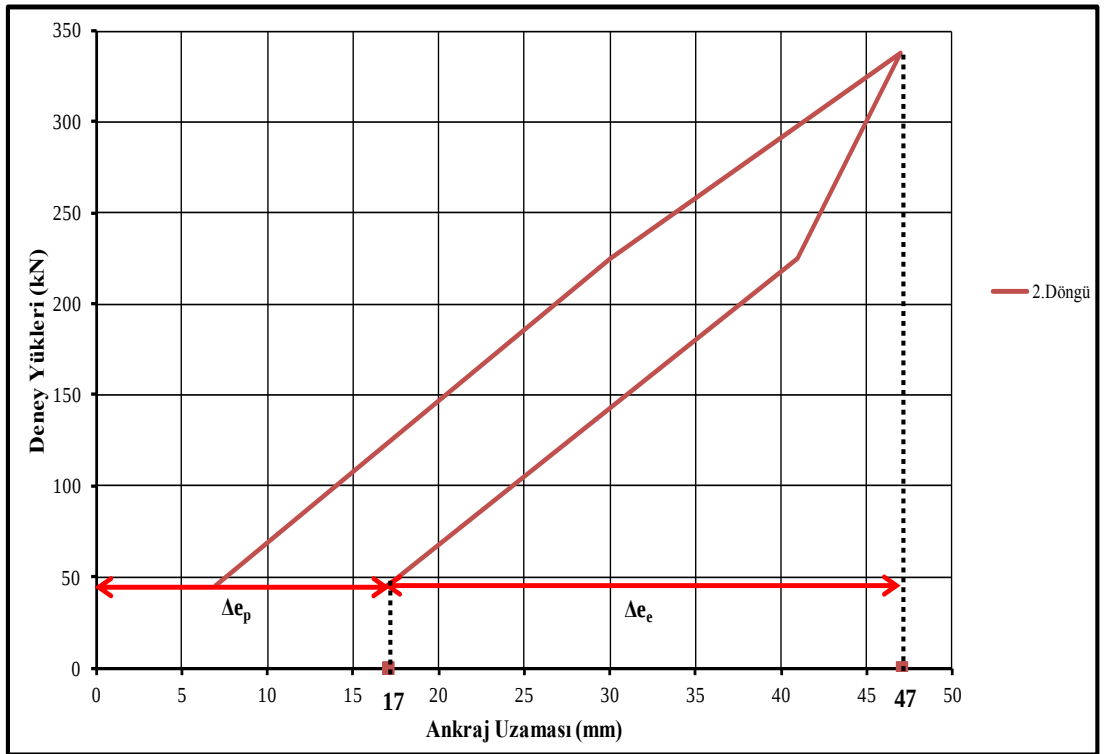


Şekil 6.75 : Deney ankraji-5 : yük-uzama grafiği

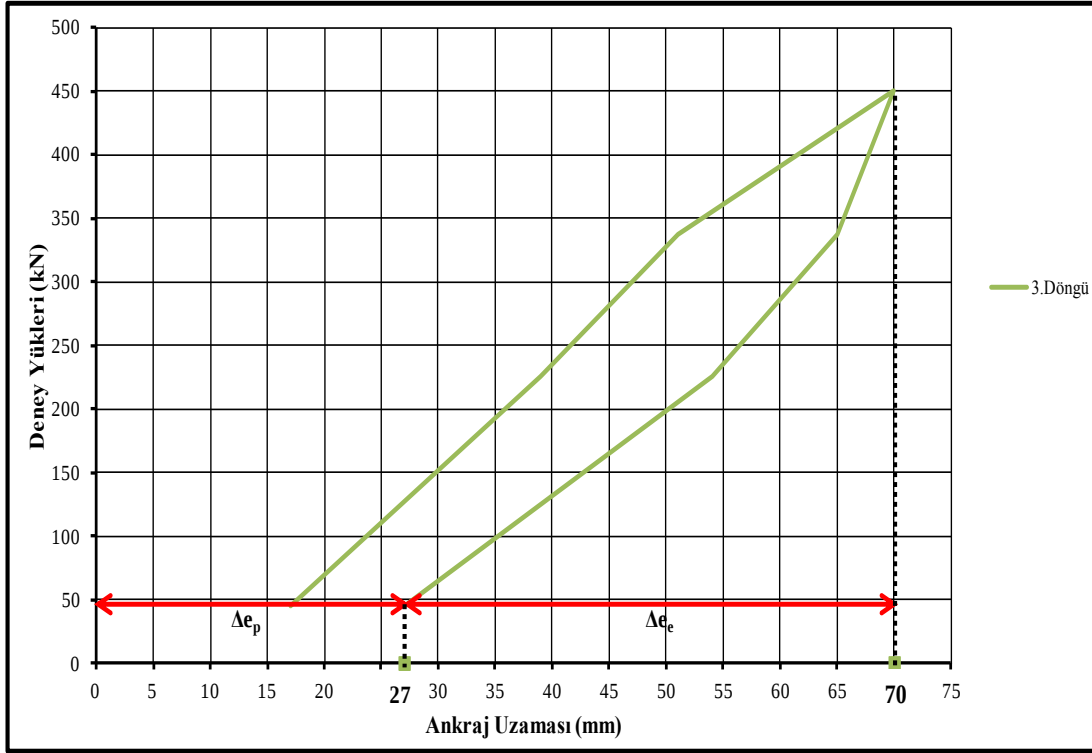
Geleneksel yöntem kullanılarak imal edilen 5 numaralı deney ankrajının, tasarımda ön görülen proje yükü 450 kN değerini kök sıyrılması gerçekleşmeden yumuşak-orta katı kil tabakasına aktarmış olduğu gözlemlenmiştir. Proje yükünün 1.25 katına denk gelen yük kademesine ulaşıldığı 5. döngü aşamasına gelindiğinde, bu kademedeki maksimum yük değerine ulaşmadan ankrajın ~660 kN yük altında uzamaya başladığı ve yükün düştüğü gözlemlenmiştir. Ankraj kök taşıma gücünün 660 kN değerinde olduğu 5 numaralı deney ankraji kök bölgesinin etkileşimde olduğu zeminin yüksek plastisiteli ve kohezyonlu olması sebebi ile beklenen sünme kaynaklı uzamaların gözlemi deney sırasında gerçekleştirilmiştir. Proje aşamasında izin verilecek maksimum germe yükünün belirlenmesi amacıyla, her bir döngü sırasında meydana gelen ankraj uzamalarına göre elde edilen yük-uzama eğrileri 4 farklı grafik üzerinde gösterilmiştir (şekil 6.76, 6.77, 6.78 ve 6.79). İlgili grafiklerin üzerine, deney sırasında belirlenen plastik-elastik uzama farkları da eklenmiştir.



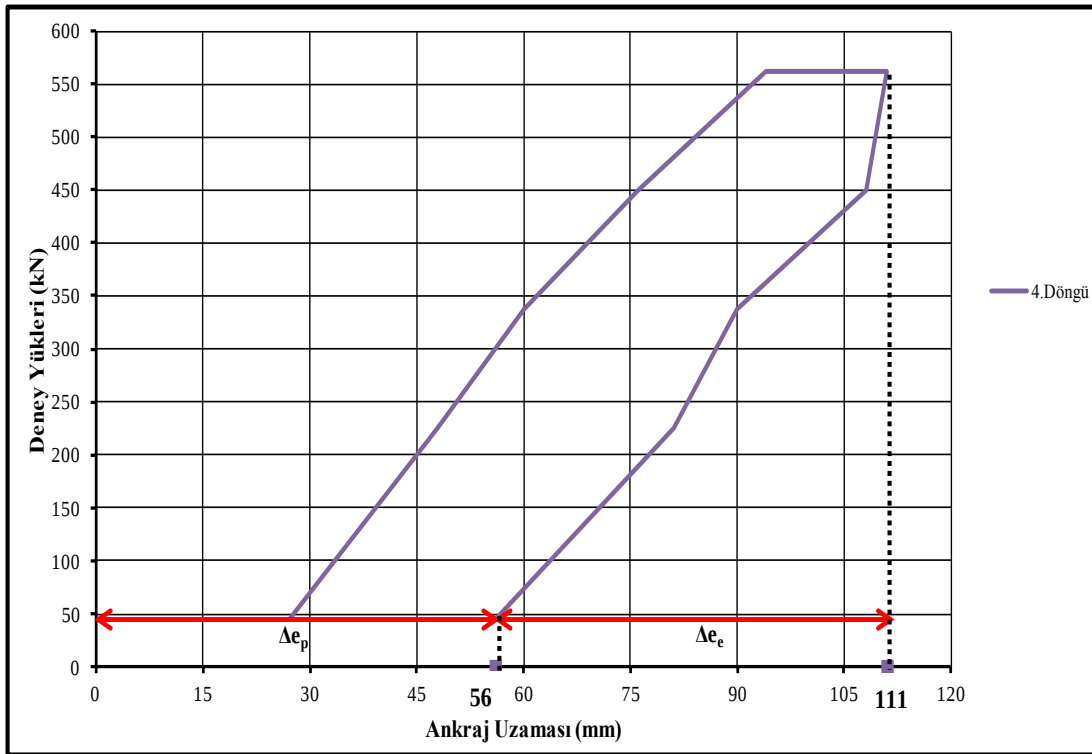
Şekil 6.76 : : Deney ankrajı-5 yük uzama grafiği (50% Yük döngüsü)



Şekil 6.77 : Deney ankrajı-5 yük uzama grafiği (75% Yük döngüsü)



Şekil 6.78 : Deney ankrajı-5 yük uzama grafiği (100% Yük döngüsü)



Şekil 6.79 : Deney ankrajı-5 yük uzama grafiği (125% Yük döngüsü)

Geleneksel yöntem ile imal edilen 5 numaralı deney ankrajına proje aşamasında uygulanabilecek maksimum öngerme yükünün belirlenmesi için, BS8081:1989'da belirtilen deney kriterleri dikkate alınmıştır. İlgili kriterler aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- Görünen serbest boy hesabı (BS8081:1989, Madde 11.2.9)
- Denklem 6.1 'e göre hesaplanan görünen serbest boy BS8081'e göre aşağıda verilen şartları sağlaması gerekmektedir.

$$\geq \%90 \times \text{Tasarım Serbest Boyu}$$

$$\leq \min. (\%110 \times \text{Tasarım Serbest Boyu}, \text{Tasarım Serbest Boyu} + \%50 \text{ Kök Boyu})$$

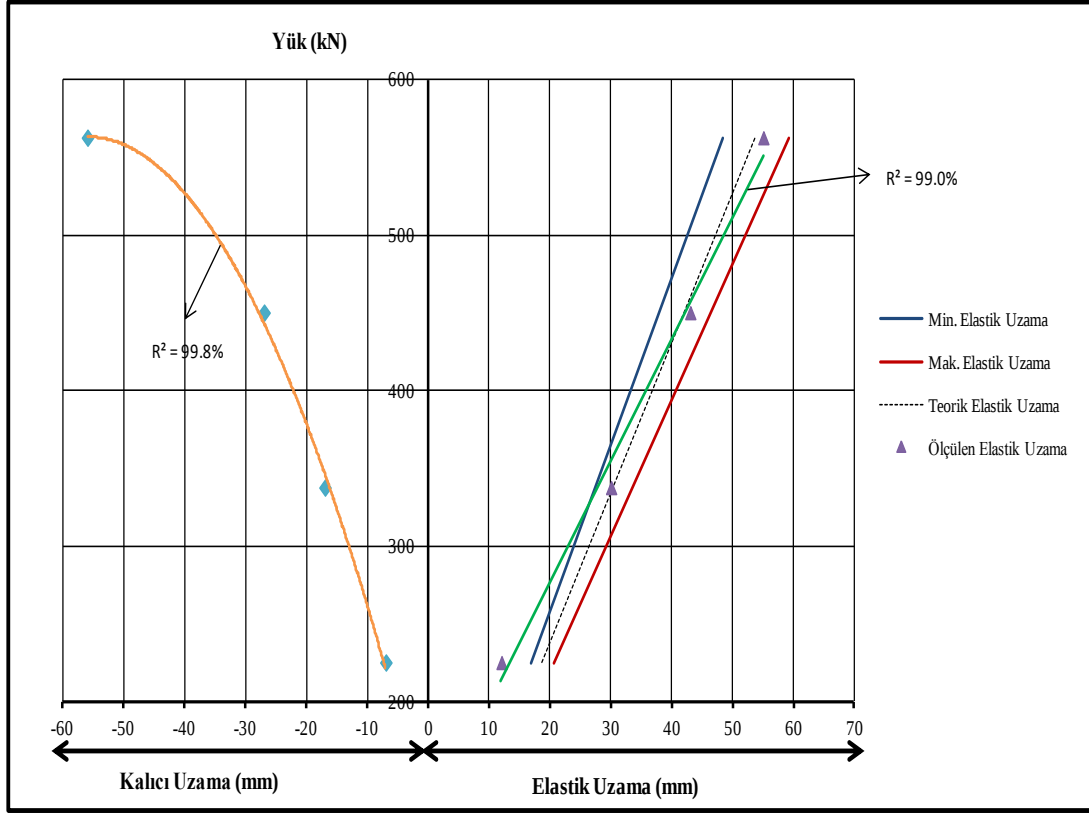
- Belirli bir yük kademesi altında zamana bağlı gözlemlenen uzama miktarı veya uzama oranı Çizelge 6.5'te belirtilen şartları sağlamak zorundadır (BS8081:1989).

Yukarıda belirtilen maddelerden ilk ikisi, deney sırasında uygulanan 4 döngü için de dikkate alınmış (1...4) ve döngü sonuçlarına göre değerlendirme yapılmıştır. Sabit yük altında gözlemlenen uzama oranı kriteri ise, ön görülen proje yükü **450 kN** değerinin sadece 1.25 katına ulaşıldığı döngü içerisinde dikkate alınmıştır. Birinci maddeye göre, her bir döngü içerisinde ulaşılan maksimum yük kademesinde ankrajda gözlemlenen elastik uzama ve buna bağlı hesaplanan görünen boy çizelge 6.39'da verilmiştir.

**Çizelge 6.39 :** Yük kademelerinde ölçülen elastik ve kalıcı ankraj uzama değerleri

| Döngü | Yük (kN) | $\Delta_{\text{ank}}$ (mm) | $\Delta_p$ (mm) | $\Delta_e$ (mm) | $L_{\text{app}}$ (m) |
|-------|----------|----------------------------|-----------------|-----------------|----------------------|
| 1     | 225.00   | 19                         | 7               | 12              | 7.28                 |
| 2     | 337.50   | 47                         | 17              | 30              | 11.20                |
| 3     | 450.00   | 70                         | 27              | 43              | 11.59                |
| 4     | 562.50   | 111                        | 56              | 55              | 11.61                |

5 numaralı deney ankrajı BS8081'de belirtilen serbest boy kriteri açısından incelenmiştir ve şekil 6.80'de verilen grafik üzerinde özetlenmiştir. Grafik hazırlanış biçimi için, ilgili standardın 11.2.12 numaralı maddesinde belirtilen şekil formatı referans alınmıştır.



**Şekil 6.80 :** BS8081'de belirtilen kabul kriterlerine göre deney ankrajı-5 için sahada ölçülen elastik uzama değerlerinin kontrolü ve kalıcı uzama-yük ilişkisi

Şekil 6.80'de verilen grafik üzerinde gösterilmiş maksimum ve minimum elastik uzama değerleri, her bir yük kademesinde çıkılan maksimum yük değerinin denklem 6.1'de kullanılması ile elde edilmiştir.

Deney ankrajı-5'in kök bölgesinin yük aktaracağı tabakanın yumuşak/orta katı/katı kıvamda yüksek plastisiteli alüvyonel kil olması sebebi ile sabit yük altında ankrajda uzamaların meydana gelmesi ve dolayısıyla yük kaybı riski bulunmaktadır.

Ankraj kökünün ön görülen proje yükünün 1.5 katında sıyrılması sebebi ile sabit yük altında uzama yapıp yapmadığı sadece 4.döngü içerisinde incelenmiştir. İnceleme kapsamında, deney programında belirtildiği gibi minimum 15 dakika süresince ankrajda meydana gelen uzamalar kayıt altına alınmıştır. Sabit yük altında, çizelge 6.5'te verilen gözlem periyotlarında belirtilen izin verilebilir uzama oranlarına göre

sahada gerçekleştirilen deney sırasında ölçülen uzama değerleri aşağıda verilen tablo içerisinde gösterilmiştir (çizelge 6.40).

**Çizelge 6.40 :** Farklı yükler altında ankraj-5 için uzama oranları ve izin verilebilir limitler

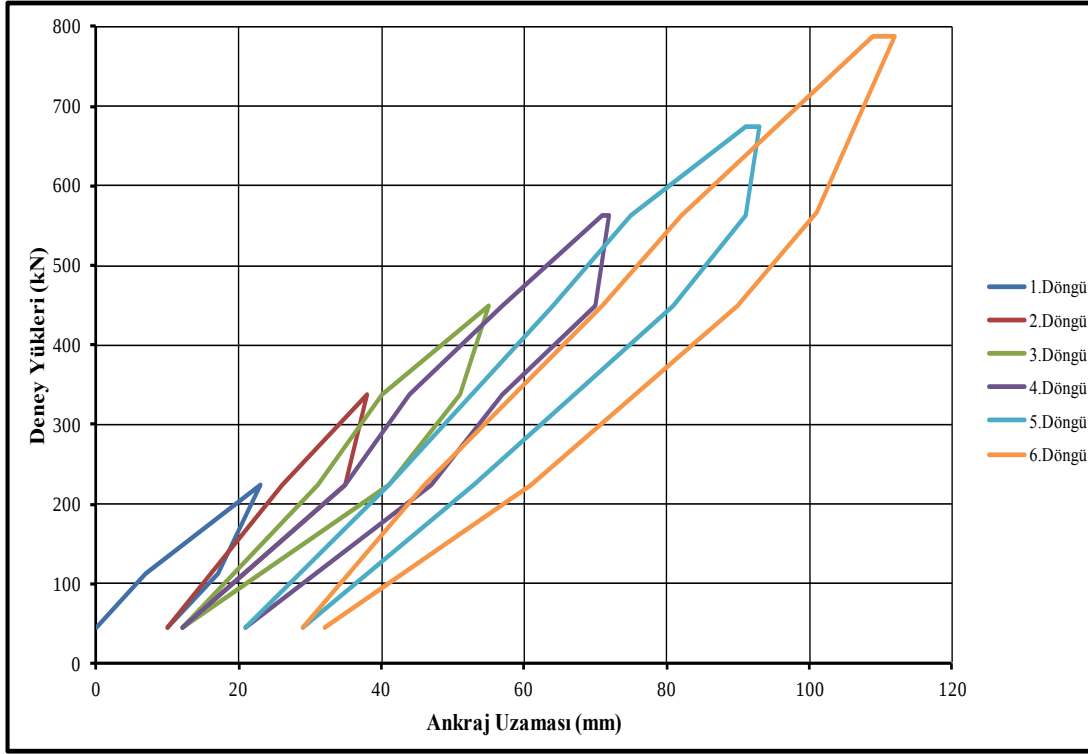
| Döngü | Kademe | Gözlem Periyodu (dk) | Yük (kN) | $\Delta_{ank}$ (mm) | Teo. $\Delta_e$ (mm) | Uzama Oranı (mm) | İzin verilebilir Uzama Oranı (mm) |
|-------|--------|----------------------|----------|---------------------|----------------------|------------------|-----------------------------------|
| 4     | 125    | -                    | 562.5    | 94                  | 53.79                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 107                 |                      | 13.00            | 0.54                              |
|       |        | 15                   |          | 111                 |                      | 17.00            | 1.08                              |

Deney alanı-3 içerisinde geleneksel yöntem kullanılarak imal edilen 5 numaralı deney ankrajının saha performansı incelenmiştir. Projenin tasarım aşamasında belirlenen 450 kN öngerme yüküne göre hazırlanan germe deney programı çerçevesinde incelenen bu performansına göre, deney ankrajının 450 kN ve 1.25 katı değerine denk gelen 562.5 kN yüklerini başarılı bir şekilde zemine aktardığı tespit edilmiştir. Saha deneyleri sırasında, 5.döngü kapsamında uygulanacak maksimum yüke ulaşılmadan ankraj kök taşıma gücünün ~1660 kN altında yenildiği tespit edilmiştir.

BS8081'de belirtilen serbest boy kriterlerine saha deneyleri sırasında ankraj uzamaları dikkate alındığında, 1.döngü (225 kN) hariç uygulanan tüm döngüler içerisinde serbest boy şartının sınır değerleri içerisinde olduğu görülmektedir. Ankrajın sabit yük altında göstermiş olduğu uzama performansının incelendiği ön görülen proje yükünün 1.25 (562.5 kN) katına ulaşıldığı yük kademelerinde ise, 15 dakika içerisinde meydana gelen uzamanın limit değerleri büyük bir oranda aştığı görülmektedir. Meydana gelen uzama oranlarının çok fazla olması sebebi ile 50 dakika beklenilmesine gerek duyulmamış bu yük altında sünme şartının sağlanmadığı sonucuna varılmıştır.

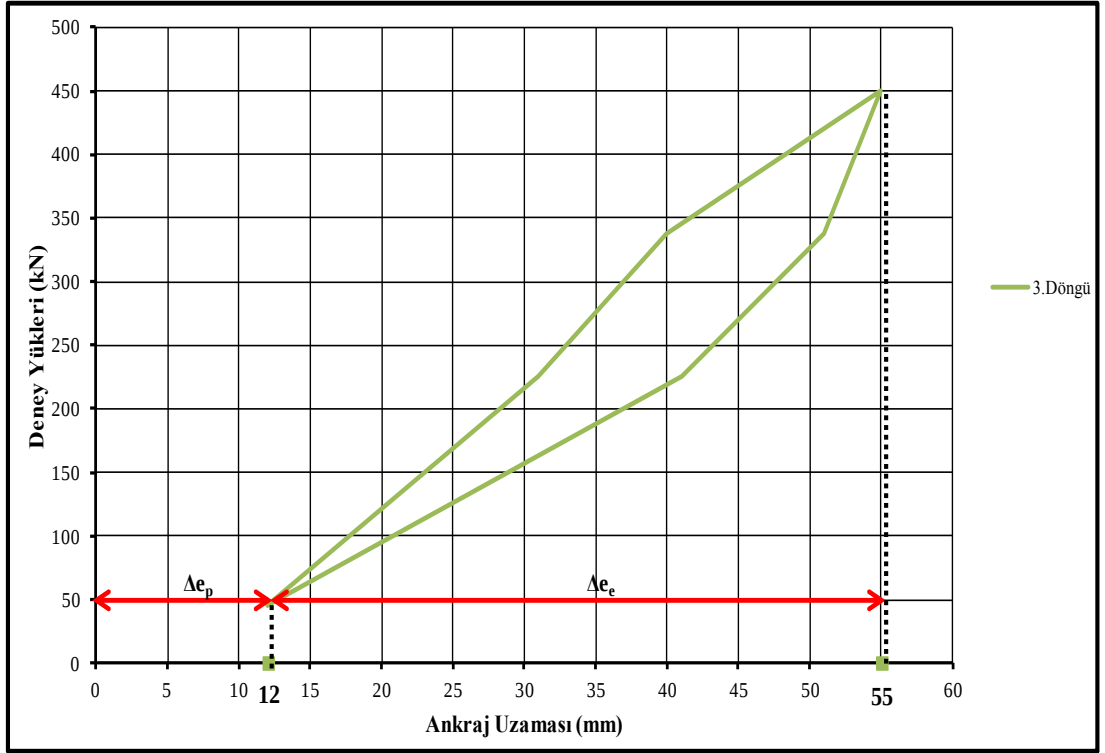
#### 6.6.4 Deney ankraжі-6 (Alan-3)

Ard enjeksiyon (*Tube A Manchette*) tekniğinin kullanıldığı 6 numaralı deney ankraжіna yapılan germe deneyi 6 döngüde gerçekleştirilmiştir. Germe deneyi sırasında ankraжіda gözlemlenen uzama-yük ilişkisi şekil 6.81'de verilmiştir.

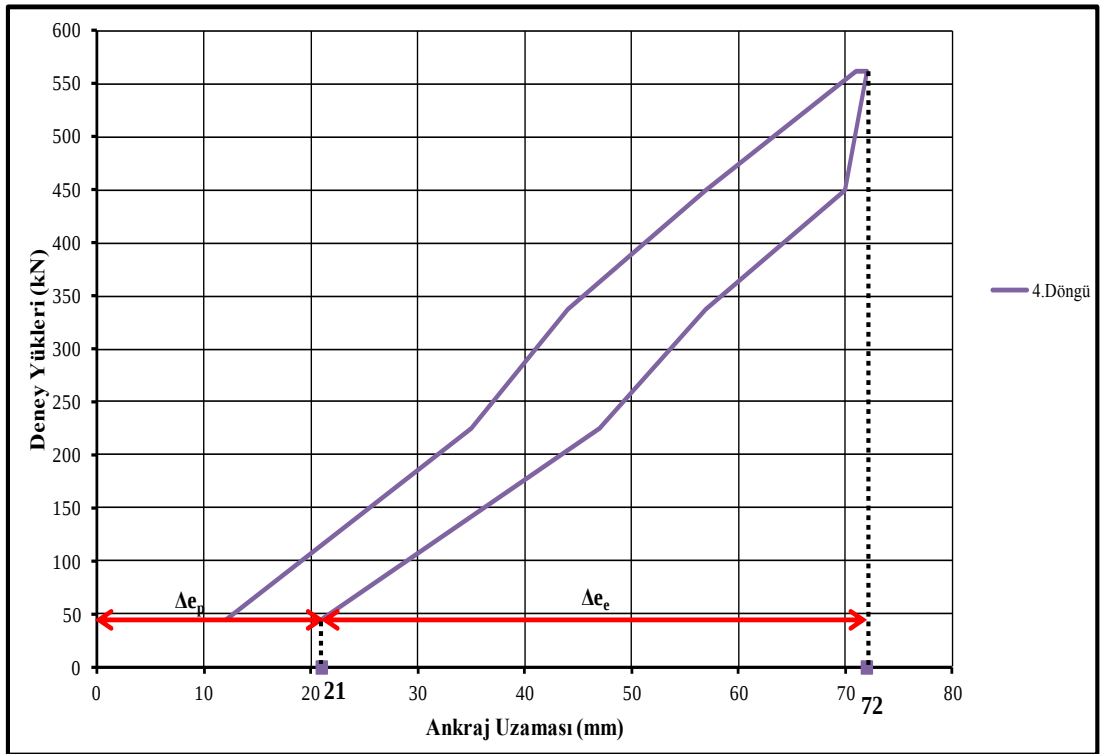


Şekil 6.81 : Deney ankraжі-6 : yük-uzama grafiğı

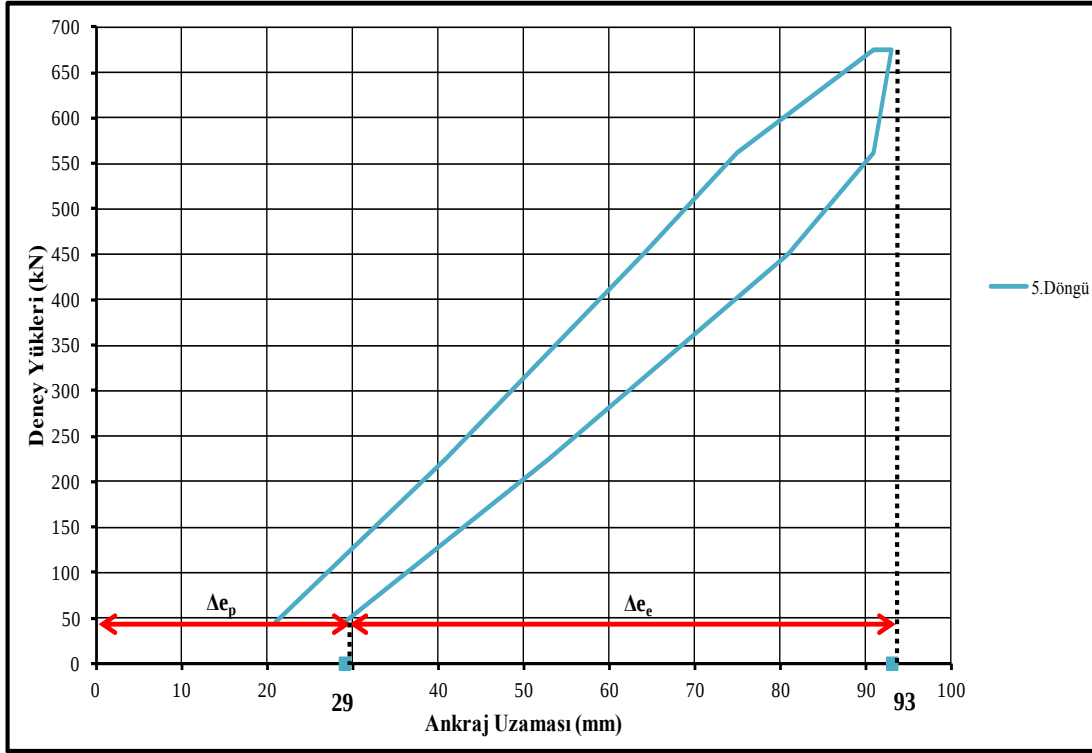
Ard enjeksiyon (*Tube a Manchette*) yöntemi ile imal edilen 6 numaralı deney ankraжіnın, ön görülen proje yükü olan 450 kN ve sırasıyla ilgili yükün 1.25, 1.5 ve 1.75 katları olan germe yüklerini kök sıyrılması meydana gelmeden yumuşak / orta katı / katı kıvamında olan alüvyonel kil tabakasına aktarmış olduğu ve kök nihai taşıma gücüne ulaşmadığı gözlemlenmiştir. Kök bölgesinin etkileşimde olduğu zeminin yüksek plastisite özelliğinde olması ve kohezyon içermesi sebebi ile beklenen sünme kaynaklı uzamaların gözlemi deney sırasında gerçekleştirilmiştir. Ard enjeksiyon tekniğı kullanılarak imal edilen deney ankraжіnın, proje aşamasında izin verilecek maksimum germe yükünün belirlenmesi amacıyla ön görülen proje yükünün sırasıyla 100%, 125%, 150% ve 175% katlarına denk gelen kademelerdeki yük-uzama eğrileri hazırlanmış ve 4 farklı grafikte gösterilmiştir (şekil 6.82, 6.83, 6.84 ve 6.85). İlgili grafiklerin üzerine, deney sırasında belirlenen plastik-elastik uzama farklı da eklenmiştir.



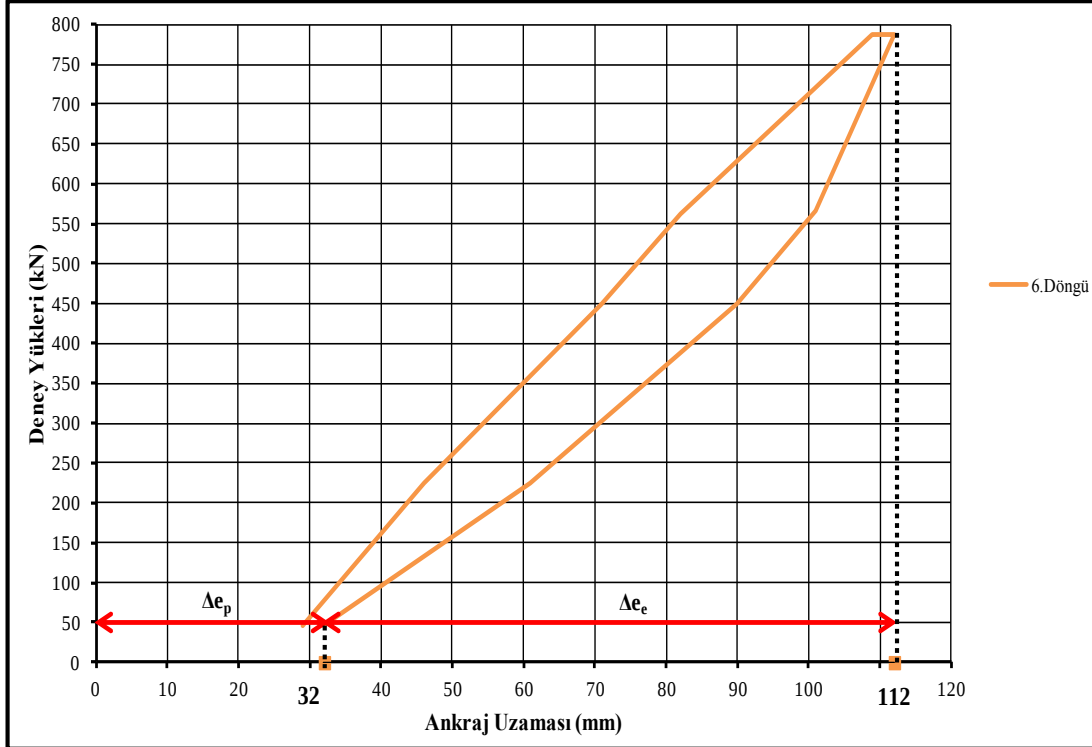
Şekil 6.82 : Deney ankrajı-6 yük uzama grafiği (100% Yük döngüsü)



Şekil 6.83 : Deney ankrajı-6 yük uzama grafiği (125% Yük döngüsü)



Şekil 6.84 : Deney ankrajı-6 yük uzama grafiği (150% Yük döngüsü)



Şekil 6.85 : Deney ankrajı-6 yük uzama grafiği (175% Yük döngüsü)

Deney sırasında verilen germe yüklerini başarılı bir şekilde aktaran Ard Enjeksiyon yöntemi kullanılarak imal edilen ankrajın, proje aşamasında verilebilecek maksimum öngerme yükünün belirlenmesi için, BS8081:1989'da belirtilen deney kriterleri dikkate alınmıştır. İlgili kriterler aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- Görünen serbest boy hesabı (BS8081:1989, Madde 11.2.9)
- Denklem 6.1 'e göre hesaplanan görünen serbest boy BS8081'e göre aşağıda verilen şartları sağlaması gerekmektedir.

$$\geq \%90 \times \text{Tasarım Serbest Boyu}$$

$$\leq \min. (\%110 \times \text{Tasarım Serbest Boyu}, \text{Tasarım Serbest Boyu} + \%50 \text{ Kök Boyu})$$

- Belirli bir yük kademesi altında zamana bağlı gözlemlenen uzama miktarı veya uzama oranı çizelge 6.5'te belirtilen şartları sağlamak zorundadır (BS8081:1989).

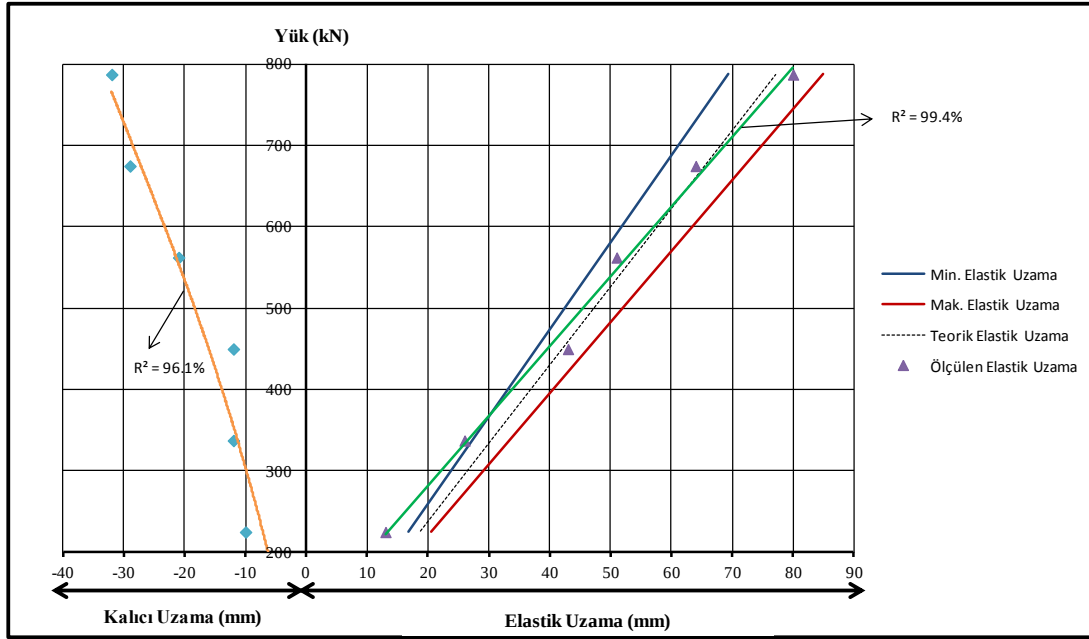
Yukarıda belirtilen maddelerden ilk ikisi, deney sırasında uygulanan tüm döngülerde elde edilen sonuçların dikkate alınması ile birlikte değerlendirilmiştir. Sabit yük altında gözlemlenen uzama oranı kriteri ise, ön görülen proje yükü **450 kN** değerinin sırasıyla 1.25, 1.5 ve 1.75 katlarına denk gelen deney yüklerinin uygulandığı döngüler içerisinde dikkate alınmıştır. Birinci maddeye göre, her bir döngü içerisinde ulaşılan maksimum yük kademesinde ankrajda gözlemlenen elastik uzama ve buna bağlı hesaplanan görünen boy çizelge 6.41'de verilmiştir.

**Çizelge 6.41 :** Yük kademelerinde ölçülen elastik ve kalıcı ankraj uzama değerleri

| Döngü | Yük (kN) | $\Delta_{\text{ank}}$ (mm) | $\Delta_p$ (mm) | $\Delta_e$ (mm) | $L_{\text{app}}$ (mm) |
|-------|----------|----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------------|
| 1     | 225.00   | 23                         | 10              | 13              | 7.89                  |
| 2     | 337.50   | 38                         | 12              | 26              | 9.71                  |
| 3     | 450.00   | 55                         | 12              | 43              | 11.59                 |
| 4     | 562.50   | 72                         | 21              | 51              | 10.76                 |
| 5     | 675.00   | 93                         | 29              | 64              | 11.09                 |
| 6     | 787.50   | 112                        | 32              | 80              | 11.77                 |

6 numaralı deney ankrajı BS8081'de belirtilen serbest boy kriteri açısından incelenmiştir ve şekil-6.86'da verilen grafik üzerinde özetlenmiştir. Grafik hazırlanış

biçimi için, ilgili standardın 11.2.12 numaralı maddesinde belirtilen şekil formatı referans alınmıştır.



**Şekil 6.86 :** BS8081'de belirtilen kabul kriterlerine göre deney ankrajı-6 için sahada ölçülen elastik uzama değerlerinin kontrolü ve kalıcı uzama-yük ilişkisi

Şekil 6.86'da verilen grafik üzerinde gösterilmiş maksimum ve minimum elastik uzama değerleri, her bir yük kademesinde çıkılan maksimum yük değerinin denklem 6.1'de kullanılması ile elde edilmiştir.

Deney ankrajı-6'nın kök bölgesinin yük aktaracağı tabakanın yumuşak/orta katı/katı kıvamda yüksek plastisiteli alüvyonel kil olması sebebi ile sabit yük altında ankrajda uzamaların meydana gelmesi ve dolayısıyla yük kaybı riski bulunmaktadır. Deney programına göre belirlenen ve kritik olarak görülen her bir yük kademesinde ankrajda sabit yük altında uzama yapıp yapmadığı minimum 15 dakika süre içerisinde incelenmiştir. Sabit yük altında, çizelge 6.5'te verilen gözlem periyotlarında belirtilen izin verilebilir uzama oranlarına göre sahada gerçekleştirilen deney sırasında ölçülen uzama değerleri aşağıda verilen tablo içerisinde gösterilmiştir (çizelge 6.42).

Deney alanı-3 bölgesinde ard enjeksiyon tekniği (Tube a Manchette) kullanılarak imal edilen 6 numaralı deney ankrajının saha performansı incelenmiştir. Projenin tasarım aşamasında belirlenen 450 kN öngerme yüküne göre hazırlanan germe deney programı çerçevesinde incelenen bu performansına göre, deney ankrajının 450 kN ve

katları (1.25, 1.5 ve 1.75) olan yükleri başarılı bir şekilde zemine aktardığı görülmektedir. Kök taşıma gücünün yenilmediği deney ankrajının, BS8081'de belirtilen serbest boy kriter şartı açısından saha deneyleri sırasında gözlemlenen uzamaları dikkate alındığında, 1. ve 2. döngü (225-337.5 kN) hariç uygulanan tüm döngüler içerisinde tespit edilen serbest boy değerinin sınır aralıklarında olduğu görülmektedir. Ankrajın sabit yük altında göstermiş olduğu uzama performansının incelendiği yük kademelerinde ise, 5. ve 15. dakikalar içerisinde gözlemlenen uzama oranlarının ön görülen proje yükünün 1.5 (675 kN) ve 1.75 (787.5 kN) katı olan döngülerde sağlamadığı görülmektedir. Buna ilaveten, ön görülen proje yükünün 1.25 katına ulaşıldığı yük kademesinde gözlemlenen sünme oranlarının da standart içerisinde verilen şartları sağladığı görülmektedir.

**Çizelge 6.42 :** Farklı yükler altında ankraj-6 için uzama oranları ve izin verilebilir limitler

| Döngü | Kademe | Gözlem Periyodu (dk) | Yük (kN) | $\Delta_{ank}$ (mm) | Teo. $\Delta_e$ (mm) | Uzama Oranı (mm) | İzin verilebilir Uzama Oranı (mm) |
|-------|--------|----------------------|----------|---------------------|----------------------|------------------|-----------------------------------|
| 4     | 125    | -                    | 562.5    | 71                  | 53.79                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 71                  |                      | 0.00             | 0.54                              |
|       |        | 15                   |          | 72                  |                      | 1.00             | 1.08                              |
| 5     | 150    | -                    | 675.0    | 122                 | 65.48                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 120                 |                      | 0.00             | 0.65                              |
|       |        | 15                   |          | 124                 |                      | 2.00             | 1.31                              |
| 6     | 175    | -                    | 787.5    | 140                 | 77.17                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 142                 |                      | 2.00             | 0.77                              |
|       |        | 15                   |          | 143                 |                      | 3.00             | 1.54                              |

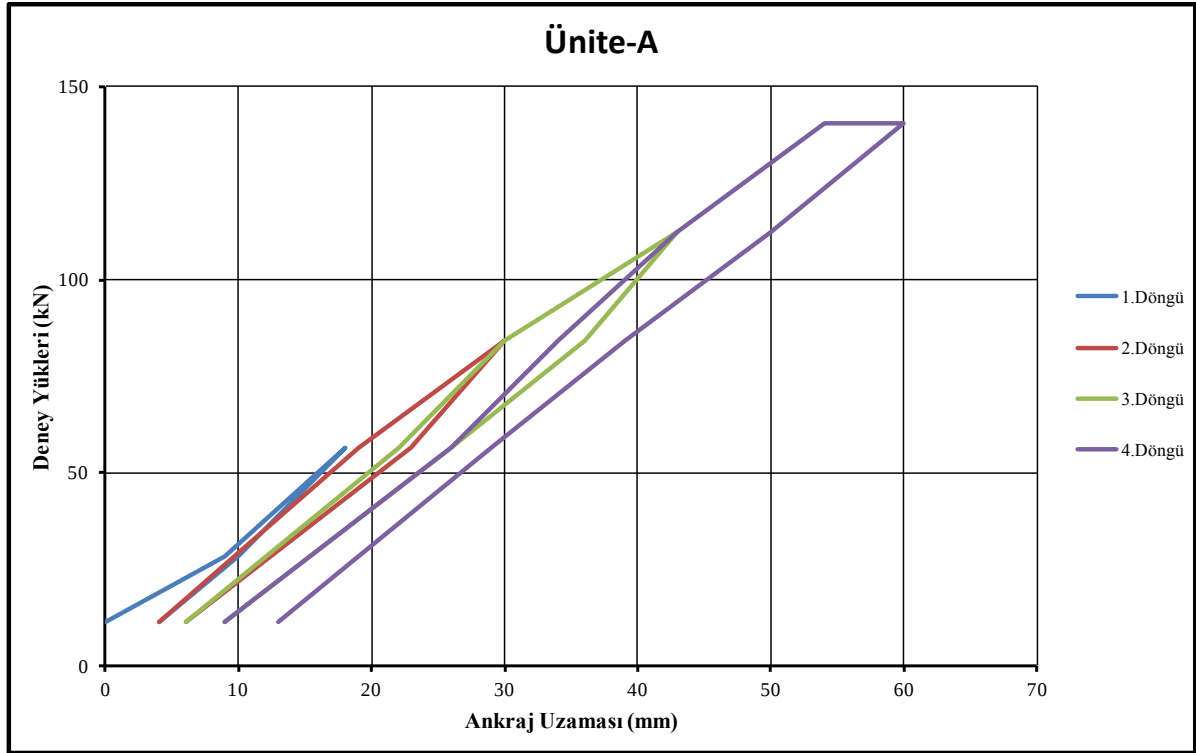
#### 6.6.5 Deney ankrajı-7 (Alan-3)

SBMA tekniği kullanılarak imal edilen 7 numaralı deney ankrajını oluşturan 4 farklı ankraj ünitesine 4 adet bağımsız krikolar yardımı ile uygulanan germe deneyi sonucunda ankraj uzama-yük ilişkisi oluşturulmuştur. SBMA tekniğinin yanı sıra, ard enjeksiyon uygulanan deney ankrajının kök bölgesinin efektif kullanılması ve yüksek kök taşıma gücü kapasitesine ulaşılması hedeflenmiştir. Deney programında belirtilen aşama sayısının aksine deney 4 aşamada sonlandırılmak zorunda

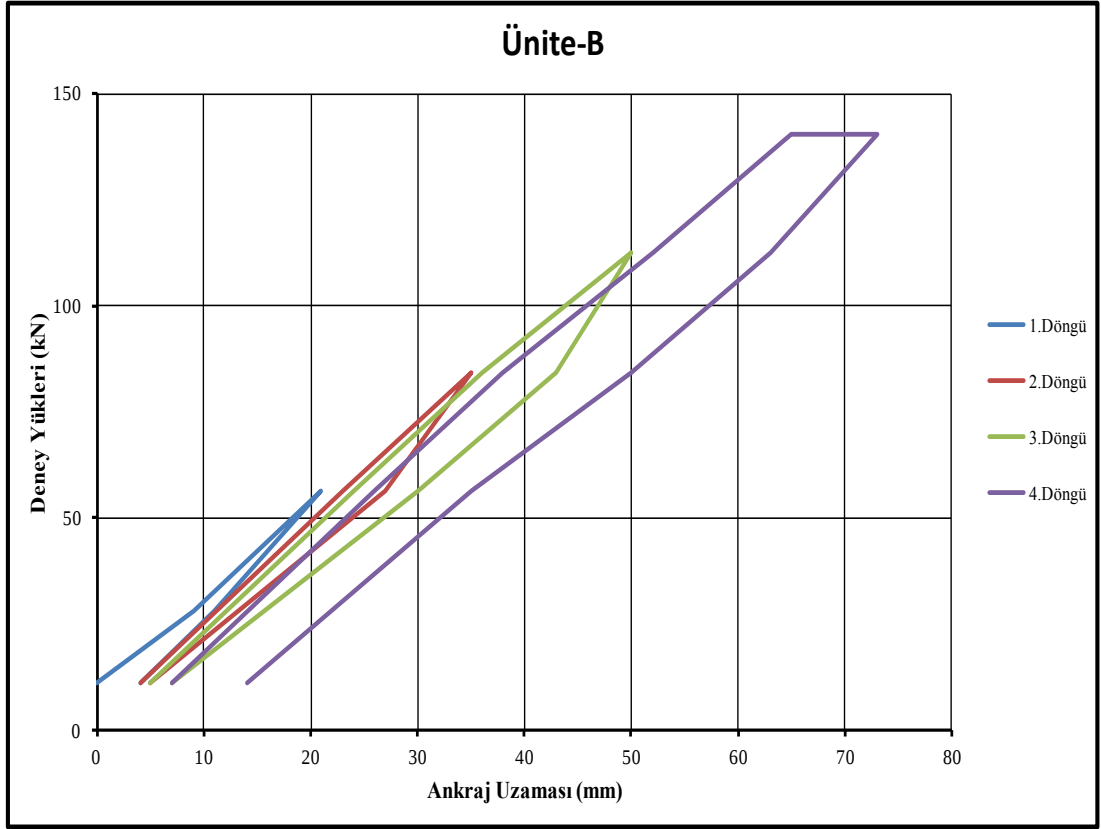
kalınmıştır. Deney sırasında aynı güç ünitesinden beslenen 4 farklı bağımsız krika kullanılarak germesi yapılan 7 numaralı deney ankrajını oluşturan her bir ünitenin uzama-yük ilişkisi sırasıyla şekil 6.87, 6.89, 6.90 ve 6.91'de verilmiştir. Deney ankrajını oluşturan her bir ünite de kullanılan halat sayısı ve tipi, ilgili ünitenin serbest ve kök boy özellikleri ile birlikte çizelge 6.43'te gösterilmiştir.

**Çizelge 6.43 : Deney ankrajı-7 ünite özellikleri**

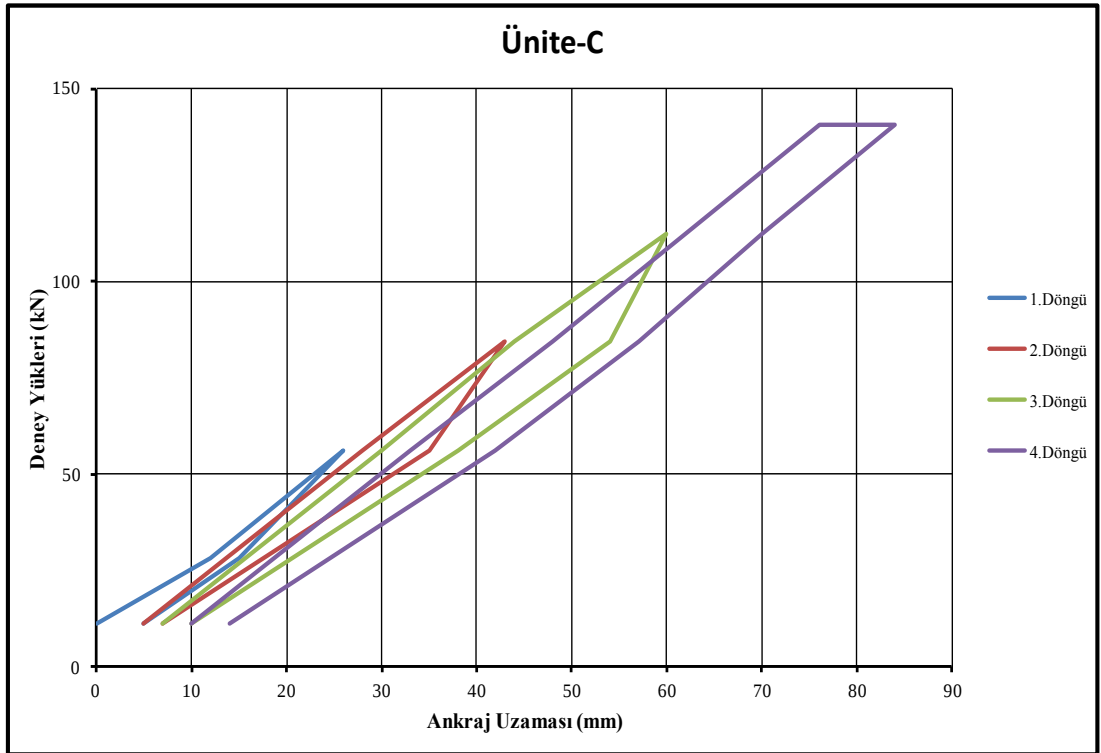
| Ünite                                                                          | Halat Tipi ve Sayısı | Kuyu İçerisinde Kalan Serbest Bölge Boyu (m) | Germe Payı (m) | L <sub>serbest</sub> (m)* | L <sub>kök</sub> (m) |
|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|
| A                                                                              | 1x0.6"               | 7.5                                          | 1.35           | 8.85                      | 2.5                  |
| B                                                                              | 1x0.6"               | 10.5                                         | 1.35           | 11.85                     | 2.5                  |
| C                                                                              | 1x0.6"               | 13.5                                         | 1.35           | 14.85                     | 2.5                  |
| D                                                                              | 1x0.6"               | 16.5                                         | 1.35           | 17.85                     | 2.5                  |
| * L <sub>serbest</sub> = Kuyu İçerisinde Kalan Serbest Bölge Boyu + Germe Payı |                      |                                              |                |                           |                      |



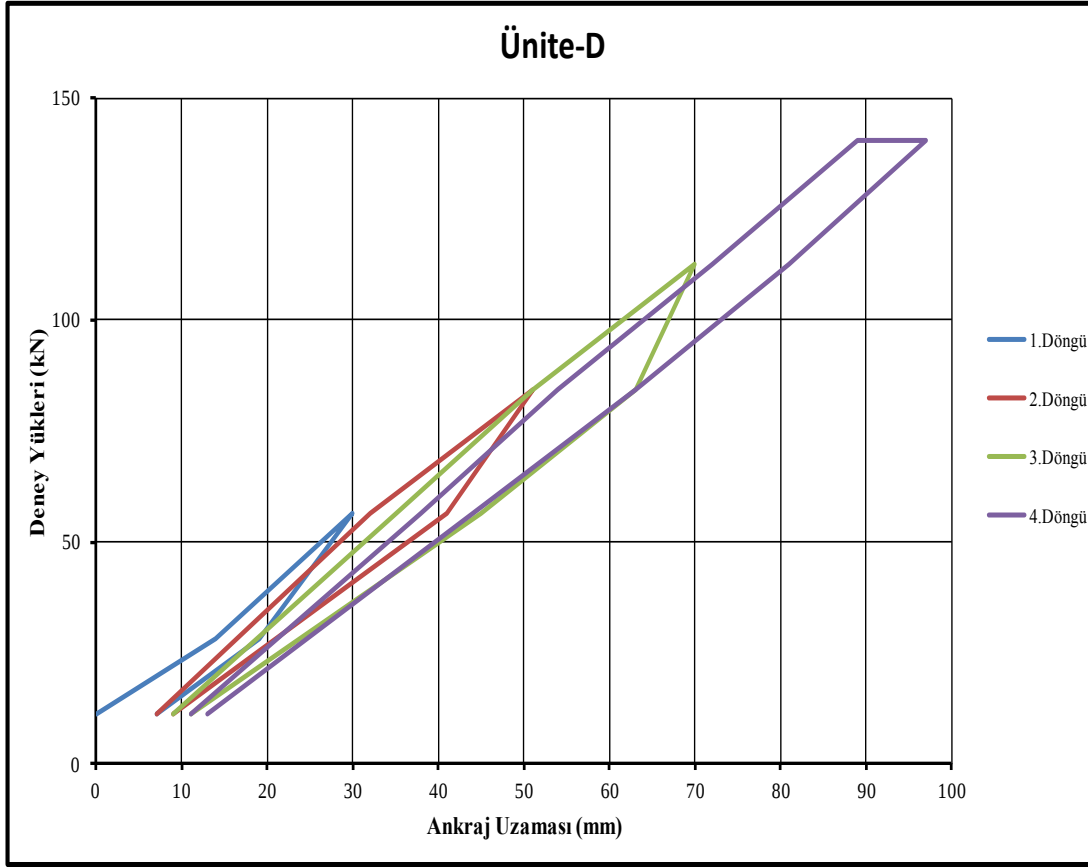
**Şekil 6.87 : Deney ankrajı-7 : yük-uzama grafiği (Ünite-A)**



**Şekil 6.88** : Deney ankrajı-7 : yük-uzama grafiği (Ünite-B)



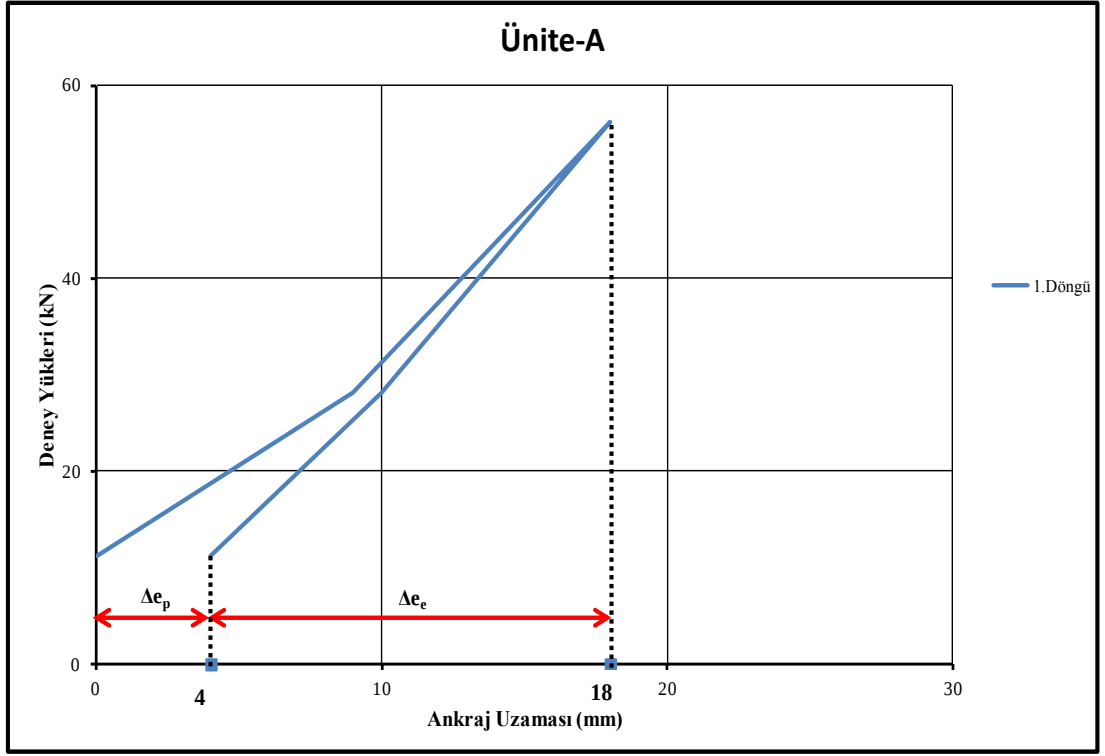
**Şekil 6.89** : Deney ankrajı-7 : yük-uzama grafiği (Ünite-C)



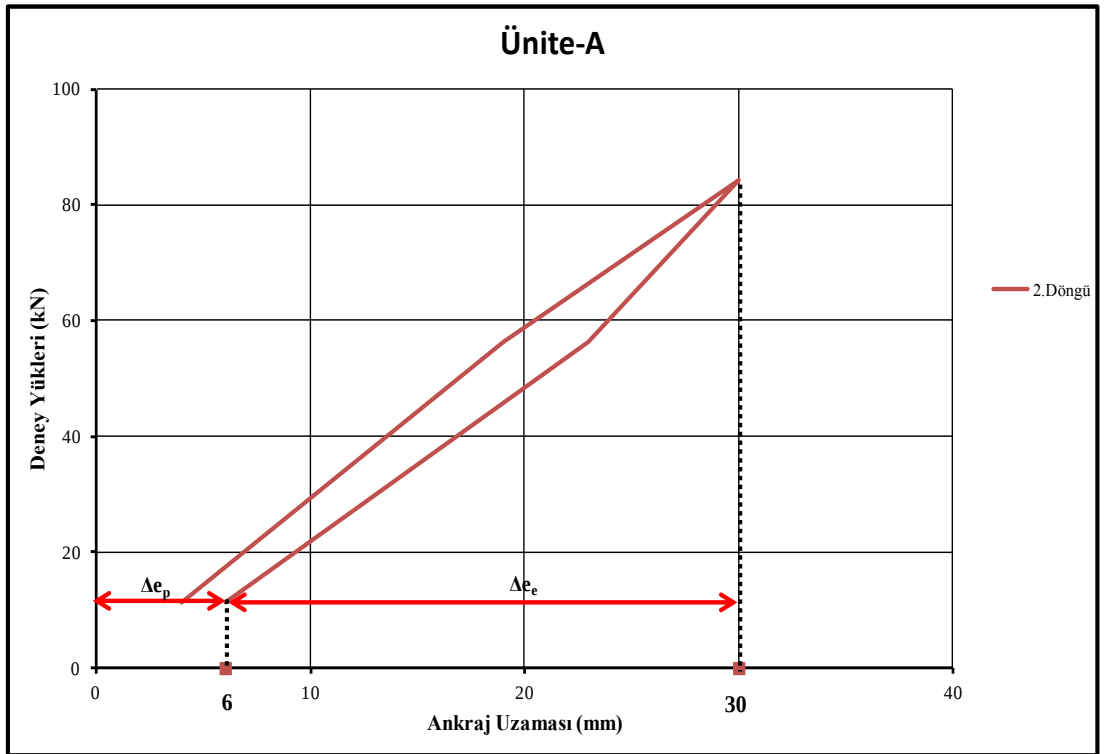
Şekil 6.90 : Deney ankrajı-7 : yük-uzama grafiği (Ünite-D)

SBMA ve ard enjeksiyon tekniğinin bir arada kullanıldığı 7 numaralı deney ankrajının, tüm ünitelere uygulanan yükün toplamda ön görülen proje yükünün 1.25 katına eşit olan döngü altında, çok fazla uzama yaptığı gözlemlenmiştir. Her ne kadar deney ankrajının kök bölgesi yumuşak-orta katı-katı kıvama sahip kil tabakasından sıyrılmasa da, her bir ünite için 15 dakika içerisinde gözlemlenen uzama değerlerinin fazla olması sebebi ile deney programına göre belirlenen sonraki aşamalara geçilmemiştir.

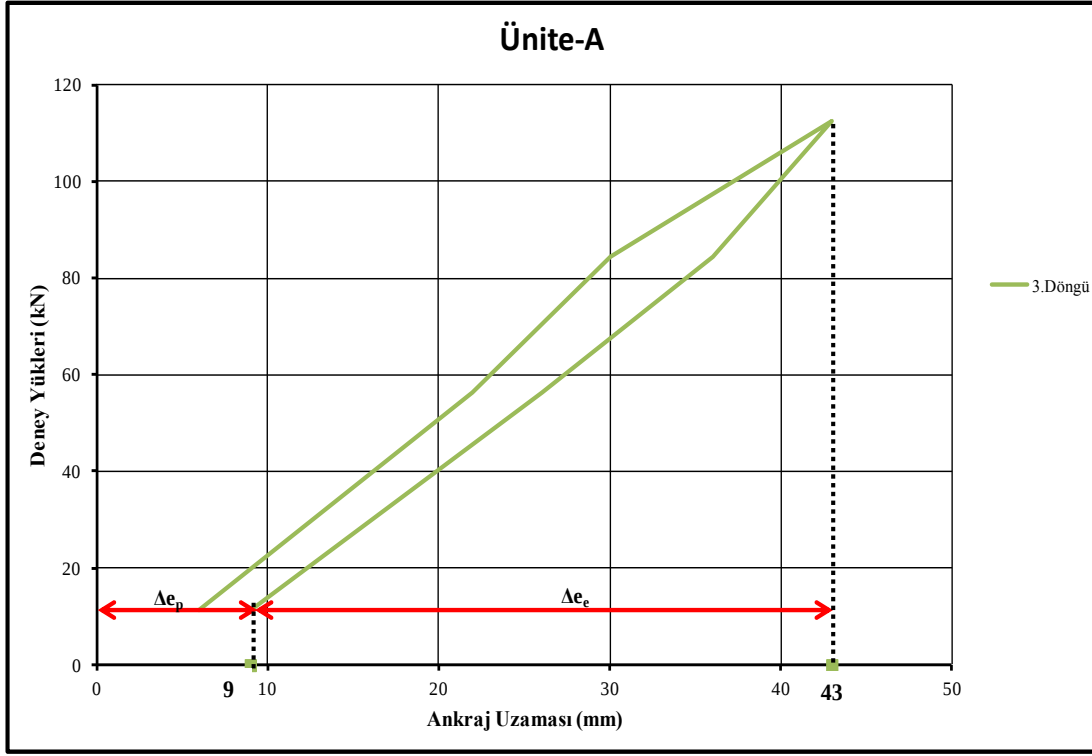
7 numaralı deney ankrajının proje aşamasında izin verilecek maksimum germe yükünün belirlenmesi amacıyla ön görülen proje yükünün sırasıyla 50%, 75%, 100% ve 125% katlarına denk gelen kademelerdeki yük-uzama eğrileri hazırlanmış ve her bir ünite için 4 farklı grafikte gösterilmiştir (şekil 6.91, 6.92, 6.93, ... 6.106). İlgili grafiklerin üzerine, deney sırasında belirlenen plastik-elastik uzama farkı da eklenmiştir.



