İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPILARIN GÜÇLENDİRİLMESİNDE KULLANILAN KİMYASAL ANKRAJLARIN EKSENEL ÇEKME ETKİSİ ALTINDAKİ DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Tuba GÜRBÜZ

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2007

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPILARIN GÜÇLENDİRİLMESİNDE KULLANILAN KİMYASAL ANKRAJLARIN EKSENEL ÇEKME ETKİSİ ALTINDAKİ DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği
Programı : Yapı Mühendisliği
(501041112)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07 Mayıs 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 11 Haziran 2007

Tez Danışmanı : **Doç.Dr. Alper İLKİ**
Diğer Jüri Üyeleri **Yard.Doç.Dr. Ercan YÜKSEL (İ.T.Ü.)**
Yard.Doç.Dr. Şevket ÖZDEN (K.O.Ü)

HAZİRAN 2007

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca bana her konuda destek veren, yol gösteren; tez çalışmasının her aşamasında zaman ayırıp değerli önerileriyle yönlendiren, deneysel çalışma ile ilgili deneyimlerini aktaran değerli hocam Sayın Doç. Dr. Alper İLKİ'ye en içten teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmanın zorluklarını birlikte aştığımız, sabrı ve becerisiyle çalışmanın tamamlanmasında büyük emeği olan arkadaşım Yılmaz Kaya'ya, çalışmama fedakarca destek veren sevgili çalışma arkadaşım Cem Demir'e, kendi işinden zaman ayırıp deneylerde bana yardım eden sevgili arkadaşım Emre Büyükkayıkcı'ya, İTÜ Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuarı çalışanlarına, asistan öğrencilerine, artık aramızda olmayan Salih Ustaya, deney düzeneğini tasarım ve yapımında emeği geçen İlker Gelişin'e, malzeme deneylerinin yapımında bana yol gösteren İTÜ Yapı Malzemesi Laboratuarı çalışanlarına, çalışmanın gerçekleşmesi için maddi desteğin oluşturulmasını sağlayan Engin Seyhan'a teşekkürü borç bilirim.

Yüksek lisans tez çalışmamda gerekli olan maddi kaynağın sağlanması amacıyla yürütülen Bilimsel Araştırma Projesini (BAP) destekleyen İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsüne, deneyler esnasında gerekli malzemelerin teşkilini sağlayan Basf Yapı Kimyasalları AŞ ve LaFarge Betona teşekkür ederim.

Yaşamımın her anında yanımdaki en büyük destek olduklarını sürekli hissettiren, aldığım kararla yürüdüğüm yolda anlayış gösteren, canım fedakar anneme ve bu mesleği seçmemdeki en büyük etken olan canım babama bütün kalbimle teşekkür ederim.

Haziran 2007

Tuba GÜRBÜZ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ii
İÇİNDEKİLER iii
TABLO LİSTESİ v
ŞEKİL LİSTESİ ix
SEMBOL LİSTESİ xvii
ÖZET xviii
SUMMARY xix

1. GİRİŞ 1
1.1. Genel 1
1.2. Betona Uygulanan Ankrajlar 5
1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı 7

2. ANKRAJLARIN ÇEKME DAVRANIŞI İLE İLGİLİ YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR 9
2.1. Giriş 9
2.2. Kimyasal Ankrajlar 9
2.3. Kimyasal Ankrajlarda Yük Aktarımı 10
2.4. Kimyasal Ankraj Davranışını Etkileyen Parametreler 11
2.5. Kimyasal Ankrajlarda Çekme Etkisi Altında Oluşan Göçme Tipleri 14
2.6. Kimyasal Ankrajların Göçme Tipine Göre Performansları 17
2.6.1. Ankraj Donatısının Akması 17
2.6.2. Ankraj Donatısının Sıyrılması 18
2.6.3. Ankrajın Beton Konisi ve Sıyrılma ile Göçmesi 19
2.7. Kimyasal Ankrajların Çekme Etkisi Altındaki Davranışını Tanımlayan Modeller 20
2.7.1. Beton Koni Modeli 21
2.7.2. Bağ Modeli 24
2.7.3. Beton Konisi ve Sıyrılma Modeli 31

3. MALZEME ÖZELLİKLERİ 36
3.1. Giriş 36
3.2. Beton 36
3.3. Ankraj Çubukları 45
3.4. Kimyasal Yapıştırıcı 48

4. DENEYSEL PROGRAM 54
4.1. Giriş 54
4.2. Deney Parametreleri 54
4.3. Deney Düzeneği 60
4.4. Ankrajların Üretilmesi 63

4.4.1. Ankraj Donatılarının Hazırlanması 63
4.4.2. Ankraj Deliklerinin Hazırlanması 64
4.4.3. Yüzey Hazırlığı 66
4.4.4. Ankraj Donatılarının Ekimi 67

5. DENEYLER 69
5.1. Tam Bağlı Kimyasal Ankrajlar 69
5.1.1. (0+6)Φ Derinliğinde Tam Bağlı Ankrajlar 70
5.1.2. (0+8)Φ Derinliğinde Tam Bağlı Ankrajlar 73
5.1.3. (0+10)Φ Derinliğinde Tam Bağlı Ankrajlar 76
5.1.4. (0+12)Φ Derinliğinde Tam Bağlı Ankrajlar 79
5.2. Kısmi Bağlı Kimyasal Ankrajlar 82
5.2.1. (6+4)Φ Derinliğinde Kısmi Bağlı Ankrajlar 83
5.2.2. (6+6)Φ Derinliğinde Kısmi Bağlı Ankrajlar 98
5.2.3. (6+8)Φ Derinliğinde Kısmi Bağlı Ankrajlar 105
5.2.4. (6+10)Φ Derinliğinde Kısmi Bağlı Ankrajlar 115
5.3. Kısmi Bağlı Kimyasal Ankraj Referans Deneyleri 118
5.2.1. (6+4)Φ Derinliğinde Kısmi Bağlı Ankraj Referans Deneyleri 119
5.2.2. (6+6)Φ Derinliğinde Kısmi Bağlı Ankraj Referans Deneyleri 134
5.2.3. (6+8)Φ Derinliğinde Kısmi Bağlı Ankraj Referans Deneyleri 141
5.2.4. (6+10)Φ Derinliğinde Kısmi Ankraj Referans Deneyleri 154

6. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ 157
6.1. Ankraj Derinliğinin Eksenel Çekme Davranışına Etkisi 158
6.1.1. Tam Bağlı Ankrajlar 158
6.1.2. Kısmi Bağlı Ankrajlar 160
6.1.3. Referans Deneyleri 162
6.1.4. Tozu Atılmış Numuneler 164
6.1.5. Temizlenmemiş Numuneler 165
6.1.6. Islak Numuneler 166
6.2. Ankraj Delik Yüzey Koşullarının Eksenel Çekme Davranışına Etkisi 167
6.2.1. Delik Yüzey Temizliliğinin Çekme Davranışına Etkisi 168
6.2.2. Delik Yüzey Neminin Çekme Davranışına Etkisi 171
6.3. Ankraj Detayının Çekme Davranışına Etkisi 178
6.3.1. Tam Bağlı Ankrajlar 178
6.3.2. Kısmi Bağlı Ankrajlar 181
6.4. Ankraj Davranışına Ait Deneyler ile Referans Deney Sonuçlarının Karşı 189

7. SONUÇLAR 192

KAYNAKLAR 197

EKLER 199

TABLO LİSTESİ

		Sayfa No
Tablo 1.1	:Yıkıcı Depremler	2
Tablo 3.1	:Üretici Firmadan Alınan Beton Özellikleri	38
Tablo 3.2	:Üretici Firmadan Alınan Beton Karışımı	39
Tablo 3.3	:Taze Beton Çökme Deneyi Sonuçları	39
Tablo 3.4	:Beton Silindir dayanımları	42
Tablo 3.5	:Beton Çekme Dayanımları	44
Tablo 3.6	:Deneysel Verilerin TS 500'e Göre Hesaplanan Değerlerle Karşılaştırılması	44
Tablo 3.7	:Donatı Çekme Deneyleri Test Sonuçları Dayanım Değerleri	47
Tablo 3.8	:Donatı Çekme Deneyleri Test Sonuçları Şekildeğiştirme Değerleri	47
Tablo 3.9	:Concresive 1406 Epoksi Bileşenli Tamir Harcının Teknik Özellikleri	49
Tablo 3.10	:Epoksi Prizma Numuneleri Deney Sonuçları	51
Tablo 4.1	:Deneysel Çalışmadaki Ankraj Numuneleri	59
Tablo 5.1	: (0+6)Φ.C1 numunesine ait veriler	70
Tablo 5.2	: (0+6)Φ.C2 numunesine ait veriler	71
Tablo 5.3	: (0+6)Φ.C3 numunesine ait veriler	72
Tablo 5.4	: (0+8)Φ.C1 numunesine ait veriler	73
Tablo 5.5	: (0+8)Φ.C2 numunesine ait veriler	74
Tablo 5.6	: (0+8)Φ.C3 numunesine ait veriler	75
Tablo 5.7	: (0+10)Φ.C1 numunesine ait veriler	76
Tablo 5.8	: (0+10)Φ.C2 numunesine ait veriler	77

Tablo 5.9 : (0+10)Φ.C3 numunesine ait veriler 78

Tablo 5.10 : (0+12)Φ.C1 numunesine ait veriler 79

Tablo 5.11 : (0+12)Φ.C2 numunesine ait veriler 80

Tablo 5.12 : (0+12)Φ.C3 numunesine ait veriler 81

Tablo 5.13 : (6+4)Φ.C1 numunesine ait veriler 83

Tablo 5.14 : (6+4)Φ.C2 numunesine ait veriler 84

Tablo 5.15 : (6+4)Φ.C3 numunesine ait veriler 85

Tablo 5.16 : (6+4)Φ.D1.1 numunesine ait veriler 86

Tablo 5.17 : (6+4)Φ.D1.2 numunesine ait veriler 87

Tablo 5.18 : (6+4)Φ.D1.3 numunesine ait veriler 88

Tablo 5.19 : (6+4)Φ.D2.1 numunesine ait veriler 89

Tablo 5.20 : (6+4)Φ.D2.2 numunesine ait veriler 90

Tablo 5.21 : (6+4)Φ.D2.3 numunesine ait veriler 91

Tablo 5.22 : (6+4)Φ.H1.1 numunesine ait veriler 92

Tablo 5.23 : (6+4)Φ.H1.2 numunesine ait veriler 93

Tablo 5.24 : (6+4)Φ.H1.3 numunesine ait veriler 94

Tablo 5.25 : (6+4)Φ.H2.1 numunesine ait veriler 95

Tablo 5.26 : (6+4)Φ.H2.2 numunesine ait veriler 96

Tablo 5.27 : (6+4)Φ.H2.3 numunesine ait veriler 97

Tablo 5.28 : (6+6)Φ.C1 numunesine ait veriler 98

Tablo 5.29 : (6+6)Φ.C2 numunesine ait veriler 99

Tablo 5.30 : (6+6)Φ.C3 numunesine ait veriler 100

Tablo 5.31 : (6+6)Φ.C4 numunesine ait veriler 101

Tablo 5.32 : (6+6)Φ.H2.1 numunesine ait veriler 102

Tablo 5.33 : (6+6)Φ.H2.2 numunesine ait veriler 103

Tablo 5.34 : (6+6)Φ.H2.3 numunesine ait veriler 104

Tablo 5.35 : (6+8)Φ.C1 numunesine ait veriler 105

Tablo 5.36 : (6+8)Φ.C2 numunesine ait veriler 106

Tablo 5.37 : (6+8)Φ.C3 numunesine ait veriler 107

Tablo 5.38 : (6+8)Φ.C4 numunesine ait veriler..... 108

Tablo 5.39 : (6+8)Φ.D1.1 numunesine ait veriler 109

Tablo 5.40 : (6+8)Φ.D1.2 numunesine ait veriler 110

Tablo 5.41 : (6+8)Φ.D1.3 numunesine ait veriler 111

Tablo 5.42 : (6+8)Φ.D2.1 numunesine ait veriler 112

Tablo 5.43 : (6+8)Φ.D2.2 numunesine ait veriler 113

Tablo 5.44 : (6+8)Φ.D2.3 numunesine ait veriler 114

Tablo 5.45 : (6+10)Φ.C1 numunesine ait veriler 115

Tablo 5.46 : (6+10)Φ.C2 numunesine ait veriler 116

Tablo 5.47 : (6+10)Φ.C3 numunesine ait veriler 117

Tablo 5.48 : (6+4)Φ.C.ref1 numunesine ait veriler 119

Tablo 5.49 : (6+4)Φ.C.ref2 numunesine ait veriler 120

Tablo 5.50 : (6+4)Φ.C.ref3 numunesine ait veriler 121

Tablo 5.51 : (6+4)Φ.C.ref4 numunesine ait veriler 122

Tablo 5.52 : (6+4)Φ.D1.ref1 numunesine ait veriler 123

Tablo 5.53 : (6+4)Φ.D1.ref2 numunesine ait veriler 124

Tablo 5.54 : (6+4)Φ.D1.ref3 numunesine ait veriler 125

Tablo 5.55 : (6+4)Φ.D2.ref1 numunesine ait veriler 126

Tablo 5.56 : (6+4)Φ.D2.ref2 numunesine ait veriler 127

Tablo 5.57 : (6+4)Φ.D2.ref3 numunesine ait veriler 128

Tablo 5.58 : (6+4)Φ.H1.ref1 numunesine ait veriler 129

Tablo 5.59 : (6+4)Φ.H1.ref2 numunesine ait veriler 130

Tablo 5.60 : (6+4)Φ.H1.ref3 numunesine ait veriler 131

Tablo 5.61 : (6+4)Φ.H2.ref1 numunesine ait veriler 132

Tablo 5.62 : (6+4)Φ.H2.ref2 numunesine ait veriler 133

Tablo 5.63 : (6+6)Φ.C.ref1 numunesine ait veriler 134

Tablo 5.64 : (6+6)Φ.C.ref2 numunesine ait veriler 135

Tablo 5.65 : (6+6)Φ.C.ref3 numunesine ait veriler 136

Tablo 5.66 : (6+6)Φ.C.ref4 numunesine ait veriler 137

Tablo 5.67 : (6+6)Φ.H2.ref1 numunesine ait veriler 138

Tablo 5.68 : (6+6)Φ.H2.ref2 numunesine ait veriler 139

Tablo 5.69 : (6+6)Φ.H2.ref3 numunesine ait veriler 140

Tablo 5.70 : (6+8)Φ.C.ref1 numunesine ait veriler 141

Tablo 5.71 : (6+8)Φ.C.ref2 numunesine ait veriler 142

Tablo 5.72 : (6+8)Φ.C.ref3 numunesine ait veriler 143

Tablo 5.73 : (6+8)Φ.C.ref4 numunesine ait veriler 144

Tablo 5.74 : (6+8)Φ.D1.ref1 numunesine ait veriler 145

Tablo 5.75 : (6+8)Φ.D1.ref2 numunesine ait veriler 146

Tablo 5.76 : (6+8)Φ.D1.ref3 numunesine ait veriler 147

Tablo 5.77 : (6+8)Φ.D2.ref1 numunesine ait veriler 148

Tablo 5.78 : (6+8)Φ.D2.ref2 numunesine ait veriler 149

Tablo 5.79 : (6+8)Φ.D2.ref3 numunesine ait veriler 150

Tablo 5.80 : (6+8)Φ.H1.ref1 numunesine ait veriler 151

Tablo 5.81 : (6+8)Φ.H1.ref2 numunesine ait veriler 152

Tablo 5.82 : (6+8)Φ.H1.ref3 numunesine ait veriler 153

Tablo 5.83 : (6+10)Φ.C.ref1 numunesine ait veriler 154

Tablo 5.84 : (6+10)Φ.C.ref2 numunesine ait veriler 155

Tablo 5.85 : (6+10)Φ.C.ref3 numunesine ait veriler 156

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1 : Dünya depremselliği..... 1
Şekil 1.2 : Kolon manto fotoğrafları 3
Şekil 1.3 : Kolon mantosunda kullanılan ankrajlar 4
Şekil 1.4 : Güçlendirme esnasında yeni perde eklenmesi 4
Şekil 1.5 : Betona yapılan ankraj tipleri 5
Şekil 1.6 : Taze betona yapılan ankrajlar 5
Şekil 1.7 : Bağ tipi ankrajlar 6
Şekil 1.8 : Ankrajlarda oluşan farklı yüklemeler 7
Şekil 2.1 : Kimyasal ankraj bileşenleri 9
Şekil 2.2 : Ankraj derinliği boyunca oluşan gerilmeler 11
Şekil 2.3 : Kısmi bağlı ankraj detayı 15
Şekil 2.4 : Ankraj göçme tipleri 16
Şekil 2.5 : Betonun yarılması 17
Şekil 2.6 : Donatısının akma kapasitesine ulaştığında yük-yerdeğiştirme ilişkisi 18
Şekil 2.7 : Sıyrılma ile göçen ankrajın yük-yerdeğiştirme ilişkisi..... 19
Şekil 2.8 : Ankraj derinliği boyunca oluşan gerilmeler..... 19
Şekil 2.9 : Beton konisi ve sıyrılma ile göçen ankrajın yük-yerdeğiştirme ilişkisi..... 20
Şekil 2.10 : Yan yana ekilen ankrajların konilerinin çakışması.....21
Şekil 2.11 : Çoklu Ankraj Sistemlerinde Beton Konilerinin Üst Üste Düşüşü..22
Şekil 2.12 : Çiftli Ankraj Kapasitelerinin Ankraj Arası Mesafe ile Değişimi.. 23
Şekil 2.13 : Koni modeli (ACI 349, AppendixB) 24
Şekil 2.14 : Koni modeli (CCD) 25
Şekil 2.15 : Koni kesiti (CCD) 25
Şekil 2.16 : Düzgün yayılı bağ modeli 26
Şekil 2.17 : Kuvvet - mesafe ilişkisinden şekildeğiştirme işinin hesabı..... 27
Şekil 2.18 : Bir eksenli gerilme ile zorlanmış dikdörtgen plak 28
Şekil 2.19 : Elastik teoride ankraj modeli 28
Şekil 2.20 : Kimyasalın kayma rijitliği 29
Şekil 2.21 : Kısmi bağlı ankrajlarda bağ gerilmesi 31
Şekil 2.22 : Koni ve sıyrılma mekanizmasının anlaşılması için ölçüm alınan 32
Şekil 2.23 : Yük-yerdeğiştirme grafiği 32
Şekil 2.24 : Koni ile sıyrılma birlikte oluşması 33
Şekil 2.25 : Bağ modelleri 34
Şekil 2.26 : Ankraj tasarım önerileri 35
Şekil 3.1 : Beton kalıpları 37
Şekil 3.2 : Bantlı mikser ile beton dökümü 37
Şekil 3.3 : Betonun kalıplara yerleştirilmesi 37
Şekil 3.4 : Vibratör uygulaması 38

Şekil 3.5 : Beton plakların yüzey düzeltmesi 38
Şekil 3.6 : Betona kür uygulanması 38
Şekil 3.7 : Çökme deneyleri 39
Şekil 3.8 : Standart silindir deneyleri 40
Şekil 3.9 : 28 günlük betonun standart silindir basınç deneyi sonuçları 40
Şekil 3.10 : 90 günlük betonun standart silindir basınç deneyi sonuçları 41
Şekil 3.11 : 180 günlük betonun standart silindir basınç deneyi sonuçları 41
Şekil 3.12 : Beton basinç dayaniminin zamana göre değişimi 42
Şekil 3.13 : Yarma deneyleri 43
Şekil 3.14 : Eksenel çelik çekme deneyi 45
Şekil 3.15 : Donati çekme deneylerine ait gerilme – şekildeğiştirme grafikleri 46
Şekil 3.16 : Uygulanan epoksi bazlı kimyasal yapıştırıcı 48
Şekil 3.17 : Kimyasal yapıştırıcının mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan numuneler 50
Şekil 3.18 : Epoksi numunesi eğilme deneyi 50
Şekil 3.19 : Epoksi numunesi basınç deneyi 50
Şekil 3.20 : Epoksi numunelerinin ortalama dayanımları 52
Şekil 3.21 : Epoksi numunelerinin kür süresünde ortalama ortam sıcaklığı ... 52
Şekil 3.22 : Epoksi numunelerinin kür süresinde ortalama ortam nemi 53
Şekil 4.1 : Tam bağlı ve kısmi bağlı ankraj detayı 56
Şekil 4.2 : Numunelerin sistematik olarak adlandırılması 58
Şekil 4.3 : Referans deneylerinde kullanılan düzenek 60
Şekil 4.4 : ASTM E488'de verilen eksenek çekme deney düzeneği 61
Şekil 4.5 : Deney düzeneği 61
Şekil 4.6 : Deney düzeneğinin üç boyutlu görünümü 62
Şekil 4.7 : Deney yükleme ve ölçüm sistemi 63
Şekil 4.8 : Hazırlanmış kısmi bağlı ankraj donatıları 64
Şekil 4.9 : Beton bloklar üzerine ankraj yerlerinin işaretlenmesi 64
Şekil 4.10 : Deliklerin beton yüzeyine dik hazırlanması 65
Şekil 4.11 : Ankraj deliklerinin boyunun ayarlanması 65
Şekil 4.12 : Ankraj deliklerinin hazırlanması 66
Şekil 4.13 : Delik yüzey temizliğinin yapılması 67
Şekil 4.14 : Ankraj donatısının deliğe yerleştirilmesi 68
Şekil 5.1 : (0+6)Φ.C1 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 70
Şekil 5.2 : (0+6)Φ.C1 numunesine ait fotoğraflar 70
Şekil 5.3 : (0+6)Φ.C2 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 71
Şekil 5.4 : (0+6)Φ.C2 numunesine ait fotoğraflar 71
Şekil 5.5 : (0+6)Φ.C3 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 72
Şekil 5.6 : (0+8)Φ.C3 numunesine ait fotoğraflar 72
Şekil 5.7 : (0+8)Φ.C1 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 73
Şekil 5.8 : (0+8)Φ.C1 numunesine ait fotoğraflar 73
Şekil 5.9 : (0+8)Φ.C2 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 74
Şekil 5.10 : (0+8)Φ.C2 numunesine ait fotoğraflar 74
Şekil 5.11 : (0+8)Φ.C3 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 75
Şekil 5.12 : (0+8)Φ.C3 numunesine ait fotoğraflar 75
Şekil 5.13 : (0+10)Φ.C1 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 76
Şekil 5.14 : (0+10)Φ.C1 numunesine ait fotoğraflar 76
Şekil 5.15 : (0+10)Φ.C2 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 77
Şekil 5.16 : (0+10)Φ.C2 numunesine ait fotoğraflar 77

Şekil 5.17 : (0+10)Φ.C3 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 78
Şekil 5.18 : (0+10)Φ.C3 numunesine ait fotoğraflar 78
Şekil 5.19 : (0+12)Φ.C1 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 79
Şekil 5.20 : (0+12)Φ.C1 numunesine ait fotoğraflar 79
Şekil 5.21 : (0+12)Φ.C2 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 80
Şekil 5.22 : (0+12)Φ.C2 numunesine ait fotoğraflar 80
Şekil 5.23 : (0+12)Φ.C3 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 81
Şekil 5.24 : (0+12)Φ.C3 numunesine ait fotoğraflar 81
Şekil 5.25 : (6+4)Φ.C1 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 83
Şekil 5.26 : (6+4)Φ.C1 numunesine ait fotoğraflar 83
Şekil 5.27 : (6+4)Φ.C2 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 84
Şekil 5.28 : (6+4)Φ.C2 numunesine ait fotoğraflar 84
Şekil 5.29 : (6+4)Φ.C3 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 85
Şekil 5.30 : (6+4)Φ.C3 numunesine ait fotoğraflar 85
Şekil 5.31 : (6+4)Φ.D1.1 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 86
Şekil 5.32 : (6+4)Φ.D1.1 numunesine ait fotoğraflar 86
Şekil 5.33 : (6+4)Φ.D1.2 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 87
Şekil 5.34 : (6+4)Φ.D1.2 numunesine ait fotoğraflar 87
Şekil 5.35 : (6+4)Φ.D1.3 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 88
Şekil 5.36 : (6+4)Φ.D1.3 numunesine ait fotoğraflar 88
Şekil 5.37 : (6+4)Φ.D2.1 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 89
Şekil 5.38 : (6+4)Φ.D2.1 numunesine ait fotoğraflar 89
Şekil 5.39 : (6+4)Φ.D2.2 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 90
Şekil 5.40 : (6+4)Φ.D2.2 numunesine ait fotoğraflar 90
Şekil 5.41 : (6+4)Φ.D2.3 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 91
Şekil 5.42 : (6+4)Φ.D2.3 numunesine ait fotoğraflar 91
Şekil 5.43 : (6+4)Φ.H1.1 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 92
Şekil 5.44 : (6+4)Φ.H1.1 numunesine ait fotoğraflar 92
Şekil 5.45 : (6+4)Φ.H1.2 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 93
Şekil 5.46 : (6+4)Φ.H1.2 numunesine ait fotoğraflar 93
Şekil 5.47 : (6+4)Φ.H1.3 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 94
Şekil 5.48 : (6+4)Φ.H1.3 numunesine ait fotoğraflar 94
Şekil 5.49 : (6+4)Φ.H2.1 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 95
Şekil 5.50 : (6+4)Φ.H2.1 numunesine ait fotoğraflar 95
Şekil 5.51 : (6+4)Φ.H2.2 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 96
Şekil 5.52 : (6+4)Φ.H2.2 numunesine ait fotoğraflar 96
Şekil 5.53 : (6+4)Φ.H2.3 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 97
Şekil 5.54 : (6+4)Φ.H2.3 numunesine ait fotoğraflar 97
Şekil 5.55 : (6+6)Φ.C1 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 98
Şekil 5.56 : (6+6)Φ.C1 numunesine ait fotoğraflar 98
Şekil 5.57 : (6+6)Φ.C2 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 99
Şekil 5.58 : (6+6)Φ.C2 numunesine ait fotoğraflar 99
Şekil 5.59 : (6+6)Φ.C3 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 100
Şekil 5.60 : (6+6)Φ.C3 numunesine ait fotoğraflar 100
Şekil 5.61 : (6+6)Φ.C4 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 101
Şekil 5.62 : (6+6)Φ.C4 numunesine ait fotoğraflar 101
Şekil 5.63 : (6+6)Φ.H2.1 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 102
Şekil 5.64 : (6+6)Φ.H2.1 numunesine ait fotoğraflar 102
Şekil 5.65 : (6+6)Φ.H2.2 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 103
Şekil 5.66 : (6+6)Φ.H2.2 numunesine ait fotoğraflar 103

Şekil 5.67 : (6+6)Φ.H2.3 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 104
Şekil 5.68 : (6+6)Φ.H2.3 numunesine ait fotoğraflar 104
Şekil 5.69 : (6+8)Φ.C1 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 105
Şekil 5.70 : (6+8)Φ.C1 numunesine ait fotoğraflar 105
Şekil 5.71 : (6+8)Φ.C2 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 106
Şekil 5.72 : (6+8)Φ.C2 numunesine ait fotoğraflar 106
Şekil 5.73 : (6+8)Φ.C3 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 107
Şekil 5.74 : (6+8)Φ.C3 numunesine ait fotoğraflar 107
Şekil 5.75 : (6+8)Φ.C4 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 108
Şekil 5.76 : (6+8)Φ.C4 numunesine ait fotoğraflar 108
Şekil 5.77 : (6+8)Φ.D1.1 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 109
Şekil 5.78 : (6+8)Φ.D1.1 numunesine ait fotoğraflar 109
Şekil 5.79 : (6+8)Φ.D1.2 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 110
Şekil 5.80 : (6+8)Φ.D1.3 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 111
Şekil 5.81 : (6+8)Φ.D1.3 numunesine ait fotoğraflar 111
Şekil 5.82 : (6+8)Φ.D2.1 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 112
Şekil 5.83 : (6+8)Φ.D2.1 numunesine ait fotoğraflar 112
Şekil 5.84 : (6+8)Φ.D2.2 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 113
Şekil 5.85 : (6+8)Φ.D2.2 numunesine ait fotoğraflar 113
Şekil 5.86 : (6+8)Φ.D2.3 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 114
Şekil 5.87 : (6+8)Φ.D2.3 numunesine ait fotoğraflar 114
Şekil 5.88 : (6+10)Φ.C1 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 115
Şekil 5.89 : (6+10)Φ.C1 numunesine ait fotoğraflar 115
Şekil 5.90 : (6+10)Φ.C2 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 116
Şekil 5.91 : (6+10)Φ.C2 numunesine ait fotoğraflar 116
Şekil 5.92 : (6+10)Φ.C3 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 117
Şekil 5.93 : (6+10)Φ.C3 numunesine ait fotoğraflar 117
Şekil 5.94 : (6+4)Φ.C.ref1 numunesine ait fotoğraflar 119
Şekil 5.95 : (6+4)Φ.C.ref1 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 119
Şekil 5.96 : (6+4)Φ.C.ref2 numunesine ait fotoğraflar 120
Şekil 5.97 : (6+4)Φ.C.ref2 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 120
Şekil 5.98 : (6+4)Φ.C.ref3 numunesine ait fotoğraflar 121
Şekil 5.99 : (6+4)Φ.C.ref3 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 121
Şekil 5.100: (6+4)Φ.C.ref4 numunesine ait fotoğraflar 122
Şekil 5.101: (6+4)Φ.C.ref4 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 122
Şekil 5.102: (6+4)Φ.D1.ref1 numunesine ait fotoğraflar 123
Şekil 5.103: (6+4)Φ.D1.ref1 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 123
Şekil 5.104: (6+4)Φ.D1.ref2 numunesine ait fotoğraflar 124
Şekil 5.105: (6+4)Φ.D1.ref2 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 124
Şekil 5.106: (6+4)Φ.D1.ref3 numunesine ait fotoğraflar 125
Şekil 5.107: (6+4)Φ.D1.ref3 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 125
Şekil 5.108: (6+4)Φ.D2.ref1 numunesine ait fotoğraflar 126
Şekil 5.109: (6+4)Φ.D2.ref1 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 126
Şekil 5.110: (6+4)Φ.D2.ref2 numunesine ait fotoğraflar 127
Şekil 5.111: (6+4)Φ.D2.ref2 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiğ..... 127
Şekil 5.112: (6+4)Φ.D2.ref3 numunesine ait fotoğraflar 128
Şekil 5.113: (6+4)Φ.D2.ref3 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 128
Şekil 5.114: (6+4)Φ.H1.ref1 numunesine ait fotoğraflar 129
Şekil 5.115: (6+4)Φ.H1.ref1 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 129
Şekil 5.116: (6+4)Φ.H1.ref2 numunesine ait fotoğraflar 130

Şekil 5.117: (6+4)Φ.H1.ref2 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 130
Şekil 5.118: (6+4)Φ.H1.ref3 numunesine ait fotoğraflar 131
Şekil 5.119: (6+4)Φ.H1.ref3 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 131
Şekil 5.120: (6+4)Φ.H2.ref1 numunesine ait fotoğraflar 132
Şekil 5.121: (6+4)Φ.H2.ref1 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 132
Şekil 5.122: (6+4)Φ.H2.ref2 numunesine ait fotoğraflar 133
Şekil 5.123: (6+4)Φ.H2.ref2 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 133
Şekil 5.124: (6+6)Φ.C.ref1 numunesine ait fotoğraflar 134
Şekil 5.125: (6+6)Φ.C.ref1 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 134
Şekil 5.126: (6+6)Φ.C.ref2 numunesine ait fotoğraflar 135
Şekil 5.127: (6+6)Φ.C.ref3 numunesine ait fotoğraflar 136
Şekil 5.128: (6+6)Φ.C.ref3 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 136
Şekil 5.129: (6+6)Φ.C.ref4 numunesine ait fotoğraflar 137
Şekil 5.130: (6+6)Φ.C.ref4 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 137
Şekil 5.131: (6+6)Φ.H2.ref1 numunesine ait fotoğraflar 138
Şekil 5.132: (6+6)Φ.H2.ref1 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 138
Şekil 5.133: (6+6)Φ.H2.ref2 numunesine ait fotoğraflar 139
Şekil 5.134: (6+6)Φ.H2.ref2 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 139
Şekil 5.135: (6+6)Φ.H2.ref3 numunesine ait fotoğraflar 140
Şekil 5.136: (6+6)Φ.H2.ref3 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 141
Şekil 5.137: (6+8)Φ.C.ref1 numunesine ait fotoğraflar 141
Şekil 5.138: (6+8)Φ.C.ref2 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 142
Şekil 5.139: (6+8)Φ.C.ref2 numunesine ait fotoğraflar 142
Şekil 5.140: (6+8)Φ.C.ref3 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 143
Şekil 5.141: (6+8)Φ.C.ref3 numunesine ait fotoğraflar 143
Şekil 5.142: (6+8)Φ.C.ref4 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 144
Şekil 5.143: (6+8)Φ.C.ref4 numunesine ait fotoğraflar 144
Şekil 5.144: (6+8)Φ.D1.ref1 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 145
Şekil 5.145: (6+8)Φ.D1.ref1 numunesine ait fotoğraflar 145
Şekil 5.146: (6+8)Φ.D1.ref2 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 146
Şekil 5.147: (6+8)Φ.D1.ref2 numunesine ait fotoğraflar 146
Şekil 5.148: (6+8)Φ.D1.ref3 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 147
Şekil 5.149: (6+8)Φ.D1.ref3 numunesine ait fotoğraflar 147
Şekil 5.150: (6+8)Φ.D2.ref1 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 148
Şekil 5.151: (6+8)Φ.D2.ref1 numunesine ait fotoğraflar 148
Şekil 5.152: (6+8)Φ.D2.ref2 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 149
Şekil 5.153: (6+8)Φ.D2.ref2 numunesine ait fotoğraflar 149
Şekil 5.154: (6+8)Φ.D2.ref3 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 150
Şekil 5.155: (6+8)Φ.D2.ref3 numunesine ait fotoğraflar 150
Şekil 5.156: (6+8)Φ.H1.ref1 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 151
Şekil 5.157: (6+8)Φ.H1.ref1 numunesine ait fotoğraflar 151
Şekil 5.158: (6+8)Φ.H1.ref2 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 152
Şekil 5.159: (6+8)Φ.H1.ref2 numunesine ait fotoğraflar 152
Şekil 5.160: (6+8)Φ.H1.ref3 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 153
Şekil 5.161: (6+8)Φ.H1.ref3 numunesine ait fotoğraflar 154
Şekil 5.162: (6+10)Φ.C.ref1 numunesine ait fotoğraflar 154
Şekil 5.163: (6+10)Φ.C.ref2 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 155
Şekil 5.164: (6+10)Φ.C.ref2 numunesine ait fotoğraflar 155
Şekil 5.165: (6+10)Φ.C.ref3 numunesine ait yük – yerdeğiştirme grafiği 156
Şekil 5.166: (6+10)Φ.C.ref3 numunesine ait fotoğraflar 156

Şekil 6.1 : (6+4)D1.ref Numunelerine ait Yük-Yerdeğiştirme İlişkisi..... 157
Şekil 6.2 : (6+4)D2.ref Numunelerine ait Yük-Yerdeğiştirme İlişkisi..... 158
Şekil 6.3 : Farklı Derinlikte Tam Bağlı Ankrajların Yük –Yerdeğiştirme İlişkisi..... 159
Şekil 6.4 : Farklı Derinliklerde Tam Bağlı Ankrajlarda Göçme Yükünün Değişimi..... 159
Şekil 6.5 : Farklı Derinliklerde Tam Bağlı Ankrajlarda Yapışma Dayanımının Değişimi..... 160
Şekil 6.6 : Farklı Derinlikte Kısmi Bağlı Ankrajların Yük –Yerdeğiştirme Eğrisi.... 160
Şekil 6.7 : Farklı derinliklerde Kısmi Bağlı Ankrajlarda Göçme Yükünün Değişimi..... 161
Şekil 6.8 : Temiz Yüzeylerde Farklı Derinliklerde Uygulanan Kısmi Bağlı Ankrajlarda Yapışma Dayanımının Değişimi..... 162
Şekil 6.9 : Temiz Yüzeylerde Farklı derinliklerde Kısmi Bağlı Ankrajların Referans Göçme Yükleri..... 162
Şekil 6.10 : Temiz Yüzeylerde Farklı Derinliklerde Kısmi Bağlı Ankrajların Referans Yapışma Dayanımları..... 163
Şekil 6.11 : Farklı Derinliklerde Kısmi Bağlı Ankrajların Referans Yapışma Dayanımları ile Gerçek Yapışma Dayanımlarının Karşılaştırılma 164
Şekil 6.12 : Tozu Atılmış Yüzeylerde Kısmı Bağlı Ankrajların Göçme Yüklerinin Ankraj Derinliği ile Değişimi.....165
Şekil 6.13 : Tozu Atılmış Yüzeylerde Kısmı Bağlı Ankrajların Ortalama Yapışma Dayanımlarının Ankraj Derinliği ile Değişimi.....165
Şekil 6.14 : Temizlenmemiş Yüzeylerde Kısmı Bağlı Ankrajların Göçme Yüklerinin Ankraj Derinliği ile Değişimi..... 166
Şekil 6.15 : Temizlenmemiş Yüzeylerde Kısmı Bağlı Ankrajların Ortalama Yapışma Dayanımlarının Ankraj Derinliği ile Değişimi.....166
Şekil 6.16 : Islak Yüzeylerde Kısmı Bağlı Ankrajların Göçme Yüklerinin Ankraj Derinliği ile Değişimi.....167
Şekil 6.17 : Islak Yüzeylerde Kısmı Bağlı Ankrajların Yapışma Dayanımının Ankraj Derinliği ile Değişimi.....167
Şekil 6.18 : (6+4)Φ Derinliğinde, Farklı Yüzey Temizliği Etkisinde Kısmı Bağlı Ankrajların Yük-Yerdeğiştirme İlişkisi.....168
Şekil 6.19 : (6+4)Φ Derinliğinde Kısmı Bağlı Ankrajların Göçme Yükünün Farklı Yüzey Temizliği Etkisiyle Değişimi.....169
Şekil 6.20 : (6+4)Φ Derinliğinde Kısmı Bağlı Ankrajların Yapışma Dayanımının Farklı Yüzey Temizliği Etkisiyle Değişimi.....169
Şekil 6.21 : (6+8)Φ Derinliğinde Kısmı Bağlı Ankrajların Farklı Yüzey Temizliği Etkisinde Yük- Yerdeğiştirme İlişkisi..... 170
Şekil 6.22 : (6+8)Φ Derinliğinde Kısmı Bağlı Ankrajların Göçme Yükünün Farklı Yüzey Temizliği Etkisiyle Değişimi..... 171
Şekil 6.23 : (6+8)Φ Derinliğinde Kısmı Bağlı Ankrajların Yapışma Dayanımının Farklı Yüzey Temizliği Etkisiyle Değişimi..... 171
Şekil 6.24 : (6+4)Φ Derinliğinde, Temiz, Nemli, Islak Yüzey Koşulları Etkisindeki Kısmı Bağlı Ankrajların Yük-Yerdeğiştirme İlişkisi...172
Şekil 6.25 : (6+4)Φ Derinliğinde Temiz, Nemli, Islak Yüzey Koşulları Etkisindeki Kısmı Bağlı Ankrajların Göçme Yükünün Değişimi...172
Şekil 6.26 : (6+4)Φ Derinliğinde Temiz, Nemli, Islak Yüzey Koşulları Etkisindeki Kısmı Bağlı Ankrajların Yapışma Dayanımının.....