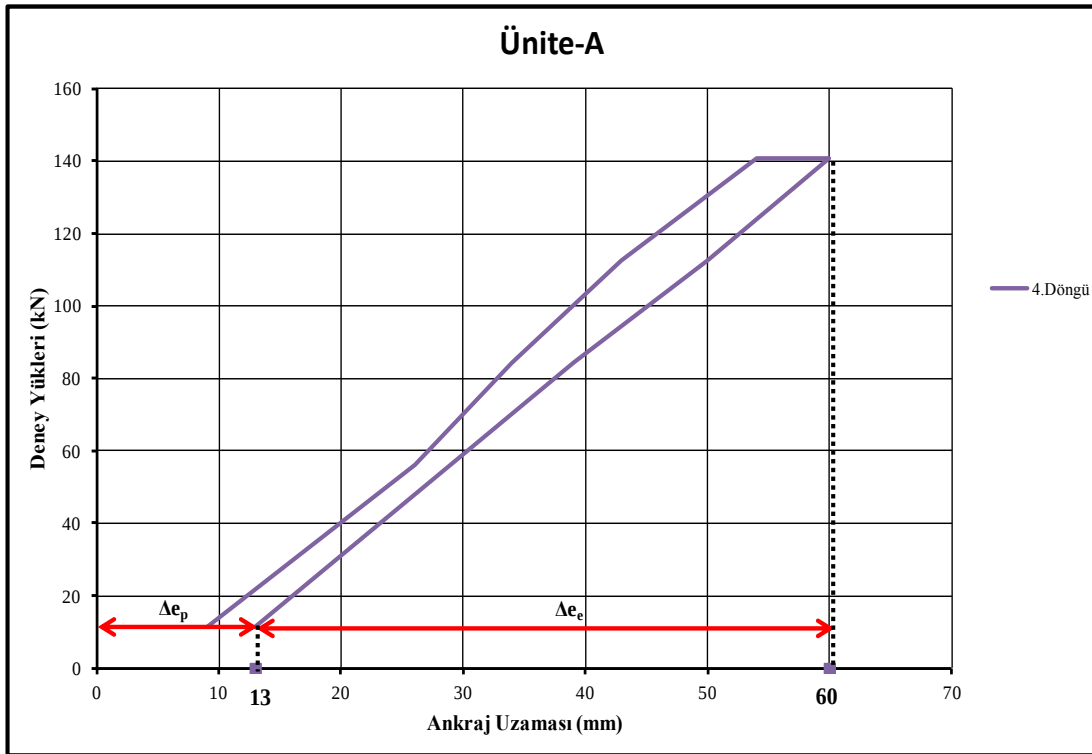
**Şekil 6.91** : : Deney ankrajı-7: yük uzama grafiği (50% Yük döngüsü-Ünite A)



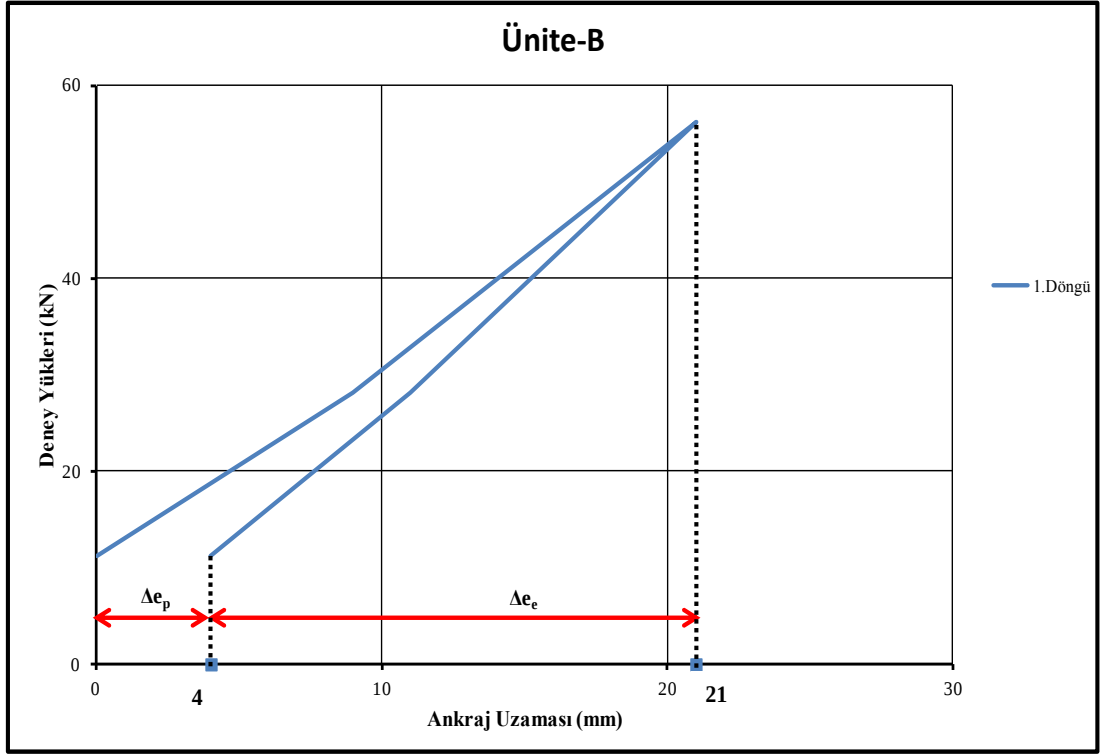
**Şekil 6.92** : Deney ankrajı-7: yük uzama grafiği (75% Yük döngüsü-Ünite A)



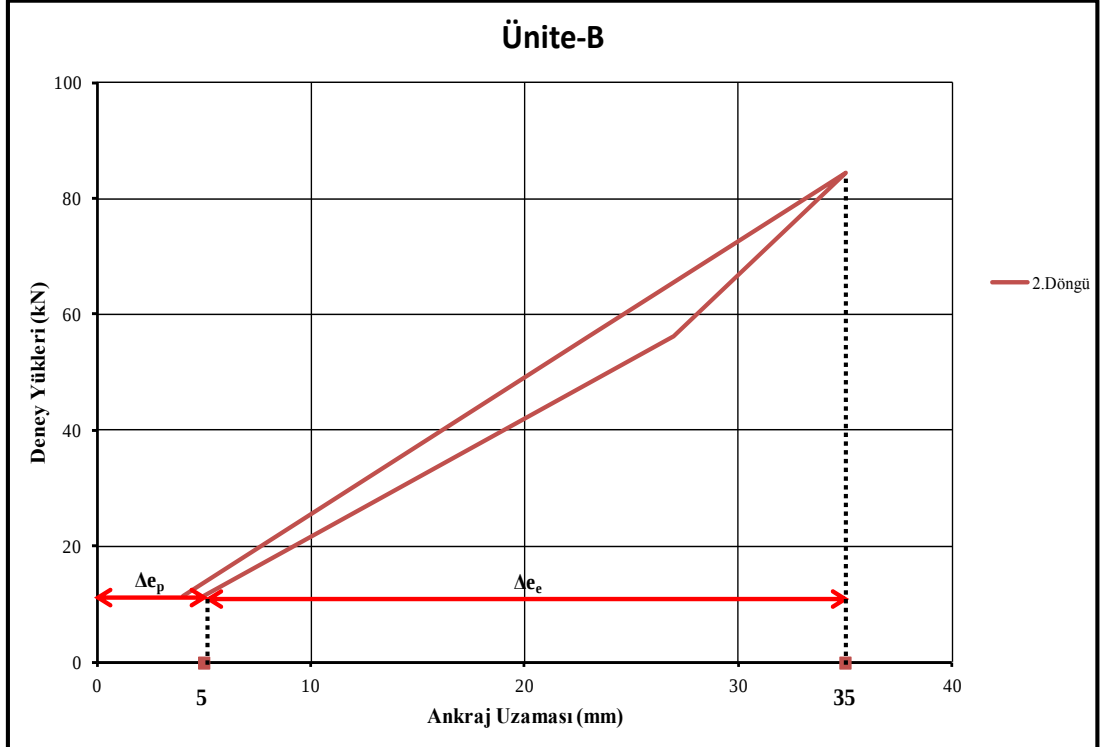
**Şekil 6.93 :** Deney ankrajı-7: yük uzama grafiği (100% Yük döngüsü-Ünite A)



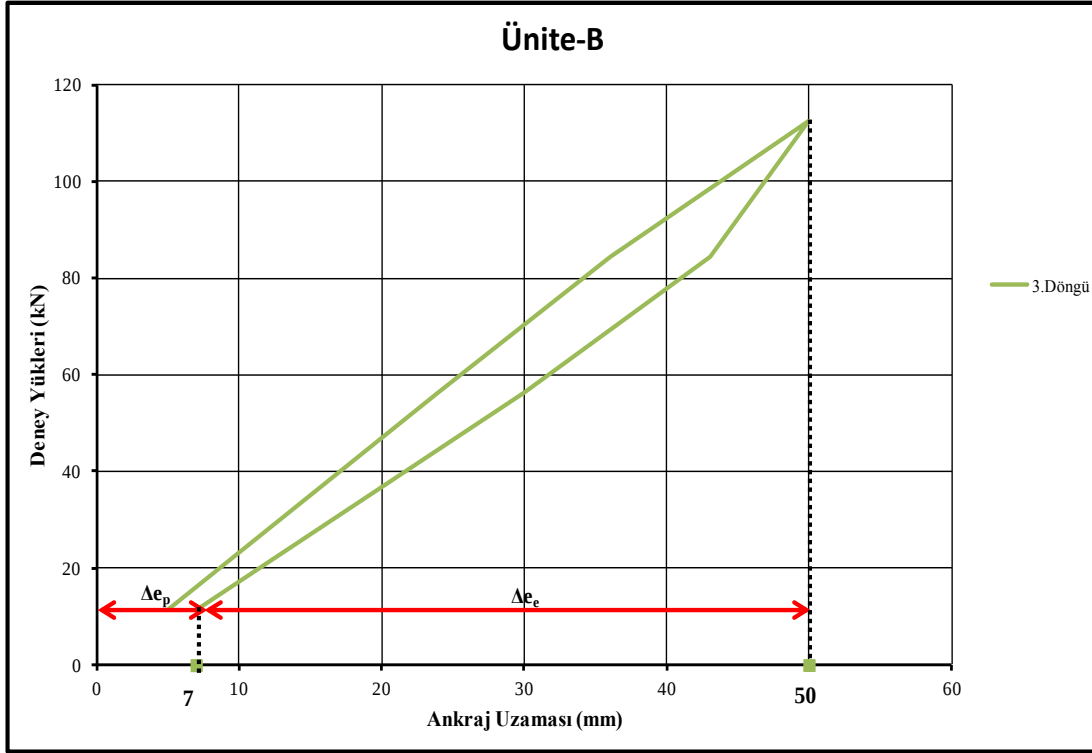
**Şekil 6.94 :** Deney ankrajı-7: yük uzama grafiği (125% Yük döngüsü-Ünite A)



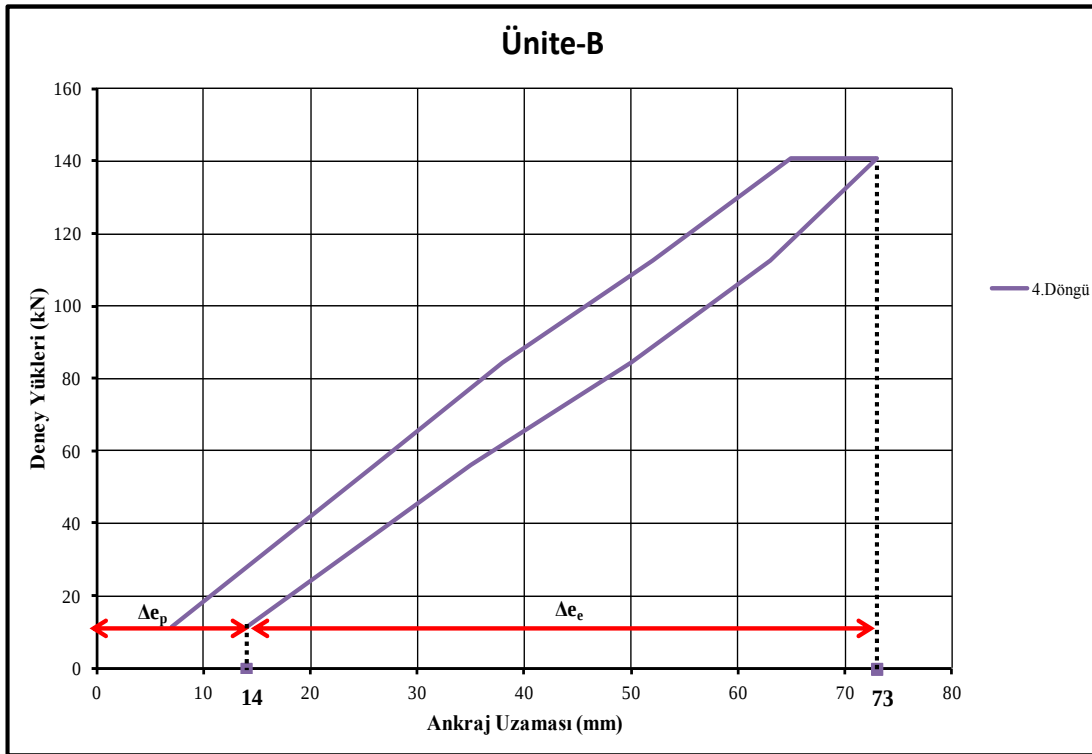
**Şekil 6.95 :** Deney Ankrajı-7: yük uzama grafiği (50% Yük döngüsü-Ünite B)



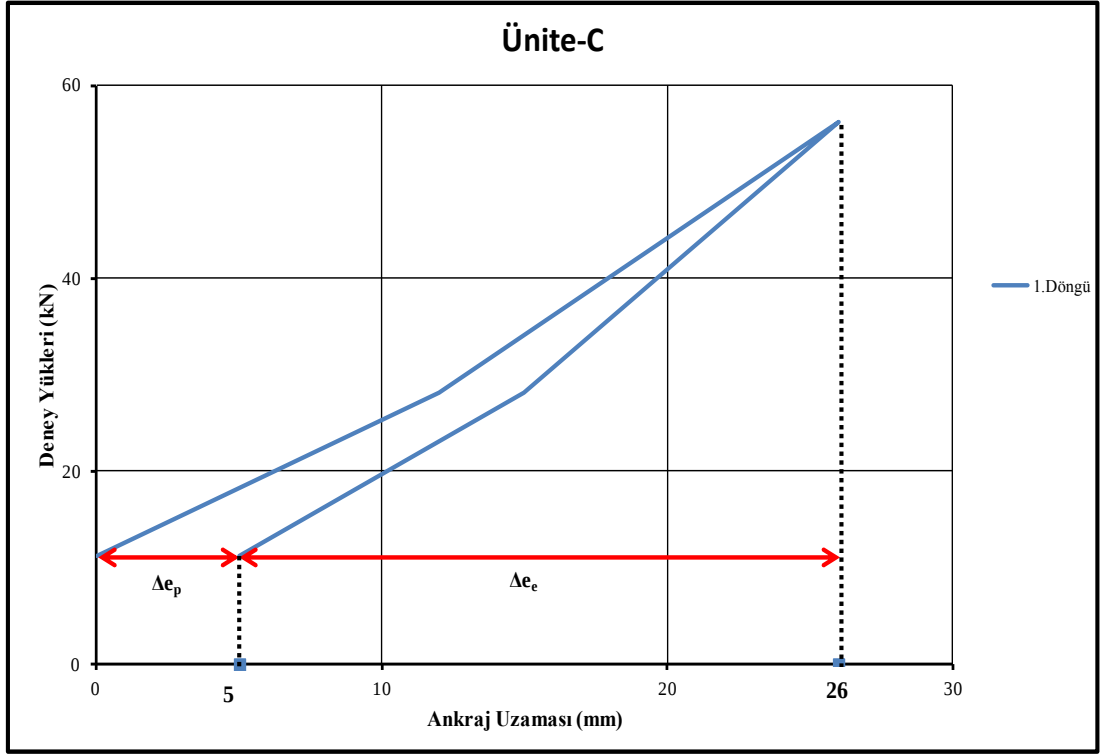
**Şekil 6.96 :** Deney ankrajı-7: yük uzama grafiği (75% Yük döngüsü-Ünite B)



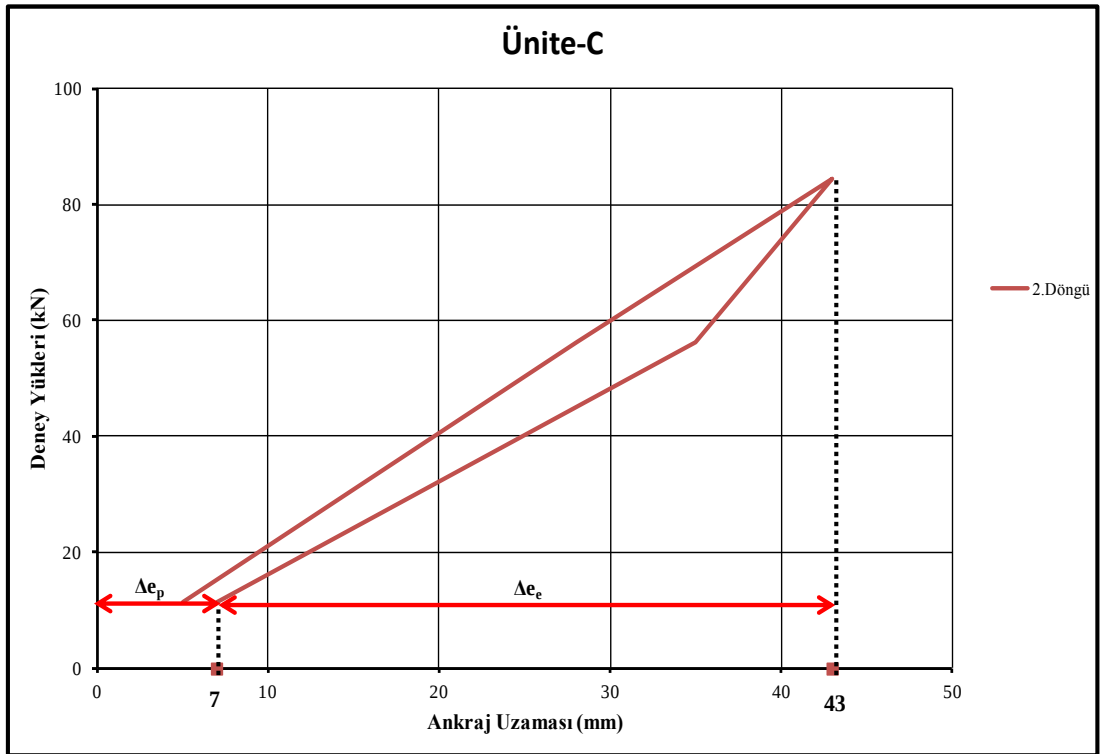
**Şekil 6.97 :** Deney ankrajı-7: yük uzama grafiği (100% Yük döngüsü-Ünite B)



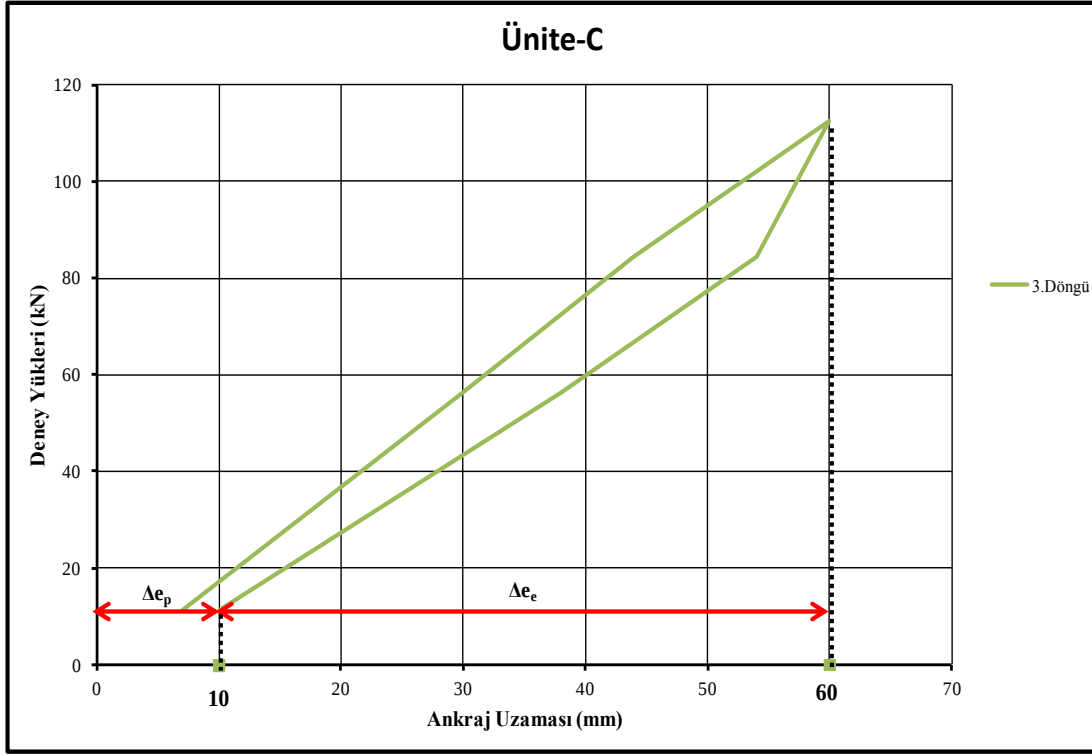
**Şekil 6.98 :** Deney ankrajı-7: yük uzama grafiği (125% Yük döngüsü-Ünite B)



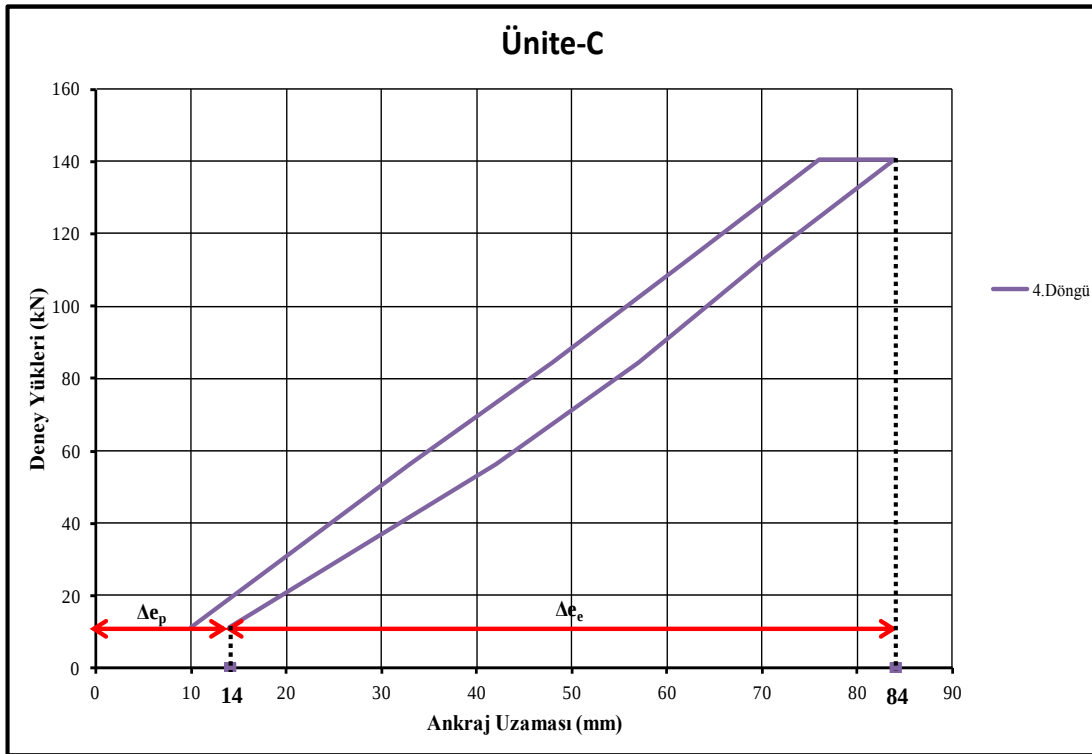
**Şekil 6.99 :** Deney ankrajı-7: yük uzama grafiği (50% Yük döngüsü-Ünite C)



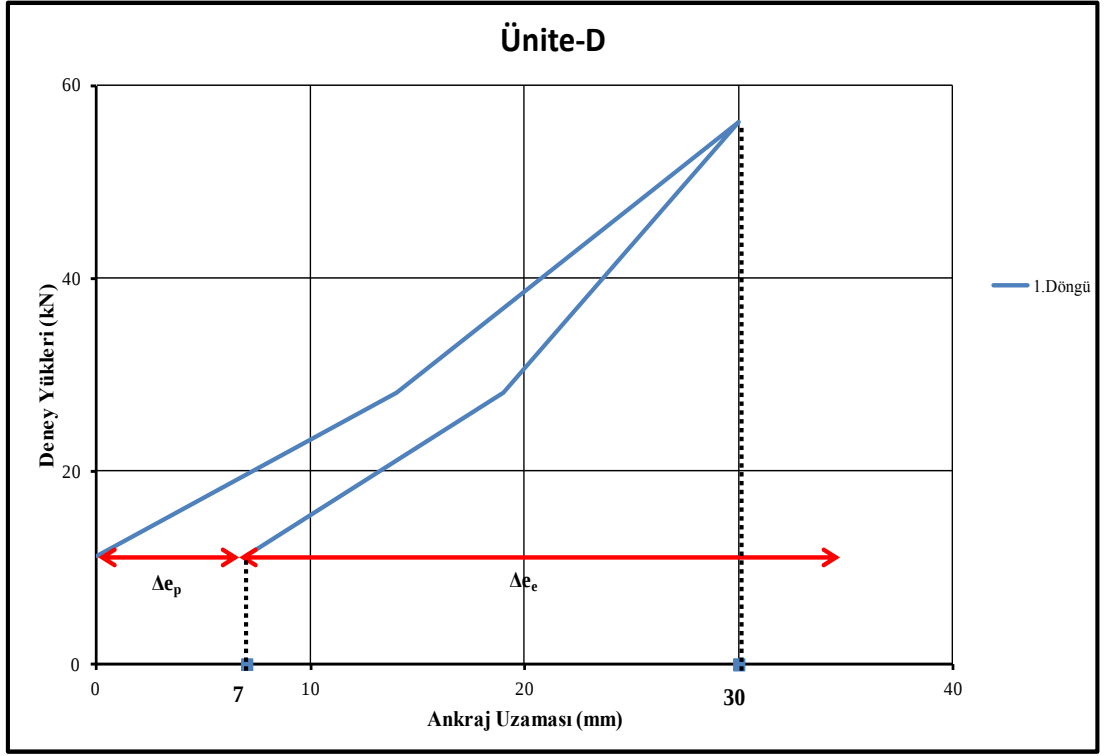
**Şekil 6.100 :** Deney ankrajı-7: yük uzama grafiği (75% Yük döngüsü-Ünite C)



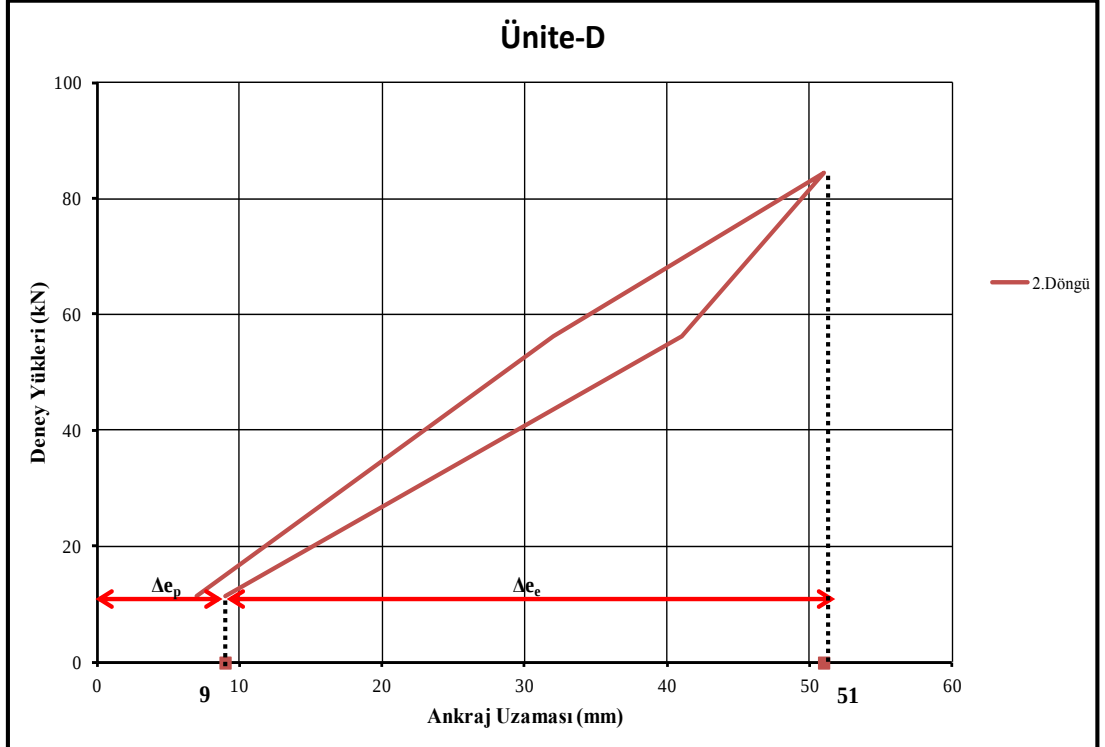
**Şekil 6.101 :** Deney ankrajı-7: yük uzama grafiği (100% Yük döngüsü-Ünite C)



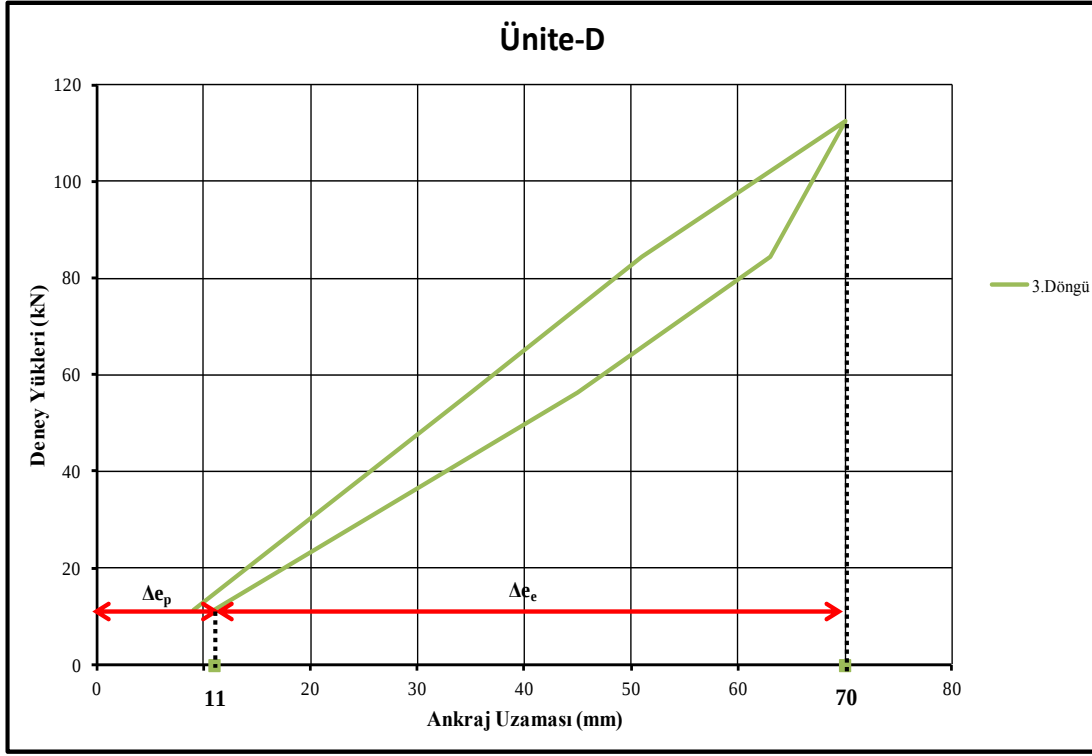
**Şekil 6.102 :** Deney ankrajı-7: yük uzama grafiği (125% Yük döngüsü-Ünite C)



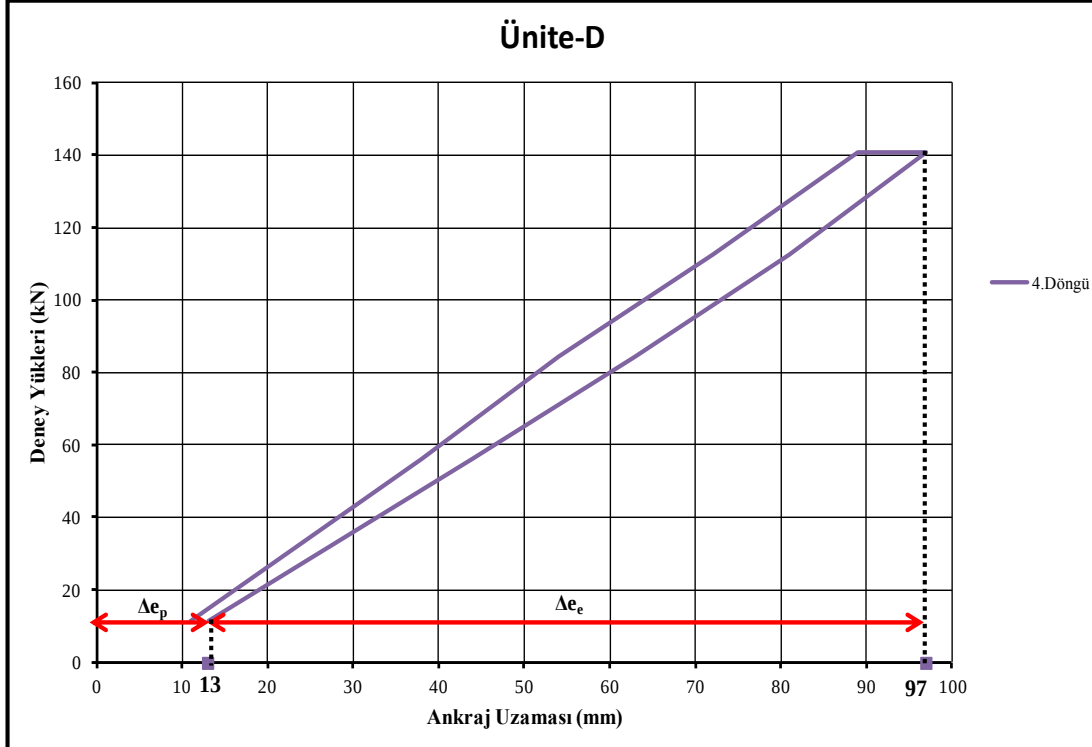
**Şekil 6.103 :** Deney ankrajı-7: yük uzama grafiği (50% Yük döngüsü-Ünite D)



**Şekil 6.104 :** Deney ankrajı-7: yük uzama grafiği (75% Yük döngüsü-Ünite D)



**Şekil 6.105 :** Deney ankrajı-7: yük uzama grafiği (100% Yük döngüsü-Ünite D)



**Şekil 6.106 :** Deney ankrajı-7 yük uzama grafiği (125% Yük döngüsü-Ünite D)

**Çizelge 6.44 :** Yük kademelerinde ölçülen elastik ve kalıcı ankraj uzama değerleri

| Ünite | Döngü | Yük (kN) | $\Delta_{ank}$ (mm) | $\Delta_p$ (mm) | $\Delta_e$ (mm) | $L_{app}$ (m) |
|-------|-------|----------|---------------------|-----------------|-----------------|---------------|
| A     | 1     | 56.25    | 18                  | 4               | 14              | 8.49          |
|       | 2     | 84.38    | 30                  | 6               | 24              | 8.96          |
|       | 3     | 112.50   | 43                  | 9               | 34              | 9.17          |
|       | 4     | 140.63   | 60                  | 13              | 47              | 9.92          |
| B     | 1     | 56.25    | 21                  | 4               | 17              | 10.31         |
|       | 2     | 84.38    | 35                  | 5               | 30              | 11.20         |
|       | 3     | 112.50   | 50                  | 7               | 43              | 11.59         |
|       | 4     | 140.63   | 73                  | 14              | 59              | 12.45         |
| C     | 1     | 56.25    | 26                  | 5               | 21              | 12.74         |
|       | 2     | 84.38    | 43                  | 7               | 36              | 13.44         |
|       | 3     | 112.50   | 60                  | 10              | 50              | 13.48         |
|       | 4     | 140.63   | 84                  | 14              | 70              | 14.77         |
| D     | 1     | 56.25    | 30                  | 7               | 23              | 13.95         |
|       | 2     | 84.38    | 51                  | 9               | 42              | 15.68         |
|       | 3     | 112.50   | 70                  | 11              | 59              | 15.91         |
|       | 4     | 140.63   | 97                  | 13              | 84              | 17.73         |

SBMA ve ard enjeksiyon tekniğinin bir arada kullanılarak imal edildiği 7 numaralı deney ankrajına, proje aşamasında verilebilecek maksimum öngerme yükünün belirlenmesi için, BS8081:1989'da belirtilen deney kriterleri, ankrajı oluşturan her bir ünite üzerinde ayrı olarak incelenmiştir. İlgili kriterler aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- Görünen serbest boy hesabı (BS8081:1989, Madde 11.2.9)

- Denklem 6.1 'e göre hesaplanan görünen serbest boy BS8081'e göre aşağıda verilen şartları sağlaması gerekmektedir.

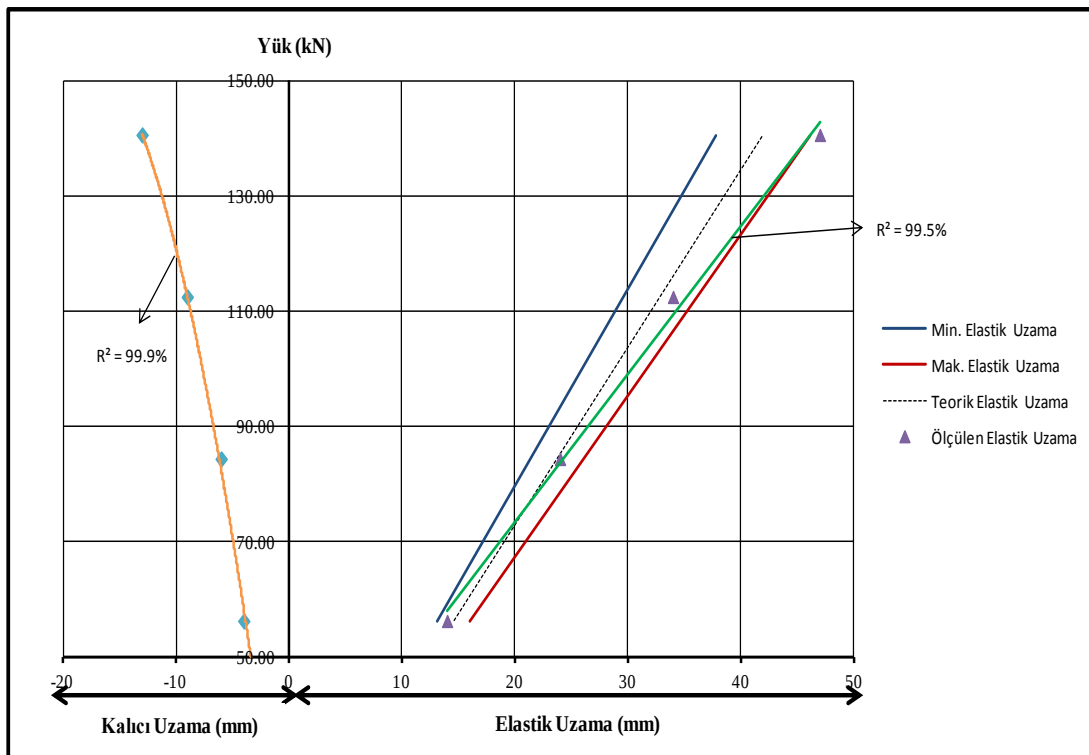
$$\geq \%90 \times \text{Tasarım Serbest Boyu}$$

$$\leq \min. (\%110 \times \text{Tasarım Serbest Boyu}, \text{Tasarım Serbest Boyu} + \%50 \text{ Kök Boyu})$$

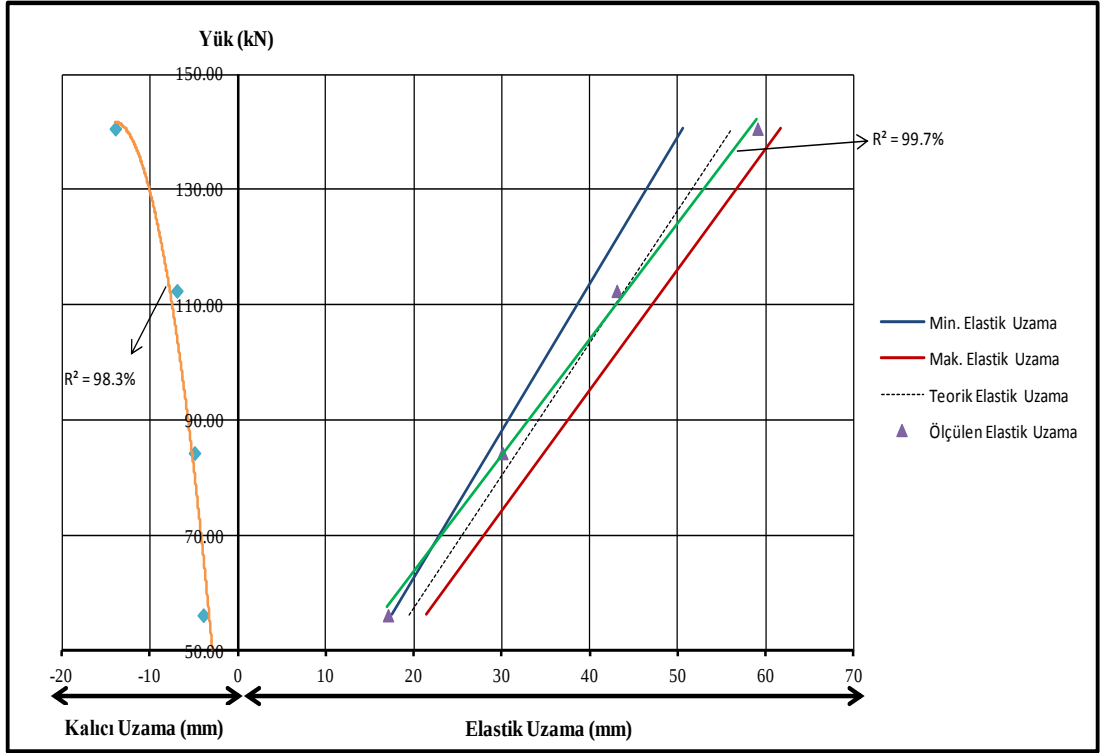
- Belirli bir yük kademesi altında zamana bağlı gözlemlenen uzama miktarı veya uzama oranı çizelge 6.5'te belirtilen şartları sağlamak zorundadır (BS8081:1989).

Yukarıda belirtilen maddelerden ilk ikisi, deney sırasında uygulanan 4 döngü için dikkate alınmıştır. Her bir döngü içerisinde ulaşılan maksimum yük altında deney ankrajını oluşturan ünitelerde gözlemlenen elastik uzama ve buna bağlı hesaplanan görünen serbest boy değerleri çizelge 6.44'te verilmiştir

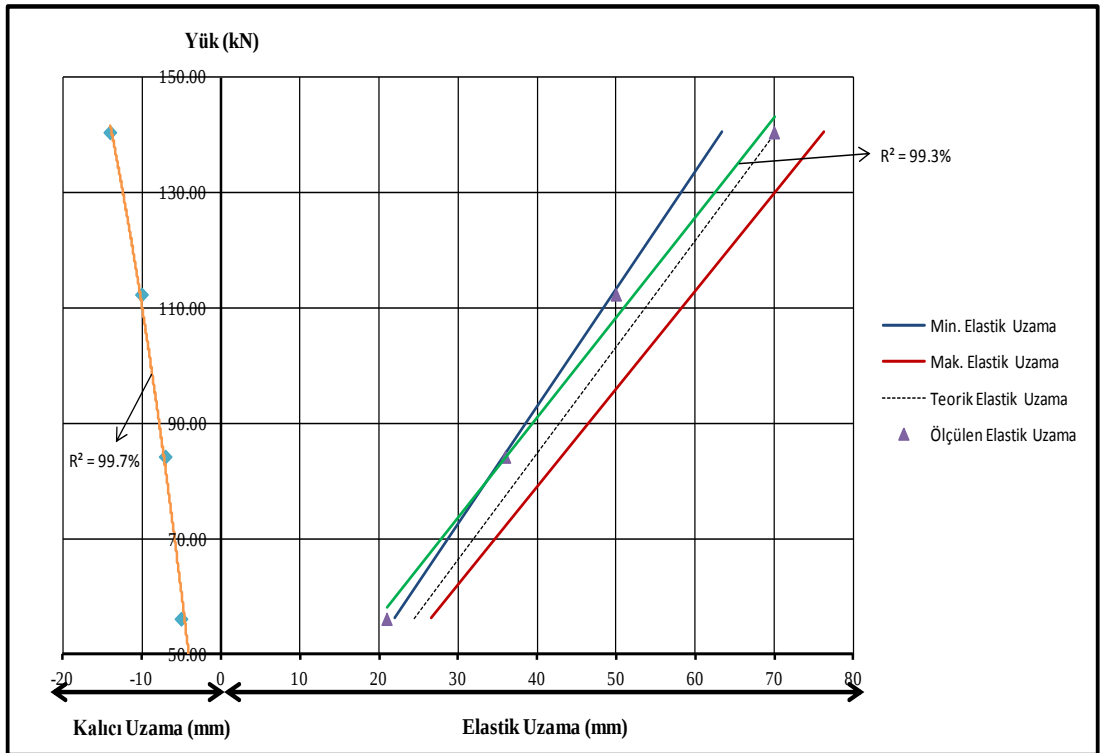
Deney ankrajını oluşturan her bir ünite için serbest boy kriteri, BS8081:1989'a göre incelenmiş ve grafikler üzerinde özetlenmiştir (şekil 6.107, 6.108, 6.109, 6.110).



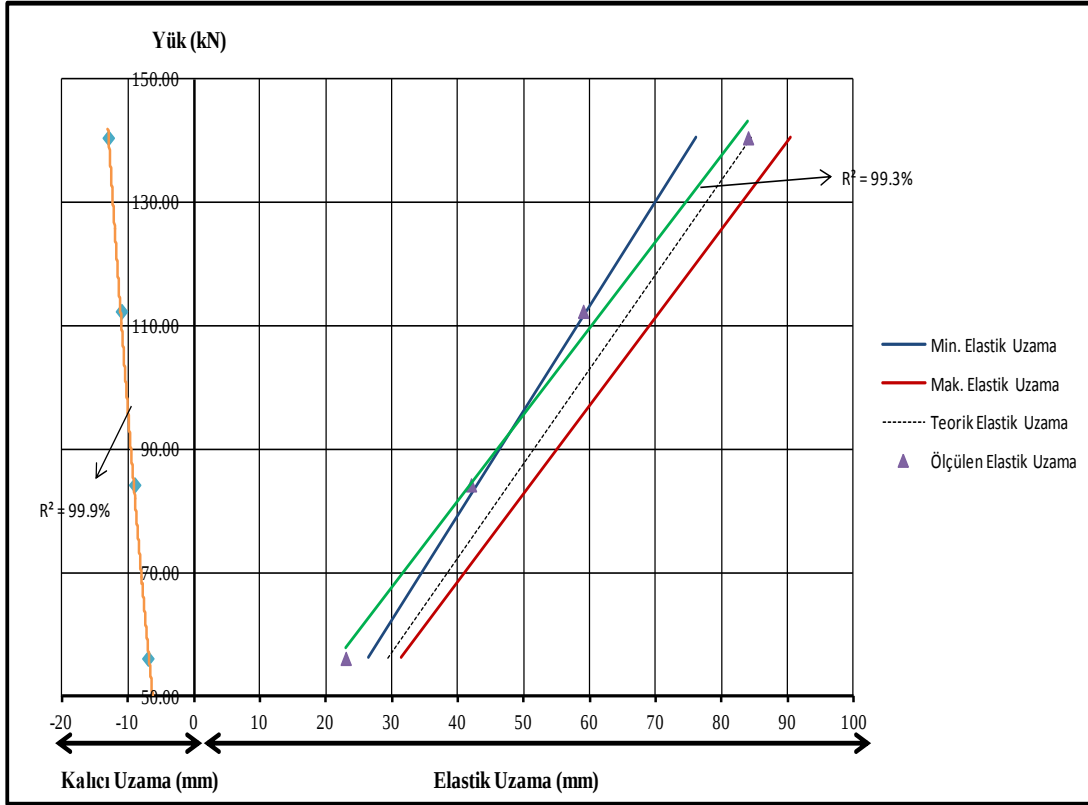
**Şekil 6.107 :** Deney ankrajı-7 sahada ölçülen elastik uzama değerlerinin kontrolü ve kalıcı uzama-yük ilişkisi (Ünite-A)



Şekil 6.108 : Deney ankrajı-7 sahada ölçülen elastik uzama değerlerinin kontrolü ve kalıcı uzama-yük ilişkisi (Ünite-B)



Şekil 6.109 : Deney ankrajı-7 sahada ölçülen elastik uzama değerlerinin kontrolü ve kalıcı uzama-yük ilişkisi (Ünite-C)



**Şekil 6.110 :** Deney ankrajı-7 sahada ölçülen elastik uzama değerlerinin kontrolü ve kalıcı uzama-yük ilişkisi (Ünite-D)

Serbest boy kriteri değerlendirmesi için yukarıda verilen grafikler üzerinde gösterilmiş maksimum ve minimum elastik uzama değerleri, her bir yük kademesinde çıkılan maksimum yük değerinin denklem 6.1'de kullanılması ile elde edilmiştir.

Deney ankrajı-7'in kök bölgesinin yük aktaracağı tabakanın yumuşak/orta katı/katı kıvamda yüksek plastisiteli alüvyonel kil olması sebebi ile sabit yük altında ankrajdı oluşturan her bir ünite içerisinde uzamaların meydana gelmesi ve dolayısıyla yük kaybı riski bulunmaktadır.

Deney programına göre belirlenen ve kritik olarak görülen her bir yük kademesinde ankrajı oluşturan ünitelerin sabit yük altında uzama yapıp yapmadığı minimum 15 dakika süre içerisinde incelenmiştir. Sabit yük altında, çizelge 6.5'de verilen gözlem periyotlarında belirtilen izin verilebilir uzama oranlarına göre sahada gerçekleştirilen deney sırasında ankrajı oluşturan her bir ünitenin ölçülen uzama değerleri aşağıda verilen tablolarca özetlenmiştir (çizelge 6.45, 6.46, 6.47, 6.48).

**Çizelge 6.45 :** Farklı yükler altında ankraj-7 (Ünite-A) için uzama oranları ve izin verilebilir limitler

| Döngü | Kademe | Gözlem Periyodu (dk) | Yük (kN) | $\Delta_{ank}$ (mm) | Teo. $\Delta_e$ (mm) | Uzama Oranı (mm) | İzin verilebilir Uzama Oranı (mm) |
|-------|--------|----------------------|----------|---------------------|----------------------|------------------|-----------------------------------|
| 4     | 125    | -                    | 140.63   | 54                  | 41.94                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 59                  |                      | 5.00             | 0.42                              |
|       |        | 15                   |          | 60                  |                      | 6.00             | 0.84                              |

**Çizelge 6.46 :** Farklı yükler altında ankraj-7 (Ünite-B) için uzama oranları ve izin verilebilir limitler

| Döngü | Kademe | Gözlem Periyodu (dk) | Yük (kN) | $\Delta_{ank}$ (mm) | Teo. $\Delta_e$ (mm) | Uzama Oranı (mm) | İzin verilebilir Uzama Oranı (mm) |
|-------|--------|----------------------|----------|---------------------|----------------------|------------------|-----------------------------------|
| 4     | 125    | -                    | 140.63   | 65                  | 56.16                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 70                  |                      | 5.00             | 0.56                              |
|       |        | 15                   |          | 73                  |                      | 8.00             | 1.12                              |

**Çizelge 6.47 :** Farklı yükler altında ankraj-7 (Ünite-C) için uzama oranları ve izin verilebilir limitler

| Döngü | Kademe | Gözlem Periyodu (dk) | Yük (kN) | $\Delta_{ank}$ (mm) | Teo. $\Delta_e$ (mm) | Uzama Oranı (mm) | İzin verilebilir Uzama Oranı (mm) |
|-------|--------|----------------------|----------|---------------------|----------------------|------------------|-----------------------------------|
| 4     | 125    | -                    | 140.63   | 76                  | 70.37                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 84                  |                      | 8.00             | 0.70                              |
|       |        | 15                   |          | 84                  |                      | 8.00             | 1.41                              |

**Çizelge 6.48 :** Farklı yükler altında ankraj-7 (Ünite-D) için uzama oranları ve izin verilebilir limitler

| Döngü | Kademe | Gözlem Periyodu (dk) | Yük (kN) | $\Delta_{ank}$ (mm) | Teo. $\Delta_e$ (mm) | Uzama Oranı (mm) | İzin verilebilir Uzama Oranı (mm) |
|-------|--------|----------------------|----------|---------------------|----------------------|------------------|-----------------------------------|
| 4     | 125    | -                    | 140.63   | 89                  | 84.59                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 97                  |                      | 8.00             | 0.85                              |
|       |        | 15                   |          | 97                  |                      | 8.00             | 1.69                              |

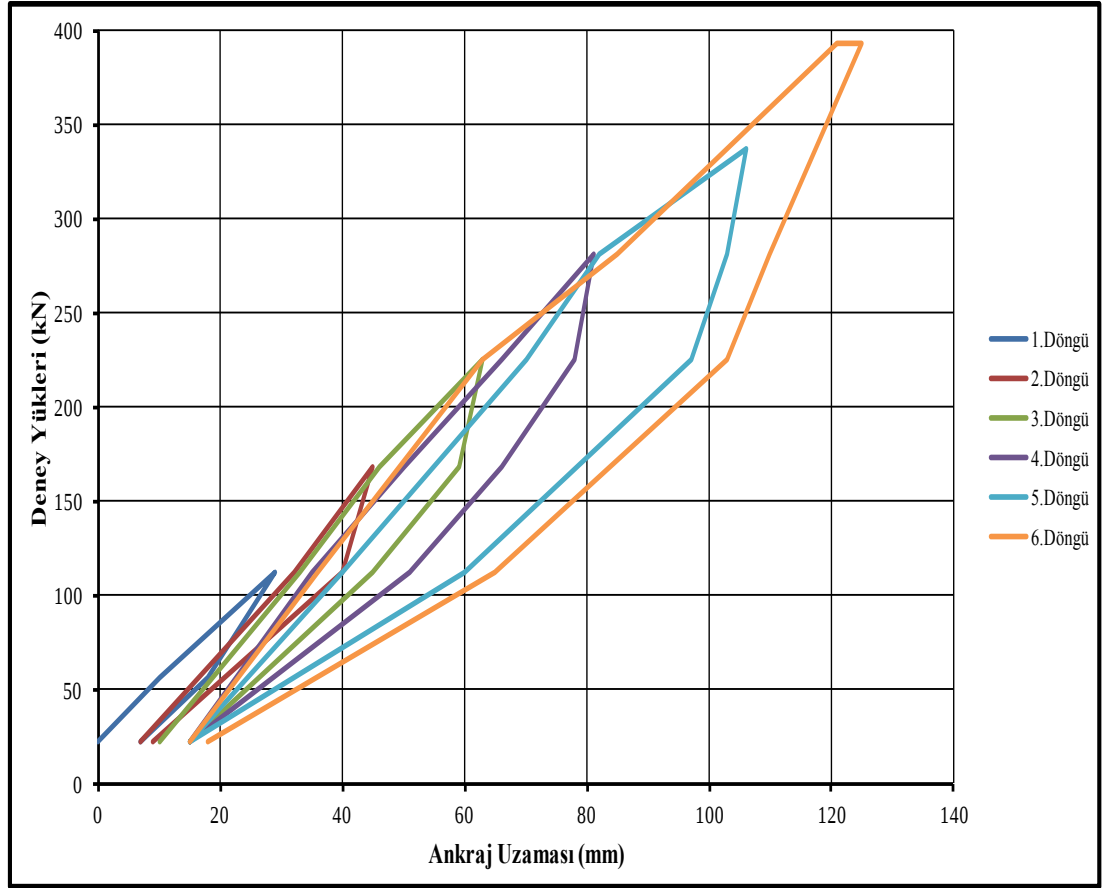
Deney alanı-3 bölgesinde SBMA ve ard enjeksiyon tekniklerinin bir arada kullanılarak imal edilen 7 numaralı deney ankrajının saha performansı incelenmiştir. Projenin tasarım aşamasında belirlenen 450 kN öngerme yüküne göre hazırlanan germe deney programı çerçevesinde incelenen performansa göre, deney ankrajının 450 kN ve 1.25 katı olan 562.5 kN yüklerini kök sıyrılması yaşanmadan zemine aktardığı gözlemlenmiştir. Germe programının 4.döngüsü sırasında uygulanan maksimum yük altında göstermiş olduğu sünme değerlerinin fazla olması sebebi ile, deney sonlandırılmıştır. Bu sebepten dolayı, her bir ünite için ankraj taşıma gücü belirlenmemiştir.

Deney ankrajını oluşturan her bir ünitenin saha performansı BS8081'de belirtilen kriterlere göre incelendiğinde, A hariç diğer tüm ünitelerin sınır şartları içerisinde kaldığı gözlemlenmiştir.

Ankraj delgisi sırasında da tespit edildiği gibi derinliğe göre yumuşak kıvamdan katı kıvama doğru artış göstermesi sebebi ile ünite-A diğer ünitelere göre daha elverişsiz bir zeminde kalması yüksek ihtimaldir. Sabit yük altında deney ankrajını oluşturan her bir ünitenin performansı ayrı ayrı incelenmiştir. Sahada uygulanan deneye göre sadece 1.25 katına denk gelen 4.döngü kademesinde incelenen sabit yük altında uzama performansı, tüm ünitelerin BS8081'de belirtilen şartları sağlamadığı ve limit değerlerini büyük bir ölçüde aştığını göstermektedir. 7 numaralı deney ankrajı her ne kadar deney sırasında uygulanan maksimum yükü (562.5 kN), zemine ankrajı oluşturan ünite köklerinin sıyrılmadan aktarabilmesine rağmen göstermiş olduğu sünme performansı açısından uzun dönemli periyotlarda ciddi yük düşüşleri yaşanmasına sebep olacağı görülmektedir.

#### **6.6.6 Deney ankrajı-15 (Alan-3)**

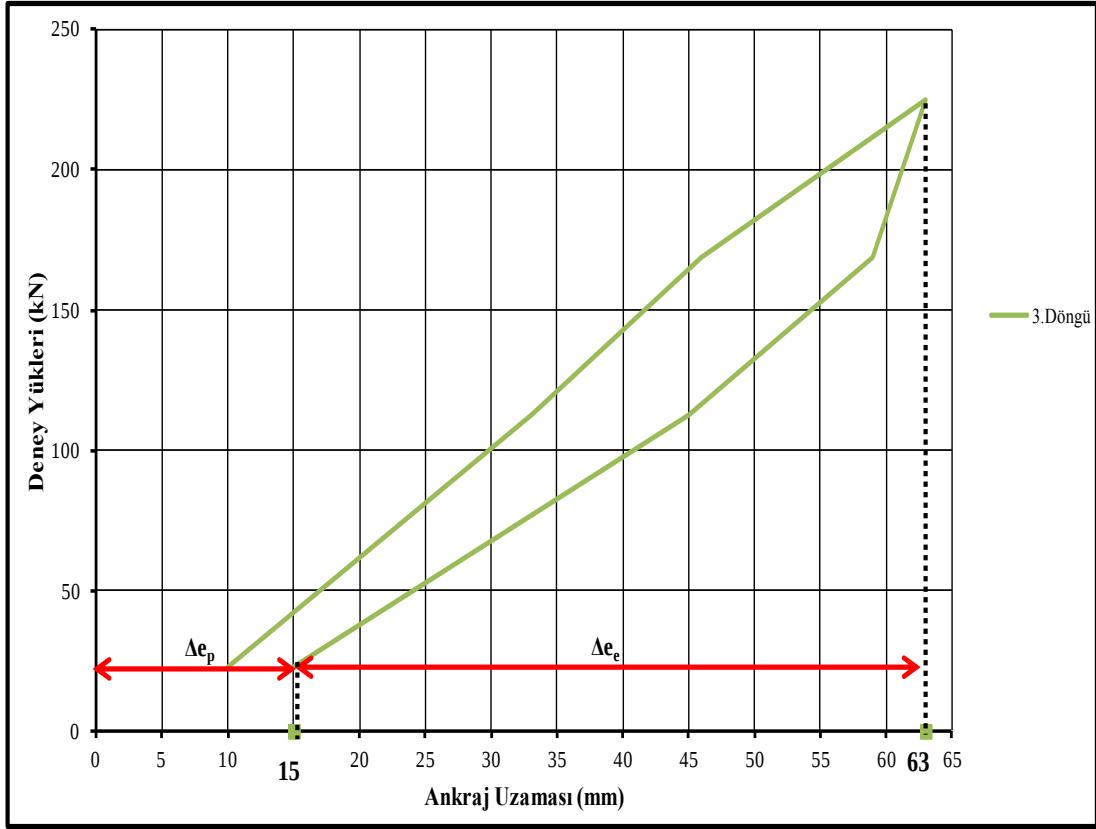
Kök çalışma mekanizmasının SBMA tekniğine dayandığı ve imalatı sırasında ard enjeksiyon uygulamasının kullanıldığı 15 numaralı deney ankrajının germe deneyi 6 döngüde gerçekleşmiştir. 0.5" ve 0.6" halatlarının bir arada kullanıldığı 2 farklı ankraj ünitesinin serbest boyları, eksenel rijitlikleri oranınca ayarlanmıştır. Deney sırasında uygulanan germe yüklerini eşit olarak paylaşan iki ünitenin beraber çalıştığı deney ankrajının uzama-yük ilişkisi şekil 6.111'de verilmiştir.



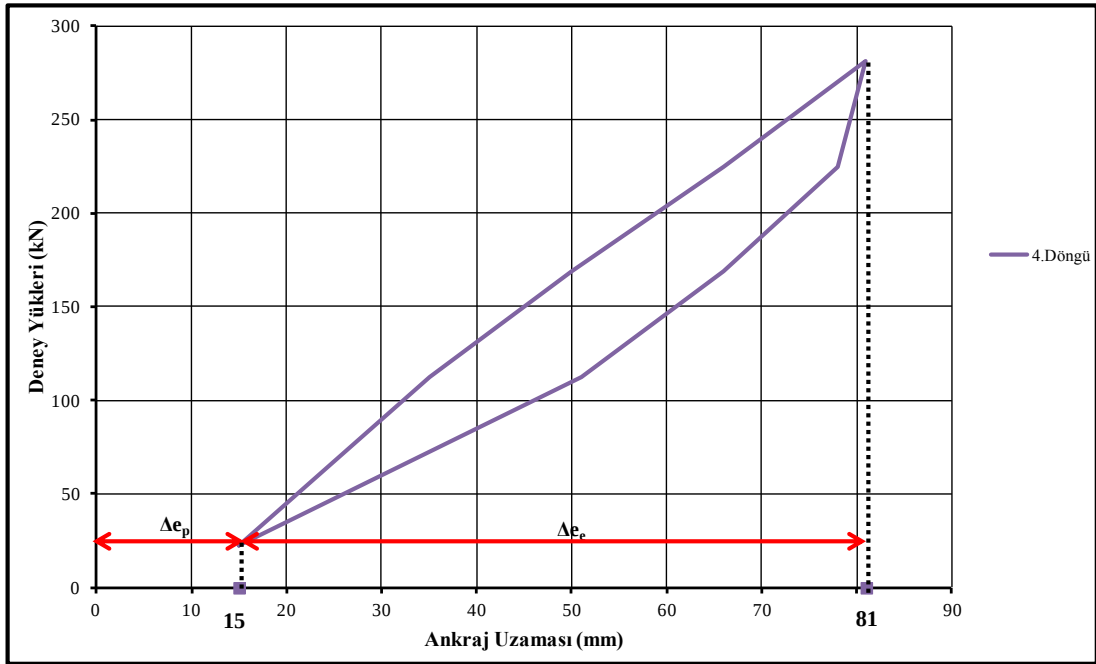
**Şekil 6.111 : Deney ankraşı-15 : yük-uzama grafiğı**

Yük-uzama performansı incelenen 15 numaralı deney ankraşı, ön görülen proje yükü 450 kN ve sırasıyla bu yükün 1.25, 1.5 ve 1.75 katlarına denk gelen germe yüklerini kök sıyrılması gerçekleşmeden yumuşak-orta katı-katı yüksek plastisiteli alüvyonel kil tabakasına aktarmış olduğı gözlemlenmiştir.

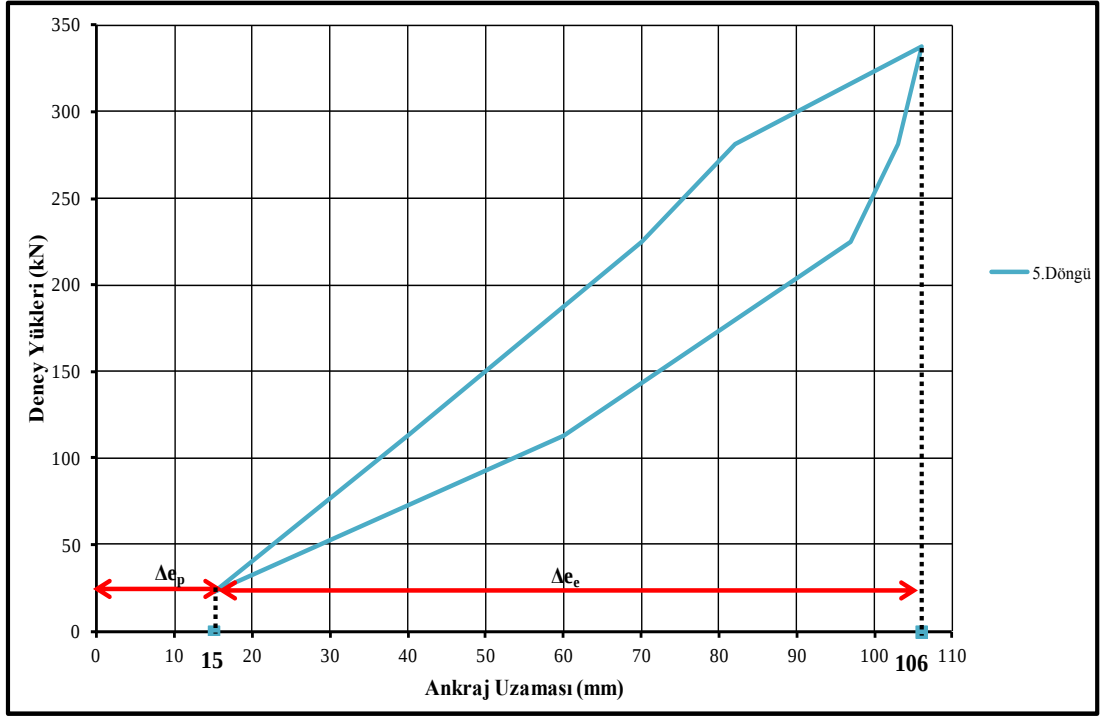
Deney performansına göre kök bölgesinin efektif şekilde kullanıldığı gözüken 15 numaralı deney ankraşı kök bölgesinin etkileşimde olduğı zeminin yüksek plastisiteli ve kohezyonlu olması sebebi ile sünme uzama yapıp yapmadığı gözlemlenmiştir. Proje aşamasında izin verilecek maksimum germe yükünün belirlenmesi amacıyla, germe deneyi sırasında uygulanan her bir döngü aşamasında gözlemlenen ankraj yük-uzama eğrileri 4 farklı grafik üzerinde gösterilmiştir (şekil 6.112, 6.113, 6.114, 6.115). Ön görülen germe yükünün 100%, 125%, 150% ve 175% katları için oluşturan grafikler, deney ankrajını oluşturan her iki ünite için de aynı olup, plastik-elastik uzama ayrımını da içermektedir.



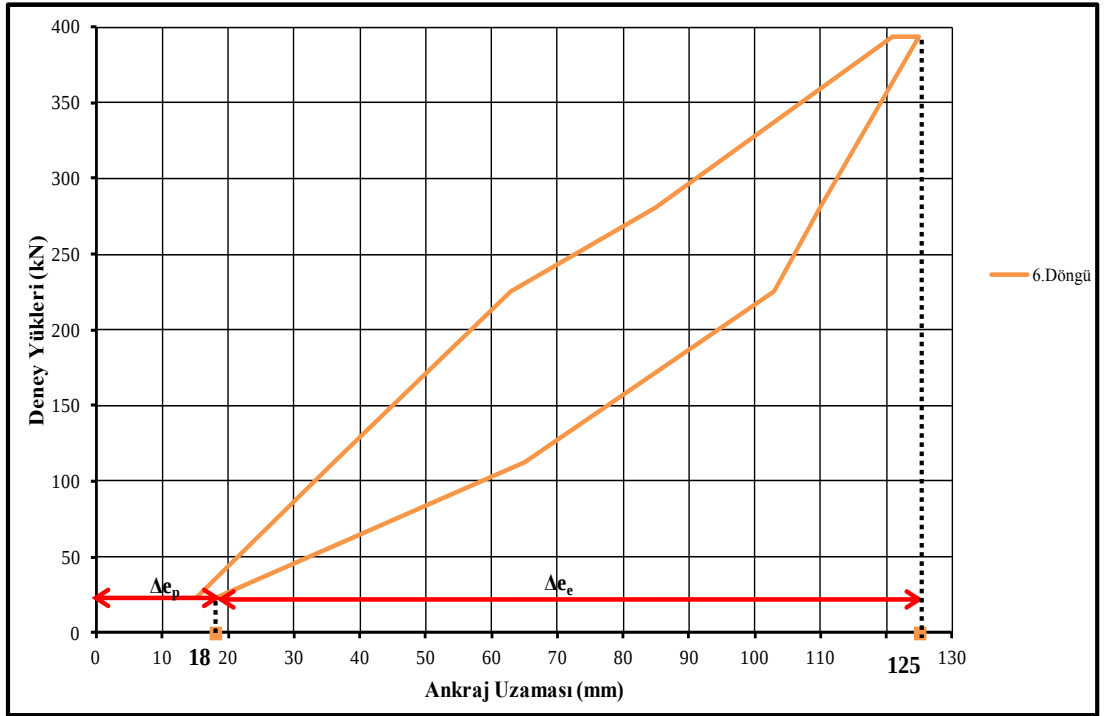
Şekil 6.112 : Deney ankrajı-15 yük uzama grafiği (100% Yük döngüsü)



Şekil 6.113 : Deney ankrajı-15 yük uzama grafiği (125% Yük döngüsü)



Şekil 6.114 : Deney ankrajı-15 yük uzama grafiği (150% Yük döngüsü)



Şekil 6.115 : Deney ankrajı-15 yük uzama grafiği (175% Yük döngüsü)

SBMA prensibine dayanan ve ard enjeksiyon uygulamasını içeren 15 numaralı deney ankrajına proje aşamasında verilebilecek maksimum öngerme yükünün belirlenmesi

için, BS8081:1989'da belirtilen deney kriterleri dikkate alınmıştır. İlgili kriterler aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- Görünen serbest boy hesabı (BS8081:1989, Madde 11.2.9)
- Denklem 6.1 'e göre hesaplanan görünen serbest boy BS8081'e göre aşağıda verilen şartları sağlaması gerekmektedir.

$$\geq \%90 \times \text{Tasarım Serbest Boyu}$$

$$\leq \min. (\%110 \times \text{Tasarım Serbest Boyu}, \text{Tasarım Serbest Boyu} + \%50 \text{ Kök Boyu})$$

- Belirli bir yük kademesi altında zamana bağlı gözlemlenen uzama miktarı veya uzama oranı çizelge 6.5'de belirtilen şartları sağlamak zorundadır (BS8081:1989).

Yukarıda belirtilen maddelerden ilk ikisi, deney sırasında uygulanan tüm döngüler için dikkate alınmış ve döngü sonuçlarına göre değerlendirme yapılmıştır. Deney ankrajını oluşturan ünitelerin farklı serbest boy ve elastik uzama rijitlikleri olması sebebi ile ilgili maddeler iki ünite için dikkate alınmıştır. Sabit yük altında gözlemlenen uzama oranı kriteri ise, ön görülen proje yükü **450 kN** değerinin 1.25, 1.50 ve 1.75 katlarına ulaşıldığı döngülerde dikkate alınmıştır. Deney ankrajını oluşturan iki ünitenin her bir döngü içerisinde ulaşılan maksimum yük kademesinde gösterdiği elastik uzama ve buna bağlı hesaplanan görünen serbest boy hesabı çizelge 6.49 ve 6.50'de verilmiştir.

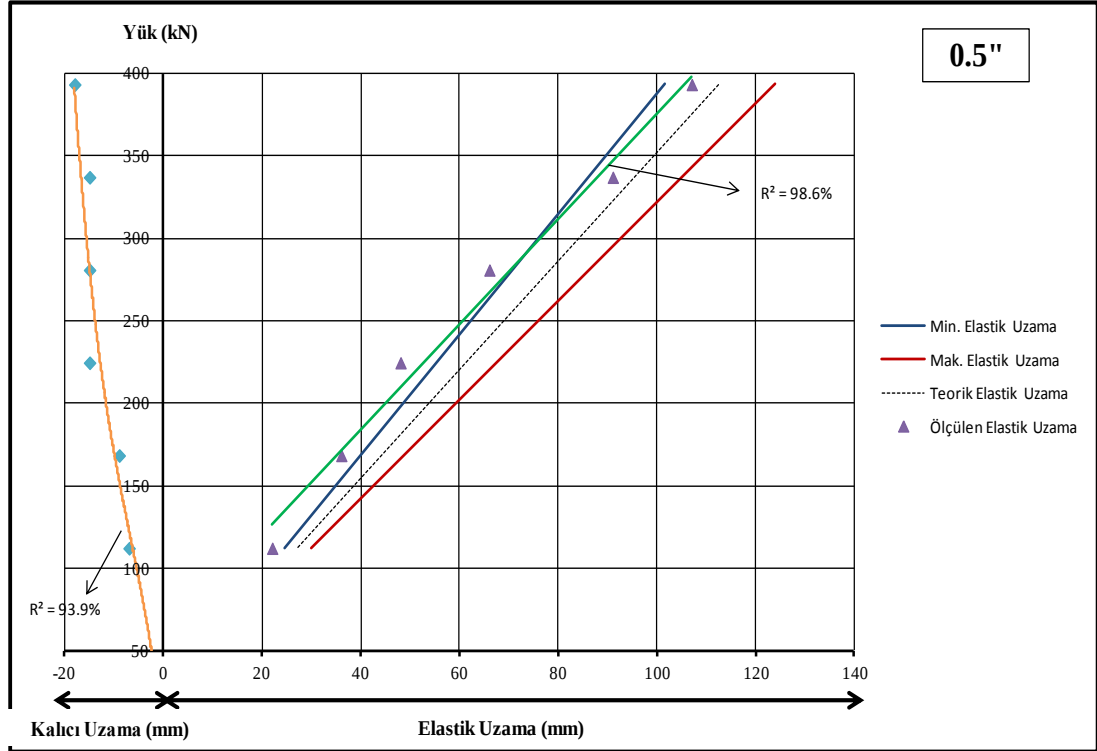
**Çizelge 6.49 : Yük kademelerinde ölçülen elastik ve kalıcı ankraj uzama değerleri (0.5" Halatlı ünite)**

| Döngü | Yük (kN) | $\Delta_{\text{ank}}$ (mm) | $\Delta_p$ (mm) | $\Delta_e$ (mm) | $L_{\text{app}}$ (m) |
|-------|----------|----------------------------|-----------------|-----------------|----------------------|
| 1     | 112.50   | 29                         | 7               | 22              | 9.53                 |
| 2     | 168.75   | 45                         | 9               | 36              | 9.60                 |
| 3     | 225.00   | 63                         | 15              | 48              | 9.24                 |
| 4     | 281.25   | 81                         | 15              | 66              | 9.95                 |
| 5     | 337.50   | 106                        | 15              | 91              | 11.27                |
| 6     | 393.75   | 125                        | 18              | 107             | 11.24                |

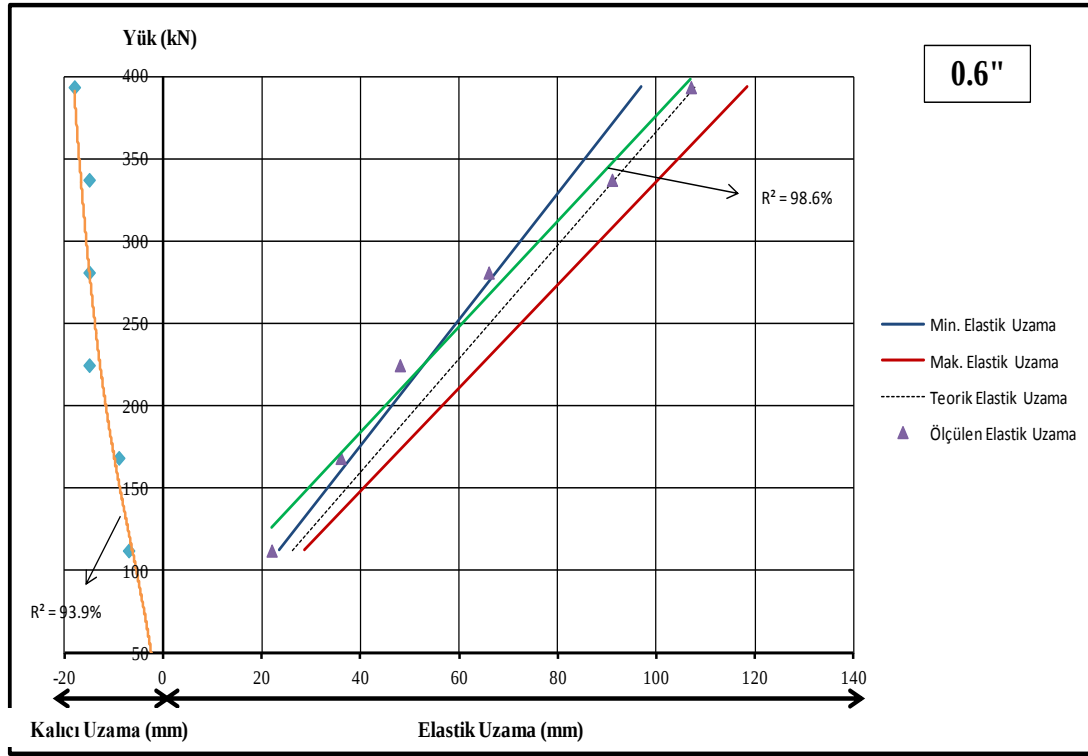
**Çizelge 6.50 :** Yük kademelerinde ölçülen elastik ve kalıcı ankraj uzama değerleri (0.6" Halatlı ünite)

| Döngü | Yük (kN) | $\Delta_{ank}$ (mm) | $\Delta_p$ (mm) | $\Delta_e$ (mm) | $L_{app}$ (m) |
|-------|----------|---------------------|-----------------|-----------------|---------------|
| 1     | 112.50   | 29                  | 7               | 22              | 13.35         |
| 2     | 168.75   | 45                  | 9               | 36              | 13.44         |
| 3     | 225.00   | 63                  | 15              | 48              | 12.94         |
| 4     | 281.25   | 81                  | 15              | 66              | 13.93         |
| 5     | 337.50   | 106                 | 15              | 91              | 15.77         |
| 6     | 393.75   | 125                 | 18              | 107             | 15.74         |

15 numaralı deney ankrajını oluşturan 0.5" ve 0.6" halatlardan oluşan üniteler BS8081'de belirtilen serbest boy kriteri açısından incelenmiştir ve şekil 6.116-117'de verilen grafikler üzerinde özetlenmiştir.



**Şekil 6.116 :** BS8081'de belirtilen kabul kriterlerine göre deney ankrajı-15 için sahada ölçülen elastik uzama değerlerinin kontrolü ve kalıcı uzama-yük ilişkisi



**Şekil 6.117 :** BS8081'de belirtilen kabul kriterlerine göre deney ankrajı-15 için sahada ölçülen elastik uzama değerlerinin kontrolü ve kalıcı uzama-yük ilişkisi

Yukarıdaki verilen grafikler üzerinde gösterilmiş maksimum ve minimum elastik uzama değerleri, her bir yük kademesinde çıkılan maksimum yük değerinin denklem 6.1'de kullanılması ile elde edilmiştir.

Deney ankrajı-15'in kök bölgesinin yük aktaracağı tabakanın yumuşak/orta katı/katı kıvamda yüksek plastisiteli alüvyonel kil olması sebebi ile sabit yük altında ankrajın zaman içerisinde uzama yapması ve dolayısıyla yük kaybı riski bulunmaktadır. Deney programına göre belirlenen ve kritik olarak görülen her bir yük kademesinde ankrajın sabit yük altında uzama yapıp yapmadığı minimum 15 dakika süre içerisinde incelenmiştir. Sabit yük altında, çizelge 6.5'de verilen gözlem periyotlarında belirtilen izin verilebilir uzama oranlarına göre sahada gerçekleştirilen deney sırasında ölçülen ankraj uzama değerleri aşağıda verilen çizelgede özetlenmiştir (çizelge 6.51).

Deney alanı-3 içerisinde imal edilen SBMA tipi deney ankrajlarına alternatif olarak farklı bir imalat yöntemi ile imal edilen 15 numaralı deney ankrajının saha performansı incelenmiştir. İçerisinde yer alan 0.5" ve 0.6" halatların germe deneyi

sırasında aynı uzamayı yapması için serbest boyları ayarlanmıştır. Kök bölgesi yük aktarım mekanizması olarak SBMA prensibine dayanan, deney ankrajı ard enjeksiyon uygulaması ile birlikte ön görülen germe yükü 450 kN ve katlarını (1.25, 1.50, 1.75) başarılı bir şekilde zemine aktardığı tespit edilmiştir. BS8081'de belirtilen serbest boy kriterlerine göre incelendiğinde, deney ankrajının ilk dört döngü içerisinde standartta belirtilen şartların dışında kaldığı gözükmemektedir. Son iki döngü olan 675 kN ve 787.5 kN yük kademelerinde gözlemlenen serbest boy değerlerinin sınır şartları arasında kaldığı gözükmemektedir. Deney ankrajının sabit yük altında göstermiş olduğu uzamalar incelendiğinde, ön görülen proje yükünün 1.25 ve 1.50 katlarına (562.5 kN, 675 kN) denk gelen yük kademelerinde 15 dakika içerisinde herhangi bir uzamanın meydana gelmediği görülmüştür. Bununla birlikte, son döngüde ulaşılan maksimum yük kademesinde (787.5 kN) ankrajda gözlemlenen uzamaların limit değerleri aştığı tespit edilmiştir.

**Çizelge 6.51 :** Farklı yükler altında ankraj-15 için uzama oranları ve izin verilebilir limitler

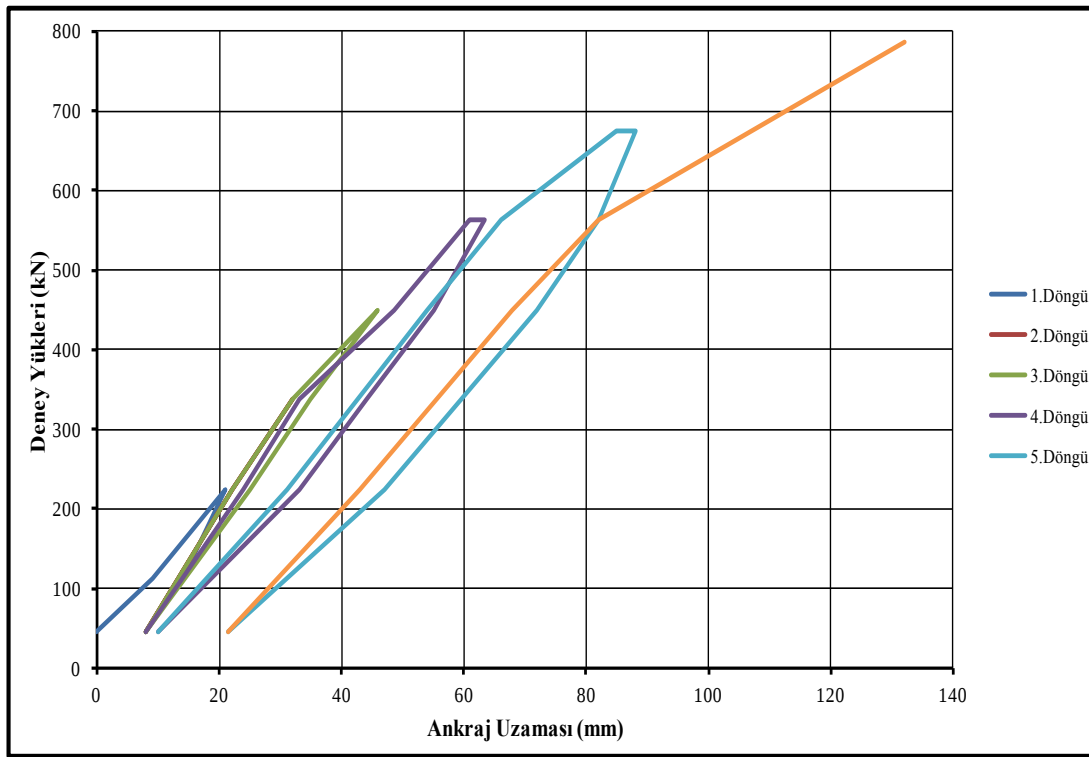
| Döngü | Kademe | Gözlem Periyodu (dk) | Yük (kN) | $\Delta_{ank}$ (mm) | Teo. $\Delta_e$ (mm) | Uzama Oranı (mm) | İzin verilebilir Uzama Oranı (mm) |
|-------|--------|----------------------|----------|---------------------|----------------------|------------------|-----------------------------------|
| 4     | 125    | -                    | 562.5    | 81                  | 78.86                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 81                  |                      | 0.00             | 0.79                              |
|       |        | 15                   |          | 81                  |                      | 0.00             | 1.58                              |
| 5     | 150    | -                    | 675.0    | 106                 | 93.58                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 106                 |                      | 0.00             | 0.94                              |
|       |        | 15                   |          | 106                 |                      | 0.00             | 1.87                              |
| 6     | 175    | -                    | 787.5    | 151                 | 110.28               | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 154                 |                      | 3.00             | 1.10                              |
|       |        | 15                   |          | 155                 |                      | 4.00             | 2.21                              |

#### 6.6.7 Deney ankrajı-16 (Alan-3)

Ard enjeksiyon tekniği ve kök bölgesi çevresinde halat-enjeksiyon ara yüzü direnç kuvvetini arttırmaya yönelik çelik kılçıkların kullanılarak imalat edildiği 16 numaralı deney ankrajına yapılan germe deneyi 5 döngüde tamamlanmıştır. Germe deneyi

sırasında ankraj uzamalarının kayıt altına alındığı değerlere göre oluşturulan uzama-yük ilişkisi şekil 6.118'de verilmiştir.

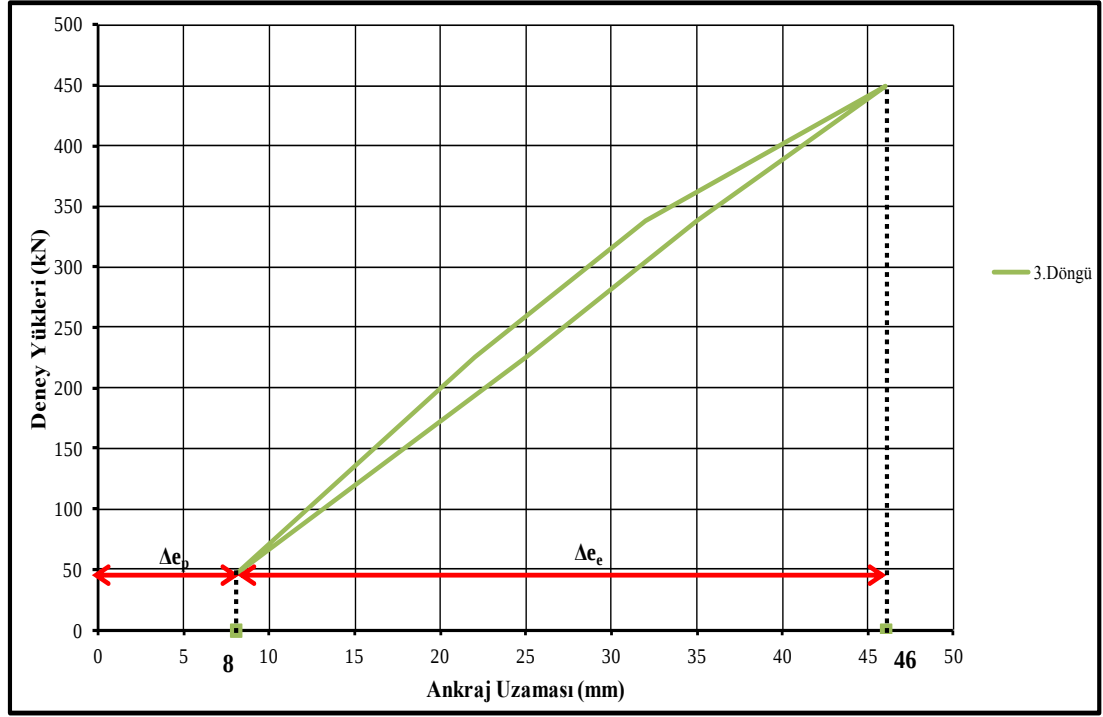
Ard enjeksiyon tekniği ve kök bölgesi çelik kılçık kullanılarak imal edilen 16 numaralı deney ankrajının, ön görülen proje yükü 450 kN ve sırasıyla 1.25 ve 1.50 katları olan germe yüklerini başarılı bir şekilde yumuşak/orta katı/katı kıvamında olan alüvyonel kil tabakasına aktarmış olduğu görülmektedir. Deney programına göre hazırlanan 6. döngünün maksimum yük kademesine (787.5 kN) ulaşıldığında ise ankrajın hızlı bir şekilde uzama yaptığı ve yükün düşüşe geçerek kök bölgesinin sıyrıldığı tespit edilmiştir.



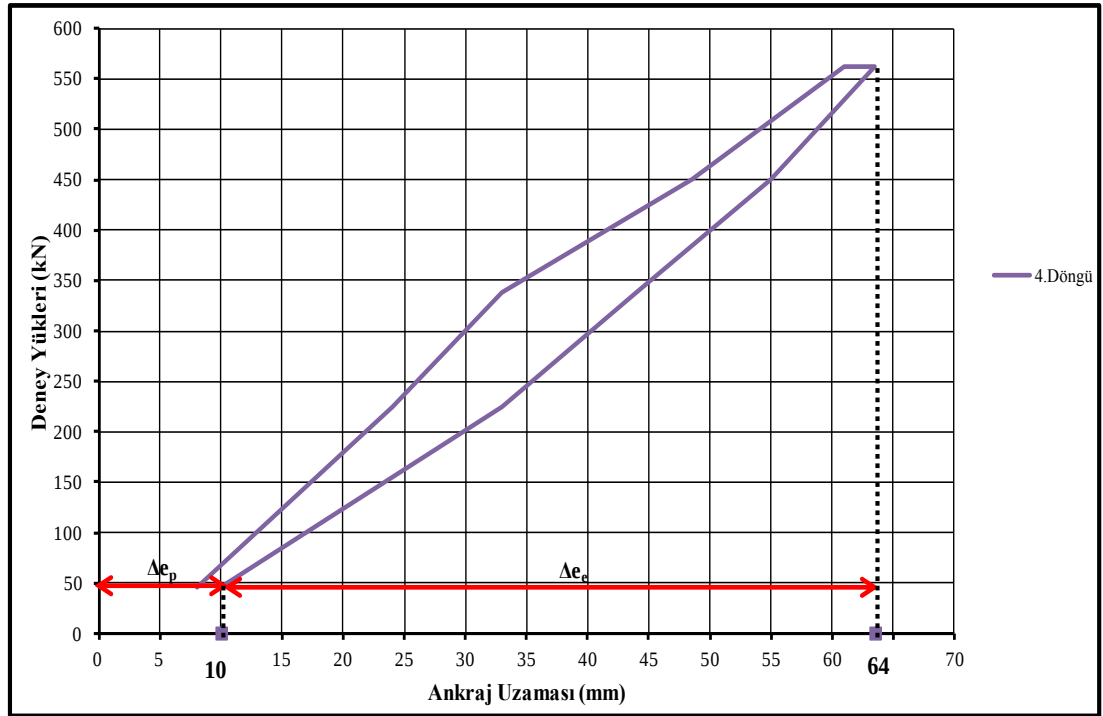
**Şekil 6.118 :** Deney ankrajı-16 : yük-uzama grafiği

Kök bölgesinin etkileşimde olduğu zeminin yüksek plastisite özelliğinde olması ve kohezyon içermesi sebebi ile beklenen sünme kaynaklı uzamaların gözlemi deney sırasında gerçekleştirilmiştir. Kök taşıma gücünün belirlenmesinin yanı sıra, ilgili deney ankrajına proje aşamasında izin verilecek maksimum germe yükünün belirlenmesi amacıyla ön görülen proje yükünün sırasıyla 100%, 125% ve 150% katlarına denk gelen kademelerdeki yük-uzama eğrileri hazırlanmış ve 3 farklı grafikte gösterilmiştir (şekil 6.119, 6.120, 6.121). Hazırlanan grafiklerin içerisine

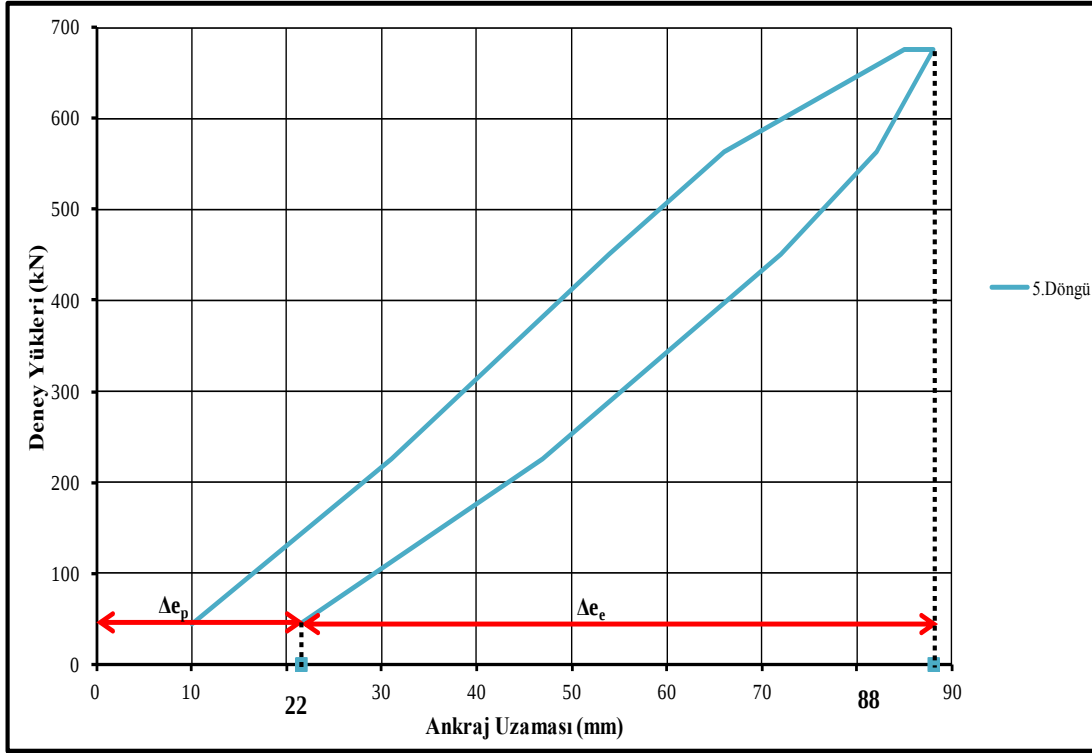
deney sırasında ankrajda gözlemlenen elastik-plastik uzama farkları da dahil edilmiştir.



Şekil 6.119 : Deney ankrajı-16 yük uzama grafiğı (100% Yük döngüsü)



Şekil 6.120 : Deney ankrajı-16 yük uzama grafiğı (125% Yük döngüsü)



**Şekil 6.121 :** Deney ankrajı-6 yük uzama grafiği (150% Yük döngüsü)

Ard enjeksiyon tekniği ile birlikte kök bölgesi çelik kılıç aparatı kullanılan deney ankrajına, proje aşamasında verilebilecek maksimum öngerme yükünün belirlenmesi için, BS8081:1989'da belirtilen deney kriterleri dikkate alınmıştır. İlgili kriterler aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- Görünen serbest boy hesabı (BS8081:1989, Madde 11.2.9)
- Denklem 6.1 'e göre hesaplanan görünen serbest boy BS8081'e göre aşağıda verilen şartları sağlaması gerekmektedir.

$$\geq \%90 \times \text{Tasarım Serbest Boyu}$$

$$\leq \min. (\%110 \times \text{Tasarım Serbest Boyu}, \text{Tasarım Serbest Boyu} + \%50 \text{ Kök Boyu})$$

- Belirli bir yük kademesi altında zamana bağlı gözlemlenen uzama miktarı veya uzama oranı çizelge 6.5'de belirtilen şartları sağlamak zorundadır (BS8081:1989).

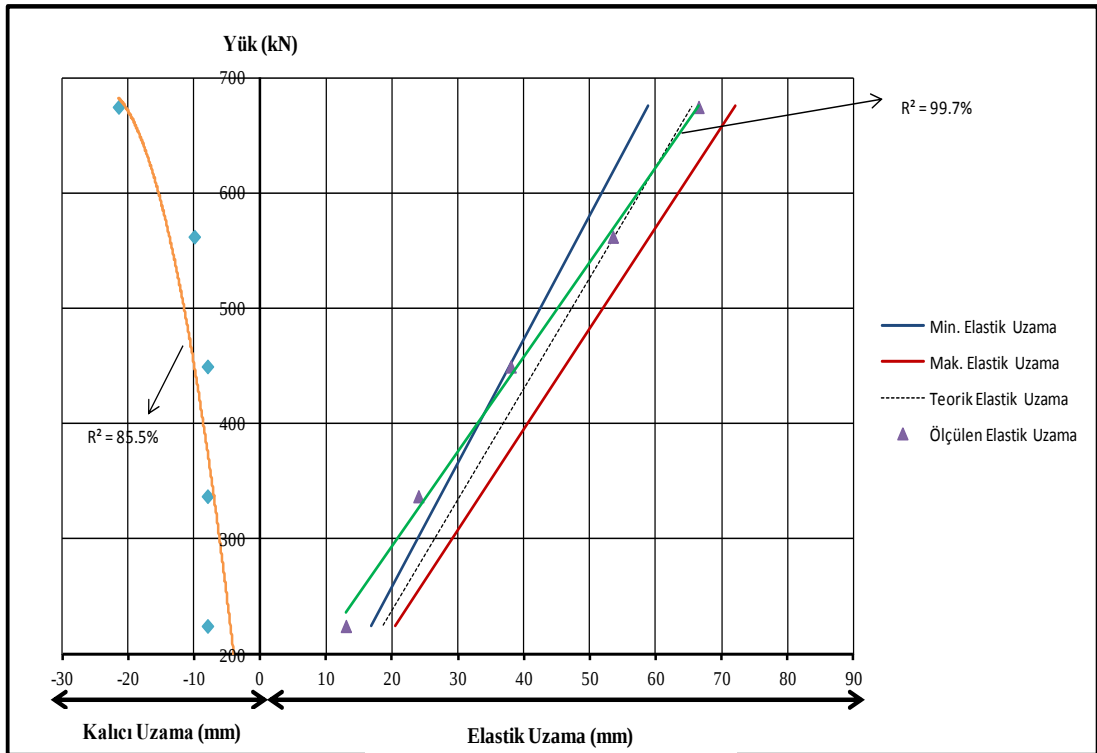
Yukarıda belirtilen maddelerden ilk ikisi, deney sırasında uygulanan tüm döngülerde elde edilen sonuçların dikkate alınması ile birlikte değerlendirilmiştir. Sabit yük altında gözlemlenen uzama oranı kriteri ise, ön görülen proje yükü **450 kN** değerinin

sırasıyla 1.25, ve 1.50 katlarına denk gelen deney yüklerinin uygulandığı döngüler içerisinde dikkate alınmıştır. Birinci maddeye göre, her bir döngü içerisinde ulaşılan maksimum yük kademesinde ankrajda gözlemlenen elastik uzama ve buna bağlı hesaplanan görünen serbest boy çizelge 6.52'de verilmiştir.

**Çizelge 6.52 :** Yük kademelerinde ölçülen elastik ve kalıcı ankraj uzama değerleri

| Döngü | Yük (kN) | $\Delta_{ank}$ (mm) | $\Delta_p$ (mm) | $\Delta_e$ (mm) | $L_{app}$ (m) |
|-------|----------|---------------------|-----------------|-----------------|---------------|
| 1     | 225.00   | 21                  | 8               | 13              | 7.89          |
| 2     | 337.50   | 32                  | 8               | 24              | 8.96          |
| 3     | 450.00   | 46                  | 8               | 38              | 10.25         |
| 4     | 562.50   | 64                  | 10              | 54              | 11.29         |
| 5     | 675.00   | 88                  | 22              | 66              | 11.53         |

16 numaralı deney ankrajının germe yükleri altında göstermiş olduğu uzamalar BS8081'de belirtilen serbest boy kriteri açısından incelenmiş ve şekil 6.122'de verilen grafik üzerinde özetlenmiştir.



**Şekil 6.122 :** BS8081'de belirtilen kabul kriterlerine göre deney ankrajı-16 için sahada ölçülen elastik uzama değerlerinin kontrolü ve kalıcı uzama-yük ilişkisi

Şekil 6.122'de verilen grafik üzerinde gösterilmiş maksimum ve minimum elastik uzama değerleri, her bir yük kademesinde çıkılan maksimum yük değerinin denklem 6.1'de kullanılması ile elde edilmiştir.

Deney ankrajı-16'nın kök bölgesinin yük aktaracağı tabakanın yumuşak/orta katı/katı kıvamda yüksek plastisiteli alüvyonel kil olması sebebi ile sabit yük altında ankrajda uzamaların meydana gelmesi ve dolayısıyla yük kaybı riski bulunmaktadır. Deney programına göre belirlenen ve kritik olarak görülen her bir yük kademesinde ankrajda sabit yük altında uzama yapıp yapmadığı minimum 15 dakika süre içerisinde incelenmiştir. Sabit yük altında, çizelge 6.5'de verilen gözlem periyotlarında belirtilen izin verilebilir uzama oranlarına göre sahada gerçekleştirilen deney sırasında ölçülen uzama değerleri aşağıda verilen tablo içerisinde gösterilmiştir (çizelge 6.53).

**Çizelge 6.53 : Farklı yükler altında ankraj-16 için uzama oranları ve izin verilebilir limitler**

| Döngü | Kademe | Gözlem Periyodu (dk) | Yük (kN) | $\Delta_{ank}$ (mm) | Teo. $\Delta_e$ (mm) | Uzama Oranı (mm) | İzin verilebilir Uzama Oranı (mm) |
|-------|--------|----------------------|----------|---------------------|----------------------|------------------|-----------------------------------|
| 4     | 125    | -                    | 562.5    | 61                  | 53.79                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 61                  |                      | 0.00             | 0.54                              |
|       |        | 15                   |          | 62                  |                      | 1.00             | 1.08                              |
|       |        | 50                   |          | 64                  |                      | 2.50             | 1.61                              |
| 5     | 150    | -                    | 675.0    | 85                  | 65.48                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 87                  |                      | 2.00             | 0.65                              |
|       |        | 15                   |          | 88                  |                      | 3.00             | 1.31                              |

Deney alanı-3 bölgesinde ard enjeksiyon tekniği (Tube a Manchette) ve kök bölgesinde halat-enjeksiyon direncini arttırmaya yönelik kullanılan çelik kılçık aparatlar ile imal edilen 16 numaralı deney ankrajının saha performansı incelenmiştir. Projenin tasarım aşamasında belirlenen 450 kN öngerme yüküne göre hazırlanan germe deney programı çerçevesinde incelenen bu performansa göre,

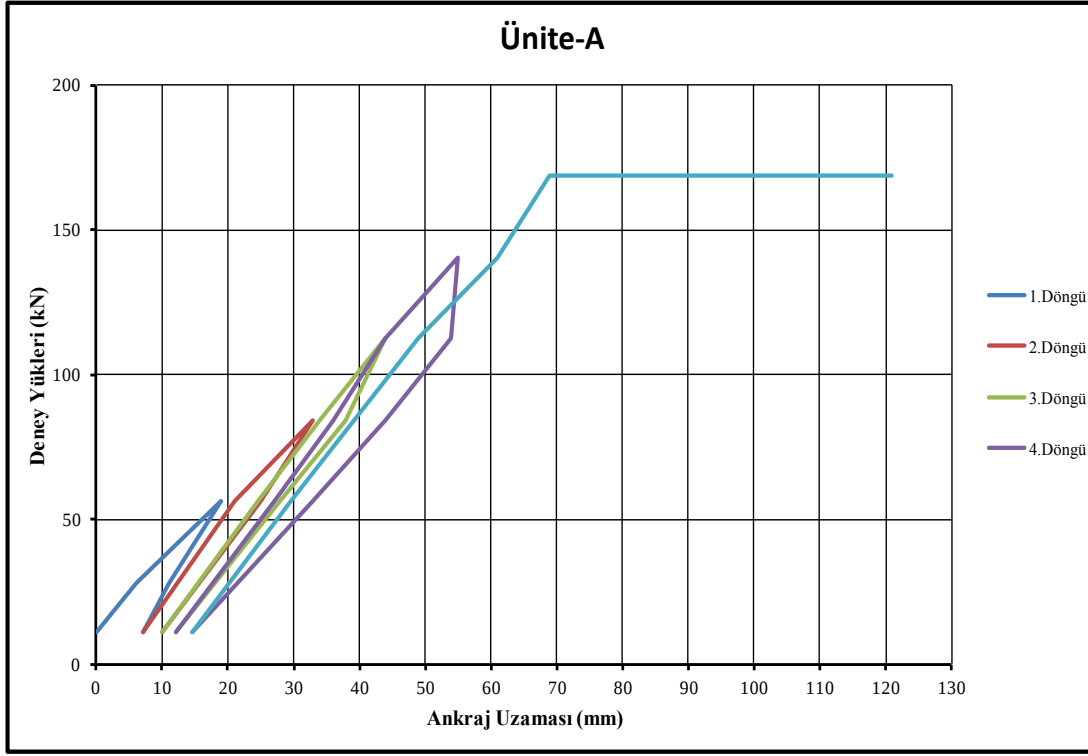
deney ankrajın ilgili öngerme yükünün 1.50 katı olan 675 kN yükünü başarılı bir şekilde kök taşıma gücü yenilmeden zemine aktarabildiği gözlemlenmiştir. Kök taşıma gücünün 1.75 katına denk gelen 787.5 kN yük altında yenildiği gözlemlenen deney ankrajının BS8081'de belirtilen serbest boy şartı açısından da değerlendirilmiştir. Proje yükü 450 kN ve üzeri yükleri altında gözlemlenen uzamalara göre hesaplanan görünen serbest boy, sınır şartları arasında kalmıştır. Deney ankrajının sabit yük altında göstermiş olduğu uzamaların, proje yükünün 1.25 katına denk gelen 562.5 kN altında 5 ve 15. dakikalarda sağlamasına rağmen 50.dakika okumasında sağlamadığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, 5.döngüde deney ankrajına uygulanan 675 kN altında ise uzamaların gözlemlendiği periyotların hiçbirinde kriterleri sağlamamıştır.

#### 6.6.8 Deney ankrajı-19 (Alan-3)

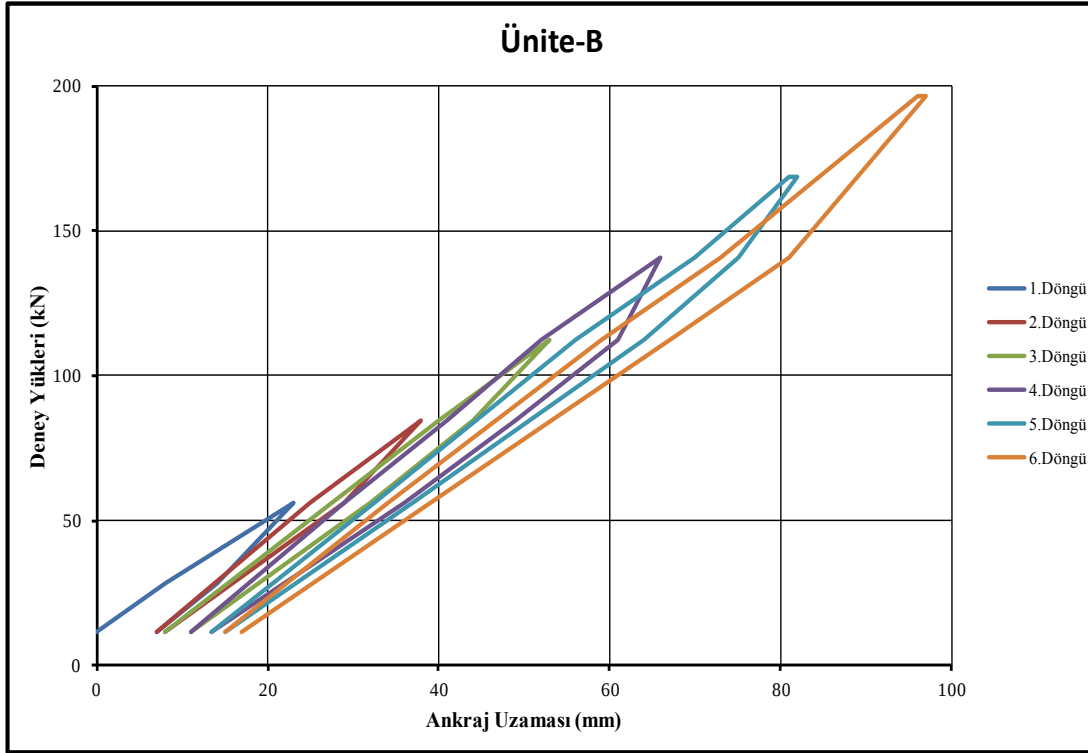
SBMA tekniği kullanılarak imal edilen 19 numaralı deney ankrajı 4 ayrı üniteden oluşmaktadır. Çizelge 6.54'te serbest boy, kök boyu, halat sayısı ve tipi verilen ünitelere, birbirinden bağımsız 4 adet hidrolik kriko kullanılarak germe deneyi yapılmıştır. SBMA tekniğinin yanı sıra, ard enjeksiyon (Tube a Manchette) tekniği kullanılarak kök taşıma gücünün artırılması hedeflenen 19 numaralı deney ankrajına uygulanan germe deneyi sonuçlarına göre ankrajı oluşturan her bir ünitenin uzama yük ilişkisi grafik üzerinde gösterilmiştir (şekil 6.123, 6.124, 6.125 ve 6.126).

**Çizelge 6.54 : Deney ankrajı-19 ünite özellikleri**

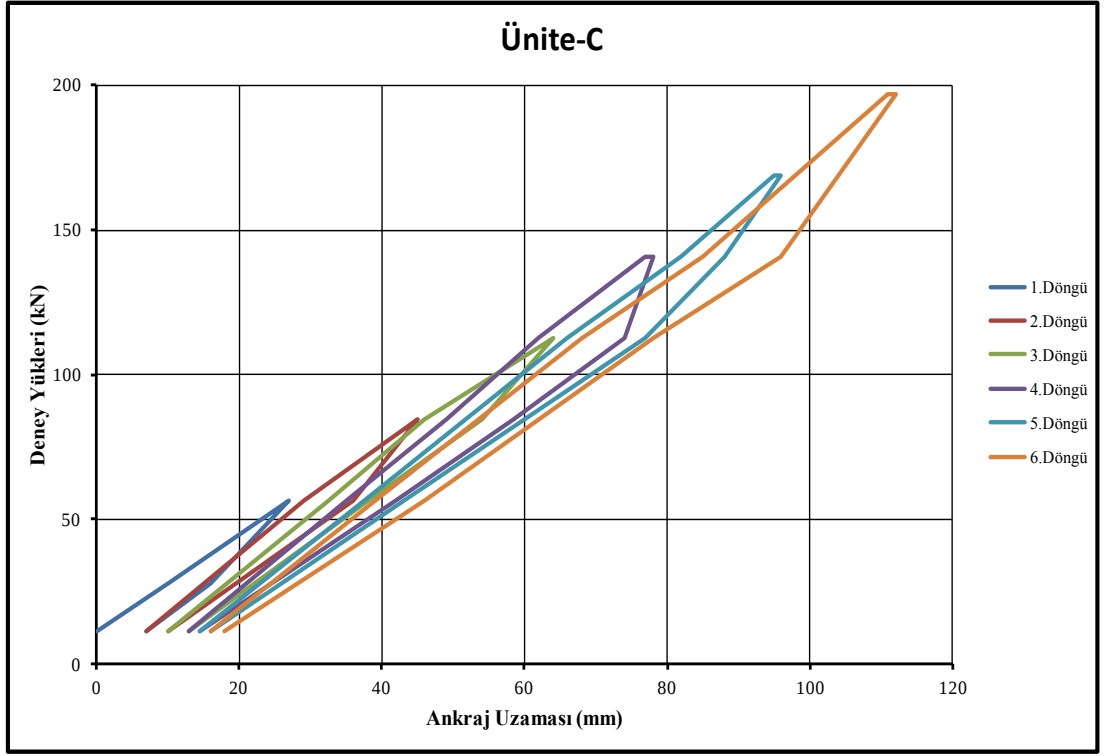
| Ünite                                                                          | Halat Tipi ve Sayısı | Kuyu İçerisinde Kalan Serbest Bölge Boyu (m) | Germe Payı (m) | L <sub>serbest</sub> (m)* | L <sub>kök</sub> (m) |
|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|
| A                                                                              | 1x0.6"               | 7.5                                          | 1.35           | 8.85                      | 2.5                  |
| B                                                                              | 1x0.6"               | 10.5                                         | 1.35           | 11.85                     | 2.5                  |
| C                                                                              | 1x0.6"               | 13.5                                         | 1.35           | 14.85                     | 2.5                  |
| D                                                                              | 1x0.6"               | 16.5                                         | 1.35           | 17.85                     | 2.5                  |
| * L <sub>serbest</sub> = Kuyu İçerisinde Kalan Serbest Bölge Boyu + Germe Payı |                      |                                              |                |                           |                      |



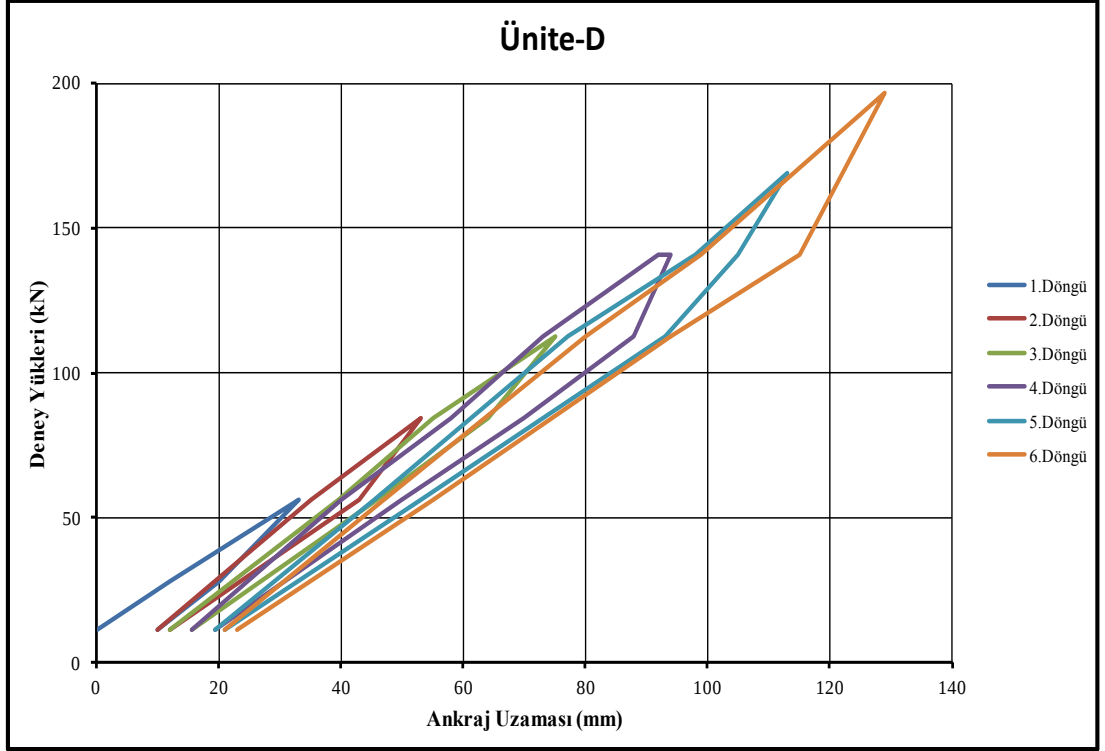
Şekil 6.123 : Deney ankrajı-19 : yük-uzama grafiği (Ünite-A)



Şekil 6.124 : Deney ankrajı-19 : yük-uzama grafiği (Ünite-B)



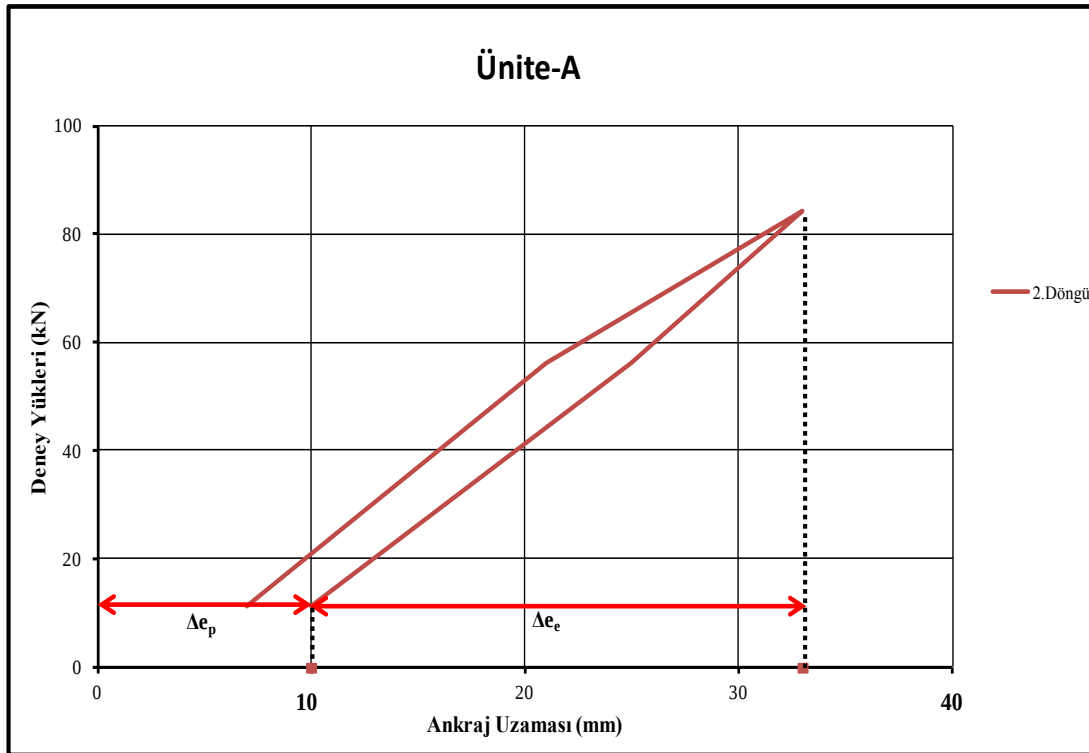
**Şekil 6.125 : Deney ankrajı-19 : yük-uzama grafiği (Ünite-C)**



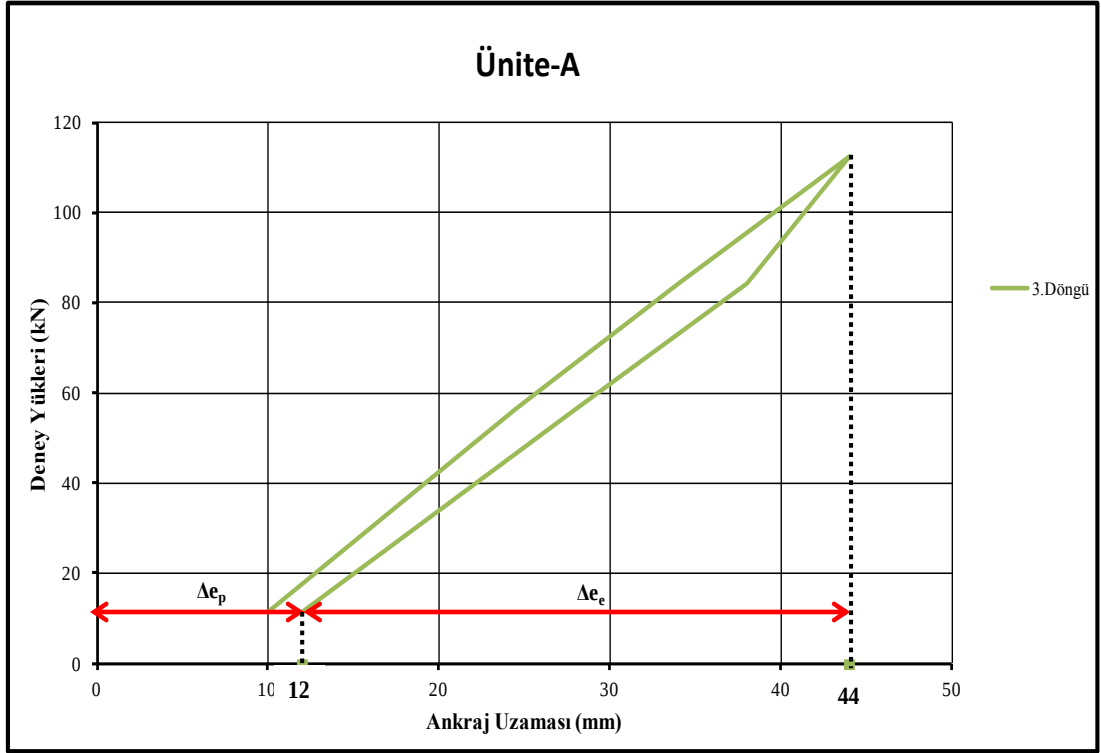
**Şekil 6.126 : Deney ankrajı-19 : yük-uzama grafiği (Ünite-D)**

SBMA ve ard enjeksiyon tekniklerinin birlikte kullanılması ile imal edilen 19 numaralı deney ankrajını oluşturan ünitelerden biri olan A ünitesi, 5.döngüde ulaşılan maksimum yük 168.75 kN altında zeminden sıyrıldığı tespit edilmiştir. Deney sırasında 4 farklı hidrolik krikonun kullanılmasının olumlu olarak getirdiği yanlardan biri de, A ünitesinde sıyrılma yaşanmasına rağmen diğer ünitelerin gerilmesine devam edilmiş olmasıdır. 19 numaralı deney ankrajını oluşturan diğer üniteler tüm döngüler içerisinde çıkılan maksimum germe yüklerini başarılı bir şekilde yumuşak-orta katı-katı kıvamındaki alüvyonel kil tabakasına aktarmıştır.

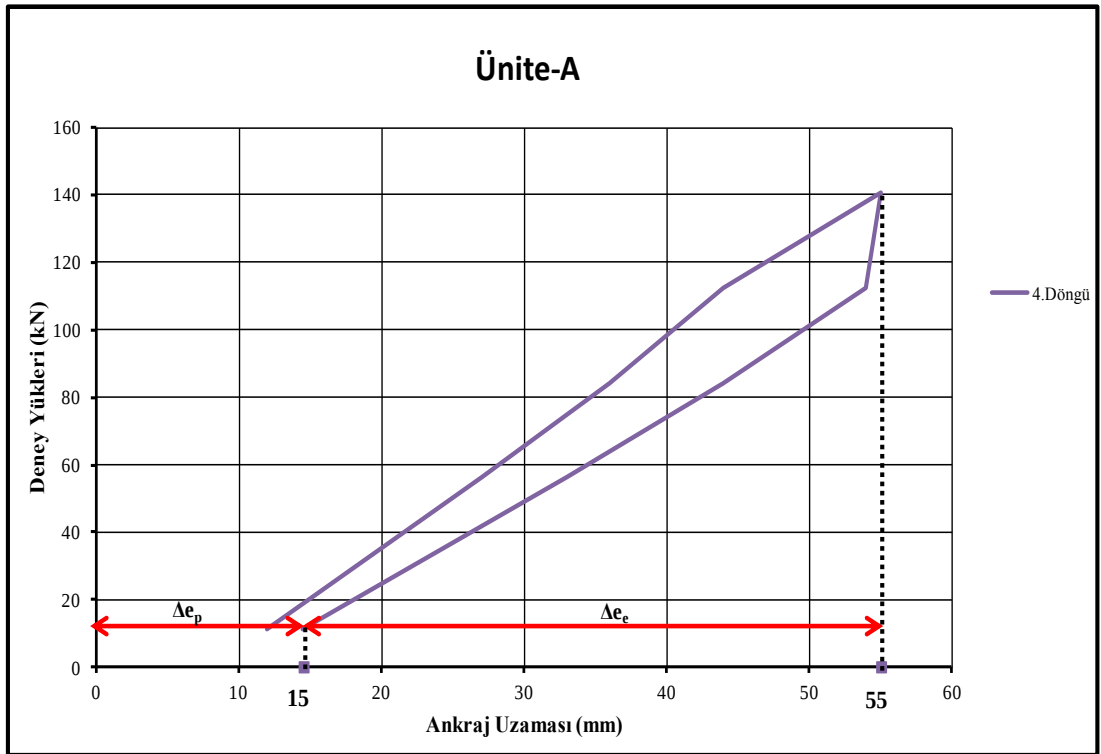
Yapılan saha deneyleri ile birlikte ankraj kök taşıma gücü belirlenmesinin yanı sıra proje aşamasında uygulanacak ankrajlar için maksimum öngerme yüklerinin de belirlenmesi amaçlanmıştır. Maksimum öngerme yüklerinin belirlenmesi için, deney ankrajını oluşturan ünitelerden A tipi ön görülen proje yükünün 75%, 100%, 125% katları, diğer tip üniteler ise 125%, 150% ve 175% katlarına denk gelen kademelerdeki yük uzama eğrileri hazırlanarak grafiklerde gösterilmiştir (şekil 6.127, 6.128, ..., 6.139). Hazırlanan grafiklerin içerisine deney sırasında ankrajda gözlemlenen elastik-plastik uzama farkları da dahil edilmiştir.