Değişimi..... 173
Şekil 6.27 : (6+6)Φ Derinliğinde, Temiz, Islak Yüzey Koşulları Etkisindeki Kısmı Bağlı Ankrajların Yük-Yerdeğiştirme İlişkisi.....173
Şekil 6.28 : (6+6)Φ Derinliğinde Temiz, Islak Yüzey Koşulları Etkisindeki Kısmı Bağlı Ankrajların Göçme Yükünün Değişimi..... 174
Şekil 6.29 : (6+6)Φ Derinliğinde Temiz, Islak Yüzey Koşulları Etkisindeki Kısmı Bağlı Ankrajların Yapışma Dayanımının Değişimi..... 174
Şekil 6.30 : (6+4)Φ Derinliğinde Temiz, Nemli, Islak Yüzey Koşulları Etkisindeki Kısmı Bağlı Ankrajların Referans Göçme Yükünün Değişimi..... 175
Şekil 6.31 : (6+4)Φ Derinliğinde Temiz, Nemli, Islak Yüzey Koşulları Etkisindeki Kısmı Bağlı Ankrajların Referans Yapışma Dayanımının Değişimi..... 175
Şekil 6.32 : (6+6)Φ Derinliğinde Temiz, Islak Yüzey Koşulları Etkisindeki Kısmi Bağlı Ankrajların Referans Göçme Yükünün Değişimi.... 176
Şekil 6.33 : (6+6)Φ Derinliğinde Temiz, Islak Yüzey Koşulları Etkisindeki Kısmi Bağlı Ankrajların Referans Yapışma Dayanımının Değişimi.... 176
Şekil 6.34 : (6+6)Φ Derinliğinde Kısmı Bağlı Ankrajların Referans Göçme Yükünün Yüzey Koşulları ile Değişimi..... 177
Şekil 6.35 : (6+6)Φ Derinliğinde Kısmı Bağlı Ankrajların Referans Yapışma Dayanımının Yüzey Koşulları ile Değişimi..... 177
Şekil 6.36 : Kısmı Bağlı Ankrajların Ortalama Göçme Yükünün Ankraj Derinliği ve Yüzey Koşulları ile Değişimi.....178
Şekil 6.37 : Tam Bağlı Ankrajların Yük Yerdeğiştirme Eğrisi..... 179
Şekil 6.38 : Tam Bağlı Ankrajların Farklı Derinliklerdeki Ortalama Göçme Yükleri..... 179
Şekil 6.39 : Tam Bağlı Ankrajlarda Oluşan Beton Konileri..... 180
Şekil 6.40 : Tam Bağlı Ankrajların Yük-Yerdeğiştirme İlişkileri..... 180
Şekil 6.41 : Kısmi Bağlı Ankrajlarda Sıyrılma ile Göçme 182
Şekil 6.42 : Kısmi Bağlı Ankrajlarda Tipik Yük-Yerdeğiştirme İlişkisi..... 182
Şekil 6.43 : Farklı Derinliklerde Kısmi Bağlı Ankrajlarda Göçme Yükünün Değişimi 183
Şekil 6.44 : (6+10)Φ Derinliğindeki Ankrajların Yük-Yerdeğiştirme İlişkiler 183
Şekil 6.45 : 10Φ Bağlı Derinlikte Kısmi ve Tam Bağlı Ankrajların Yük – Yerdeğiştirme Eğrisi..... 184
Şekil 6.46 : 10Φ Bağlı Derinlikte Kısmi ve Tam Bağlı Ankrajların Göçme Yükleri..... 185
Şekil 6.47 : 8Φ Bağlı Derinlikte Kısmi ve Tam Bağlı Ankrajların Yük – Yerdeğiştirme Eğrisi..... 185
Şekil 6.48 : 8Φ Bağlı Derinlikte Kısmi ve Tam Bağlı Ankrajların Göçme Yükleri..... 186
Şekil 6.49 : 6Φ Bağlı Derinlikte Kısmi Bağlı Ankraj ile 6Φ ve 12Φ Derinlikte Tam Bağlı Ankrajların Yük – Yerdeğiştirme Eğrileri 186
Şekil 6.50 : 6Φ Bağlı Derinlikte Kısmi Bağlı Ankraj ile 6Φ ve 12Φ Derinlikte Tam Bağlı Ankrajların Göçme Yükleri 187
Şekil 6.51 : 4Φ Bağlı Derinlikte Kısmi Bağlı Ankraj ile 6Φ ve 10Φ Derinlikte Tam Bağlı Ankrajların Yük – Yerdeğiştirme Eğrileri 188
Şekil 6.52 : 4Φ Bağlı Derinlikte Kısmi Bağlı Ankraj ile 6Φ ve 10Φ Derinlikte Tam Bağlı Ankrajların Göçme Yükleri 188

Şekil 6.53 : Tam ve Kısmi Bağlı Ankrajların Göçme Yüklerinin Derinliğe Göre Değişimi 189
Şekil 6.54 : (6+6)Φ Kısmi Bağlı Ankrajın Davranışına Ait Deney ile Referans Deneyi Yük - Yerdeğiştirme Grafiği 190
Şekil 6.55 : Davranış Deneyleri ile Referans Deneylerinin Göçme Yüklerinir Karşılaştırılması 190
Şekil 6.56 : Davranış Deneyleri ile Referans Deneylerinin Yapışma Dayanımlarının Karşılaştırılması 191

SEMBOL LİSTESİ

Pu : Ankraj Çekme Dayanımı
As : Ankraj Donatısı Kesit Alanı
Ac : Beton Konisi Yüzey Alanı
$\mathbf{f_c}$: Beton Standart Silindir Basınç Dayanımı
$\mathbf{f_{cc}}$: Beton Küp Basınç Dayanımı
$\mathbf{f_{ct}}$: Beton Çekme Dayanımı
$\mathbf{f_{ctm}}$: Deneylerden Elde Edilen Ortalama Beton Çekme Dayanımı
$\mathbf{f_{sy}}$: Ankraj Donatısı Çekme Dayanımı
$\mathbf{f_{su}}$: Ankraj Donatısı Kopma Dayanımı
$\mathbf{h_{ef}}$, **l** : Etkili Ankraj Derinliği
$\mathbf{h_k}$: Koni Yüksekliği
$\mathbf{h_b}$, $\mathbf{l_b}$: Ankraj Bağlı Derinliği
d : Ankraj Donatısı Çapı
$\mathbf{d_u}$: Ankraj Delik Çapı
D : Standart Silindir Çapı
a : Ankrajlar Arası Mesafe
$\mathbf{a_{krit}}$: Ankrajlar Arası Kritik Mesafe
k : Plağı etkileyen bileşke yayılı yük
$\boldsymbol{\tau_o}$: Düzgün Yayılı Bağ Gerilmesi (Yapışma Dayanımı)
$\boldsymbol{\tau_{maks}}$: Maksimum Bağ Gerilmesi (Yapışma Dayanımı)
$\mathbf{U_i}$: İç Kuvvet İşi
$\mathbf{U_d}$: Dış Kuvvet İşi
s : **Y**erdeğiştirme
$\boldsymbol{\sigma}$: Normal Gerilme
$\boldsymbol{\varepsilon_{sy}}$: Ankraj Akma Şekildeğiştirmesi
$\boldsymbol{\varepsilon_{maks}}$: Ankraj Pekleşme Şekildeğiştirmesi
$\boldsymbol{\varepsilon_{su}}$: Ankraj Kopma Şekildeğiştirmesi
$\boldsymbol{\varepsilon}$: Ankraj Şekildeğiştirmesi
$_{w}$: Ankraj Eksenel Yerdeğiştirmesi
$_{k}$: Epoksi Kayma Rijitliği
$_{\lambda}$: Elastik Sabit
$\boldsymbol{\gamma}$: Kayma Açısı
G : Kayma Modülü
$\mathbf{E_s}$: Ankraj Donatısı Elastisite Modülü
$\mathbf{E_c}$: Beton Elastisite Modülü
t : Kimyasal Yapıştırıcı Kalınlığı
$\boldsymbol{\Pi_{tr}}$: Ankraj Çubuğunun Şekildeğiştirme Enerjisi
$\boldsymbol{\Pi_a}$: Epoksi Şekildeğiştirme Enerjisi
$\boldsymbol{\Pi_e}$: Dış Kuvvet İşi
$\boldsymbol{\Pi_t}$: Toplam Enerji

YAPILARIN GÜÇLENDİRİLMESİNDE KULLANILAN KİMYASAL ANKRAJLARIN EKSENEL ÇEKME ETKİSİ ALTINDAKİ DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

ÖZET

Ülkemizde mevcut betonarme yapılar incelendiğinde önemli bir bölümümün 2007 Deprem Yönetmeliğinin öngördüğü deprem güvenliğine sahip olmadıkları ve güçlendirilmelerinin gerektiği görülmektedir. Betonarme yapıların güçlendirme çalışmalarında mevcut taşıyıcı sisteme yeni betonarme elemanlar eklenmesi esnasında kimyasal ankrajlar sahip oldukları yüksek yapışma dayanımı, kolay ve hızlı uygulanabilir olmaları nedeniyle sıklıkla kullanılmaktadır. Kimyasal ankrajların tasarımının güvenli bir şekilde yapılabilmesi için eksenel çekme etkisi altındaki davranışının iyi anlaşılması gerekmektedir.

Çalışmanın amacı eksenel çekme etkisi altındaki tam ve kısmi bağlı kimyasal ankrajların farklı ankraj derinlikleri ve ankraj delik yüzey koşulları altında davranışının incelenmesidir. Bu amaçla gerçekleştirilen deneysel program kapsamında 85 adet ankraj numunesinin çekip çıkarma deneyleri yapılmış, nununelerin yük – yerdeğiştirme ilişkileri, eksenel yük kapasiteleri ve göçme modları tesbit edilmiştir. Ankraj numunelerinin uygulandığı taban bloklarında Türkiye'deki mevcut betonarme binalardaki düşük beton kalitesini temsil edecek şekilde düşük dayanımlı beton kullanılmıştır.

Kimyasal ankraj tasarımında ankrajın göçme yüküne ankraj donatısı aktıktan sonra ulaşacağı kabul edilir. Düşük kalitede betona uygulanan tam bağlı kimyasal ankrajların deney sonuçlarına bakıldığında uygulama esnasında sıkça kullanılan 10Φ ankraj derinliklerinde ankraj donatısı akma dayanımına ulaşmadan betonun hasarı sonucunda erken ve gevrek göçme meydana gelmiştir. Bu çalışmada güçlendirme çalışmalarında uygulanabilecek farklı bir ankraj detayı olan kısmi bağlı ankrajlara yönelik kapsamlı araştırma yapılmıştır. Düşük dayanımlı betona yapılan kısmi bağlı ankrajlar, aynı bağlı ankraj derinliğine sahip tam bağlı ankrajlara kıyasla daha yüksek performans sergilemişlerdir.

Anahtar Kelimeler: Aderans, beton konisi, çekip çıkarma deneyi, güçlendirme, kimyasal ankraj, sıyrılma, yapışma dayanımı

PULLOUT PERFORMANCE OF RETROFIT ADHESIVE ANCHORS

SUMMARY

In Turkey most of the existing reinforced concrete structures don't have sufficient seismic safety and should be retrofitted. Adhesive anchors are widely used in seismic retrofit applications to integrate new structural members to existing concrete members due to their high tensile and compressive strengths, low cost, easy and fast installation. To safely design such anchors, it is very important to understand their behavior under pullout forces.

The aim of this experimental study is to investigate the pullout behavior of fully and partially bonded adhesive anchors at various embedment lengths and anchorage hole conditions. A total of 85 specimens were tested to determine their pullout characteristics, with special emphasis on the load-displacement behavior, mode of failures and anchorage strength. The anchors were set in low strength concrete blocks, as it is representive of concrete strengths in existing buildings in Turkey.

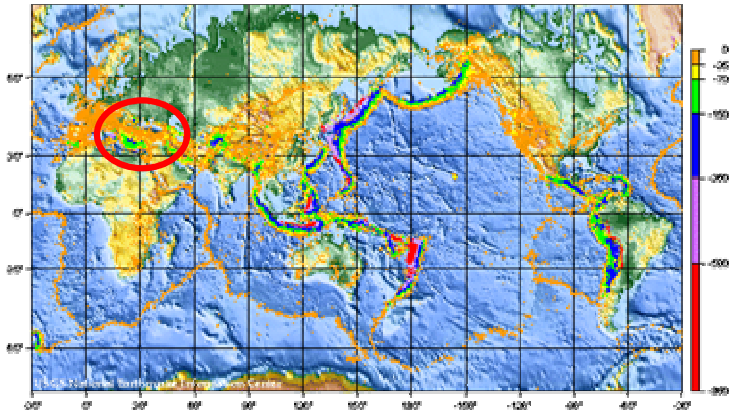
Anchors are normally designed to reach the yield strength of the anchor bar. However, the test results showed that the pullout capacities of the fully bonded anchors in low strength concrete could never reach the yield strength even in the embedment length of 10Φ. Several pullout tests of partially bonded anchors were performed in order to investigate their behaviour and performance under tension. Partially bonded anchors in low strength concrete display higher performance than fully bonded anchors embedded at same effective anchor depths.

Key Words: Bond stress, chemical anchor, concrete cone, pullout, retrofit, slip

1. GİRİŞ

1.1 Genel

Dünya çapında aktif deprem kuşaklarından Alp-Himalaya bölgesi üzerinde bulunan ülkemiz için deprem kaçınılmaz tehlikedir. Türkiye can kaybı, yaralanma ve mal kaybına yol açan bu büyük depremlerle sık sık karşılaşmaktadır. Bagci ve diğerlerinin yaptığı çalışmada [1]; 1900'lü yılların başından günümüze kadar Türkiye'de meydana gelen depremlerde yaklaşık 80000 can kaybı, 54000 yaralı ve 441000 ağır hasarlı konut oluştuğunu ortaya koymaktadır. 90'lı yılların başından bu yana, 1992'de Erzincan'da, 1995'te Dinar'da, 1998'de Adana-Ceyhan'da ve 1999'da Kocaeli-Düzce'de olmak üzere büyük depremler yaşanmış büyük kayıplar verilmiştir. Ülkemizde yaşanan bu depremlerin özellikleri (büyüklüğü, derinliği, şiddeti) ve depremlerden ötürü oluşan can kaybı ve ağır hasarlı bina sayıları Tablo 1.1'de verilmiştir. 1990- 2000 yılları arasında yeryüzünde olan depremleri gösteren "Dünya Depsemsellik" haritası (Şekil 1.1) incelendiğinde Türkiye'de çok sayıda depremin meydana geldiği açıkça görülmektedir.



Şekil 1.1. Dünya Depremselliği [18]

Tablo 1.1: Yıkıcı Depremler [1]

Tarih	Büyüklük (Ms)	Yer	Ölü	Yaralı	Ağır hasarlı konut	Derinlik (km)	Şiddet (MSK)
13.03.1992	6.8	Erzincan	653	3850	6702	27	VIII
01.10.1995	5.9	Dinar	94	240	4909	24	VIII
27.06.1998	5.9	Adana-Ceyhan	146	940	4000	23	-
17.08.1999	7.4	Kocaeli	15000	32000	50000	20	IX
12.10.1999	7.2	Düzce	845	4948	12500	25	-
		∑	16738	41978	78111		

Bir yapının rijitliğinini, dayanımını veya sünekliğini mevcut durumunun üzerine çıkarmak için yapılan uygulamaya güçlendirme denilmektedir. Ülkemizdeki mevcut yapı stoğu incelendiğinde yapıların önemli bir bölümünün yeterli deprem güvenliğine sahip olmadığı ve güçlendirilmeleri gerektiği görülmektedir. Yapılarda karşılaşılan eksikliklerin başlıcaları yapının inşaa edildiği tarihteki mevcut deprem yönetmeliklerine uygun boyutlandırılmamış olmaları, projeye uygun imalat yapılmamış olması ve düşük malzeme kalitesidir. Yapılan bir araştırma kapsamında, 1999 Kocaeli Depreminde ağır hasar görmüş veya yıkılmış binalardan alınan karot numuneleri üzerinde yapılan beton basınç deneylerinden elde edilen sonuçlar, alınan numunelerin %55'inden fazlasının C14 beton sınıfının altında olduğunu göstermektedir [19].

Mevcut yapıların onarım ve güçlendirilmesi çalışmalarında yapıya yeni taşıyıcı elemanlar eklenmesi esnasında kimyasal ankrajlar sıklıkla kullanılmaktadır. Kimyasal ankrajların yüksek yapışma dayanımları, düşük maliyetleri, kolay ve hızlı uygulanabilir olmaları kullanım alanlarını sadece güçlendirme çalışmaları ile sınırlı bırakmamış inşaası süren yeni yapılarda da kullanımlarını yaygınlaştırmıştır. Betona sonradan ankre edilen kimyasal ankrajlar planlama, tasarım ve uygulama aşamalarında kullanıcıya büyük esneklik ve avantaj sağlamaktadır.

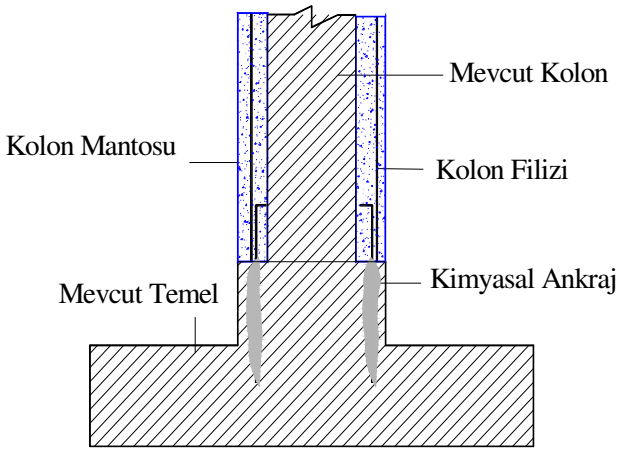
Güçlendirilmesi planlanan betonarme bir yapıda deprem etkilerini karşılayabilecek dayanıma sahip taşıyıcı elemanların bulunmaması durumunda yaygın olarak kullanılan başlıca uygulamalar; binada bulunan mevcut taşıyıcı sistemin kesitlerini arttırma (betonarme manto uygulamaları) ve yapıya yeni taşıyıcı elemanlar (betonarme perde) eklemektir. Betonarme manto yapılan düşey taşıyıcı elemanın veya yapıya yeni eklenen betonarme perdenin mevcut taşıyıcı sistemle birlikte

çalışmasını ve yapı boyunca güvenli yük aktarması ve bu elemanların karşıladığı yükleri güvenle temele kadar iletmesi uygulama esnasında yapılan ankrajlarla sağlanmaktadır. Güçlendirme çalışmalarında uygulandığı haliyle mevcut betona yeni taşıyıcı elemanların eklenmesi ya da yeni betonun mevcut betonla birarada çalışabilmesinin sağlanabilmesi için detaylarda uygulanan yapısal ankrajın farklı yükleme tipleri altındaki davranışının bilinmesi tasarımcı için önem taşımaktadır.

Kolonların yük taşıma kapasitelerinin arttırılmasında uygulanan yöntemlerden biri de kolonun boyutlarının ve boyuna donatılarının mantolama sistemi ile arttırılmasıdır, Şekil 1.2. Mantolama esnasında yeni dökülen betonun mevcut betonla birlikte çalışmasının sağlanabilmesi için arayüzlerinde oluşan kesme etkilerini karşılayacak bağlantı elemanları ankre edilir. Mantolama çalışmalarında kolona eklenen yeni boyuna donatı filizleri de güçlendirme projelerinde uygulanan başka bir ankraj detayıdır, Şekil 1.3.



Şekil 1.2: Kolon Manto Fotoğrafları



Şekil 1.3: Kolon Mantosunda Kullanılan Ankrajlar

Betonarme bir binanın taşıyıcı sistemine betonarme perde eklenmesi durumunda perde ile mevcut taşıyıcı sistem arasında kimyasal ankrajlar ile bağlantı yapılarak kuvvet iletimi sağlanmaktadır, Şekil 1.4. Taşıyıcı sistemde mevcut olan kolon ve kirişler ile yapıya eklenen perdeler arasında yapılan bu ankrajlar, elemanlar arasında kesme kuvveti aktarılması için kullanılır. Yapıya yeni eklenen perde temel bağlantısının mevcut temel sisteminden yapılması durumunda perde filizleri temele yeteri derinlikte ankre edilmelidir. Yapıya yeni taşıyıcı elemanların eklenmesi aşamasında yeni elemanın donatı filizleri mevcut yapının önceden dökülmüş betonuna delik açılarak ankrajı yapılır.



Şekil 1.4: Güçlendirme Esnasında Yeni Perde Eklenmesi

Betona uygulanan ankrajların kullanım alanları güçlendirme çalışmalarıyla sınırlı olmayıp, betonarme elemanlara çelik elemanların montajında, makina ve ekipman sabitlemesinde, prefabrike elemanların montajında, betona levha bariyer gibi farklı donanımlar tutturulmasında sıklıkla kullanılmaktadırlar.

1.2 Betona Uygulanan Ankrajlar

Amerika Beton Enstitüsünü (ACI) betona yapılan ankrajları; betonlama esnasında yapılan (cast-in-place anchors) ve sertleşmiş betona sonradan yapılan ankrajlar (post-installed anchors) olmak üzere iki ana gruba ayırmaktadır [2].

Betona Yapılan Ankrajlar

A. Sertleşmiş Betona Yapılan Ankrajlar

A1. Bağ Tipi Ankrajlar

A.1.1 Kimyasal Bağlı Ankrajlar

A.1.2 Harçlı Ankrajlar

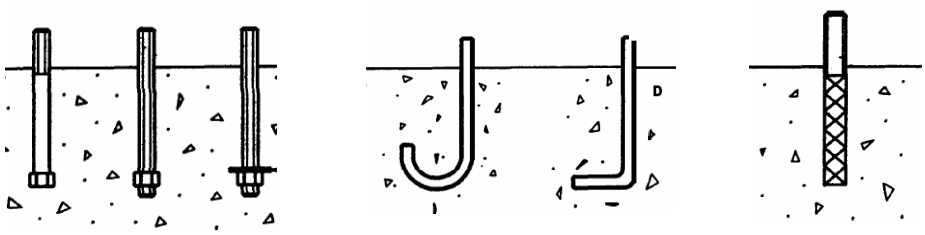
A2. Mekanik Ankrajlar

A.2.1 Öngermeli Ankrajlar

A.2.2 Genişler Ankrajlar

B. Taze Betona Yapılan Ankrajlar

Şekil 1.5: Betona Yapılan Ankraj Tipleri

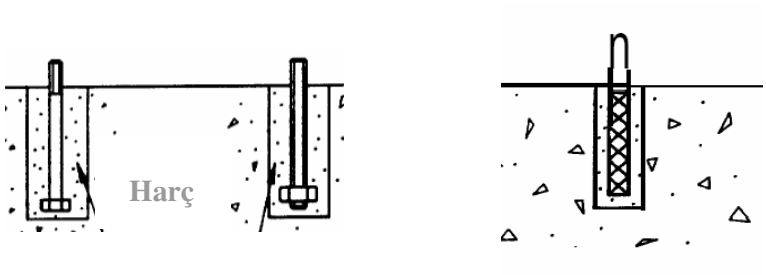


Şekil 1.6: Taze Betona Yapılan Ankrajlar [2]

Şekil 1.6'da verilen taze betona yapılan ankrajların tasarımında sünek davranış göstermeleri amacıyla beton güç tükenmesine ulaşmadan ankraj donatısının akması istenmektedir [3].

Sertleşmiş betonda sonradan açılan deliğe yapılan ankrajlar; kendi içlerinde mekanik ve bağ tipi ankrajlar olarak tekrar ikiye ayrılırlar [2], Şekil 1.7. Mekanik ankrajlar etkisi altında oldukları yükü ankraj deliği boyunca oluşan mekanik sürtünme ve kilitlenme mekanizmaları ile betona aktarırken; kimyasal ankrajlardaki yük iletimi mekanizması farklıdır. Kimyasal ankrajlar etkisi altında oldukları yükü ankraj bağlı derinliği boyunca oluşan aderans gerilmeleri ile aktarırlar. Kimyasal yapıştırıcılar harçlı bileşimlere göre genellikle daha pahalı olmasına rağmen yüksek çekme ve basınç dayanımları ve bağ kuvvetleri onları avantajlı hale getirir.

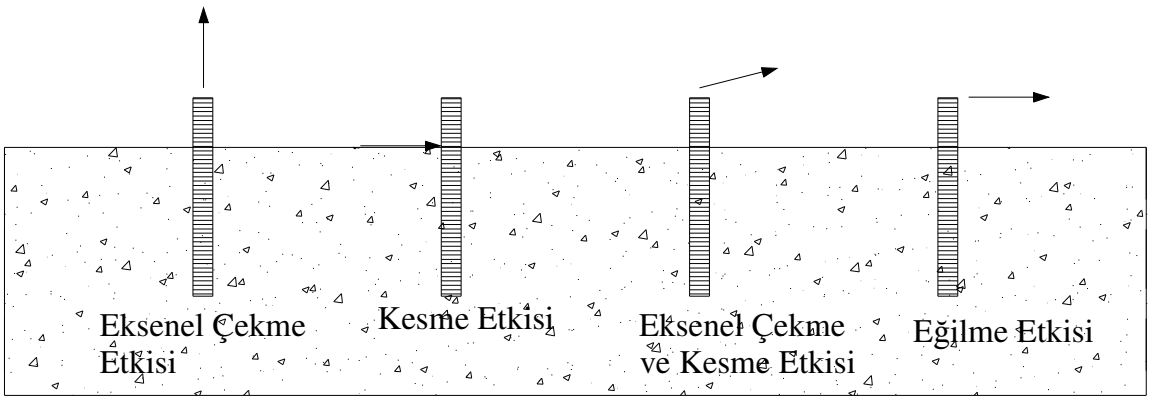
Kimyasal ankrajların uygulamasında mevcut betona daha önce tasarlanan ankraj boyu kadar derinlikte delik açılır, açılan delik tamamen kimyasal yapıştırıcı ile doldurulduktan sonra ankraj donatısı deliğe yavaşça döndürülerek ekilir. Kimyasal yapıştırıcı ankraj donatısı ile beton arasında bağlayıcı madde görevi görerek ikisinin birlikte çalışmalarını sağlar.



a.Harçlı Ankrajlar b. Kimyasal Ankrajlar

Şekil 1.7: Bağ Tipi Ankrajlar [2]

Güçlendirme amaçlı kullanılan kimyasal ankrajların tasarımı aşamasında farklı yükleme tipleri (eksenel çekme, kesme, eğilme) altında ankraj davranışlarının bilinmesi gerekmektedir. Şekil 1.8'de ACI 355'de tanımlanan ankrajların etkisinde kaldığı yükleme tipleri verilmiştir [2].



Şekil 1.8: Ankrajlarda Oluşan Farklı Yüklemeler

1.3 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Yapıya sonradan eklenen yapısal ve mekanik elemanlar ile donanımların mevcut betona tesbitinde kullanılan ankrajları yerinde uygulamadan önce tasarımcı ankrajın bazı geometrik ve mekanik özelliklerini belirlemelidir. Tasarımcı tarafından ankraj derinliği, ankraj çapı, ankrajlar arası mesafe, uygulanacak ankraj sayısı belirlendikten sonra uygulanacak ankrajın tasarım dayanımı hesaplanabilmelidir. Güvenli ve ekonomik ankraj tasarımı yapılabilmesi için ankrajların maruz kaldıkları etkiler altındaki davranışlarının iyi anlaşılması gerekmektedir.

Çalışmanın amacı, mevcut betonarme yapıların güçlendirilmesi çalışmalarında kullanılmakta olan tam bağlı ankrajların yanında yine güçlendirme esnasında kullanılabilecek farklı kimyasal ankraj detaylarının düşük kalitedeki betonda eksenel çekme etkisi altındaki davranışının incelenmesidir. Kimyasal ankrajlar ile ilgili İTÜ Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuarında sürdürülen çalışmaların [4, 5] devamı niteliği taşıyan bu çalışma kapsamında güçlendirilme çalışmalarında kullanılabilecek farklı kimyasal ankraj detaylarının eksenel çekme etkisi altındaki davranışına ankraj derinliğinin ve yüzey koşullarının etkisi de incelenmiştir. Kimyasal ankrajların çekip çıkarma deneyleri İTÜ Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuarında yapılmış, bu deneyler sonucunda ankrajların eksenel yük taşıma kapasiteleri, yük-yerdeğiştirme davranışları ve göçme tipleri incelenmiştir.

Tez kapsamında pratikte kimyasal ankraj uygulamaları esnasında yapılan uygulama kusurlarının (tozlu ankraj deliği) ve uygulama bölgesindeki çevresel şartların (yeraltısuyu seviyesi altında bulunan temeller, ıslak yüzeyler) ankraj davranışı üzerindeki etkisinin araştırılmasıdır.

Daha önce konu ile ilgili yapılan araştırmalar normal ve yüksek dayanımlı beton için yapılmıştır. İTÜ Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuarında kimyasal ankrajlarla ilgili yapılan deneysel çalışmalarda kullanılmış olan ankraj taban betonu ise Türkiye'deki mevcut betonarme yapıların beton kalitesini temsil edecek şekilde düşük dayanımlı olarak seçilmiştir. Tez kapsamında iki farklı ankraj detayının (tam ve kısmi bağlı ankrajlar) eksenel çekme etkisi altındaki davranışları incelenecektir.

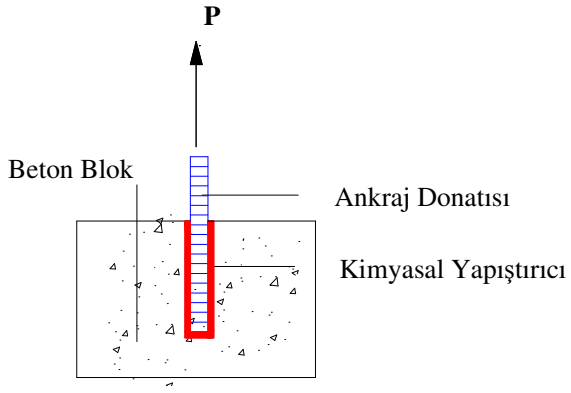
2. ANKRAJLARIN ÇEKME DAVRANIŞIYLA İLGİLİ YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

2.1 Giriş

Mevcut betonarme elemanlara yeni elemanların ilavesinde kullanılan ankrajlar günümüze kadar yapılan birçok araştırmaya konu olmuştur. Çalışmanın bu bölümünde betona yapılan ankrajlar için temel bilgiler içeren başlıca çalışmalara değinilip, kimyasal ankrajların çekme etkisi altında davranışı ile ilgili yapılan diğer çalışmalara da yer verilecektir.

2.2 Kimyasal Ankrajlar

Betonarme binaların güçlendirilmesinde uygulanan kimyasal ankrajlar; ankraj donatısı, taban betonu ve kimyasal yapıştırıcı olmak üzere üç temel bileşenden meydana gelirler (Şekil 2.1). Kimyasal ankrajlarda; sertleşmiş mevcut betona delici uçlu alet yardımıyla açılan deliğe doldurulan kimyasalın arayüzde oluşturduğu yapışma yardımıyla ankraj donatısının beton ile birlikte çalışması sağlanır.



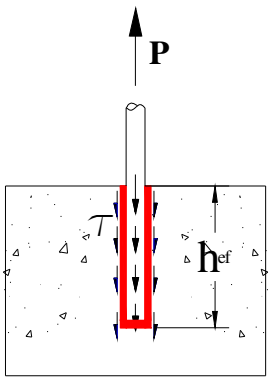
Şekil 2.1 : Kimyasal Ankraj Bileşenleri

Ankraj uygulamalarında kullanılan kimyasal yapıştırıcılar uygulama yöntemlerindeki farklılık bakımından iki gruba ayrılırlar. Birinci gruptaki kimyasal yapıştırıcılar imalatçı tarafından hazır kapsüller halinde üretilirler. Uygulamaya hazır halde bulunan kapsül ankraj deliğine yerleştirildikten sonra ankraj donatısının deliğe itilmesi esnasında kapsülün kırılması ile içerisinde bulunan iki kimyasalın birbirine karışarak tepkimeye girmesi ile uygulama tamamlanır. İkinci grup enjeksiyon tipi kimyasal yapıştırıcılar; yapıştırıcı (A) ve sertleştirici (B) olmak üzere iki bileşeni kullanıcı tarafından üreticinin belirttiği oranlarda karıştırılarak harç tabancası veya mala yardımı ile uygulanırlar. Enjeksiyon tipi kimyasal yapıştırıcılar üretici firma tarafından hazırlanmış uygulamaya hazır tüpler şeklinde bulunabilmektedir. Tüpler harç tabancası yardımıyla uygulanırken A ve B bileşenleri tüpün uç kısmında bulunan karıştırıcıda birleşip uygulamaya hazır hale gelirler. Her iki gruptaki kimyasal yapıştırıcılar polyester, vinylester veya epoksi bileşenli olabilirler.

2.3 Kimyasal Ankrajlarda Yük Aktarımı

Kimyasal ankrajlarda donatı ile betonun arayüzünde bulunan kimyasal yapıştırıcı donatının betona tutunmasını sağlamaktadır. Ankrajlar üzerlerindeki çekme yüklerini monte edildikleri betona ankrajın bağlı derinliği boyunca oluşan aderans gerilmeleri vasıtasıyla aktarırlar, Şekil 2.2. Kimyasal ankrajlarda, donatı-epoksi arayüzündeki veya beton-epoksi ara yüzündeki tutunmayı sağlayan kayma gerilmelerine aderans denir. Kimyasal ankrajlarda aderansın beş bileşeni;

- Epoksi ile beton arasındaki sürtünme
- Epoksi ile çelik arasındaki sürtünme
- Epoksi ile beton arasında oluşan kimyasal bağ
- Epoksi ile çelik arasındaki kimyasal bağ
- Çelik üzerindeki mekanik diş kuvvetleridir (donatı üzerinde bulunan nervürler nedeniyle oluşmaktadır.)



Şekil 2.2 : Ankraj Derinliği Boyunca Oluşan Gerilmeler

Aderans gerilmelerinin ankraj derinliği boyunca dağılımları gerçekte düzgün yayılı olmamasına karşılık hesaplarda sağladığı kolaylık bakımından ankraj tasarımında bu dağılım çoğu kez düzgün yayılı olarak alınır.

2.4 Kimyasal Ankraj Davranışını Etkileyen Parametreler

Cook 2001 yılında kimyasal ankrajlarda yapışma (bağ) dayanımını etkileyen parametreler üzerinde ayrıntılı araştırma yapmıştır, [7]. Çalışma kapsamında yapılan çekip çıkarma deneylerinde 12 farklı üreticiden 20 farklı kimyasal yapıştırıcı kullanmıştır. Çalışmada kullanılan kimyasallar; kullanıcının karıştırarak hazırladığı, ester-bileşenli, kapsüllü, enjeksiyon tipi gibi farklı özelliklerde seçilmiştir. Uygulanan her bir farklı ankraja ait referans yapışma dayanımını elde edebilmek için tutulu çekme deneyleri yapılmıştır (confined tests). Referans deneyleri en uygun şartlar altında, temiz ve kuru ankraj deliğine ekilmiş, oda sıcaklığında kürü tamamlanmış numunelerde yapılmıştır. Yapışma dayanımının üzerinde etkileri araştırılan çevresel etmenler, ankrajın uygulanması esnasında oluşan etkiler (ankraj deliği yüzey koşulları, toz ve nem etkisi, taban betonunun dayanımı) ve ankraj ekimi sonrasında oluşan etkiler (kısa kürlenme süresi, sıcaklık etkisi) olmak üzere temel olarak iki gruba ayrılmıştır.

Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre ankraj ekimi esnasında oluşan farklı çevresel şartlar;

- Nem Etkisi: Ankraj deliği açıldıktan sonra delikler su ile doldurulmuştur, 7 gün ıslak tutulmuştur. Ankrajın epoksi ile ekimi delik içindeki su boşaltıldıktan sonra yapılmıştır. Ekim yapıldıktan sonra herhangi bir müdahale yapılmadan 7 gün kür süresi sonrasında ankrajın çekimi yapılmıştır.

- Islaklık Etkisi: Bu uygulamada nemli ankrajlar için yapılan hazırlıklar tekrarlanmış fakat ankraj ekimi esnasında delik içinde bulunan su boşaltılmamıştır. Su ile dolu olan ankraj deliğine epoksi ile ekim yapılmıştır.

- Toz Etkisi: Ankraj deliklerinin bir delici yardımıyla hazırlanması esnasında ufalanan betonun oluşturduğu tozlar delikten atılmamıştır.

- Farklı Beton Kalitesi: Biri düşük dayanımlı olmak üzere iki farklı kalitede beton kullanılmıştır. Taban betonlarının 28 günlük basınç dayanımları 17.2 MPa ve 37.9 MPa dır.

Ankraj servis süresi boyunca oluşabilecek çevresel şartlar;

- Kısa kür süresi: Ankraj çekimleri kür süresi tamamlanmadan, ekim yapıldıktan 24 saat sonra gerçekleştirilmiştir.

- Sıcaklık: Sıcaklık etkisinin ankraj dayanımında oluşturduğu değişikliğin incelenmesi amaçlı oda sıcaklığında ve 43^{o}C derecede olmak üzere iki farklı sıcaklıkta ankraj çekim deneyleri yapılmıştır.

Yapılan deneyler sonucu uygulanan 20 farklı kimyasal yapıştırıcının çoğunun yapışma dayanımlarında, ankraj uygulanan delik yüzeyinin nemli, ıslak ve tozlu olması sonucu ciddi düşüşler gözlenmiştir. 20 farklı ürünün referans yapışma dayanımlarının ortalaması ise 15.4 MPa olarak tespit edilmiştir.

Yapılan çalışmanın sonuçları derlendiğinde nemli yüzeylere yapılan ankrajlarda oluşan yapışma dayanımı, kuru ve temiz yüzeylerde bulunan referans yapışma dayanımlarının ortalama %77'si ve ıslak yüzeylerde oluşan yapışma dayanımı ise referans dayanımının ortalama %43'ü kadar olmuştur. Islak yüzeylerde dayanım kaybı beklendiği gibi nemli yüzeylere oranla daha fazla olmuştur. Ankraj deliklerinin ıslak olması ankraj performansını gerek mekanik gerekse kimyasal olarak etkilemiştir. Ankraj deliği yüzeyindeki kılcal boşluklarda kalan su epoksinin betona temasını azaltmış, kimyasal yapıştırıcı-beton arayüzeyinde mekanik sürtünmede düşüş olmuştur. Delik cidarında kalan su aynı zamanda kimyasal ile beton arasında oluşan kimyasal bağ kuvvetlerini de etkilemektedir. 20 farklı kimyasaldan dördünün nem töleransı yüksek çıkmış ve kimyasalların nemli yüzeylerdeki performansı kuru yüzeylere göre artmıştır, [7].

Tozlu yüzeylerde kimyasal yapıştırıcı-beton arayüzeyinde yapışmanın sürekli oluşmaması bağ kuvvetini azaltmıştır. Tozlu deliklere yapılan ankrajlarda yapışma dayanımı referans yapışma dayanımının %71'i gibi olmuştur, [7].

Kısa kür süresinde (24 saat) ankrajların yapışma dayanımlarının ortalama %88'ini kazandığı görülmüştür. Çalışma esnasında kullanılan 20 farklı kimyasaldan 15'i iki farklı sıcaklık etkisi altında (oda sıcaklığı ve 43^{o}C) denenmiştir. Ürünlerden ester bileşenli olan üç tanesinin 43^{o}C'deki dayanımı, referans dayanımına göre artış göstermiş, diğer ürünlerde ise bazıları dayanım kaybederken bazılarının dayanımı artmıştır. Sık sıcaklık değişimi betonda çatlamalara neden olacağından ankraj dayanımını düşürebilmektedir. Beton dayanımındaki artışın yapışma dayanımları üzerindeki etkisi çok önemli olmasa da, ufak artışlar sağlamıştır, [7].

Ankrajlarla ilgili yapılan incelemeler sonucu ankraj dayanımını etkileyen diğer faktörler şunlardır;

- Ankraj çubuğunun dayanımı (çekme dayanımı): Kimyasal ankraj çekme kapasitesine ankraj çubuğunun kopması veya akması nedeniyle ulaşıyorsa ankraj çubuğunun çekme dayanımı ankraj kapasitesini etkilemektedir.

- Taban betonu basınç dayanımı: Cook'un yaptığı çalışmasında [6]; basınç dayanımı 20 MPa olan betona uygulanan ankrajlarla dayanımı 40 MPa olan betona uygulanan ankrajlardaki bağ kuvvetleri kıyaslanmış ve beton dayanımınındaki artışın oluşan bağ kuvvetini de arttırdığını gözlemleniştir. Fakat beton dayanımı 60 MPa üzerine çıktığında bağ kuvvetinde hafif düşüş olmuştur. Bunun iki nedeni olabilir. Birinci neden, betonun basınç dayanımındaki artış elastisite modülünün artmasını sağlamış böylece beton-epoksi arayüzündeki gerilme dağılımını farklılaştırmış ve kesme gerilmelerinin değerleri arayüzde yükselmiştir. İkinci sebep ise beton özelliğindeki değişimin epoksi ile arasında olan kimyasal yapışmayı etkilemiştir.

- Taban betonunun çekme dayanımı: Kimyasal ankraj çekme kapasitesine betonda oluşan göçme nedeniyle ulaşıyorsa betonun çekme dayanımı ankraj kapasitesini etkilemektedir.

- Kimyasal yapıştırıcının türü ve özellikleri: Kimyasal ankrajlarda oluşan yapışma dayanımı kullanılan kimyasala bağlıdır. Her kimyasalın farklı yapışma dayanımı vardır (vinylester, epoksi). Kullanılan yapıştırıcının betona yapışma dayanımı, çeliğe yapışma dayanımı ve mekanik özellikleri (çekme ve basınç dayanımları) ankraj performansını etkilemektedir.

- Ankraj derinliği: Ankraj derinliği arttıkça ankrajın kapasitesi artmaktadır. Fakat bu ilişki doğrusal değildir. Belli bir ankraj derinliğinden itibaren derinlikteki artışın ankraj kapasitesine olan etkisi azalmaya başlar. Ankraj derinliği ile

ankraj kapasitesi arasındaki ilişkinin doğrusal olmaması, gerçekte ankraj derinliği boyunca oluşan kayma gerilmelerinin düzgün yayılı olmadığının göstergesidir, [8].

- Ankraj çubuğu çapı: Ankraj çapının artması aderans gerilmelerinin oluştuğu yüzey alanının artmasını veya azalmasını sağlayarak, ankraj kapasitesini etkilemektedir.

- Ankraj delik çapı: Kimyasal yapıştırıcı ile beton ara yüzeyinin genişlemesini sağlar ve bu yüzeyde oluşan bağ gerilmelerini ve ankraj kapasitesini etkiler.

- Ankrajın serbest kenardan olan uzaklığı: Ankraj serbest kenara yakın ise taban betonunun çatlayarak yarılması nedeniyle göçme oluşabilir.

- Ankraj arası mesafe: Ankraj eksenel çekme altında betonda oluşan göçme nedeniyle kapasitesine erişiyorsa betonda oluşan çatlaklar yanındaki komşu ankrajların kapasitelerini de etkileyecektir.

- Yükleme tipi ve hızı: Ankrajların kapasiteleri çekme, kesme ve eğilme etkileri altında farklıdır. Yüklemenin statik veya dinamik olması da kapasiteleri değiştirmektedir.

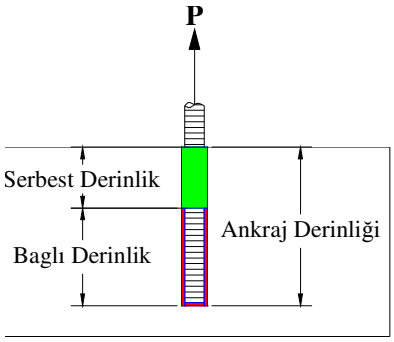
2.5 Kimyasal Ankrajlarda Çekme Etkisi Altında Oluşan Göçme Tipleri

Beton sınıfına, kullanılan kimyasal tipine, ankraj geometrisine ve ankraj donatısı dayanımına bağlı olarak ankraj çekip çıkarma deneylerinde farklı göçme modlarına rastlanmaktadır. Ankrajların eksenel çekme etkisinde davranışları incelendiğinde 5 farklı göçme tipi gözlemlenmektedir, [2, 8] (Şekil2.4)

1. Ankraj Çubuğunun Akması, Kopması: Bu tür göçmeye beton ve kimyasal yapıştırıcı kalitesi yüksek olan derin ankrajlarda rastlanmaktadır. Kimyasal ankrajları için ankraj donatısının akması tasarımcı tarafından istenilen davranıştır. Ankraj donatısının kopması şeklinde oluşan göçme tipi ise yapılan ankrajın taşıyabileceği maksimum yüke karşılık gelir. Bu tip göçmenin oluşabilmesi için ankraj donatısının çekme dayanımı ankrajın bağlı bulunduğu ankraj derinliği boyunca oluşan aderans dayanımından küçük olmalıdır, [8]. Bu göçme tipi ile kapasitesine erişen ankrajlar oldukça sünek davranış gösterirler.

2. Ankraj Çubuğunun Sıyrılması : Ankraj donatısının ankraj deliğinden sıyrılarak çıkmasıdır. Kimyasal ankrajlar ankraj derinliğinde oluşan yapışma dayanımının sona ermesi ile sıyrılmaya başlarlar. Bu göçme tipi yapışma dayanımı düşük olan kimyasalların kullanılması ya da ankraj uygulaması esnasında yapılan hatalar (yüzey temizliğinin yapılmaması, eksik kür uygulanması) sonucu kimyasalın yapışma dayanımını tam olarak kazanamamasından kaynaklanabilir, [8]. Ayrıca bu göçme tipinin gözlemlendiği bir diğer durum ise pratikte sık kullanılan tam bağlı ankraj uygulamasından farklı bir ankraj detayı olan kısmi bağlı ankraj detayıdır, [9].

   Bu çalışma kapsamında da yer alan kısmi bağlı ankrajlarda; ankraj derinliğinin üst ucunda belli uzunluktaki bir bölgede ankraj donatısının betona yapı kimyasalı vasıtasıyla yapışması araya farklı bir malzeme koyularak engellenir. Böylece alt ucundan betona kimyasal ile yapıştırılan donatı beton yüzeyine yaklaştığı üst bölgesinde serbest bırakılmıştır, (Şekil 2.3).

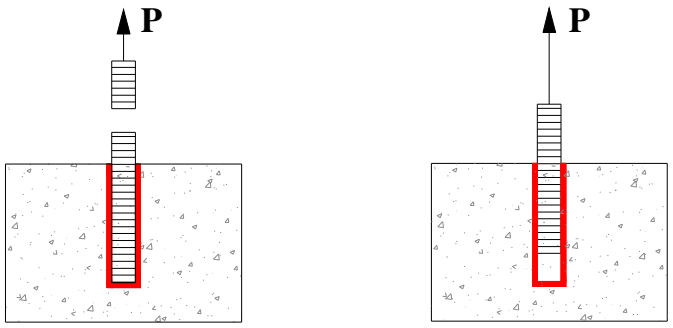


Şekil 2.3 : Kısmi Bağlı Ankraj Detayı

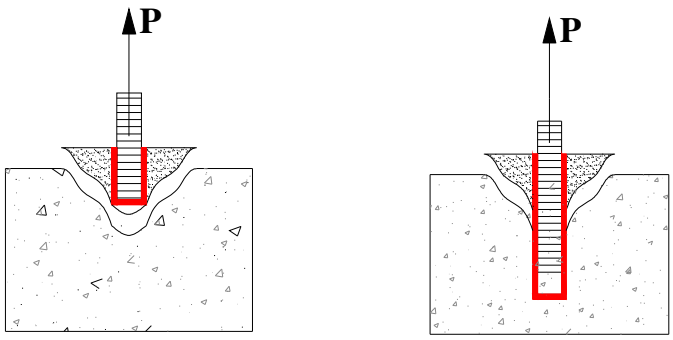
3. Betonun Konik Kopması: Eksenel çekim esnasında betonda oluşan çekme gerilmelerinin beton çekme dayanımını aşması sonucu ankraj betonun konik olarak kırılmasına yol açar. Tam konik göçme modu yeterince sığ ankraj derinliklerinde oluşur (yaklaşık olarak deriliği 75 mm den az olan ankrajlarda), [8]. Daha önce yapılan çalışmalarda oluşan koni hacminin betonun çekme dayanımıyla ilişkisi ortaya konulmuştur, [10]. Beton dayanımı düştükçe koni derinliği artmakta, ankraj dayanımı azalmaktadır, [10].

4. Koni ile Sıyrılmanın Birlikte Oluşması: Cook [8] yaptığı çalışmada ankraj derinliği 50 - 75 mm den derin olan ankrajlarda beton konisi ile sıyrılmanın birlikte oluştuğunu göstermiştir.

5. Betonun Yarılması: Beton yarılması taban elemanını derinliğinin sığ olduğu durumlarda ve serbest kenara yakın ekilen ankrajlarda meydana gelir. Bu göçme tipinde uygulanan eksenel yük altında taban betonunda kılcal çatlaklar oluşmaya başlar. Uygulanan yük arttıkça yükleme düzeneğinin taban betonuna bastığı iki yüzey arasındaki kılcal çatlakların genişleyerek serbest kenara doğru ilerlemesi sonucu yarılma oluşur (Şekil 2.5). Çatlakların genişlemesiyle ankraj dayanımını ani olarak kaybeder. ASTM 488-96 Standartına [11] göre bu göçme modunun oluşmasını engellemek için ankrajın uygulandığı beton blok derinliği ankraj derinliğinin en az 1.5 katı olmalıdır. Tez kapsamında taban betonunun yarılması ile göçen numuneler dayanımlarını çok düşük yük seviyelerinde kaybetmişlerdir. Bu tür göçmenin gözlemlendiği numuneler değerlendirmeye alınmamış hatta sonradan bu göçme modunu engellemek için numuneler ankraj derinliğinden %50 daha derin olan beton bloklara ankre edilmiştir.



a. Ankraj Donatısının Kopması **b.** Ankraj Donatısının Sıyrılması



c. Betonun Konik Kopması **d.** Koni ile Sıyrılmanın Birlikte Oluşması

Şekil 2.4 : Ankraj Göçme Tipleri



Şekil 2.5 : Betonun Yarılması

2.6 Kimyasal Ankrajların Göçme Tiplerine Göre Performansları

Kimyasal ankrajlarda görülen göçme tiplerinin ankraj çekme kapasitelerine ve çekme etkisi altındaki davranışlarına büyük etkisi vardır.

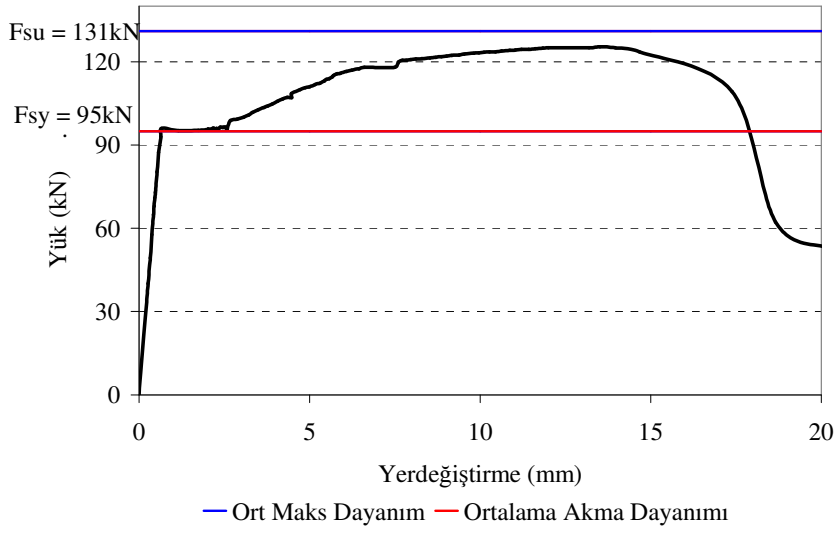
2.6.1 Ankraj Donatısının Akması

Bu çalışma kapsamında yapılan deneyler sonucu ankraj donatısının akması ile oluşan ankraj davranışının tipik bir yük - yerdeğiştirme grafiği Şekil 2.6'da verilmiştir. Akma yüküne kadar rijitliğini koruyan ankraj doğrusal yerdeğiştirme yapmıştır. Akma bölgesinin (95 kN) belirgin olarak göründüğü grafikte akma bölgesinden sonra donatıdaki pekleşme etkisiyle ankraj bir miktar daha yük almış (125 kN), sonrasında dayanımını kaybetmiştir. Grafikten açıkça görüldüğü gibi eksenel çekme altında ankraj donatısının akma kapasitesinin aşılması durumunda ankraj oldukça sünek davranış sergilemektedir. Bu durumda gözlemlenen yük-yerdeğiştirme grafiğinin altında kalan alan başka bir ifadeyle ankrajın enerji yutma kapasitesi oldukça büyük olur.

Ankraj tasarımlarında uygulanan genel yaklaşım; ankrajda oluşacak göçmenin donatı aktıktan sonra oluşması, yani donatı akmadan ankrajın sıyrılmaması veya beton konisi oluşmaması esasına dayanır. Bu temel ilke betonarme elemanların sünek tasarımında sıklıkla kullanılmaktadır. Derin ankrajlarda rastlanılan bu sünek göçme tipi tasarımcı tarafından istenilen davranıştır. Bu durumda ankraj kapasitesi basitçe, ankrajın bağlı bulunduğu ankraj derinliği boyunca oluşan çekme alanı ile ankraj çubuğunun akma dayanamının çarpımı ile hesaplanabilir.

$$P_u = A_s f_{sy} \qquad \textbf{(2.1)}$$

Burada P_u ankraj çekme dayanımını, A_s ankraj donatı alanını, f_{sy} ankraj donatısı akma dayanımını göstermektedir. ACI 349-97 Appendix B'de [12] ankrajların eksenel çekme kapasitelerinin donatının akma dayanımı kadar olması gerektiği belirtilmektedir. Ankrajlar sünek davranış gösterebilmeleri için yeterli derinliğe ekilmelilerdir.

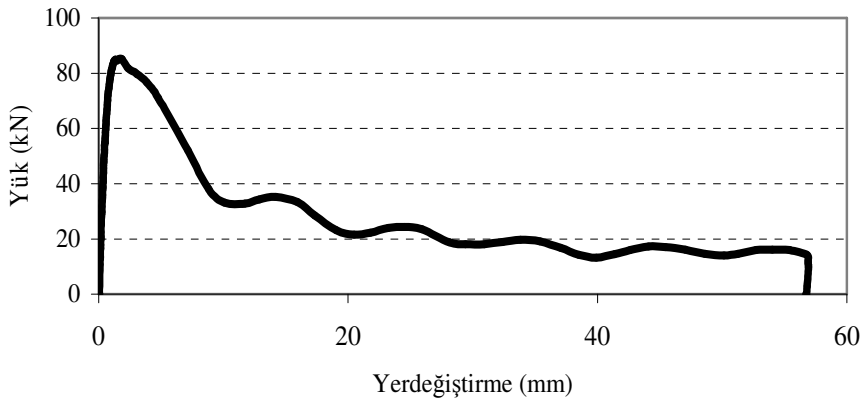


Şekil 2.6 : Ankraj Donatısının Akma Kapasitesine Ulaşması Durumu için Yük-Yerdeğiştirme İlişkisi

2.6.2 Ankraj Donatısının Sıyrılması

Eksenel çekme etkisindeki bir ankrajın derinlik boyunca yapışma dayanımını kaybetmesi ile sıyrılma türü göçme gözlenir. Şekil 2.7'de sıyrılma ile göçme tipine ait tipik bir ait yük-yerdeğiştirme grafiği verilmiştir. Bu göçme tipinde artan eksenel yük etkisinde ankraj derinliği boyunca oluşan bağ kuvveti maksimum yapışma dayanımına ulaşana kadar ankraj dayanımını kaybetmez, ankraj kapasitesine (maksimum yüke) ulaştığında ankraj donatısı ile kimyasal bir bütün olarak hareket ederler ve sıyrılma oluşur. Kimyasal ankrajlarda derinlik boyunca oluşan kesme gerilmeleri yapışma dayanımına ulaşmadan herhangi bir sıyrılma oluşmaz, [3]. Maksimum yüke kadar deney esnasında okunan yerdeğiştirmeler ankraj donatısının eksenel uzamasından kaynaklanmaktadır. Maksimum yükten sonra artan yerdeğiştirmelerle sıyrılma açıkça görülmektedir. Tipik bir sıyrılma göçme mekanizmasında maksimum yükten sonra ankrajın karşıladığı kuvvet beton ile kimyasal yapıştırıcı arasında oluşan mekanik sürtünme ile sağlanmaktadır, [13]. Mekanik sürtünme yüzey pürüzlülüğü, agrega cinsi, agrega büyüklüğü, donatının diş

tipi gibi birçok nedene bağlı olduğu için yük-yerdeğiştirme eğrisinin düşen kolunun davranışı önceden kestirilemez, [13].

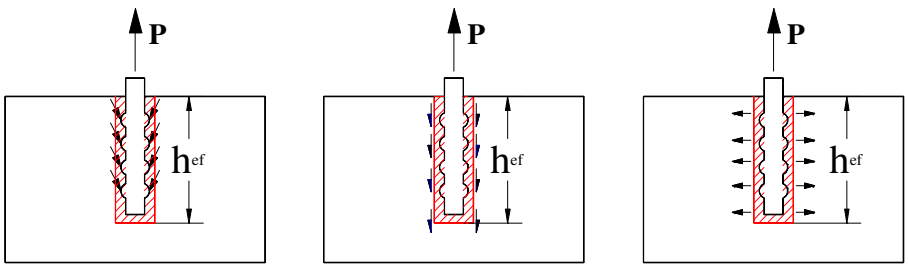


Şekil 2.7 : Sıyrılma ile Göçen Ankrajın Yük-Yerdeğiştirme İlişkisi

2.6.3 Ankrajın Beton Konisi ve Sıyrılma ile Göçmesi

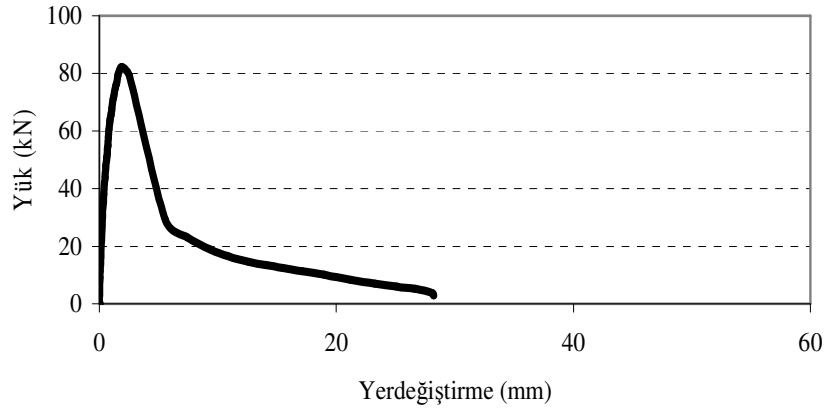
Ankrajın beton konisi oluşumuyla göçme mekanizmasına ulaşması oldukça gevrek bir davranış ortaya çıkarır. Bu göçme şeklinde ankrajın kapasitesi doğrudan ankrajın ekildiği betonun çekme dayanımına ve ankraj derinliğine bağlıdır, [10]. Yapılan çalışmalarda gözlendiği kadarıyla beton dayanımı düştükçe koni derinliği artmakta, ankraj dayanımı azalmaktadır.

Eksenel çekme sırasında ankrajın çelik donatısı üzerinde bulunan dişlere eğik kuvvetler etkimektedir, Şekil 2.8. Kimyasal ankrajların bağlı olan ankraj derinlikleri boyunca ankraj deliği çevresinde radyal normal gerilmeleri (kuvvetin yatay bileşeni) ve ankraj derinliği boyunca kayma (kuvvetin düşey bileşeni) gerilmeleri oluşur. Ankraj deliği çevresinde bulunan radyal normal gerilmeler betonda eğik çekme gerilmeleri oluşturur. Ankraj taban betonunun maruz kaldığı çekme gerilmeleri beton çekme dayanımını aştığında beton konisi oluşumuyla göçmenin oluşmasına yol açar.



Şekil 2.8 : Ankraj Derinliği Boyunca Oluşan Gerilmeler

Şekil 2.9'da kimyasal ankrajda oluşan beton konisi ve sıyrılma göçme tipine ait tipik bir yük-yerdeğiştirme eğrisi verilmiştir. Verilen grafik incelendiğinde maksimum yüke ulaştıktan sonra koni oluşumu ile yükün hızla düşmeye başladığı görülür. Koni oluşumundan sonra karşılanan yük yine mekanik sürtünme etkisiyledir.



Şekil 2.9 : Beton Konisi ve Sıyrılma ile Göçen Ankrajın Yük-Yerdeğiştirme İlişkisi

2.7 Kimyasal Ankrajların Çekme Etkisi Altındaki Davranışını Tanımlayan Modeller

Günümüze kadar yapılan çalışmalar sonucu ankrajın dayanımlarını saptamak için kesin bir model oluşturulamamıştır. Yapılan ankraj tasarım modelleri ankrajın göçme moduna uygun olarak geliştirilmiştir.

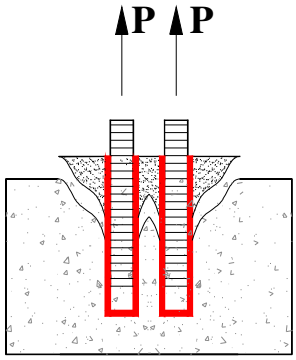
2.7.1 Beton Koni Modelleri

Ankrajlarda davranışı yansıtan beton konisi modeli ilk olarak Eligehausen tarafından 1984'te önerilmiştir, [10]. Bu model sadece konik göçmenin gözlendiği ankrajları kapsamaktadır. Çalışmada basınç dayanımı 15 MPa ile 40 MPa olan çatlamamış beton üzerine ekilmiş, çapları Φ8 ile Φ24 aralığında değişen, ankraj derinliği ankraj çapının 9 katı olan kimyasal ankraj numuneleri üzerinde eksenel çekme deneyleri yapılmıştır. Konik göçme gözlenen ankrajların kapasitesini aşağıdaki denklemle hesaplamıştır.

$$P_u = 0.92 h_{ef}^2 \sqrt{f_c} \qquad \textbf{(2.2)}$$

Denklemde geçen P_u ankrajın çekme kapasitesini gösterirken, f_c betonun standart silindir basınç dayanımı, h_{ef} ise efektif ankraj derinliği belirtmektedir. Modelde ankraj kapasitesi sadece ankraj derinliğine ve ankraj taban betonu çekme dayanımına bağlı olup ve ankraj donatı çapı kapasiteyi etkilememektedir. Betonun çekme dayanımının basınç dayanımının karekökünün fonksiyonu olduğu düşünülülerek ankraj kapasitesi hesabında yer almıştır. Bu model sadece koni oluşumunun görüldüğü sığ ankrajlarda uygulanabilmektedir.

Verilen formülün kimyasal bağlı ankrajlarda kullanılabilmesi için ankrajlar arası yeterli mesafenin bırakılmış olması gerekmektedir. Bu mesafenin azaltılması ile ankrajların oluşturdukları koniler üst üste düşecek ve farklı konilerin kesişmesi sonucu tek bir koni oluşacaktır (Şekil 2.9). Böylece ankrajlaın göçme yüklerinde düşüş gözlenecektir.



Şekil 2.10 : Yan Yana Ekilen Ankrajların Konilerinin Çakışması

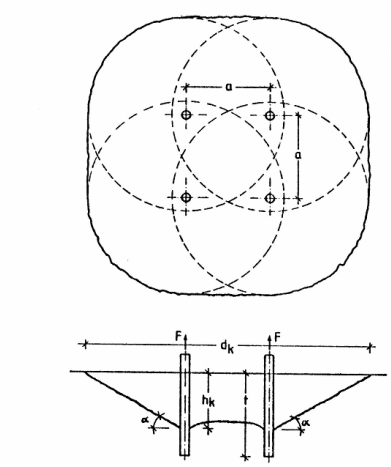
Eligehausen ankrajlarda görülen göçme modlarından biri olan konik göçmede oluşan koninin geometrik özelliklerini tanımlamıştır, [10]. Oluşan koninin yüksekliği ankraj derinliğinin %60 ile %70'i arasında değişmektedir (h_k= 0.60 -0.70h). Oluşan koninin tepe açısı $\alpha = 30^\circ - 40^\circ$ arası değerler alırken; koni taban çapı, koni tepe açısı ve derinliğinin aldığı değerlere bağlıdır. Ortalama olarak koni taban çapı ankraj derinliğinin iki katı olarak alınabilir. Yan yana ekilmiş iki ankrajın birbirini etkilemesinin istenmediği durumlarda, iki ankraj arası mesafe koni taban çapından yani ankraj derinliğinin iki katından daha fazla alınmalıdır.

Birbirine yakın mesafe ile ekilmiş ankrajların göçme yüklerinin hesabında aşağıdaki formül önerilmiştir, [10]. İki ankraj arası mesafe belli bir kritik değerden (a_{krit}) büyük olduğunda ankraj davranışı iki farklı ankraj gibi oluşurken, bu ankrajlar arası mesafe sıfır alındığında (a=0) tekil ankraj davranışı oluştuğu düşünülerek bu iki uç değer arasında doğrusal ilişki kurulduğunda aşağıdaki formül elde edilmiştir.

$$P_u = \chi_a P_{u,mak} \quad \textbf{(2.3)}$$

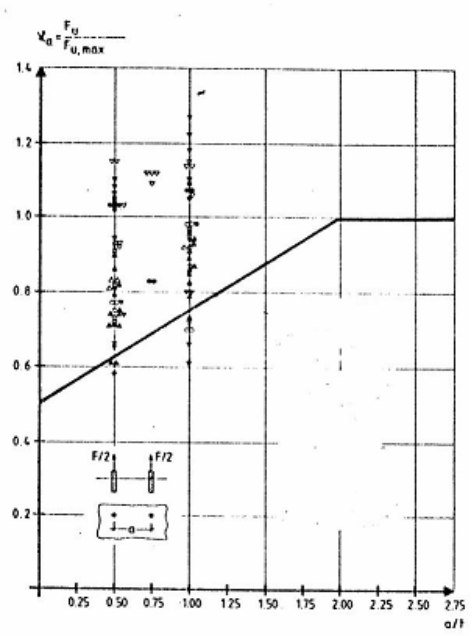
$$\chi_a = 0.5\left(1+\frac{a}{a_{krit}}\right) \le 1 \quad \textbf{(2.4)}$$

P_u; ankraj grubunun eksenel çekme kapasitesini, a ankrajlar arası mesafeyi, a_{krit} ankrajlar arası kritik mesafeyi, $P_{u,mak}$ tekil ankraj eksenel çekme kapasitesinin iki katını göstermektedir, Şekil 2.11.



Şekil 2.11: Çoklu Ankraj Sistemlerinde Beton Konilerinin Üst Üste Düşüşü [10]

Ankrajlar arası mesafenin ankraj dayanımına etkisi yapılan çiftli ankraj deneyleri sonucunda Eligehausen aşağıdaki grafikte vermiştir, Şekil 2.12. Düşey eksende tekil ankraj kapasitesinin iki katının deney sonuçlarından elde edilen çiftli ankrajın kapasitesine oranı yatayda ise ankrajlar arası mesafenin ankraj derinliğine oranı vardır. Grafikde de açıkça görüldüğü gibi ankrajlar arası mesafe ankraj derinliğinin iki katı olduğunda ankrajların birbirine etkisi en aza inmekte, grup olarak ekilen ankrajların herbirinin kapasitesi tekil ankraj kapasitesine denk gelmektedir.



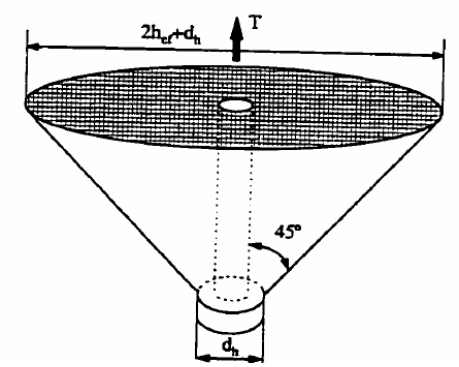
Şekil 2.12: Çiftli Ankraj Kapasitelerinin Ankraj Arası Mesafe ile Değişimi[10]

Eligehausen'ın bu koni modelinden sonra başka modeller de oluşturulmuş ve bu yeni modeller de uygulamada kullanılmaya başlamıştır. Ancak şimdiye kadar çok az sayıda yönetmelikte ankrajlar hakkında düzenlemeler yapılmıştır. Amerikan Beton Enstitüsünün çıkarmış olduğu ACI 349-97 [12] nükleer çalışmaların yapıldığı yapılar için yönetmelik olup; yönetmelik eklerinde ankraj tasarım ilkeleri yeralmaktadır. Koni Modelleri arasında, 45^{o}derecelik koni modelinin ACI 349'da (Appendix B (1997)) [12] yer alması ve bu modelin tasarımcıya sağladığı hesap kolaylığı yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır. Daha sonraki yıllarda geliştirilen CCD (concrete capacity design) metodu ile oluşturulan koni modelinin, dünya çapında yapılmış deneylere ait büyük bir veri tabanı kullanılarak incelenmiştir, [14]. Yapılan bu çalışmanın sonunda CCD metodu ile ACI 349'da verilen koni modelleri kıyaslanmış ve CCD metodunun deney sonuçlarına daha yakın değerler verdiği tesbit edilmiştir.

ACI 349'da [12] verilen 45° Koni Modelinde, ankrajın en alt noktasından başlayan, 45 derecelik tepe açısı ile beton yüzeyine doğru yayılarak ilerleyen beton koni hacmi yüzeyinde betonda oluşan çekme gerilmelerinin sabit olduğu kabul edilir (Şekil 2.13). Betonun çekme dayanımı basınç dayanımının karekökü ile orantılı olarak ifade edilir.

$$P_k = f_{ct} A_c \qquad \textbf{(2.5)}$$

Oluşan koninin yüzey alanı (A_c) ile alan boyunca sabit çekme gerilmelerinin (f_{ct}) çarpımı bize çekme kapasitesini (P_k) verecektir.



Şekil 2.13 : Koni Modeli (ACI 349, AppendixB) [12]

$$A_c = \frac{(2h_{ef} + d_h)\pi}{2} h_{ef} \cong \pi h_{ef}^2 \left(1 + \frac{d_h}{h_{ef}}\right) \qquad \textbf{(2.6)}$$

Konik göçme gözlemlenen ankrajların kapasitesi 45^o koni modeliyle

$$P_k = 0.96\sqrt{f_{cc}}\pi h_{ef}^2 \left(1 + \frac{d_h}{h_{ef}}\right) \qquad \text{(N)} \qquad \textbf{(2.7)}$$

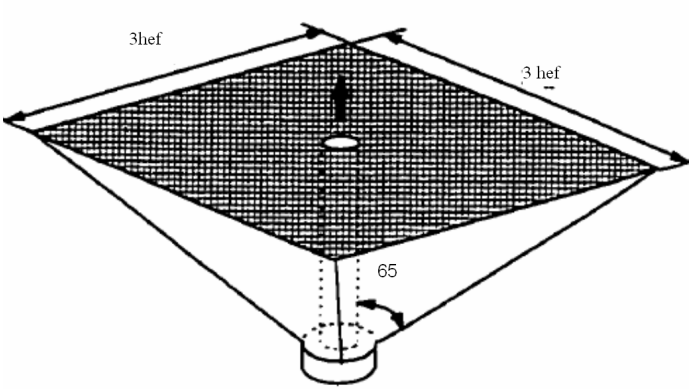
ifadesi ile hesaplanabilir. Denklemde geçen f_{cc} betonun küp basınç dayanımını (N/mm^2), h_{ef} efektif ankraj derinliğini (mm), d_h ise ankraj delik çapını (mm) ifade etmektedir.

Beton Kapasitesi Methodu (CCD Concrete Capacity Design) Eligehausen [14] tarafından Amerika ve Avrupa'dan toplanan 1200 adet çekip çıkarma deney sonuçlarının derlenip koni modeli ile değerlendirilmesi sonucu oluşturulmuştur. CCD metodunda oluşan göçme yüzeyi koni yerine taban açısı 35^o olan kare pramit olarak idealleştirilmiştir (Şekil 2.14). Yapılan geniş araştırma sonucu oluşan koninin beton yüzüne izdüşüm yüzey alanı, kenarları ankraj derinliğinin 3 katı olan kare şeklinde oluşmaktadır.

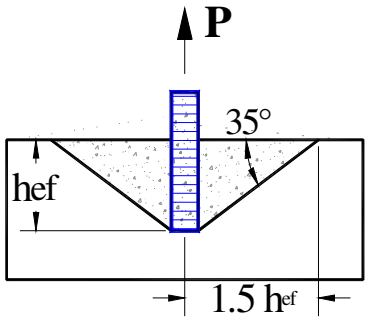
Beton konisi (CCD) gözlemlenen ankrajların çekme kapasitesi

$$P_c = k\sqrt{f_{cc}}h_{ef}^{1.5} \qquad \text{(N)} \qquad \textbf{(2.8)}$$

ifadesi ile tanımlanmıştır. Denklemde geçen k katsayısı uygulanan ankraj tipine göre farklı değerler almaktadır (mevcut betona sonradan ekilen ankrajlarda, post-installed, k=13.5).



Şekil 2.14 : Koni Modeli (CCD) [14]



Şekil 2.15 : Koni Kesiti (CCD)

2.7.2 Bağ Modelleri

Sıyrılma tipi göçme gözlenen ankrajların eksenel çekme kapasitelerinin hesabını yapabilmek için ankraj derinliği boyunca oluşan yapışma dayanımının iyi anlaşılabilmesi gerekir. Kimyasal ankrajlarda bağ gerilmelerinin ankraj boyunca dağılımı için iki farklı model önerilmiştir.