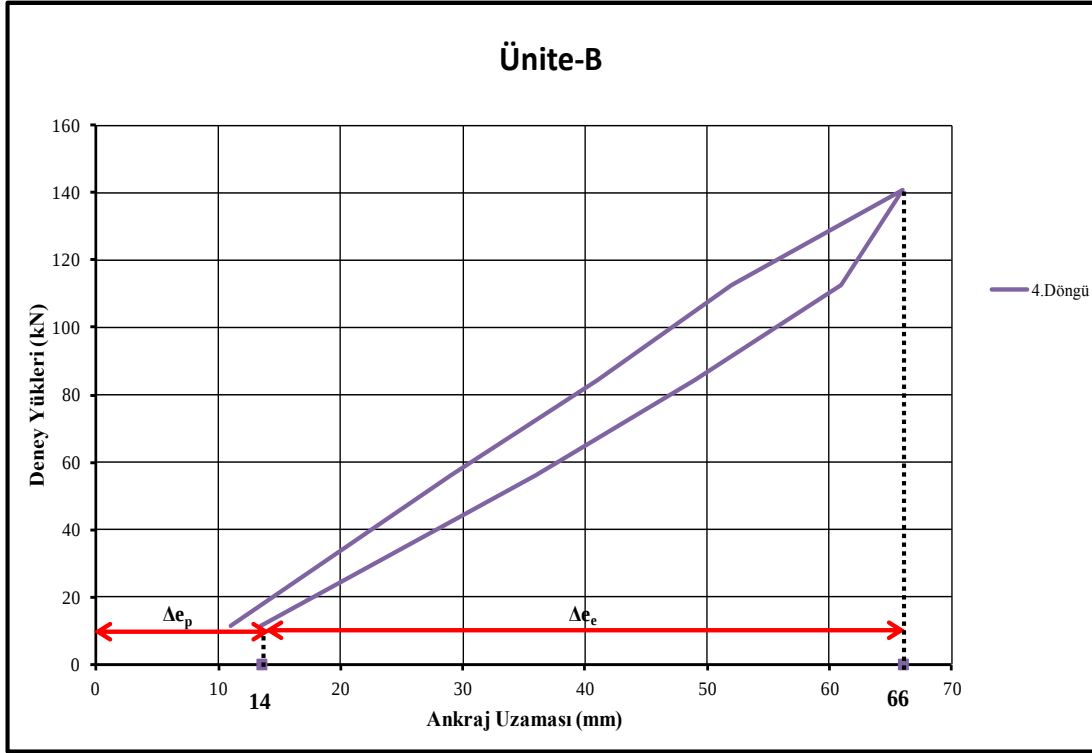
Şekil 6.127 : : Deney ankrajı-19: yük uzama grafiği (75% Yük döngüsü-Ünite A)



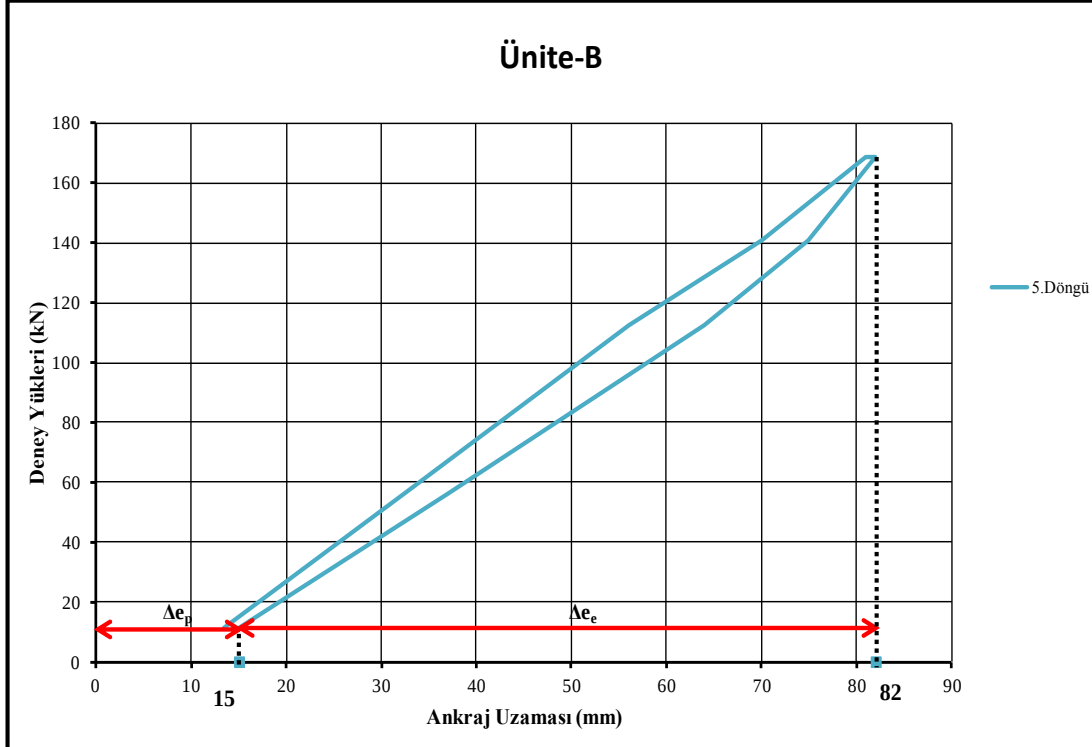
**Şekil 6.128 :** Deney ankrajı-19 yük uzama grafiği (100% Yük Döngüsü-Ünite A)



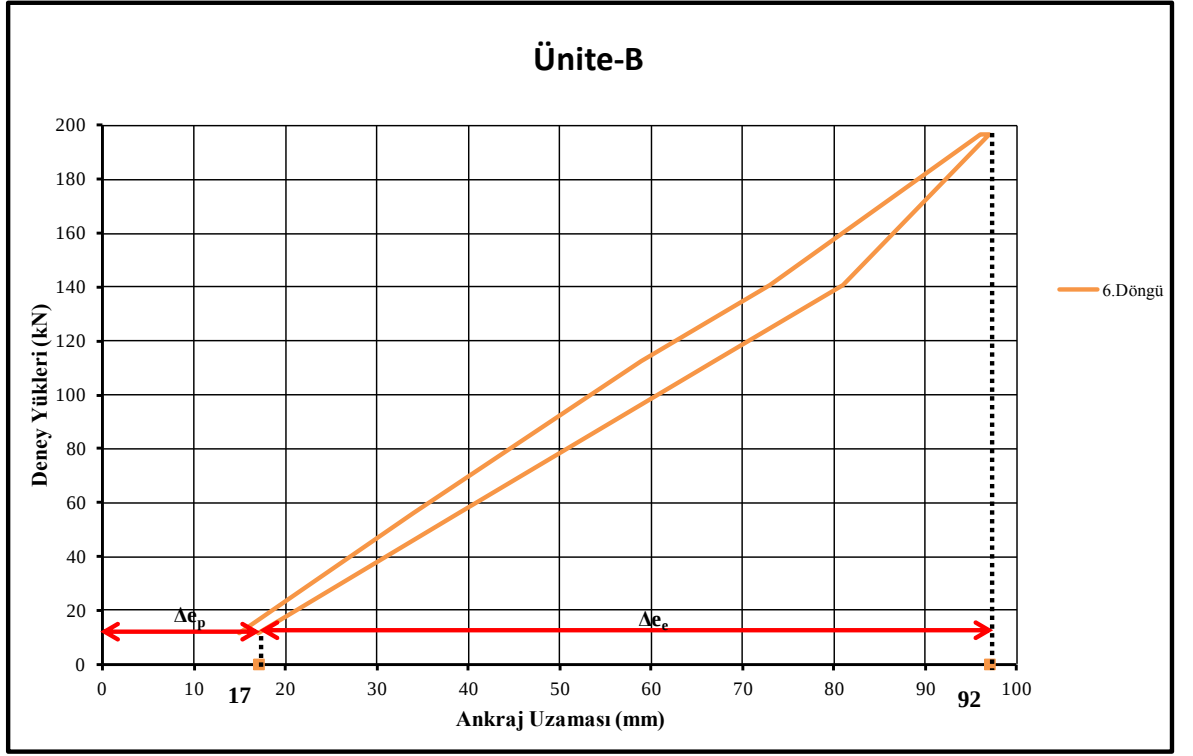
**Şekil 6.129 :** Deney ankrajı-19 yük uzama grafiği (125% Yük döngüsü- Ünite A)



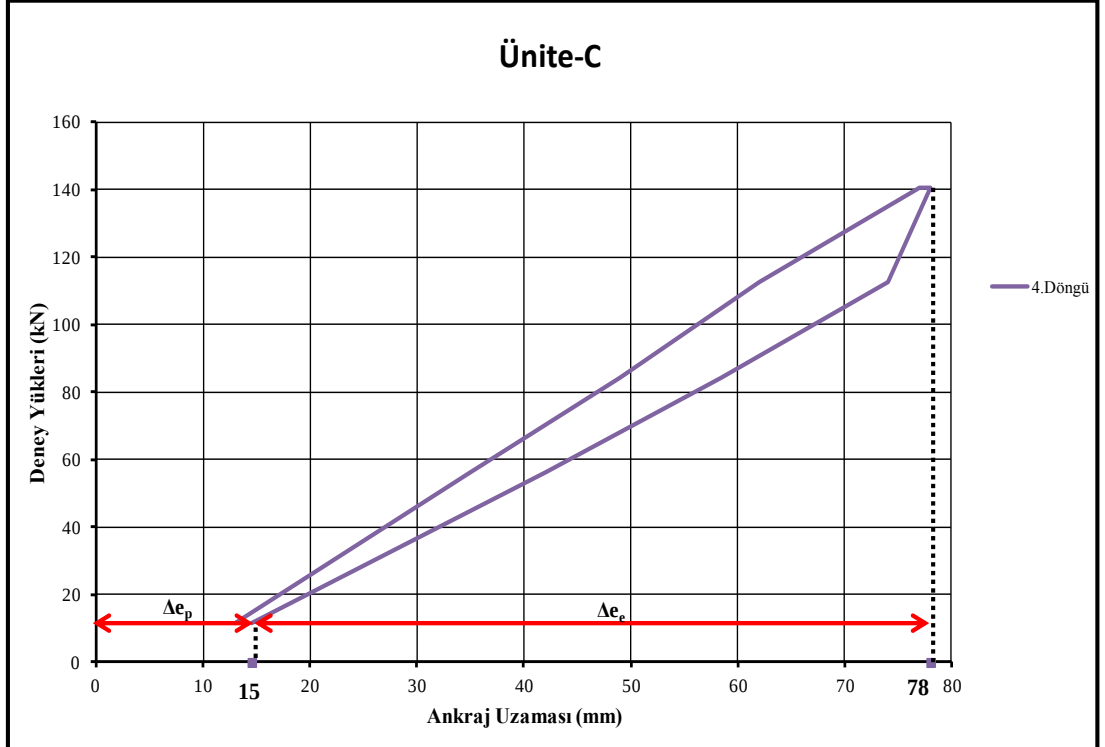
**Şekil 6.130 :** Deney ankrajı-19 yük uzama grafiği (125% Yük döngüsü-Ünite B)



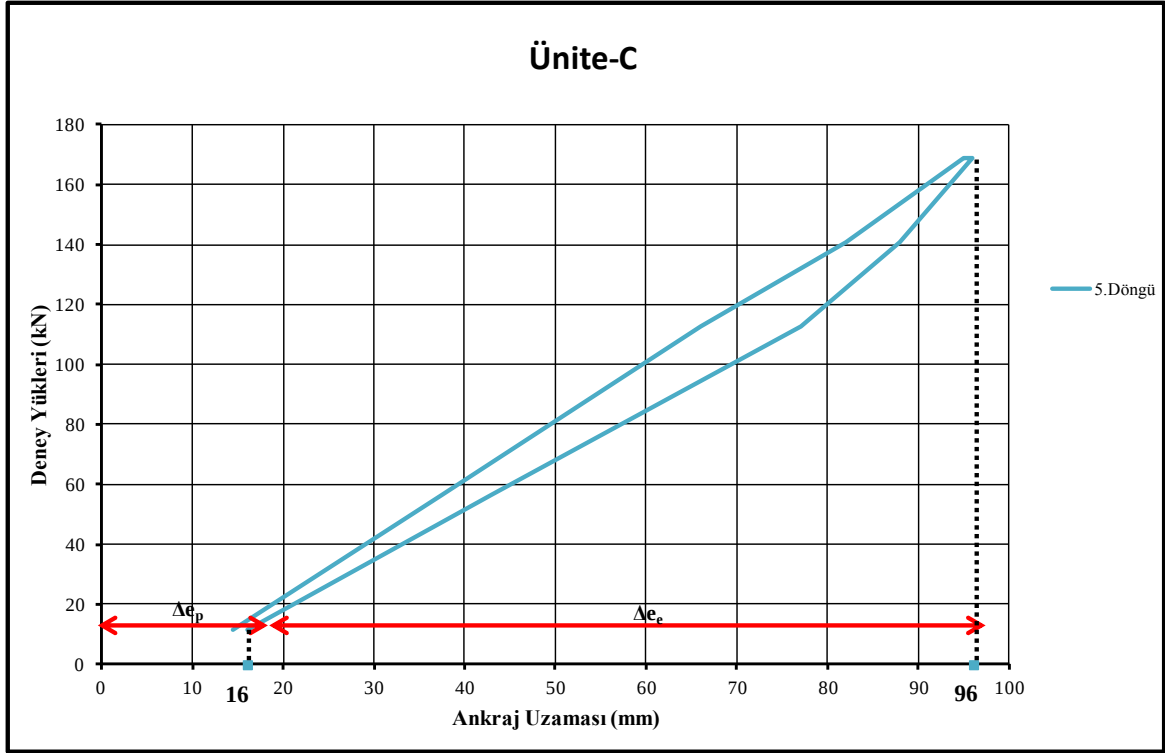
**Şekil 6.131 :** Deney ankrajı-19 yük uzama grafiği (150% Yük döngüsü-Ünite B)



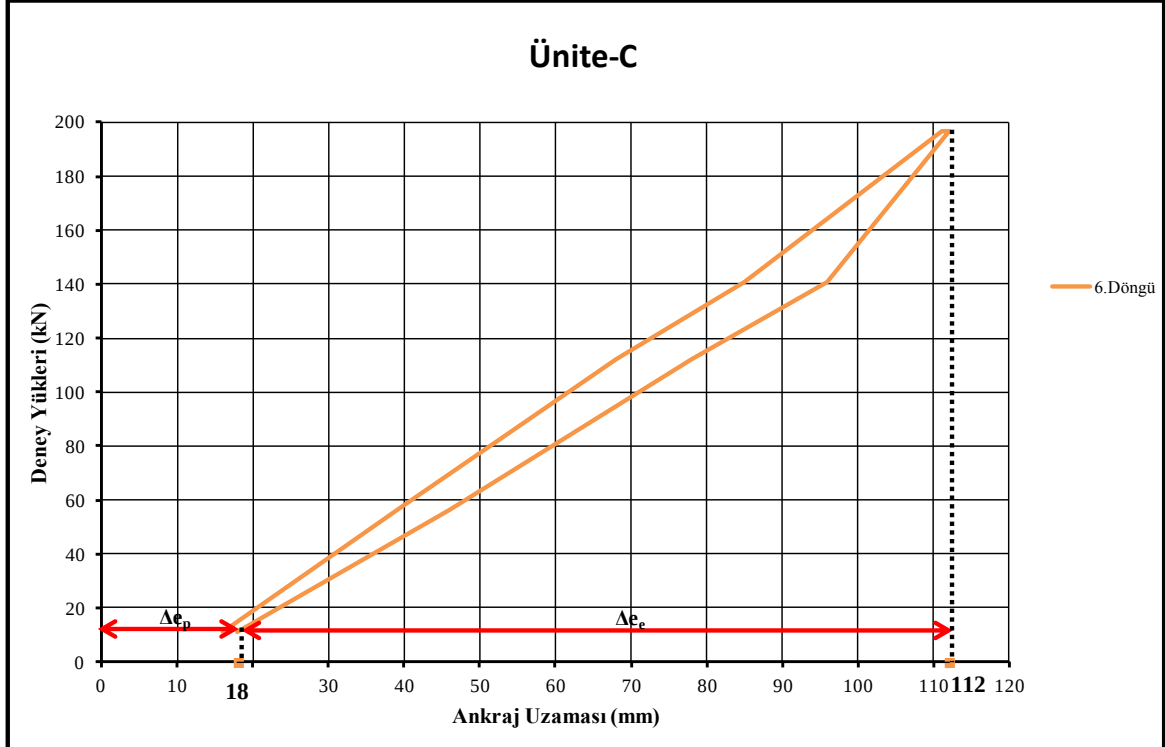
**Şekil 6.132 :** Deney ankrajı-19 yük uzama grafiği (175% Yük döngüsü-Ünite B)



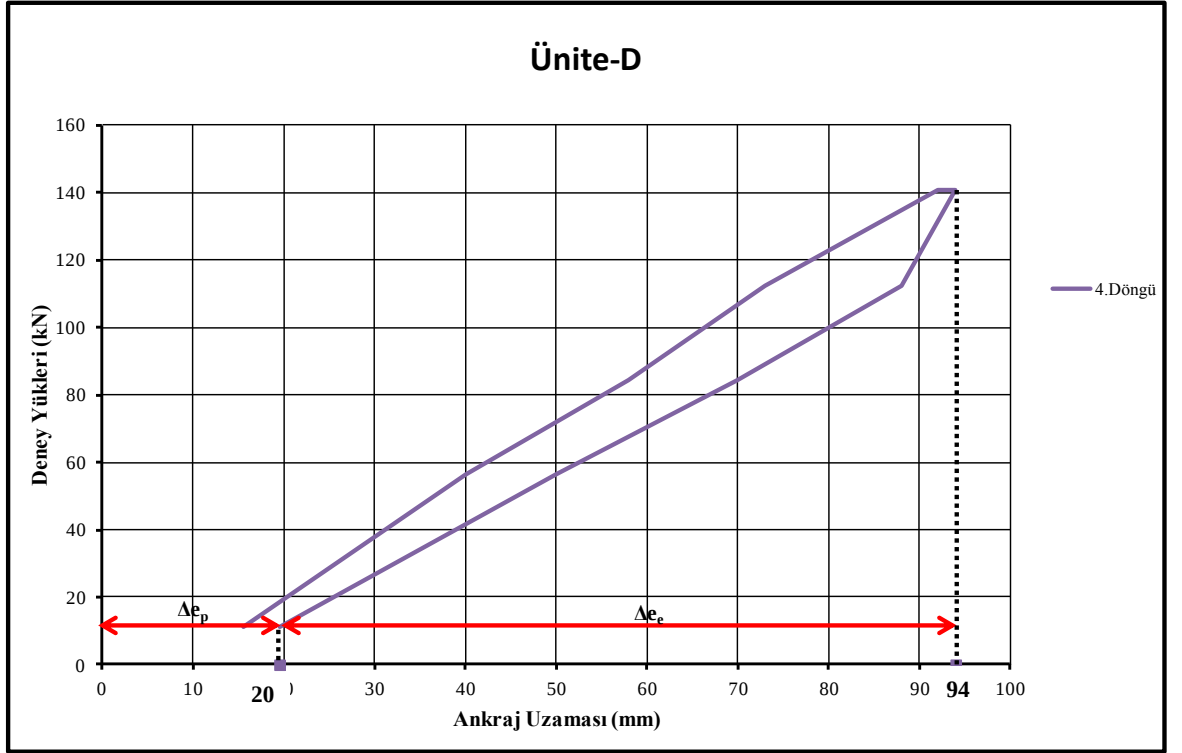
**Şekil 6.133 :** Deney ankrajı-19 yük uzama grafiği (125% Yük döngüsü-Ünite C)



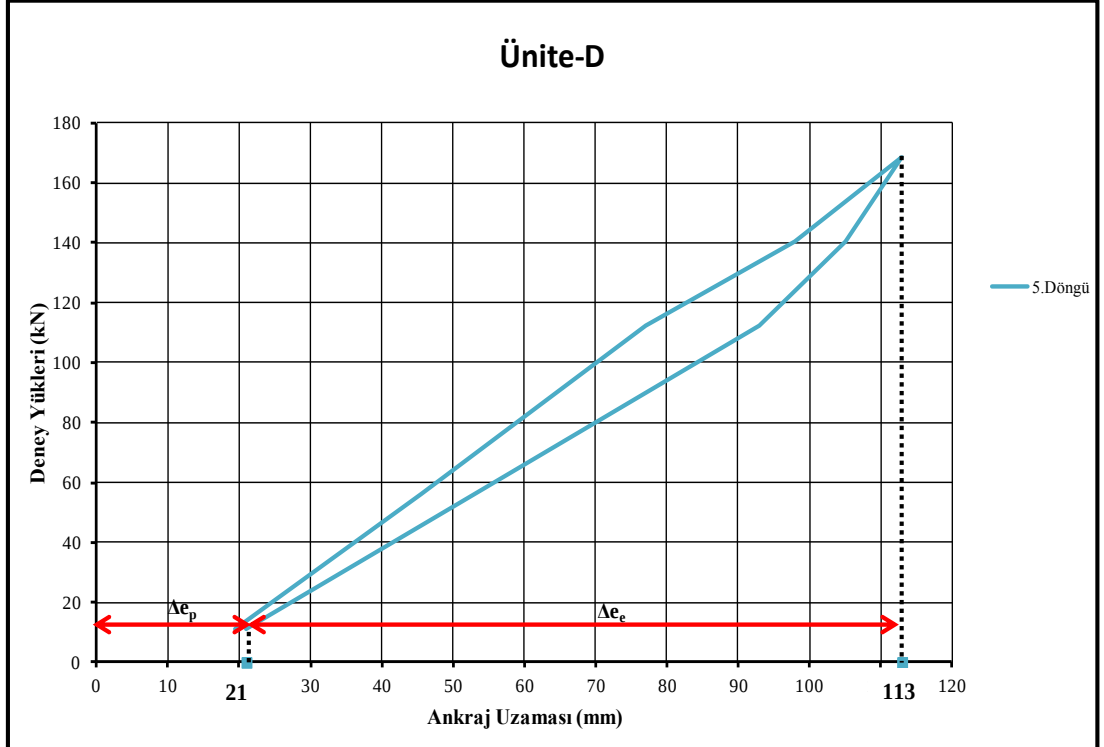
**Şekil 6.134 :** Deney ankrajı-19 yük uzama grafiği (150% Yük döngüsü-Ünite C)



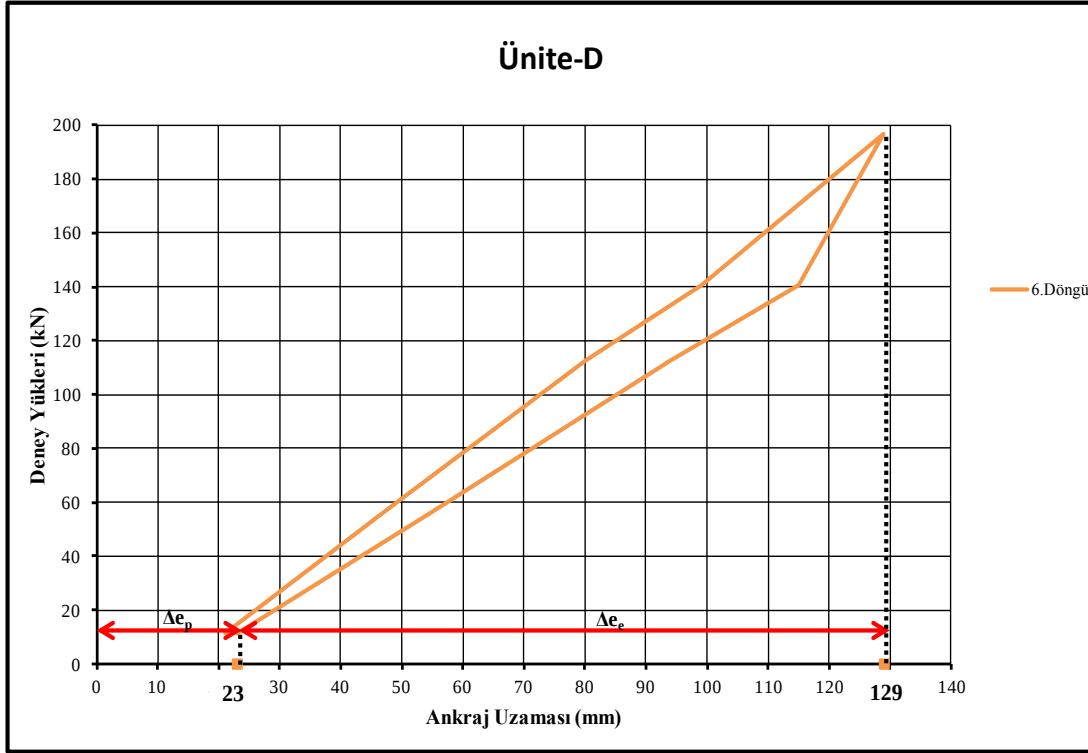
**Şekil 6.135 :** Deney ankrajı-19 yük uzama grafiği (175% Yük döngüsü-Ünite C)



**Şekil 6.136 :** Deney ankrajı-19 yük uzama grafiği (125% Yük döngüsü-Ünite D)



**Şekil 6.137 :** Deney ankrajı-19 yük uzama grafiği (150% Yük döngüsü-Ünite D)



**Şekil 6.138 :** Deney ankrajı-19 yük uzama grafiği (175% Yük döngüsü-Ünite D)

Geleneksel yöntemle göre kök taşıma gücünün artırılması hedeflenen 19 numaralı deney ankrajına proje aşamasında verilebilecek maksimum öngerme yükünün belirlenmesi için, BS8081:1989'da belirtilen deney kriterleri, ankrajı oluşturan her bir ünite üzerinde ayrı olarak incelenmiştir. İlgili kriterler aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- Görünen serbest boy hesabı (BS8081:1989, Madde 11.2.9)
- Denklem 6.1 'e göre hesaplanan görünen serbest boy BS8081'e göre aşağıda verilen şartları sağlaması gerekmektedir.

$$\geq \%90 \times \text{Tasarım Serbest Boyu}$$

$$\leq \min. (\%110 \times \text{Tasarım Serbest Boyu}, \text{Tasarım Serbest Boyu} + \%50 \text{ Kök Boyu})$$

- Belirli bir yük kademesi altında zamana bağlı gözlemlenen uzama miktarı veya uzama oranı çizelge 6.5'de belirtilen şartları sağlamak zorundadır (BS8081:1989).

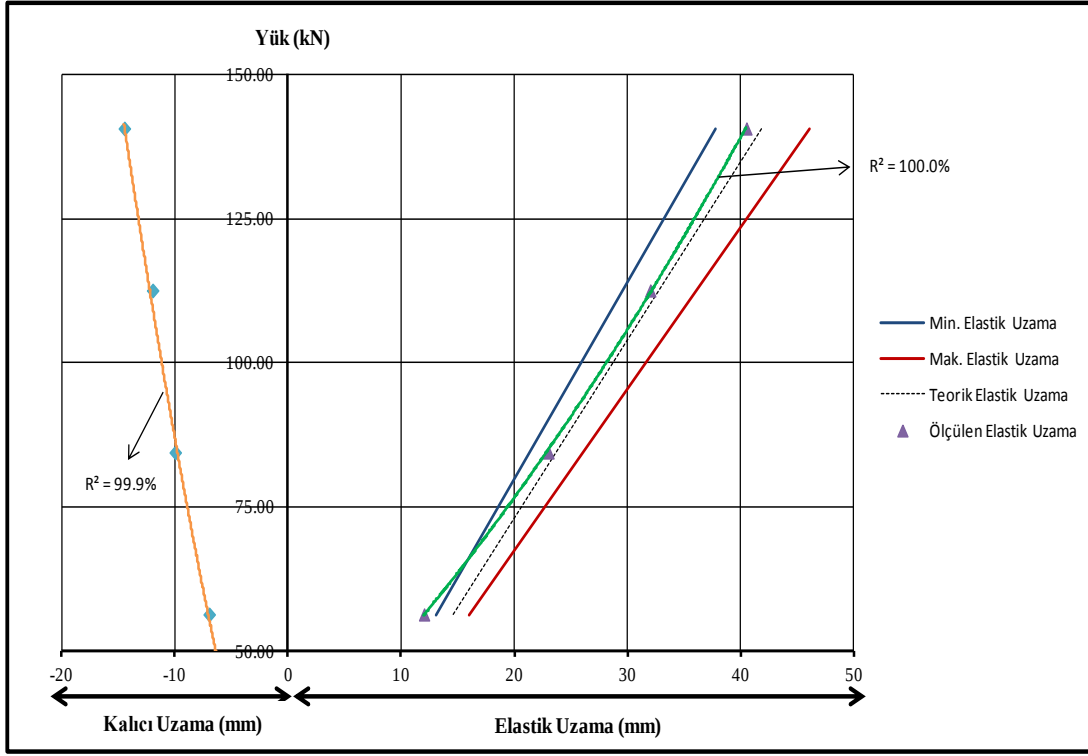
Yukarıda belirtilen maddelerden ilk ikisi, deney sırasında her bir üniteye uygulanan döngülerin tamamı için dikkate alınmıştır. Her bir döngü içerisinde ulaşılan

maksimum yük altında deney ankrajını oluşturan ünitelerde gözlemlenen elastik uzama ve buna bağlı hesaplanan görünen serbest boy değerleri çizelge 6.55'de verilmiştir. Deney ankrajını oluşturan her bir ünite için serbest boy kriteri, BS8081:1989'a göre incelenmiş ve grafikler üzerinde özetlenmiştir (şekil 6.139, 6.140, 6.141, 6.142).

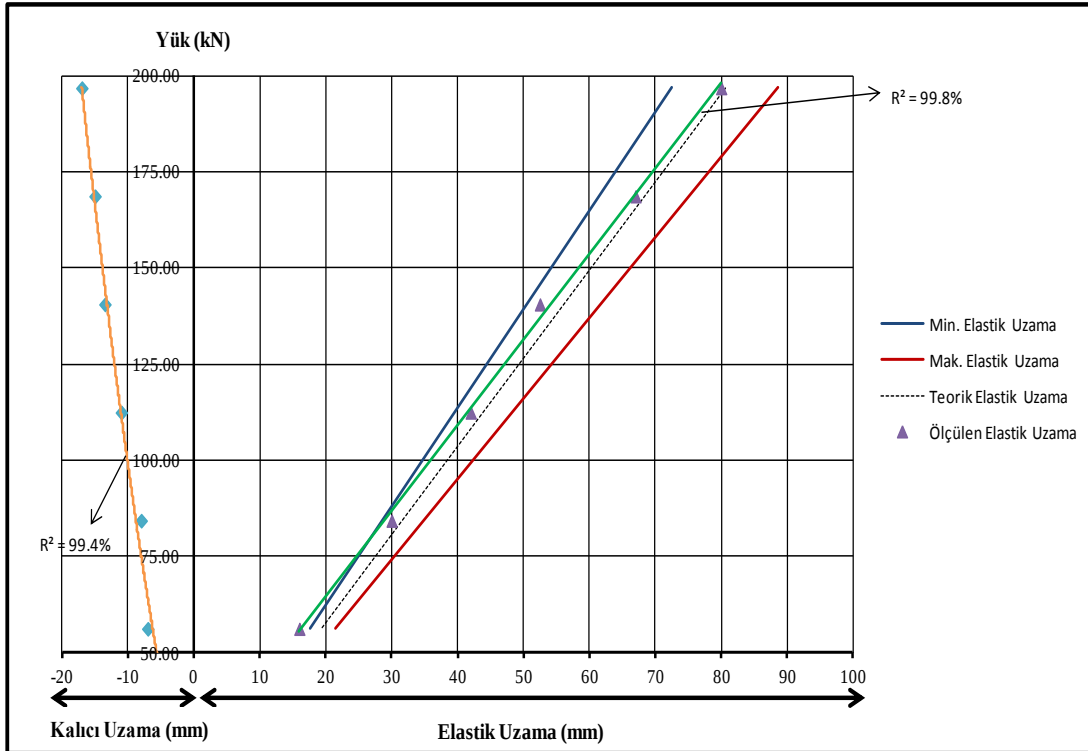
Serbest boy kriteri değerlendirmesi için yukarıda verilen grafikler üzerinde gösterilmiş maksimum ve minimum elastik uzama değerleri, her bir yük kademesinde çıkılan maksimum yük değerinin denklem 6.1'de kullanılması ile elde edilmiştir.

**Çizelge 6.55 : Yük kademelerinde ölçülen elastik ve kalıcı ankraj uzama değerleri**

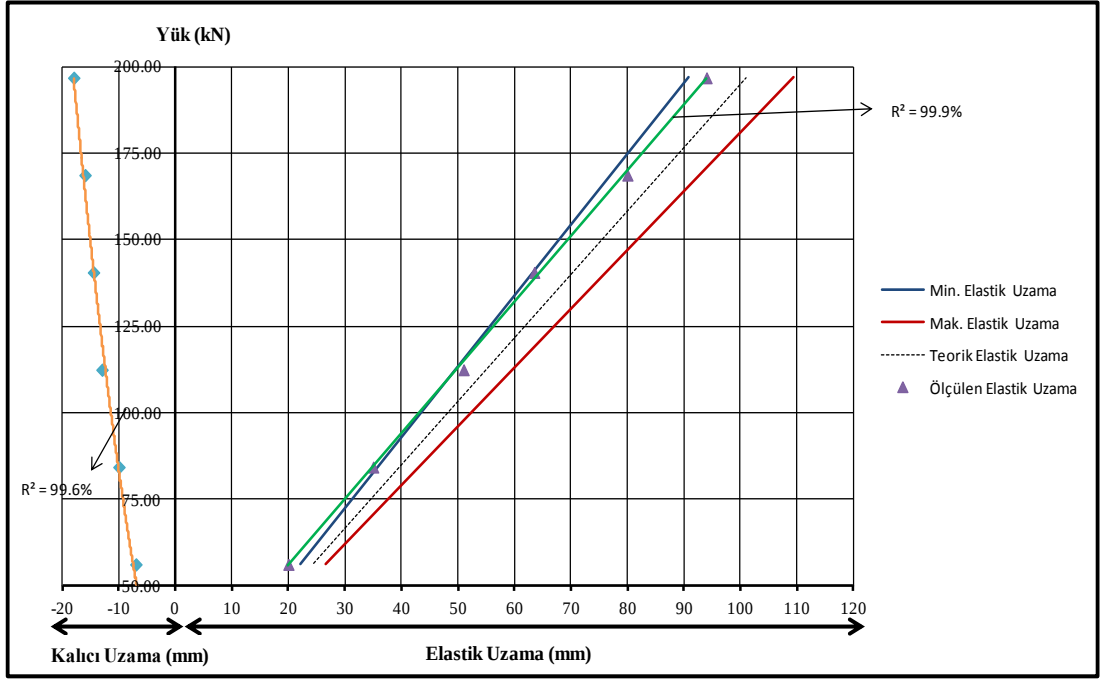
| Ünite | Döngü | Yük (kN) | $\Delta_{ank}$ (mm) | $\Delta_p$ (mm) | $\Delta_e$ (mm) | $L_{app}$ (m) |
|-------|-------|----------|---------------------|-----------------|-----------------|---------------|
| A     | 1     | 56.25    | 19                  | 7               | 12.00           | 7.28          |
|       | 2     | 84.38    | 33                  | 10              | 23.00           | 8.59          |
|       | 3     | 112.50   | 44                  | 12              | 32.00           | 8.63          |
|       | 4     | 140.63   | 55                  | 15              | 40              | 8.55          |
| B     | 1     | 56.25    | 23                  | 7               | 16              | 9.71          |
|       | 2     | 84.38    | 38                  | 8               | 30              | 11.20         |
|       | 3     | 112.50   | 53                  | 11              | 42.             | 11.32         |
|       | 4     | 140.63   | 66                  | 14              | 52              | 11.08         |
|       | 5     | 168.75   | 82                  | 15              | 67              | 11.61         |
|       | 6     | 196.88   | 97                  | 17              | 80              | 11.77         |
| C     | 1     | 56.25    | 27                  | 7               | 20              | 12.13         |
|       | 2     | 84.38    | 45                  | 10              | 35              | 13.07         |
|       | 3     | 112.50   | 64                  | 13              | 51              | 13.75         |
|       | 4     | 140.63   | 78                  | 15              | 63              | 13.40         |
|       | 5     | 168.75   | 96                  | 16              | 80              | 13.87         |
|       | 6     | 196.88   | 112                 | 18              | 94              | 13.82         |
| D     | 1     | 56.25    | 33                  | 10              | 23              | 13.95         |
|       | 2     | 84.38    | 53                  | 12              | 41              | 15.31         |
|       | 3     | 112.50   | 75                  | 16              | 59              | 16.04         |
|       | 4     | 140.63   | 94                  | 20              | 74              | 15.72         |
|       | 5     | 168.75   | 113                 | 21              | 92              | 15.95         |
|       | 6     | 196.88   | 129                 | 23              | 106             | 15.59         |



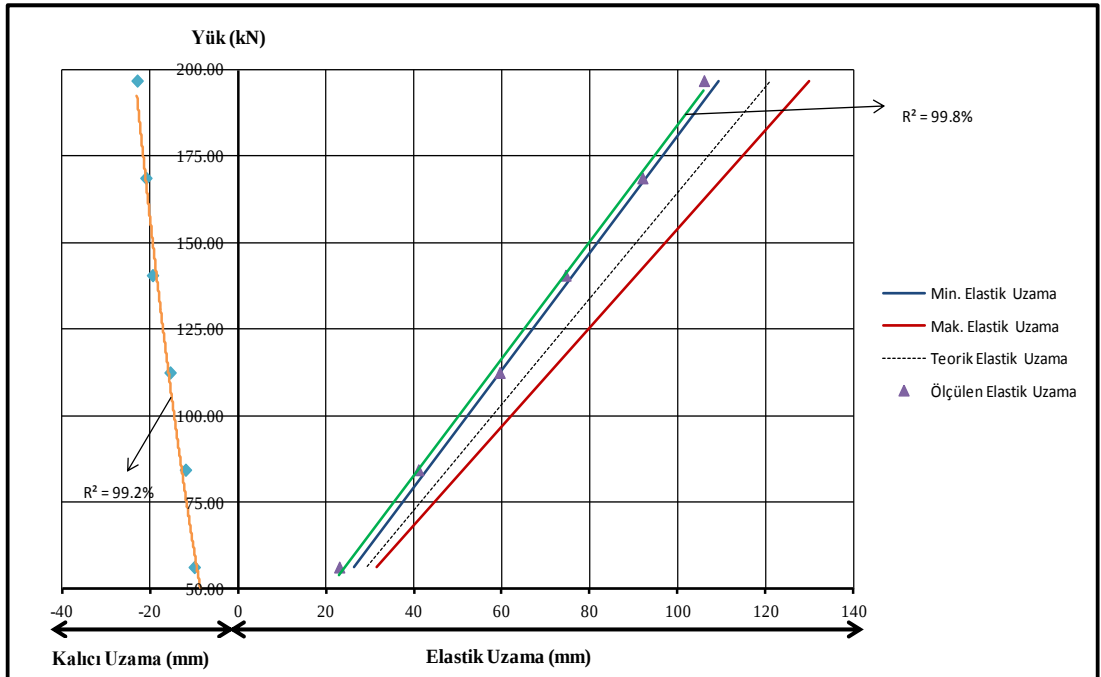
Şekil 6.139 : Deney ankrajı-19 sahada ölçülen elastik uzama değerlerinin kontrolü ve kalıcı uzama-yük ilişkisi (Ünite-A)



Şekil 6.140 : Deney ankrajı-19 sahada ölçülen elastik uzama değerlerinin kontrolü ve kalıcı uzama-yük ilişkisi (Ünite-B)



**Şekil 6.141 :** Deney ankrajı-19 sahada ölçülen elastik uzama değerlerinin kontrolü ve kalıcı uzama-yük ilişkisi (Ünite-C)



**Şekil 6.142 :** Deney ankrajı-19 sahada ölçülen elastik uzama değerlerinin kontrolü ve kalıcı uzama-yük ilişkisi (Ünite-D)

19 numaralı deney ankrajı ve ankrajını oluşturan üniteler, A hariç ön görülen germe yükünün tüm katlarını başarılı bir şekilde zemine aktarmaktadır. Deney ankrajı kök bölgesinde oluşacak kayma gerilmelerinin aktaracağı tabakanın yumuşak/orta

katı/katı kıvama sahip yüksek plastisiteli alüvyonel kil olması sebebi ile sabit yük altında ankraj uzama yapmaya devam ederek mevcut taşıyacağı germe yükünün düşmesi riski bulunmaktadır. Deney programına göre belirlenen ve kritik olarak görülen her bir yük kademesinde ankrajı oluşturan ünitelerin sabit yük altında uzama yapıp yapmadığı minimum 15 dakika süre içerisinde incelenmiştir. Sabit yük altında, çizelge 6.5'te verilen gözlem periyotlarında belirtilen izin verilebilir uzama oranlarına göre sahada gerçekleştirilen deney sırasında ankrajı oluşturan her bir ünitenin ölçülen uzama değerleri aşağıda verilen tablolarca özetlenmiştir (çizelge 6.56, 6.57, 6.58, 6.59).

Deney alanı-3 bölgesinde SBMA ve ard enjeksiyon tekniklerinin kullanılarak imal edilen 19 numaralı deney ankrajının saha performansı incelenmiştir. Ön görülen proje germe yükünün 1.25 katına denk gelen (140.6 kN) yük kademesinde kök sıyrılması yaşayan deney ankrajı dışındaki tüm üniteler 175%'e kadar olan germe yüklerini başarılı şekilde zemine aktarabilmiştir.

**Çizelge 6.56 :** Farklı yükler altında ankraj-19 (Ünite-A) için uzama oranları ve izin verilebilir limitler

| Döngü | Kademe | Gözlem Periyodu (dk) | Yük (kN) | $\Delta_{ank}$ (mm) | Teo. $\Delta_e$ (mm) | Uzama Oranı (mm) | İzin verilebilir Uzama Oranı (mm) |
|-------|--------|----------------------|----------|---------------------|----------------------|------------------|-----------------------------------|
| 4     | 125    | -                    | 140.63   | 55                  | 41.94                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 55                  |                      | 0.00             | 0.42                              |
|       |        | 15                   |          | 55                  |                      | 0.00             | 0.84                              |
|       |        | 50                   |          | 55                  |                      | 0.00             | 1.26                              |

**Çizelge 6.57 :** Farklı yükler altında ankraj-19 (Ünite-B) için uzama oranları ve izin verilebilir limitler

| Döngü | Kademe | Gözlem Periyodu (dk) | Yük (kN) | $\Delta_{ank}$ (mm) | Teo. $\Delta_e$ (mm) | Uzama Oranı (mm) | İzin verilebilir Uzama Oranı (mm) |
|-------|--------|----------------------|----------|---------------------|----------------------|------------------|-----------------------------------|
| 4     | 125    | -                    | 140.63   | 66                  | 56.16                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 66                  |                      | 0.00             | 0.56                              |
|       |        | 15                   |          | 66                  |                      | 0.00             | 1.12                              |
|       |        | 50                   |          | 66                  |                      | 0.00             | 1.68                              |
| 5     | 150    | -                    | 168.75   | 81                  | 68.37                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 81                  |                      | 0.00             | 0.68                              |
|       |        | 15                   |          | 82                  |                      | 1.00             | 1.37                              |
| 6     | 175    | -                    | 196.88   | 96                  | 80.57                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 96                  |                      | 0.00             | 0.81                              |
|       |        | 15                   |          | 97                  |                      | 1.00             | 1.61                              |

**Çizelge 6.58 :** Farklı yükler altında ankraj-19 (Ünite-C) için uzama oranları ve izin verilebilir limitler

| Döngü | Kademe | Gözlem Periyodu (dk) | Yük (kN) | $\Delta_{ank}$ (mm) | Teo. $\Delta_e$ (mm) | Uzama Oranı (mm) | İzin verilebilir Uzama Oranı (mm) |
|-------|--------|----------------------|----------|---------------------|----------------------|------------------|-----------------------------------|
| 4     | 125    | -                    | 140.63   | 77                  | 70.37                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 78                  |                      | 1.00             | 0.70                              |
|       |        | 15                   |          | 78                  |                      | 1.00             | 1.41                              |
|       |        | 50                   |          | 78                  |                      | 1.00             | 2.11                              |
| 5     | 150    | -                    | 168.75   | 95                  | 85.67                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 96                  |                      | 1.00             | 0.86                              |
|       |        | 15                   |          | 96                  |                      | 1.00             | 1.71                              |
| 6     | 175    | -                    | 196.88   | 111                 | 100.97               | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 112                 |                      | 1.00             | 1.01                              |
|       |        | 15                   |          | 112                 |                      | 1.00             | 2.02                              |

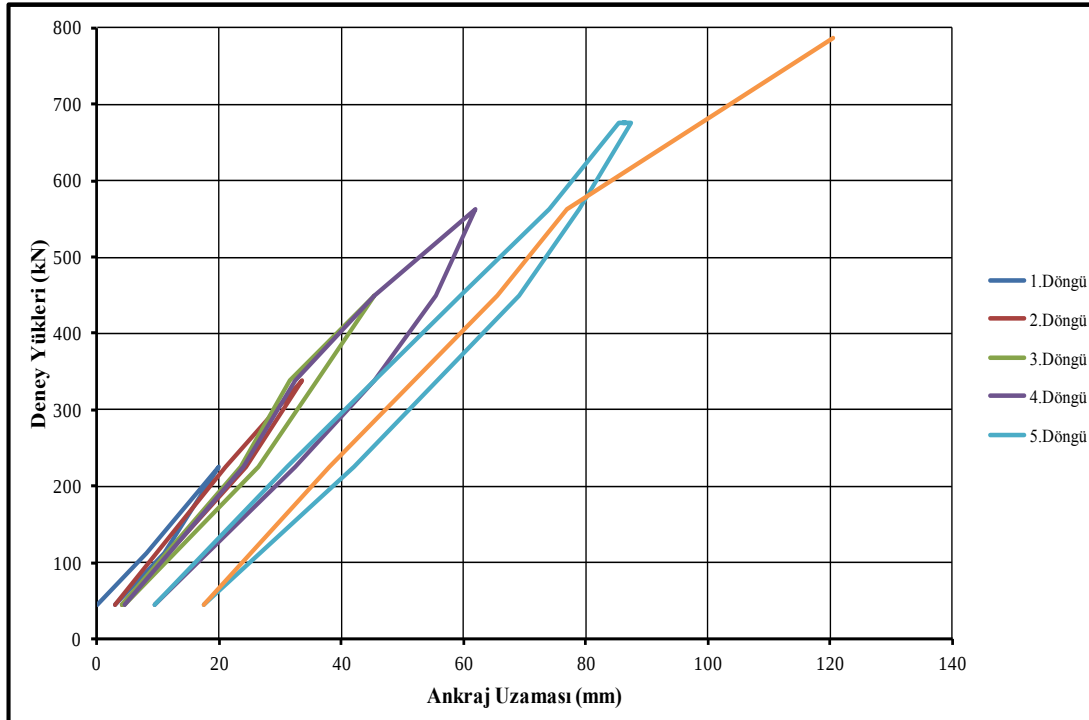
**Çizelge 6.59 :** Farklı yükler altında ankraj-19 (Ünite-D) için uzama oranları ve izin verilebilir limitler

| Döngü | Kademe | Gözlem Periyodu (dk) | Yük (kN) | $\Delta_{ank}$ (mm) | Teo. $\Delta_e$ (mm) | Uzama Oranı (mm) | İzin verilebilir Uzama Oranı (mm) |
|-------|--------|----------------------|----------|---------------------|----------------------|------------------|-----------------------------------|
| 4     | 125    | -                    | 140.63   | 92                  | 84.59                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 92                  |                      | 0.00             | 0.85                              |
|       |        | 15                   |          | 92                  |                      | 0.00             | 1.69                              |
|       |        | 50                   |          | 94                  |                      | 2.00             | 2.54                              |
| 5     | 150    | -                    | 168.75   | 113                 | 102.98               | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 113                 |                      | 0.00             | 1.03                              |
|       |        | 15                   |          | 113                 |                      | 0.00             | 2.06                              |
| 6     | 175    | -                    | 196.88   | 129                 | 121.37               | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 129                 |                      | 0.00             | 1.21                              |
|       |        | 15                   |          | 129                 |                      | 0.00             | 2.43                              |

Deney ankrajını oluşturan ünite-A'da kök taşıma gücü yenilmesi daha düşük yük kademelerinde olduğu için sünme değerlerinin gözlemi sadece 4.döngüde gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu gözlemlere göre, deney ankrajının 50 dakikalık bir zaman diliminde uzamam göstermemiş olmasıdır. Bununla birlikte, deney ankrajını oluşturan diğer ünitelerin (B, C, D) sünme performansı incelendiğinde, tüm yük kademeleri altında uzama gösterdiği ancak, değerlerin standartça belirtilen sınır değerleri aşmadığı tespit edilmiştir. Deney ankrajına izin verilebilecek maksimum öngerme yükünün belirlenmesi için, sünme kriterinin yanı sıra serbest boy kriteri açısından da incelenmiştir. Serbest boy kriteri, ünite A ve ünite B için deney sırasında uygulanan germe yükleri altında sınır değerler içerisinde kalmaktadır. Deney ankrajı-19 delgisi içerisine yerleştirilen ankraj ünitelerinden C ve D olanı minimum değerlere yakın ve şartları sağlamamaktadır.

#### 6.6.9 Deney ankrajı-20 (Alan-3)

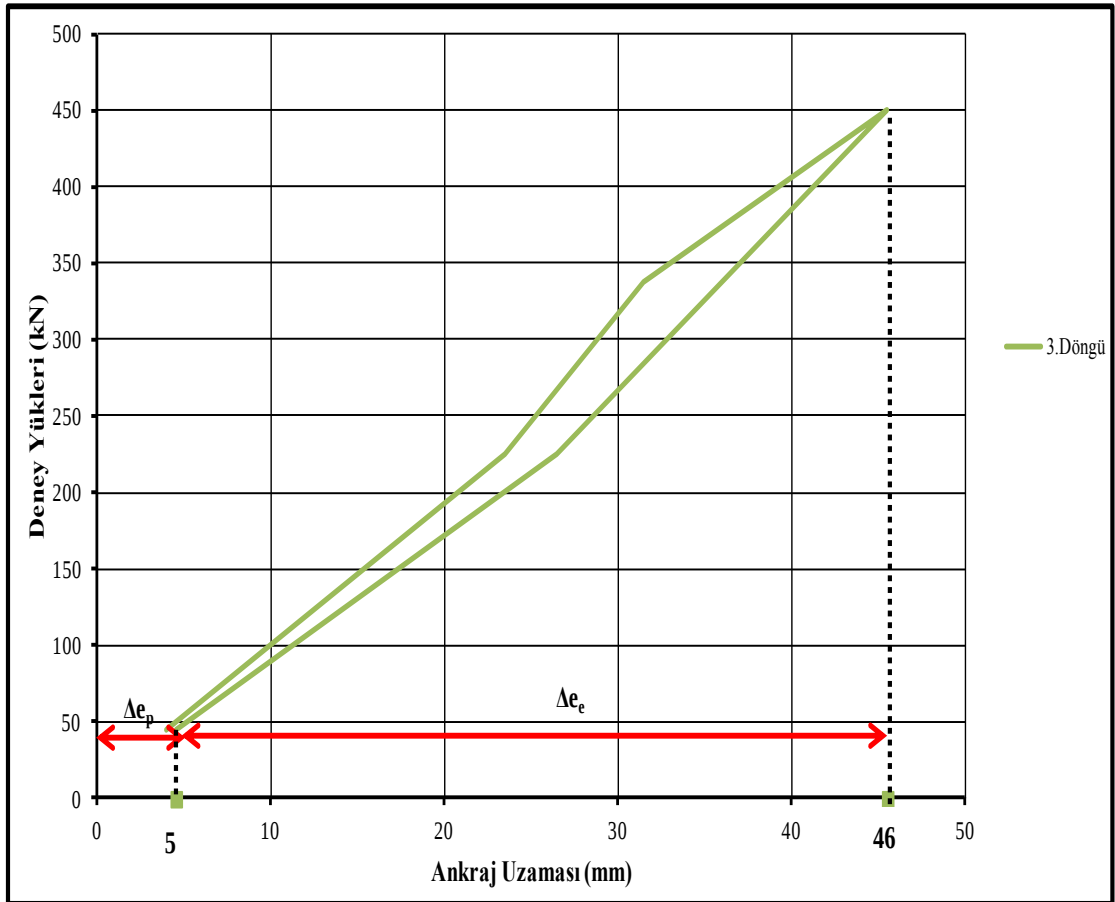
Ard enjeksiyon (Tube A Manchette) tekniği kullanılarak geleneksel yöntem ile imal edilen deney ankrajlarına göre kök taşıma gücü arttırılması hedeflenen 20 numaralı deney ankrajına sahada uygulanan germe deneyi 5 döngüde tamamlanmıştır. Germe deneyi sırasında ankrajda gözlemlenen uzama-yük ilişkisi şekil 6.143'de verilmiştir.



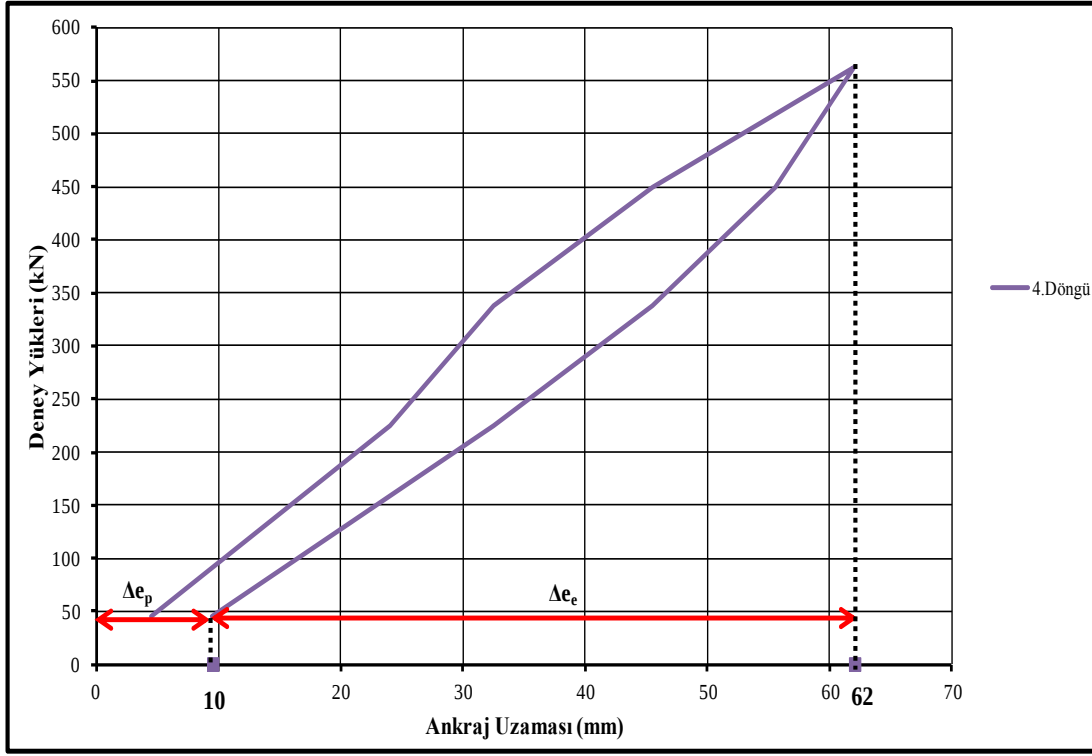
Şekil 6.143 : Deney ankrajı-20 : yük-uzama grafiği

Ard enjeksiyon (Tube a Manchette) yöntemi ile imal edilen 20 numaralı deney ankrajının, tasarım aşamasında ön görülen germe yükü 450 kN değerinin 1.75 katına ulaşıldığı döngü sırasında kök bölgesinde sıyrılma meydana gelmiştir. İlgili proje yükünün 1.25 ve 1.50 katlarını başarılı bir şekilde yumuşak/orta katı/katı kıvamında olan alüvyonel kil tabakasına aktaran deney ankrajı, bu zeminin yüksek plastisiteli ve kohezyonlu olması sebebi ile sünme kaynaklı uzamaların gözlemi deney sırasında gerçekleştirilmiştir.

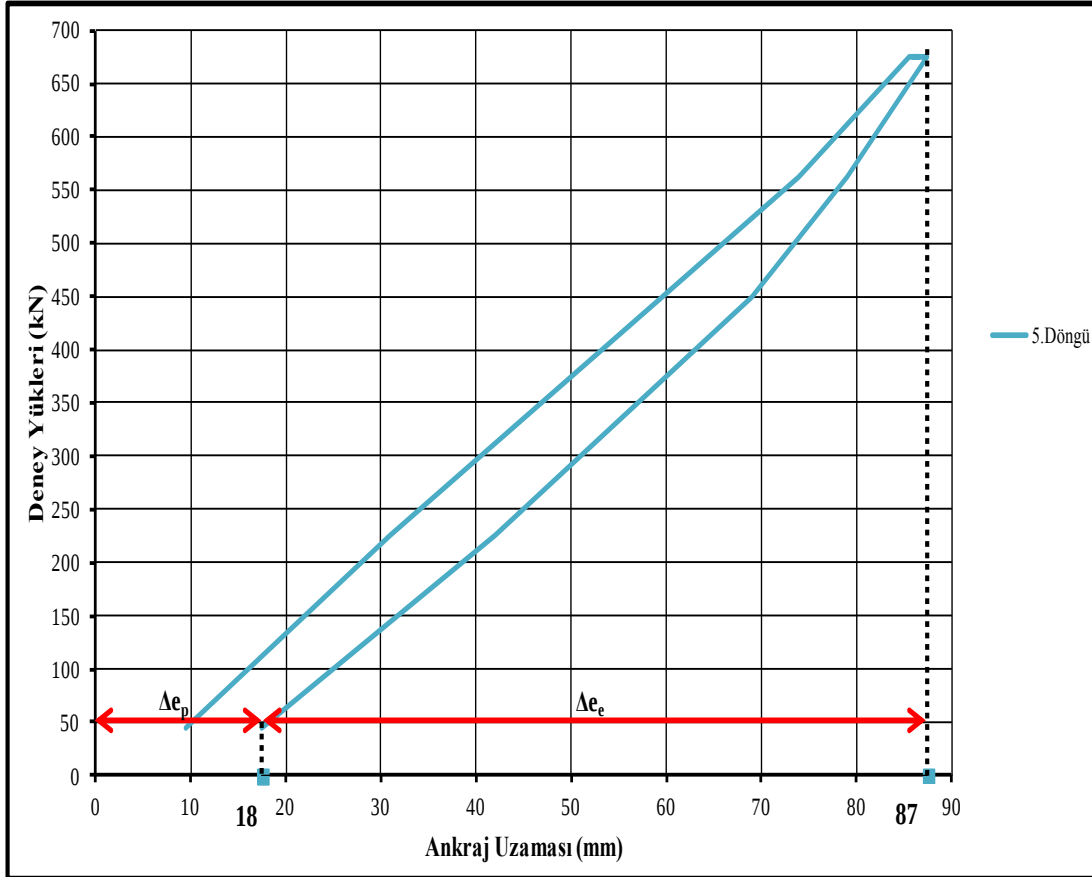
Ard enjeksiyon tekniği kullanılarak imal edilen deney ankrajının, proje aşamasında izin verilecek maksimum germe yükünün belirlenmesi amacıyla ön görülen proje yükünün sırasıyla 100%, 125% ve 150% katlarına denk gelen kademelerdeki yük-uzama eğrileri hazırlanmış ve 3 farklı grafikte gösterilmiştir (şekil 6.144, 6.145 ve 6.146). İlgili grafiklerin üzerine, deney sırasında belirlenen plastik-elastik uzama farkı da eklenmiştir.



Şekil 6.144 : Deney ankrajı-20 yük uzama grafiği (100% Yük döngüsü)



Şekil 6.145 : Deney ankrajı-20 yük uzama grafiği (125% Yük döngüsü)



Şekil 6.146 : Deney ankrajı-20 yük uzama grafiği (150% Yük döngüsü)

Ard enjeksiyon (Tube a Manchette) yönteminin kullanıldığı 20 numaralı deney ankrajına proje aşamasında verilebilecek maksimum öngerme yükünün belirlenmesi için, BS8081:1989'da belirtilen deney kriterleri dikkate alınmıştır. İlgili kriterler aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- Görünen serbest boy hesabı (BS8081:1989, Madde 11.2.9)
- Denklem 6.1 'e göre hesaplanan görünen serbest boy BS8081'e göre aşağıda verilen şartları sağlaması gerekmektedir.

$$\geq \%90 \times \text{Tasarım Serbest Boyu}$$

$$\leq \min. (\%110 \times \text{Tasarım Serbest Boyu}, \text{Tasarım Serbest Boyu} + \%50 \text{ Kök Boyu})$$

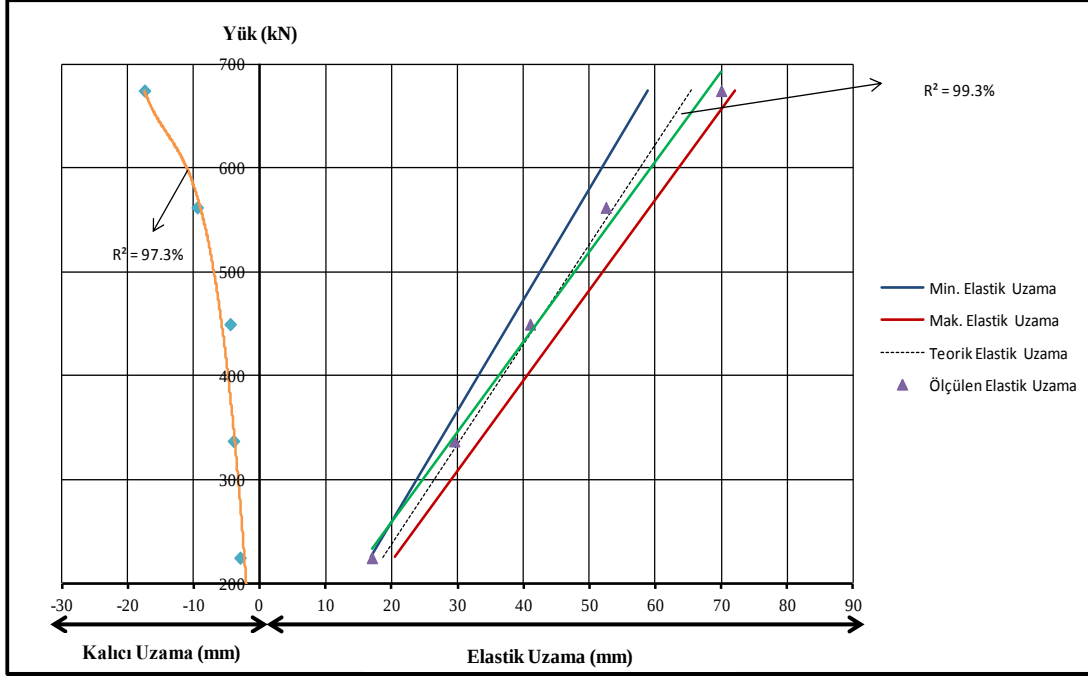
- Belirli bir yük kademesi altında zamana bağlı gözlemlenen uzama miktarı veya uzama oranı çizelge 6.5'de belirtilen şartları sağlamak zorundadır (BS8081:1989).