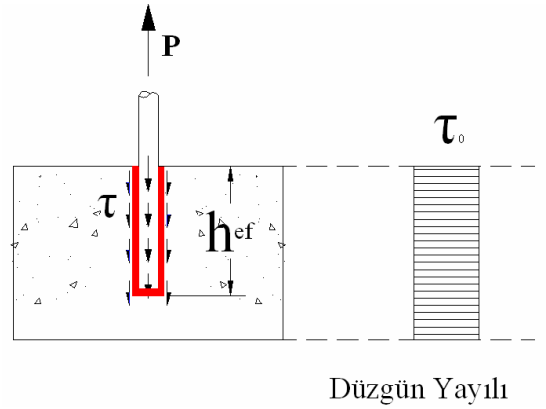
2.7.2.1 Düzgün Yayılı Bağ Modeli

Ankraj tasarımlarında düzgün yayılı (uniform) bağ gerilmeleri sıklıkla kullanılmaktadır. Ankraj bağlı derinliği boyunca oluşan bağ gerilmelerinin sabit bir değer aldığı, derinlikle değişmediği kabul edilir, Şekil 2.16. Düzgün yayılı bağ gerilmesi ankraj tasarımında sağladığı hesap kolaylığı bakımından pratikte en yaygın olarak kullanılan modeldir. Ankraja uygulanan yük sonucunda oluşan bağ gerilmelerinin ankraj delik yüzeyi boyunca toplamı uygulanan yüke eşittir.

Bu modele göre ankrajın çekme etkisi altındaki kapasitesi aşağıdaki ifade ile hesaplanır. Düzgün yayılı bağ gerilmesi $\tau_{0,}$ sıyrılmanın gözlendiği yükün ankrajın

bağlı bölgesinin yüzey alanına bölünmesi ile elde edilir. Denklemde geçen d ankraj donatı çapını, N_u ise ankraj çekme kapasitesidir.

$$N_u = \tau_o \pi d h_{ef} \qquad \textbf{(2.9)}$$



Şekil 2.16 : Düzgün Yayılı Bağ Modeli

Deneylerde alınan sonuçlara göre düzgün yayılı bağ modeli sığ ankraj derinliklerinde tutarlı sonuçlar vermektedir. Bu model beton konisi derinliği hakkında bilgi vermez. Bunun yanında derin ankrajlar için bu modelle belirlenen ankraj kapasitesinin üstünde değerler bulunmaktadır.

2.7.2.2 Elastik Teori

Cook'un 1993'te [8] önerdiği elastik bağ teorisinden bahsetmeden önce konunun daha rahat anlaşılabilmesi için Mustafa İnan'ın [15] Cisimlerin Mukavemeti kitabından bazı temel kavramlara değinilecektir.

2.7.2.2.1 Şekildeğiştirme Enerjisi

Bu bölümde bağ modellerinin daha iyi anlaşılabilmesi için Mustafa İnan'ın Cisimlerin Mukavemeti adlı eserinden faydalanılmıştır, [15].

Belli bir yük altında olan katı cisim şekildeğiştirir. Yükün uygulama noktasında oluşan yer değiştirmeler dolayısıyla, dış yük bir iş yapar. U_d ile gösterilen bu işe d*ış kuvvetlerin işi* denir.

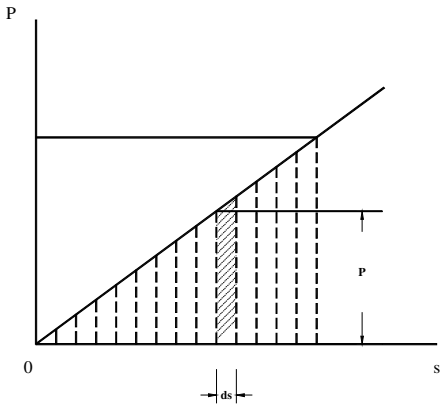
Elastik cisimler tarafından yutulan enerji, cismin içinde oluşan iç kuvvetlerin yaptığı şekildeğiştirmelerde kullanılır. İç kuvvetlere göre hesaplanan bu işe ise *iç kuvvetlerin işi veya şekildeğiştirme enerjisi* (U_i) denir. Enerji kaybının olmadığı durumlarda dış kuvvet enerjisi iç kuvvet enerjisine eşittir. Tam elastik cisimlerde cismin üzerindeki

yükün kaldırılması durumunda cisim şekildeğiştirmemiş ilk haline geri dönecektir. Yani şekildeğiştirme enerjisi olarak cisimde bulunan iş açığa çıkacaktır. Şekildeğiştirme enerjisine *elastik enerji* de denilmektedir.

Şekildeğiştirmeler; kuvvet ve yerdeğiştirmelerin sıfırdan başlayarak yavaş yavaş arttırılması ile hesaplanır. İş genel olarak, kuvvet (P) ve kuvvet doğrultusundaki yerdeğiştirmenin (s) çarpımı şeklinde ifade edilir. Kuvvet yolun bir fonksiyonu şeklinde verildiğinde P(s), $(0–s_0)$ aralığında yapılan iş aşağıdaki formülle hesaplanabilir.

$$U_d = \int_0^{s_o} P(s).ds \qquad \textbf{(2.10)}$$

İntegralle tanımlanan iş grafikte taralı alanla gösterilmiştir, Şekil 2.17.



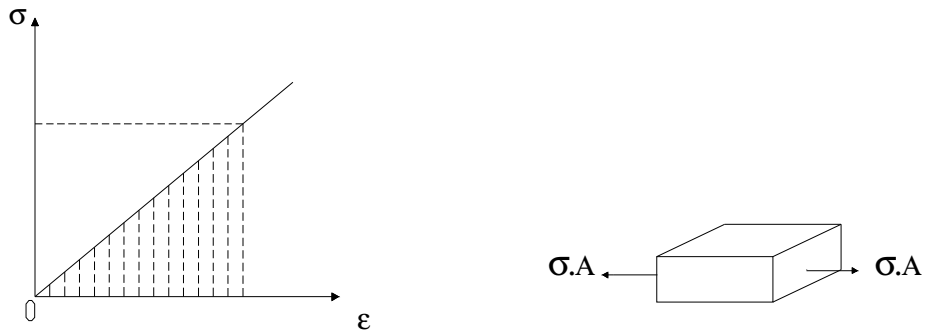
Şekil 2.17 : Kuvvet - Mesafe İlişkisinden Şekildeğiştirme İşinin Hesabı

Kuvvet ile yerdeğiştirme arasında doğrusal bir ilişki bulunması durumunda yapılan iş aşağıdaki denklemle hesaplanabilir.

$$U_d = \frac{1}{2} P_o s_0 \qquad \textbf{(2.11)}$$

Birim hacme ait enerji miktarı gerilme ve şekildeğiştirme hallerine bağlıdır. Bir eksenli gerilme haliyle zorlanmış homojen bir dikdörtgen prizmada σ gerilmeyi ε gerilme doğrultusundaki uzama oranını gösterirse birim hacme düşen enerji aşağıdaki bağıntıyla elde edilebilir (Şekil 2.18).

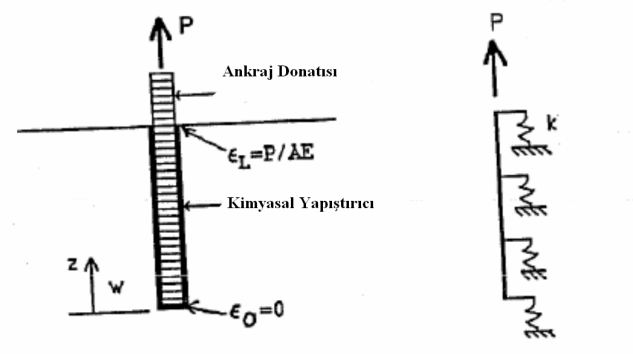
$$u_i = \frac{U_i}{V} = \frac{1}{2}\sigma.\varepsilon \qquad \textbf{(2.12)}$$



Şekil 2.18 : Bir Eksenli Gerilme ile Zorlanmış Dikdörtgen Plak

2.7.2.2.2 Elastik Bağ Teorisi

Kimyasal ankrajlarda ankraj derinliği boyunca oluşan bağ gerilmeleri Cook tarafından 1993'te elastik teori kullanılarak modellenmiştir, [8]. Elastik analiz beton-kimyasal arayüzünde oluşan bağ gerilmelerini dikkate alır. Sistemdeki toplam enerji aşağıdaki denklemle hesaplanır.



Şekil 2.19 : Elastik Teoride Ankraj Modeli [8]

i. Ankraj çubuğunun şekildeğiştirme enerjisi:

$$\Pi_{tr} = \frac{l}{2}\int_{o}^{l} \sigma.\varepsilon.A.dz \qquad \textbf{(2.13)}$$

Π_{tr} = Ankraj çubuğunun şekildeğiştirme enerjisi

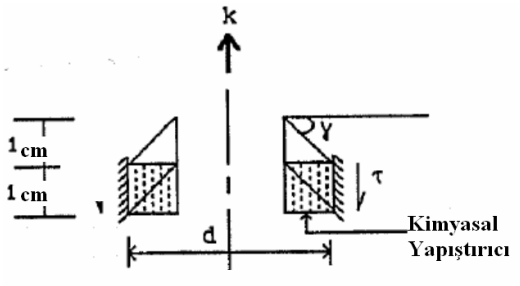
A= Ankraj kesit alanı — ε = Ankraj şekildeğiştirmesi

σ = Ankraj normal gerilmesi — l = Ankraj etkili boyu

$\varepsilon = \frac{dw}{dz} = w'$, $\sigma = E.\varepsilon = w'.E$ şeklinde ifade edildiğinde ankraj çubuğunun şekildeğiştirme enerjisi aşağıdaki denklem 2.14 deki gibi olur.

w = Ankraj eksenel yerdeğiştirmesi E = Ankraj çubuğunun elastisite modülü

$$\Pi_{tr} = \frac{\imath}{2}\int_0^l E.A(w')^2 dz \qquad \textbf{(2.14)}$$



Şekil 2.20 : Kimyasalın Kayma Rijitliği

ii. Epoksinin şekildeğiştirme enerjisi:

$$\Pi_a = \frac{\imath}{2}\int_0^l k(w)^2 dz \qquad \textbf{(2.15)}$$

Π_a = Epoksinin şekildeğiştirme enerjisi k = Epoksinin kayma rijitliği

iii. Dış Kuvvetlerin İşi

$$\Pi_e = -P.w(l) \qquad \textbf{(2.16)}$$

P = Ankraja uygulanan çekme kuvveti

iv. Toplam Enerji: Ankrajın enerjisini ankrajı oluşturan üç ana parçanın enerjisinin toplamı şeklinde ifade edersek:

$$\Pi_{tr} = \frac{1}{2}\int_0^l E.A(w')^2 dz + \frac{1}{2}\int_0^l k.w^2 dz - Pw(l) \qquad \textbf{(2.17)}$$

Toplam enerjinin türevi alındığında

$$w'' = \frac{k}{E.A} w = 0 \qquad \textbf{(2.18)}$$

Epoksinin kayma rijitliği yani epoksinin birim uzunluğunun kuvvet kapasitesi (k), aşağıdaki denklemden hesaplanabilir.

$$k = \tau.\pi.d \qquad \textbf{(2.19)}$$

τ = Epoksi kayma gerilmesi G = Kayma modülü γ = Birim kayma yerdeğiştirmesi

$$\tau = \gamma G \qquad \textbf{(2.20)}$$

$$\gamma = (1/t) \qquad \textbf{(2.21)}$$

$\tau = (G/t)$ denklemleri denklem 2.19'da yerine konulduğunda aşağıdaki denklem elde edililir.

$$k = \frac{G\pi d}{t} \qquad \textbf{(2.21)}$$

Kayma rijitliği 2.18 denkleminde yerine konulursa

$$w'' - \frac{G\pi d}{tEA} w = 0 \qquad \textbf{(2.23)}$$

diferansiyel denklemi elde edilir. Bulunan bu diferansiyel denklem çözülürse

$$w(z) = C_1 e^{\lambda} z + C_2 e^{-\lambda z} \qquad \textbf{(2.24)}$$

$\lambda = \sqrt{\frac{G\pi d}{tEA}}$ olarak belirlenirse ve denklemin çözümü için sınır koşullar yerine koyulursa,

$$w(z) = \left(\frac{P}{EA\lambda}\right)\frac{\cosh(\lambda z)}{\sinh(\lambda l)} \qquad \textbf{(2.25)}$$

l = Ankraj derinliği P = Uygulanan kuvvet

λ elastik sabiti; kimyasal yapıştırıcının ve betonun kesme rijitliğine ve ankraj çubuğunun rijitliğine bağlı bir parametre şekline (λ') dönüştürülürse;

$$\lambda = \sqrt{\frac{G\pi d}{tEA}} = \sqrt{\frac{4G\pi d}{tE\pi d^2}} = \sqrt{\frac{4G}{tEd}} \qquad \textbf{(2.26)}$$

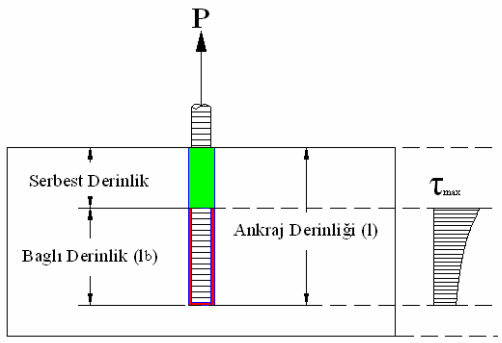
$$\lambda' = \lambda\sqrt{d} = \sqrt{\frac{4G}{tE}} \qquad \textbf{(2.27)}$$

$w(l) = t.\tau_{max} / G$ sınır koşulu ve λ' değeri 2.25 denkleminde yerine koyulup P denklemden çekilirse; uygulanan kuvvet aşağıdaki ifadeden hesaplanabilir.

$$P = \left(\frac{\pi \tau_{max} d^{1.5}}{\lambda'} \right) \tanh\left(\frac{\lambda' l}{\sqrt{d}} \right) \qquad \textbf{(2.28)}$$

2.7.2.2.3 Elastik Bağ Teorisinin Kısmi Bağlı Ankrajlara Uygulanması

Kısmi bağlı ankrajların ankraj derinliğinin üst kısmında bulunan serbest bölümü ankrajın çekme altındaki davranışında beton koni oluşmasını engeller. Bu nedenle kısmi bağlı ankrajlarda sıyrılma tipi göçme gözlenmektedir. Kısmi bağlı ankrajlarda ankraj-beton yüzeyinde oluşan yapışma dayanımı en yüksek değerini bağlı derinliğin en üst kısmında almaktadır (Şekil 2.21).



Şekil 2.21 : Kısmi Bağlı Ankrajlarda Bağ Gerilmesi

Cook elastik teorinin kısmi bağlı ankrajlara uygulaması için öncelikle maksimum yapışma dayanımını elde etmiştir, [8]. Kullanılan her bir kimyasalın maksimum yapışma dayanımını (τ_{max}) elde edebilmek için 5 cm derinliğinde sığ ankrajlar kullanılmıştır. Kısa ankraj derinlikleri için bağ kuvvetinin düzgün yayılı dağıldığı kabul edilebilir, çünkü elastik teoride çekme kapasitesi ifadesindeki tanjant hiperbolik değeri (tanh(x)) x in küçük değerleri için x'e yakınsar. Buradan yapışma dayanımı

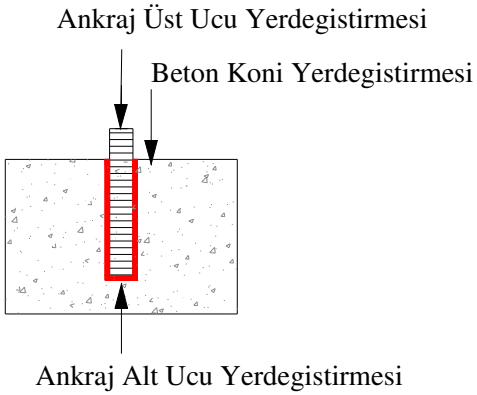
$$P = \pi \tau_{max} l_b d \qquad \textbf{(2.29)}$$

denklemi ile hesaplanabilir. İfadede geçen l_b ankrajın bağlı derinliğidir. Yapılan deneyin sonunda bulunan akrajın çekme kapasitesinden oluşan maksimum yapışma dayanımı hesaplanabilir. Elastik teoriye göre tanımlanan ankraj boyunca oluşan bağ kuvvetlerinin dağılımı yardımıyla kısmi bağlı ankrajların kapasitesi hesaplanabilir.

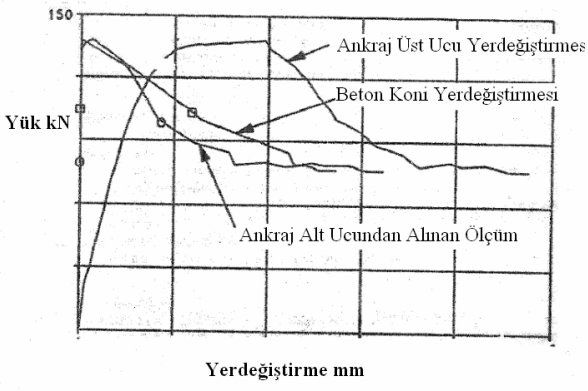
Kısmi bağlı ankrajlarda koni oluşumunun engellenmesi ve göçmenin yapışma dayanımının kaybedilmesi ile oluşumu, Cook'un yaptığı çalışmada kısmi bağlı ankraj detayını ankrajlarda oluşan bağ gerilmelerinin dağılımını rahat inceleyebilmek için kullanmasını sağlamıştır. Elastik teorinin çıkarılımı kısmi bağlı ankrajlarda yapılmıştır. Cook'un geliştirdiği elastik model daha önce yaygın olarak uygulanan modeller arasında gerçek davranışla en iyi örtüşen model olmuştur.

2.7.3 Beton Koni ve Sıyrılma Modelleri

Beton konisi ile sıyrılmanın birlikte gözlemlendiği göçme durumunda koninin mi sıyrılmanın mı önce oluştuğu tartışma konusu olmuştur. Luke (1985) önce sıyrılmanın sonrasında beton konisi oluştuğunu söylerken; Connon 1981 deki çalışmasında beton konisinin ardından sıyrılmanın oluştuğunu ifade etmiştir, [13]. Collins in 1989 daki çalışmasında beton üst yüzeyinden, ankraj çubuğunun en üst noktasından ve ankraj deliğinin en alt ucundan aldığı üç farklı ölçüm sonucu bu iki mekanizmanın aynı anda oluştuğunu göstermiştir, Şekil 2.22 [13].



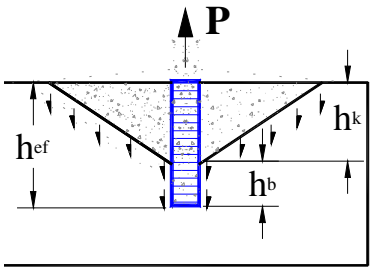
Şekil 2.22: Koni ve Sıyrılma Mekanizmasının Anlaşılması için Ölçüm AlınanYerler



Şekil 2.23: Yük-Yerdeğiştirme Grafiği [13]

Üç ayrı noktadan yerdeğiştirme ölçümleri alınan ankrajın yük-yerdeğiştirme grafiği Şekil 2.23'te verilmiştir. Ankraj donatısı uygulanan eksenel çekme etkisi altında akmıştır. Grafik incelendiğinde donatının elastik sınırlar içinde kaldığı yük değerine kadar (120 kN) yük yerdeğiştirme arasındaki ilişkinin yaklaşık doğrusal olduğu, bu değerden sonra donatının akmasıyla davranışın doğrusallıktan saptığı gözlemlenmektedir. Donatı alt ucundan alınan ölçümle belirlenen sıyrılmanın ve beton yüzeyinden alınan ölçümle belirlenen koni hareketinin yaklaşık göçme yükü olan 140 kN seviyelerine çıkmasıyla ani olarak oluştuğu Şekil 2.23'te görülmektedir. Sonuçta göçme yüküne kadar okunan toplam yerdeğiştirme yaklaşık olarak ankraj donatısının uzama miktarıdır.

Sıyrılma ve beton konisinin birlikte gözlemlendiği göçme tipinde her iki mekanizmanın aynı anda oluştuğu kabul edilerek ankraj kapasitesi koni modeli ile bağ modelinin toplamı şeklinde ifade edilmektedir.



Şekil 2.24: Koni ile Sıyrılma Birlikte Oluşması

$$P = P_{koni} + P_{sıyrılma} \qquad \textbf{(2.30)}$$

Sıyrılma ile beton konisinin birlikte gözlemlenildiği durumlarda farklı koni modelleri (CCD, 45^o koni modeli) ve sıyrılmanın katkısının göz önüne alındığı farklı bağ modelleri (elastik veya düzgün yayılı bağ modeli) esas alınabilir. Eligehausen'ın koni modeli ile düzgün yayılı bağ modelinin kombinasyonu ile çekme kapasitesi aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$P_u = 0.92 h_k^{\,2} \sqrt{f_c} + \tau\pi d (h_{ef} - h_k) \qquad \textbf{(2.31)}$$

Daha sonra Cook potansiyel koni derinliğini veren ifadeyi çekme kapasitesi denkleminin türevini alarak bulmuştur.

$$\frac{dP_u}{dh_k} = 0 \qquad h_k = \frac{\tau\pi d}{1.84\sqrt{f_c}} \qquad \textbf{(2.32)}$$

Elastik bağ teorisi kullanıldığında ankraj kapasitesi aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir.

$$P_u = 0.92 h_k^{\,2} \sqrt{f_c} + \tau_{\max} \pi d \left(\frac{d}{\lambda'} \tan \frac{\lambda' \left(h_{ef} - h_k \right)}{\sqrt{d}} \right) \qquad \textbf{(2.33)}$$

P_u: Ankraj eksenel çekme kapasitesi (N) $P_{sıyrılma}$: Sıyrılma yükü (N)

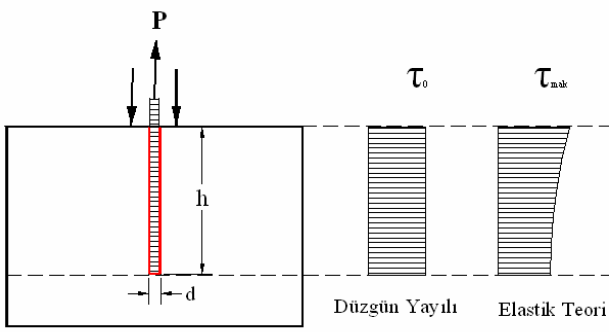
τ_{ort}: Ortalama yapışma dayanımı (MPa) h_{ef}: Efektif ankraj derinliği (mm)

f_c: Betonun standart silindir basınç dayanımı (MPa) d: Ankraj çapı (mm)

h_b: Sıyrılmanın olduğu derinlik (mm) h_k: Koni yüksekliği (mm)

2.7.3.1.1 Bağ Teorilerinin Karşılaştırılması

Kimyasal ankrajların tasarımında yaygın olarak kullanılan iki bağ modeli, düzgün yayılı ve elastik bağ teorileridir. Şekil 2.25'te her iki modelde de ankraj derinliği boyunca oluşan kayma gerilmelerinin dağılımı verilmiştir.



Şekil 2.25 : Bağ Modelleri

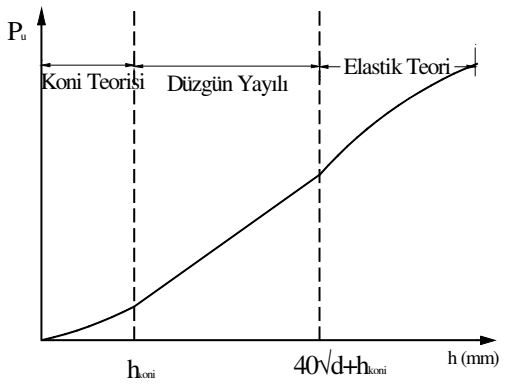
Modellerde kullanılan kapasite formüllerine **(2.9), (2.28)** bakıldığında elastik yöntem ile düzgün yayılı model arasındaki benzerlik göze çarpmaktadır. Elastik hesaptaki farklılık fark τ_0 yerine τ_{mak} kullanılması ve düzgün yayılı modeldeki h_{ef} terimi yerine parantez içindeki ifadenin yer almasıdır. Küçük χ değerlerinde tanh(χ) fonksiyonu χ'e yakın değerler verir. Bu da ankraj dayanımının yaklaşık olarak sığ ankrajlarda derinlikle orantılı olarak artarken derin ankrajlarda derinlikle doğru orantılı olarak artmadığının göstergesidir.

Elastik katsayı λ' ise ankrajın yük-yerdeğiştirme eğrisinin eğimi olan rijitliktir. Cook deneysel olarak 16 farklı kimyasal yapıştırıcının bağ gerilmelerinin bulunması için kapsamlı bir çalışma yürütmüş ve bağ gerilmelerinin kullanılan kimyasala göre

farklılık gösterdiğini, ankraj rijitliğinin yapışma dayanımı az olan ankrajlarda küçük olduğunu görmüştür. Yapılan çalışmanın sonucu olarak $40\sqrt{d}$ dan daha derin ankrajlarda elastik modelin kullanılması daha uygun sonuçlar verirken, $40\sqrt{d}$ den sığ ankrajlarda uygulaması daha pratik olan düzgün yayılı bağ modelinin kullanılabileceğini açıklanmıştır, [13]. Elastik teoriye göre belli bir ankraj derinliğinden itibaren ankraj derinliğinin arttırılması ankraj kapasitesini arttırmayacaktır.

Cook çalışmasının sonunda kimyasal ankrajların tasarımı ile ilgili önerilerde bulunmuştur, [13]. Cook'un ankraj tasarımında verdiği öneriler adım adım şöyledir:

- Denklem **(2.32)** yardımıyla ankrajda oluşabilecek koni derinliği bulunur.
- Oluşabilecek potansiyel koni derinliğinden az derinlikli ankrajlarda koni teorisi kullanılarak eksenel çekme kapasitesi hesaplanır.
- Koni yüksekliğinden daha derine ekilen ankrajlarda koni ve sıyrılmanın birarada görüldüğü göçme tipi söz konusu olur.
- Ankraj derinliği koni yüksekliği ile $40\sqrt{d}+h_k$ arasında ise bağ kuvveti hesabında düzgün yayılı yapışma dayanımı kullanılabilir (koni+sıyrılma). Uygulamada sıklıkla kullanılan ankrajlar bu gruba girmektedir.
- Ankraj derinliği $40\sqrt{d}+h_k$'den büyük ise bağ kuvveti hesabında elastik teori kullanılabilir (koni+sıyrılma).



Şekil 2.26 : Ankraj Tasarım Önerileri

Ankraj derinliğinin üç ana kısımdan hangi aralığa düştüğü tespit edilerek (sığ, orta derinlikte, derin ankrajlar) ve her malzemeye ait yapışma dayanımları yapılan deneyler sonucu saptandıktan sonra (τ_0, τ_{mak}, λ') verilen tasarım önerilerine göre ankrajın eksenel çekme dayanımı saptanabilmektedir, [13].

3. MALZEME ÖZELLİKLERİ

3.1 Giriş

Yapıların onarım ve güçlendirilmesinde kullanılan kimyasal ankrajların bu çalışma kapsamında üretilen numuneleri, beton kalitesi ülkemizdeki mevcut yapıların genel durumunu temsil etmek üzere deneylerin yapıldığı esnadaki standart silindir basınç dayanımı yaklaşık 12.7 MPa olan düşük dayanımlı beton bloklar üzerinde yerleştirilmiştir. Kimyasal ankraj eksenel çekme deneyleri donatısız ve çatlamamış beton bloklar üzerinde yapılmıştır. Ankraj çubukları olarak nervürlü beton çeliği (S420a) kullanılmış, ankraj çubuk çapı ise 16 mm (Φ16) seçilmiştir. Ankraj çubuklarının aynı özellikleri göstermeleri için, aynı anda üretilmiş olan 12 m'lik donatı bağlarından 120 cm boyunda kesilerek ankraj çubukları hazırlanmıştır. Ankrajların ekiminde piyasada sık kullanılan kimyasal yapıştırıcı (Concresive 1406, Epoksi Esaslı Tamir, Montaj ve Ankraj Harcı, BASF) kullanılmıştır.

Bu bölüm kapsamında eksenel ankraj çekme deneylerinde kullanılan malzemelerin üretici firmalardan elde edilen genel özellikleri ile İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı Malzemesi Laboratuarında yapılan malzeme deneyleri sonuçları sunulmuştur.

3.2 Beton

Kimyasal ankrajların üzerlerine sonradan yerleştirileceği 7 adet beton bloğun 125x250x(25-30-35) cm boyutlarındaki kalıpları İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuarında hazırlanmıştır, Şekil3.1. Hazırlanan kalıplara betonun yapışmasını engellemek ve düzgün yüzeyli beton blok yüzeyi elde edebilmek için YKS Yapol marka mineral yağ esaslı kalıp ayırıcı malzeme

kullanılmıştır. Lafarge Beton tarafından üretilen 8 m^3 hazır beton 04.08.2006 tarihinde bantlı mikser yardımıyla (Konveyör bantlı mikser) tek seferde dökülmüştür. Laboratuar kapısının sınırlı yüksekliği ve genişliği düşülnüldüğünde bantlı mikser döküm esnasında kolaylık sağlamıştır, Şekil3.2.





Şekil 3.1: Beton Kalıpları

Şekil 3.2: Bantlı Mikser ile Beton Dökümü

Betonun kıvamını akışkanlaştırmak amacıyla beton dökümü sırasında; Chryso plast 602 LB tipi beton akışkanlaştırıcı ilave edilmiş, böylece sabit su/çimento oranında daha yüksek işlenebilirlik sağlanmıştır. Betonun kalıplara iyi yerleştirilmesini sağlamak amacıyla vibratör kullanılmış sonrasında beton yüzeyleri maslarlanıp çelik mala ile ince tesviye yapılmıştır Şekil 3.4 ve Şekil 3.5. Yeni dökülmüş beton blokların yüzeylerine Masterkure 107 su ve parafin esaslı kür malzemesi püskürtülerek, malzemenin içinde bulunan parafin sayesinde beton yüzeyinde film tabakası oluşturularak hava ile temas kesilmiş betonun bünyesinde bulunan suyun buharlaşması engellenmiştir, Şekil 3.6.





Şekil 3.3: Betonun Kalıplara Yerleştirilmesi





Şekil 3.4: Vibratör Uygulaması **Şekil 3.5:** Beton Plakların Yüzey Düzeltmesi



Şekil 3.6: Betona Kür Uygulanması

Üretici firmadan alınan beton özellikleri Tablo 3.1'de, beton karışımı ise Tablo 3.2'de verilmiştir. Su/çimento oranı 0.9 olan karışımın 28 günlük standart silindir basınç dayanımı 9 MPa olarak bulunmuştur.

Tablo 3.1: Üretici Firmadan Alınan Beton Özellikleri

Beton Adı :	C 14 C0003
Çevresel Etki Sınıfı :	X0
Basınç dayanımı Sınıfı :	C 14 / 16
Çimento Sınıfı ve Tipi :	PÇ 42.5
Max. Tane Çapı :	22
Kıvam Sınıfı :	S 3
Su / Çimento :	0.9
Klor İçeriği Sınıfı :	CL 0.10

Tablo 3.2: Üretici Firmadan Alınan Beton Karışımı

Çimento (kg/m^3)	Kırma Kum (kg/m^3)	Kum (kg/m^3)	Kırmataş I (kg/m^3)	Kırmataş II (kg/m^3)	Su (kg/m^3)	Akışkanlaştırıcı (kg/m^3)
155	647	437	477	581	140	1.22

Farklı yaşlardaki betonun mekanik özelliklerini belirlemek üzere döküm sırasında alınan ve beton bloklarla aynı şartlar altında saklanan 20 adet standart silindir (150x300 mm) numune hazırlanmıştır. Taze betonun işlenebilme özelliklerini saptamak için iki adet çökme deneyi yapılmıştır. Çökme deneyi için, çökme konisi (üst çapı 10 cm, alt çapı 30 cm, yüksekliği 30 cm) üç eşit aşamada doldurulmuş ve her tabaka 25 defa çelik çubuk ile şişenmiştir. Çökme konisi yavaşça çekilerek iyi yerleştirilen taze betonun kendi ağırlığı altındaki çökmesi ölçülmüştür. Çökme deneyinden elde edilen çökme değerleri aşağıdaki Tablo 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.7: Çökme Deneyleri

Tablo 3.3: Taze Beton Çökme Deneyi Sonuçları

Deney No	I	II
Çökme (mm)	65	95

Betona ait malzeme özelliklerini belirleyebilmek için beton dökümünü takip eden 28., 90. ve 180. günlerde; standart silindir basınç deneylerinde 3'er adet, yarma deneylerinde ise 4'er adet numune ile; İTÜ, Yapı Malzemeleri Laboratuarında malzeme deneyleri yapılmıştır.

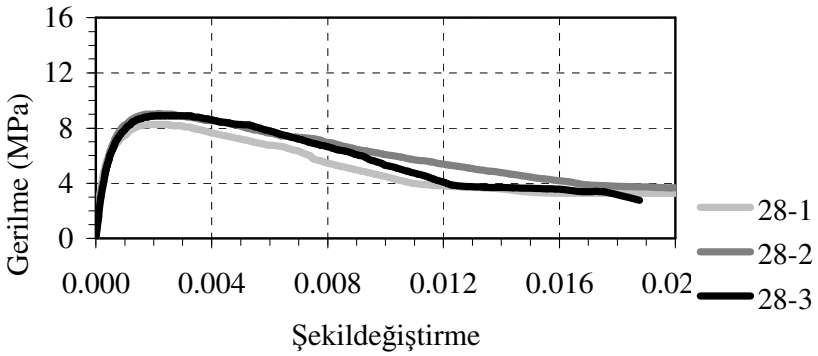
Standart silindir deneylerinde; gerilme-şekildeğiştirme ilişkisinin belirlenebilmesi için yerdeğiştirmeleri ölçen TML CM-15 tipi ölçümçerçevesi (kompresometre) kullanılmıştır. Bu çerçeveye bağlı TML CDP-5 tipi 2 adet yerdeğiştirmeölçer; basınç tablalarının yerdeğiştirmesini ölçmek amacıyla da TML CDP-25 tipi iki adet yerdeğiştirmeölçer kullanılmıştır, Şekil 3.8.



Şekil 3.8: Standart Silindir Deneyleri

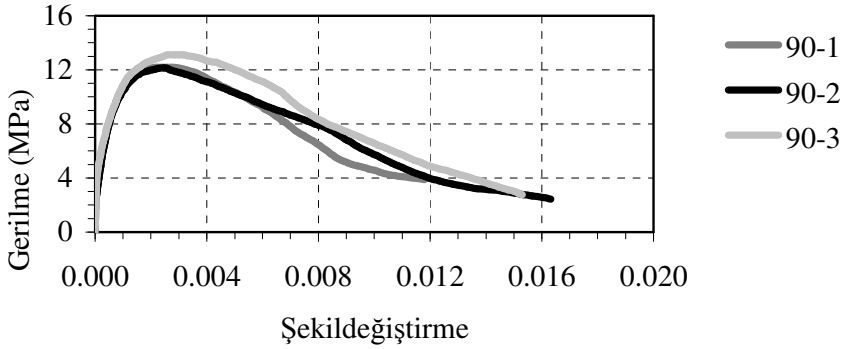
28, 90 ve 180 günlük beton numunelerinin standart silindir numune testinden elde edilen gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri sırası ile Şekil 3.9, Şekil 3.10 ve Şekil 3.11'de verilmiştir.

.



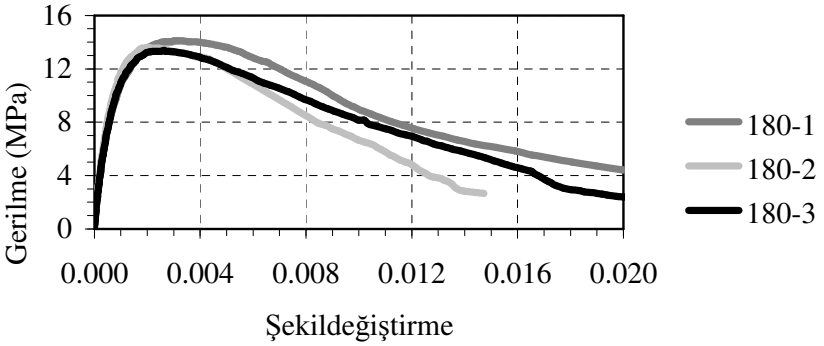
Şekil 3.9: 28 Günlük Betonun Standart Silindir Basınç Deneyi Sonuçları

.



Şekil 3.10: 90 Günlük Betonun Standart Silindir Basınç Deneyi Sonuçları

.



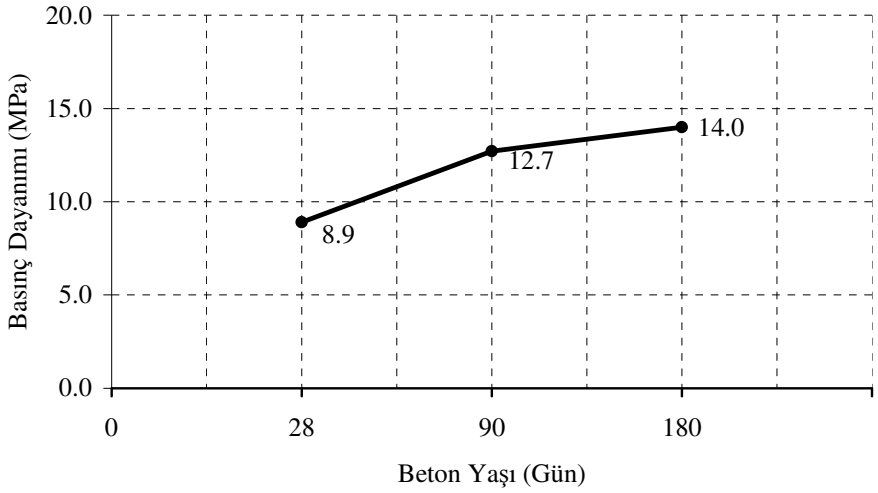
Şekil 3.11: 180 Günlük Betonun Standart Silindir Basınç Deneyi Sonuçları

Tablo 3.4'de farklı yaşlarda basınç deneyine tabi tutulan silindir numuneleri için deney sonuçları verilmiştir. Bu tabloda; standart silindir basınç dayanımları (f'_c), beton elastisite modülleri (E_c) ve bu değerlerin ortalamaları gösterilmektedir.

Şekil 3.12'de ise beton basınç dayanımının zamana bağlı değişimi verilmiştir.

Tablo 3.4: Beton Silindir Dayanımları

Standart Silindir	Beton Yaşı (Gün)	Basınç Dayanımı f'_c (MPa)	Ort. Basınç Dayanımı $f'_{c,ort}$ (MPa)	ElastisiteModülü E_c (MPa)	Ort. Elastisite Modülü $E_{c,ort}$ (MPa)
28-1	28	8.4	8.9	12900	12500
28-2	28	9.2		13100	
28-3	28	9.1		11500	
90-1	90	12.4	12.7	15000	14900
90-2	90	12.4		14600	
90-3	90	13.4		15100	
180-1	180	14.4	14.0	14000	15300
180-2	180	13.9		16100	
180-3	180	13.6		15900	



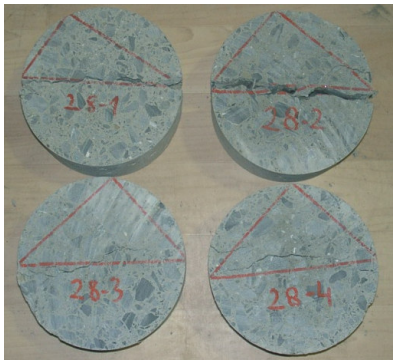
Şekil 3.12: Beton Basınç Dayanımının Zamana Göre Değişimi

Betonun çekme dayanımı dolaylı yoldan yarma deneyi ile elde edilmiştir. Yarma deneyleri için bir silindir numune, dört dilime ayrılmış, çapları (D) doğrultusunda silindire çizgisel basınç yükü uygulanmıştır. Standart silindir numunenin dörde

bölünmesiyle elde edilen diskleri ortadan yaran göçme yükü (P_{maks}) tespit edilerek, yarma deneyi yoluyla çekme dayanımları bulunmuştur.

$$f_{cts} = 2\ P_{maks}/(\pi.D.l) \qquad \textbf{(3.1)}$$

Bu denklemde; f_{cts} betonun yarma çekme dayanımını, P yarma yükünü, D silindir çapını (standart yarma silindirleri için 150 mm), l ise disk boyunu simgelemektedir.





Şekil 3.13: Yarma Deneyleri

Silindir yarma deneylerinden elde edilen çekme dayanımları Tablo 3.5'de gösterilmektedir. f_{ctm} deneylerden elde edilen ortalama çekme dayanımını gösterir.

Betonun karekteristik eksenel çekme dayanımı TS 500'de (Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları) verilen formülle hesaplanabilir [16].

$$f_{ctk} = 0.35\sqrt{f_{ck}} \quad \text{(MPa)} \qquad \textbf{(3.2)}$$

Beton çekme dayanımı eğilme ve silindir yarma deneylerinden elde edilebilir. Eksenel çekme dayanımı f_{ctk}, silindir yarma deneyinden elde edilen çekme dayanımını 1.5 ile bölerek yaklaşık biçimde hesaplanabilir, [16].

TS500 yönetmeliğinde "j" günlük betonun elastisite modülünün hesabı için aşağıdaki denklem verilmiştir.

$$E_{cj} = 3250\sqrt{f_{ckj}} + 14000 \qquad \textbf{(3.3)}$$

Tablo 3.5: Beton Çekme Dayanımları

Standart Silindir	Beton Yaşı	Yarma Yükü	Disk Yüksekliği	Çekme Dayanımı	Ort. Çekme Dayanımı
	(Gün)	P_{maks} (kN)	l (mm)	f'_{cts} (MPa)	$f'_{ctsm,ort}$ (MPa)
28-1	28	16.8	60	1.2	1.27
28-2	28	16.6	60	1.2	
28-3	28	20.8	62	1.4	
28-4	28	18.2	59	1.3	
90-1	90	26	60	1.8	1.76
90-2	90	25	63	1.7	
90-3	90	23	60	1.6	
90-4	90	26	59	1.9	
180-1	180	28	63	1.9	1.86
180-2	180	23	60	1.6	
180-3	180	28	60	2.0	
180-4	180	27	59	1.9	

Yarma deneylerinden elde edilen ortalama çekme dayanımlarının 1.5'a bölünmesi ile yaklaşık olarak eksenel çekme dayanımları (f_{ctkm}) hesaplanmıştır. Bulunan eksenel çekme dayanım değerleri ve deneysel olarak elde edilen elastisite modülü değerlerinin; TS 500 de verilen ampirik denklemler kullanılarak elde edilen değerlerlerle karşılaştırılması Tablo 3.6 da verilmiştir.

Tablo 3.6: Deneysel Verilerin TS500 Göre Hesaplanan Değerlerle Karşılaştırılması

Beton Yaşı (Gün)	Elastisite Modülü (TS 500) E_{cj} (MPa)	Elastisite Modülü (Deney Sonuçları) E_{cj} (MPa)	Ort. Çekme Dayanımı (TS 500) $f'_{ctk,ort}$ (MPa)	Ort. Çekme Dayanımı (Deney Sonuçları) $f'_{ctkm,ort}$ (MPa)
28	23697	12522	1.04	0.85
90	25588	14903	1.25	1.17
180	26146	15360	1.31	1.24

3.3 Ankraj Çubukları

Yapılan eksenel çekme deneylerinde tek tip ankraj çubuğu kullanılmıştır. Farklı çapta ve nervür yapısındaki donatıların ankraj performansına etkisi bu çalışma kapsamında incelenmemiştir. Deneylerde kullanılan ankraj çubuklarınının aynı özelliklere sahip olmalarına özen gösterilmiş, aynı bağ içindeki 12 m uzunluğundaki S420a kalitesindeki beton çeliğinden 120 cm uzunluğunda parçalar kesilerek hazırlıklar tamamlanmıştır. Böylece donatıların aynı mekanik özelliklere ve nervür yapısına sahip olması sağlanmıştır. Kullanılan ankraj çubuğu çapı 16 mm (Φ 16) dir.

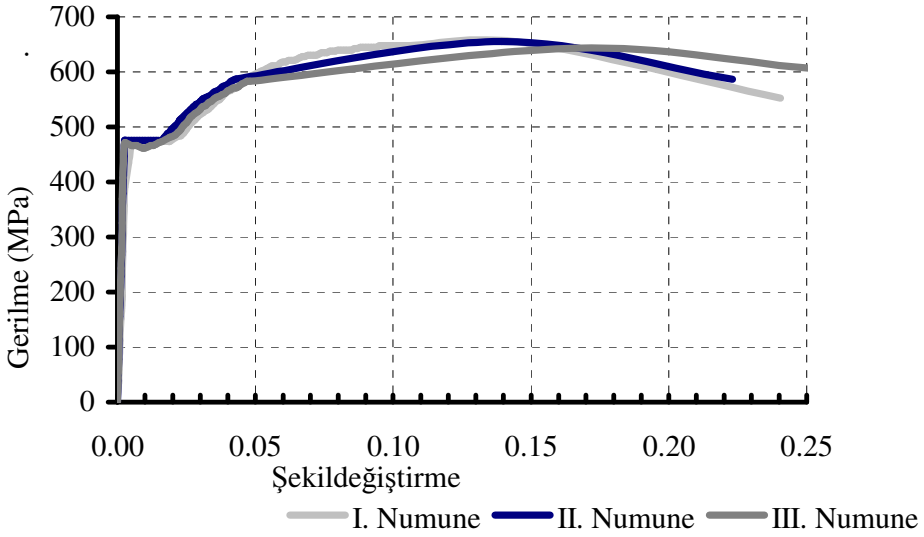
Çelik çekme deneyleri İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuarında 20 t kapasiteli Amsler mekanik çekme cihazı kullanılarak yapılmıştır. Şekil 3.14'de çelik çekme deney düzeneğine ait resim verilmiştir.



Şekil 3.14 Eksenel Çelik Çekme Deneyi

Çekme deneyi için üç numune yaklaşık 80 cm boyda kesilmiş ve numune üzerine 1'er cm aralıklarla çentik koyularak işaretleme yapılmıştır. Donatılar nervürlü olduğu için numunenin gerçek çapı; numune boyu ve ağırlığı hassas şekilde ölçülerek hesaplanır. Deney esnasında okunan yük değerleri, numunenin gerçek çapı kullanılarak hesaplanan kesit alanına bölünerek gerilme değerleri elde edilir. Deneylerde deney düzeneğine alt ve üst uçlarından tuturulan numunenin tam orta bölgesine takılan yerdeğiştirmeölçer yardımı ile her yük okumasına karşılık yerdeğiştirme okumaları yapılmıştır. Deney esnasında numunenin aldığı maksimum

yük mekanik çekme cihazından okunabilmektedir. Numunenin maksimum yüküne ve kopma yüküne karşı gelen şekildeğiştirme değerleri daha önce numuneler üzerine 1'er cm arayla konulmuş olan çentikler yardımıyla hesaplanır. Elde edilen yük yerdeğiştirme ilişkisinden donatının gerilme birim şekildeğiştirme grafiği (σ-ε) elde edilmiştir. Donatı numunelerine ait çelik çekme deneyinden elde edilen gerilme şekildeğiştirme (σ-ε) grafiği 3.15'de verilmiştir.



Şekil 3.15: Donatı Çekme Deneylerine Ait Gerilme – Şekildeğiştirme Grafikleri

Tablo 3.7′de çekme deneyinde elde edilen donatı özellikleri verilmiştir. Tabloda sırası ile ε_{sy} donatının akma birim uzamasını, ε_{su} kopma birim uzamasını, ε_{smaks} en büyük uzama değerini, f_{sy} donatı akma dayanımını, f_{su} kopma dayanımı, f_{maks} en büyük çekme dayanımını göstermektedir.

Tablo 3.7: Donatı Çekme Deneyleri Test Sonuçları Dayanım Değerleri

Çelik Donatı	Gerçek Çap (mm)	Akma Yükü F_{sy} (kN)	Akma Dayanımı f_{sy} (MPa)	Ortalama Akma Dayanımı $f_{sy,ort}$ (MPa)	Maksimum Yük F_{maks} (kN)	Maksimum Dayanım f_{maks} (MPa)	Kopma Yükü F_{su} (kN)	Kopma Dayanımı f_{su} (Mpa)	Ort Kopma Dayanımı $f_{su,ort}$ (MPa)
Numune I	16.0	95	474	472	131	652	111	552	582
Numune II	16.1	96	475		132	655	119	587	
Numune III	16.0	94	466		130	643	123	607	

Tablo 3.8: Donatı Çekme Deneyleri Test Sonuçları Şekildeğiştirme Değerleri

Çelik Donatı	Elastisite Modülü Es (MPa)	Ortalama Elastisite Modülü $E_{s,ort}$	Akma Şekildeğiştirmesi ε_{sy}	Ortalama Akma Şekildeğiştirmesi $\varepsilon_{sy,ort}$	Pekleşme Şekildeğiştirme ε_{sh}	Ort Pekleşme Şekild $\varepsilon_{sh,ort}$	Kopma Şekildeğiştirmesi $\varepsilon_{so,ort}$	Ortalama Kopma Şekildeğiştirmesi $\varepsilon_{su,ort}$
Numune I	200300	199000	0.002	0.002	0.146	0.15	0.237	0.23
Numune II	190500		0.002		0.136		0.220	
Numune III	203500		0.002		0.163		0.248	

3.4 Kimyasal Yapıştırıcı

Ankrajların üretiminde kullanılan ve ankrajın performansını doğrudan etkileyen temel malzemelerden biri de kullanılan kimyasal yapıştırıcıdır. Kimyasal yapıştırıcının mekanik özellikleri ankrajın kapasitesini ve göçme tipini doğrudan etkilemektedir.

Ankrajların üretiminde iki bileşenli (A ve B bileşeni) epoksi esaslı kimyasal yapıştırıcı kullanılmıştır. Bu iki bileşenli sistemde birinci bileşen epoksi reçine (A bileşeni), diğeri ise sertleştiricidir (B bileşeni). Ankrajların uygulamasında BASF Yapı Grubunun güçlendirme uygulamalarında sıklıkla kullandığı bir ürün olan Concresive 1406, epoksi esaslı, tamir, ankraj ve montaj harcı kullanılmıştır.



Şekil 3.16: Uygulanan Epoksi Bazlı Kimyasal Yapıştırıcı

Epoksi reçinelerinin yüksek çekme ve basınç dayanımları, betona ve çeliğe yüksek aderansları, kolay uygulanabilir olmaları onları avantajlı hale getirir. Concresive 1406 uygulamasında bileşenler ağırlıkça %75 A + %25 B oranında bir mekanik karıştırıcı yardımıyla 3 dakika süreyle homojen hale gelene kadar karıştırılır. Karışım hazırlandıktan sonra donma süresi 50 dakikadır, bu süre içerisinde uygulama tamamlanmalıdır. Üretici firma tarafından malzemeye ait verilen özelliklerin başında, malzemenin betona ve çeliğe yüksek yapışma sağlayabilmesi, kimyasallara karşı dayanıklı olması, nemli yüzeylere aderansı yeralmaktadır. Tablo 3.9'da Concresive 1406 epoksi esaslı tamir harcına ait üretici firmanın verdiği teknik özellikler mevcuttur.

Tablo 3.9: Concresive 1406 Epoksi Bileşenli Tamir Harcının Teknik Özellikleri

Malzeme Yapısı	
CONCRESIVE® 1406 Bileşen A	Epoksi Reçine
CONCRESIVE® 1406 Bileşen B	Epoksi Sertleştirici
Karışım oranı (Ağırlıkça)	Bileşen A : %75 Bileşen B : %25
Karışım oranı (Hacimce)	Bileşen A : %74 Bileşen B : %26
Karışım Yoğunluğu	1.70 ± 0.05 kg/lt
Basınç Dayanımı (20°C)	30 MPa (1 gün) 75 MPa (7 gün)
Eğilme Dayanımı (20°C)	17 MPa (1 gün) 25 MPa (7 gün)
Yapışma Dayanımı (Betona)	3.0 MPa (7 gün)
Yapışma Dayanımı (Çeliğe)	3.5 MPa (7 gün)
Uygulama Kalınlığı	Min. 2 mm Maks. 30 mm
Uygulamada Zemin ve Ortam Sıcaklığı	+5°C - +30°C
Tava Ömrü	20°C'de 50 dakika
Tam kürlenme	20°C'de 7 gün
Yeniden kaplanabilme zamanı	18-24 saat
Servise Açılma Süresi	Yaya ve hafif araç trafiğine 24 saat; Ağır yükleme için 7 gün
Servis Sıcaklığı	-15°C - +90°C

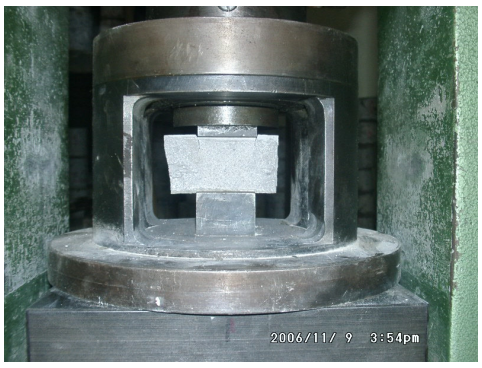
Kullanılan kiyasal yapıştırıcının mekanik özelliklerinin ankraj dayanımına etkisini gözlemleyebilmek için; farklı zamanlarda yapılan her ankraj ekiminde hazırlanan epoksi karışımından 4x4x16 cm boyutlarında prizma numuneler alınmıştır. Alınan numunelerin İTÜ, Yapı Malzemeleri Laboratuarında yapılan deneylerle; eğilme etkisi altında çekme dayanımları ve basınç dayanımları tespit edilmiştir.



Şekil 3.17: Kimyasal Yapıştırıcının Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesinde Kullanılan Numuneler



Şekil 3.18: Epoksi Numunesi Eğilme Deneyi



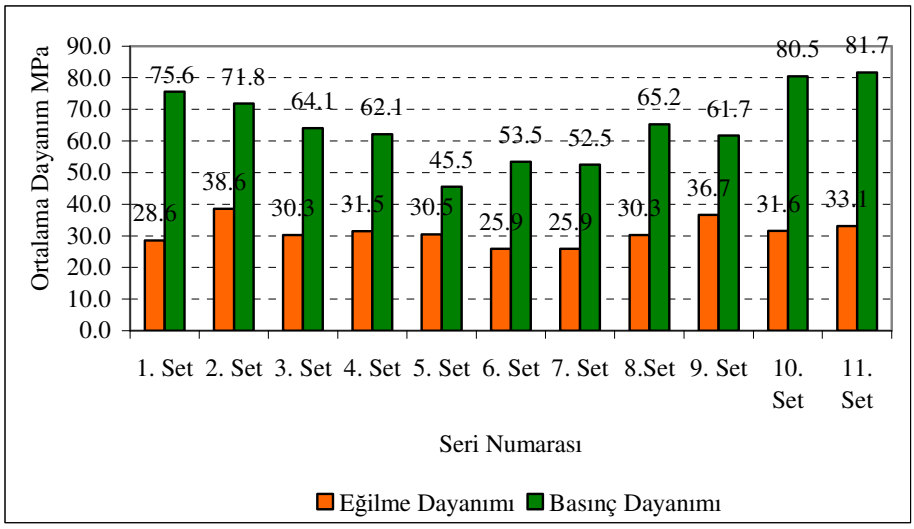
Şekil 3.19: Epoksi Numunesi Basınç Deneyi

Değişik ankraj ekim zamanlarında hazırlanan epoksi karışımından alınan numuneler ile, farklı kür sürelerinde yapılan deneylerde [17], elde edilen malzeme dayanımları Tablo 3.10'da verilmiştir.

Tablo 3.10: Epoksi Prizma Numuneleri Deney Sonuçları

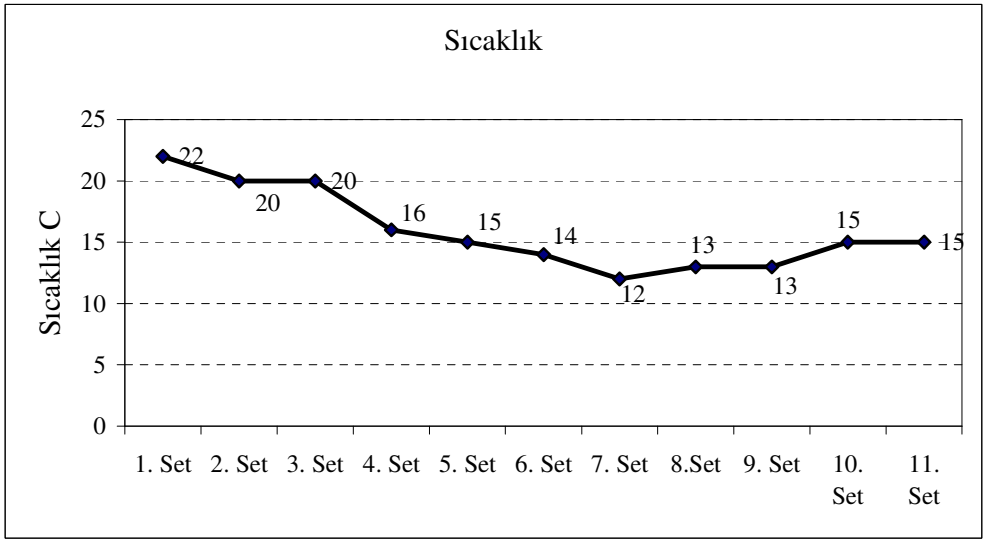
			Eğilme Deneyleri		Basınç Deneyleri	
Seri No	Numune Adı	Kür Süresi (Gün)	Eğilme Dayanımı (MPa)	Ort. Eğilme Dayanımı (MPa)	Basınç Dayanımı (MPa)	Ort. Basınç Dayanımı (MPa)
1	Numune 1.1	8	30.5	28.6	75.9	75.6
	Numune 1.2	8	26.5		79.1	
	Numune 1.3	8	28.8		71.9	
2	Numune 2.1	8	33.8	38.6	71.6	71.8
	Numune 2.2	8	42.2		72.8	
	Numune 2.3	8	39.8		70.9	
3	Numune 3.1	8	29.8	30.3	63.8	64.1
	Numune 3.2	8	30.8		64.4	
4	Numune 4.1	8	33.4	31.5	62.2	62.1
	Numune 4.2	8	29.9		62.5	
	Numune 4.3	8	31.1		61.6	
5	Numune 5.1	8	31.4	30.5	45.6	45.5
	Numune 5.2	8	28.9		45.3	
	Numune 5.3	8	31.1		45.6	
6	Numune 6.1	8	25.7	25.9	51.9	53.5
	Numune 6.2	8	28.6		54.4	
	Numune 6.3	8	23.3		54.1	
7	Numune 7.1	8	27.0	25.9	51.1	52.5
	Numune 7.2	8	24.1		54.0	
	Numune 7.3	8	26.7		52.4	
8	Numune 8.1	11	29.5	30.3	63.8	65.2
	Numune 8.2	11	27.6		58.8	
	Numune 8.3	11	33.8		73.1	
9	Numune 9.1	28	38.4	36.7	62.2	61.7
	Numune 9.2	28	36.1		62.1	
	Numune 9.3	28	35.5		60.9	
10	Numune 10.1	8	31.6	31.6	79.0	80.5
	Numune 10.2	8			82.0	
11	Numune 11.1	8	34.0	33.1	76.5	81.7
	Numune 11.2	8	30.5		83.0	
	Numune 11.3	8	34.7		85.5	

Şekil 3.20, aynı karışımdan alınan numunelerin ortalama dayanımlarının farklı deney setlerindeki değişimini göstermektedir.

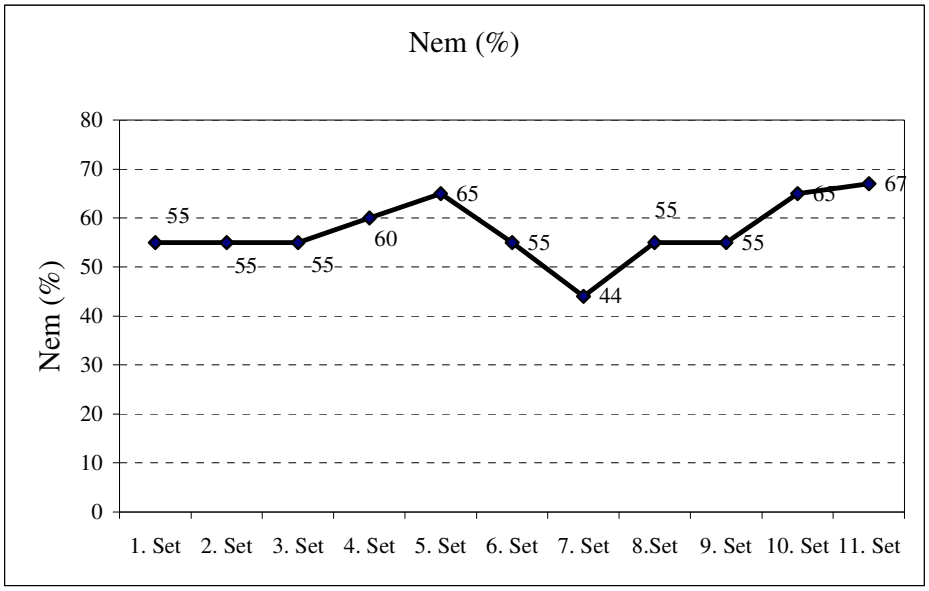


Şekil 3.20: Epoksi Numunelerinin Ortalama Dayanımları

Ankraj ekiminde hazırlanan aynı karışımdan alınan her prizma epoksi numune setleri için 7 günlük kür süresi boyunca ortalama ortam sıcaklık ve nem değerleri Şekil 3.21 ve 3.22'de verilmiştir.



Şekil 3.21: Epoksi Numunelerinin Kür Süresinde Ortalama Ortam Sıcaklığı



Şekil 3.22: Epoksi Numunelerinin Kür Süresinde Ortalama Ortam Nemi

4. DENEYSEL PROGRAM

4.1 Giriş

İTÜ Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuarında yapılan deneysel çalışmalar kapsamında güçlendirme çalışmalarında yaygın olarak kullanılan kimyasal ankrajların çekip çıkarma deneyleri yapılmıştır. Şimdiye kadar laboratuarda yapılan iki deneysel çalışmanın devamı niteliğinde yapılan bu çalışmanın [4, 5] yeni eklenen ankraj verileri ile birlikte kapsamı biraz daha arttırılmıştır. Her ankraj numunesine ait yük-yerdeğiştirme eğrisi, göçme tipi, eksenel yük kapasitesi belirlenmiştir.

Çalışmanın bu bölümünde deney parametrelerinden, deney düzeneğinden, ankraj numunelerinin üretim aşamalarından bahsedilecektir.

4.2 Deney Parametreleri

Kimyasal ankrajların eksenel çekme etkisindeki davranışlarını ve kapasitelerini; ankrajın geometrik özelliklerinin yanında (ankraj derinliği, donatı çapı, delik çapı, ankrajlar arası mesafe), ankrajı oluşturan malzemelerin mekanik özellikleri (beton kalitesi, donatı akma dayanımı, kimyasal yapıştırıcı özellikleri) de etkiler. Yapılan deneysel çalışmanın kapsamını sınırlamak için ankraj uygulaması tek tip ankraj donatısı, taban betonu ve kimyasal yapıştırıcı ile yapılmıştır. Ankraj donatısı olarak güçlendirme çalışmalarında betona yeni eklenen kolon ya da perde filizlerinde sıklıkla kullanılan 16 mm çapında (Φ16), S420a kalitesinde nervürlü beton çeliği seçilmiştir. Ankrajların ekildiği taban plaklarında ise ülkemizdeki mevcut betonarme yapı stoğunu temsil etmesi amacıyla düşük kalitede beton kullanılmıştır (deneyler sırasındaki basınç dayanımı 12.7 MPa). Ankraj ekimleri Basf Yapı Kimyasalları Aş tarafından üretilen piyasada yaygın olarak kullanılan iki bileşenli epoksi amin kimyasal yapıştırıcı kullanarak yapılmıştır.

Çalışma kapsamında ankraj üretiminde dört farklı detayın ankrajın davranışı üzerindeki etkilerini araştırmak üzere yaklaşık 85 adet çekip çıkarma deneyi yapılmıştır.

Bu çalışma kapsamında ankraj davranışı üzerinde etkileri araştırılan başlıca dört parametre aşağıdaki gibidir:

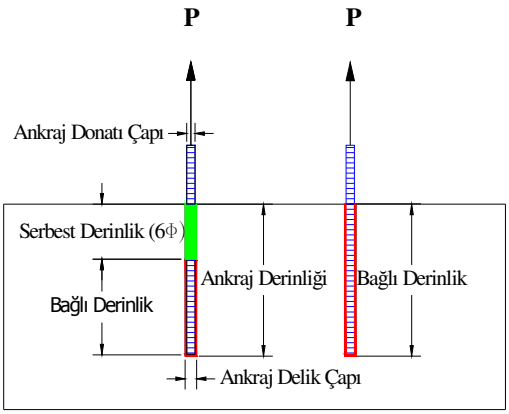
- Farklı ankraj derinliklerinin etkisi
- Ankraj delik temizliğinin etkisi
- Nem etkisi
- Farklı ankraj uygulama detaylarının davranış üzerindeki etkileri (tam ve kısmi bağlı ankrajlar)

Ülkemizde mevcut betonarme binaların güçlendirme çalışmaları esnasında yaygın olarak uygulanan kimyasal ankraj derinliklerinde ankraj donatısının akma dayanımına erişip erişemediğini gözlemleyebilmek için; sıklıkla kullanılan ankraj derinlikleri gözönüne alınarak, çalışmada 6Φ, 8Φ, 10Φ ve 12Φ (ankraj donatı çapının 6, 8, 10, 12 katı) derinliklerinde tam bağlı ankrajlar uygulanmıştır. Ankraj derinliği ankraj performansını etkileyen en önemli değişkenlerden biridir ve bu çalışma kapsamında ankraj derinliğinin davranış üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Ankraj donatısı ile beton arasındaki yapışmayı etkileyen başlıca etkenler yapışma yüzeyinin pürüzlülüğü ve yüzey temizliğidir. Ankraj dayanımına temas yüzeyinin etkisini daha iyi anlayabilmek için iyi temizlenmiş, tozu atılmış, tozlu, nemli ve ıslak olmak üzere beş farklı yüzey koşulu altındaki ankraj deliklerine ankraj imalatları yapılmıştır. Ülkemizde ankraj uygulamaları esnasında üretici firmaların tavsiyeleri yeterince dikkate alınmamakta ve düşük kalitede işçilik uygulanabilmektedir. Ankraj deliklerinin temizlenmesinde yeterli özenin gösterilmemesi durumunda ankraj performansında oluşabilecek değiştiği gözlemlemek amacıyla, yüzey temizliği çalışma esnasında bir parametre olarak seçilmiştir. Üretici firmaların genellikle nemli ve ıslak yüzeylerde kimyasal yapıştırıcı uygulamalarını tavsiye etmemelerine rağmen bazı uygulamalarda ıslak ve nemli yüzeylere ankraj yapılması gerekebilmektedir (yeraltı su seviyesi altında kalan temeller). Islak ve nemli yüzeylere yapılan uygulamalarda ankraj performansındaki değişimi gözlemlemek için nem etkisi de çalışmada bir parametre olarak seçilmiştir.

Çekip çıkarma deneylerinde tam ve kısmi bağlı ankraj olmak üzere iki farklı ankraj detayı kullanılmıştır. Ankraj uygulamalarında sıklıkla kullanılan tam bağlı ankraj detayında; mevcut betona açılan ankraj derinliği boyunca ankraj donatısı kimyasal yapıştırıcı yardımıyla betona sabitlenir. Böylece ankraja etkiyen kuvvet tüm ankraj derinliği boyunca oluşan aderans gerilmeleri ile betona aktarılır. Kısmi ankraj detayında ise; betona açılan ankraj deliğinin tüm yüksekliği boyunca ankraj donatısı betona yapıştırılmayıp, derinliğin üst kısmındaki belli bir mesafede ankraj donatına yapıştırılan bir malzeme ile donatının betonla teması kesilir. Donatının betonla temasının olmadığı ankraj derinliğinin üst kısmındaki bu bölgeye serbest ankraj derinliği denilecektir (Şekil 4.1). Kısmi bağlı ankrajlarda betona yük aktarımı serbest bölgenin altında bulunan bağlı derinlik boyunca olmaktadır.

Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda kısmi bağlı ankraj detayı köprü mesnetlerinde ve kimyasal bağlı ankrajların ankraj derinliği boyunca oluşan aderans gerilmelerinin dağılımını incelemek üzere kullanılmıştır [13]. Bu çalışma kapsamında ise kısmi bağlı ankrajlar güçlendirme çalışmalarında sıklıkla kullanılan tam bağlı ankrajlara bir alternatif olarak sunulmuştur.



Şekil 4.1: Tam Bağlı ve Kısmi Bağlı Ankraj Detayı

Çalışma kapsamında yapılan tam bağlı ankraj deneylerinde ve daha önce İTÜ Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuarında aynı kimyasal yapıştırıcı ile yapılan deneysel çalışmada [4] beton konisi ile sıyrılmanın birlikte oluştuğu göçme tipinde beton konisinin derinliğinin 80 mm ile 90 mm arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Daha öncede bahsedildiği gibi oluşan koni derinliği sadece beton çekme dayanımına, yani beton kalitesine bağlıdır. Ankraj çekip çıkarma deneyleri benzer kalitede beton üzerinde yapılmıştır. Üç temel malzemeden oluşan (kimyasal yapıştırıcı, ankraj donatısı, taban betonu) kimyasal ankrajların ülkemizde yapılan güçlendirme çalışmaları için en zayıf noktası mevcut yapıların beton kalitesi düşünüldüğünde

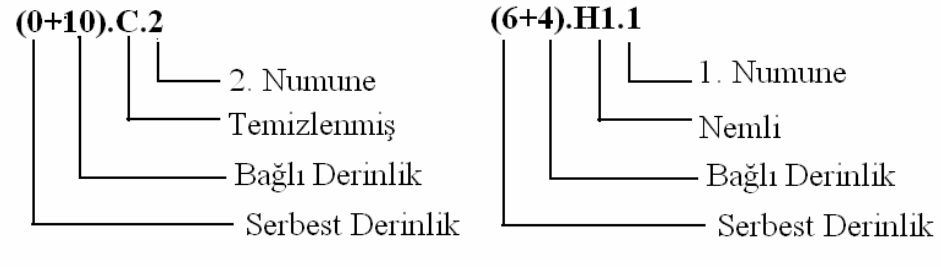
taban betonudur. Güçlendirme çalışmalarında sıklıkla uygulanan tam bağlı ankrajlar genel olarak betonun konik olarak göçmesi ile dayanımlarını kaybederler. Ankrajların göçme tipleri eksenel çekme kapasitelerini ve davranışlarını değiştirmektedir. Çalışma esnasında tam bağlı ankraj tipine alternatif olarak üretilen kısmı bağlı ankraj detayı ile varılmak istenen nokta; beton kalitesi düşük olan yapılarda yapılan uygulamalar dikkate alınarak, göçme tipini beton konisinden donatının akmasına ya da sıyrılma tipine çevirmektir. Kısmi bağlı ankrajlarda beton konisi oluşumunu engellemek için ankraj serbest derinliği, potansiyel koni yüksekliği düşünülerek 96 mm (6Φ) olarak seçilmiştir. Kısmi bağlı ankrajlarda betona yük iletimi potansiyel koni derinliğinin altındaki noktadan başladığından ankrajın kapasitesine ulaşması konik göçmeden dolayı olmamış, dolayısıyla eksenel yük kapasitesi artmıştır. Kısmi bağlı ankrajların deneylerinde serbest derinlik 6Φ ile sabit tutulmuş, bağlı derinlik ise 4Φ, 6Φ, 8Φ ve 10Φ olmak üzere farklı uzunluklarda uygulanmıştır. Bağlı derinliği 10Φ'den derin ankrajlarda ankraj donatısının kopması ile göçmenin oluşacağı tesbit edilmiş, daha derin ankraj detayları deney programına katılmamıştır.

Uygulanan her bir farklı kısmi bağlı ankraja ait referans yapışma dayanımını elde edebilmek için referans çekme deneyleri yapılmıştır (confined tests). Çalışma esnasında farklı ankraj deliği yüzey koşulları altında referans bağ dayanımlarının elde edilebilmesi için ankraj donatısının hemen yanına mesnetlenen deney düzeneği ile çekip çıkarma deneyleri yapılmıştır. Bu deney düzeneği ile ankraj tam sıyrılma ile kapasitesine ulaşır ve göçmenin yapışma dayanımının sona ermesi nedeniyle gerçekleşmesi referans yapışma dayanımların elde edilmesine olanak sağlar. Gerçekte tipik bir ankraj uygulamasında eksenel çekme bu şekilde oluşmayacaktır. Sonuçta yapılan referans deneyler çalışma kapsamında uygulanan farklı etki altındaki ankrajların yapışma dayanımları arasındaki karşılaştırmanın yapılabilmesi için kullanılmıştır. Deney düzeneği ile ilgili detaylı bilgi bölüm 4.3'te verilmiştir.

Deney programında aşağıda tanımlanan setler kapsama alınmıştır.

1. 6Φ, 8Φ, 10Φ, 12Φ derinlikte ekilmiş tam bağlı ankraj deneyleri
2. (6+4)Φ, (6+6)Φ, (6+8)Φ, (6+10)Φ derinlikte ekilmiş farklı yüzey hazırlıkları uygulanmış kısmi bağlı ankraj deneyleri
3. (6+4)Φ, (6+6)Φ, (6+8)Φ, (6+10)Φ derinlikte ekilmiş farklı yüzey hazırlıkları uygulanmış kısmi bağlı ankraj referans deneyleri

Numuneler için sistematik bir adlandırma yapılmıştır. Numune adları üç ana parçadan meydana gelmektedir. Birinci parça ankraj derinliği hakkında bilgi verir ve ankraj serbest derinliği ile bağlı derinliğinin toplamı şeklinde ankraj donatısının katı cinsinden ifade edilmiştir (bağlı derinlik + serbest derinlik), (6+4)Φ gibi. Tam bağlı ankrajlarda ankraj derinliğinin tümü bağlı olduğundan serbest derinlik sıfır; kısmi bağlı ankrajlarda ise serbest derinlik sabit olduğu için 6Φ olarak verilmiştir. Numune adlarının ikinci parçası ise ankraj delik yüzey koşulları hakkında bilgi verir. Tam temizlenmiş ankraj delik yüzeyleri için **C** (Clean), sadece basınçlı hava ile tozu atılmış yüzeyler için **D1** (Dust1), temizlenmemiş yüzeyler için **D2** (Dust2), nemli yüzeyler için **H1** (Humid1) ve son olarak ıslak delik yüzeyleri için ise **H2** (Humid2) simge olarak kullanılmıştır. Tamamen aynı özelliklere sahip ankraj numunelerinden çalışma boyunca üçer adet denenmeye özen gösterilmiştir. Nunume isminin son parçası ise aynı özelliklere sahip ankrajlar arasında kaçıncı numune olduğunu göstermektedir (Şekil 4.2).



a. Tam Bağlı Numuneler **b.** Kısmi Bağlı Numuneler

Şekil 4.2: Numunelerin Sistematik Olarak Adlandırılması

Sistematik ankraj isimlendirilmesi için aşağıda örnekler verilmiştir.

(0+10).C.2: 0Φ serbest, 10Φ bağlı derinlikte ekilmiş, ankraj deliği temizlenmiş tam bağlı ankrajların ikincisidir.

(6+4).H1.1: 6Φ serbest, 4Φ bağlı derinlikte ekilmiş, nemli ankraj deliğine ekilmiş kısmi bağlı ankrajların ilkidir.

(6+8).D2.ref3: 6Φ serbest, 8Φ bağlı derinlikte ekilmiş, temizlenmemiş ankraj deliğine ekilerek yapılmış kısmi bağlı ankrajların referans deneylerinin üçüncüsüdür.