Yukarıda belirtilen maddelerden ilk ikisi, deney sırasında uygulanan tüm döngülerde elde edilen sonuçların dikkate alınması ile birlikte değerlendirilmiştir. Sabit yük altında gözlemlenen uzama oranı kriteri ise, ön görülen proje yükü **450 kN** değerinin sırasıyla 1.25 ve 1.5 katlarına denk gelen deney yüklerinin uygulandığı döngüler içerisinde dikkate alınmıştır. Birinci maddeye göre, her bir döngü içerisinde ulaşılan maksimum yük kademesinde ankrajda gözlemlenen elastik uzama ve buna bağlı hesaplanan görünen boy çizelge 6.60'da verilmiştir.

**Çizelge 6.60 :** Yük kademelerinde ölçülen elastik ve kalıcı ankraj uzama değerleri (Deney ankrajı-20)

| Döngü | Yük (kN) | $\Delta_{\text{ank}}$ (mm) | $\Delta_p$ (mm) | $\Delta_e$ (mm) | $L_{\text{app}}$ (m) |
|-------|----------|----------------------------|-----------------|-----------------|----------------------|
| 1     | 225.00   | 20                         | 3               | 17              | 10.31                |
| 2     | 337.50   | 34                         | 4               | 30              | 11.01                |
| 3     | 450.00   | 46                         | 5               | 41              | 11.05                |
| 4     | 562.50   | 62                         | 10              | 52              | 11.08                |
| 5     | 675.00   | 88                         | 18              | 70              | 12.13                |

20 numaralı deney ankrajı BS8081'de belirtilen serbest boy kriteri açısından incelenmiştir ve yine aynı standardın 11.2.12 maddesinde önerilen format kullanılarak grafik üzerinde özetlenmiştir (şekil 6.147).



**Şekil 6.147 :** BS8081'de belirtilen kabul kriterlerine göre deney ankrajı-20 için sahada ölçülen elastik uzama değerlerinin kontrolü ve kalıcı uzama-yük ilişkisi

Şekil 6.147'de verilen grafik üzerinde gösterilmiş maksimum ve minimum elastik uzama değerleri, her bir yük kademesinde çıkılan maksimum yük değerinin denklem 6.1'de kullanılması ile elde edilmiştir.

Deney ankrajı-20'in kök bölgesinin yük aktaracağı tabakanın yumuşak/orta katı/katı kıvamda yüksek plastisiteli alüvyonel kil olması sebebi ile sabit yük altında ankrajda uzamaların meydana gelmesi ve dolayısıyla yük kaybı riski bulunmaktadır. Deney programına göre belirlenen ve kritik olarak görülen her bir yük kademesinde ankrajda sabit yük altında uzama yapıp yapmadığı minimum 15 dakika süre içerisinde incelenmiştir. Sabit yük altında, çizelge 6.5'de verilen gözlem periyotlarında belirtilen izin verilebilir uzama oranlarına göre sahada gerçekleştirilen deney sırasında ölçülen uzama değerleri aşağıda verilen tablo içerisinde gösterilmiştir (çizelge 6.61).

**Çizelge 6.61 :** Farklı yükler altında ankraj-20 için uzama oranları ve izin verilebilir limitler

| Döngü | Kademe | Gözlem Periyodu (dk) | Yük (kN) | $\Delta_{ank}$ (mm) | Teo. $\Delta_e$ (mm) | Uzama Oranı (mm) | İzin verilebilir Uzama Oranı (mm) |
|-------|--------|----------------------|----------|---------------------|----------------------|------------------|-----------------------------------|
| 4     | 125    | -                    | 562.5    | 62                  | 53.79                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 62                  |                      | 0.00             | 0.54                              |
|       |        | 15                   |          | 62                  |                      | 0.00             | 1.08                              |
| 5     | 150    | -                    | 675.0    | 86                  | 65.48                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 87                  |                      | 1.00             | 0.65                              |
|       |        | 15                   |          | 88                  |                      | 2.00             | 1.31                              |

Deney alanı-3 bölgesinde ard enjeksiyon tekniği (Tube a Manchette) kullanılarak imal edilen 20 numaralı deney ankrajının saha performansı incelenmiştir. Projenin tasarım aşamasında belirlenen 450 kN öngerme yüküne göre hazırlanan germe deney programı çerçevesinde incelenen bu performansına göre, deney ankrajının 450 kN ve katları (1.25 ve 1.50) olan yükleri başarılı bir şekilde zemine aktardığı, 1.75 katına denk gelen kademeye ulaştığında da büyük mertebede uzamalar meydana geldiği ve yükün düştüğü görülmüştür. Ankraj kök taşıma gücünü 787.5 kN olduğu 20 numaralı deney ankrajı serbest boy kriter şartı açısından incelenmiştir. Deney sırasında uygulanan tüm döngülerde elde edile uzamalar, BS8081:1989'da belirtilen sınır değerlerinin içerisinde kalmakla birlikte proje yükünün 1.50 katı olan döngüde sınır değere yakınlığı tespit edilmiştir. Ankrajın sabit yük altında göstermiş olduğu uzama performansının incelendiği yük kademelerinde ise, 5. ve 15. dakikalar içerisinde gözlemlenen uzama oranlarının ön görülen proje yükünün 1.25 katı (562.5 kN) altında sünme uzaması yapmadığı, 1.50 katı (675 kN) altında ise sünme uzaması yaptığı ve sınır değerleri aştığı tespit edilmiştir.

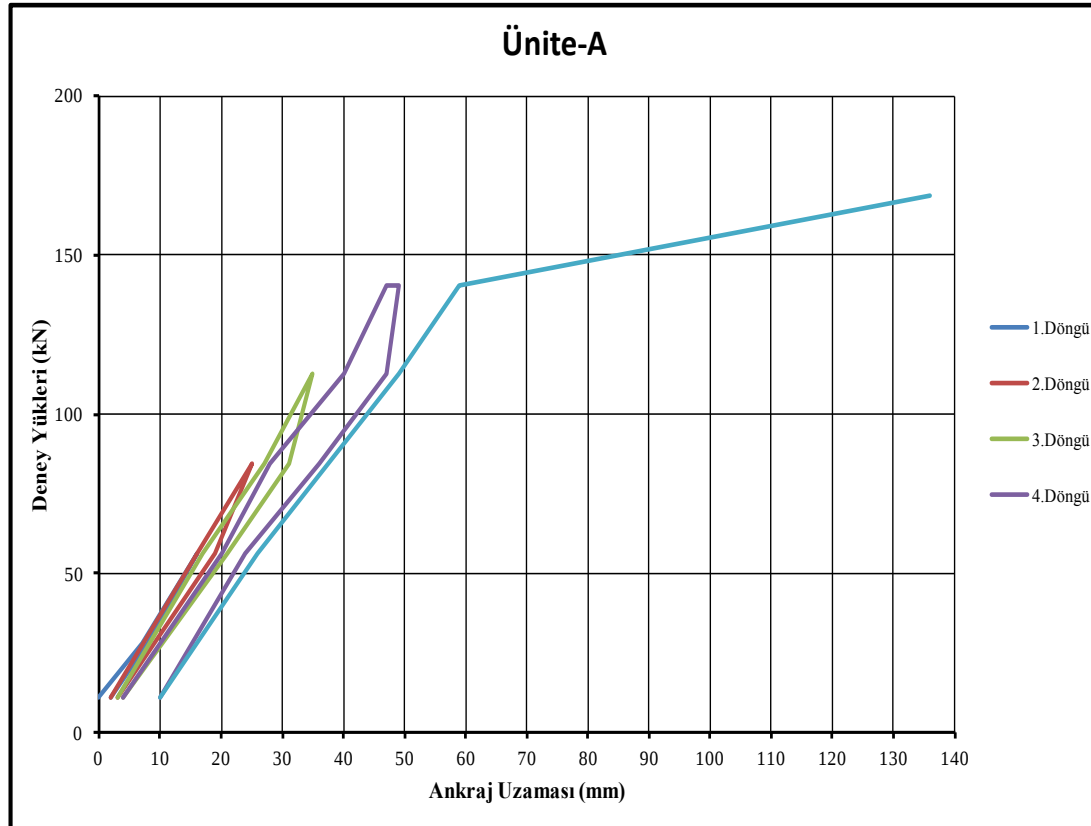
#### 6.6.10 Deney ankrajı-21 (Alan-3)

SBMA tekniği kullanılarak imal edilen 21 numaralı deney ankrajı 4 ayrı üniteden oluşmaktadır. Çizelge 6.62'de serbest boy, kök boyu, halat sayısı ve tipi verilen

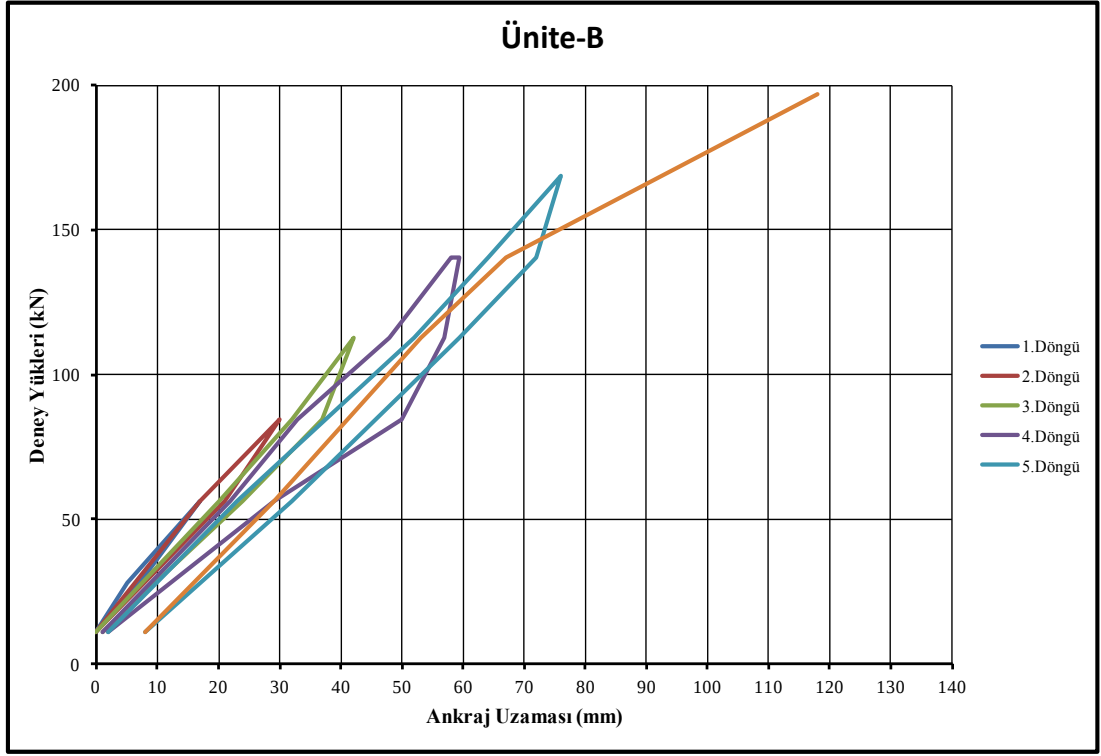
ünitelere, birbirinden bağımsız 4 adet hidrolik krik o kullanılarak germe deneyi yapılmıştır. SBMA tekniğinin yanı sıra, ard enjeksiyon (Tube a Manchette) tekniğ i kullanarak kök taşıma gücünün arttırılması hedeflenen 21 numaralı deney ankrajına sahada yapılan germe deneyi sonuçlarına göre ankrajı oluşturan her bir ünitenin uzama yük ilişkisi grafik üzerinde gösterilmiştir (şekil 6.148, 6.149, 6.150 ve 6.151).

**Çizelge 6.62 : Deney ankrajı-21 ünite özellikleri**

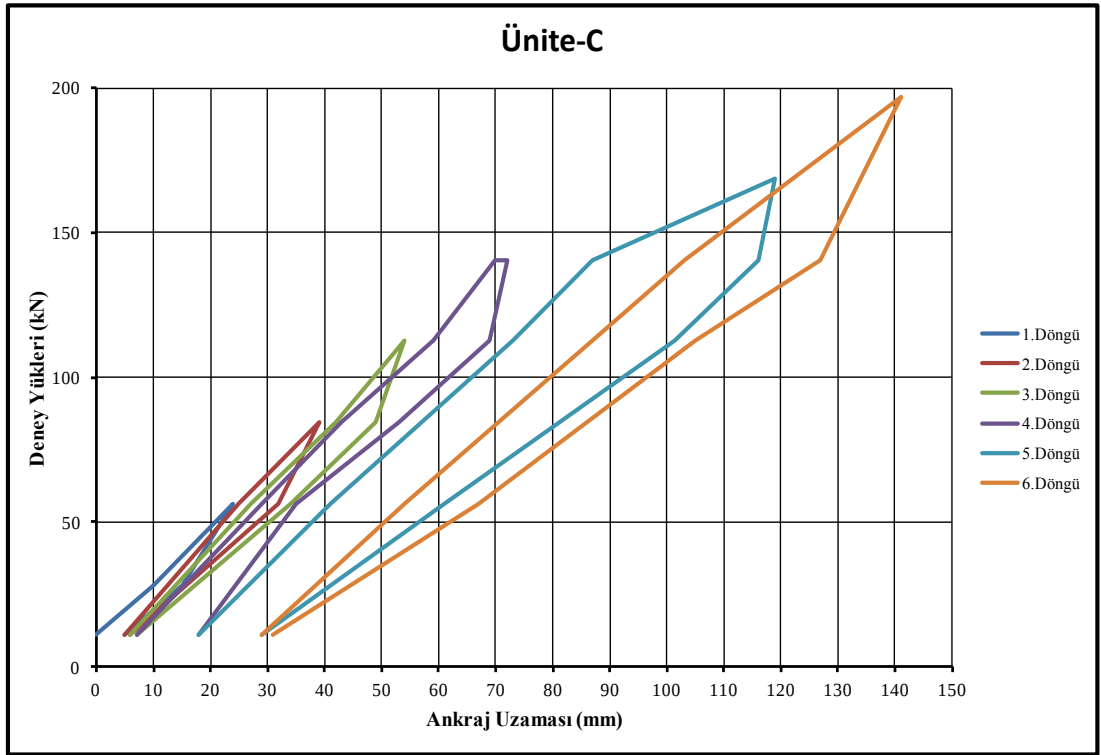
| Ünite                                                                          | Halat Tipi ve Sayısı | Kuyu İçerisinde Kalan Serbest Bölge Boyu (m) | Germe Payı (m) | L <sub>serbest</sub> (m)* | L <sub>kök</sub> (m) |
|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|
| A                                                                              | 1x0.6"               | 7.5                                          | 1.35           | 8.85                      | 2.5                  |
| B                                                                              | 1x0.6"               | 10.5                                         | 1.35           | 11.85                     | 2.5                  |
| C                                                                              | 1x0.6"               | 13.5                                         | 1.35           | 14.85                     | 2.5                  |
| D                                                                              | 1x0.6"               | 16.5                                         | 1.35           | 17.85                     | 2.5                  |
| * L <sub>serbest</sub> = Kuyu İçerisinde Kalan Serbest Bölge Boyu + Germe Payı |                      |                                              |                |                           |                      |



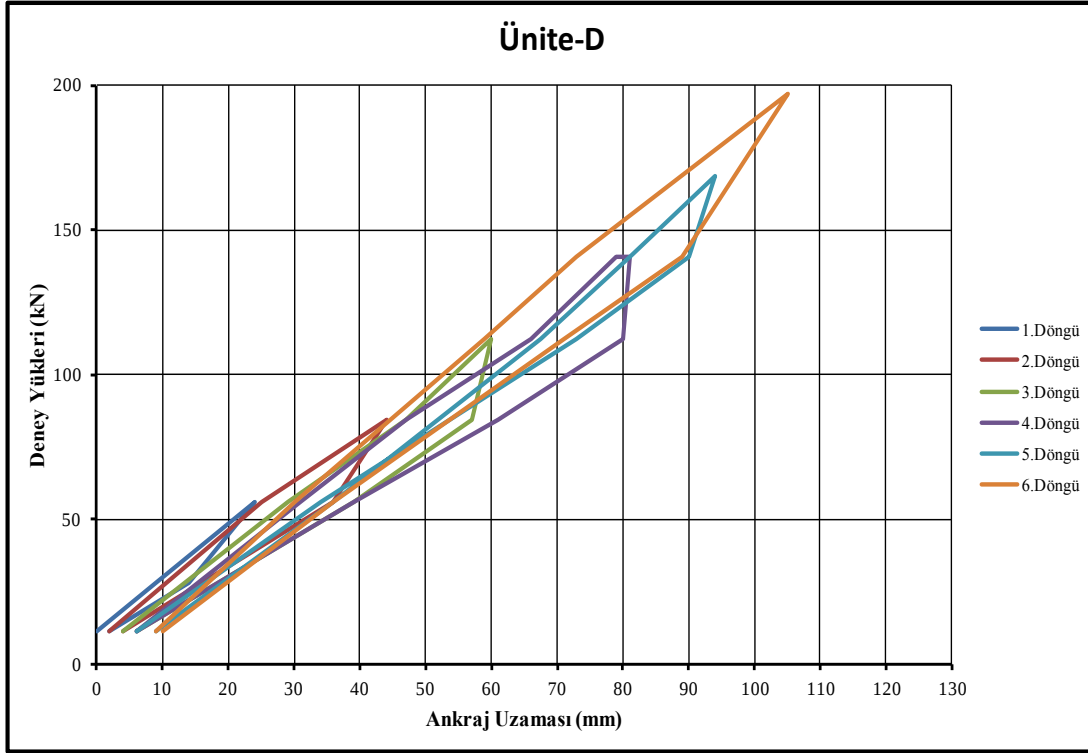
**Şekil 6.148 : Deney ankrajı-21 : yük-uzama grafiğ i (Ünite-A)**



Şekil 6.149 : Deney ankrajı-21 : yük-uzama grafiği (Ünite-B)



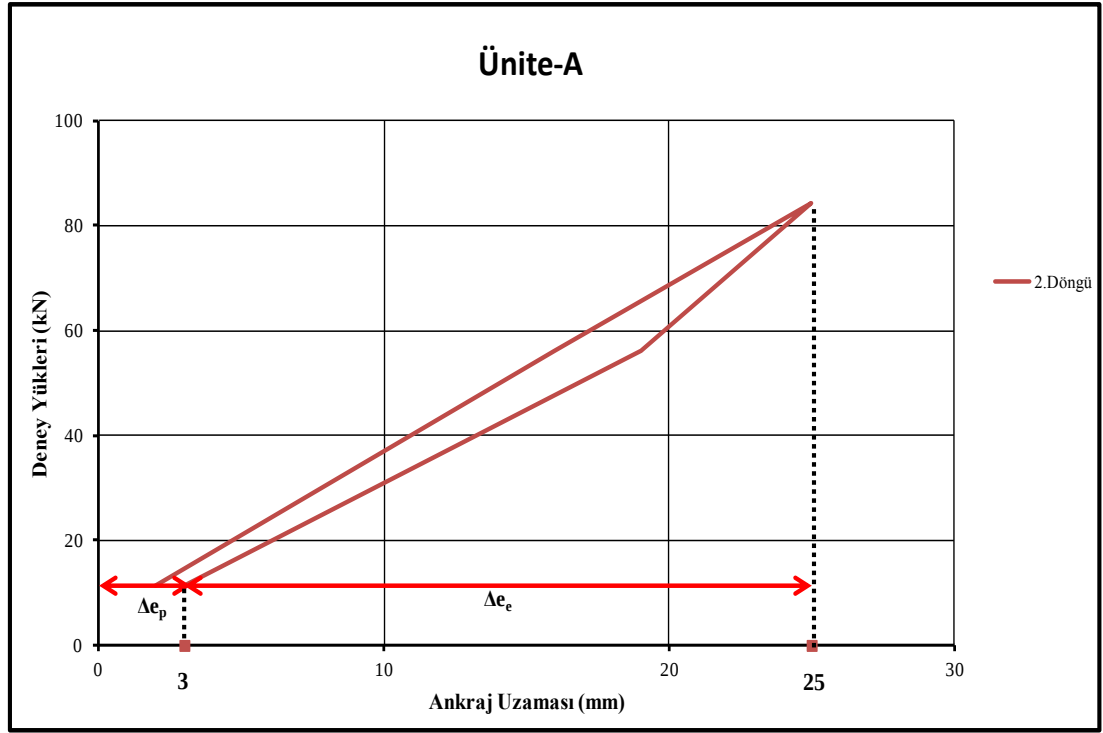
Şekil 6.150 : Deney ankrajı-21 : yük-uzama grafiği (Ünite-C)



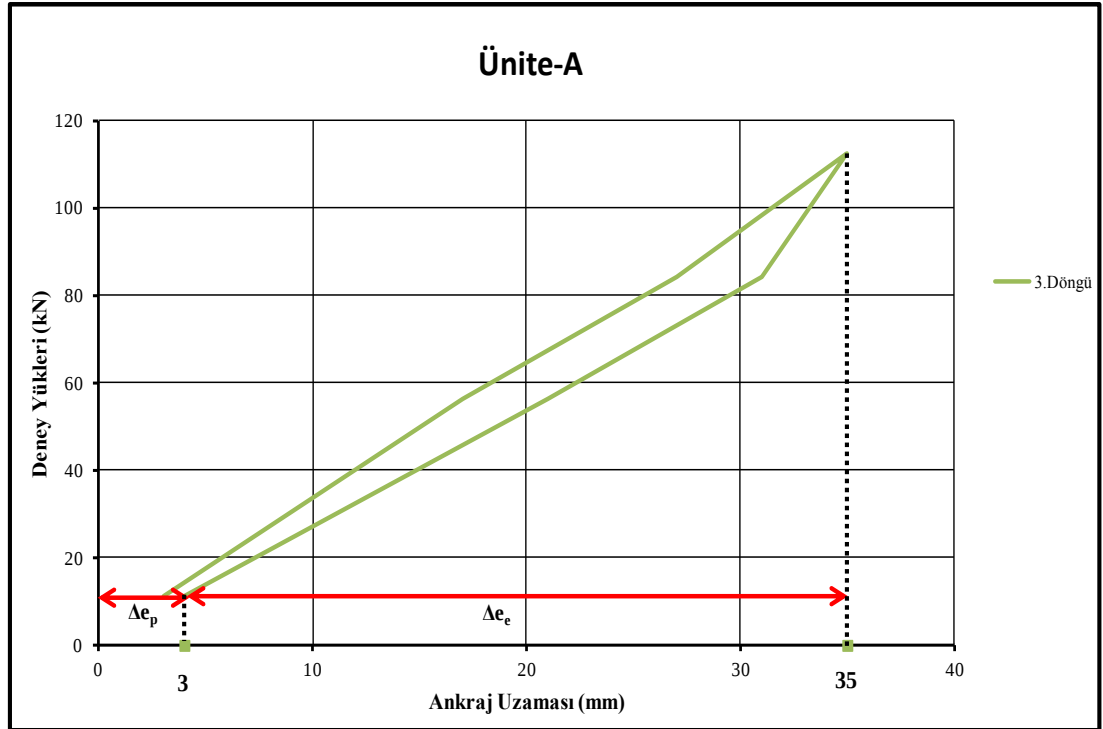
**Şekil 6.151 : Deney ankrajı-21 : yük-uzama grafiği (Ünite-D)**

SBMA ve ard enjeksiyon teknikleri kullanılarak imal edilen 21 numaralı deney ankrajını oluşturan 4 ünitenin de saha performansı farklı olmuştur. Kök taşıma gücünün Ünite-A ve B'de yenildiği, C ve D ünitelerinde ise deney programına göre belirlenen maksimum yük kademesi altında bile kök sıyrılmasının yaşanmadığı germe sırasında oluşan çekme yüklerini başarılı bir şekilde alüvyonel kil tabakasına aktardığı tespit edilmiştir. Kök taşıma gücü değeri; ünite-A için ön görülen proje germe yükü 450 kN değerinin 1.50 katına eşit olan yükün eşit olarak dörde bölündüğü 168.75 kN, ünite-B için 196.875 kN olarak hesaplanmıştır. SBMA tekniği kullanılarak imal edilen deney ankrajını oluşturan ünitelerden A ve B olanlarında yaşanan kök sıyrılması, deneyin ilerlemesini etkilememiş ve diğer ünitelerin gerilmesine devam edilmiştir. Yapılan saha deneyleri ile birlikte ankraj kök taşıma gücü belirlenmesinin yanı sıra proje aşamasında uygulanacak ankrajlar için maksimum öngerme yüklerinin de belirlenmesi amaçlanmıştır. Deney sırasında ölçülen yük-uzama kayıtlarına göre, deney ankrajını oluşturan ünitelerden A tipi ön görülen proje yükünün 75%, 100%, 125% katları, B tipi için 100%, 125%, 150% katları, diğer tip üniteler ise 125%, 150% ve 175% katlarına denk gelen kademelerdeki yük uzama eğrileri hazırlanarak grafiklerde gösterilmiştir (şekil

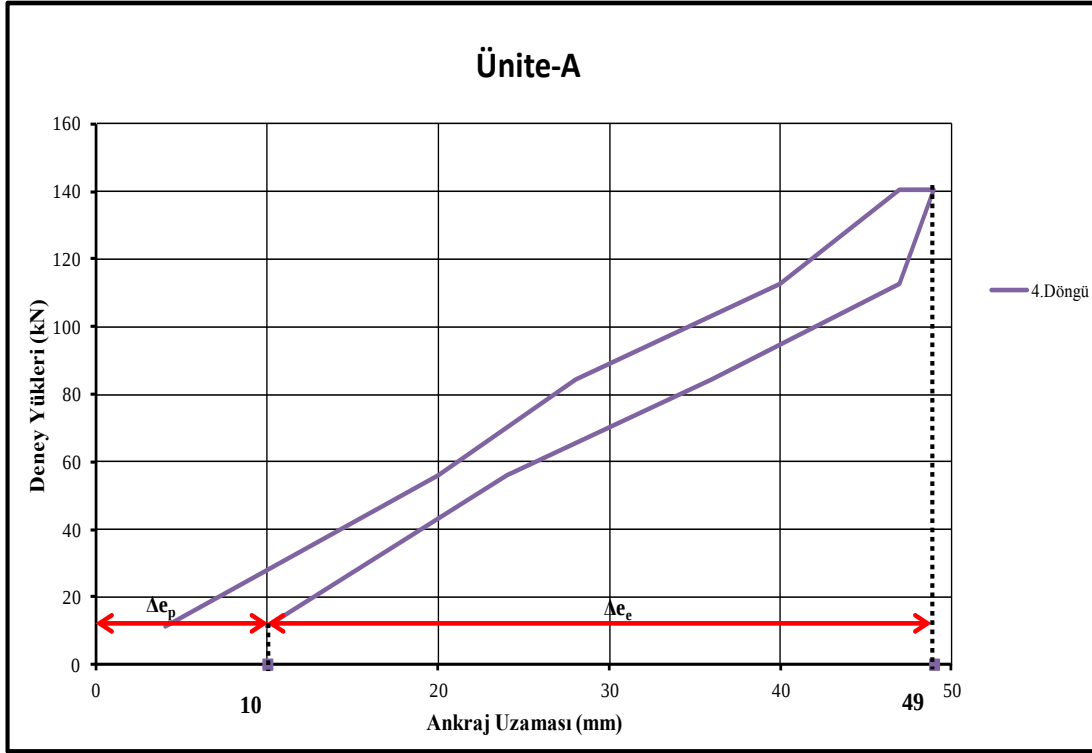
6.152, 6.128, ..., 6.164). Hazırlanan grafiklerin içerisinde deney sırasında ankrajda gözlemlenen elastik-plastik uzama farkları da dahil edilmiştir.



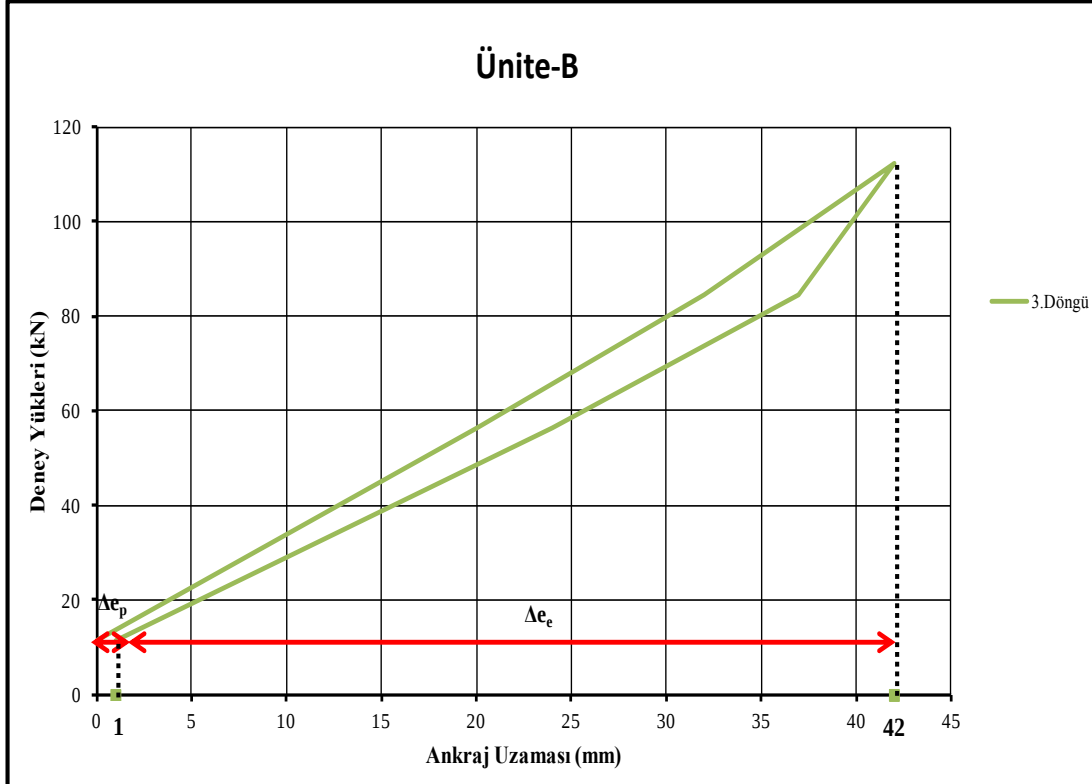
Şekil 6.152 : : Deney ankrajı-21: yük uzama grafiği (75% Yük döngüsü-ÜniteA)



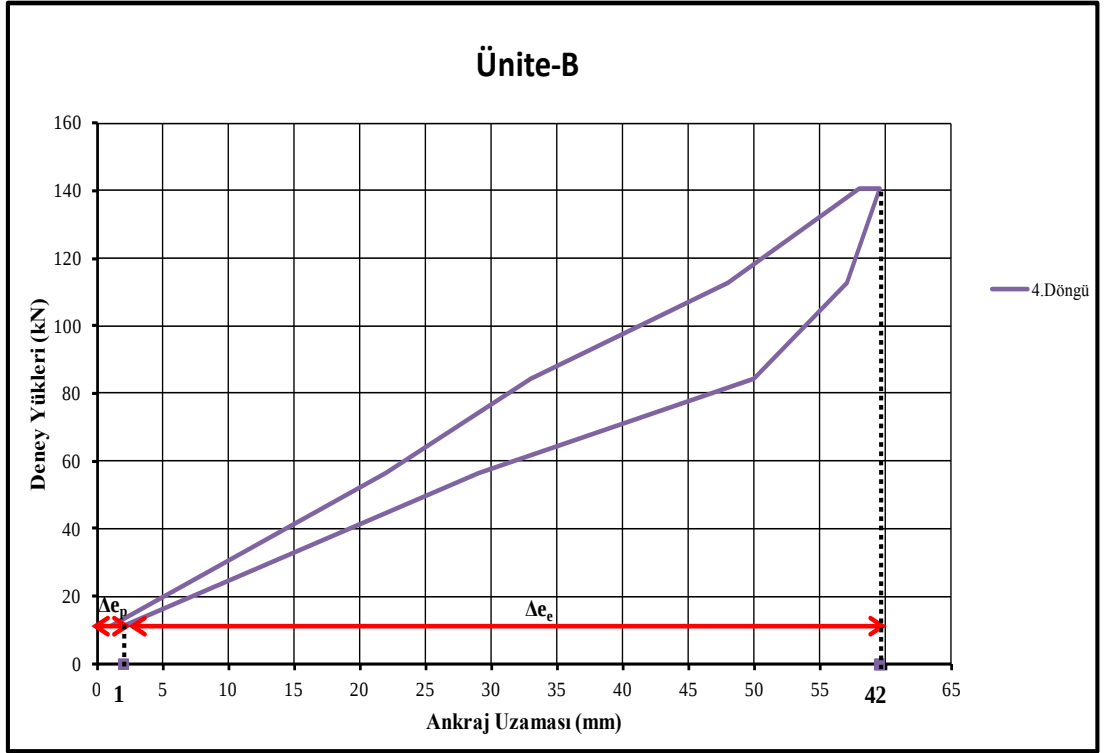
Şekil 6.153 : Deney ankrajı-21 yük uzama grafiği (100% Yük döngüsü-Ünite A)



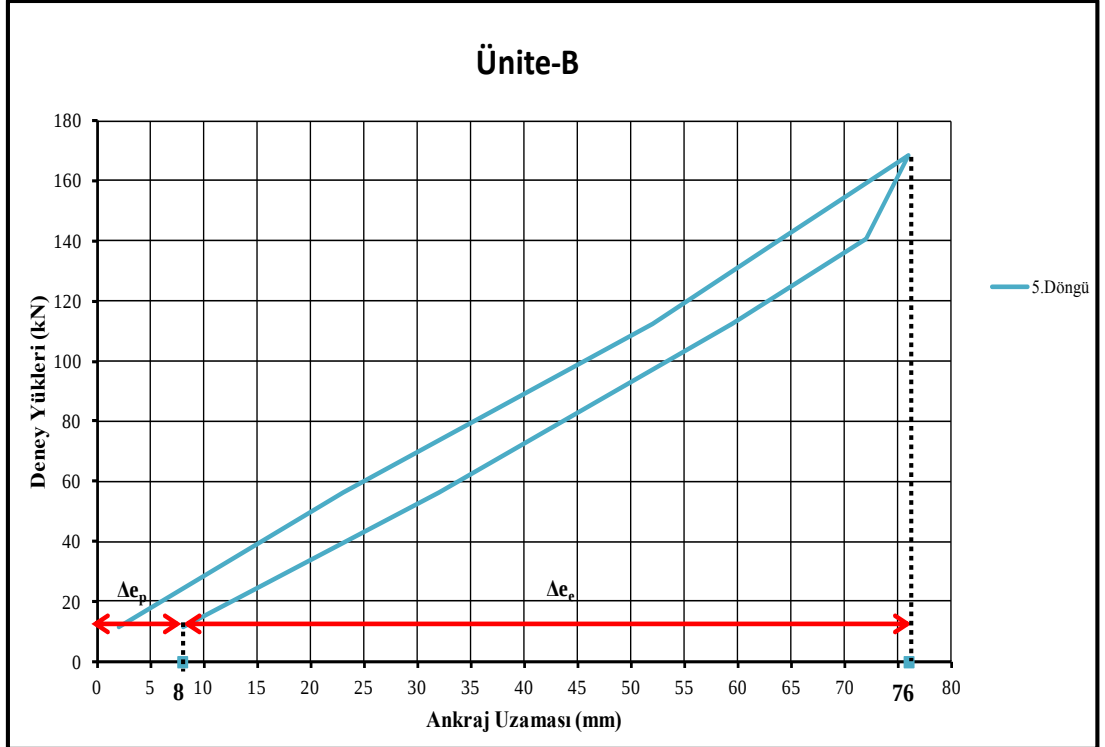
**Şekil 6.154 :** Deney ankrajı-21 yük uzama grafiği (125% Yük döngüsü- Ünite A)



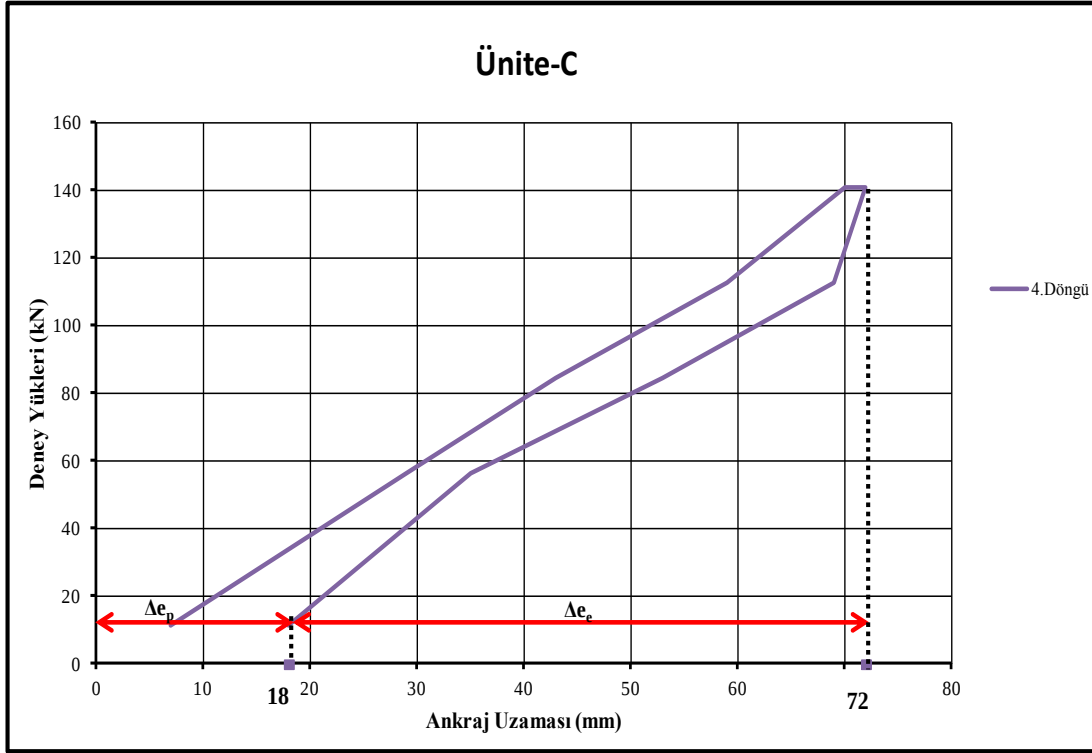
**Şekil 6.155 :** Deney ankrajı-21 yük uzama grafiği (100% Yük döngüsü-Ünite B)



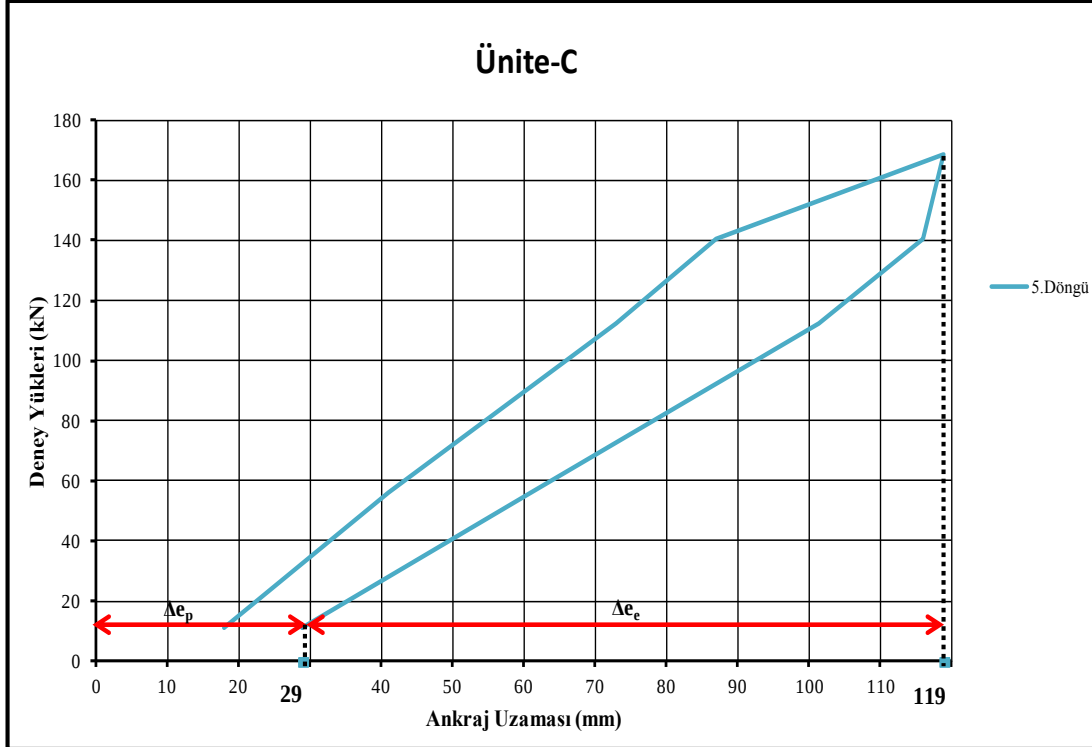
**Şekil 6.156 :** Deney ankrajı-21 yük uzama grafiği (125% Yük döngüsü-Ünite B)



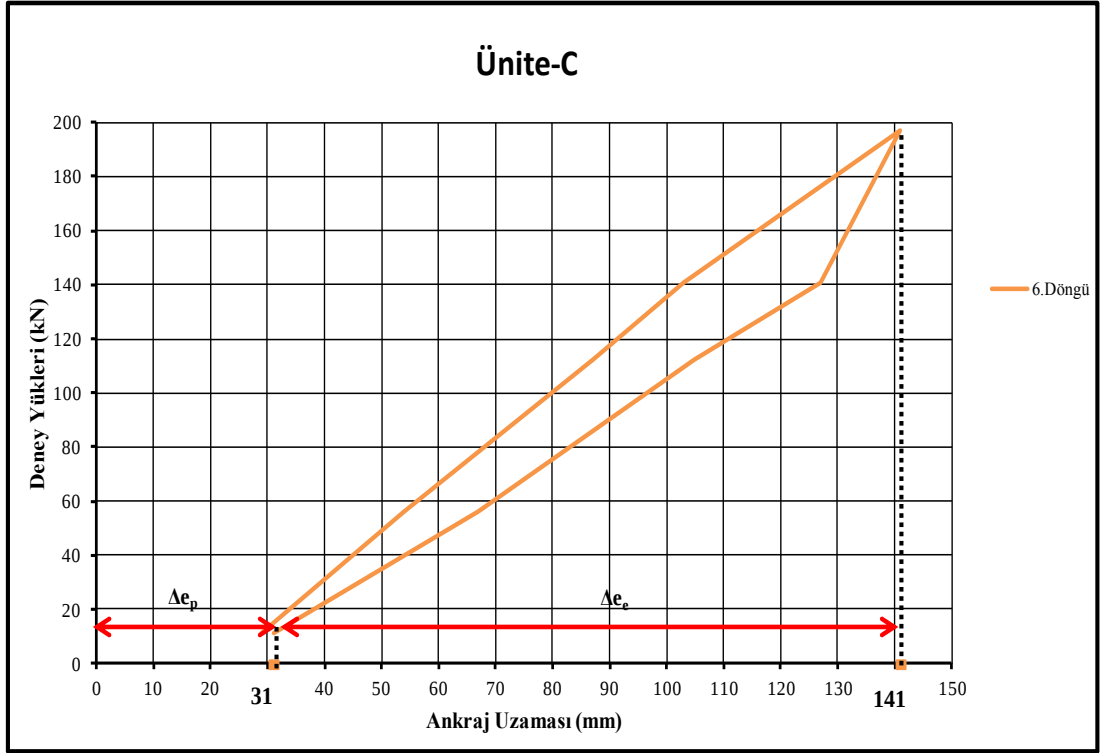
**Şekil 6.157 :** Deney ankrajı-21 yük uzama grafiği (150% Yük döngüsü-Ünite B)



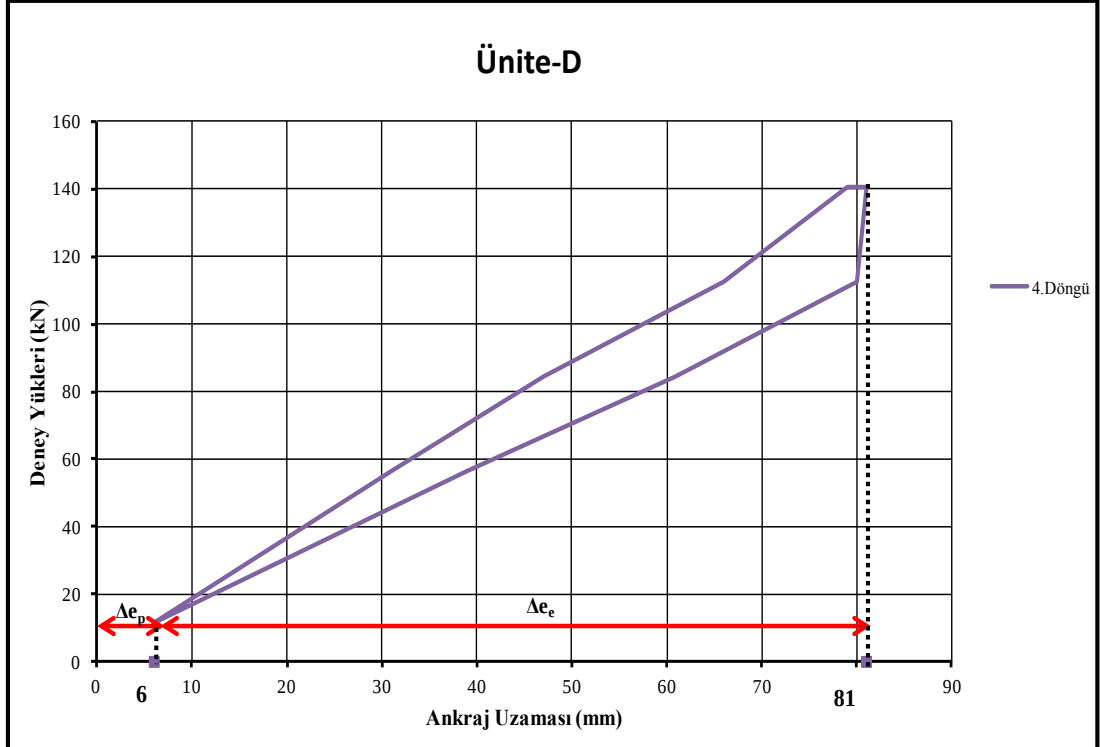
**Şekil 6.158** : Deney ankrajı-21 yük uzama grafiği (125% Yük döngüsü-Ünite C)



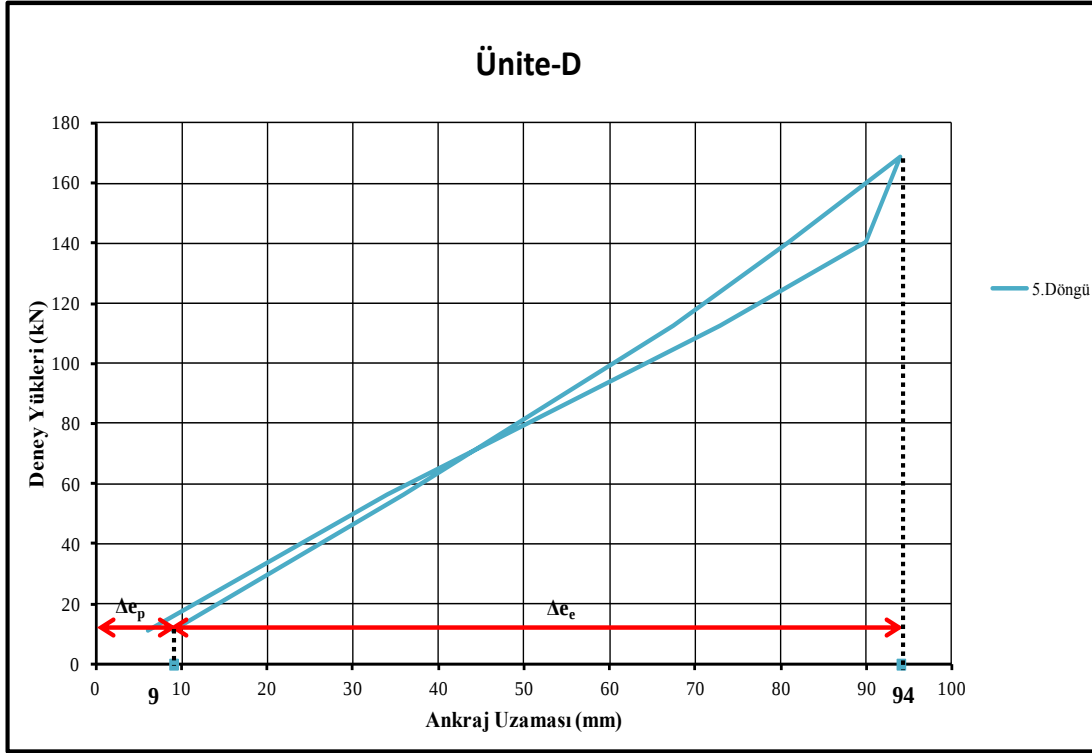
**Şekil 6.159** : Deney ankrajı-21 yük uzama grafiği (150% Yük döngüsü-Ünite C)



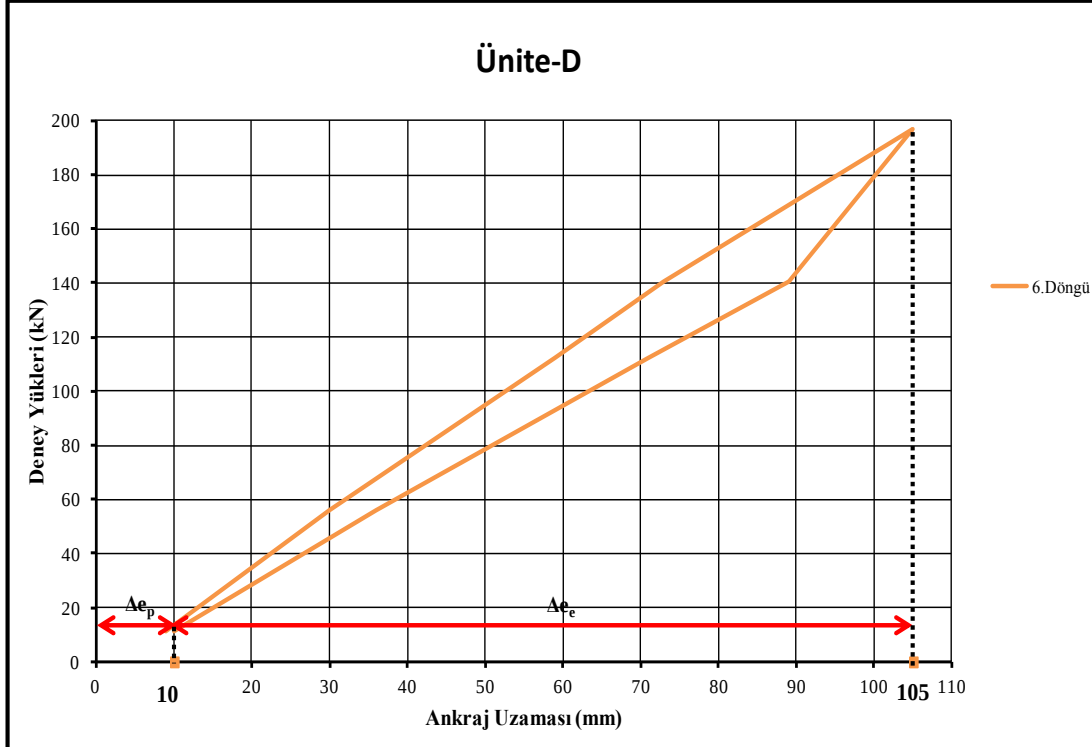
**Şekil 6.160 :** Deney ankrajı-21 yük uzama grafiği (175% Yük döngüsü-Ünite C)



**Şekil 6.161 :** Deney ankrajı-21 yük uzama grafiği (125% Yük döngüsü-Ünite D)



**Şekil 6.162 :** Deney ankrajı-21 yük uzama grafiği (150% Yük döngüsü-Ünite D)



**Şekil 6.163 :** Deney ankrajı-21 yük uzama grafiği (175% Yük döngüsü-Ünite D)

Geleneksel yöntemle göre kök taşıma gücünün artırılması hedeflenen 21 numaralı deney ankrajına proje aşamasında verilebilecek maksimum öngerme yükünün belirlenmesi için, BS8081:1989'da belirtilen deney kriterleri, ankrajı oluşturan her bir ünite üzerinde ayrı olarak incelenmiştir. İlgili kriterler aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- Görünen serbest boy hesabı (BS8081:1989, Madde 11.2.9)
- Denklem 6.1 'e göre hesaplanan görünen serbest boy BS8081'e göre aşağıda verilen şartları sağlaması gerekmektedir.

$$\geq \%90 \times \text{Tasarım Serbest Boyu}$$

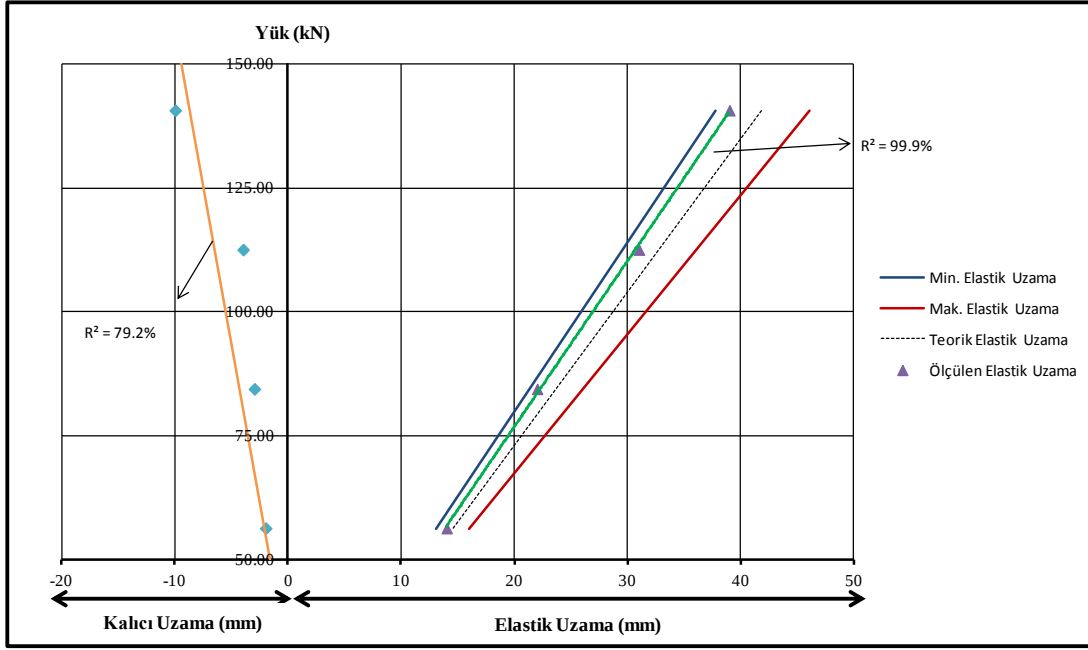
$$\leq \min. (\%110 \times \text{Tasarım Serbest Boyu}, \text{Tasarım Serbest Boyu} + \%50 \text{ Kök Boyu})$$

- Belirli bir yük kademesi altında zamana bağlı gözlemlenen uzama miktarı veya uzama oranı çizelge 6.5'de belirtilen şartları sağlamak zorundadır (BS8081:1989).

Yukarıda belirtilen maddelerden ilk ikisi, deney sırasında her bir üniteye uygulanan döngülerin tamamı için dikkate alınmıştır.

Her bir döngü içerisinde ulaşılan maksimum yük altında deney ankrajını oluşturan ünitelerde gözlemlenen elastik uzama ve buna bağlı hesaplanan görünen serbest boy değerleri çizelge 6.63'de verilmiştir.

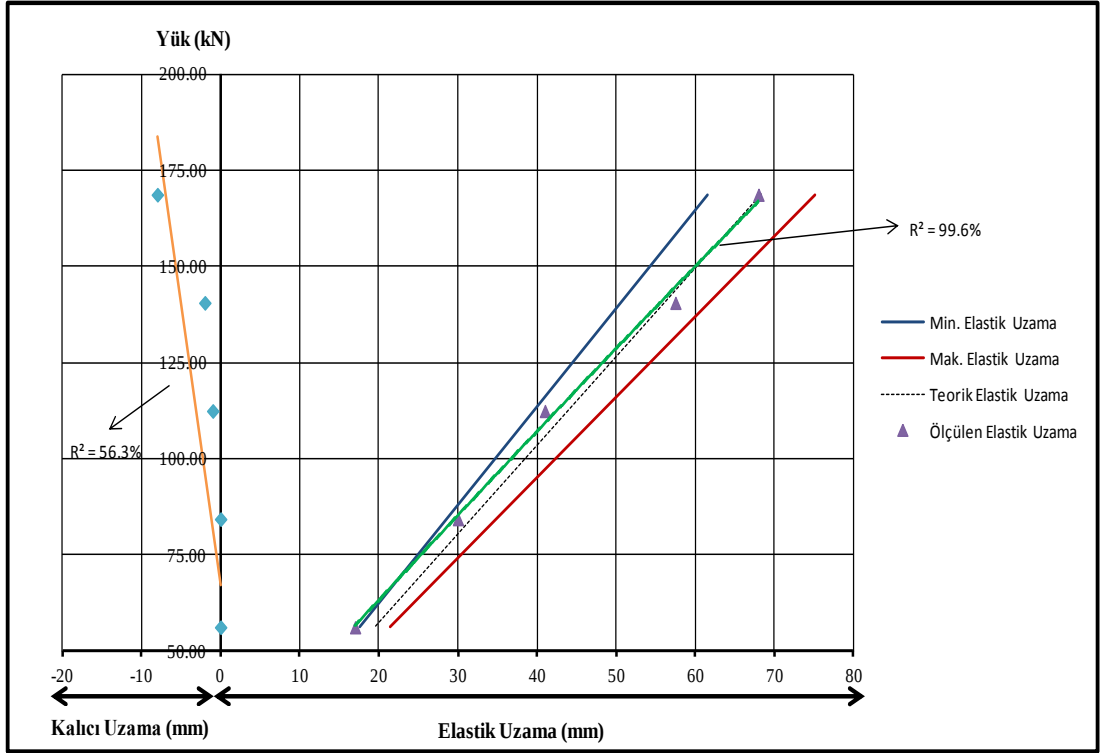
Deney ankrajını oluşturan her bir ünite için serbest boy kriteri, BS8081:1989'a göre incelenmiş ve grafikler üzerinde özetlenmiştir (şekil 6.164, 6.165, 6.166, 6.167).Serbest boy kriteri değerlendirmesi için aşağıda verilen grafikler üzerinde gösterilmiş maksimum ve minimum elastik uzama değerleri, her bir yük kademesinde çıkılan maksimum yük değerinin denklem 6.1'de kullanılması ile elde edilmiştir.



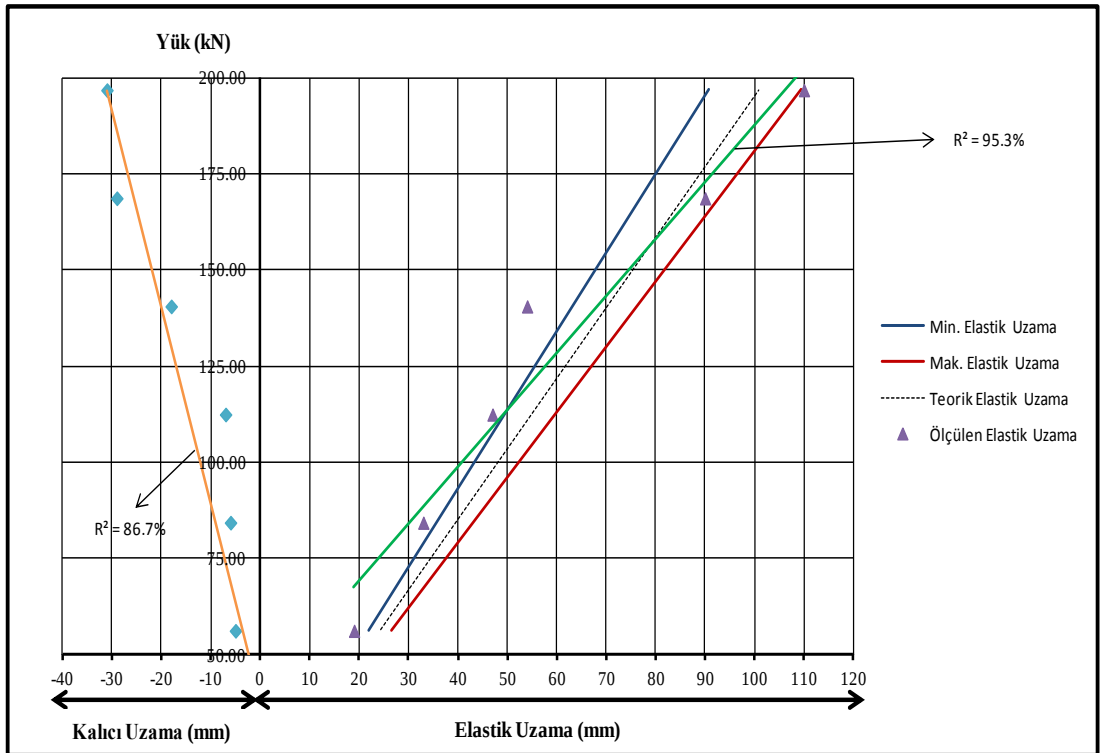
**Şekil 6.164 :** Deney ankrajı-21 sahada ölçülen elastik uzama değerlerinin kontrolü ve kalıcı uzama-yük ilişkisi (Ünite-A)

**Çizelge 6.63 :** Yük kademelerinde ölçülen elastik ve kalıcı ankraj uzama değerleri

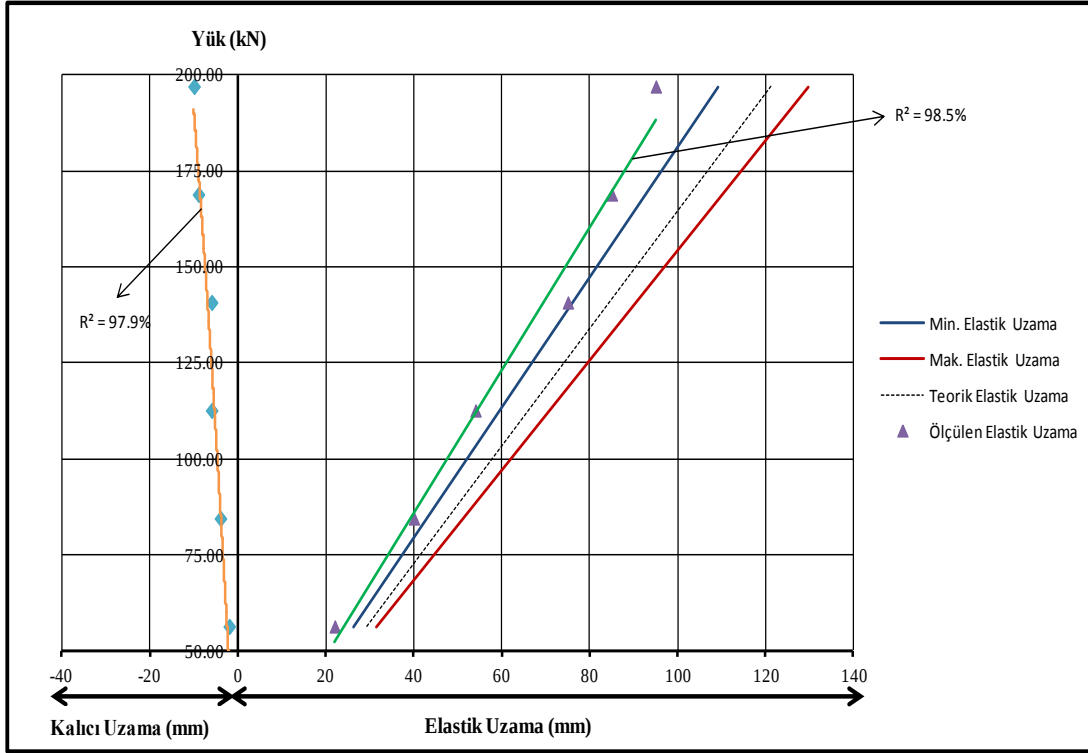
| Ünite | Döngü | Yük (kN) | $\Delta_{ank}$ (mm) | $\Delta_p$ (mm) | $\Delta_e$ (mm) | $L_{app}$ (m) |
|-------|-------|----------|---------------------|-----------------|-----------------|---------------|
| A     | 1     | 56.25    | 16                  | 2               | 14              | 8.49          |
|       | 2     | 84.38    | 25                  | 3               | 22              | 8.21          |
|       | 3     | 112.50   | 35                  | 4               | 31              | 8.36          |
|       | 4     | 140.63   | 49                  | 10              | 39              | 8.23          |
| B     | 1     | 56.25    | 17                  | 0               | 17              | 10.31         |
|       | 2     | 84.38    | 30                  | 0               | 30              | 11.20         |
|       | 3     | 112.50   | 42                  | 1               | 41              | 11.05         |
|       | 4     | 140.63   | 60                  | 2               | 58              | 12.13         |
|       | 5     | 168.75   | 76                  | 8               | 68              | 11.79         |
| C     | 1     | 56.25    | 24                  | 5               | 19              | 11.53         |
|       | 2     | 84.38    | 39                  | 6               | 33              | 12.32         |
|       | 3     | 112.50   | 54                  | 7               | 47              | 12.67         |
|       | 4     | 140.63   | 72                  | 18              | 54              | 11.39         |
|       | 5     | 168.75   | 119                 | 29              | 90              | 15.60         |
|       | 6     | 196.88   | 141                 | 31              | 110             | 16.18         |
| D     | 1     | 56.25    | 24                  | 2               | 22              | 13.35         |
|       | 2     | 84.38    | 44                  | 4               | 40              | 14.93         |
|       | 3     | 112.50   | 60                  | 6               | 54              | 14.56         |
|       | 4     | 140.63   | 81                  | 6               | 75              | 15.83         |
|       | 5     | 168.75   | 94                  | 9               | 85              | 14.73         |
|       | 6     | 196.88   | 105                 | 10              | 95              | 13.97         |



Şekil 6.165 : Deney ankrajı-21 sahada ölçülen elastik uzama değerlerinin kontrolü ve kalıcı uzama-yük ilişkisi (Ünite-B)



Şekil 6.166 : Deney ankrajı-21 sahada ölçülen elastik uzama değerlerinin kontrolü ve kalıcı uzama-yük ilişkisi (Ünite-C)



**Şekil 6.167 :** Deney ankrajı-21 sahada ölçülen elastik uzama değerlerinin kontrolü ve kalıcı uzama-yük ilişkisi (Ünite-D)

21 numaralı deney ankrajı ve ankrajını oluşturan üniteler, A ve B hariç ön görülen germe yükünün tüm katlarını başarılı bir şekilde zemine aktarmaktadır. Deney ankrajı kök bölgesinde oluşacak kayma gerilmelerinin aktaracağı tabakanın yumuşak/orta katı/katı kıvama sahip yüksek plastisiteli alüvyonel kil olması sebebi ile sabit yük altında ankraj uzama yapmaya devam ederek mevcut taşıyacağı germe yükünün düşmesi riski bulunmaktadır. Deney programına göre belirlenen ve kritik olarak görülen her bir yük kademesinde ankrajı oluşturan ünitelerin sabit yük altında uzama yapıp yapmadığı minimum 15 dakika süre içerisinde incelenmiştir. Sabit yük altında, çizelge 6.5'de verilen gözlem periyotlarında belirtilen izin verilebilir uzama oranlarına göre sahada gerçekleştirilen deney sırasında ankrajı oluşturan her bir ünitenin ölçülen uzama değerleri aşağıda verilen tablolarca özetlenmiştir (çizelge 6.64, 6.65, 6.66, 6.67).

Deney ankrajını oluşturan ünitelerden A tipi, ön görülen proje germe yükünün 1.25 katına denk gelen (140.6 kN) yük kademesinde kök sıyrılması yaşandığı, B tipi ünitenin ise ön görülen proje germe yükünün 1.75 katına denk gelen (196.875 kN) yük kademesinde sıyrıldığı gözlemlenmiştir. Ankraj sistemini oluşturan diğer

üniteler (C ve D), germe programına göre belirlenen tüm kademelerde çıkılan maksimum yükleri başarılı bir şekilde zemine aktarmıştır.

**Çizelge 6.64 :** Farklı yükler altında ankraj-21 (Ünite-A) için uzama oranları ve izin verilebilir limitler

| Döngü | Kademe | Gözlem Periyodu (dk) | Yük (kN) | $\Delta_{ank}$ (mm) | Teo. $\Delta_e$ (mm) | Uzama Oranı (mm) | İzin verilebilir Uzama Oranı (mm) |
|-------|--------|----------------------|----------|---------------------|----------------------|------------------|-----------------------------------|
| 4     | 125    | -                    | 140.63   | 47                  | 41.94                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 49                  |                      | 1.50             | 0.42                              |
|       |        | 15                   |          | 49                  |                      | 1.50             | 0.84                              |
|       |        | 50                   |          | 49                  |                      | 2.00             | 1.26                              |

**Çizelge 6.65 :** Farklı yükler altında ankraj-21 (Ünite-B) için uzama oranları ve izin verilebilir limitler

| Döngü | Kademe | Gözlem Periyodu (dk) | Yük (kN) | $\Delta_{ank}$ (mm) | Teo. $\Delta_e$ (mm) | Uzama Oranı (mm) | İzin verilebilir Uzama Oranı (mm) |
|-------|--------|----------------------|----------|---------------------|----------------------|------------------|-----------------------------------|
| 4     | 125    | -                    | 140.63   | 58                  | 56.16                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 60                  |                      | 1.50             | 0.56                              |
|       |        | 15                   |          | 60                  |                      | 1.50             | 1.12                              |
|       |        | 50                   |          | 60                  |                      | 1.50             | 1.68                              |
| 5     | 150    | -                    | 168.75   | 76                  | 68.37                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 76                  |                      | 0.00             | 0.68                              |
|       |        | 15                   |          | 76                  |                      | 0.00             | 1.37                              |

**Çizelge 6.66 :** Farklı yükler altında ankraj-21 (Ünite-C) için uzama oranları ve izin verilebilir limitler

| Döngü | Kademe | Gözlem Periyodu (dk) | Yük (kN) | $\Delta_{ank}$ (mm) | Teo. $\Delta_e$ (mm) | Uzama Oranı (mm) | İzin verilebilir Uzama Oranı (mm) |
|-------|--------|----------------------|----------|---------------------|----------------------|------------------|-----------------------------------|
| 4     | 125    | -                    | 140.63   | 70                  | 70.37                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 71                  |                      | 1.00             | 0.70                              |
|       |        | 15                   |          | 71                  |                      | 1.00             | 1.41                              |
|       |        | 50                   |          | 72                  |                      | 2.00             | 2.11                              |
| 5     | 150    | -                    | 168.75   | 119                 | 85.67                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 119                 |                      | 0.00             | 0.86                              |
|       |        | 15                   |          | 119                 |                      | 0.00             | 1.71                              |
| 6     | 175    | -                    | 196.88   | 141                 | 100.97               | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 141                 |                      | 0.00             | 1.01                              |
|       |        | 15                   |          | 141                 |                      | 0.00             | 2.02                              |

**Çizelge 6.67 :** Farklı yükler altında ankraj-21 (Ünite-D) için uzama oranları ve izin verilebilir limitler

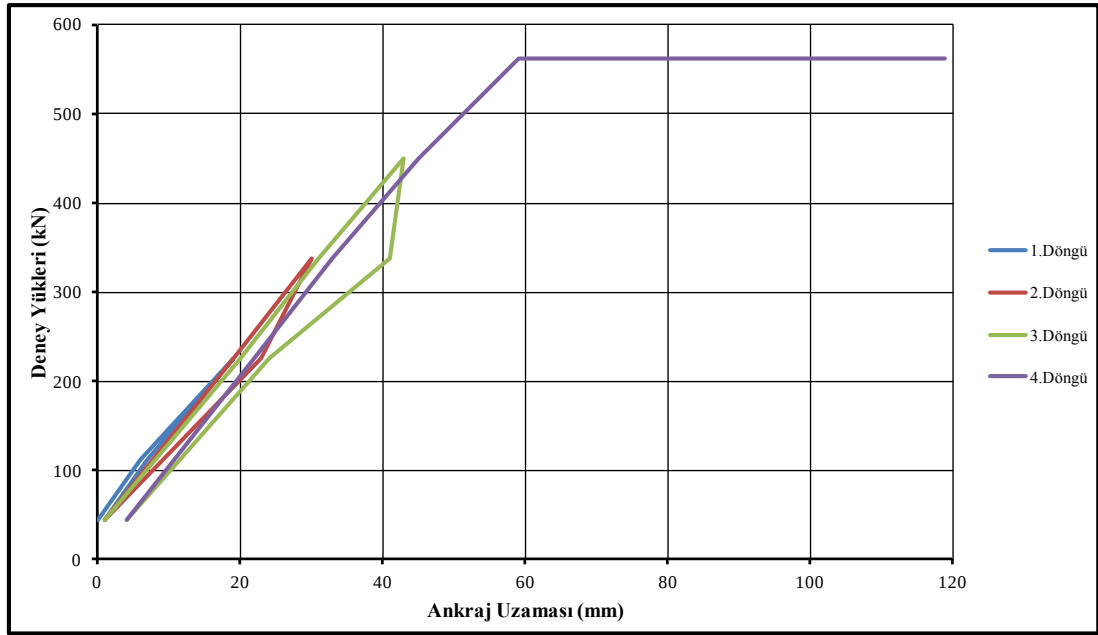
| Döngü | Kademe | Gözlem Periyodu (dk) | Yük (kN) | $\Delta_{ank}$ (mm) | Teo. $\Delta_e$ (mm) | Uzama Oranı (mm) | İzin verilebilir Uzama Oranı (mm) |
|-------|--------|----------------------|----------|---------------------|----------------------|------------------|-----------------------------------|
| 4     | 125    | -                    | 140.63   | 92                  | 84.59                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 92                  |                      | 0.00             | 0.85                              |
|       |        | 15                   |          | 92                  |                      | 0.00             | 1.69                              |
|       |        | 50                   |          | 94                  |                      | 2.00             | 2.54                              |
| 5     | 150    | -                    | 168.75   | 113                 | 102.98               | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 113                 |                      | 0.00             | 1.03                              |
|       |        | 15                   |          | 113                 |                      | 0.00             | 2.06                              |
| 6     | 175    | -                    | 196.88   | 129                 | 121.37               | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 129                 |                      | 0.00             | 1.21                              |
|       |        | 15                   |          | 129                 |                      | 0.00             | 2.43                              |

Deney ankrajını oluşturan ünitelerin germe sırasında sabit yük altında göstermiş olduğu sünme uzama değerleri kontrolü her bir ünite için farklı olmakla birlikte, incelenen döngüler yukarıda verilen çizelgelerde gösterilmiştir. Ünite-A ve B kök taşıma gücünün yenilmesi yaşandığı için, deney programında belirtilen her döngüde sünme kontrolü yapılmamıştır. Ünite-A için sünme kontrolü sadece 4.döngüde yapılmış olup, tüm okuma zamanlarında elde edilen uzamaların sınır değerleri aştığı tespit edilmiştir. Ünite-B için sünme kontrolünün 4. ve 5. deney döngüsünde yapıldığı, ölçülen sünme uzamaların limit değerler içerisinde kaldığı görülmüştür. Ünite-C ve D için ölçülen sünme uzamaları, ön görülen proje yükünün 125% katına denk gelen yük altında sınır değerlerine yakın olmak ile birlikte standart şartlarını sağlamaktadır. 150% ve 175% katlarına denk gelen yük değerlerinin altında da sünme uzamaları gerçekleştirilmemiştir. Deney ankrajına izin verilebilecek maksimum öngerme yükünün belirlenmesi için, sünme kriterinin yanı sıra serbest boy kriteri açısından da incelenmiştir. Deney ankrajını oluşturan A ve B ünitesinin germe uygulaması altında gözlemlenen elastik uzamaların, standartta belirtilen minimum ve maksimum elastik uzama değerleri arasında kaldığı görülmektedir. C ünitesinin saha deneyi sırasında gözlemlenen uzamaların 125% yük kademesine kadar uygulanan tüm döngüler altında minimum uzama değerlerinin altında kaldığı, sonraki deney aşamalarında (150% ve 175%) gözlemlenen elastik uzamaların sınır değerleri arasında kaldığı görülmüştür. D ünitesi için yapılan saha ölçüm gözlemlerine göre,

deney programına göre belirlenen tüm döngüler altında meydana gelen uzamaların standartta belirtilen minimum şartın altında kaldığı tespit edilmiştir.

#### 6.6.11 Deney ankrajı-8 (Alan-4)

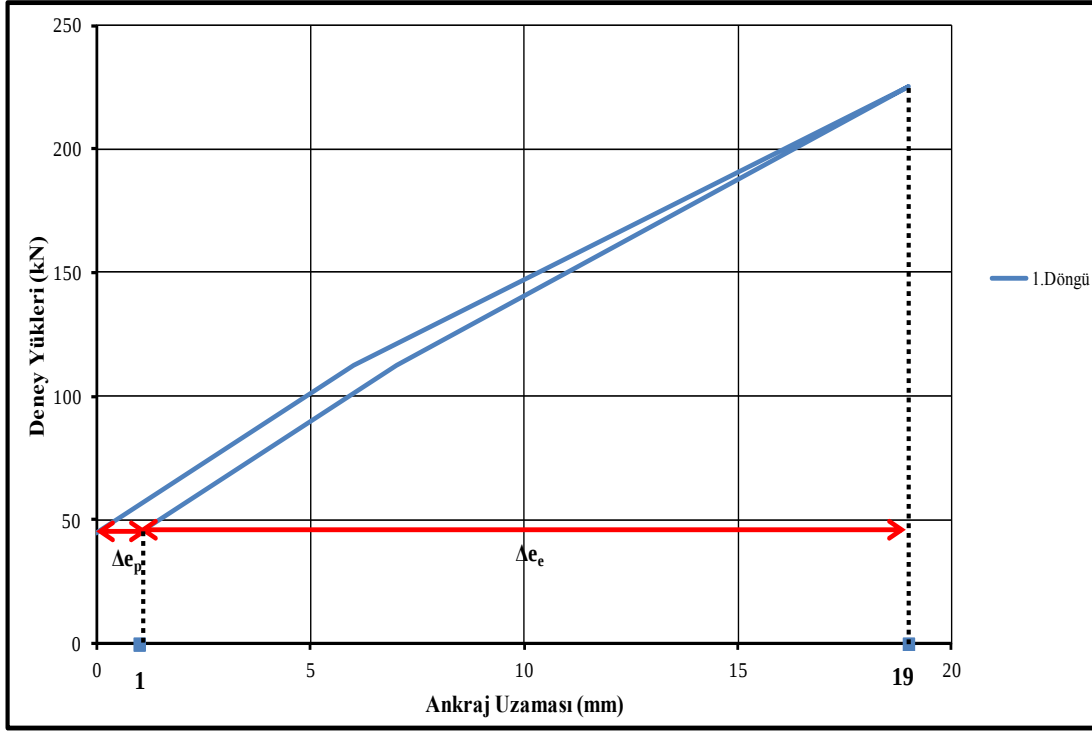
Geleneksel yöntem kullanılarak imal edilen 8 numaralı deney ankrajına uygulanan germe deneyi, programda belirtilen 6 döngünün aksine 3 döngü içerisinde gerçekleştirilmiştir. Deney sırasında ankrajda gözlemlenen uzama-yük ilişkisi şekil 6.168'te verilmiştir.



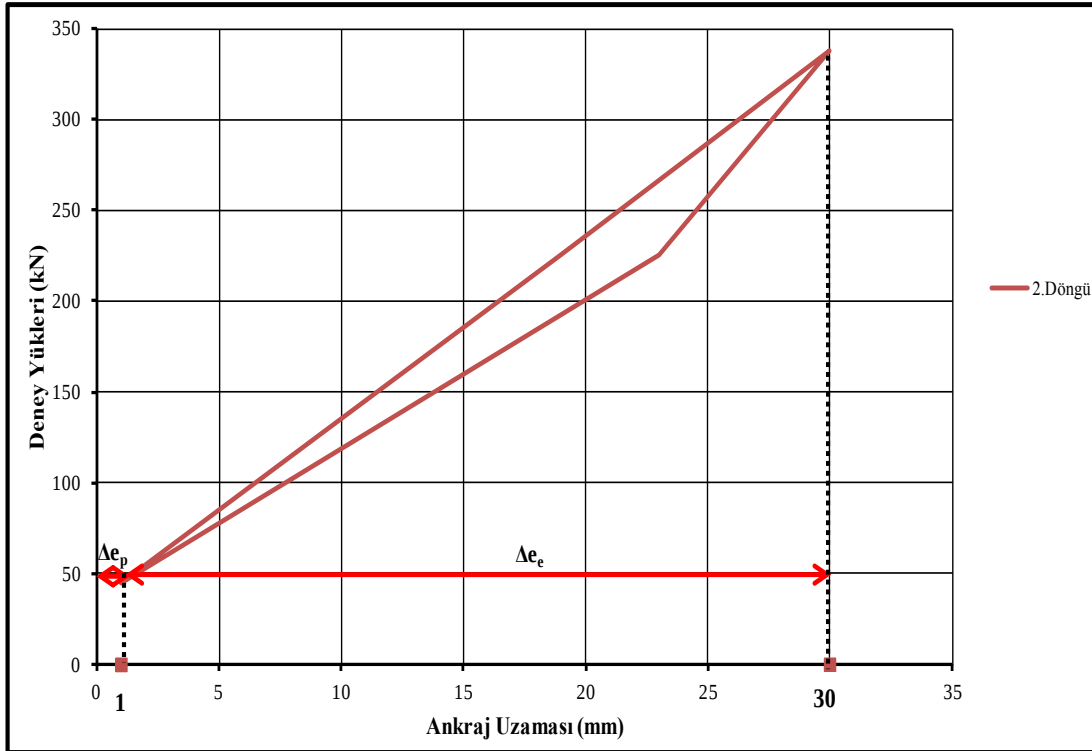
Şekil 6.168 : Deney ankrajı-8 : yük-uzama grafiği

Geleneksel yöntem kullanılarak imal edilen 8 numaralı deney ankrajının, tasarımda ön görülen proje yükü 450 kN değerini kök sıyrılması gerçekleşmeden yumuşak-orta katı-katı kıvama sahip alüvyonel kil tabakasına aktarabildiği gözlemlenmiştir. Proje yükünün 1.25 katına denk gelen yük değerinin uygulandığı 4.döngü aşamasına gelindiğinde, uzama değerlerinin zamanla hızlı bir şekilde arttığı ve ankraj kökünün sıyrıldığı gözlemlenmiştir. Ankraj kök taşıma gücünün 562.5 kN değerinde olduğu 8 numaralı deney ankrajı kök bölgesinin etkileşimde olduğu zeminin yüksek plastisiteli ve kohezyonlu olması sebebi ile beklenen sünme kaynaklı uzamaların gözlemi deney sırasında gerçekleştirilmiştir. Proje aşamasında izin verilecek maksimum germe yükünün belirlenmesi amacıyla, her bir döngü sırasında meydana gelen ankraj uzamalarına göre elde edilen yük-uzama eğrileri 3 farklı grafik üzerinde

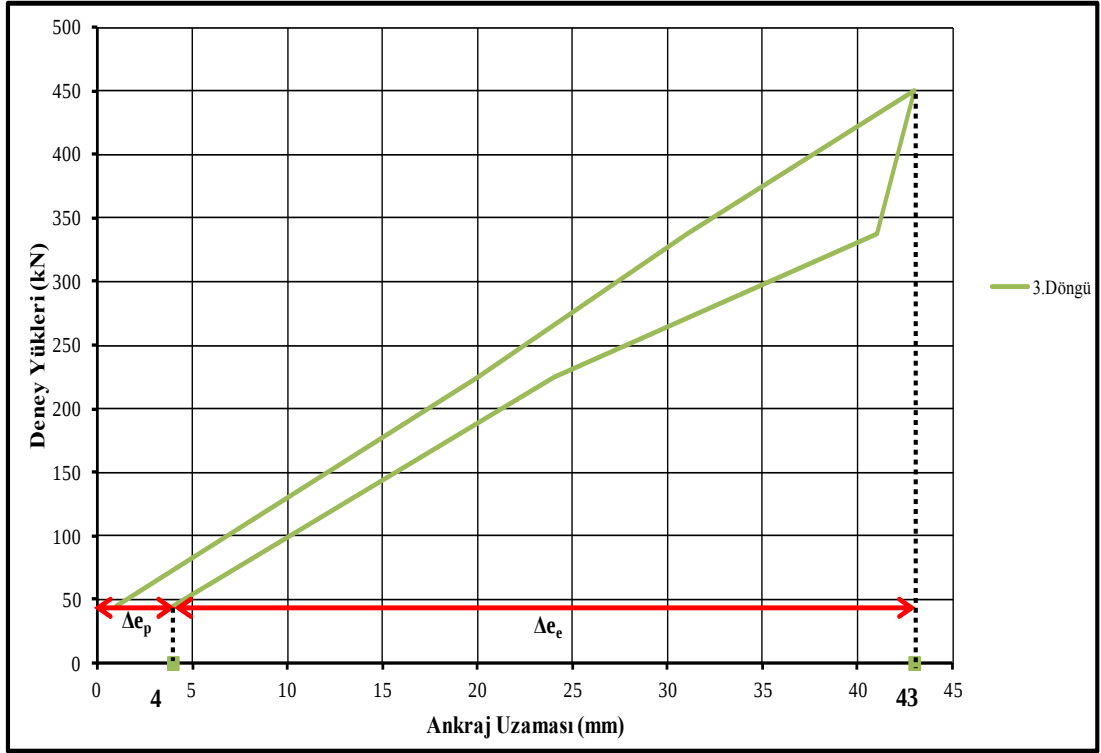
gösterilmiştir (şekil 6.169, 6.170, 6.171). İlgili grafiklerin üzerine, deney sırasında belirlenen plastik-elastik uzama farkı da eklenmiştir.



Şekil 6.169 : : Deney ankrajı-8 yük uzama grafiği (50% Yük döngüsü)



Şekil 6.170 : Deney ankrajı-8 yük uzama grafiği (75% Yük döngüsü)



**Şekil 6.171 :** Deney ankrajı-8 yük uzama grafiği (100% Yük döngüsü)

Geleneksel yöntem ile imal edilen 8 numaralı deney ankrajına proje aşamasında uygulanabilecek maksimum öngerme yükünün belirlenmesi için, BS8081:1989'da belirtilen deney kriterleri dikkate alınmıştır. İlgili kriterler aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- Görünen serbest boy hesabı (BS8081:1989, Madde 11.2.9)
- Denklem 6.1 'e göre hesaplanan görünen serbest boy BS8081'e göre aşağıda verilen şartları sağlaması gerekmektedir.

$$\geq \%90 \times \text{Tasarım Serbest Boyu}$$

$$\leq \min. (\%110 \times \text{Tasarım Serbest Boyu}, \text{Tasarım Serbest Boyu} + \%50 \text{ Kök Boyu})$$

- Belirli bir yük kademesi altında zamana bağlı gözlemlenen uzama miktarı veya uzama oranı çizelge 6.5'de belirtilen şartları sağlamak zorundadır (BS8081:1989).

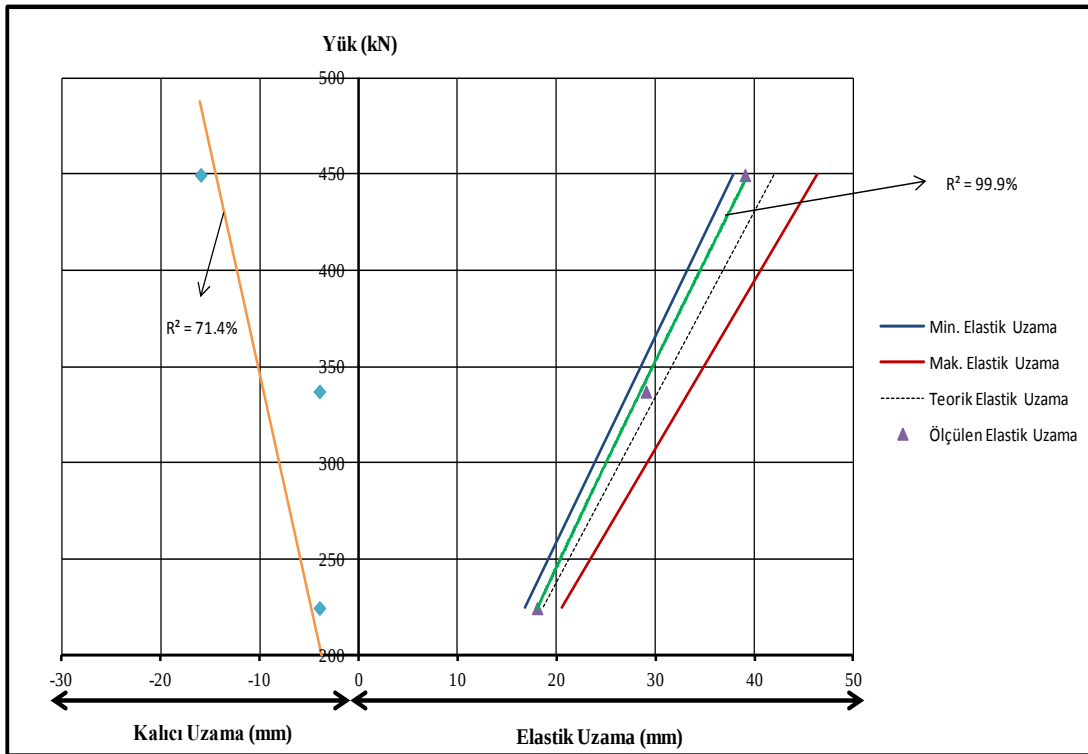
Yukarıda belirtilen maddelerden ilk ikisi, deney sırasında uygulanan 3 döngü için de dikkate alınmış ve döngü sonuçlarına göre değerlendirme yapılmıştır. Deney ankrajının, ön görülen proje yükünün **450 kN** değerinin 1.25 katına ulaşıldığı

döngüde kök sıyrılması yaşanması dolayısıyla, sabit yük altında uzama kriterine bakılmamıştır. Birinci maddeye göre, her bir döngü içerisinde ulaşılan maksimum yük kademesinde ankrajda gözlemlenen elastik uzama ve buna bağlı hesaplanan görünen boy çizelge 6.68'de verilmiştir.

**Çizelge 6.68 :** Yük kademelerinde ölçülen elastik ve kalıcı ankraj uzama değerleri

| Döngü | Yük (kN) | $\Delta_{ank}$ (mm) | $\Delta_p$ (mm) | $\Delta_e$ (mm) | $L_{app}$ (m) |
|-------|----------|---------------------|-----------------|-----------------|---------------|
| 1     | 225.00   | 19                  | 1               | 18              | 10.92         |
| 2     | 337.50   | 30                  | 1               | 29              | 10.83         |
| 3     | 450.00   | 43                  | 4               | 39              | 10.52         |

8 numaralı deney ankrajı BS8081'de belirtilen serbest boy kriteri açısından incelenmiştir ve şekil-6.172'de verilen grafik üzerinde özetlenmiştir.



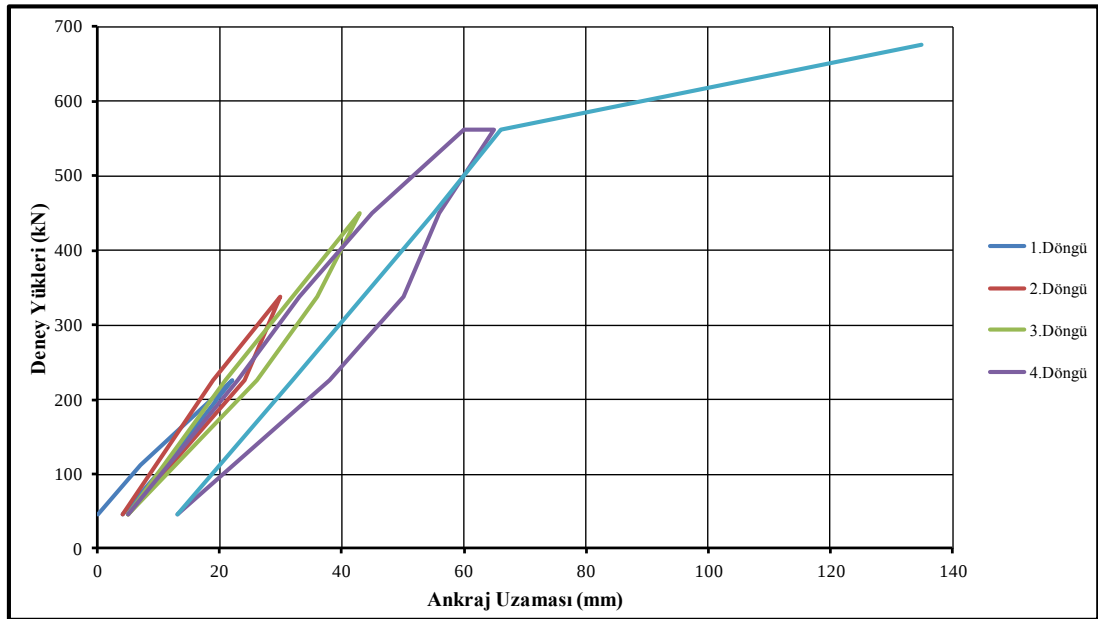
**Şekil 6.172 :** BS8081'de belirtilen kabul kriterlerine göre deney ankrajı-8 için sahada ölçülen elastik uzama değerlerinin kontrolü ve kalıcı uzama-yük ilişkisi

Şekil 6.172'de verilen grafik üzerinde gösterilmiş maksimum ve minimum elastik uzama değerleri, her bir yük kademesinde çıkılan maksimum yük değerinin denklem 6.1'de kullanılması ile elde edilmiştir.

Deney alanı-4 içerisinde geleneksel yöntem kullanılarak imal edilen 8 numaralı deney ankrajının saha performansı incelenmiştir. Projenin tasarım aşamasında belirlenen 450 kN öngerme yüküne göre hazırlanan germe deney programı çerçevesinde incelenen bu performansına göre, deney ankrajı kök bölgesinin sıyrılmasının 1.25 katına denk gelen 562.5 kN yük altında gerçekleştiği tespit edilmiştir. BS8081:1989 standardında belirtilen kriterlerden sadece serbest boy ile ilgili olanının dikkate alındığı deney ankrajının göstermiş olduğu elastik uzamaların sınır değerler içerisinde kaldığı gözlemlenmiştir.

#### 6.6.12 Deney ankrajı-9 (Alan-4)

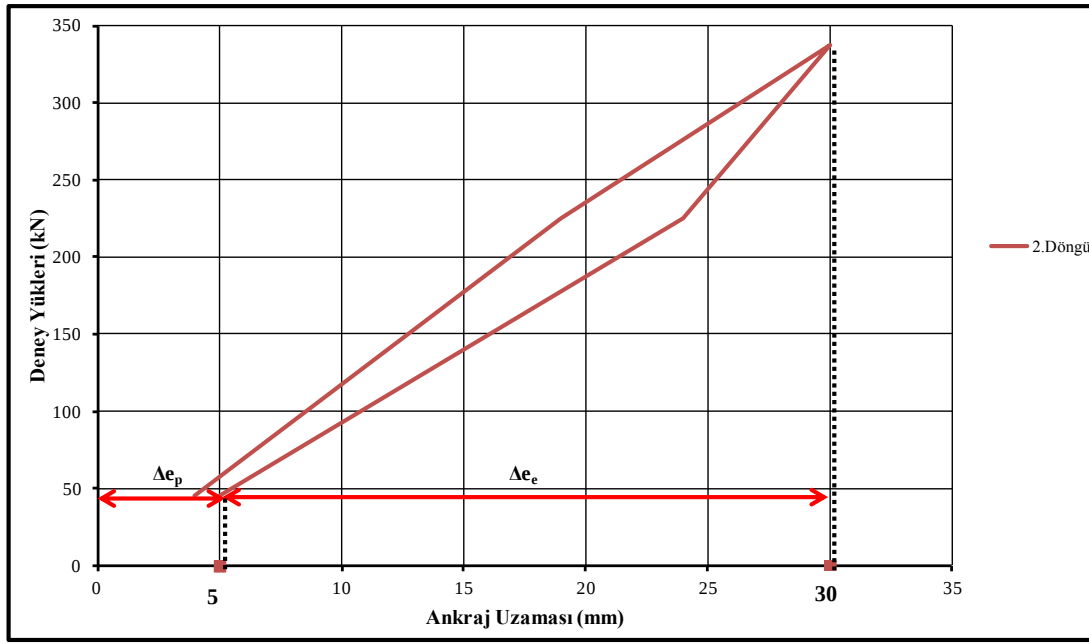
Ard enjeksiyon (Tube A Manchette) tekniği kullanılarak geleneksel yöntem ile imal edilen deney ankrajlarına göre kök taşıma gücü artırılması hedeflenen 9 numaralı deney ankrajına sahada uygulanan germe deneyi 4 döngüde tamamlanmıştır. Germe deneyi sırasında ankrajda gözlemlenen uzama-yük ilişkisi şekil 6.173'de verilmiştir.



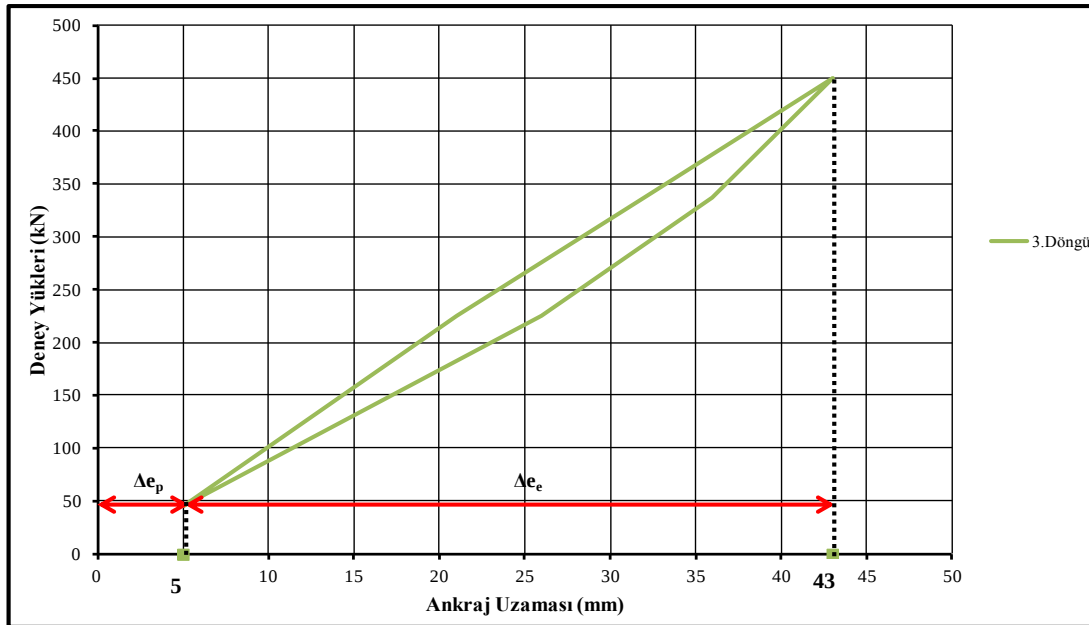
**Şekil 6.173 : Deney ankrajı-9 : yük-uzama grafiği**

Ard enjeksiyon (Tube a Manchette) yöntemi ile imal edilen 9 numaralı deney ankrajının, tasarım aşamasında ön görülen germe yükü 450 kN değerinin 1.50 katına ulaşıldığı döngü sırasında kök bölgesinin sıyrıldığı gözlemlenmiştir. İlgili proje yükünün 1.25 katına tekabül eden yük değerini (562.5 kN) başarılı bir şekilde yumuşak/orta katı/katı kıvamında olan alüvyonel kil tabakasına aktaran deney ankrajı, bu zeminin yüksek plastisiteli ve kohezyonlu olması sebebi ile sünme

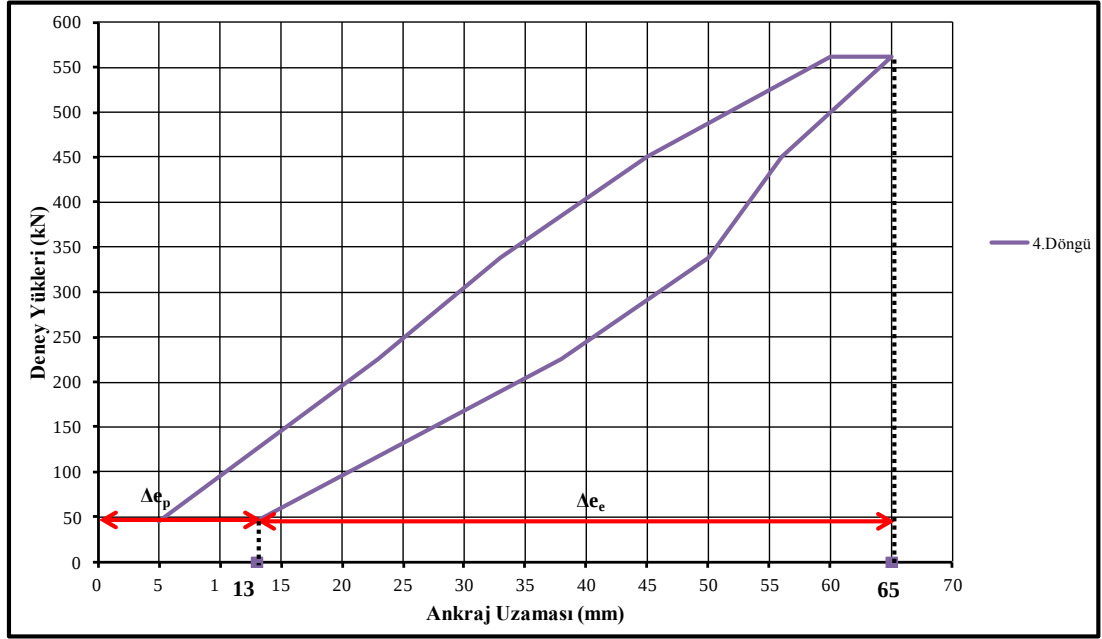
kaynaklı uzamaların gözlemi deney sırasında gerçekleştirilmiştir. Ard enjeksiyon tekniği kullanılarak imal edilen deney ankrajının, proje aşamasında izin verilecek maksimum germe yükünün belirlenmesi amacıyla ön görülen proje yükünün sırasıyla 75%, 100% ve 125% katlarına denk gelen kademelerdeki yük-uzama eğrileri hazırlanmış ve 3 farklı grafikte gösterilmiştir (şekil 6.144, 6.145 ve 6.146). İlgili grafiklerin üzerine, deney sırasında belirlenen plastik-elastik uzama farkı da eklenmiştir.



Şekil 6.174 : Deney ankrajı-9 yük uzama grafiği (75% Yük döngüsü)



Şekil 6.175 : Deney ankrajı-9 yük uzama grafiği (125% Yük döngüsü)



**Şekil 6.176 :** Deney ankrajı-9 yük uzama grafiği (150% Yük döngüsü)

Ard enjeksiyon (Tube a Manchette) yönteminin kullanıldığı 9 numaralı deney ankrajına proje aşamasında verilebilecek maksimum öngerme yükünün belirlenmesi için, BS8081:1989'da belirtilen deney kriterleri dikkate alınmıştır. İlgili kriterler aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- Görünen serbest boy hesabı (BS8081:1989, Madde 11.2.9)
- Denklem 6.1 'e göre hesaplanan görünen serbest boy BS8081'e göre aşağıda verilen şartları sağlaması gerekmektedir.

$$\geq \%90 \times \text{Tasarım Serbest Boyu}$$

$$\leq \min. (\%110 \times \text{Tasarım Serbest Boyu}, \text{Tasarım Serbest Boyu} + \%50 \text{ Kök Boyu})$$

- Belirli bir yük kademesi altında zamana bağlı gözlemlenen uzama miktarı veya uzama oranı çizelge 6.5'de belirtilen şartları sağlamak zorundadır (BS8081:1989).

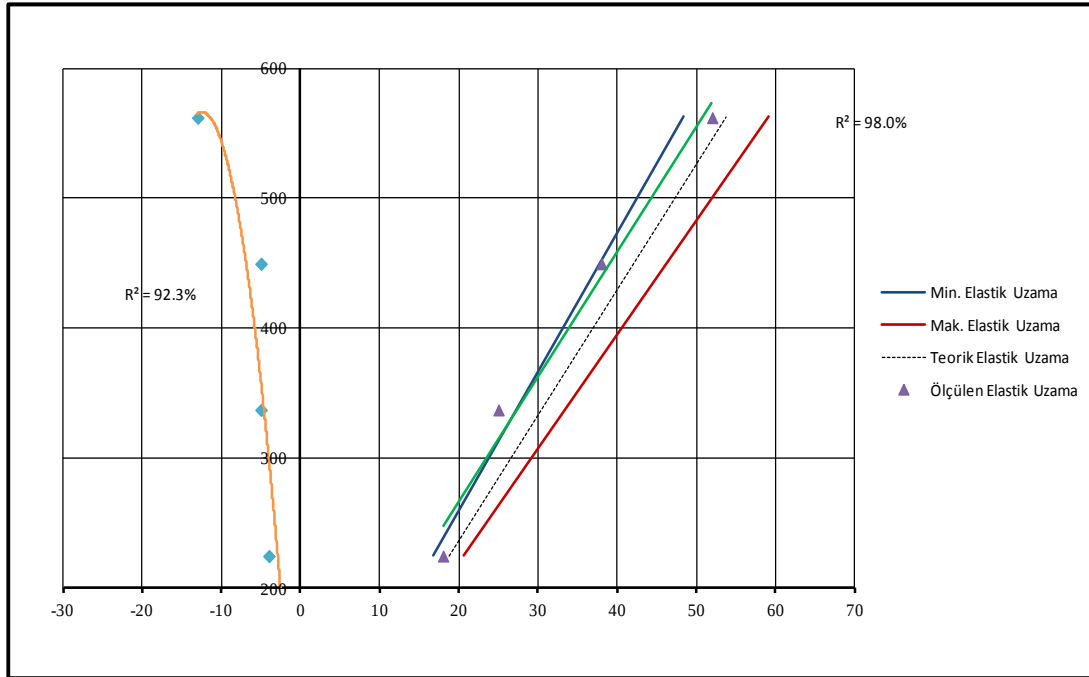
Yukarıda belirtilen maddelerden ilk ikisi, deney sırasında uygulanan tüm döngülerde elde edilen sonuçların dikkate alınması ile birlikte değerlendirilmiştir. Sabit yük altında gözlemlenen uzama oranı kriteri ise, ön görülen proje yükü **450 kN** değerinin sırasıyla 1.25 katlarına denk gelen deney yüklerinin uygulandığı döngüler içerisinde dikkate alınmıştır. Birinci maddeye göre, her bir döngü içerisinde ulaşılan

maksimum yük kademesinde ankrajda gözlemlenen elastik uzama ve buna bağlı hesaplanan görünen boy çizelge 6.69'da verilmiştir.

**Çizelge 6.69 :** Yük kademelerinde ölçülen elastik ve kalıcı ankraj uzama değerleri (Deney ankrajı-9)

| Döngü | Yük (kN) | $\Delta_{ank}$ (mm) | $\Delta_p$ (mm) | $\Delta_e$ (mm) | $L_{app}$ (m) |
|-------|----------|---------------------|-----------------|-----------------|---------------|
| 1     | 225.00   | 22                  | 4               | 18              | 10.92         |
| 2     | 337.50   | 30                  | 5               | 25              | 9.33          |
| 3     | 450.00   | 43                  | 5               | 38              | 10.25         |
| 4     | 562.50   | 65                  | 13              | 52              | 10.97         |

8 numaralı deney ankrajı BS8081'de belirtilen serbest boy kriteri açısından incelenmiştir ve yine aynı standardın 11.2.12 maddesinde önerilen format kullanılarak grafik üzerinde özetlenmiştir (şekil 6.177).



**Şekil 6.177 :** BS8081'de belirtilen kabul kriterlerine göre deney ankrajı-9 için sahada ölçülen elastik uzama değerlerinin kontrolü ve kalıcı uzama-yük ilişkisi

Şekil 6.177'de verilen grafik üzerinde gösterilmiş maksimum ve minimum elastik uzama değerleri, her bir yük kademesinde çıkılan maksimum yük değerinin denklem 6.1'de kullanılması ile elde edilmiştir.

Deney ankrajı-9' un kök bölgesinin yük aktaracağı tabakanın yumuşak/orta katı/katı kıvamda yüksek plastisiteli alüvyonel kil olması sebebi ile sabit yük altında ankrajda uzamaların meydana gelmesi ve dolayısıyla yük kaybı riski bulunmaktadır. Deney programına göre belirlenen ve kritik olarak görülen her bir yük kademesinde ankrajda sabit yük altında uzama yapıp yapmadığı minimum 15 dakika süre içerisinde incelenmiştir. Sabit yük altında, çizelge 6.5'de verilen gözlem periyotlarında belirtilen izin verilebilir uzama oranlarına göre sahada gerçekleştirilen deney sırasında ölçülen uzama değerleri aşağıda verilen tablo içerisinde gösterilmiştir (çizelge 6.70).

**Çizelge 6.70 :** Farklı yükler altında ankraj-9 için uzama oranları ve izin verilebilir limitler

| Döngü | Kademe | Gözlem Periyodu (dk) | Yük (kN) | $\Delta_{ank}$ (mm) | Teo. $\Delta_e$ (mm) | Uzama Oranı (mm) | İzin verilebilir Uzama Oranı (mm) |
|-------|--------|----------------------|----------|---------------------|----------------------|------------------|-----------------------------------|
| 4     | 125    | -                    | 562.5    | 85                  | 53.79                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 87                  |                      | 2.00             | 0.54                              |
|       |        | 15                   |          | 88                  |                      | 3.00             | 1.08                              |
|       |        | 50                   |          | 90                  |                      | 5.00             | 0.00                              |

Deney alanı-4 bölgesinde ard enjeksiyon tekniği (Tube a Manchette) kullanılarak imal edilen 9 numaralı deney ankrajının saha performansı incelenmiştir. Projenin tasarım aşamasında belirlenen 450 kN öngerme yüküne göre hazırlanan germe deney programı çerçevesinde incelenen bu performansına göre, deney ankrajının 450 kN ve katları (1.25) olan yükleri başarılı bir şekilde zemine aktardığı, 1.50 katına denk gelen kademeye ulaştığında da büyük mertebede uzamalar meydana geldiği ve yükün düştüğü görülmüştür. Ankraj kök taşıma gücünü 675 kN olduğu 9 numaralı deney ankrajı serbest boy kriter şartı açısından incelenmiştir. Deney sırasında proje yükünün 75% katına ulaşıldığı döngü hariç diğer döngülerin tamamında gözlemlenen elastik uzamaların sınır değerleri içerisinde kaldığı görülmektedir. Ankrajın sabit yük altında göstermiş olduğu uzama performansının incelendiği yük kademesinde (125% Proje Yüğü) uygulanan sabit yük altında sünme uzamaların sınır değerleri geçtiği görülmüştür.

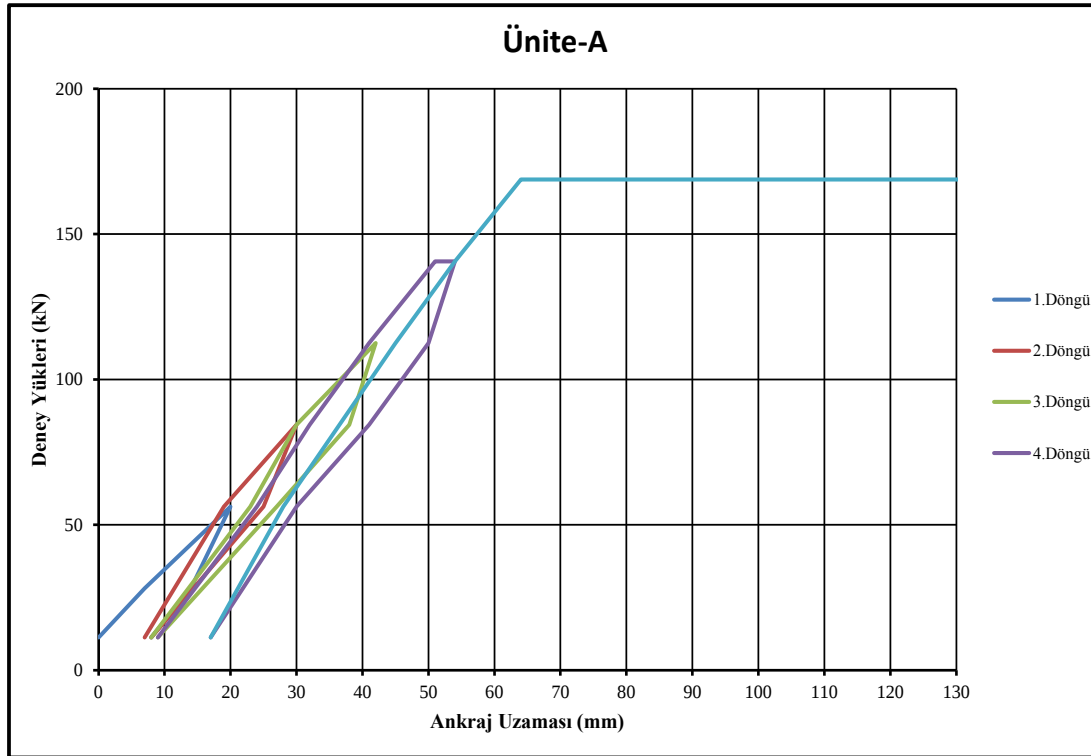
### 6.6.13 Deney ankraşı-10 (Alan-4)

SBMA tekniğı kullanılarak imal edilen 10 numaralı deney ankraşı 4 ayrı üniteden oluşmaktadır. Çizelge 6.71'de serbest boy, kök boyu, halat sayısı ve tipi verilen ünitelere, birbirinden bağımsız 4 adet hidrolik krika kullanılarak germe deneyi yapılmıştır. SBMA tekniğinin yanı sıra, ard enjeksiyon (Tube a Manchette) tekniğı kullanılarak kök taşıma gücünün arttırılması hedeflenen 10 numaralı deney ankrajına uygulanan germe deneyi sonuçlarına göre ankraşı oluşturan her bir ünitenin uzama yük ilişkisi grafik üzerinde gösterilmiştir (şekil 6.178, 6.179, 6.180 ve 6.181).

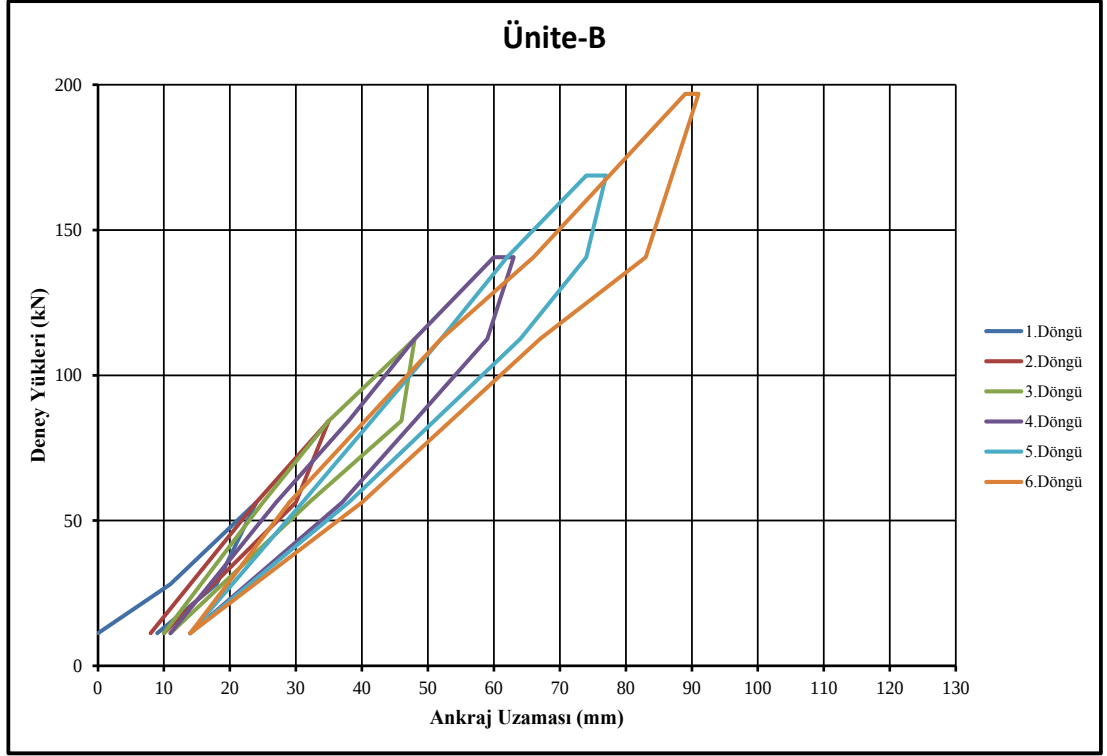
Çizelge 6.71 : Deney ankraşı-10 ünite özellikleri

| Ünite | Halat Tipi ve Sayısı | Kuyu İçerisinde Kalan Serbest Bölge Boyu (m) | Germe Payı (m) | L <sub>serbest</sub> (m)* | L <sub>kök</sub> (m) |
|-------|----------------------|----------------------------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|
| A     | 1x0.6"               | 7.5                                          | 1.35           | 8.85                      | 2.5                  |
| B     | 1x0.6"               | 10.5                                         | 1.35           | 11.85                     | 2.5                  |
| C     | 1x0.6"               | 13.5                                         | 1.35           | 14.85                     | 2.5                  |
| D     | 1x0.6"               | 16.5                                         | 1.35           | 17.85                     | 2.5                  |

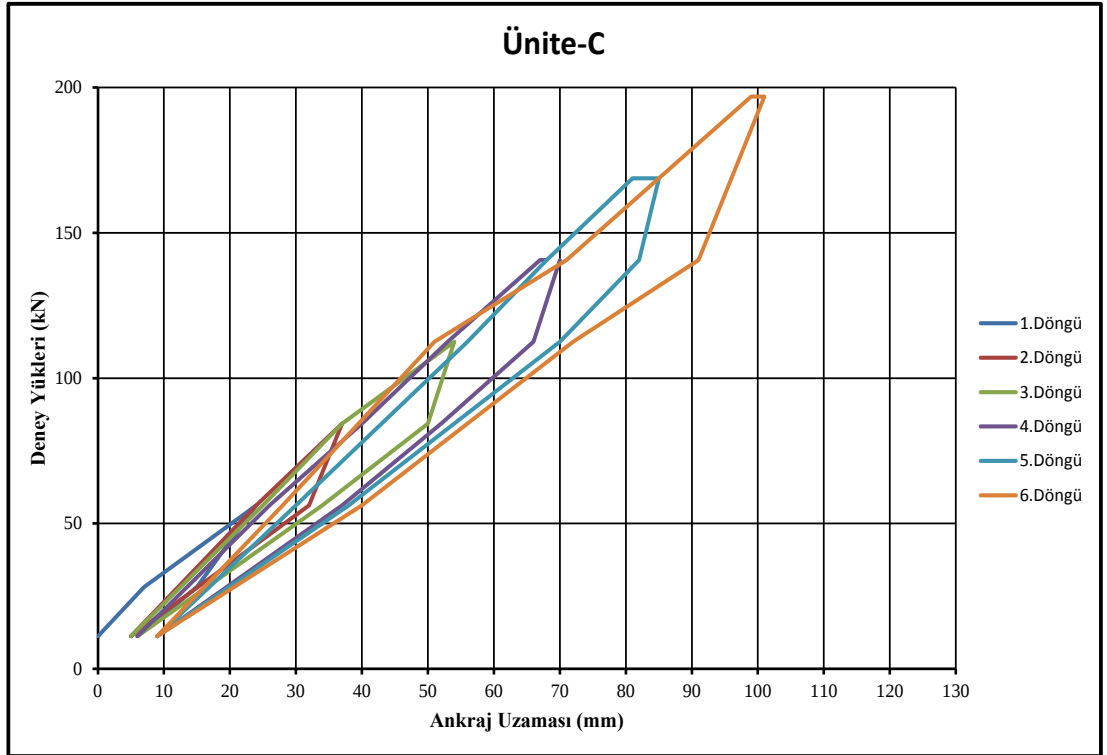
\* L<sub>serbest</sub> = Kuyu İçerisinde Kalan Serbest Bölge Boyu + Germe Payı



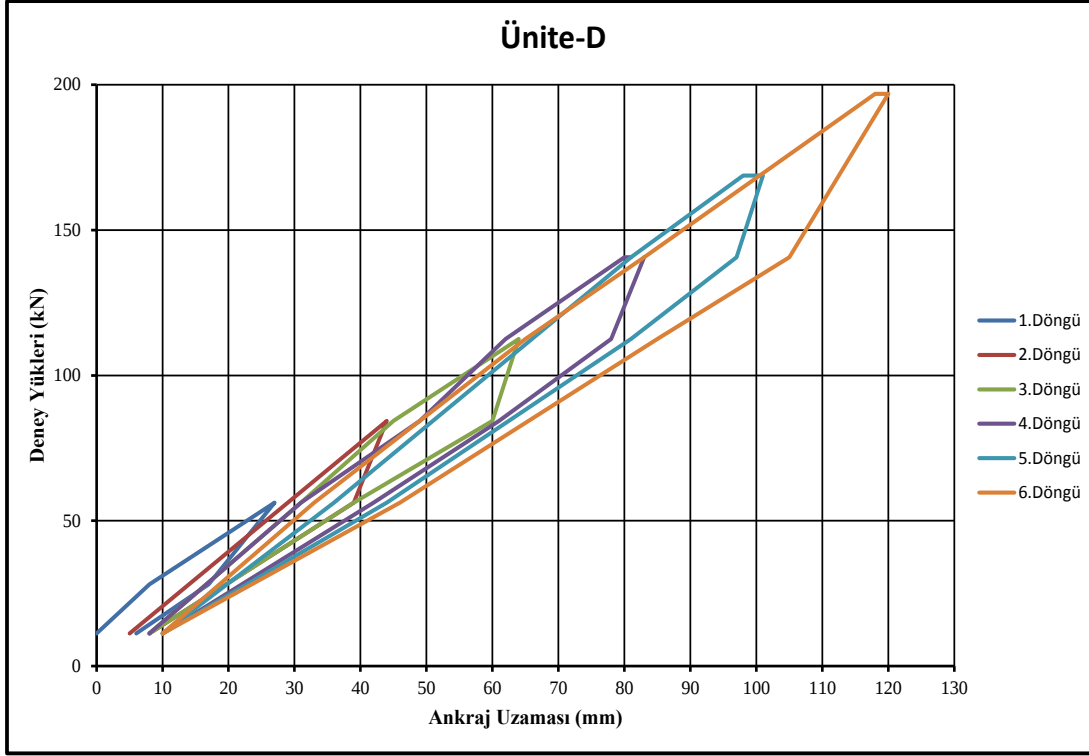
Şekil 6.178 : Deney ankraşı-10 : yük-uzama grafiğı (Ünite-A)



**Şekil 6.179 : Deney ankrajı-10 : yük-uzama grafiği (Ünite-B)**



**Şekil 6.180 : Deney ankrajı-10 : yük-uzama grafiği (Ünite-C)**

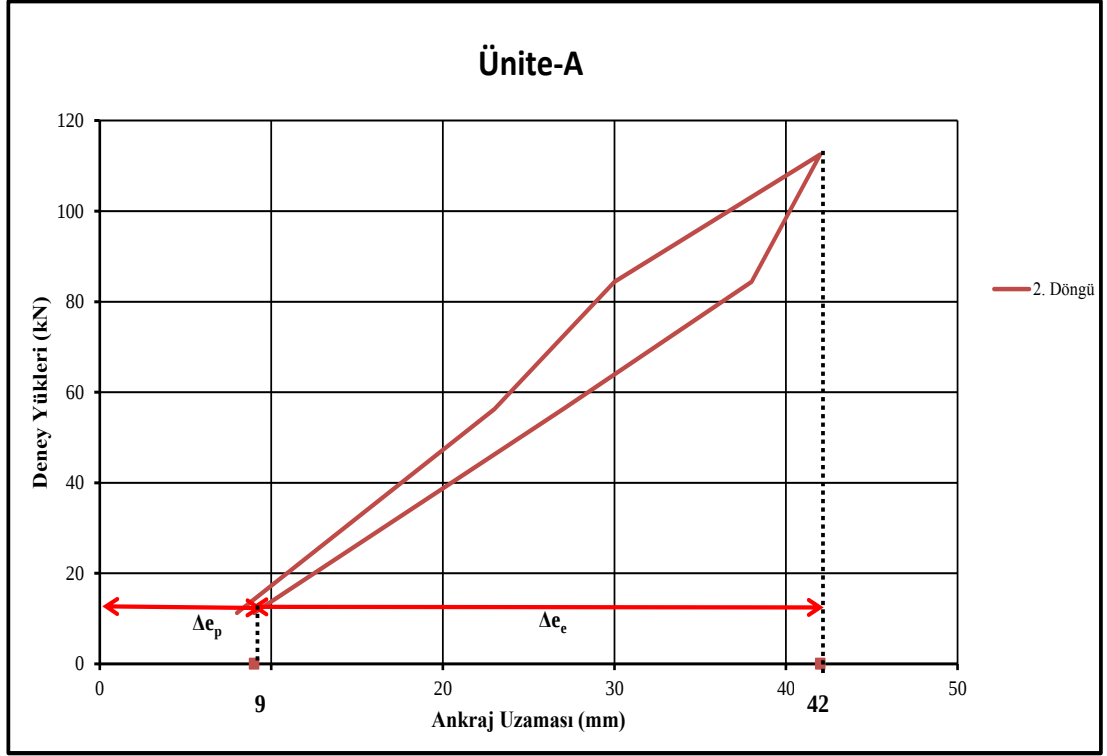


**Şekil 6.181 : Deney ankrajı-10 : yük-uzama grafiği (Ünite-D)**

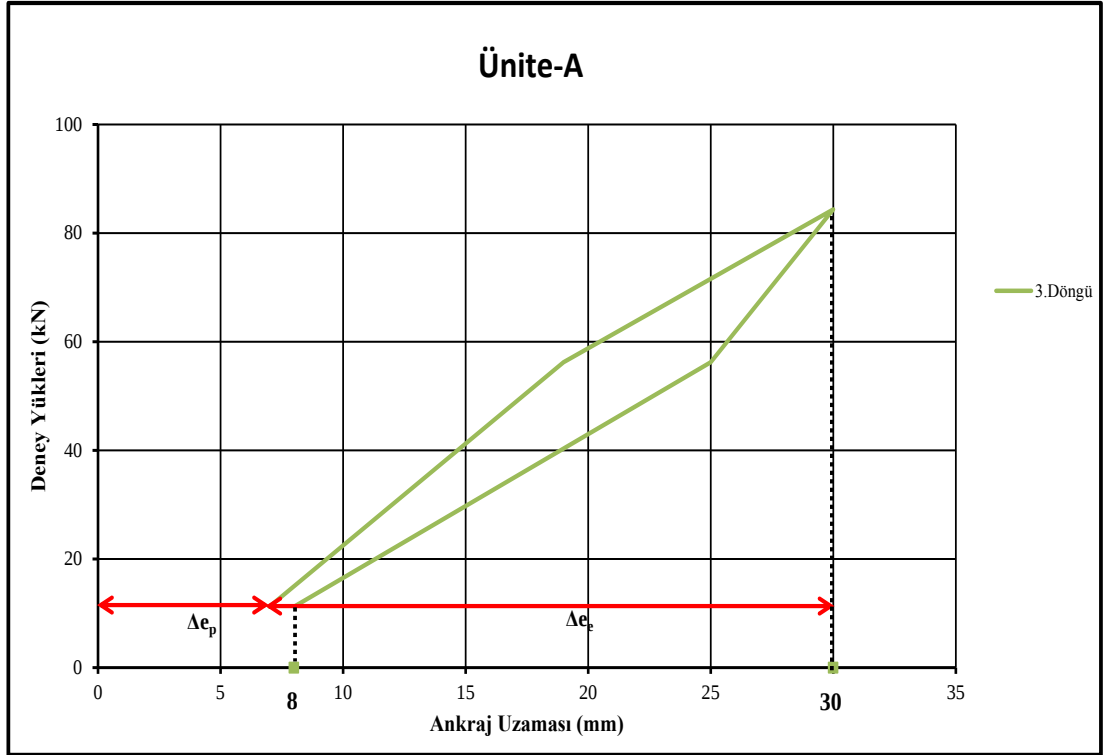
SBMA ve ard enjeksiyon tekniklerinin birlikte kullanılması ile imal edilen 10 numaralı deney ankrajını oluşturan ünitelerden;

- A tipi : Ön görülen proje yükünün 150% katına ulaşıldığı 168.75 kN germe yükü altında ünitenin kök bölgesinin sıyrıldığı
- B, C ve D tipi : İlgili ünitelerin deney programında belirtilen tüm kademelerdeki maksimum yük değerlerini taşıyabildiği

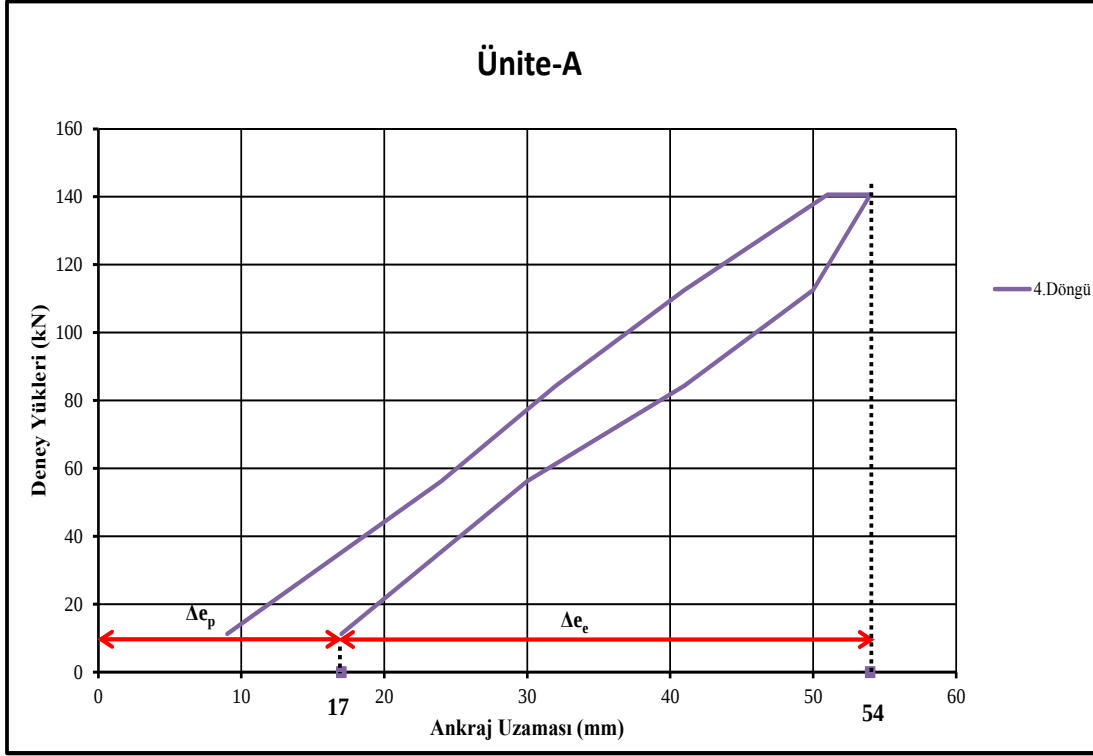
tespiti yapılmıştır. Deney sırasında 4 farklı hidrolik krikonun kullanılmasının olumlu olarak getirdiği yanlardan biri de, A ünitesinde sıyrılma yaşanmasına rağmen diğer ünitelerin gerilmesine devam edilmiş olmasıdır. Yapılan saha deneyleri ile birlikte ankraj kök taşıma gücü belirlenmesinin yanı sıra proje aşamasında uygulanacak ankrajlar için maksimum öngerme yüklerinin de belirlenmesi amaçlanmıştır. Maksimum öngerme yüklerinin belirlenmesi için, deney ankrajını oluşturan ünitelerden A tipi ön görülen proje yükünün 75%, 100%, 125% katları, diğer tip üniteler ise 125%, 150% ve 175% katlarına denk gelen kademelerdeki yük uzama eğrileri hazırlanarak grafiklerde gösterilmiştir (şekil 6.182, 6.183, ..., 6.194). Hazırlanan grafiklerin içerisine deney sırasında ankrajda gözlemlenen elastik-plastik uzama farkları da dahil edilmiştir.