Tablo 4.1 deneysel çalışma kapsamında yapılan deney setlerini ve her bir parametre için incelenen numune sayısını göstermektedir.

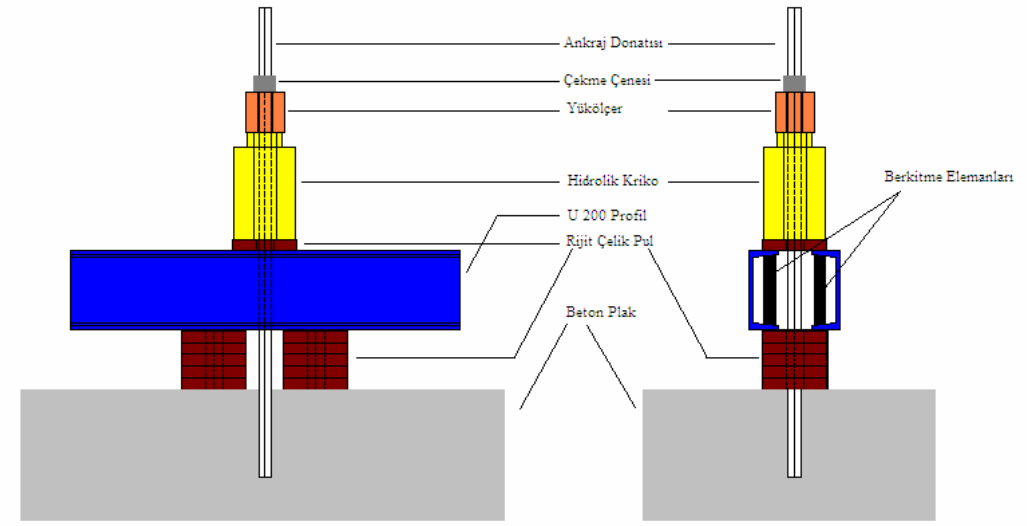
Tablo 4.1: Deneysel Çalışmadaki Ankraj Numuneleri

				ASTM Standartına Göre					Referans Dayanım				
Ankraj Tipi	Ankraj Derinliği (Φ)			Ankraj Deliği Yüzey Koşulları					Ankraj Deliği Yüzey Koşulları				
	Toplam Derinlik	Bağlı Derinlik (Φ)	Serbest Derinlik (Φ)	Temiz	Az Temiz	Tozlu	Nemli	Islak	Temiz	Az Temiz	Tozlu	Nemli	Islak
Kısmi Bağlı	(6+4)	6	4	3	3	3	3	3	4	3	3	3	2
	(6+6)	6	6	4	-	-	-	3	4	-	-	-	3
	(6+8)	6	8	4	3	3	-	-	4	3	3	3	-
	(6+10)	6	10	3	-	-	-	-	3	-	-	-	-
Tam Bağlı	(0+6)	0	6	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	(0+8)	0	8	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	(0+10)	0	10	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	(0+12)	0	12	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-

4.3 Deney Düzeneği

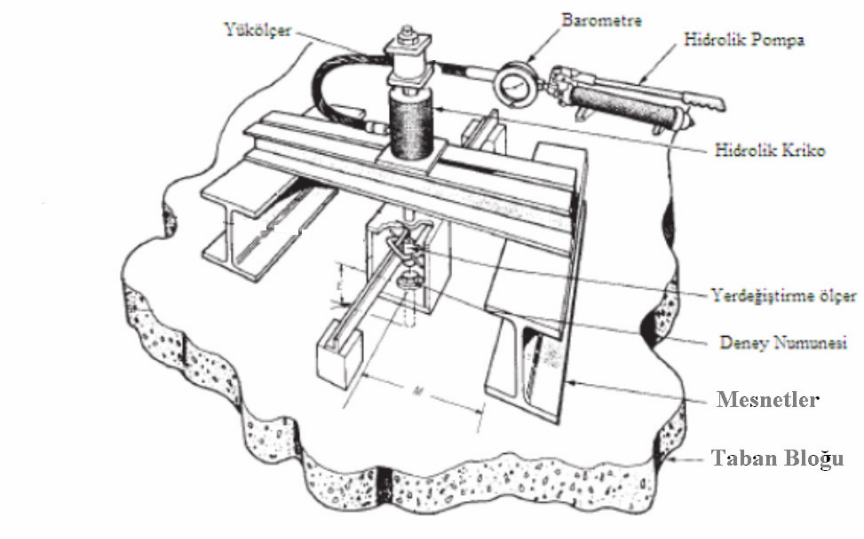
Çalışma kapsamında kimyasal ankrajların eksenel çekme altındaki davranışının belirlenebilmesi için gerçek ankraj davranışının gözlemlendiği ve referans yapışma dayanımının elde edildiği iki tip deney için iki farklı düzenek hazırlanmıştır.

Ankrajların referans yapışma dayanımlarını farklı ankraj derinliği, delik yüzey temizliği ve nemi altında elde edebilmek için deney düzeneği ankraj donatısının 30 mm yakınına mesnetlendirilmiştir. Bu sayede tüm numuneler için koni oluşumu önlenmiş, yapışma dayanımının kaybedilmesi sonucu ankrajda sıyrılma gözlemlenmiştir. Deney düzeneği, ankrajın 30 mm yakınına konumlandırılan kare çelik blokların üzerine yerleştirilen çelik U profillerle teşkil edilmiştir. Referans deneylerde kullanılan deney düzeneği Şekil 4.3'te verilmiştir.



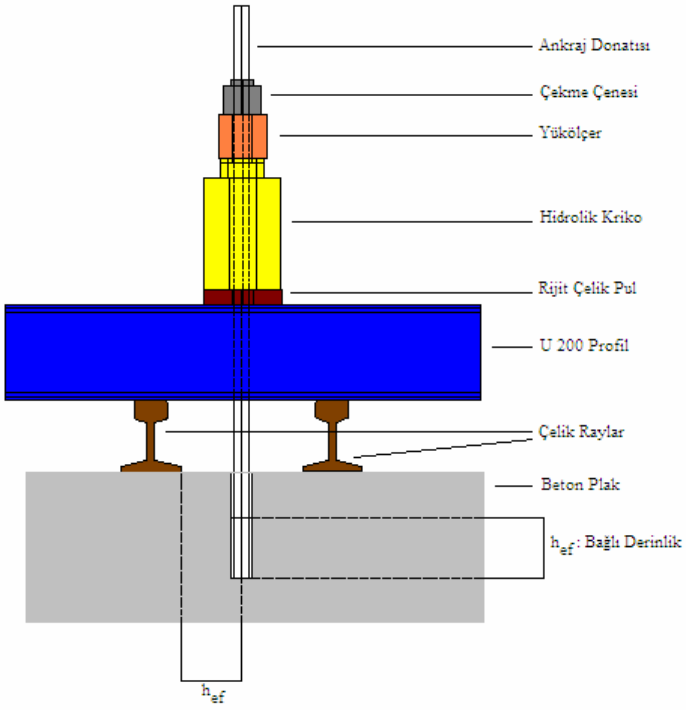
Şekil 4.3: Referans Deneylerinde Kullanılan Düzenek

Gerçek bir ankraj davranışını temsil eden deneyler ise ASTM E488 Standartına uygun olarak tasarlanmıştır [11], Şekil 4.4. Ankrajlar arası mesafe ASTM E488'e göre tasarlanmış bu sayede ankrajların birbirine olan etkisi ve deney düzeneğinin deney sonucuna etkisi minimuma indirilmiştir. Oluşan konilerin üst üste düşmesi ve oluşan çatlaklardan dolayı ankraj kapasitelerinin etkilenmesi önlenmiştir. Deney düzeneği, mesnet temiz açıklığı ankraj etkili deriliğinin iki katı kadar olacak şekilde konumlandırılmıştır. Ankraj taban betonu üzerine düzeneğe mesnetlik yapan çelik profiller ankrajdan yeterli uzaklıkta konumlandırıldıktan sonra, iki çelik U profil bu mesnetlerin üzerine otutturulur.

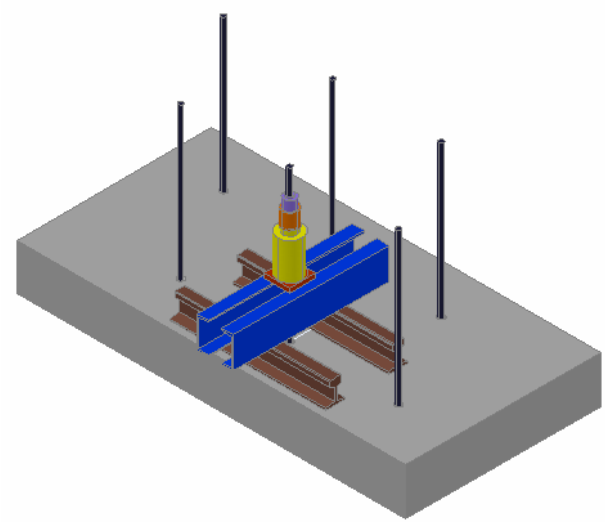


Şekil 4.4: ASTM E488'de Verilen Eksenel Çekme Deney Düzeneği

Şekil 4.5'de ankraj davranışının belirlenmesi için ASTM E488'e uygun olarak tasarlanmış deney düzeneği verilmiştir. Ankraj numunelerine yük 200 ton kapasiteli ortası delik hidrolik kriko ile uygulanmıştır. Elektrikli pompa yardımı ile oluşturan hidrolik basınçla krikonun, üst ucundan çene ile sıkıştırılan ankraja eksenel kuvvet uygulaması sağlanmıştır. Uygulanan yük değerleri hidrolik krikonun hemen üstüne yerleştirilen CLC-50 AS-D tipi, 50 ton kapasiteli delikli yükölçerle tespit edilmiştir.



Şekil 4.5: Deney Düzeneği



Şekil 4.6: Deney Düzeneğinin Üç Boyutlu Görünümü

Yükleme hızının sabit tutulmasına özen gösterilmiştir. Ankrajların eksenel yük altında yaptıkları yerdeğiştirmeler donatıya, beton yüzeyi hizasında kelepçe ile tutturulmuş ufak korniyerden alınmıştır. Yerdeğiştirme değerleri CDP-50 tipi, 50 mm kapasiteli yerdeğiştirmeölçer (displacement transducer) ile tespit edilmiştir. Ankrajlardan alınan rölatif yerdeğiştirme ölçümleri, çekim esnasında oluşabilecek olası hasardan etkilenmeyecek bir bölgede referans düzlemden alınmıştır. Ankraj donatısının her iki yanına eşit uzaklıkta yerleştirilen iki yerdeğiştirmeölçerden alınan verilerin ortalamaları hesaplarda kullanılmştır. Deney esnasında ölçülen yerdeğiştirme çekme etkisi altında ankrajın bağlı derinliği boyunca oluşan sıyrılma ile yerdeğiştirmeölçerin altındaki bölgede bulunan serbest ankraj boyu boyunca ankraj donatısının uzama miktarının toplamıdır. Deney esnasında yükölçer ve yerdeğiştirmeölçer ile okunan değerler TML TDS-303 tipi veri toplayıcı (datalogger) ile elektronik olarak kaydedilmiş ve toplanan veriler bilgisayar yardımı ile işlenmiştir. Deney yapılacak ankraj donatısı düzeneğe yerleştirildikten sonra eksenel yük sabit hızla etkitilmiştir. Hidrolik krikonun stroku bitene kadar yüklemeye ara vermeden devam edilmiş, stroke bittiğinde ise yük aynı hızla boşaltılıp düzenekte gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra ankraj tekrar yüklenmiştir. Numuneden alınan yük ve yerdeğiştirme ölçümleri numune kapasitesine eriştiğinde kesilmemiş ankraj taşıma gücünün büyük kısmını kaybedene kadar veri alınmıştır. Böylece her numuneye ait yük – yerdeğiştirme eğrileri ve eksenel yük kapasiteleri elde edilmiştir.

Çekip çıkarma deneylerinde kullanılan yükleme ve ölçüm sistemlerinin resimleri Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7: Deney Yükleme ve Ölçüm Sistemi

4.4 Ankrajların Üretilmesi

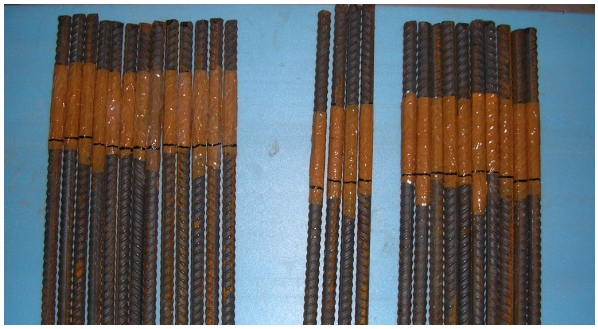
Deney öncesi ankraj numunelerinin üretimi üç aşamada gerçekleşmektedir. Öncelikle numunenin donatısı hazırlanır. İkinci aşama taban betonuna ankraj deliklerinin delinip delik temizliklerinin yapılmasıdır. Sonrasında ankrajın açılan deliğe kimyasal yapıştırıcı kullanarak ekilmesi ile numune üretimi tamamlanır.

4.4.1 Ankraj Donatılarının Hazırlanması

Ankraj donatılarının aynı mekanik özelliklere ve nervür yapısına sahip olması için aynı anda üretilmiş donatı demetinden; uygulanacak en derin ankraj derinliği ve deney düzeneğinin yüksekliği düşünülerek uygun boyda kestirilerek hazırlanmıştır.

Kısmi bağlı ankrajlarda donatının alt ucundan bağlı bölgenin uzunluğu belirlenir. Bağlı bölgenin uzunluğunun bittiği noktadan itibaren ankrajın serbest bölgesinin uzunluğu kadar bölgede donatının betonla temasını kesecek bir ara eleman (debonding agent) donatıya yapıştırılır. Ankraj donatılarının alt ucundan toplam ankraj derinliğinin ölçüsü alınıp donatı üzerine işaret koyularak, uygulama esnasında

yapılabilecek hatalar engellenmiş olur. Şekil 4.8'de serbest bölgeleri ara bağ elemanı ile oluşturulmuş, üç farklı derinlikte kısmi bağlı ankraj detayı görülmektedir.



Şekil 4.8: Hazırlanmış Kısmi Bağlı Ankraj Donatıları

4.4.2 Ankraj Deliklerinin Hazırlanması

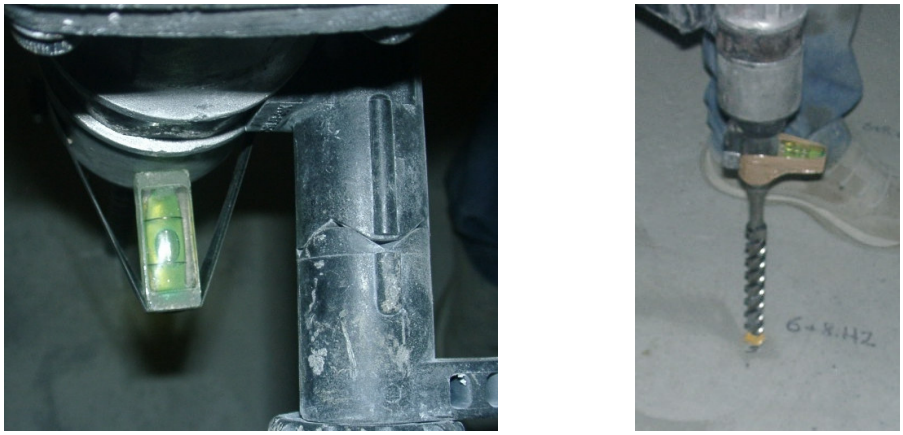
Ankraj numunelerinin ekilmesi için İTÜ Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuarında yedi adet 250 x 125 x (25-35) cm boyutlarında donatısız taban betonu kullanılmıştır. Ankraj yapılan betonun eksenel çekme deneyinde çatlayıp yarılmasının önlemesi için ASTM E488'e göre taban betonunun derinliği, açılacak ankraj derinliğinden %50 daha derin olaracak şekilde üretilmiştir [11]. Derin ankrajlar 35 cm derinliğindeki beton bloklara yerleştirilirken, sığ ankrajlar ise 25 cm derinlikli bloklara yerleştirilmiştir.

Beton blokların üzerine ankraj numunelerinin yerleşim planları hazırlanırken, ankraj kapasitelerinde bir düşüşe neden olmayacak şekilde ankrajlar biribirlerinden ve serbest kenardan yeteri kadar uzaklıkta konumlandırılmışlardır. Beton konisi teorisi gözönüne alınırsa ankraj aralığı azaltıldığında ankraj dayanımı koniler üst üste düşeceğinden (overlapping) azalacaktır. Oluşan koninin taban açısı 45 derece kabul edilirse, ankrajların birbirini etkilememesi için ankraj etkili derinliğinin iki katı kadar olan ankraj aralığının dikkate alınması gerekmektedir, Şekil 4.9.



Şekil 4.9: Beton Bloklar Üzerine Ankraj Yerlerinin İşaretlenmesi

Ankraj delikleri kırıcı ve delici özelliğe sahip döner uçlu, 22 mm çaplı matkap yardımıyla delinmiştir. Deliklerin beton blokların üst düzlemine dik olarak açılabilmesi için delme işlemi esnasında matkabın koluna düzeç takılmıştır, Şekil4.10.



Şekil 4.10: Deliklerin Beton Yüzeyine Dik Hazırlanması

Delik derinliğinin hassas olarak ayarlanabilmesi için matkap ucunda derinlik ölçüsünü belirtecek işaretleme yapılmıştır (Şekil 4.11). Ankraj derinliklerinin yüksekliği delik içindeki toz temizlendikten kontrol edilmiştir.

Ankraj delik çapları ankraj donatısının deliğe rahat bir şekilde yerleştirilmesi için donatı çapından daha büyük açılır. Ankraj delikleri kimyasal yapıştırıcı üreticisinin tavsiyesine uygun olarak ankraj donatı çapından 6 mm daha geniş olarak, 22 mm çapında hazırlanmıştır. Ankraj delik çapının ölçüsü kullanılan kimyasal miktarını etkiler, optimum bir değerde tutulması uygulamanın ekonomik olması için önemlidir.



Şekil 4.11: Ankraj Deliklerinin Boyunun Ayarlanması





Şekil 4.12: Ankraj Deliklerinin Hazırlanması

4.4.3 Yüzey Hazırlığı

Farklı yüzey temizliği ve nemi etkisi altındaki ankrajların eksenel çekme altındaki davranışını inceleyebilmek için beş farklı yüzey hazırlığı yapılmıştır.

- İyi Temizlenmiş Ankraj Delikleri (**C**): Delik delme işlemi tamamlandıktan sonra delik dibine çöken toz basınçlı hava ile delikten atılmıştır. Kompresör tabancası deliğin dibinden başlayarak deliğin en üstüne doğru kaydırılması suretiyle tozdan arındırma işleminin ilk adımı tamamlanmıştır. Delik temizliğinin son aşamasında matkabın ucuna tel fırça takılarak delik cidarları fırçalanmıştır. Bu sayede delik cidarı kalan toz partiküllerden arındırılmıştır. Sonrasında hava kompresörüyle dökülen son toz da atılmış olup Şekil 4.13, ankraj derinlikleri delik temizliği yapıldıktan sonra ölçülmüştür.

- Tozu Atılmış Ankraj Delikleri (**D1**): Ankraj deliği içindeki toz sadece basınçlı hava ile atılmıştır.

- Tozlu Ankraj Delikleri (**D2**): Tozlu ankraj delikleri uygulamasında, ufalanan beton parçacıkları delik içinde bırakılmış temizlenmemiştir. Delik dibine çöken beton tozu delik derinliğini azalttığı için istenilen ankraj derinliğine ulaşana kadar delinmeye devam edilmiştir.

- Nemli Ankraj Delikleri (**H1**): Nemli yüzeylerin hazırlığında; iyi temizlenmiş ankraj delikleri için gereken adımlar tamamlandıktan sonra delikler 48 saat su ile dolu olarak bekletilmiştir. Ankraj donatısı ekilmeden hemen önce delik içerisindeki su boşaltılmıştır.

- Islak Ankraj Delikleri (**H2**): İyi temizlenmiş ankraj deliklerinin etrafı çevrilerek ufak bir havuz hazırlanmış, delikler yedi gün su altında bırakılmıştır. Yedinci günün sonunda havuzun suyu boşaltılıp ankraj ekimi

yapılmıştır. Ankraj ekimi tamamlandıktan iki saat sonra havuz tekrar su ile doldurulup kimyasalın 7 gün kür süresi boyunca ankraj su altında tutulmuştur.



Şekil 4.13: Delik Yüzey Temizliğinin Yapılması

Delik temizliğinde uygulanan basınçlı hava tutulması ve tel fırça ile temizleme işlemlerinin süresi delik yüzey alanı ile orantılı olacak şekilde ayarlanmıştır.

4.4.4 Ankraj Donatılarının Ekimi

Deney için planlanan ankraj delik yüzey koşulları oluşturulduktan sonra ankrajların kimyasal yapıştırıcı ile ekimi yapılmıştır.

Kullanılan epoksi amin bazlı kimyasal yapıştırıcı reçine (A Bileşeni) ve sertleştirici (B Bileşeni) olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır. Epoksi karışımı; üreticinin verdiği ağırlıkça karışım oranı (Bileşen A %75, Bileşen B %25) gözönüne alınarak bileşen ağırlıkları elektronik terazi ile ölçülerek hassas şekilde hazırlanmıştır. Karışım 3 dakika rengi değişip homojen hale gelene kadar matkap ucuna takılan karıştırıcı yardımıyla karıştırılmıştır.

Açılan ankraj delikleri alt ucundan başlayarak mala yardımıyla epoksi ile bir kaç defada doldurulmuştur. Bu işlem esnasında delikte hava kabarcığı kalmamasına özen gösterilmiştir. Epoksi ile tamamen doldurulan ankraj deliğine donatı maksimum yüzey aderansını sağlamak amacı ile yavaşca döndürülerek sokulmuştur, Şekil 4.14. Ankrajların tam düşey olarak yerleştirilmesi düzeç yardımıyla sağlanmıştır. Delikten taşan epoksi mala ile temizlendi. Ankraj ekimi tamamlandıktan sonra epoksinin 7 gün süreyle laboratuar koşullarında kürünü alması sağlanmıştır.



Şekil 4.14. Ankraj Donatısının Deliğe Yerleştirilmesi

Her ankraj ekimi esnasında hazırlanan kimyasal karışımdan prizma numuneler alınarak, ankraj çekip çıkarma deneylerinin yapıldığı gün epoksi malzeme deneyleri de yapılmıştır.

5. DENEYLER

Çalışmanın beşinci bölümünde deney programında yer alan üç farklı ankraj setinindeki numunelerin deney sonuçları sırasıyla verilmiştir. İlk olarak tam bağlı ankraj numunelerine değinilip, sonrasında gerçek ankraj davranışını temsil eden kısmi bağlı ankraj deneylerine yer verilmiş sonrasında ise kısmi bağlı ankrajların referans deneyleri ile bölüm tamamlanmıştır.

Her bir numunenin ankraj derinliğini, ortalama yapışma dayanımını, eksenel çekme kapasitesini, yüzey özelliklerini gösteren bir tablo ile deney sonucu elde edilen yük - sıyrılma eğrisi ve deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğrafları sırasıyla verilmiştir.

Her deney setindeki numunelere ait veriler sığ ankrajlardan başlayarak derin ankrajlara doğru sıra ile verilmiştir.

5.1 Tam Bağlı Kimyasal Ankrajlar Deneyleri

Yapılan ankraj eksenel çekip çıkarma deneylerinin ilk setini tam bağlı ankrajlar oluşturmaktadır. Tam bağlı ankrajların çekimi esnasında ve sonrasında oluşabilecek potansiyel koni yarı çapı dikkate alınarak deney düzeneği oluşabilecek koniyi kesmeyecek açıklıkta yerleştirilmiştir.

Çalışma kapsamında tam bağlı ankraj deneyleri, düşük kalitede betonda uygulamada sıklıkla kullanılan ankraj derinliklerinde ankrajların tasarımda öngörülen akma dayanımlarına ne kadar yaklaşabildiklerini tesbit etmek ve tam bağlı ankrajlarla kısmi bağlı ankrajların eksenel çekme altındaki davranışlarını kıyaslayabilmek amacıyla yapılmıştır.

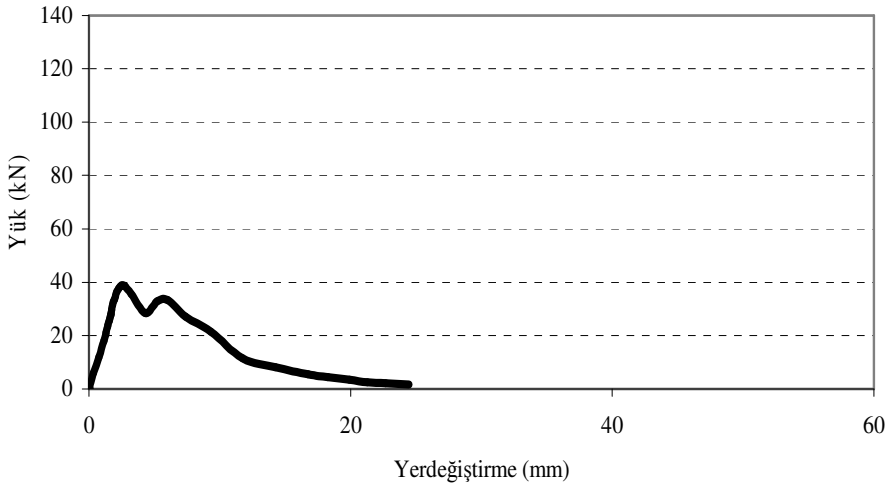
5.1.1 (0+6)Φ Derinliğinde Tam Bağlı Ankrajlar

5.1.1.1 (0+6)Φ.C1

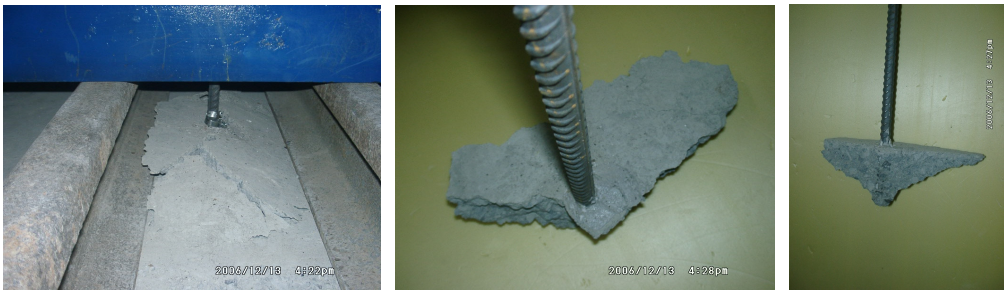
Tablo 5.1'de (0+6)Φ.C1 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.1'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.2'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.1: (0+6)Φ.C1 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(0+6)Φ.C1
Toplam Derinlik	6Φ = 96 mm
Bağlı Derinlik	6Φ = 96 mm
Serbest Derinlik	0 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	38.8 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	8.04 MPa
Yüzey Özellikleri	Temiz
Göçme Şekli	Konik göçme



Şekil 5.1: (0+6)Φ.C1 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



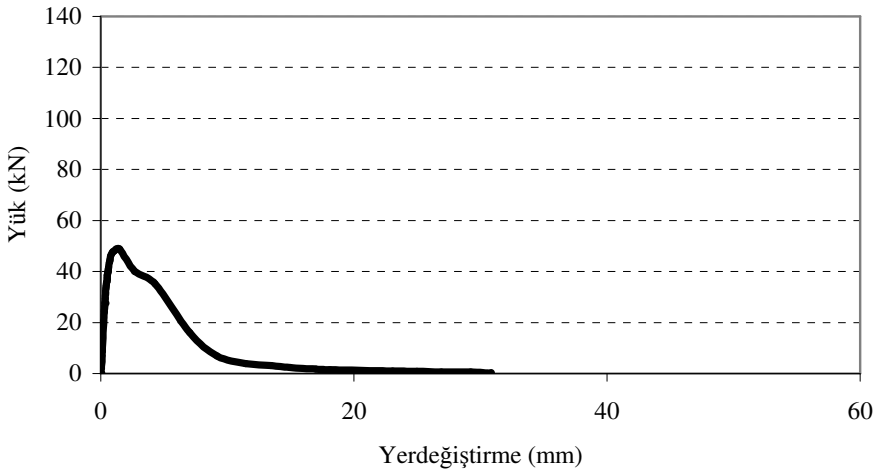
Şekil 5.2: (0+6)Φ.C1 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.1.1.2 (0+6)Φ.C2

Tablo 5.2'de (0+6)Φ.C2 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.3'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.4'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.2: (0+6)Φ.C2 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(0+6)Φ.C2
Toplam Derinlik	6Φ = 96 mm
Bağlı Derinlik	6Φ = 96 mm
Serbest Derinlik	0 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	48.8 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	10.1 MPa
Yüzey Özellikleri	Temiz
Göçme Şekli	Konik göçme



Şekil 5.3: (0+6)Φ.C2 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



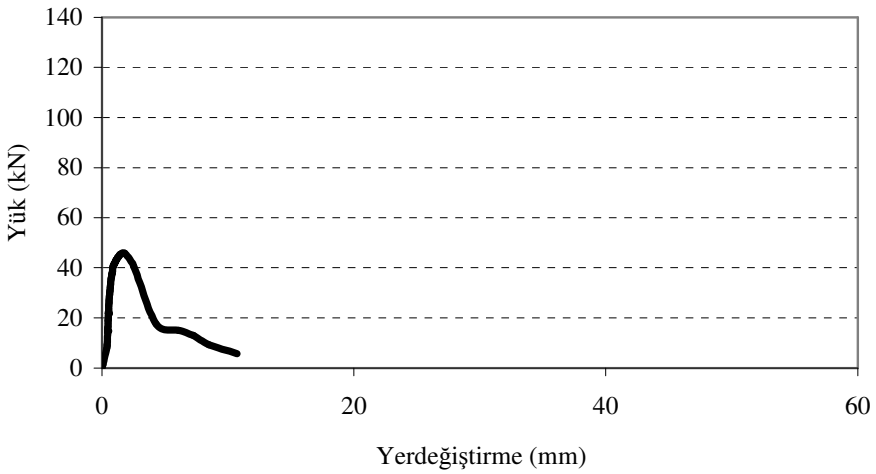
Şekil 5.4: (0+6)Φ.C2 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.1.1.3 (0+6)Φ.C3

Tablo 5.3'de (0+6)Φ.C3 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.5'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.6'da ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.3: (0+6)Φ.C3 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(0+6)Φ.C3
Toplam Derinlik	6Φ = 96 mm
Bağlı Derinlik	6Φ = 96 mm
Serbest Derinlik	0 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	45.8 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	9.5 MPa
Yüzey Özellikleri	Temiz
Göçme Şekli	Konik göçme



Şekil 5.5: (0+6)Φ.C3 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



Şekil 5.6: (0+6)Φ.C3 Numunesine Ait Fotoğraflar

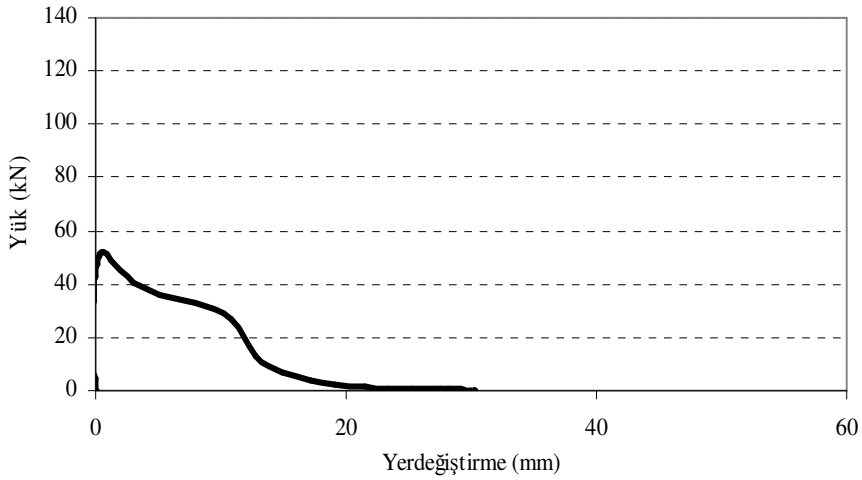
5.1.2 (0+8)Φ.C Derinliğinde Tam Bağlı Ankrajlar

5.1.2.1 (0+8)Φ.C1

Tablo 5.4'de (0+8)Φ.C1 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.7'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.8'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.4: (0+8)Φ.C1 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(0+8)Φ.C1
Toplam Derinlik	8Φ = 128 mm
Bağlı Derinlik	8Φ = 128 mm
Serbest Derinlik	0 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	52.0 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	8.0 MPa
Yüzey Özellikleri	Temiz
Göçme Şekli	Konik göçme ve sıyrılma



Şekil 5.7: (0+8)Φ.C1 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



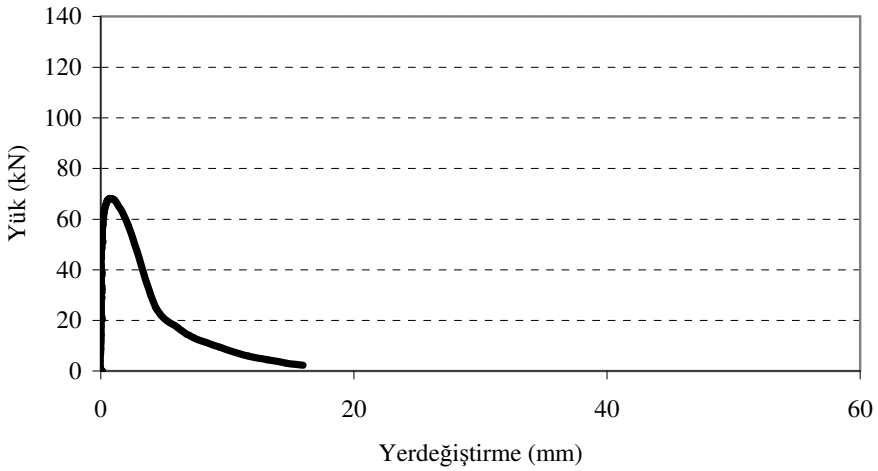
Şekil 5.8: (0+8)Φ.C1 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.1.2.2 (0+8)Φ.C2

Tablo 5.5'de (0+8)Φ.C2 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.9'da deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.10'da ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.5: (0+8)Φ.C2 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(0+8)Φ.C2
Toplam Derinlik	8Φ = 128 mm
Bağlı Derinlik	8Φ = 128 mm
Serbest Derinlik	0 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	68.2 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	10.6 MPa
Yüzey Özellikleri	Temiz
Göçme Şekli	Konik göçme ve sıyrılma



Şekil 5.9: (0+8)Φ.C2 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



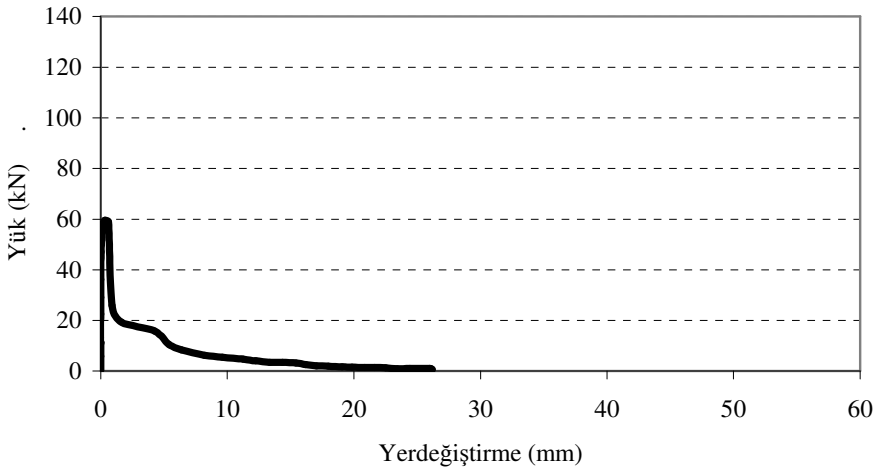
Şekil 5.10: (0+8)Φ.C2 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.1.2.3 (0+8)Φ.C3

Tablo 5.6'da (0+8)Φ.C3 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.11'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.12'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.6: (0+8)Φ.C3 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(0+8)Φ.C3
Toplam Derinlik	8Φ = 128 mm
Bağlı Derinlik	8Φ = 128 mm
Serbest Derinlik	0 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	59.6 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	9.2 MPa
Yüzey Özellikleri	Temiz
Göçme Şekli	Konik göçme ve sıyrılma



Şekil 5.11: (0+8)Φ.C3 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



Şekil 5.12: (0+8)Φ.C3 Numunesine Ait Fotoğraflar

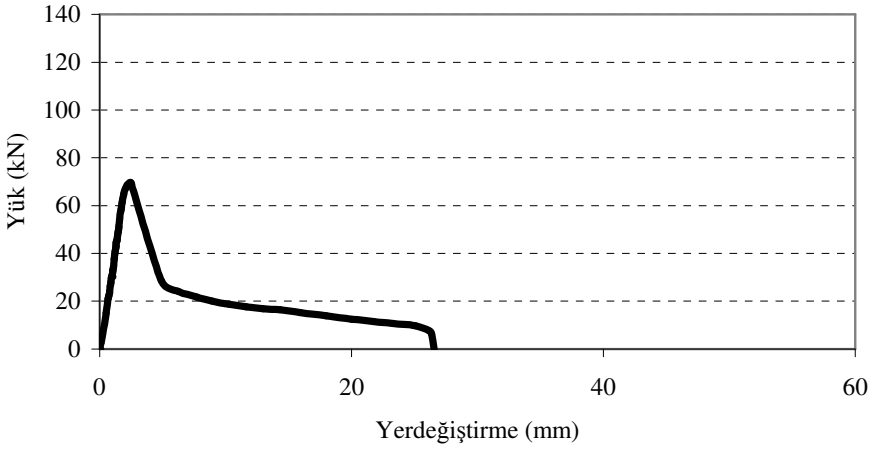
5.1.3 (0+10)Φ.C Derinlikte Tam Bağlı Ankrajlar

5.1.3.1 (0+10)Φ.C1

Tablo 5.7'de (0+10)Φ.C1 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.13'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.14'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.7: (0+10)Φ.C1 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(0+10)Φ.C1
Toplam Derinlik	10Φ = 160 mm
Bağlı Derinlik	10Φ = 160 mm
Serbest Derinlik	0 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	69.4 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	8.6 MPa
Yüzey Özellikleri	Temiz
Göçme Şekli	Konik göçme ve sıyrılma



Şekil 5.13: (0+10)Φ.C1 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



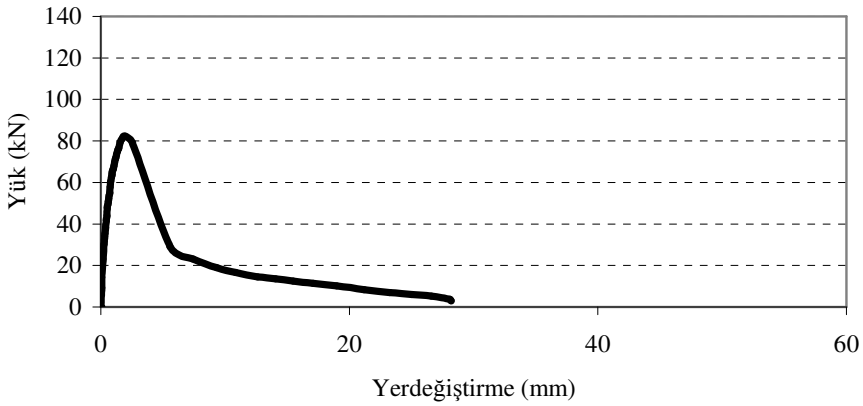
Şekil 5.14: (0+10)Φ.C1 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.1.3.2 (0+10)Φ.C2

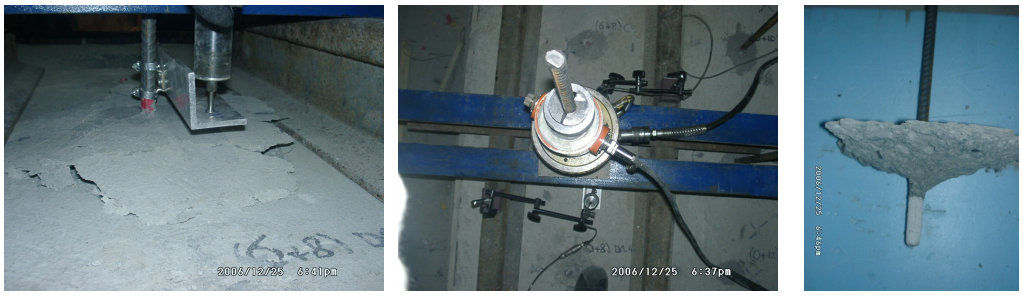
Tablo 5.8'de (0+10)Φ.C2 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.15'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.16'da ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.8: (0+10)Φ.C2 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(0+10)Φ.C2
Toplam Derinlik	10Φ = 160 mm
Bağlı Derinlik	10Φ = 160 mm
Serbest Derinlik	0 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	82.3 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	10.2 MPa
Yüzey Özellikleri	Temiz
Göçme Şekli	Konik göçme ve sıyrılma



Şekil 5.15: (0+10)Φ.C2 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



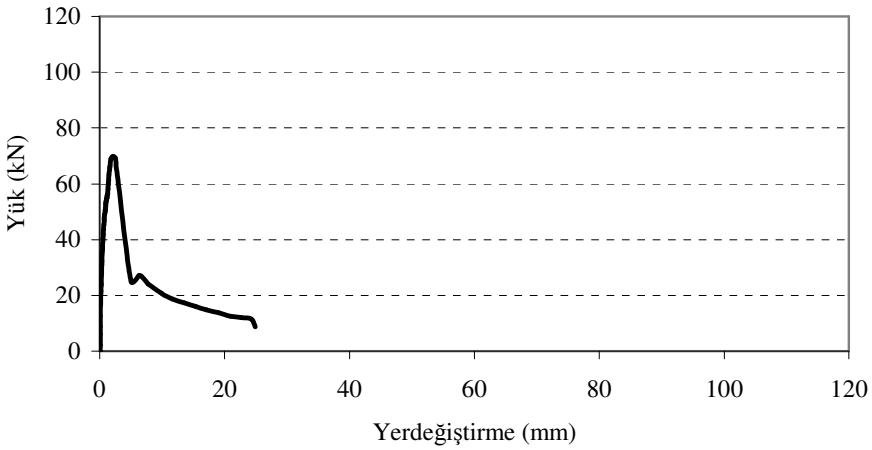
Şekil 5.16: (0+10)Φ.C2 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.1.3.3 (0+10)Φ.C3

Tablo 5.9'da (0+10)Φ.C3 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.17'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.18'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.9: (0+10)Φ.C3 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(0+10)Φ.C3
Toplam Derinlik	10Φ = 160 mm
Bağlı Derinlik	10Φ = 160 mm
Serbest Derinlik	0 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	69.8 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	8.7 MPa
Yüzey Özellikleri	Temiz
Göçme Şekli	Konik göçme ve sıyrılma



Şekil 5.17: (0+10)Φ.C3 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



Şekil 5.18: (0+10)Φ.C3 Numunesine Ait Fotoğraflar

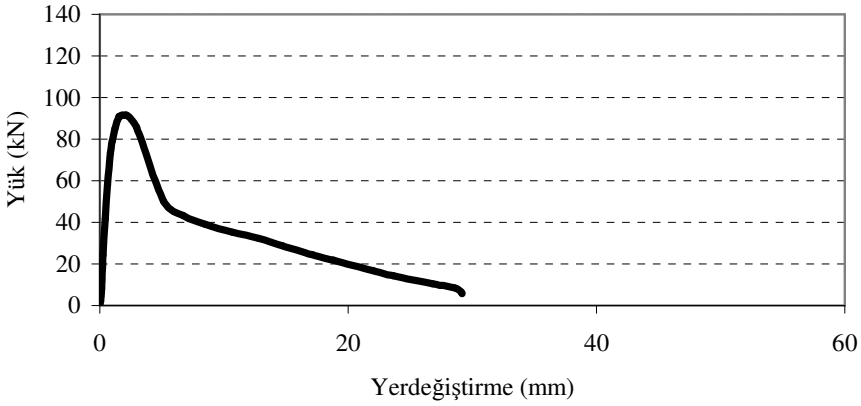
5.1.4 (0+12)Φ.C Derinlikte Tam Bağlı Ankrajlar

5.1.4.1 (0+12)Φ.C1

Tablo 5.10'da (0+12)Φ.C1 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.19'da deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.20'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.10: (0+12)Φ.C1 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(0+12)Φ.C1
Toplam Derinlik	10Φ = 192 mm
Bağlı Derinlik	10Φ = 192 mm
Serbest Derinlik	0 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	91.6 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	9.5 MPa
Yüzey Özellikleri	Temiz
Göçme Şekli	Konik göçme ve sıyrılma



Şekil 5.19: (0+12)Φ.C1 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



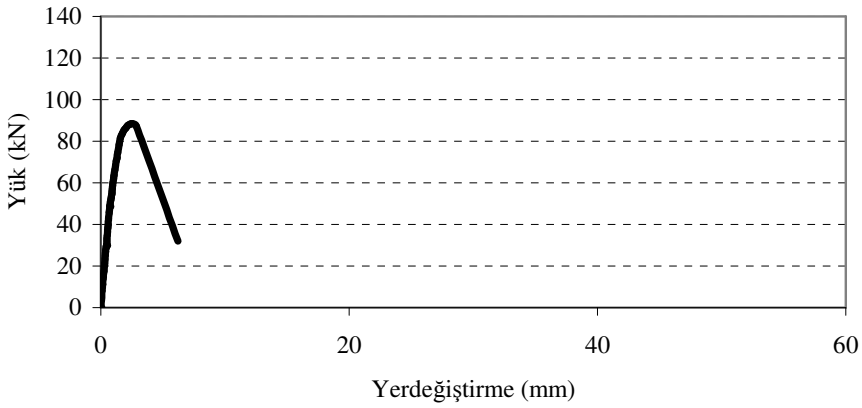
Şekil 5.20: (0+12)Φ.C1 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.1.4.2 (0+12)Φ.C2

Tablo 5.11'de (0+12)Φ.C2 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.21'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.22'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.11: (0+12)Φ.C2 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(0+12)Φ.C2
Toplam Derinlik	12Φ = 192 mm
Bağlı Derinlik	12Φ = 192 mm
Serbest Derinlik	0 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	88.5 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	9.2 MPa
Yüzey Özellikleri	Temiz
Göçme Şekli	Konik göçme ve sıyrılma



Şekil 5.21: (0+12)Φ.C2 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



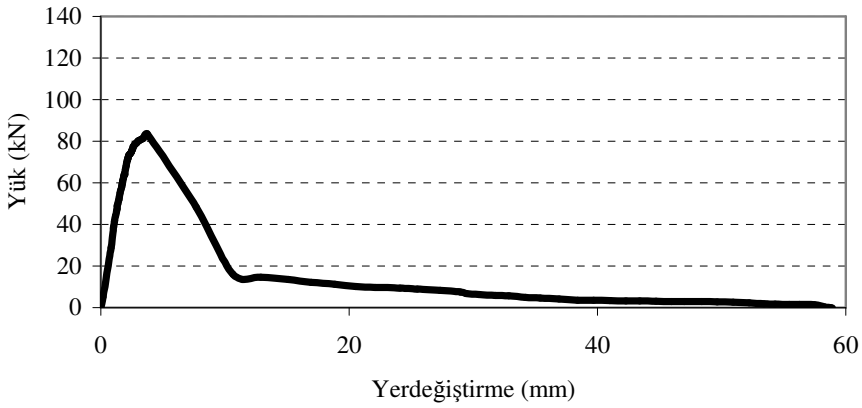
Şekil 5.22: (0+12)Φ.C2 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.1.4.3 (0+12)Φ.C3

Tablo 5.12'de (0+12)Φ.C3 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.23'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.24'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.12: (0+12)Φ.C3 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(0+12)Φ.C3
Toplam Derinlik	12Φ = 192 mm
Bağlı Derinlik	12Φ = 192 mm
Serbest Derinlik	0 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	83.6 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	8.7 MPa
Yüzey Özellikleri	Temiz
Göçme Şekli	Konik göçme ve sıyrılma



Şekil 5.23: (0+12)Φ.C3 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



Şekil 5.24: (0+12)Φ.C3 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.2 Kısmi Bağlı Kimyasal Ankraj Deneyleri

Yapılan ankraj eksenel çekip çıkarma deneylerinin ikinci setini kısmi bağlı ankrajlar oluşturmaktadır. Bu bölüm kapsamında incelenecek kısmi bağlı ankrajların gerçek davranışını yansıtan çekip çıkarma deneylerinde, ankrajın çekimi esnasında oluşabilecek göçme mekanizmalarını engellemeyecek deney düzeneği kullanılmıştır.

Kısmi bağlı ankrajların derinlikleri tam bağlı ankrajlarla kıyaslanabilecek şekilde seçilmiştir. Kısmi bağlı ankrajlarda serbest derinlik sabit tutulmuştur. Düşük dayanımlı betonda kismi bağlı ankrajların davranışının tam bağlı ankraj davranışından farkını belirleyebilmek için bu deney seti çalışma kapsamına alınmıştır.

Kısmi bağlı ankrajların düşük dayanımlı betonda göçme tipleri incelenmiş, ankraj donatısının akma yüküne erişebildiği derinlik tespit edilmiştir.

5.2.1 (6+4)Φ Derinlikte Ekilmiş Kısmi Bağlı Ankrajlar

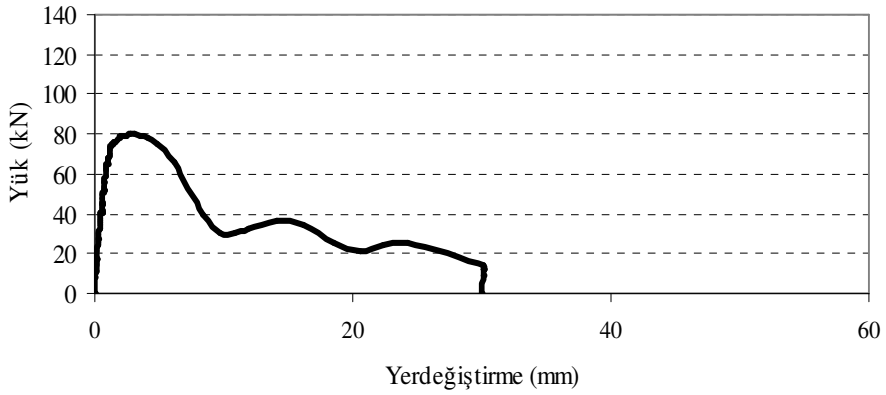
5.2.1.1 (6+4)Φ Derinlikte, Yüzey Temizliği Yapılmış Kısmi Bağlı Ankrajlar

5.2.1.1.1 (6+4)Φ.C1

Tablo 5.13'de (6+4)Φ.C1 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.25'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.26'da ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.13: (6+4)Φ.C1 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+4)Φ.C1
Toplam Derinlik	10Φ = 160 mm
Bağlı Derinlik	4Φ = 64 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	80.1 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	24.9 MPa
Yüzey Özellikleri	Temiz
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.25: (6+4)Φ.C1 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



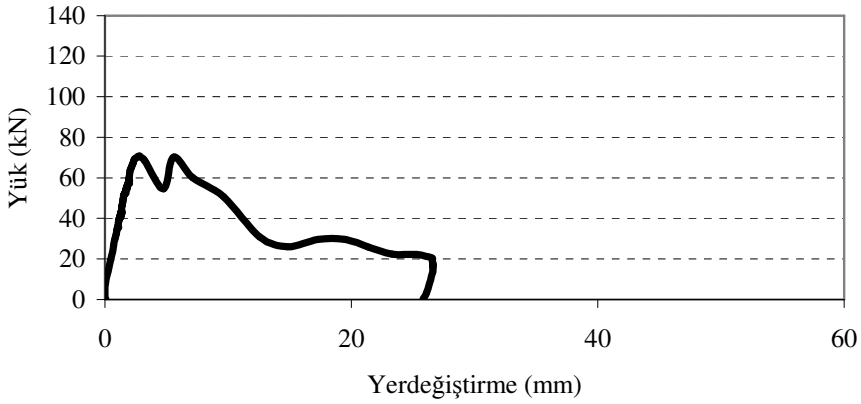
Şekil 5.26: (6+4)Φ.C1 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.2.1.1.2 (6+4)Φ.C2

Tablo 5.14'de (6+4)Φ.C2 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.27'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.28'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.14: (6+4)Φ.C2 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+4)Φ.C2
Toplam Derinlik	10Φ = 160 mm
Bağlı Derinlik	4Φ = 64 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	70.7 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	22.0 MPa
Yüzey Özellikleri	Temiz
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.27: (6+4)Φ.C2 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



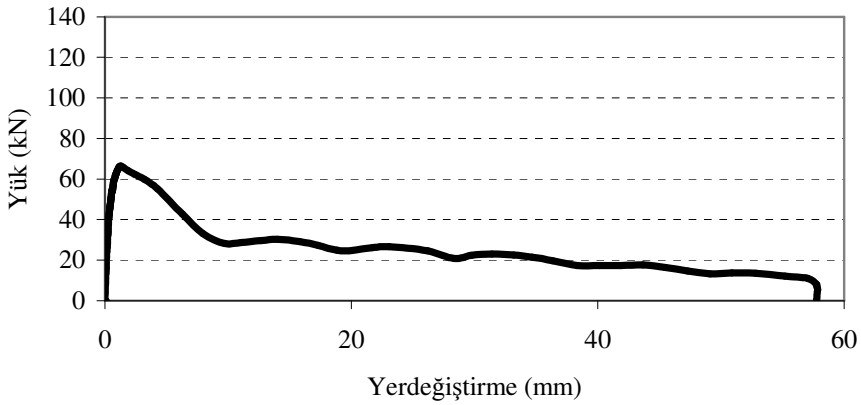
Şekil 5.28: (6+4)Φ.C2 Numunesine Ait Fotoğraf

5.2.1.1.3 (6+4)Φ.C3

Tablo 5.15'de (6+4)Φ.C3 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.29'da deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.30'da ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.15: (6+4)Φ.C3 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+4)Φ.C3
Toplam Derinlik	10Φ = 160 mm
Bağlı Derinlik	4Φ = 64 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	66.4 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	23.6 MPa
Yüzey Özellikleri	Temiz
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.29: (6+4)Φ.C3 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



Şekil 5.30: (6+4)Φ.C3 Numunesine Ait Fotoğraflar

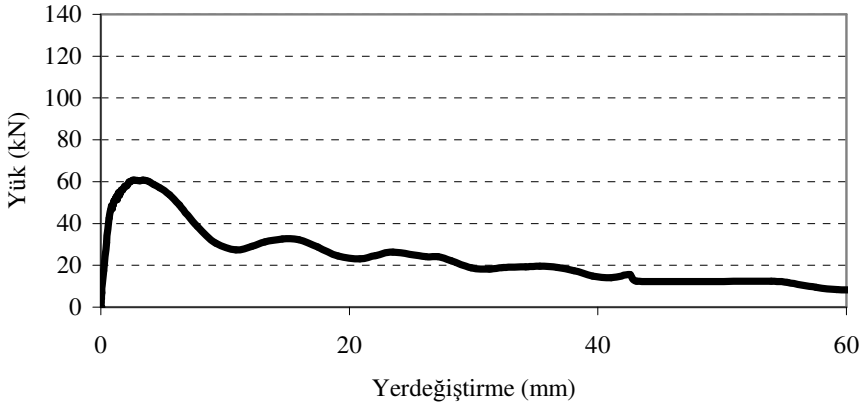
5.2.1.2 (6+4)Φ Derinliğinde, Delik Tozu Atılmış Kısmi Bağlı Ankrajlar

5.2.1.2.1 (6+4)Φ.D1.1

Tablo 5.16'da (6+4)Φ.D1.1 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.31'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.32'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.16: (6+4)Φ.D1.1 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+4)Φ.H2.1
Toplam Derinlik	10Φ = 160 mm
Bağlı Derinlik	4Φ = 64 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	60.7 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	18.9 MPa
Yüzey Özellikleri	Tozu Atılmış
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.31: (6+4)Φ.D1.1 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



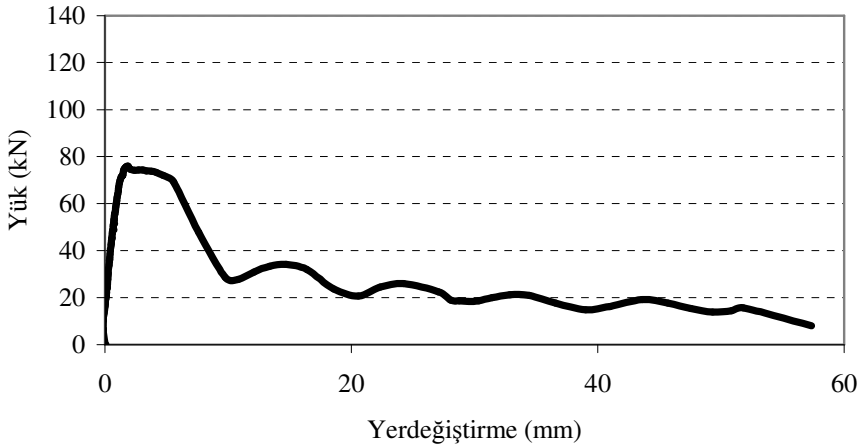
Şekil 5.32: (6+4)Φ.D1.1 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.2.1.2.2 (6+4)Φ.D1.2

Tablo 5.17'de (6+4)Φ.D1.2 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.33'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.34'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.17: (6+4)Φ.D1.2 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+4)Φ.D1.2
Toplam Derinlik	10Φ = 160 mm
Bağlı Derinlik	4Φ = 64 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	75.9 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	23.6 MPa
Yüzey Özellikleri	Tozu Atılmış
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.33: (6+4)Φ.D1.2 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



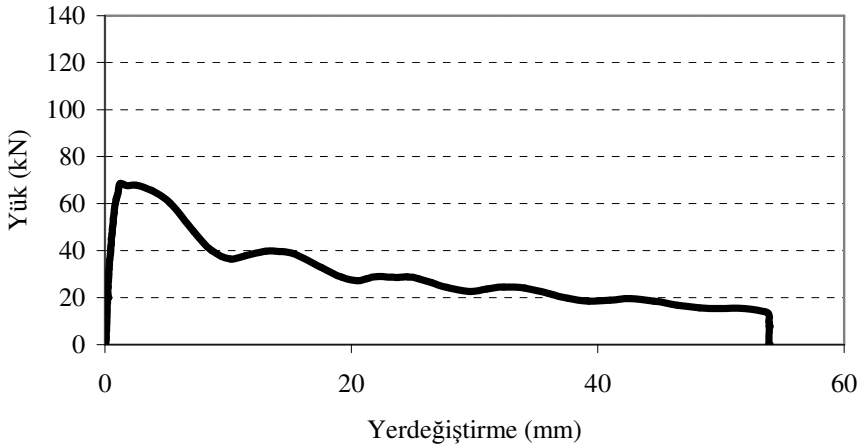
Şekil 5.34: (6+4)Φ.D1.2 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.2.1.2.3 (6+4)Φ.D1.3

Tablo 5.18'de (6+4)Φ.D1.3 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.35'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.36'da ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.18: (6+4)Φ.D1.3 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+4)Φ.D1.3
Toplam Derinlik	10Φ = 160 mm
Bağlı Derinlik	4Φ = 64 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	68.7 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	21.4 MPa
Yüzey Özellikleri	Tozu Atılmış
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.35: (6+4)Φ.D1.3 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



Şekil 5.36: (6+4)Φ.D1.3 Numunesine Ait Fotoğraflar

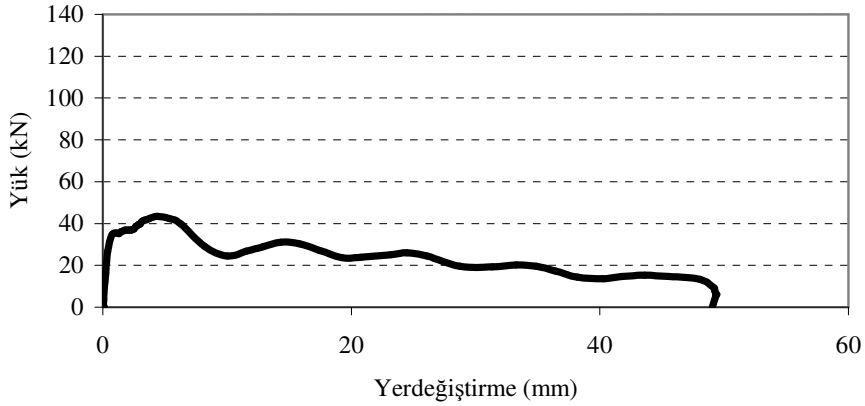
5.2.1.3 (6+4) Derinliğinde, Tozlu Deliğe Ekilmiş Kısmi Bağlı Ankrajlar

5.2.1.3.1 (6+4)Φ.D2.1

Tablo 5.19'da (6+4)Φ.D2.1 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.37'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.38'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.19: (6+4)Φ.D2.1 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+4)Φ.D2.1
Toplam Derinlik	10Φ = 160 mm
Bağlı Derinlik	4Φ = 64 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	43.4 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	13.5 MPa
Yüzey Özellikleri	Tozlu
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.37: (6+4)Φ.D2.1 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



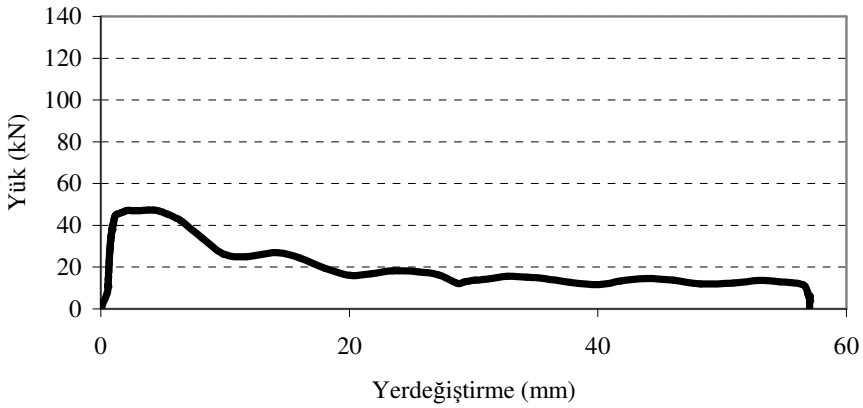
Şekil 5.38: (6+4)Φ.D2.1 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.2.1.3.2 (6+4)Φ.D2.2

Tablo 5.20'de (6+4)Φ.D2.2 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.39'da deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.40'da ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.20: (6+4)Φ.D2.2 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+4)Φ.D2.2
Toplam Derinlik	10Φ = 160 mm
Bağlı Derinlik	4Φ = 64 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	47.3 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	14.7 MPa
Yüzey Özellikleri	Tozlu
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.39: (6+4)Φ.D2.2 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



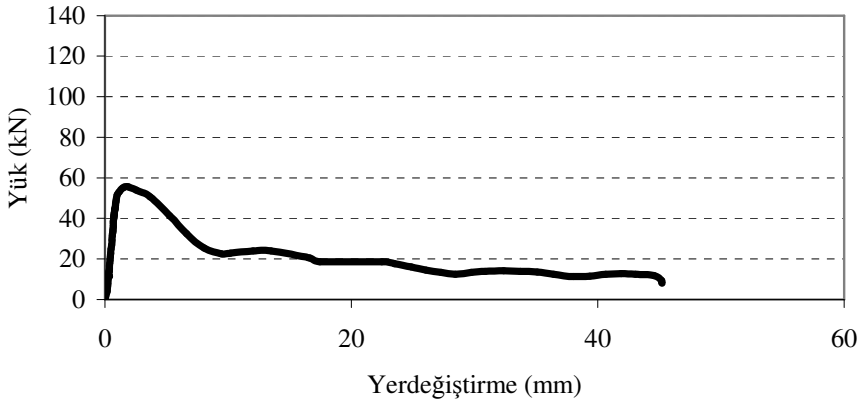
Şekil 5.40: (6+4)Φ.D2.2 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.2.1.3.3 (6+4)Φ.D2.3

Tablo 5.21'de (6+4)Φ.D2.3 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.41'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.42'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.21: (6+4)Φ.D2.3 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+4)Φ.D2.3
Toplam Derinlik	10Φ = 160 mm
Bağlı Derinlik	4Φ = 64 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	55.6 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	17.3 MPa
Yüzey Özellikleri	Tozlu
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.41: (6+4)Φ.D2.3 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



Şekil 5.42: (6+4)Φ.D2.3 Numunesine Ait Fotoğraflar

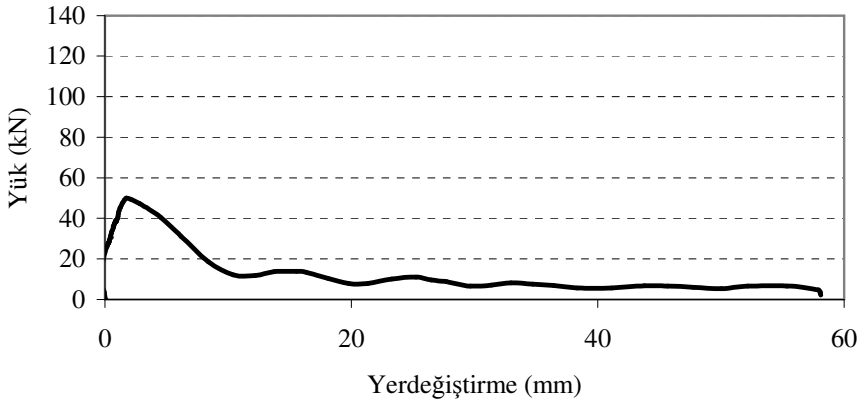
5.2.1.4 (6+4) Derinliğinde, Nemli Deliğe Ekilmiş Kısmi Bağlı Ankrajlar

5.2.1.4.1 (6+4)Φ.H1.1

Tablo 5.22'de (6+4)Φ.H1.1 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.43'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.44'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.22: (6+4)Φ.H1.1 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+4)Φ.H1.1
Toplam Derinlik	10Φ = 160 mm
Bağlı Derinlik	4Φ = 64 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	49.9 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	15.5 MPa
Yüzey Özellikleri	Nemli
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.43: (6+4)Φ.H1.1 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



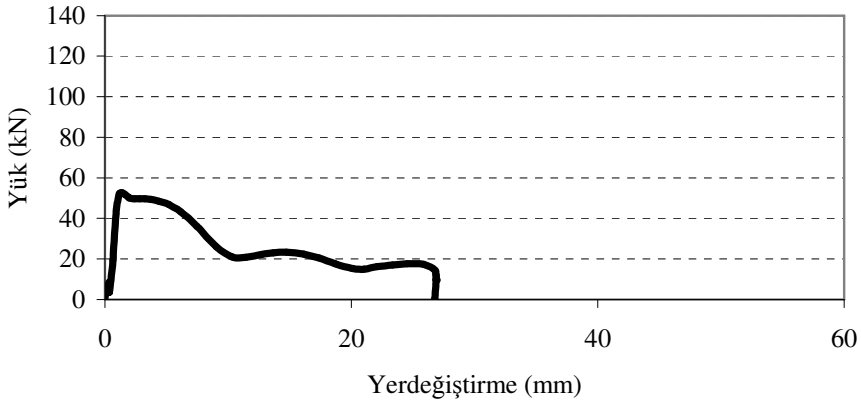
Şekil 5.44: (6+4)Φ.H1.1 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.2.1.4.2 (6+4)Φ.H1.2

Tablo 5.23'de (6+4)Φ.H1.2 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.45'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.46'da ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.23: (6+4)Φ.H1.2 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+4)Φ.H1.2
Toplam Derinlik	10Φ = 160 mm
Bağlı Derinlik	4Φ = 64 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	52.7 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	16.4 MPa
Yüzey Özellikleri	Nemli
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.45: (6+4)Φ.H1.2 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



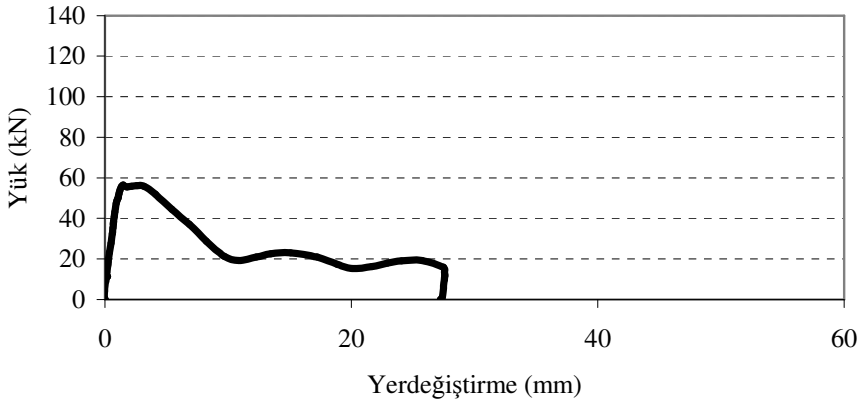
Şekil 5.46: (6+4)Φ.H1.2 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.2.1.4.3 (6+4)Φ.H1.3

Tablo 5.24'de (6+4)Φ.H1.3 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.47'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.48'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.24: (6+4)Φ.H1.3 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+4)Φ.H1.3
Toplam Derinlik	10Φ = 160 mm
Bağlı Derinlik	4Φ = 64 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	56.5 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	17.6 MPa
Yüzey Özellikleri	Nemli
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.47: (6+4)Φ.H1.3 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



Şekil 5.48: (6+4)Φ.H1.3 Numunesine Ait Fotoğraflar

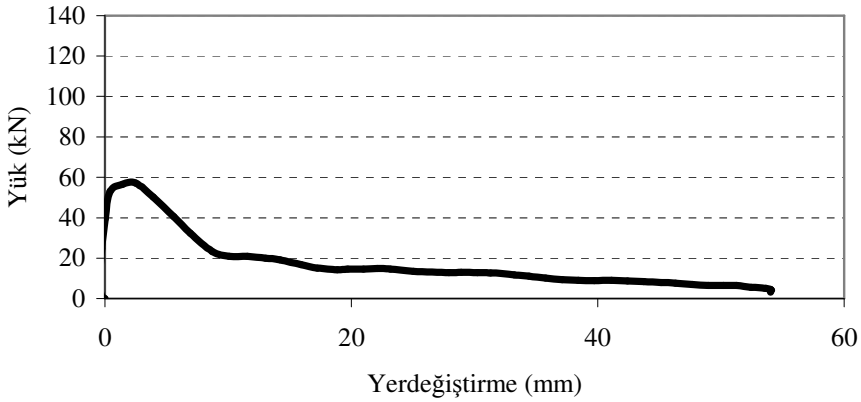
5.2.1.5 (6+4) Derinliğinde, Islak Deliğe Ekilmiş Kısmi Bağlı Ankrajlar

5.2.1.5.1 (6+4)Φ.H2.1

Tablo 5.25'de (6+4)Φ.H2.1 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.49'da deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.50'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.25: (6+4)Φ.H2.1 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+4)Φ.H2.1
Toplam Derinlik	10Φ = 160 mm
Bağlı Derinlik	4Φ = 64 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	57.1 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	17.7 MPa
Yüzey Özellikleri	Islak
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.49: (6+4)Φ.H2.1 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



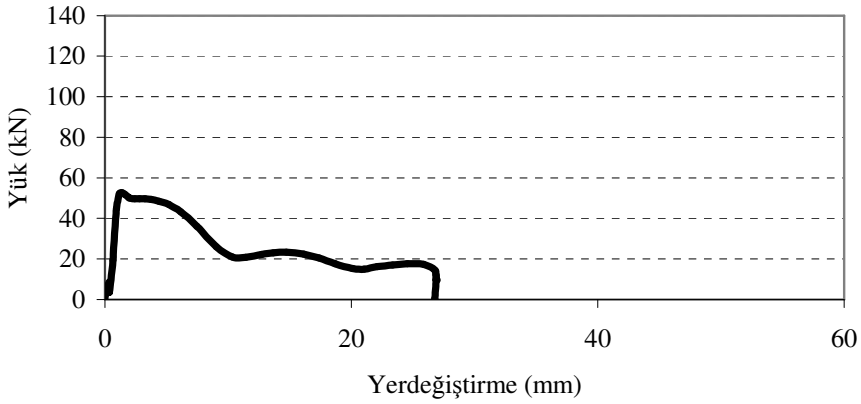
Şekil 5.50: (6+4)Φ.H2.1 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.2.1.5.2 (6+4)Φ.H2.2

Tablo 5.26'da (6+4)Φ.H2.2 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.51'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.52'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.26: (6+4)Φ.H2.2 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+4)Φ.H2.2
Toplam Derinlik	10Φ = 160 mm
Bağlı Derinlik	4Φ = 64 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	51.4 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	16.0 MPa
Yüzey Özellikleri	Islak
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.51: (6+4)Φ.H2.2 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



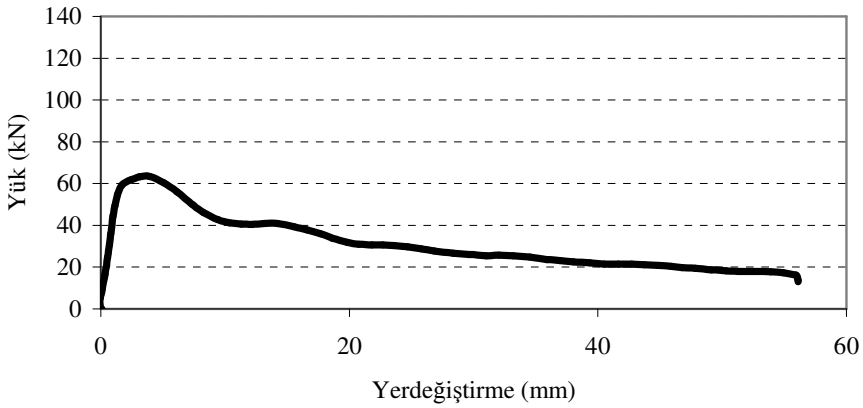
Şekil 5.52: (6+4)Φ.H2.2 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.2.1.5.3 (6+4)Φ.H2.3

Tablo 5.27'de (6+4)Φ.H2.3 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.53'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.54'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.27: (6+4)Φ.H2.3 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+4)Φ.H2.3
Toplam Derinlik	10Φ = 160 mm
Bağlı Derinlik	4Φ = 64 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	63.5 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	19.3 MPa
Yüzey Özellikleri	Nemli
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.53: (6+4)Φ.H2.3 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



Şekil 5.54: (6+4)Φ.H2.3 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.2.2 (6+6)Φ Derinliğinde Ekilmiş Kısmi Bağlı Ankrajlar

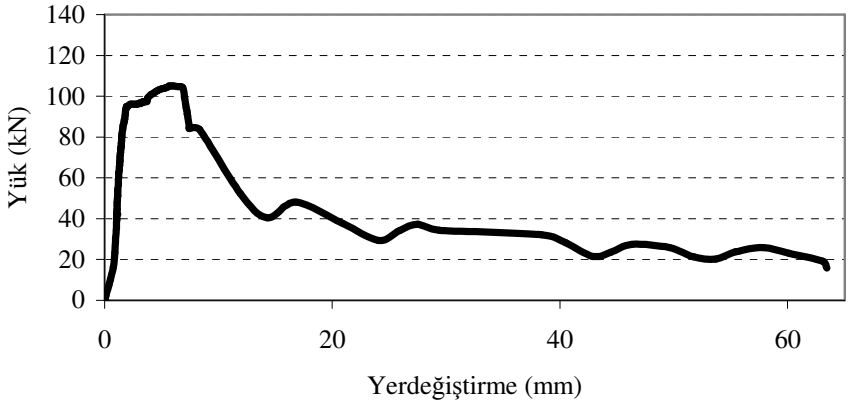
5.2.2.1 (6+6)Φ Derinlikte, Delik Temizliği Yapılmış Kısmi Bağlı Ankrajlar