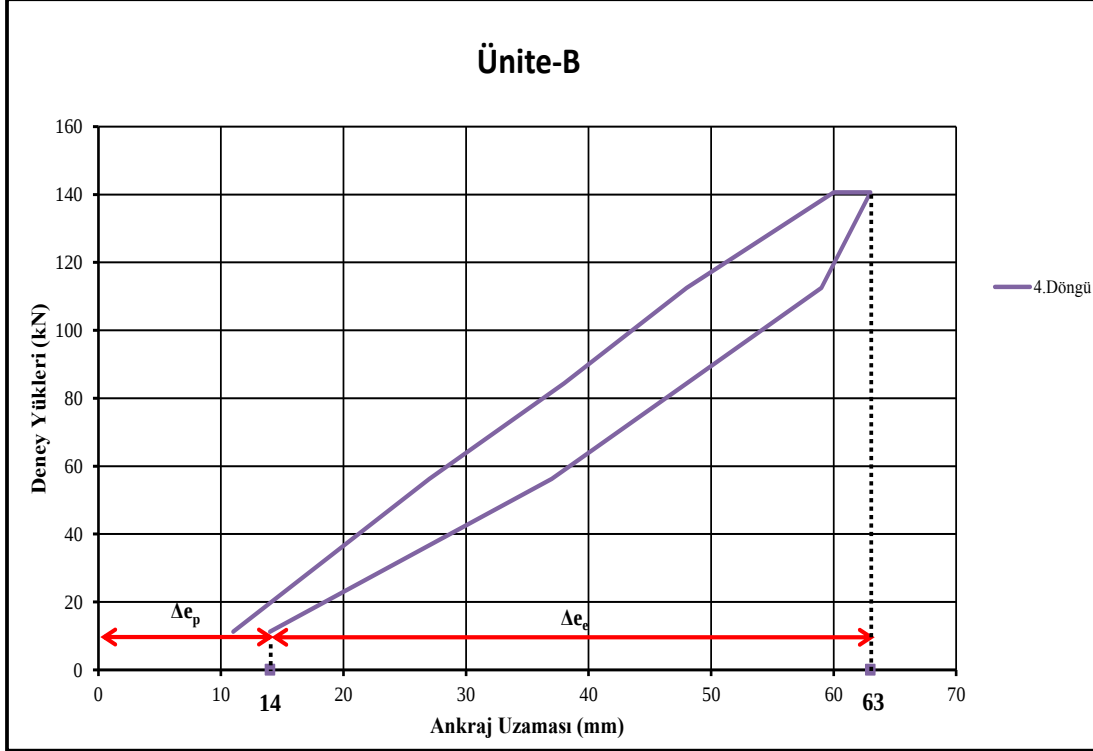
**Şekil 6.182 :** Deney ankrajı-10: yük uzama grafiği (75% Yük döngüsü-ÜniteA)



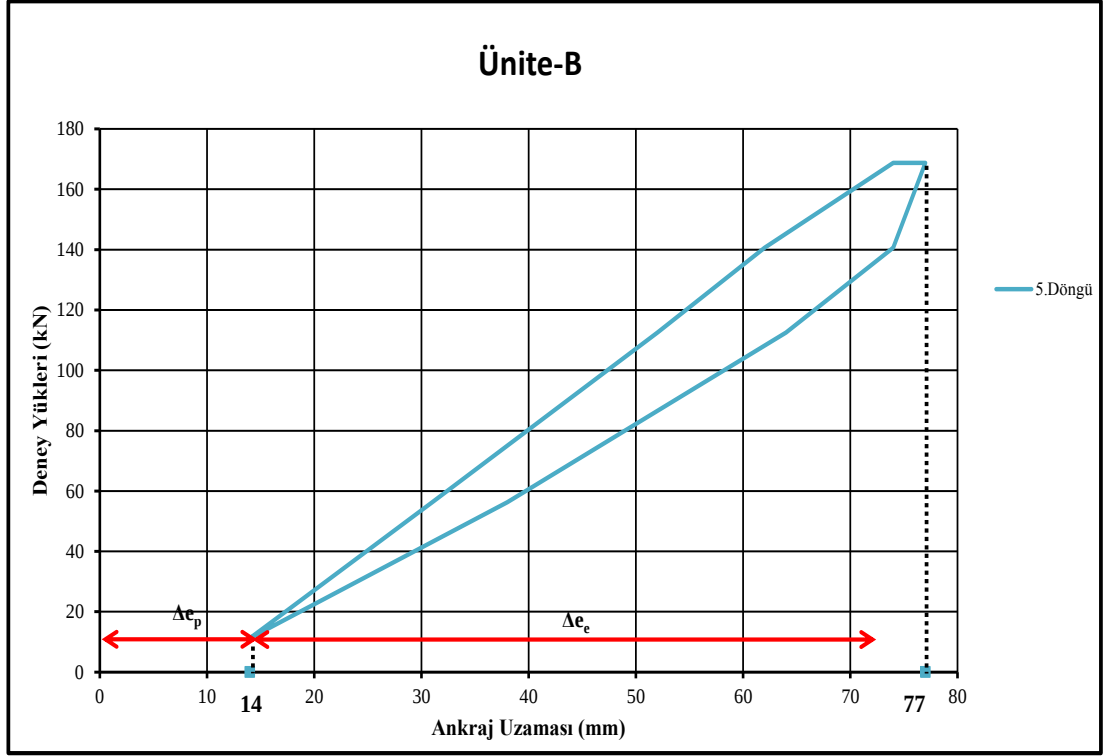
**Şekil 6.183 :** Deney ankrajı-10 yük uzama grafiği (100% Yük döngüsü-Ünite A)



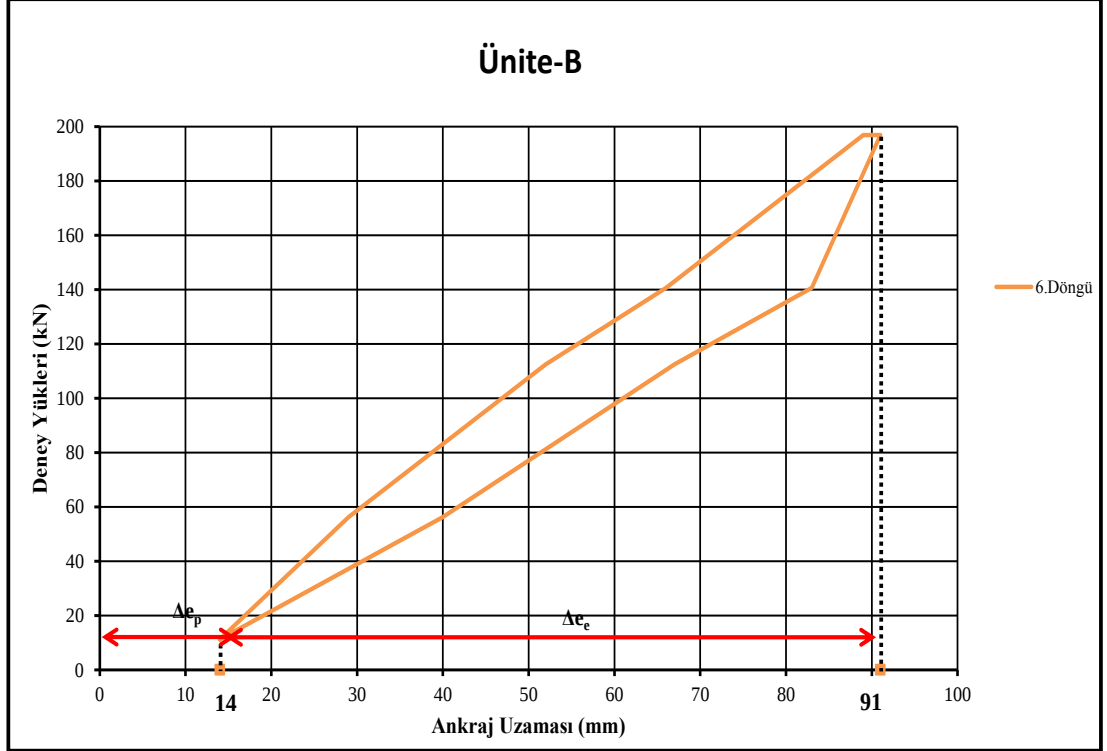
**Şekil 6.184 :** Deney ankrajı-10 yük uzama grafiği (125% Yük döngüsü- Ünite A)



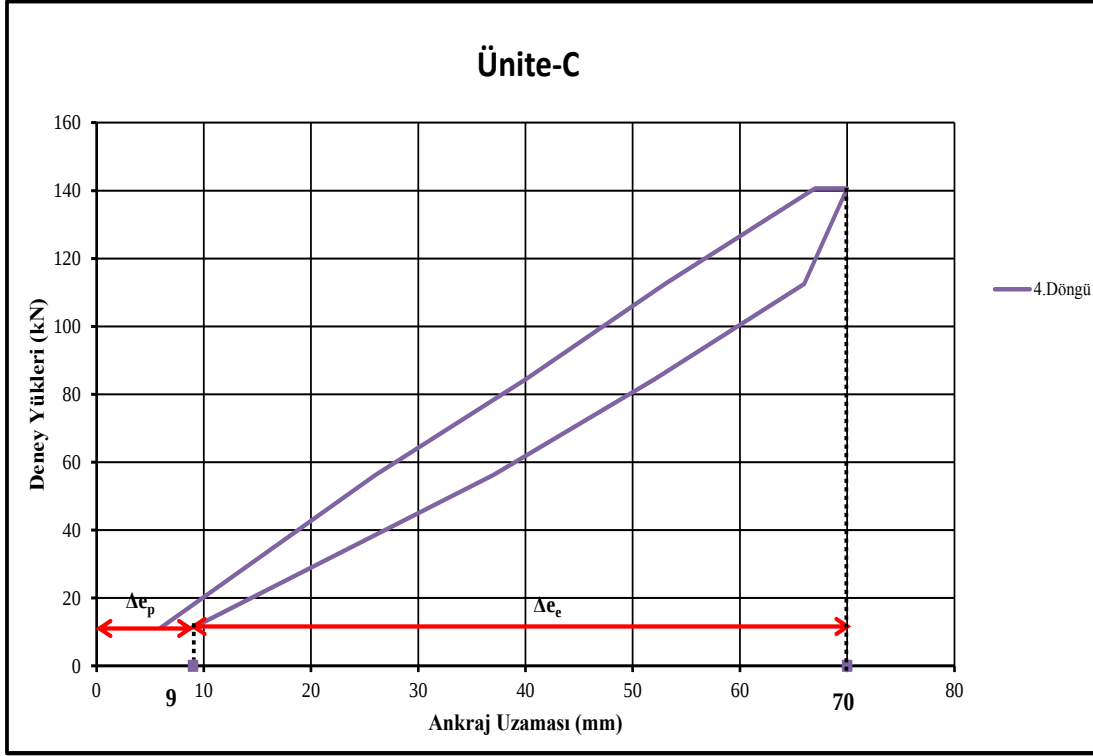
**Şekil 6.185 :** Deney ankrajı-10 yük uzama grafiği (125% Yük döngüsü-Ünite B)



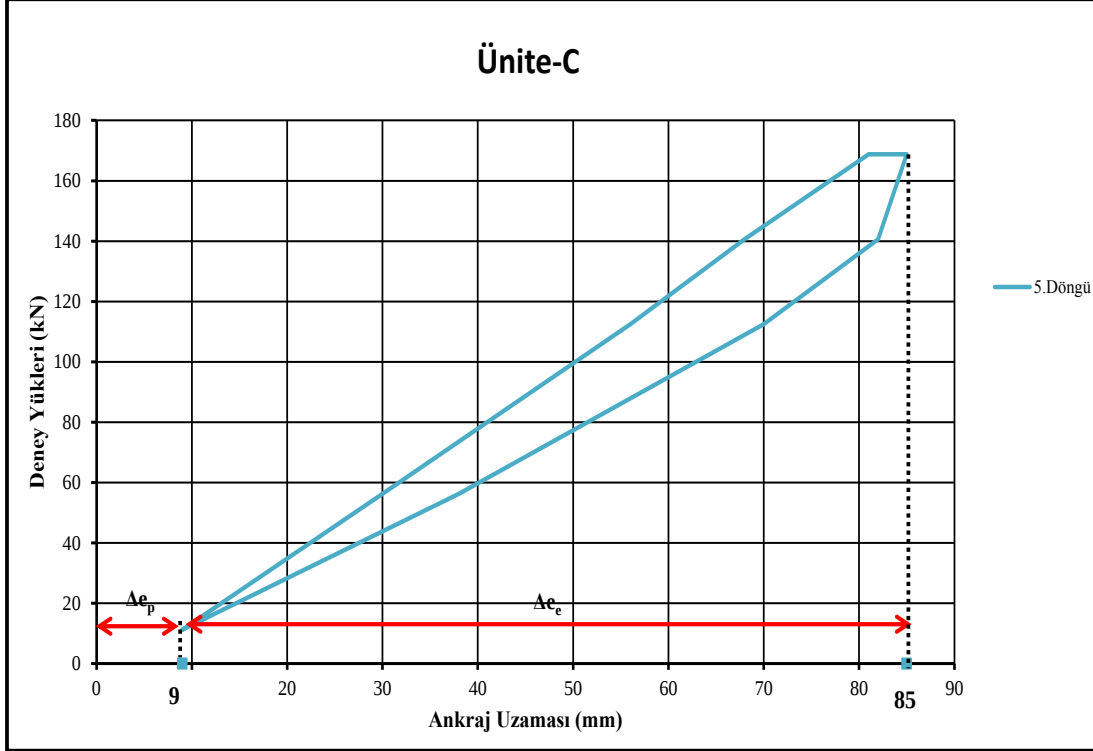
**Şekil 6.186 :** Deney ankrajı-10 yük uzama grafiği (150% Yük döngüsü-Ünite B)



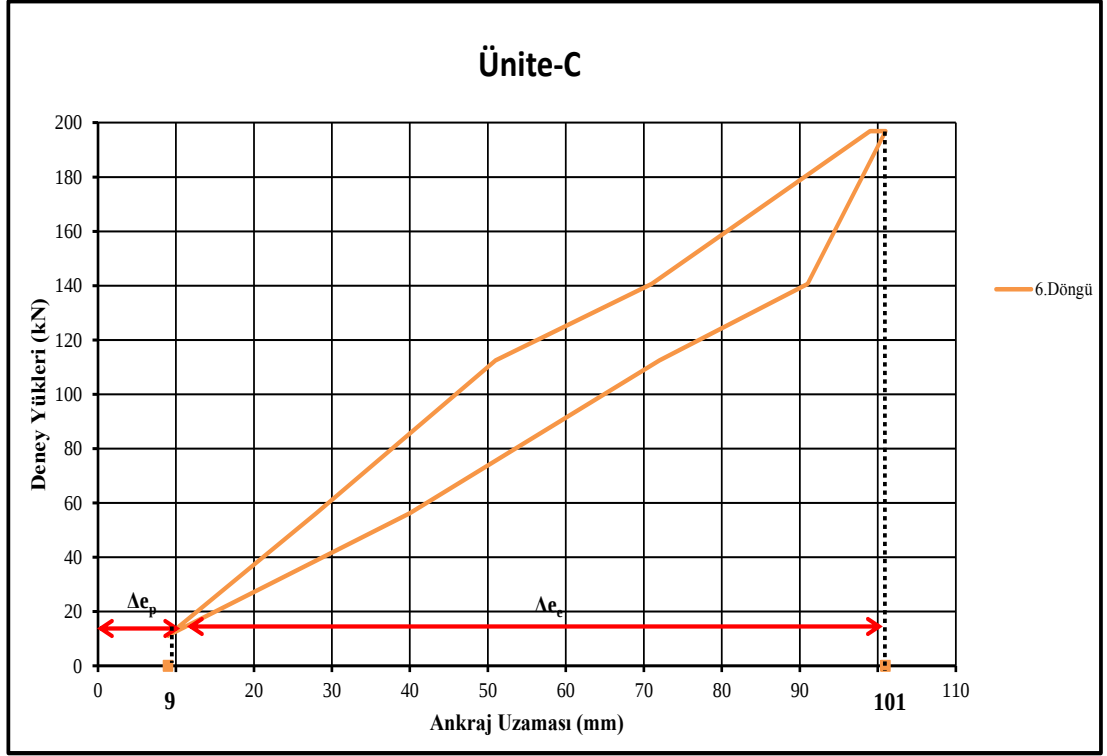
**Şekil 6.187 :** Deney ankrajı-10 yük uzama grafiği (175% Yük döngüsü-Ünite B)



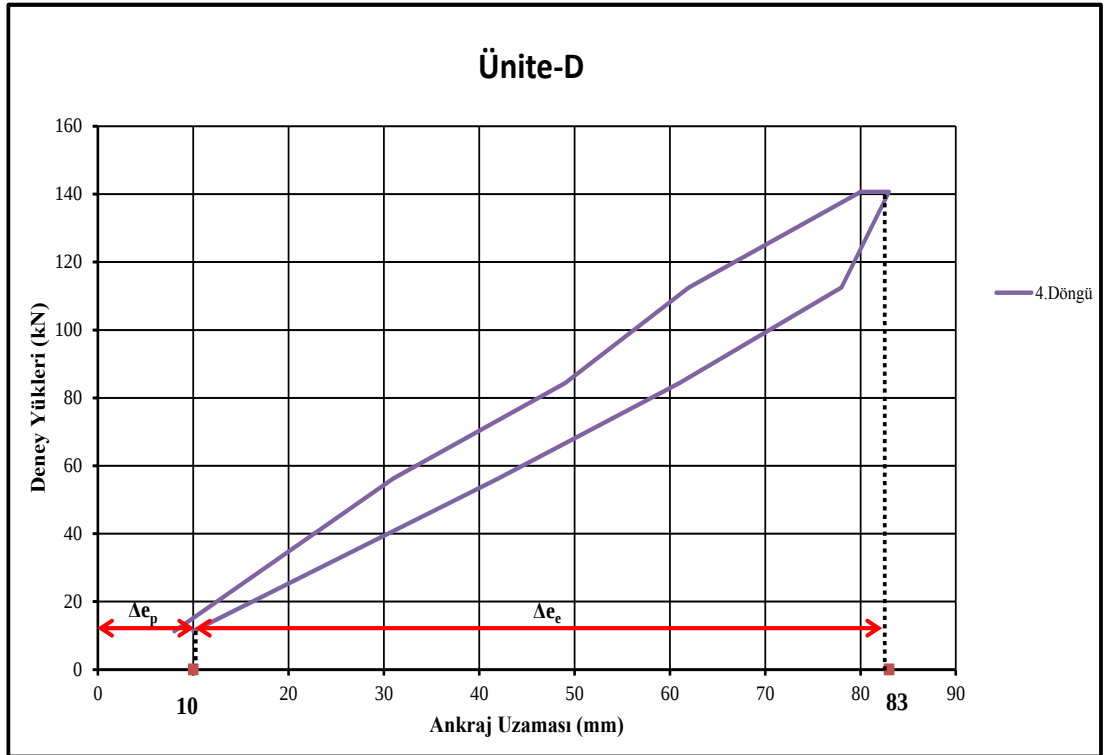
**Şekil 6.188 :** Deney ankrajı-10 yük uzama grafiği (125% Yük döngüsü-Ünite C)



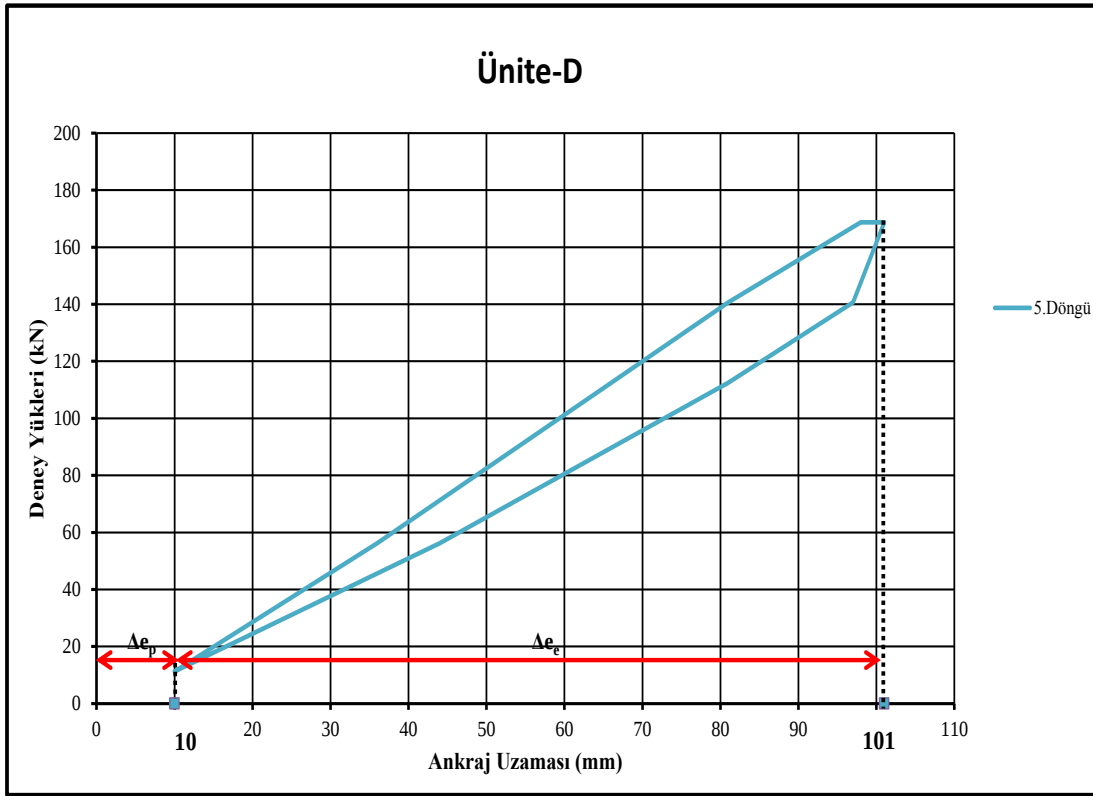
**Şekil 6.189 :** Deney ankrajı-10 yük uzama grafiği (150% Yük döngüsü-Ünite C)



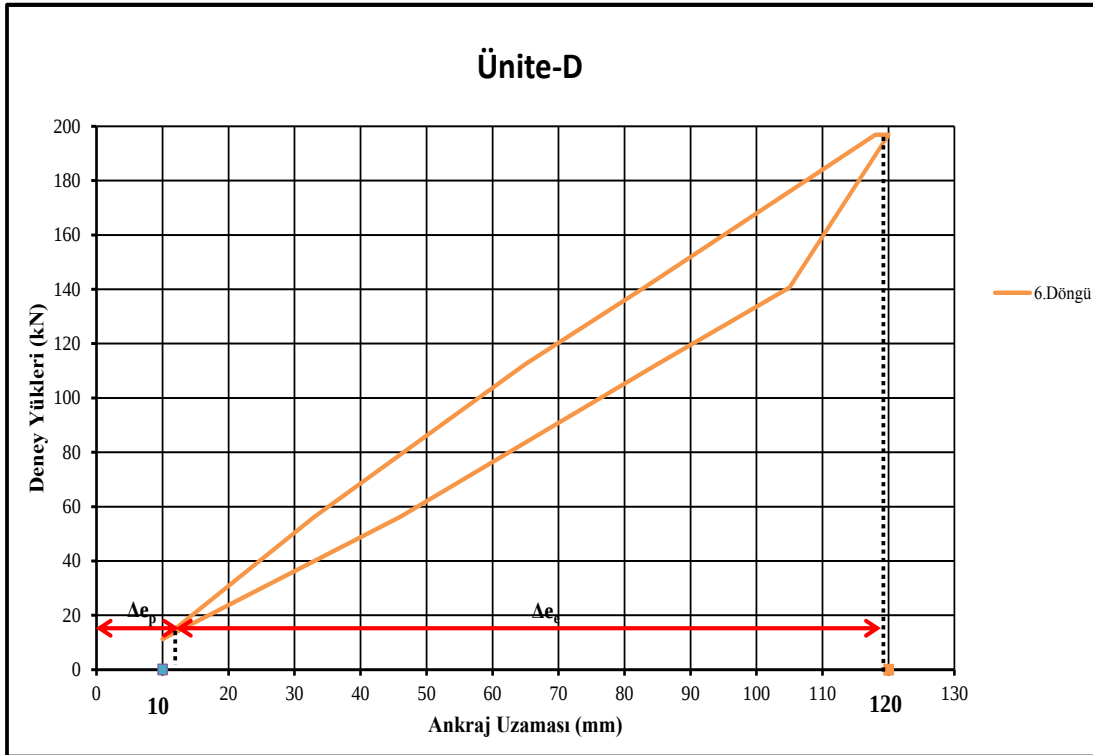
**Şekil 6.190 :** Deney ankrajı-10 yük uzama grafiği (175% Yük döngüsü-Ünite C)



**Şekil 6.191 :** Deney ankrajı-20 yük uzama grafiği (125% Yük döngüsü-Ünite D)



**Şekil 6.192 :** Deney ankrajı-20 yük uzama grafiği (150% Yük döngüsü-Ünite D)



**Şekil 6.193 :** Deney ankrajı-20 yük uzama grafiği (175% Yük döngüsü-Ünite D)

Geleneksel yöntemle göre kök taşıma gücünün artırılması hedeflenen 20 numaralı deney ankrajına proje aşamasında verilebilecek maksimum öngerme yükünün belirlenmesi için, BS8081:1989'da belirtilen deney kriterleri, ankrajı oluşturan her bir ünite üzerinde ayrı olarak incelenmiştir. İlgili kriterler aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- Görünen serbest boy hesabı (BS8081:1989, Madde 11.2.9)
- Denklem 6.1 'e göre hesaplanan görünen serbest boy BS8081'e göre aşağıda verilen şartları sağlaması gerekmektedir.

$$\geq \%90 \times \text{Tasarım Serbest Boyu}$$

$$\leq \text{min. } (\%110 \times \text{Tasarım Serbest Boyu, Tasarım Serbest Boyu} + \%50 \text{ Kök Boyu})$$

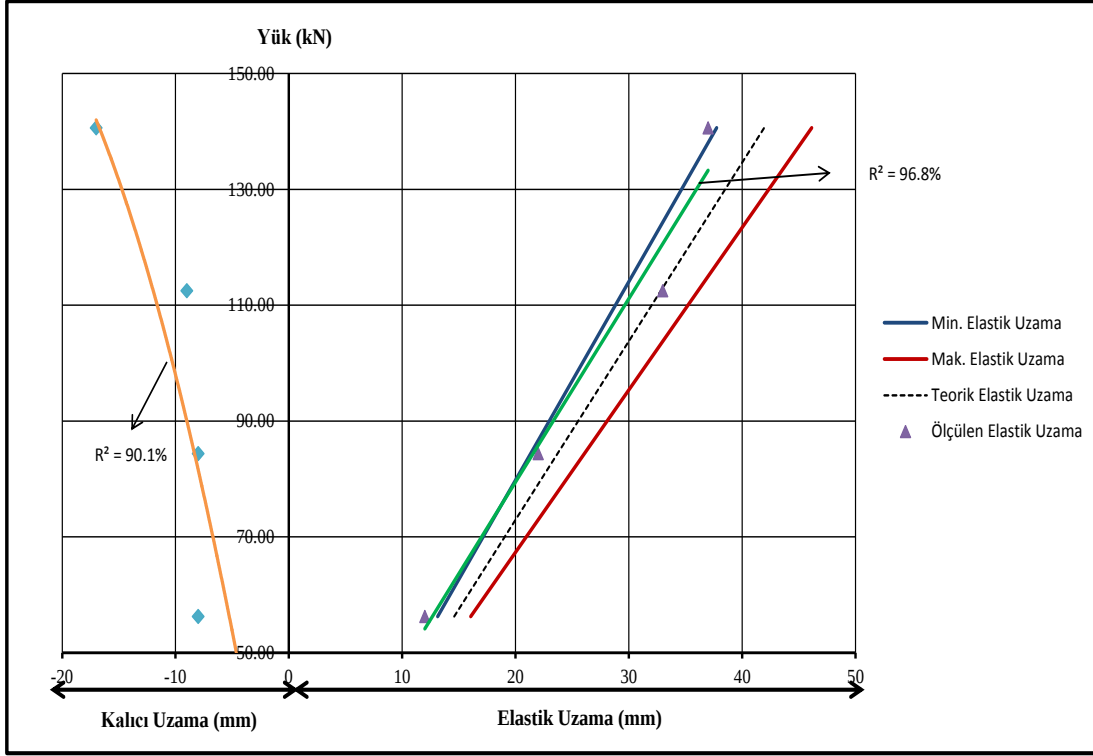
- Belirli bir yük kademesi altında zamana bağlı gözlemlenen uzama miktarı veya uzama oranı çizelge 6.5'de belirtilen şartları sağlamak zorundadır (BS8081:1989).

Yukarıda belirtilen maddelerden ilk ikisi, deney sırasında her bir üniteye uygulanan döngülerin tamamı için dikkate alınmıştır.

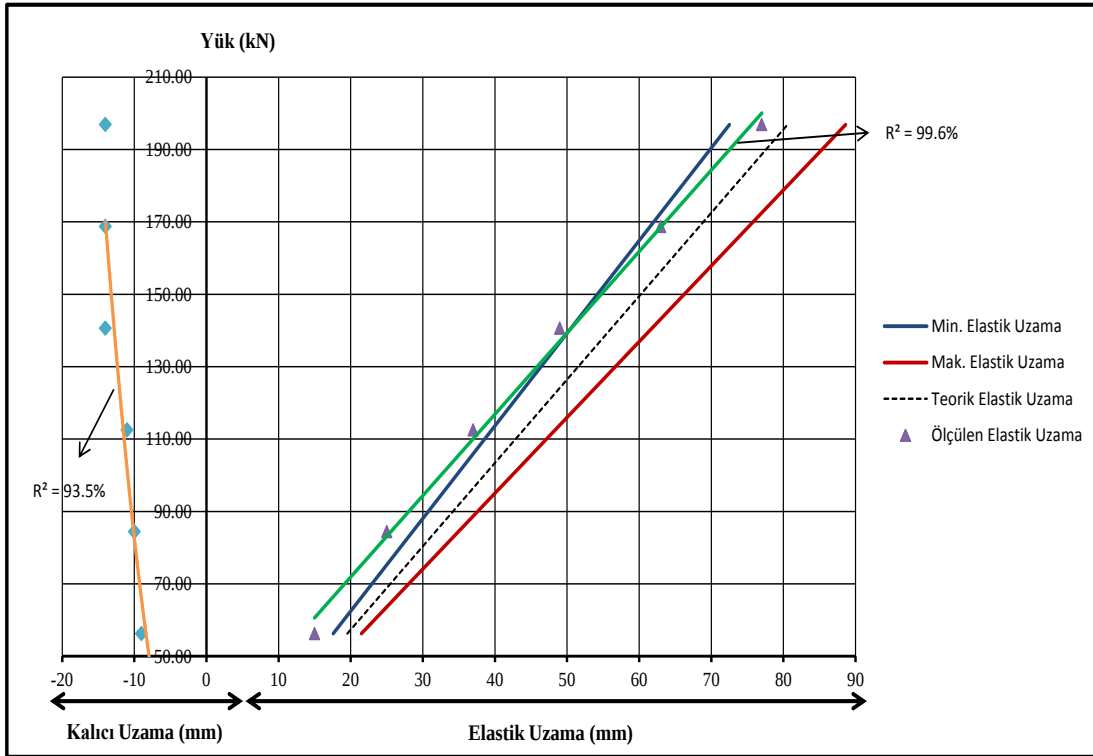
Her bir döngü içerisinde ulaşılan maksimum yük altında deney ankrajını oluşturan ünitelerde gözlemlenen elastik uzama ve buna bağlı hesaplanan görünen serbest boy değerleri çizelge 6.72'de verilmiştir.

Deney ankrajını oluşturan her bir ünite için serbest boy kriteri, BS8081:1989'a göre incelenmiş ve grafikler üzerinde özetlenmiştir (şekil 6.194, 6.195, 6.196, 6.197).

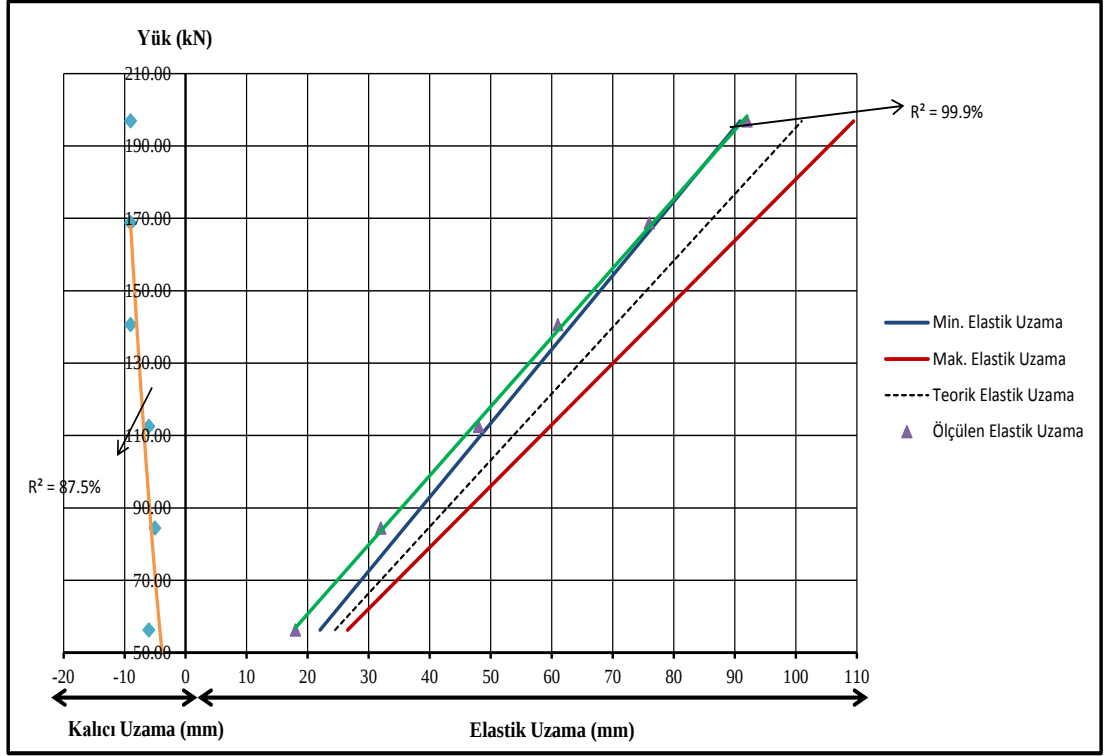
Serbest boy kriteri değerlendirmesi için yukarıda verilen grafikler üzerinde gösterilmiş maksimum ve minimum elastik uzama değerleri, her bir yük kademesinde çıkılan maksimum yük değerinin denklem 6.1'de kullanılması ile elde edilmiştir.



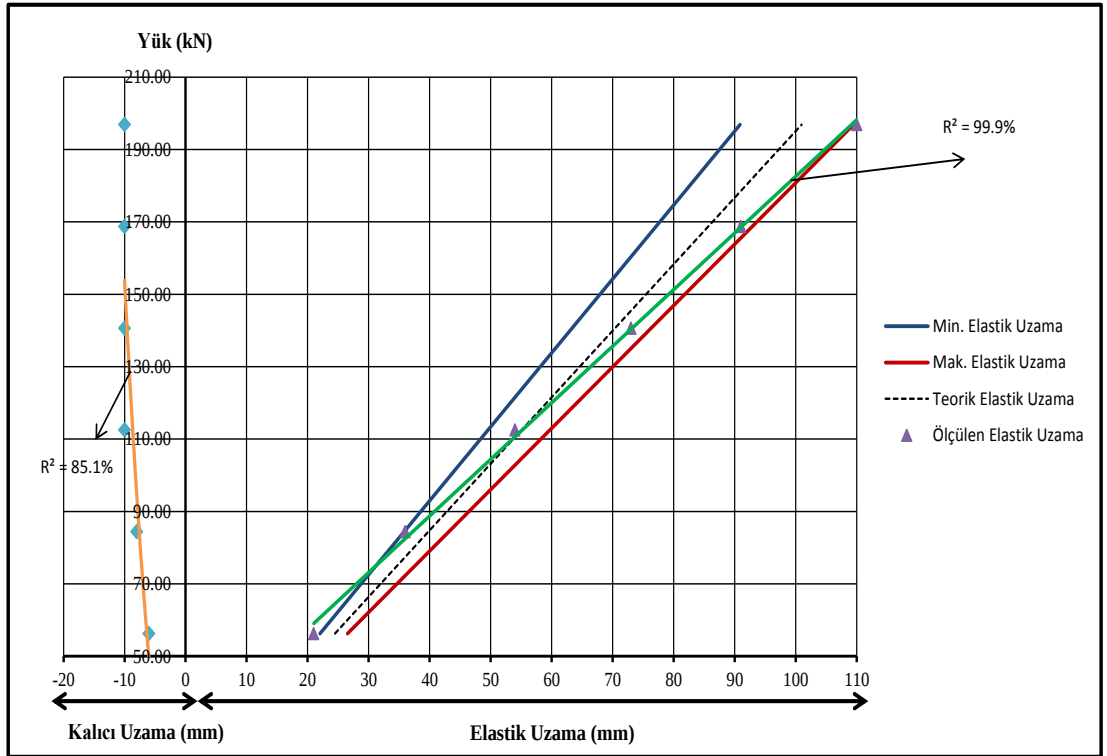
**Şekil 6.194 :** Deney ankrajı-10 sahada ölçülen elastik uzama değerlerinin kontrolü ve kalıcı uzama-yük ilişkisi (Ünite-A)



**Şekil 6.195 :** Deney ankrajı-10 sahada ölçülen elastik uzama değerlerinin kontrolü ve kalıcı uzama-yük ilişkisi (Ünite-B)



Şekil 6.196 : Deney ankrajı-10 sahada ölçülen elastik uzama değerlerinin kontrolü ve kalıcı uzama-yük ilişkisi (Ünite-C)



Şekil 6.197 : Deney ankrajı-10 sahada ölçülen elastik uzama değerlerinin kontrolü ve kalıcı uzama-yük ilişkisi (Ünite-D)

**Çizelge 6.72 : Yık kademelerinde ölçülen elastik ve kalıcı ankraj uzama değerleri**

| Ünite | Döngü | Yük (kN) | $\Delta_{ank}$ (mm) | $\Delta_p$ (mm) | $\Delta_e$ (mm) | $L_{app}$ (m) |
|-------|-------|----------|---------------------|-----------------|-----------------|---------------|
| A     | 1     | 56.25    | 20                  | 8               | 12              | 7.28          |
|       | 2     | 84.38    | 30                  | 8               | 22              | 8.21          |
|       | 3     | 112.50   | 42                  | 9               | 33              | 8.90          |
|       | 4     | 140.63   | 54                  | 17              | 37              | 7.81          |
| B     | 1     | 56.25    | 24                  | 9               | 15              | 9.10          |
|       | 2     | 84.38    | 35                  | 10              | 25              | 9.33          |
|       | 3     | 112.50   | 48                  | 11              | 37              | 9.98          |
|       | 4     | 140.63   | 63                  | 14              | 49              | 10.34         |
|       | 5     | 168.75   | 77                  | 14              | 63              | 10.92         |
|       | 6     | 196.88   | 91                  | 14              | 77              | 11.32         |
| C     | 1     | 56.25    | 24                  | 6               | 18              | 10.92         |
|       | 2     | 84.38    | 37                  | 5               | 32              | 11.95         |
|       | 3     | 112.50   | 54                  | 6               | 48              | 12.94         |
|       | 4     | 140.63   | 70                  | 9               | 61              | 12.87         |
|       | 5     | 168.75   | 85                  | 9               | 76              | 13.17         |
|       | 6     | 196.88   | 101                 | 9               | 92              | 13.53         |
| D     | 1     | 56.25    | 27                  | 6               | 21              | 12.74         |
|       | 2     | 84.38    | 44                  | 8               | 36              | 13.44         |
|       | 3     | 112.50   | 64                  | 10              | 54              | 14.56         |
|       | 4     | 140.63   | 83                  | 10              | 73              | 15.40         |
|       | 5     | 168.75   | 101                 | 10              | 91              | 15.77         |
|       | 6     | 196.88   | 120                 | 10              | 110             | 16.18         |

10 numaralı deney ankrajı ve ankrajını oluşturan üniteler, A hariç ön görülen germe yükünün tüm katlarını başarılı bir şekilde zemine aktarmaktadır. Deney ankrajını oluşturan ünitelerden bir tanesi olan A tipi kök bölgesi proje yükünün 150% katına denk gelen yük kademesinde sıyrılma yaşanmaktadır. Deney ankrajı kök bölgesinde oluşacak kayma gerilmelerinin aktaracağı tabakanın yumuşak/orta katı/katı kıvama sahip yüksek plastisiteli alüvyonel kil olması sebebi ile sabit yük altında ankraj

uzama yapmaya devam ederek mevcut taşıyacağı germe yükünün düşmesi riski bulunmaktadır. Deney programına göre belirlenen ve kritik olarak görülen her bir yük kademesinde ankrajı oluşturan ünitelerin sabit yük altında uzama yapıp yapmadığı minimum 15 dakika süre içerisinde incelenmiştir. Sabit yük altında, çizelge 6.7'de verilen gözlem periyotlarında belirtilen izin verilebilir uzama oranlarına göre sahada gerçekleştirilen deney sırasında ankrajı oluşturan her bir ünitenin ölçülen uzama değerleri aşağıda verilen tablolarca özetlenmiştir (çizelge 6.73, 6.74, 6.75, 6.76).

**Çizelge 6.73 :** Farklı yükler altında ankraj-10 (Ünite-A) için uzama oranları ve izin verilebilir limitler

| Döngü | Kademe | Gözlem Periyodu (dk) | Yük (kN) | $\Delta_{ank}$ (mm) | Teo. $\Delta_e$ (mm) | Uzama Oranı (mm) | İzin verilebilir Uzama Oranı (mm) |
|-------|--------|----------------------|----------|---------------------|----------------------|------------------|-----------------------------------|
| 4     | 125    | -                    | 140.63   | 97                  | 41.94                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 100                 |                      | 3.00             | 0.42                              |
|       |        | 15                   |          | 100                 |                      | 3.00             | 0.84                              |
|       |        | 50                   |          | 100                 |                      | 3.00             | 1.26                              |

**Çizelge 6.74 :** Farklı yükler altında ankraj-10 (Ünite-B) için uzama oranları ve izin verilebilir limitler

| Döngü | Kademe | Gözlem Periyodu (dk) | Yük (kN) | $\Delta_{ank}$ (mm) | Teo. $\Delta_e$ (mm) | Uzama Oranı (mm) | İzin verilebilir Uzama Oranı (mm) |
|-------|--------|----------------------|----------|---------------------|----------------------|------------------|-----------------------------------|
| 4     | 125    | -                    | 140.63   | 102                 | 56.16                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 105                 |                      | 3.00             | 1.02                              |
|       |        | 15                   |          | 105                 |                      | 3.00             | 2.04                              |
|       |        | 50                   |          | 105                 |                      | 3.00             | 3.06                              |
| 5     | 150    | -                    | 168.75   | 116                 | 68.37                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 119                 |                      | 3.00             | 0.68                              |
|       |        | 15                   |          | 119                 |                      | 3.00             | 1.37                              |
| 6     | 175    | -                    | 196.88   | 131                 | 80.57                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 133                 |                      | 2.00             | 0.81                              |
|       |        | 15                   |          | 133                 |                      | 2.00             | 1.61                              |

**Çizelge 6.75 :** Farklı yükler altında ankraj-10 (Ünite-C) için uzama oranları ve izin verilebilir limitler

| Döngü | Kademe | Gözlem Periyodu (dk) | Yük (kN) | $\Delta_{ank}$ (mm) | Teo. $\Delta_e$ (mm) | Uzama Oranı (mm) | İzin verilebilir Uzama Oranı (mm) |
|-------|--------|----------------------|----------|---------------------|----------------------|------------------|-----------------------------------|
| 4     | 125    | -                    | 140.63   | 111                 | 70.37                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 114                 |                      | 3.00             | 1.11                              |
|       |        | 15                   |          | 114                 |                      | 3.00             | 2.22                              |
|       |        | 50                   |          | 114                 |                      | 3.00             | 3.33                              |
| 5     | 150    | -                    | 168.75   | 125                 | 85.67                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 129                 |                      | 4.00             | 0.86                              |
|       |        | 15                   |          | 129                 |                      | 4.00             | 1.71                              |
| 6     | 175    | -                    | 196.88   | 81                  | 100.97               | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 85                  |                      | 4.00             | 1.01                              |
|       |        | 15                   |          | 85                  |                      | 4.00             | 2.02                              |

**Çizelge 6.76 :** Farklı yükler altında ankraj-10 (Ünite-D) için uzama oranları ve izin verilebilir limitler

| Döngü | Kademe | Gözlem Periyodu (dk) | Yük (kN) | $\Delta_{ank}$ (mm) | Teo. $\Delta_e$ (mm) | Uzama Oranı (mm) | İzin verilebilir Uzama Oranı (mm) |
|-------|--------|----------------------|----------|---------------------|----------------------|------------------|-----------------------------------|
| 4     | 125    | -                    | 140.63   | 114                 | 70.37                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 117                 |                      | 3.00             | 1.14                              |
|       |        | 15                   |          | 117                 |                      | 3.00             | 2.28                              |
|       |        | 50                   |          | 117                 |                      | 3.00             | 3.42                              |
| 5     | 150    | -                    | 168.75   | 132                 | 85.67                | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 135                 |                      | 3.00             | 0.86                              |
|       |        | 15                   |          | 135                 |                      | 3.00             | 1.71                              |
| 6     | 175    | -                    | 196.88   | 152                 | 100.97               | 0.00             | 0.00                              |
|       |        | 5                    |          | 154                 |                      | 2.00             | 1.01                              |
|       |        | 15                   |          | 154                 |                      | 2.00             | 2.02                              |

Deney ankrajını oluşturan ünite-A'da kök taşıma gücü yenilmesi daha düşük yük kademelerinde olduğu için sünme değerlerinin gözlemi sadece 4.döngüde gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu gözlemlere göre, deney ankrajının 50 dakikalık bir

zaman diliminde uzamam göstermemiş olmasıdır. Bununla birlikte, deney ankrajını oluşturan diğer ünitelerin (B, C, D) sünme performansı incelendiğinde, tüm yük kademeleri altında uzama gösterdiği ancak, değerlerin standartça belirtilen sınır değerleri aştığı tespit edilmiştir. Deney ankrajına izin verilebilecek maksimum öngerme yükünün belirlenmesi için, sünme kriterinin yanı sıra serbest boy kriteri açısından da incelenmiştir. Serbest boy kriteri, ünite A ve ünite B için deney sırasında uygulanan germe yükleri altında sınır değerler içerisinde kalmaktadır. Deney ankrajı-21 delgisi içerisine yerleştirilen ankraj ünitelerinden C ve D olanı minimum değerlere yakın ve şartları sağlamamaktadır.

## 6.7 Deney Ankrajları Taşıma Gücü Tayini

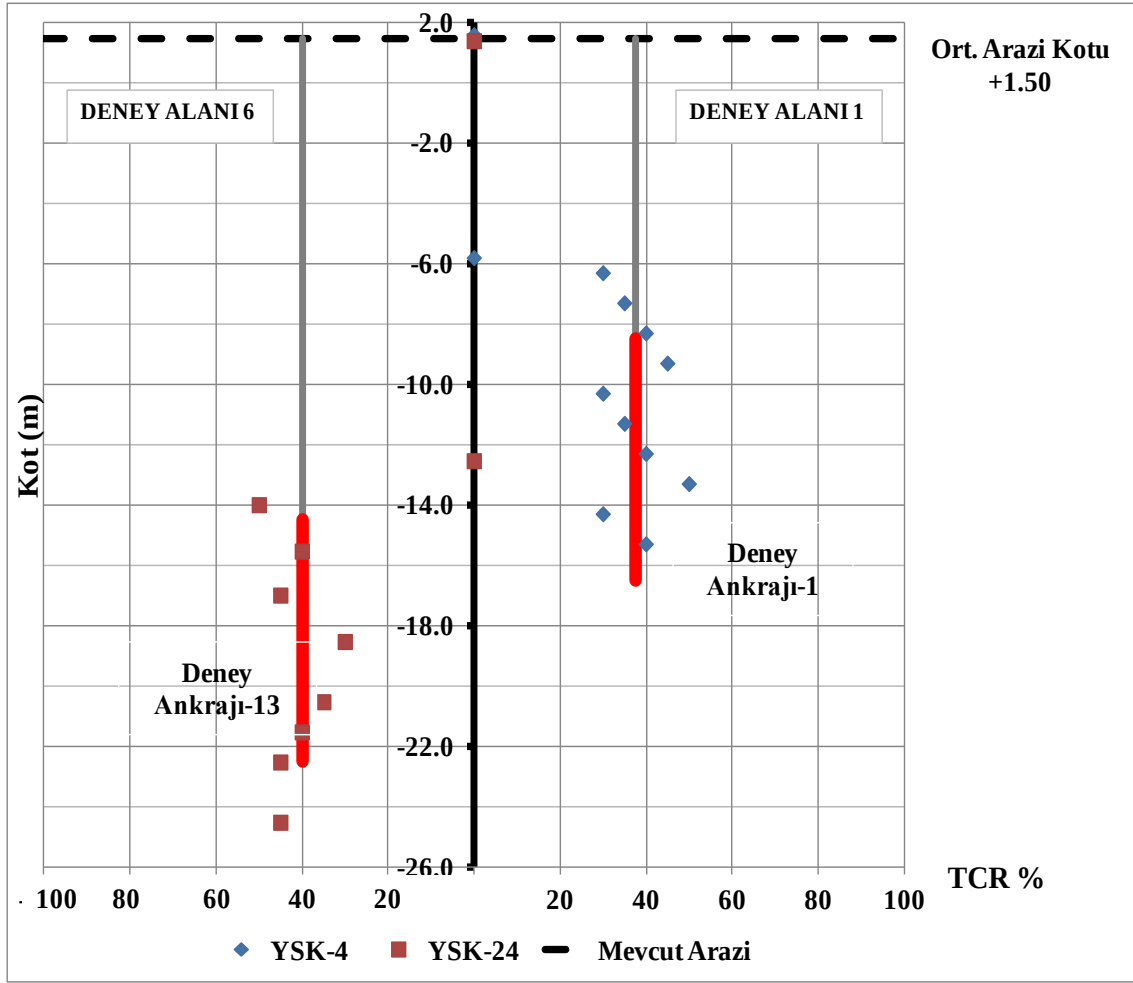
### 6.7.1 Teorik yaklaşımlar kullanılarak hesaplanan ankraj taşıma gücü

Deney alanı 1-6 bölgelerinde, geleneksel yöntem ile imal edilen ön germeli zemin ankrajların kök bölgesi etrafında, marn arabantlı killi kireçtaşı tabakası etkindir. Elfa (2011-2012) firmasının hazırlamış olduğu sondaja dayalı temel ve zemin etüt raporuna göre Bakırköy-Güngören formasyonları olarak adlandırılan bu tabakanın sondaj sırasında tespit edilen TCR değeri şekil 6.198'de verilmiştir. Sondaj sırasında, ilgili formasyondan elde edilen RQD değerleri derinlik boyunca değişmeyip sıfır olarak kalmıştır.

Marn arabantlı killi kireçtaşı tabakasının çok ayrışmış ve çatlaklı yapı formunda olması sebebi ile, serbest basınç deneyi yapılacak uygun numuneler alınamamıştır. Tabakadan alınmış 3 adet numuneye nokta yükleme deneyi yapılmış ve sonuçları çizelge 6.77 'te verilmiştir.

**Çizelge 6.77 : Kireçtaşı tabakasına yapılan nokta yükleme deneyi değerleri**

| Sondaj No | Derinlik | Nokta Yükleme Değeri, ( $I_s$ ) |
|-----------|----------|---------------------------------|
|           | m        | kg/cm <sup>2</sup>              |
| ESK-3     | 18.6     | 14.1                            |
| ESK-4     | 8.0      | 16.0                            |
| ESK-5     | 11.0     | 10.1                            |



**Şekil 6.198 :** 1 ve 13 numaralı deney ankrajları kök bölgesi etrafındaki kaya formasyonu TCR değerleri

Deney alanı 1-6 bölgelerinde yer alan deney ankrajlarının teorik taşıma gücü hesapları, kaya formasyonları için verilen 6.3 numaralı denklem kullanılarak yapılmıştır. Denklem içerisinde yer alan kök bölgesi-kaya temas yüzeyinin taşıyabileceği maksimum kayma gerilmesini temsil eden  $\tau_{\text{mak}}$  değeri için literatürde farklı kaya tipleri için verilen maksimum kayma gerilmeleri baz alınmıştır. Tezin dördüncü bölümünde verilen çizelge 4.5'e göre deney ankrajları kök bölgesi etrafındaki kaya formasyonuna uygun maksimum kayma gerilmesi değerleri;

Wycliffe ve Jones (1974)'e göre

$$\tau_{\text{mak}} = 0.37 \text{ MPa (Yumuşak Kireçtaşı ve Şeyl)}$$

Littlejohn (1970)'e göre

$$\tau_{\text{mak}} = 0.17\text{-}0.25 \text{ MPa (Keuper Marn)}$$

$$T_f = \pi D L \tau_{mak} \quad (6.3)$$

Yukarıda verilenlere ilave olarak maksimum kayma gerilmesi  $\tau_{mak}$  hesabı için, serbest basınç dayanım değerinin kullanıldığı ampirik formül (denklem 6.4) kullanılmıştır.

$$\tau_{mak} = (\%10 UCS) \leq 4.2 MPa \quad (6.4)$$

Zemin araştırmaları kapsamında, deney ankrajları kök bölgesinin etkileşimde olduğu kireçtaşı tabakasının nokta yükleme indisi değeri olduğu için, denklem 6.4'de verilen UCS değeri literatürde verilen ampirik bağıntılara göre hesaplanmıştır.

Singh ve diğerleri (2011), toplam sayısı 318 adet olan karot numunesine yapmış olduğu deneyler sonucunda farklı kaya türleri için serbest basınç dayanımı-nokta yükleme indeksi arasındaki ilişkiyi araştırmış ve yumuşak kayalar için serbest basınç dayanımı değerinin (UCS) nokta yükleme indisinin 14-16 katı olması gerektiğini önermiştir.

Çizelge 6.77'de verilen nokta yükleme indisi değerlerinin ortalaması alınarak kaya formasyonun serbest basınç dayanımı değeri denklem 6.5'te hesaplanmıştır. Ortalama nokta yükleme indisi, "MPa" cinsinden hesaba katılmıştır.

$$UCS = 15 \times ortalama(I_s) = 15 \times 1.314 = 19.7 MPa \quad (6.5)$$

Ampirik formül kullanılarak hesaplanan serbest basınç dayanımı değerine göre maksimum kayma gerilmesi ( $\tau_{mak}$ ) denklem 6.5'e göre 19.7 MPa olarak belirlenmiştir.

Marn arabantlı killi kireçtaşı (Bakırköy-Güngören Geçışı) formasyonunda, ankraj taşıma gücü ( $T_f$ ) değeri farklı kayma gerilmelerine göre iki ayrı teori kullanılarak hesaplanmıştır (çizelge 6.78).

- Kök boyunca oluşan kayma gerilmelerin eşit olduğu
- Kök boyunca oluşan kayma gerilmelerin eşit olmadığı, etkinlik faktörünün kullanıldığı (SBMA teorisi)

**Çizelge 6.78 : 1 ve 13 Numaralı deney ankrajları delgi bilgisi ve taşıma gücü değerleri**

| Ankraj No | Delgi Çapı (mm) | Kök Boyu (m) | Delgi Tekniği                  | Ankraj Tipi       |
|-----------|-----------------|--------------|--------------------------------|-------------------|
| 1         | Ø170.0          | 8            | Muhafaza boru ve ön enjeksiyon | Geleneksel Ankraj |
| 13        | Ø170.0          | 8            | Muhafaza boru ve ön enjeksiyon | Geleneksel Ankraj |

| Ankraj No | $\tau$ (kPa) | SBMA Teorisi        |               | Kök Boyunca Eşit Gerilme Teorisi |               |
|-----------|--------------|---------------------|---------------|----------------------------------|---------------|
|           |              | $f_{etk}$           | $T_f$ (kN)    | $f_{etk}$                        | $T_f$ (kN)    |
| 1 / 13    | 370.00       | %48.9               | 773.1         | %100.0                           | 1580.8        |
|           | 210.00       |                     | 438.8         |                                  | 897.2         |
|           | 1970.00      |                     | 4116.4        |                                  | 8417.0        |
|           |              | <b>Ort. Tf (kN)</b> | <b>1776.1</b> | <b>Ort. Tf (kN)</b>              | <b>3631.7</b> |

Deney alanı 2 ve 5 bölgelerinde geleneksel yöntemin dışında, ard enjeksiyon ve SBMA tekniğinin kullanılmış olduğu deney ankrajları imal edilmiştir. Proje sahasında 2011 ve 2012 yıllarında yapılan zemin etüt ve araştırmaları kapsamında, 5 numaralı deney alanı bölgesinde imal edilen ankrajların kök bölgesi etrafında çok katı kil tabakası yer alırken, 2 numaralı deney alanı bölgesinde imal edilen ankrajların kök bölgesi etrafında ise ince kum bantlı orta katı-katı kil tabakası yer almıştır. Deney alanı 3 ve 4 bölgelerinde de, farklı imalat yöntemlerinin kullanıldığı deney ankrajları imal edilmiştir. 3 numaralı deney alanı içerisinde imal edilen ankrajların kök bölgesi, yumuşak-orta katı-katı kıvamda ince kum bantlı kil tabakası içerisine girmektedir. 4 numaralı deney alanı içerisinde imal edilen ankrajların kök bölgesi, çok yumuşak-yumuşak-orta katı kil tabakasına girmektedir.

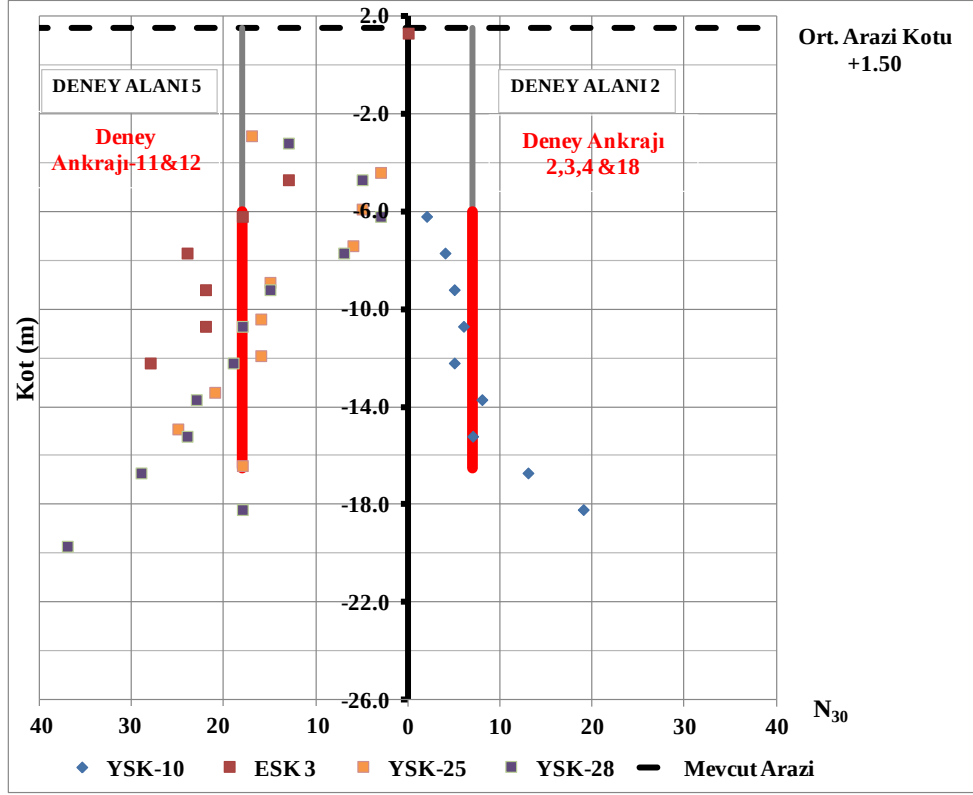
2,3,4 ve 5 numaralı deney alanlarında imal edilen ankrajların teorik taşıma gücü hesabı, kohezyonlu zeminlerde geçerli olan denklem 6.6 kullanılarak yapılmıştır.

$$T_f = \pi D L \alpha c_u \quad (6.6)$$

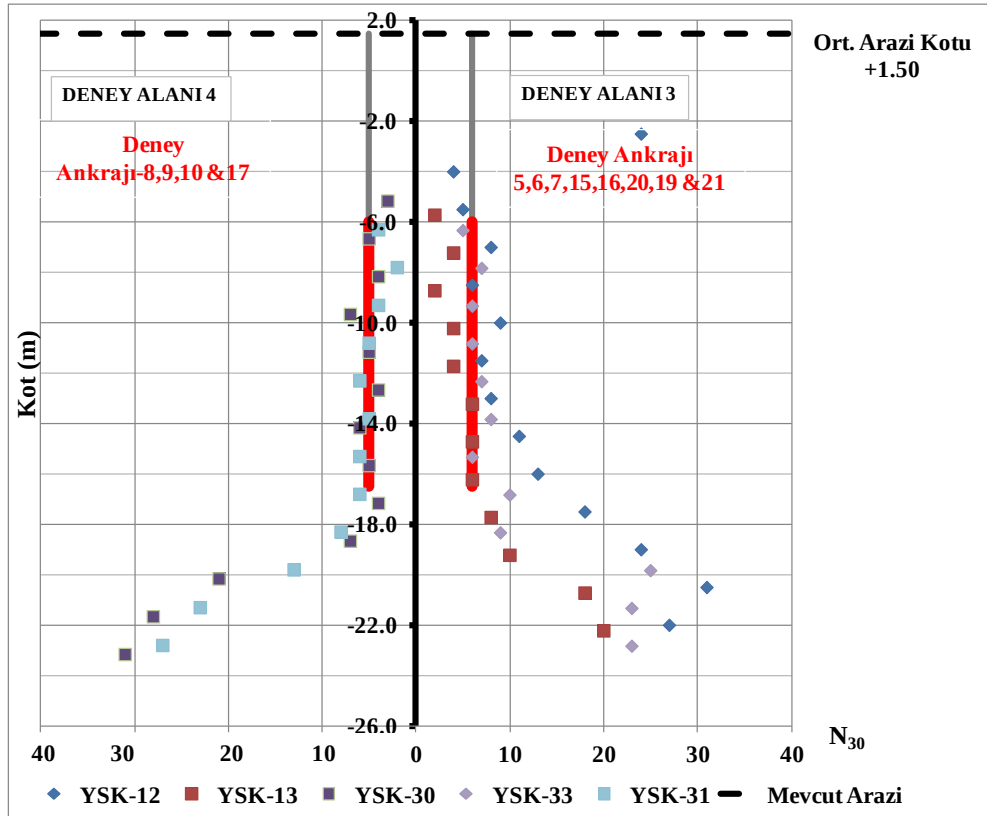
Denklem içerisinde yer alan parametreler, proje sahasında gerçekleştirilen zemin etüt çalışmaları sonucu dikkate alınmıştır. Dikkate alınan bu çalışmalar kapsamında;

- İnceleme sondajlarının yapılması ve sondaj sırasında SPT uygulaması
- Örselenmemiş numunelerin laboratuvar ortamında fiziksel özelliklerin belirlenmesi

- Arazide gerçekleştirilen Vane ve Pressiyometre Deneyleri



Şekil 6.199 : 2 ve 5 numaralı deney alanlarına yakın sondajlarda elde edilen  $N_{30}$  değerleri



**Şekil 6.200 : 3 ve 4 numaralı deney alanlarına yakın sondajlarda elde edilen  $N_{30}$  değerleri**

Deney alanı 2, 3, 4 ve 5 bölgelerine yakın sondajlardan elde edilmiş SPT değerleri mevcut arazi kotu cinsinden derinlikle değişimi Şekil 6.199 ve 6.200'de verilmiştir. İlgili deney alanlarında imal edilen ankrajların kök bölgelerinin girmiş olduğu zeminlerin ortalama SPT değerleri;

- Deney alanı 2 için,  $N_{30} = 6-7$
- Deney alanı 3 için,  $N_{30} = 6-7$
- Deney alanı 4 için,  $N_{30} = 4-5$
- Deney alanı 5 için,  $N_{30} = 18-20$

olarak hesaplanmıştır. Kohezyonlu zeminlerde, arazide yapılan SPT değerlerinin korelasyonu ile drenajsız kayma mukavemetini tespit etmek mümkündür. Bowles (1997), kohezyonsuz zeminlerin serbest basınç dayanımı -  $N_{70}$  değerleri arasındaki ilişkiyi Çizelge 6.79'da göstermiştir.

**Çizelge 6.79 :  $N'_{70}$  - suya doymuş kil zeminlerin kıvam ve serbest basınç dayanımı**

| Kıvam       | $N'_{70}$ | $q_u$ , kPa | Açıklama                                     |
|-------------|-----------|-------------|----------------------------------------------|
| Çok Yumuşak | 0-2       | <25         | Parmaklar arasında sıkıldığında ezilebilir   |
| Yumuşak     | 3-5       | 25-50       | Sıkıldığında çok kolay şekil değiştirebilir  |
| Orta Katı   | 6-9       | 50-100      |                                              |
| Katı        | 10-16     | 100-200     | El ile sıkıldığında zor şekil değiştirir     |
| Çok Katı    | 17-30     | 200-400     | El ile sıkıldığında çok zor şekil değiştirir |
| Sert        | >30       | >400        | El ile şekil değiştirmesi neredeyse imkansız |

Çizelge 6.79'a göre 2,3,4 ve 5 numaralı deney alanlarında imal edilen ankrajların kök bölgelerine denk gelen kil zeminlerin drenajsız mukavemet değeri ( $c_u = q_u/2$ ),

- Deney alanı 2 için,  $q_u = 58.3$  kPa ;  $c_u = 29.2$  kPa
- Deney alanı 3 için,  $q_u = 58.3$  kPa ;  $c_u = 29.2$  kPa
- Deney alanı 4 için,  $q_u = 28.8$  kPa ;  $c_u = 14.4$  kPa
- Deney alanı 5 için,  $q_u = 138.3$  kPa ;  $c_u = 69.2$  kPa

olarak hesaplanır. Arazide gerçekleştirilen SPT değerleri  $N'_{70}$  cinsinden denklem 6.7 kullanılarak değiştirilmiştir (Bowles, 1997).

$$N'_{70} = C_N N_{30} \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 \quad (6.7)$$

$\eta_i$ : Düzeltme faktörleri (Enerji, tij, numune tipi, delgi çapı)

$C_N$  : SPT uygulama derinliğine göre efektif düşey gerilme düzeltmesi

Deney alanı 3 ve 4 nolu bölgelere yakın sondajlardan 3 tanesinde, zeminin yerinde drenajsız kayma mukavemeti değerini tespit etmek amacıyla Vane deneyi yapılmıştır. Deney sırasında elde edilen tork değerleri kg/m biriminden çizelge 6.80'de gösterilmiştir (Elfa, 2012).

**Çizelge 6.80 : Vane Deney sonuçları (Deney alanı 3 ve 4)**

| Sondaj No | Kot (m) | Vane | Tork (kg/m) |
|-----------|---------|------|-------------|
| YSK-34    | -5.8    | 300  | 3.456       |
|           | -7.8    | 300  | 3.456       |
|           | -10.8   | 300  | 3.456       |
|           | -12.3   | 350  | 4.032       |
|           | -15.3   | -    | -           |
| YSK-32    | -8.0    | 250  | 2.88        |
|           | -11.0   | 300  | 3.456       |
| YSK-5     | -7.0    | 350  | 4.032       |
|           | -10.0   | 300  | 3.456       |
|           | -13.0   | 350  | 4.032       |

Vane deney sonuçlarına göre, ankraj kök bölgelerinin yer aldığı ince kum bantlı kil tabakasının drenajsız kayma mukavemet değeri ( $c_u$ ), ASTM D2573:94 standartında belirtilen denklem 6.8 kullanılarak hesaplanır.

$$T = s K \quad (6.8)$$

$T$ : Vane deneyi sonucu elde edilen tork kuvveti (N/m)

$s$ : Drenajsız kayma mukavemeti değeri (kPa)

$K$ : Vane ekipmanına göre değişen sabit (denklem 6.9)

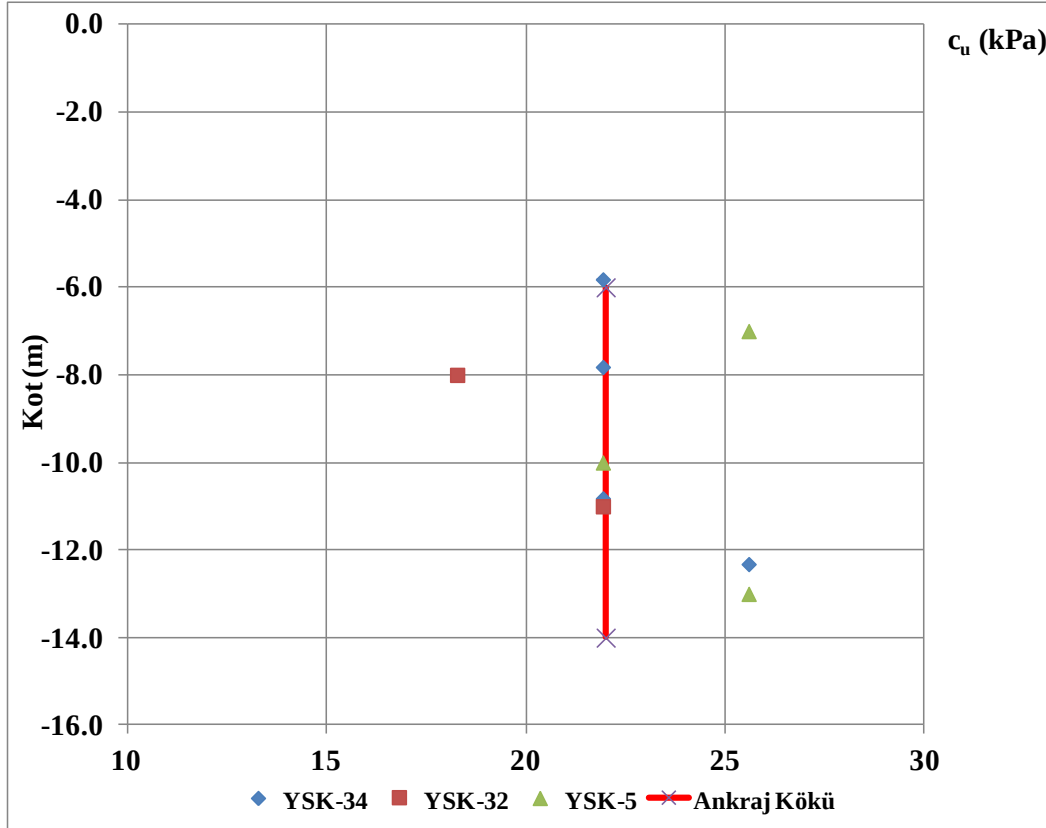
$$\left(\frac{\pi}{10^6}\right) \left(D^2 \frac{H}{2}\right) \left(1 + \frac{D}{3H}\right) \quad (6.9)$$

$D$ : Vane çapı = 7.5 cm

$H$ : Vane yüksekliği = 15 cm

$$K = 1.546 \times 10^{-3}$$

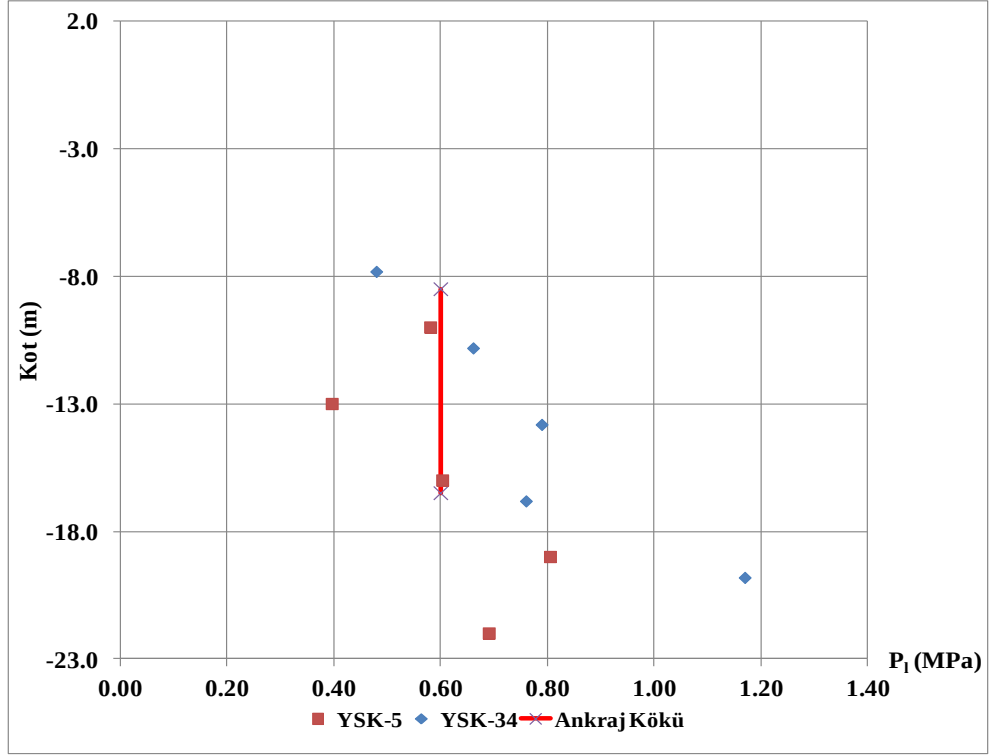
Arazide gerçekleştirilen vane sonuçları ve vane kanatları geometrisine göre bulunan  $K$  değeri baz alınarak tahmin edilen zemin drenajsız kayma mukavemeti değeri şekil 6.201'de gösterilmiştir.



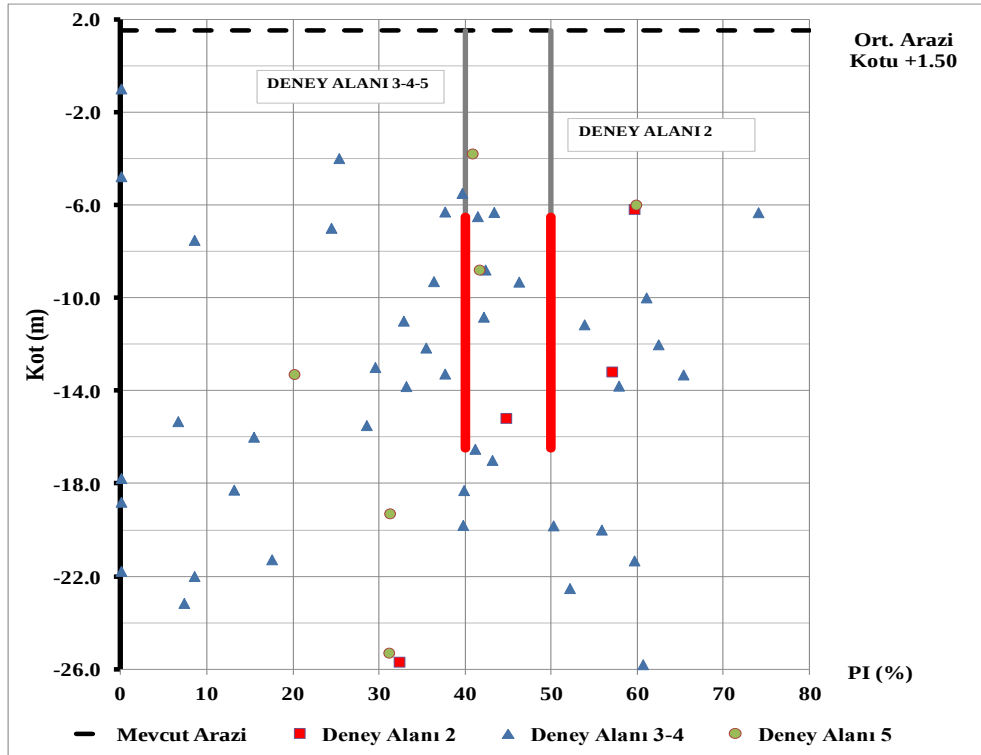
**Şekil 6.201 :** 3 ve 4 numaralı deney alanlarına yakın sondajlarda vane deney sonucu kullanılarak elde edilen kayma mukavemeti değerleri

Vane deneyine ilave olarak, arazide 3 ve 4 numaralı bölgelere yakın olan sondajlardan iki tanesinde pressiometre deneyi gerçekleştirilmiştir. Deney sonucunda ölçülen limit basınç değerlerinin kota göre değişimi şekil 6.202'de verilmiştir.

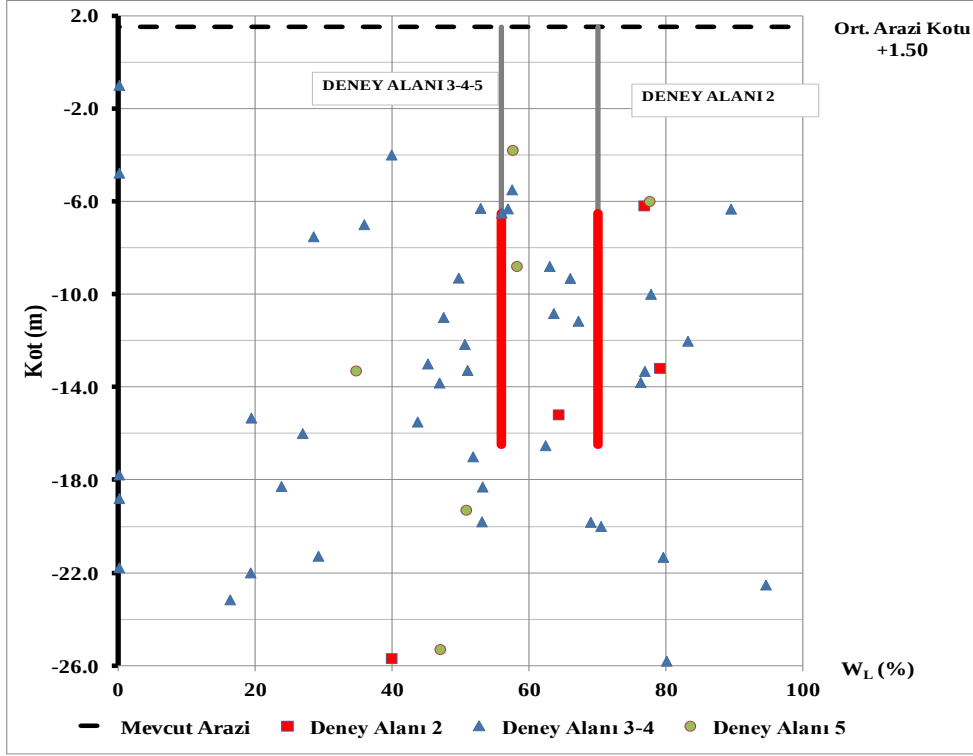
2-3-4 ve 5 numaralı deney alanlarında yer alan ince kum bantlı zayıf dayanımlı kil ve çok katı kil tabakalarından sondaj sırasında alınan örselenmiş ve örselenmemiş numunelerin Atterberg limitleri belirlenmiştir. Şekil 6.203 ve 6.204'de Plastisite İndis (PI) ve Likit Limit ( $W_L$ ) değerlerinin kota göre değişimi verilmiştir.



Şekil 6.202 : 3 ve 4 numaralı deney alanlarına yakın bölgelerde pressiometre deneyi



Şekil 6.203 : Deney alanı 2-3-4 ve 5 bölgelerindeki killi zeminin plastisite indisi



**Şekil 6.204 :** Deney alanı 2-3-4 ve 5 bölgelerindeki killi zeminin likit limit

Laboratuvar ortamında belirlenen Atterberg limit değerlerine göre, 2-3-4 ve 5 deney alanlarında imal edilen ankrajların kök kısımları, yüksek plastisiteli ve likit limit değeri %50'den büyük killi zeminler içerisinde kalmıştır. Bu tip zeminlerde imal edilen ankrajların kök bölgesi sabit yük altında deplasman yapmaya devam eder ve yük kaybına sebep olur.

Deney alanı 2 ,3, 4 ve 5 bölgelerinde geleneksel yöntem ile imal edilen ankrajların teorik taşıma gücü; SPT ve Vane deneyi sonuçlarından elde edilen drenajsız kayma mukavemeti değerlerinin kullanılması ile hesaplanmıştır. Taşıma gücü hesabı denklemi içerisinde yer alan adezyon faktörü değeri ( $\alpha$ ) için, Littlejohn (1968), Sapio (1975) ve Tomlinson (1994) referans alınmıştır;

- Littlejohn (1968) ; killer için  $\alpha = 0.30-0.35$
- Sapio (1975) ; killer için  $\alpha = 0.28-0.36$
- Tomlinson (1994); killer için kazık sürtünme direnci hesabında  $c_u < 50$  kPa için  $\alpha=0.88$ ,  $c_u > 50$  kPa için  $\alpha=0.70$  (adezyon değerleri basınç anında olup, çekme anında %50 azaltılma yapılmıştır)

**Çizelge 6.81 :** Deney alanı 2-3 bölgelerinde imal edilen geleneksel ankraj delgi bilgisi ve taşıma gücü değerleri

| Ankraj No                                                                                                    | Delgi Çapı (mm) | Kök Boyu (m) | Delgi Tekniği                  | Ankraj Tipi       | Deney Alanı |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------|--------------------------------|-------------------|-------------|
| 2-5                                                                                                          | Ø170.0          | 8            | Muhafaza boru ve ön enjeksiyon | Geleneksel Ankraj | 2-3         |
| 18*                                                                                                          | Ø170.0          | 8            | Muhafaza boru ve ön enjeksiyon | Geleneksel Ankraj | 2           |
| *Kök-Serbest bölge arasına çuval yerleştirilmiş, ve kök bölgesinde 50 cm aralıkla çelik saçak kullanılmıştır |                 |              |                                |                   |             |

|           |                      |      |         | SBMA Teorisi     |                     | Kök Boyunca Eşit Gerilme Teorisi |                     |
|-----------|----------------------|------|---------|------------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|
| Ankraj No | c <sub>u</sub> (kPa) | α    | τ (kPa) | f <sub>etk</sub> | T <sub>f</sub> (kN) | f <sub>etk</sub>                 | T <sub>f</sub> (kN) |
| 2-5-18    | 29.20                | 0.33 | 9.64    | %48.9            | 20.1                | %100.0                           | 41.2                |
|           |                      | 0.32 | 9.34    |                  | 19.5                |                                  | 39.9                |
|           |                      | 0.44 | 12.85   |                  | 26.8                |                                  | 54.9                |
|           |                      |      |         | Ort. Tf (kN)     | 22.2                | Ort. Tf (kN)                     | 45.3                |

**Çizelge 6.82 :** Deney alanı 4 bölgesinde imal edilen geleneksel ankraj delgi bilgisi ve taşıma gücü değerleri

| Ankraj No | Delgi Çapı (mm) | Kök Boyu (m) | Delgi Tekniği                  | Ankraj Tipi       | Deney Alanı |
|-----------|-----------------|--------------|--------------------------------|-------------------|-------------|
| 8         | Ø170.0          | 8            | Muhafaza boru ve ön enjeksiyon | Geleneksel Ankraj | 4           |

|           |                      |      |         | SBMA Teorisi     |                     | Kök Boyunca Eşit Gerilme Teorisi |                     |
|-----------|----------------------|------|---------|------------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|
| Ankraj No | c <sub>u</sub> (kPa) | a    | τ (kPa) | f <sub>etk</sub> | T <sub>f</sub> (kN) | f <sub>etk</sub>                 | T <sub>f</sub> (kN) |
| 8         | 14.40                | 0.33 | 4.75    | %48.9            | 9.9                 | %100.0                           | 20.3                |
|           |                      | 0.32 | 4.61    |                  | 9.6                 |                                  | 19.7                |
|           |                      | 0.44 | 6.34    |                  | 13.2                |                                  | 27.1                |
|           |                      |      |         | Ort. Tf (kN)     | 10.9                | Ort. Tf (kN)                     | 22.4                |

**Çizelge 6.83 :** Deney alanı 5 bölgesinde imal edilen geleneksel ankraj delgi bilgisi ve taşıma gücü değerleri

| Ankraj No | Delgi Çapı (mm)      | Kök Boyu (m) | Delgi Tekniği                  | Ankraj Tipi              |                                  | Deney Alanı              |                     |
|-----------|----------------------|--------------|--------------------------------|--------------------------|----------------------------------|--------------------------|---------------------|
| 11        | Ø170.0               | 8            | Muhafaza boru ve ön enjeksiyon | Geleneksel Ankraj        |                                  | 5                        |                     |
|           |                      |              | SBMA Teorisi                   |                          | Kök Boyunca Eşit Gerilme Teorisi |                          |                     |
| Ankraj No | c <sub>u</sub> (kPa) | α            | τ (kPa)                        | f <sub>etk</sub>         | T <sub>f</sub> (kN)              | f <sub>etk</sub>         | T <sub>f</sub> (kN) |
| 11        | 69.20                | 0.33         | 22.84                          | %48.9                    | 47.7                             | %100.0                   | 97.6                |
|           |                      | 0.32         | 22.14                          |                          | 46.3                             |                          | 94.6                |
|           |                      | 0.35         | 24.22                          |                          | 50.6                             |                          | 103.5               |
|           |                      |              |                                | Ort. T <sub>f</sub> (kN) | 48.2                             | Ort. T <sub>f</sub> (kN) | 98.6                |

Geleneksel yöntem ile imal edilen ankrajların taşıma gücü değerleri, teorik hesaplar sonucunda çıktığı değerler, sahada uygulanan deney sonuçlarına göre çok düşük çıkmıştır. 3 ve 4 numaralı deney alanlarına yakın bölgelerde yapılmış Vane deneyi sonucuna göre, geleneksel yöntem ile imal edilen 5 ve 8 numaralı deney ankrajının teorik taşıma gücü hesabı çizelge 6.84'de gösterilmiştir.

**Çizelge 6.84 :** Vane Deneyi sonuçlarına göre 5 ve 8 numaralı deney ankrajı taşıma gücü hesabı

|           |                      |      |         | SBMA Teorisi             |                     | Kök Boyunca Eşit Gerilme Teorisi |                     |
|-----------|----------------------|------|---------|--------------------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|
| Ankraj No | c <sub>u</sub> (kPa) | α    | τ (kPa) | f <sub>etk</sub>         | T <sub>f</sub> (kN) | f <sub>etk</sub>                 | T <sub>f</sub> (kN) |
| 5-8       | 22.00                | 0.33 | 7.26    | %48.9                    | 15.2                | %100.0                           | 31.0                |
|           |                      | 0.32 | 7.04    |                          | 14.7                |                                  | 30.1                |
|           |                      | 0.44 | 9.68    |                          | 20.2                |                                  | 41.4                |
|           |                      |      |         | Ort. T <sub>f</sub> (kN) | 16.7                | Ort. T <sub>f</sub> (kN)         | 34.2                |

Geleneksel yöntemle ilave olarak ard enjeksiyon ve SBMA tekniğinin kullanılarak imal edilen deney ankrajlarının da teorik taşıma gücü hesabı yapılmıştır. Taşıma gücü hesabı için Sherwood ve Harris (1993) önermiş olduğu denklem (6.10) kullanılmıştır.

$$T_a = \pi n D_d L q_s \quad (6.10)$$

Sherwood ve Harris (1993), denklemde kullanılan  $n$  değerinin killi için 1.8 olarak hesapta kullanılabileceğini önermiştir.

Denklemde yer alan  $q_s$  değeri için; bölüm 5 içerisinde yer verilen şekil 5.4 baz alınmıştır. Şekil içerisinde verilen grafikte, ard enjeksiyon tekniğinin uygulandığı killi zeminin drenajsız kayma mukavemeti değerine göre zeminden alınabilecek maksimum sürtünme direnci ( $q_s$ ) değeri eğrisi verilmiştir (Sherwood ve Harris, 1993). Hesaplanan  $q_s$  değeri, ard enjeksiyon tekniğinin SBMA ankrajların imalatında da kullanılmasından dolayı SBMA deney ankrajlarının teorik hesabı için de geçerlidir.

- Deney alanı 2 için,  $c_u = 29.2$  kPa ;  $q_s = \sim 70$  kPa
- Deney alanı 3 için,  $c_u = 29.2$  kPa ;  $q_s = \sim 70$  kPa
- Deney alanı 4 için,  $c_u = 14.4$  kPa ;  $q_s = \sim 25$  kPa
- Deney alanı 5 için,  $c_u = 69.2$  kPa ;  $q_s = \sim 110$  kPa

Vane deneyi sonucunda elde edilen drenajsız kayma mukavemeti değerine göre, ard enjeksiyon uygulaması sonucunda maksimum sürtünme direnci  $q_s$ , yaklaşık olarak 50 kPa çıkmaktadır.

Ard enjeksiyon tekniğine göre imal edilen deney ankrajlarının SPT ve Vane deneyi sonucunda hesaplanan drenajsız kayma mukavemeti değerlerine göre hesabı çizelge 6.85'te verilmiştir.

**Çizelge 6.85 :** Ard enjeksiyon tekniğinin kullanıldığı ankrajların taşıma gücü hesabı

|              |             |             |                           |             | SBMA Teorisi |            | Kök Boyunca Eşit Gerilme Teorisi |            |
|--------------|-------------|-------------|---------------------------|-------------|--------------|------------|----------------------------------|------------|
| Ankraj No    | Deney Alanı | $c_u$ (kPa) | Açıklama                  | $q_s$ (kPa) | $f_{etk}$    | $T_f$ (kN) | $f_{etk}$                        | $T_f$ (kN) |
| 3, 6, 16, 20 | 2 ve 3      | 29.20       | SPT Deney Sonucuna Göre   | 70          | %48.9        | 263.3      | %100.0                           | 538.3      |
| 9            | 4           | 14.40       |                           | 25          |              | 94.0       |                                  | 192.3      |
| 12           | 5           | 69.20       |                           | 110         |              | 413.7      |                                  | 846.0      |
| 6, 9, 16, 20 | 3 ve 4      | 22.00       | Vane Deneyi Sonucuna Göre | 50          |              | 188.1      |                                  | 384.5      |

2, 3 ve 4 numaralı deney alanlarında imal edilen SBMA ankrajlarının taşıma gücü hesabı 6.86'da verilmiştir.

**Çizelge 6.86 :** SBMA tekniğinin kullanıldığı ankrajların taşıma gücü hesabı

|           |             |              |              |             | SBMA Teorisi |            |
|-----------|-------------|--------------|--------------|-------------|--------------|------------|
| Ankraj No | Deney Alanı | Ünite Sayısı | Kök Boyu (m) | $q_s$ (kPa) | $f_{etk}$    | $T_f$ (kN) |
| 4         | 2           | 4            | 2.50         | 70          | %94.9        | 638.7      |
| 7         | 3           | 4            | 2.50         | 25          | %94.9        | 228.1      |
| 15        | 3           | 2            | 3.50         | 110         | %78.3        | 579.9      |
| 10        | 4           | 4            | 2.50         | 50          | %94.9        | 456.2      |

#### 6.7.2 Saha deneyleri sonucunda ulaşılan ankraj taşıma gücü

İstanbul-Bakırköy ilçesinde yapılacak olan projenin kazısı sırasında KASKTAŞ AŞ firması tarafından önerilen ankrajlı iksa sistemini imalatında gerekecek öngerme yüklerin uygulanabilirliğinin kesinleşmesi için deney ankrajları imalatı gerçekleştirilmiştir. Proje sahasında gerçekleştirilen Zemin Etüt ve Sondaj çalışmaları neticesinde belirlenen zemin profillerine göre farklılık gösteren 6 adet deney bölgesi belirlenmiştir. Bu bölgelerden iki tanesi (Alan-1 & Alan-3) kökleri yer yer marn arabantlı killi kireçtaşı formasyonunda kalan deney ankrajlarını içermektedir. Deney ankrajları imalatı ve germe deneyi öncesi yapılan proje analizlerine göre ihtiyaç duyulan germe yükünün 800 kN olduğu belirlenmiştir. Diğer bölgelerde imal edilen deney ankrajlarının kökleri kıvamı ve içeriği bölgelere

göre değişkenlik gösteren yüksek oranda killi zemin içerisinde kalmaktadır. Yapılan proje analizlerine göre, bu bölge içinde gerekli germe yükü 450 kN olarak belirlenmiştir. Tüm deney alanlarında gerçekleştirilen germe deneyi prosedürü; analizler sonucu belirlenen öngerme yüklerine göre hazırlanmıştır.

5.6 bölümünde germe deney sonuçları detaylı bir şekilde açıklanan deney ankrajlarının bu sonuçlara göre belirlenen kök taşıma gücü ve ankraj imalatında kullanılan teknikler çizelge 6.87, 6.88, 6.89 ve 6.90'de gösterilmiştir.

**Çizelge 6.87 : Deney alanı 1&6; deney ankrajları kök taşıma gücü ve imalat teknikleri**

| Bölge  | Deney Ankraj No | Tendon   | İmalat Tipi       | Delgi Çapı (mm) | Kök Boyu (m) | Maks. Deney Yüğü (kN) | Kök Taşıma Gücü (kN) | Kök Bölgesinin İçerisinde Kalan Zemin Profili |
|--------|-----------------|----------|-------------------|-----------------|--------------|-----------------------|----------------------|-----------------------------------------------|
| Alan-1 | 1               | 6 x 0.6" | Geleneksel Yöntem | 170             | 8            | 1200                  | -                    | Marn Arabantlı Zayıf Dayanımlı Kireçtaşı      |
| Alan-6 | 13              | 6 x 0.6" | Geleneksel Yöntem | 170             | 8            | 1200                  | -                    | Marn Arabantlı Zayıf Dayanımlı Kireçtaşı      |

**Çizelge 6.88 : Deney alanı 4; deney ankrajları kök taşıma gücü ve imalat teknikleri**

| Bölge  | Deney Ankraj No | Tendon       | İmalat Tipi                            | Delgi Çapı (mm) | Kök Boyu (m) | Maks. Deney Yüğü (kN) | Kök Taşıma Gücü (kN) | Kök Bölgesinin İçerisinde Kalan Zemin Profili |
|--------|-----------------|--------------|----------------------------------------|-----------------|--------------|-----------------------|----------------------|-----------------------------------------------|
| Alan-4 | 8               | 4 x 0.6"     | Geleneksel Yöntem                      | 170             | 8            | -                     | 562.5                | Yumuşak-Orta Katı Alüvyonel Kil               |
|        | 9               | 4 x 0.6"     | Ard Enjeksiyon (Tube A Manchette)      | 170             | 8            | -                     | 675                  |                                               |
|        | 10              | 1 x 0.6" (A) | SBMA Tekniği                           | 170             | 2.5          | -                     | 168.75               |                                               |
|        |                 | 1 x 0.6" (B) |                                        | 170             | 2.5          | 196.88                | -                    |                                               |
|        |                 | 1 x 0.6" (C) |                                        | 170             | 2.5          | 196.88                | -                    |                                               |
|        |                 | 1 x 0.6" (D) |                                        | 170             | 2.5          | 196.88                | -                    |                                               |
|        | 17              | 4 x 0.6"     | Geleneksel Yöntem (Çelik Kılçık+Çuval) | 170             | 8            | -                     | 675                  |                                               |

**Çizelge 6.89 : : Deney alanı 2&5; deney ankrajları kök taşıma gücü ve imalat teknikleri**

| Bölge  | Deney Ankraj No | Tendon       | İmalat Tipi                            | Delgi Çapı (mm) | Kök Boyu (m) | Maks. Deney Yüklü (kN) | Kök Taşıma Gücü (kN) | Kök Bölgesinin İçerisinde Kalan Zemin Profili     |
|--------|-----------------|--------------|----------------------------------------|-----------------|--------------|------------------------|----------------------|---------------------------------------------------|
| Alan-2 | 2               | 4 x 0.6"     | Geleneksel Yöntem                      | 170             | 8            | -                      | 675                  | İnce Kum Bantlı Orta Katı-Katı Kil                |
|        | 3               | 4 x 0.6"     | Ard Enjeksiyon (Tube A Manchette)      | 170             | 8            | 787.5                  | -                    |                                                   |
|        | 4               | 1 x 0.6" (A) | SBMA Tekniği                           | 170             | 2.5          | 196.88                 | -                    |                                                   |
|        |                 | 1 x 0.6" (B) |                                        |                 |              | 196.88                 | -                    |                                                   |
|        |                 | 1 x 0.6" (C) |                                        |                 |              | 196.88                 | -                    |                                                   |
|        |                 | 1 x 0.6" (D) |                                        |                 |              | 196.88                 | -                    |                                                   |
|        | 18              | 4 x 0.6"     | Geleneksel Yöntem (Çelik Kılçık+Çuval) | 170             | 8            | -                      | 675                  |                                                   |
| Alan-5 | 11              | 4 x 0.6"     | Geleneksel Yöntem                      | 170             | 8            | 787.5                  | -                    | Yer Yer Marn ve Kireçtaşı Parçacıklı Çok Katı Kil |
|        | 12              | 4 x 0.6"     | Ard Enjeksiyon (Tube A Manchette)      | 170             | 8            | 787.5                  | -                    |                                                   |

**Çizelge 6.90 : Deney alanı 3; deney ankrajları kök taşıma gücü ve imalat teknikleri**

| Bölge  | Deney Ankraj No | Tendon        | İmalat Tipi                       | Delgi Çapı (mm) | Kök Boyu (m) | Maks. Deney Yüğü (kN) | Kök Taşıma Gücü (kN) | Kök Bölgesinin İçerisinde Kalan Zemin Profili |
|--------|-----------------|---------------|-----------------------------------|-----------------|--------------|-----------------------|----------------------|-----------------------------------------------|
| Alan-3 | 5               | 4 x 0.6"      | Geleneksel Yöntem                 | 170             | 8            | -                     | 675                  | Yumuşak-Orta Katı-Katı Alüvyonel Kil          |
|        | 6               | 4 x 0.6"      | Ard Enjeksiyon (Tube A Manchette) | 170             | 8            | 787.5                 | -                    |                                               |
|        | 7               | 1 x 0.6" (A)  | SBMA Tekniği                      | 170             | 2.5          | -                     | 140.6                |                                               |
|        |                 | 1 x 0.6" (B)  |                                   |                 | 2.5          | -                     | 140.6                |                                               |
|        |                 | 1 x 0.6" (C)  |                                   |                 | 2.5          | -                     | 140.6                |                                               |
|        |                 | 1 x 0.6" (D)  |                                   |                 | 2.5          | -                     | 140.6                |                                               |
|        | 15              | 2 x 0.5" (I)  | SBMA Tekniği Referans Alınmıştır. | 170             | 2.5          | 787.5                 | -                    |                                               |
|        |                 | 2 x 0.5" (II) |                                   |                 | 2.5          |                       | -                    |                                               |
|        | 16              | 4 x 0.6"      | Ard Enjeksiyon (Tube A Manchette) | 170             | 8            | -                     | 787.5                |                                               |
| Bölge  | Deney Ankraj No | Tendon        | İmalat Tipi                       | Delgi Çapı (mm) | Kök Boyu (m) | Maks. Deney Yüğü (kN) | Kök Taşıma Gücü (kN) | Kök Bölgesinin İçerisinde Kalan Zemin Profili |
| Alan-3 | 19              | 1 x 0.6" (A)  | SBMA Tekniği                      | 170             | 2.5          | -                     | 168.75               | Yumuşak-Orta Katı-Katı Alüvyonel Kil          |
|        |                 | 1 x 0.6" (B)  |                                   |                 | 2.5          | 196.88                | -                    |                                               |
|        |                 | 1 x 0.6" (C)  |                                   |                 | 2.5          | 196.88                | -                    |                                               |
|        |                 | 1 x 0.6" (D)  |                                   |                 | 2.5          | 196.88                | -                    |                                               |
|        | 20              | 4 x 0.6"      | Ard Enjeksiyon (Tube A Manchette) | 170             | 8            | -                     | 787.5                |                                               |
|        | 21              | 1 x 0.6" (A)  | SBMA Tekniği                      | 170             | 2.5          | -                     | 168.75               |                                               |
|        |                 | 1 x 0.6" (B)  |                                   | 170             | 2.5          | -                     | 196.88               |                                               |
|        |                 | 1 x 0.6" (C)  |                                   | 170             | 2.5          | 196.88                | -                    |                                               |
|        |                 | 1 x 0.6" (D)  |                                   | 170             | 2.5          | 196.88                | -                    |                                               |



## 7. SONUÇ ve ÖNERİLER

Geoteknik mühendisliğinde birçok uygulamada kullanılan zemin ankrajları, eksenleri doğrultusunda yüksek çekme kapasitesine sahip olması ve desteklemiş olduğu yapıdan aktarılabilecek çekme yüklerini başarılı bir şekilde zemine veya kayaya aktarma özelliği olması, geçmişten günümüze birçok farklı projede kullanılmasını sağlamıştır.

Ankraj kullanımının ilk yıllarında, uzman firmaların azlığı ve bu uygulama hakkındaki deneyim eksikliği neticesinde başarısızlıkla sonuçlanan tasarımlara rastlanılmaktadır. Fakat, birçok uzman firmanın yardımı ile farklı ülkelerde hazırlanan standartlar (BS 8081:1989, PTI 2004, EN-1537, DIN 4125 vb.) veya Amerika'da olduğu gibi hükümet tarafından desteklenen ankraj kullanımını hedefleyen araştırma projeleri, bu durumun değişmesini sağlamıştır. Bu standartların içerisinde aynı zamanda, 1960-1970'li yılların arasında ortaya çıkan geçici ve kalıcı ankraj kavramlarına yer verilmekte ve hangi şartlar altında kullanılması gerektiği belirtilmektedir.

Geoteknik mühendisliğinde zemin ankrajlarının, malzeme ve makine teknolojisinde meydana gelen gelişmeler doğrultusunda kullanım alanlarındaki çeşitliliği artmış ve dünya piyasası içerisindeki pazarı hızlı bir şekilde büyümüştür.

Zemin akranj imalatlarının başarılı sonuçlanması sadece doğru tasarıma bağlı değildir, önemli adımlardan biri de imalat sahasının iyi analiz edilmesi ve sahaya uygun akraj tipine karar verilmesidir.

Zemin ankrajlarının kullanıldığı projelerin başarılı sonuçlanması, yukarıda bahsedildiği gibi doğru ve hassas tasarımdan geçmektedir. Zemin ankrajlarının tasarımı içerisinde yer alan hususları maddeler halinde aşağıda özetlenmiştir:

- Ankraj teknolojisinin temelini oluşturan çelik veya farklı malzemeden üretilmiş çubuk veya halatların çekme kapasitesi,
- Derin kazı projelerinde meydana gelecek göçme düzleminin hareket etmeyen tarafında kök bölgesi kalacak şekilde serbest boy tasarımının yapılması,

- Aktif ankrajlarda, öngerme yükünün verildiği ankraj kafa kısmında kullanılan ekipmanların kapasitesi

Bu çalışmanın kapsamında, farklı zemin türlerinde imal edilen ankrajların taşıma gücü hesap yöntemleri incelenmiştir. Ayrıca, farklı araştırmacılar tarafından elde edilen hesap yöntemlerinin tarihsel gelişimine de yer verilmiştir. İmalat aşamasında kullanılan tekniklerin (enjeksiyon yöntemi, kök boyunun etkisi) , ankraj kök taşıma gücüne etkisi incelenmiştir.

Tezin son bölümündeki analiz kapsamında, İstanbul'da proje sahasında imal edilen deneme ankrajlarına uygulanan deney sonuçları teorik hesaplarla karşılaştırılıp, değerlendirilmiştir. Proje kapsamında gerçekleştirilecek derin kazının desteklenmesi amacıyla kullanılan ankrajların öngerme yükleri ve proje sahasında yapılan zemin etüt çalışmaları kazı derinliğine göre belirlenmiştir. Belirlenen altı deney alanı içerisinde, geleneksel yöntem, ard enjeksiyon (TAM) tekniği ve SBMA (tek delgili çoklu ankraj) teknolojisi olmak üzere üç farklı yöntem kullanılarak deney ankrajları test edilmiştir.

Yapılan deneyler sırasında, ankrajların taşıma gücü belirlenmiş, imalat yöntemlerinin taşıma gücüne etkisi incelenmiştir. Bununla birlikte, projenin uygulama aşamasında kullanılması planlanan BS8081:1989 standardında geçen deney kriterlerine göre ankrajların performansı incelenmiştir.

## 7.1 Sonuçlar

Tezin son bölümünde yer verilen analiz kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- Mekanik özellikleri (kayma direnci, deformasyon modülü vb.) yönünden zayıf veya yüksek plastisiteye sahip zeminlerde yapılacak olan ankraj imalatlarında doğru tasarım yapılması için arazide deneylerin önemi anlaşılmıştır.
- Projede uygulanacak ankraj taşıma gücü değerleri hem kök yenilme kriterini hem de standartlarca belirtilen şartları sağlaması gerekmektedir.
- Ankraj kök bölgesinin özellikle kum ara bantlarından oluşan yumuşak kil zeminlerde kaldığı bölgelerde (deney alanı 3 ve 4), TAM ve SBMA tekniklerinin taşıma gücü yönünden olumlu etkisi görülmüştür.

- Ankraj kök bölgesinin orta katı-katı kil zeminlerde kaldığı bölgelerde (deney alanı 2), TAM ve SBMA tekniklerinin özellikle standartlarca belirtilen deney kriterleri açısından getirdiği olumlu etkiler tespit edilmiştir.
- Çok katı ve sert kil zeminlerde kalan ankrajlarda, geleneksel yöntem ile TAM-SBMA teknikleri arasında taşıma gücü açısından hatırı sayılır bir fark elde edilmemiştir.

Bununla birlikte incelenen vaka analizinin sonuçlarını sayısal olarak değerlendirmek gerekirse;

Tezin 6.7. bölümünde elde edilen kök taşıma gücü veya maksimum deney yükü değerleri referans alınarak, bu değerlere zemin türüne göre imalat tekniklerine göre etkisi incelenmiştir.

Çizelge 7.1’de gerekli değerler özetlenmiştir. İlgili çizelgede deney alanı 1 ve 6 hariç diğer alanlar dikkate alınmıştır. Farklı imalat tekniklerinin kullanıldığı deney ankrajlarının bir kısmında kök sıyrılması yaşanmadığı için imalat tekniklerinin etkisi maksimum deney yüküne göre değerlendirilmiştir. Çizelgede verilen iyileştirme oranları, geleneksel yöntem ile imal edilen ankrajların taşıma gücü değerleri baz alınarak farklı imalat tekniklerin kullanıldığı ankrajların taşıma gücü arasındaki ilişkiyi vermektedir.

Sonuçlara göre, ard enjeksiyon (Tube A Manchette) uygulamasının özellikle yumuşak alüvyonel killi zeminlerde taşıma gücünde %17-20 oranında bir artış sağladığı görülmektedir. Bununla birlikte, SBMA ve ard enjeksiyon tekniğinin bir arada kullanıldığı deney ankrajlarının kök taşıma güçlerinde de geleneksel yönteme göre daha yüksek değerler vermektedir. Ancak, deney sahasında hakim olan killi zemin profilinde kıvam arttıkça, geleneksel yöntem ve ard enjeksiyon yöntemiyle imal edilen ankrajların, taşıma gücü değerleri arasında önemli bir fark görülmemektedir.

**Çizelge 7.1:** Ankraj kök taşıma gücüne farklı imalat yöntemlerinin zemin tipine göre etkisi

| İmalat Tipi                            | Kök Boyu (m) | Taşıma Gücü, (kN) | İyileştirme Oranı | Kök Bölgesinin İçerisinde Kalan Zemin Profili     |
|----------------------------------------|--------------|-------------------|-------------------|---------------------------------------------------|
| Geleneksel Yöntem                      | 8            | 675               | -                 | İnce Kum Bantlı Orta Katı-Katı Kil                |
| Ard Enjeksiyon (Tube A Manchette)      | 8            | 787.5             | 1.17              |                                                   |
| SBMA Tekniği                           | 4 x 2.5      | 787.52            | 1.17              |                                                   |
| Geleneksel Yöntem (Çelik Kılçık+Çuval) | 8            | 675               | 1                 |                                                   |
| Geleneksel Yöntem                      | 8            | 787.5             | -                 | Yer Yer Marn ve Kireçtaşı Parçacıklı Çok Katı Kil |
| Ard Enjeksiyon (Tube A Manchette)      | 8            | 787.5             | 1                 |                                                   |
| Geleneksel Yöntem                      | 8            | 675               | -                 | Yumuşak-Orta Katı-Katı Alüvyonel Kil              |
| Ard Enjeksiyon (Tube A Manchette)      | 8            | 787.5             | 1.17              |                                                   |
| SBMA Tekniği                           | 4 x 2.5      | 562.4             | 0.83              |                                                   |
| SBMA Tekniği Referans Alınmıştır.      | 4 x 2.5      | 787.5             | 1.17              |                                                   |
| Ard Enjeksiyon (Tube A Manchette)      | 8            | 787.5             | 1.17              |                                                   |
| SBMA Tekniği                           | 4 x 2.5      | 759.39            | 1.13              |                                                   |
| Ard Enjeksiyon (Tube A Manchette)      | 8            | 787.5             | 1.17              |                                                   |
| SBMA Tekniği                           | 4 x 2.5      | 759.39            | 1.13              |                                                   |
| Geleneksel Yöntem                      | 8            | 562.5             | -                 | Yumuşak-Orta Katı Alüvyonel Kil                   |
| Ard Enjeksiyon (Tube A Manchette)      | 8            | 675               | 1.20              |                                                   |
| SBMA Tekniği                           | 4 x 2.5      | 759.39            | 1.35              |                                                   |
| Ard Enjeksiyon (Çelik Kılçık)          | 8            | 675               | 1.20              |                                                   |

## 7.2 Öneriler

İleriki çalışmalara için öneriler ise :

- Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak farklı modellemeler ile ankraj taşıma gücünün belirlenip, teorik yöntemler ve saha deneyleri ile belirlenen taşıma gücü değerleri ile karşılaştırılması,
- TAM ve SBMA yöntemleriyle farklı zeminlerde imal edilen ankrajların kök bölgesinde meydana getirmiş olduğu etkilerin incelenmesi olacaktır.

## KAYNAKLAR

- Banks, J. A.** (1957). "Allt-Na-Lairige Prestressed Concrete Dam" *ICE Conference on Ground Anchors and Anchored Structures*, London, UK, 409-422
- Barley, A. D.** (1997). "The Single Bore Multiple Anchor System" *ICE Conference on Ground Anchors and Anchored Structures*, London, UK, 65-75
- Barley, A.D. Windsor** (2000). "Recent advances in ground anchor and ground reinforcement technology with reference to the development of the art", *GeoEng2000, International Conference on Geotechnical and Geological Engineering*, Melbourne, November 12-19, 1048-1094
- Barley, A. D. , Bruce, D. A. , C. Bruce, M. E. , Lang, J. C. & Aschenbroich, H.** (2003). "High Capacity and Fully Removable Soil Anchors" *2nd PTI Technical Conference and Exhibition, Post Tensioning Institute*, Huntington Beach, CA, USA, May 18-20 p.7
- Barley, T. & Mothersille D.** (2007). " Engineering assessment of the grease-filled annulus of sheathed prestressing strand for use in permanent ground anchorages" *ICE International Conference on Ground Anchors and Anchored Structures*, London, UK, November 26-27, 1-10
- Bassett, R.H.** (1970). "Discussion to paper on soil anchors" *ICE Conference on Ground Engineering*, London, 89-94
- Bruce, D.A. & Jewell, R.A.** (1987). "Soil Nailing: Application and Practice Part:1&Part:2", *Ground Engineering* , Vol.20, No.1, 10-15, 21-28
- Bruce, D.A. & Wolfhope, J.** (2007). "Rock anchors for dams: evolution and analysis of corrosion protection systems and construction costs", Paper presented at *Dam Safety'07* , Annual National Conference, 1-20
- Bryne, R.J., Cotton, D., Porterfield, J., Wolschlag, C., Ueblacker, G.** (1998). "Manual for design and construction monitoring of soil nail wall" *US Department of Transportation FHWA*, Publication No: FHWA-SA-96-069, 30-32
- Carvalho, M., A., R.** (2012). "Ancoragens pré-esforçadas em obras geotécnicas", Doutora Tezi, Faculdade De Ciencias E Tecnologia Universidade Nova De Lisboa, Portekiz, p.18
- BS 8081**, (1989). British Standard Code of Practice for Ground Anchorages,UK
- DIN 4125**, (1990). Deutsche Norm, Ground Anchorages Design, Construction and Testing, Berlin
- DNV-RP-E303**, (2005). Det Norske Veritas, Recommended Practice on Geotechnical Design and Installation of Suction Anchors in Clay, October 2005, Høvik, Norway, 11-12

- Düzceer, R.** (2014). "Yumuşak Zeminlerde SBMA Tipi Ankrajların Tasarım ve Performansı", *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 2.Özel Konulu Sempozyumu*, Akdeniz Üniversitesi-Antalya, Türkiye, 24 Nisan, 1-30
- Elton, D.J. & Whitbeck J.E.** (1997). "Tieback wall design and construction", *Final Report to Alabama Highway Research Center*, September 24, 1-4
- Evangelista, A & Sapio, G.** (1978). "Behaviour of Ground Anchors in Stiff Clays" *Revue Française de Géotechnique*, No. 3, 39-47
- Fang H.-Y.** (1991). *Foundation Engineering Handbook : Second Edition* Springer Science+Business Media, New York, USA, 868-877
- Fujita, K., Ueda, K. & Kusabuka, M.** (1978). "A Method to predict the load displacement relationship of ground anchors" *Revue Française de Géotechnique*, No. 3, 58-62
- Geotechnical Engineering Office of Hong-Kong Government** (2008). "Guide to soil nail design and construction" *GEOGUIDE 7*, Civil Engineering and Development Department-The Government of the Hong Kong Special Administrative Region, 19-20
- Jones, N.C & Kerkhoff, G.O** (1961). "Belled Caisson Anchor Walls as Michigan Remodels an Expressway" *Engineering News Record*, May 11 issue, 28-31
- Jorge, G. R.** (1969). "The re-groutable IRP anchorage for soft soils, low capacity of karstic rocks" *Proc. 7th Int. Conf. Soil Mech. & Found. Engng.*, Speciality Session No. 15, 159-163, Mexico
- Hanna, T. H. & Leonard, M. W.** (1969). "Some design and const. considerations on the use of anchorages and tiebacks", *Piling Committee-ICE*, London, 713-715
- Kramer, H.** (1978). "Determination of the carrying capacity of ground anchors with the correlation and regression analysis" *Revue Française de Géotechnique*, No. 3, 76-81
- Lacour, J. , Delmas, F. & Bustamante, M.** (1978). "Essais De Tirants D'Ancre Scellés Dans Une Argile Plastique" *ANNALES De L'Institut Technique Du Batiment Et Des Travaux Publics, Sols Et Fondations* Paris, France, 76-91
- Lang, H.-J.** (1974). Course Notes
- Littlejohn, G.S.** (1968). "Recent developments in ground anchor construction" *Ground Engineering 1* (3)., 32-36 & 46
- Littlejohn, G.S.** (1970). "Soil Anchors" *ICE Conference on Ground Engineering*, London, 33-44
- Littlejohn, G.S.** (1980). "Design estimation of the ultimate load holding capacity of ground anchors" *Ground Engineering 13* (8)., 25-39
- Lutenegger A.J** (2011). Historical Development of Iron Screw-Pile Foundations : 1836-1900 *Int. J. for the History of Eng. &Tech Vol.81 No.1*, 108-127
- Merrifield, C., Møller, O., Simpson, B. & Farrell, E.** (2013). "European practice in ground anchor design related to the framework EC7" *Proceedings of*

*the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris, France, 1835-1838*

- Miyatake, H., Oshita, T., Kubo, H., & Takeyama, M.** (2007). A New Manual for Ground Anchor Inspection, Integrity, Investigation and Remedial Measures *Int. J. for the History of Eng. &Tech Vol.81 No.1* , 108-112
- Mohan, D., Murthy, V.N.S. & Jain, G.S.** (1969). "Design and Construction of Multi Under-Reamed Piles" *Proc. 7th Int. Conf. Soil Mech. & Found. Engng.*, 183-186, Mexico
- Neely, W. J. & Montague-Jones, M.** (1974). "Pull-Out Capacity of Straight-Shafted and Under-Reamed Ground Anchors" *The Civil Engineer in South Africa*, Vol. 16, No.4, 131-134
- Pack, J.S.** (2009). Practical Design and Inspection for Helical Piles and Helican Tension Anchors. Fourth Edition, Colorado, USA, p.6
- Parry-Davies, R.** (1966). Private Correspondence Ref. 1523/66 - 6th September Cementation (African Contracts) (Pty) Ltd.,Johannesburg, South Africa
- Prashant, A. & Mukherjee, M.** (2010). "Soil nailing for stabilization of steep slopes near railway tracks", Department of Civil Engineering-Indian Institute of Technology Kanpur, August, 3-9
- PTI** (2004). Recommendations for Prestressed Rock and Soil Anchors, *Post Tensioning Institute*, USA.
- Ostermayer, H.** (1974). "Construction, carrying behaviour and creep characteristics of ground anchors", *ICE Conference on Diaphragm Walls and Anchorages*, London, UK, 141-151
- Ostermayer, H. & Scheele, F.** (1978). "Research on ground anchors in non-cohesive soils" *Revue Française de Géotechnique*, No. 3, 92-97
- Özhan H. O.** (2000). "The Effect of Tendon Bond Length of Prestressed Ground Anchors to the Stability of Anchored Retaining Systems", Yüksek Lisans Tezi No:152502), İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2-4
- Sabatini, P.J., Pass, D.G., Bachus, R.C.** (1999). "Geotechnical Engineering Circular No4: Ground Anchors and Anchored Systems" *US Department of Transportation FHWA*, Publication No: FHWA-IF-99-015, 1-18
- Sapio, G.** (1975). "Comportamento di Tiranti de Ancoraggio in Formazioni de Argille Preconsolidate" *Atti XII Convegno Nazionale de Geotecnica*, Cosenza, Italy, 27-34
- Sherwood, D.E. & Harris, R.R.** (1993). "Regroutable Ground Anchors" *ICE Conference on Retaining Structures Conf.* , London, UK, 448-456
- Shields, D.R., Schnabel, H. & Weatherby, D.E.** (1978). "Load transfer in pressure injected anchors" *Proc. ASCE 104 (GT9)*. 1183-1196
- SIA V191**, (1977). Swiss Standard, Ground Anchors: Definitions, Planning, Design, Materials, Installation, Services and Supplies

- Singh, T.N., Kainthola, A., Venkatesh, A.** (2011). "Correlation Between Point Load Index and Uniaxial Compressive Strength for Different Rock Types" *Springer-Verlag*, 259-264
- Strom, R.W. & Ebeling R.M.** (2001). "State of the practice in the design of tall, stiff, and flexible tieback retaining walls" *Innovations for Navigation Projects Research Program*, Us Army Corps of Engineers-Engineer Research and Development Center, December, 1-4
- TA'95**, (1995). French Norm, Recommendations concernant la conception, le calcul, l'exécution et le controle
- Togrol, E. & Saglam, A.** (1978). "Short term capacity of ground anchors" *Bulletin of the Technical University of Istanbul* , Vol 31, 1-13
- Url-1** <<http://www.foghornpublishing.com>>, alındığı tarih: 10.12.2014
- Url-2** <<http://www.skyscrapercity.com>>, alındığı tarih: 10.12.2014
- Url-3** <<http://www.dot.state.oh.us>>, alındığı tarih: 10.12.2014
- Url-4** <<http://www.bauer.de>>, alındığı tarih: 10.12.2014
- VSL** (2009) Over 50 Years of Excellence, p.9
- VSL INTERNATIONAL LTD** (1992) Soil and Rock Anchors : Examples from Practice, 20-27
- Wroth, C.P.** (1975). Report on Discussion on Papers 18-21, *ICE Conference on Diaphragm Walls and Anchorages*, London, UK, 18-21
- Yamada, K.** (1978). Ground Anchor Market in Japan, *VSL Intra-Co. Symposium*
- Xanthakos P.** (1991). *Ground Anchors and Anchored Structures* John Wiley & Sons, INC. Canada., 1-44

## ÖZGEÇMİŞ

**Ad Soyad:** Anıl HELVACIOĞLU

**Doğum Yeri ve Tarihi:** İstanbul, 21/06/1989

**Adres:** Göztepe Mah. / İstanbul

**E-Posta:** anilhelvacioglu@gmail.com

**Lisans:** İstanbul Teknik Üniversitesi (İnşaat Mühendisliği, 2011)