5.2.2.1.1 (6+6)Φ.C1

Tablo 5.28'de (6+6)Φ.C1 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.55'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.56'da ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.28: (6+6)Φ.C1 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+6)Φ.C1
Toplam Derinlik	12Φ = 192 mm
Bağlı Derinlik	6Φ = 96 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	105.1 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	21.8 MPa
Yüzey Özellikleri	Temiz
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.55: (6+6)Φ.C1 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



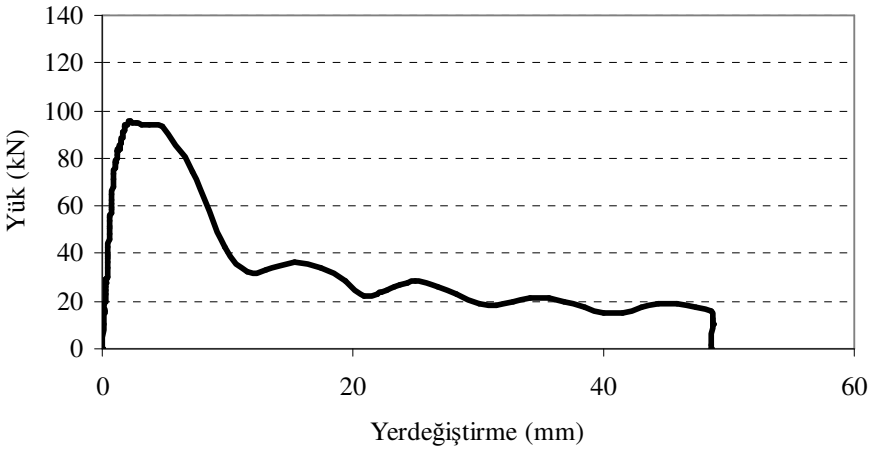
Şekil 5.56: (6+6)Φ.C1 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.2.2.1.2 (6+6)Φ.C2

Tablo 5.29'da (6+6)Φ.C2 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.57'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.58'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.29: (6+6)Φ.C2 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+6)Φ.C2
Toplam Derinlik	12Φ = 192 mm
Bağlı Derinlik	6Φ = 96 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	95.6 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	19.8 MPa
Yüzey Özellikleri	Temiz
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.57: (6+6)Φ.C2 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



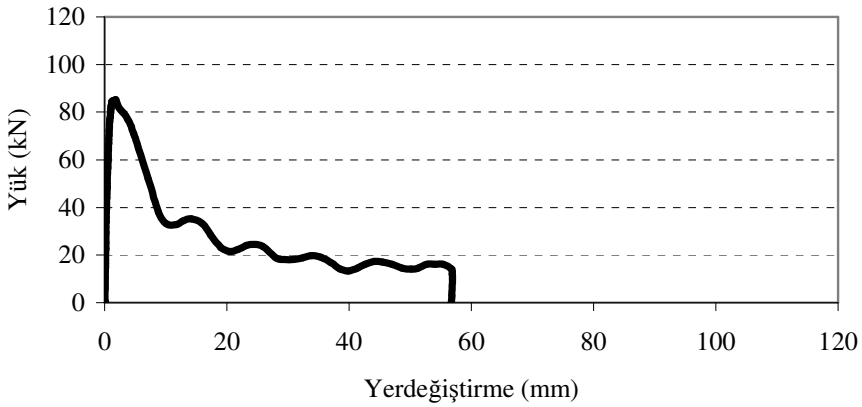
Şekil 5.58: (6+6)Φ.C2 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.2.2.1.3 (6+6)Φ.C3

Tablo 5.30'da (6+6)Φ.C3 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.59'da deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.60'da ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.30: (6+6)Φ.C3 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+6)Φ.C3
Toplam Derinlik	12Φ = 192 mm
Bağlı Derinlik	6Φ = 96 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	85.2 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	17.7 MPa
Yüzey Özellikleri	Temiz
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.59: (6+6)Φ.C3 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



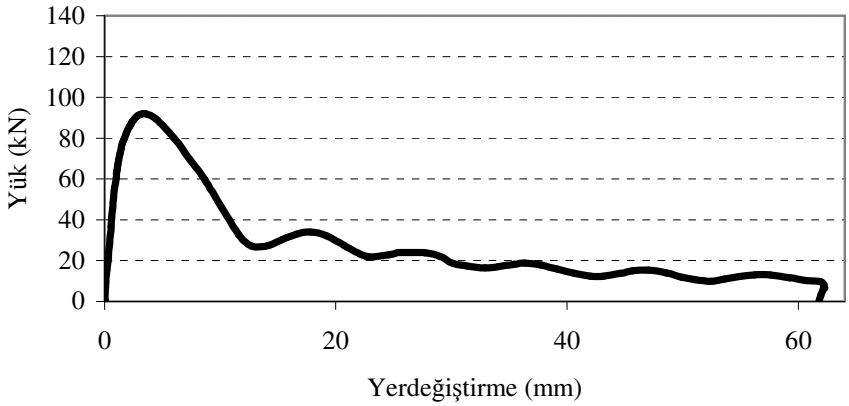
Şekil 5.60: (6+6)Φ.C3 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.2.2.1.4 (6+6)Φ.C4

Tablo 5.31'de (6+6)Φ.C4 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.61'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.62'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.31: (6+6)Φ.C4 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+6)Φ.C4
Toplam Derinlik	12Φ = 192 mm
Bağlı Derinlik	6Φ = 96 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	91.9 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	19.0 MPa
Yüzey Özellikleri	Temiz
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.61: (6+6)Φ.C4 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



Şekil 5.62: (6+6)Φ.C4 Numunesine Ait Fotoğraflar

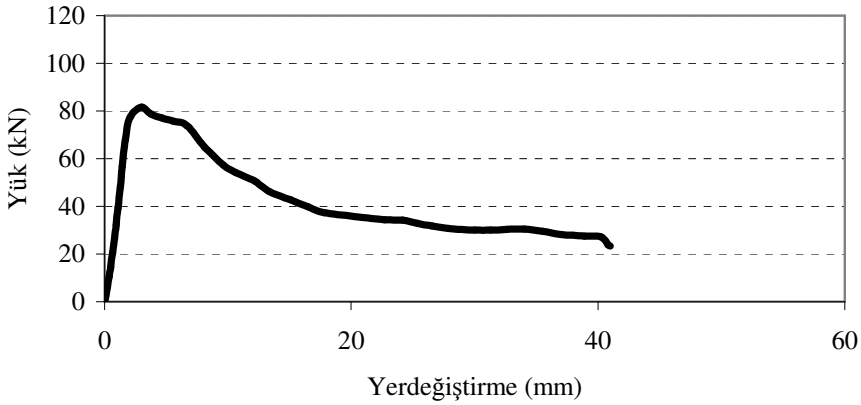
5.2.2.2 (6+6)Φ Derinliğinde, Islak Deliğe Ekilmiş Kısmi Bağlı Ankrajlar

5.2.2.2.1 (6+6)Φ.H2.1

Tablo 5.32'de (6+6)Φ.H2.1 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.63'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.64'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.32: (6+6)Φ.H2.1 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+6)Φ.H2.1
Toplam Derinlik	12Φ = 192 mm
Bağlı Derinlik	6Φ = 96 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	81.6 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	16.9 MPa
Yüzey Özellikleri	Islak
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.63: (6+6)Φ.H2.1 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



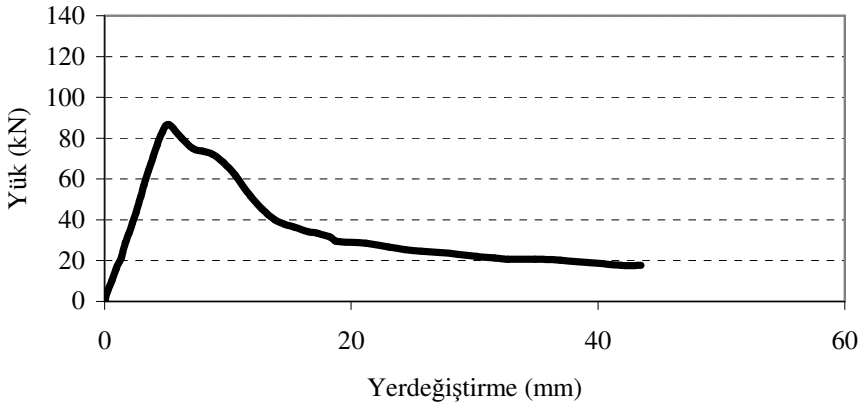
Şekil 5.64: (6+6)Φ.H2.1 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.2.2.2.2 (6+6)Φ.H2.2

Tablo 5.33'de (6+6)Φ.H2.2 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.65'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.66'da ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.33: (6+6)Φ.H2.2 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+6)Φ.H2.2
Toplam Derinlik	12Φ = 192 mm
Bağlı Derinlik	6Φ = 96 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	86.7 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	18.0 MPa
Yüzey Özellikleri	Islak
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.65: (6+6)Φ.H2.2 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



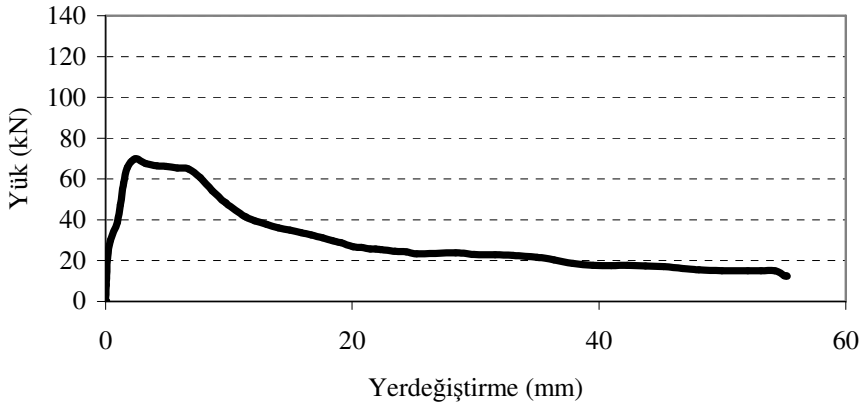
Şekil 5.66: (6+6)Φ.H2.2 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.2.2.2.3 (6+6)Φ.H2.3

Tablo 5.34'de (6+6)Φ.H2.3 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.67'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.68'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.34: (6+6)Φ.H2.3 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+6)Φ.H2.3
Toplam Derinlik	12Φ = 192 mm
Bağlı Derinlik	6Φ = 96 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	70.0 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	14.5 MPa
Yüzey Özellikleri	Islak
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.67: (6+6)Φ.H2.3 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



Şekil 5.68: (6+6)Φ.H2.3 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.2.3 (6+8)Φ Derinlikte Ekilmiş Kısmi Bağlı Ankrajlar

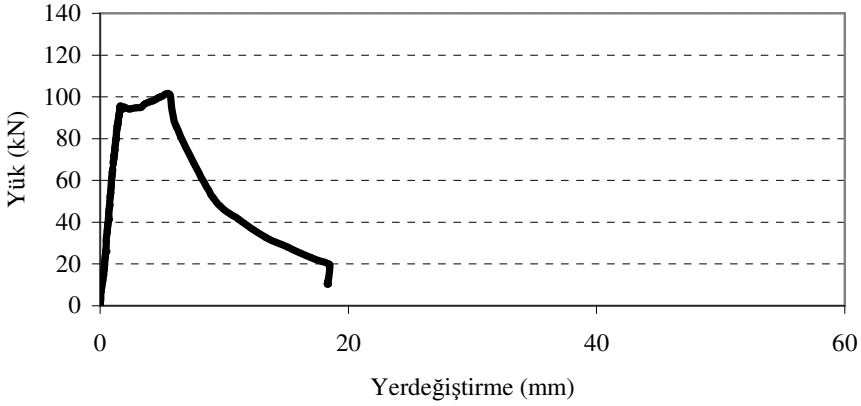
5.2.3.1 (6+8)Φ Derinliğinde, Delik Temizliği Yapılmış Kısmi Bağlı Ankrajlar

5.2.3.1.1 (6+8)Φ.C1

Tablo 5.35'de (6+8)Φ.C1 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.69'da deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.70'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.35: (6+8)Φ.C1 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+8)Φ.C1
Toplam Derinlik	14Φ = 224 mm
Bağlı Derinlik	6Φ = 96 mm
Serbest Derinlik	8Φ = 128 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	101.0 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	15.7 MPa
Yüzey Özellikleri	Temiz
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.69: (6+8)Φ.C1 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



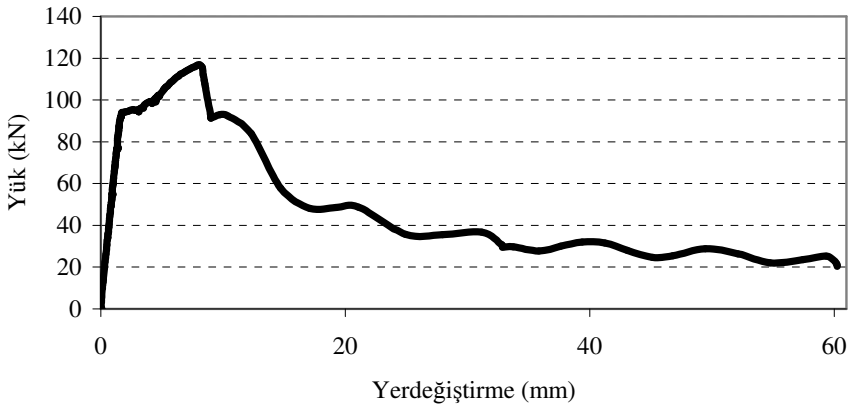
Şekil 5.70: (6+8)Φ.C1 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.2.3.1.2 (6+8)Φ.C2

Tablo 5.36'da (6+8)Φ.C2 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.71'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.72'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.36: (6+8)Φ.C2 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+8)Φ.C2
Toplam Derinlik	14Φ = 224 mm
Bağlı Derinlik	6Φ = 96 mm
Serbest Derinlik	8Φ = 128 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	116.9 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	18.2 MPa
Yüzey Özellikleri	Temiz
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.71: (6+8)Φ.C2 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



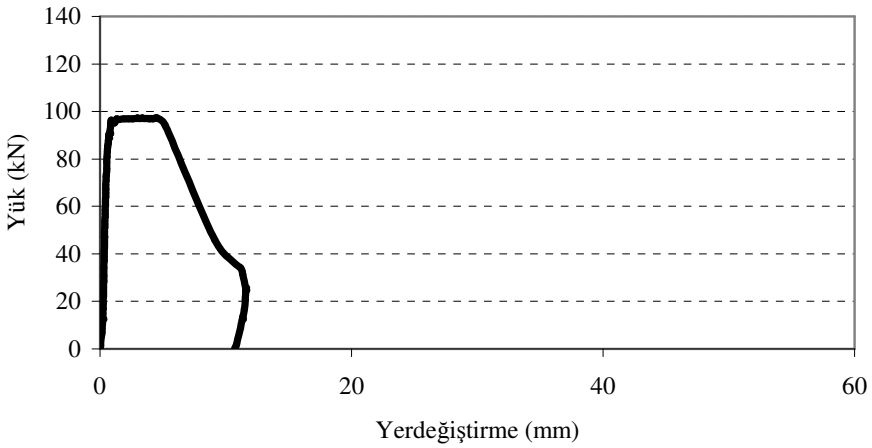
Şekil 5.72: (6+8)Φ.C2 Numunesine Ait Fotoğraf

5.2.3.1.3 (6+8)Φ.C3

Tablo 5.37'de (6+8)Φ.C3 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.73'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.74'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.37: (6+8)Φ.C3 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+8)Φ.C3
Toplam Derinlik	14Φ = 224 mm
Bağlı Derinlik	6Φ = 96 mm
Serbest Derinlik	8Φ = 128 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	97.4 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	15.1 MPa
Yüzey Özellikleri	Temiz
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.73: (6+8)Φ.C3 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



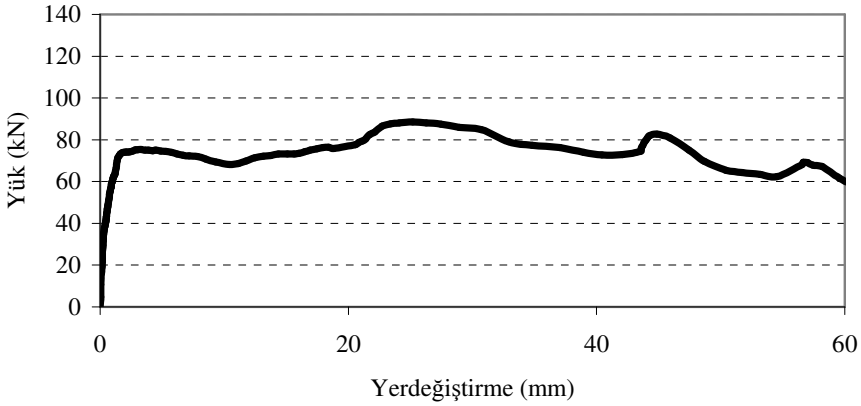
Şekil 5.74: (6+8)Φ.C3 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.2.3.1.4 (6+8)Φ.C4

Tablo 5.38'de (6+8)Φ.C4 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.75'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.76'da ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.38: (6+8)Φ.C4 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+8)Φ.C4
Toplam Derinlik	14Φ = 224 mm
Bağlı Derinlik	6Φ = 96 mm
Serbest Derinlik	8Φ = 128 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	88.5 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	13.8 MPa
Yüzey Özellikleri	Temiz
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.75: (6+8)Φ.C4 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



Şekil 5.76: (6+8)Φ.C4 Numunesine Ait Fotoğraflar

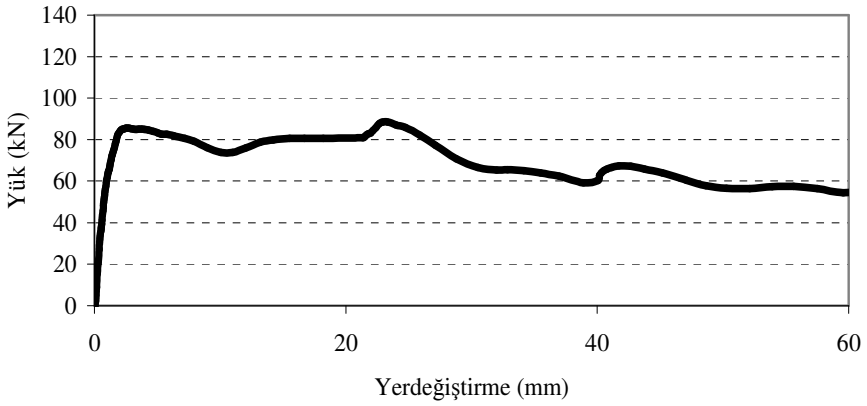
5.2.3.2 (6+8)Φ Derinliğinde, Delik Tozu Atılmış Kısmi Bağlı Ankrajlar

5.2.3.2.1 (6+8)Φ.D1.1

Tablo 5.39'da (6+8)Φ.D1.1 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.77'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.78'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.39: (6+8)Φ.D1.1 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+8)Φ.D1.1
Toplam Derinlik	14Φ = 224 mm
Bağlı Derinlik	8Φ = 128 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	88.6 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	13.8 MPa
Yüzey Özellikleri	Tozu Atılmış
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.77: (6+8)Φ.D1.1 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



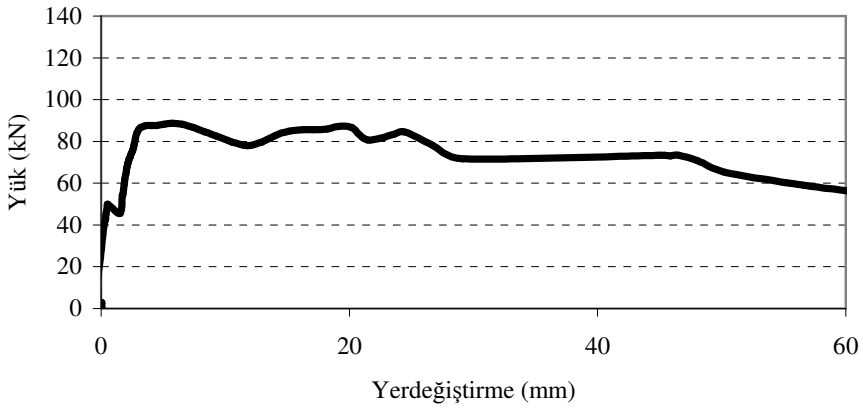
Şekil 5.78: (6+8)Φ.D1.1 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.2.3.2.2 (6+8)Φ.D1.2

Tablo 5.40'da (6+8)Φ.D1.2 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.79'da deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği görülmektedir.

Tablo 5.40: (6+8)Φ.D1.2 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+8)Φ.D1.2
Toplam Derinlik	14Φ = 224 mm
Bağlı Derinlik	8Φ = 128 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	88.6 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	13.8 MPa
Yüzey Özellikleri	Tozu Atılmış
Göçme Şekli	Sıyrılma



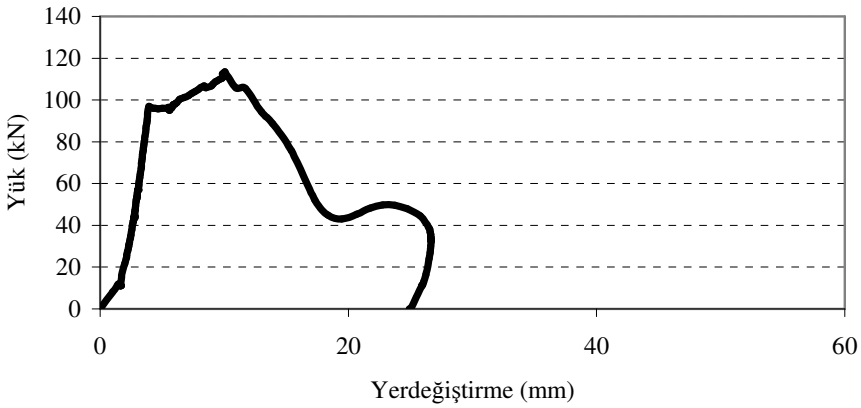
Şekil 5.79: (6+8)Φ.D1.2 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği

5.2.3.2.3 (6+8)Φ.D1.3

Tablo 5.41'de (6+8)Φ.D1.3 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.80'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.81'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.41: (6+8)Φ.D1.3 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+8)Φ.D1.3
Toplam Derinlik	14Φ = 224 mm
Bağlı Derinlik	8Φ = 128 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	113.4 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	17.6 MPa
Yüzey Özellikleri	Tozu Atılmış
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.80: (6+8)Φ.D1.3 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



Şekil 5.81: (6+8)Φ.D1.3 Numunesine Ait Fotoğraflar

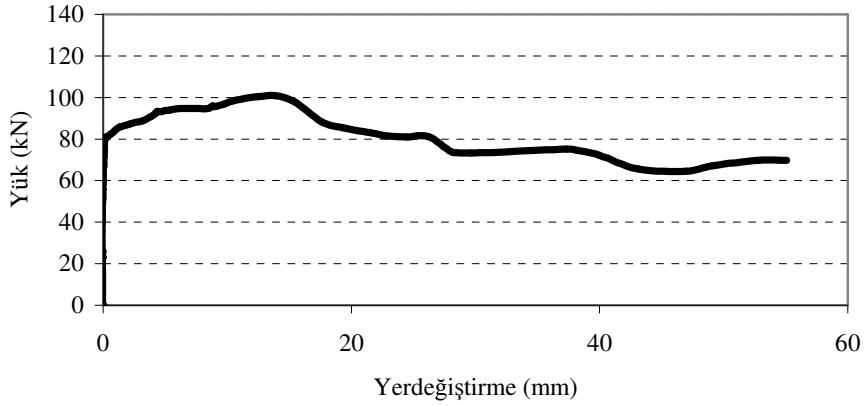
5.2.3.3 (6+8)Φ Derinliğinde, Tozlu Deliğe Ekilmiş Kısmi Bağlı Ankrajlar

5.2.3.3.1 (6+8)Φ.D2.1

Tablo 5.42'de (6+8)Φ.D2.1 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.82'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.83'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.42: (6+8)Φ.D2.1 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+8)Φ.D2.1
Toplam Derinlik	14Φ = 224 mm
Bağlı Derinlik	8Φ = 128 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	101.0 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	15.7 MPa
Yüzey Özellikleri	Tozlu
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.82: (6+8)Φ.D2.1 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



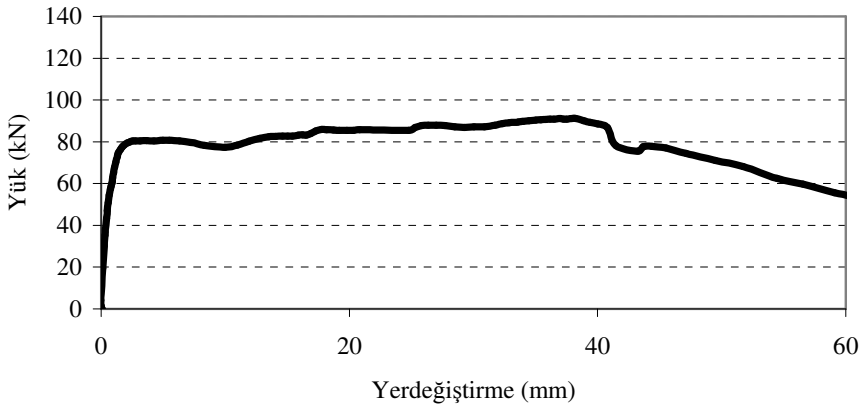
Şekil 5.83: (6+8)Φ.D2.1 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.2.3.3.2 (6+8)Φ.D2.2

Tablo 5.43'de (6+8)Φ.D2.2 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.84'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.85'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.43: (6+8)Φ.D2.2 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+8)Φ.D2.2
Toplam Derinlik	14Φ = 224 mm
Bağlı Derinlik	8Φ = 128 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	91.1 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	14.2 MPa
Yüzey Özellikleri	Tozlu
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.84: (6+8)Φ.D2.2 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



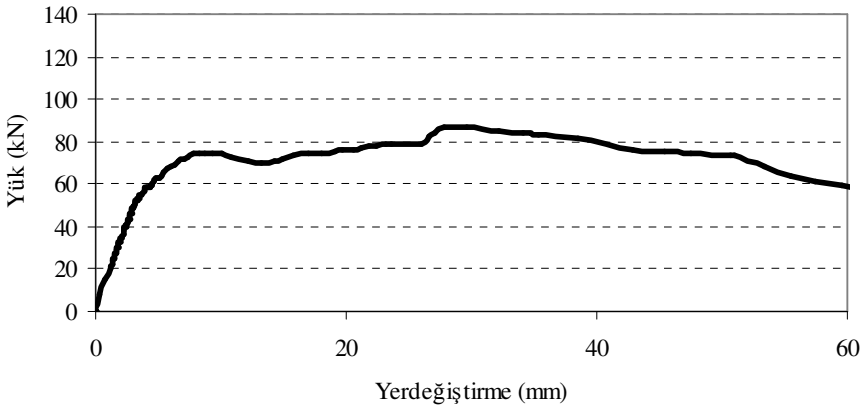
Şekil 5.85: (6+8)Φ.D2.2 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.2.3.3.3 (6+8)Φ.D2.3

Tablo 5.44'de (6+8)Φ.D2.3 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.86'da deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.87'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.44: (6+8)Φ.D2.3 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+8)Φ.D2.4
Toplam Derinlik	14Φ = 224 mm
Bağlı Derinlik	8Φ = 128 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	87.0 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	13.5 MPa
Yüzey Özellikleri	Tozlu
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.86: (6+8)Φ.D2.3 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



Şekil 5.87: (6+8)Φ.D2.3 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.2.4 (6+10)Φ Derinlikte Ekilmiş Kısmi Bağlı Ankrajlar

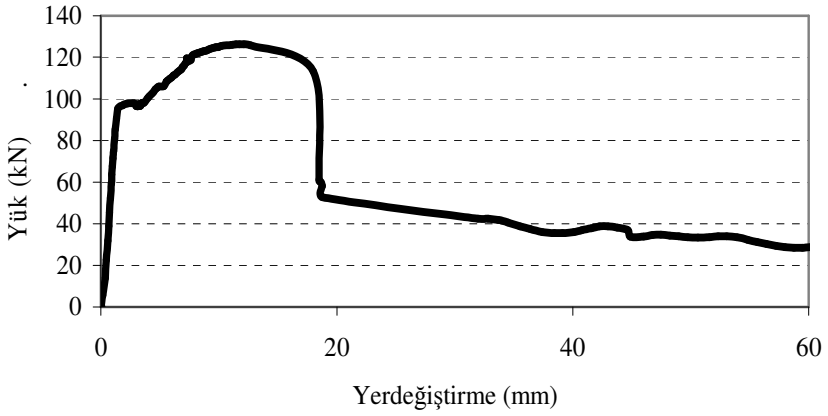
5.2.4.4 (6+10)Φ Derinliğinde, Delik Temizliği Yapılmış Kısmi Bağlı Ankrajlar

5.2.4.4.1 (6+10)Φ.C1

Tablo 5.45'de (6+10)Φ.C1 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.88'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.89'da ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.45: (6+10)Φ.C1 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+10)Φ.C1
Toplam Derinlik	16Φ = 256 mm
Bağlı Derinlik	6Φ = 96 mm
Serbest Derinlik	10Φ = 160 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	126.3 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	15.7 MPa
Yüzey Özellikleri	Temiz
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.88: (6+10)Φ.C1 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



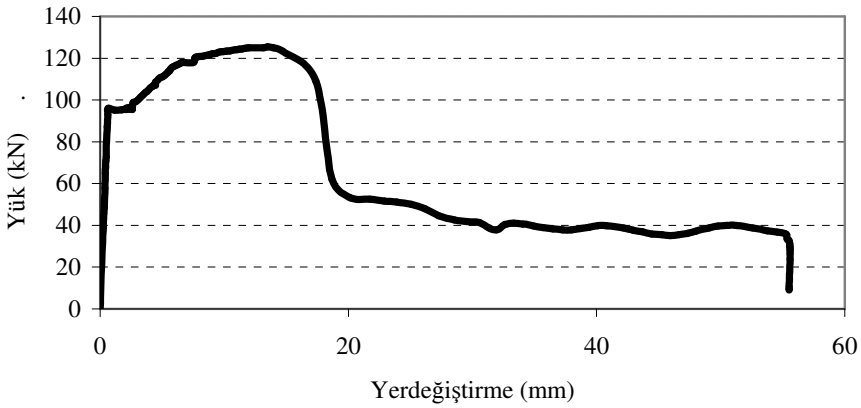
Şekil 5.89: (6+10)Φ.C1 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.2.4.4.2 (6+10)Φ.C2

Tablo 5.46'de (6+10)Φ.C2 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.90'da deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.91'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.46: (6+10)Φ.C2 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+10)Φ.C2
Toplam Derinlik	16Φ = 256 mm
Bağlı Derinlik	6Φ = 96 mm
Serbest Derinlik	10Φ = 160 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	125.4 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	15.6 MPa
Yüzey Özellikleri	Temiz
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.90: (6+10)Φ.C2 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



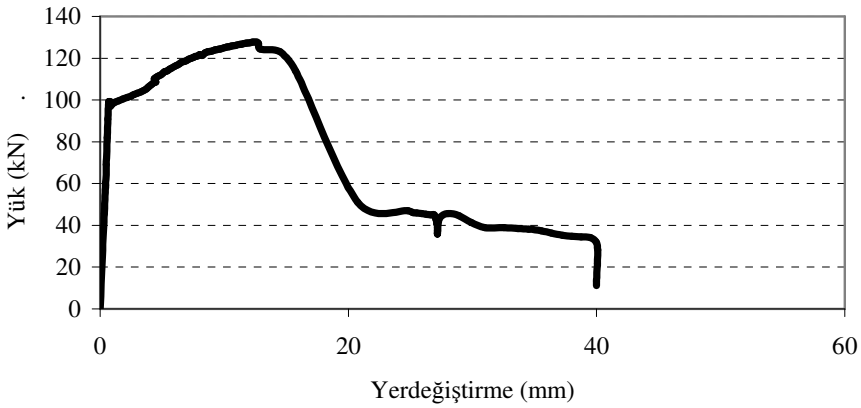
Şekil 5.91: (6+10)Φ.C2 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.2.4.4.3 (6+10)Φ.C3

Tablo 5.47'de (6+10)Φ.C3 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.92'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.93'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.47: (6+10)Φ.C3 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+10)Φ.C3
Toplam Derinlik	16Φ = 256 mm
Bağlı Derinlik	6Φ = 96 mm
Serbest Derinlik	10Φ = 160 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	127.8 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	15.9 MPa
Yüzey Özellikleri	Temiz
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.92: (6+10)Φ.C3 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



Şekil 5.93: (6+10)Φ.C3 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.3 Kısmi Bağlı Ankrajlar Referans Deneyleri

Yapılan ankraj eksenel çekip çıkarma deneylerinin üçüncü setini kısmi bağlı ankrajların referans deneyleri oluşturmaktadır. Bu bölüm kapsamında incelenecek kısmi bağlı ankrajların farklı derinliklerde,farklı yüzey koşulları altında referans yapışma dayanımlarının tespiti için yapılan çekip çıkarma deneylerini kapsar.

Referans deneylerinde ankrajın hemen yanında konumlandırılan deney düzeneği sayesinde ankrajın bağlı derinliği boyunca oluşan yapışma dayanımını yitirmesi sonucu sıyrılarak kapasitesine erişmesi sağlanmıştır. Referans deneyleri; farklı derinliklerde ve temiz, tozlu, nemli, ıslak ankraj derinliklerinde yapışma dayanımının nasıl değiştiği hakkında fikir edinmek için yapılmıştır.

İkinci deney setinde uygulanan her bir ankraj numunesinin referans deneyleri de yapılmış, bu sayede sonuçların karşılaştırılabilmesi sağlanmıştır. Referans deneylerinin bir avantajı numunelerin gerçek ankraj davranışının elde edildiği deneylere göre daha yakın ekilebilmesidir. Bunun nedenleri referans deneylerinde sıyrılma ile göçmenin oluşması ve deney düzeneğinin ankrajın hemen yanına konumlandırılmasıdır.

5.3.1 (6+4)Φ Derinlikte Ekilmiş Kısmi Bağlı Ankrajlar Referans Deneyleri

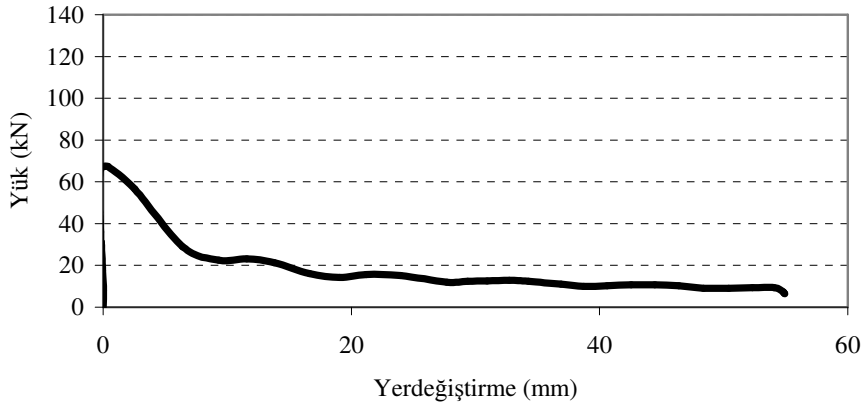
5.3.1.1 (6+4)Φ Derinlikte, Yüzey Temizliği Yapılmış Kısmi Bağlı Ankrajlar

5.3.1.1.1 (6+4)Φ.C.Ref1

Tablo 5.48'de (6+4)Φ.C.ref1 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.94'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.95'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.48: (6+4)Φ.C.ref1 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+4)Φ.C.ref1
Toplam Derinlik	10Φ = 160 mm
Bağlı Derinlik	4Φ = 64 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	67.4 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	21.0 MPa
Yüzey Özellikleri	Temiz
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.94: (6+4)Φ.C.ref1 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



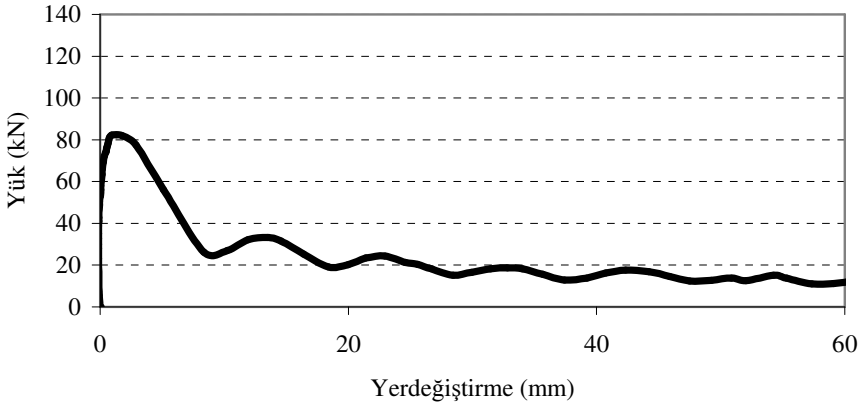
Şekil 5.95: (6+4)Φ.C.ref1 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.3.1.1.2 (6+4)Φ.C.ref2

Tablo 5.49'de (6+4)Φ.C.ref2 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.96'da deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.97'de ise deney sonrasında çekilen fotoğraf görülmektedir.

Tablo 5.49: (6+4)Φ.C.ref2 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+4)Φ.C.ref2
Toplam Derinlik	10Φ = 160 mm
Bağlı Derinlik	4Φ = 64 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	82.4 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	25.6 MPa
Yüzey Özellikleri	Temiz
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.96: (6+4)Φ.C.ref2 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



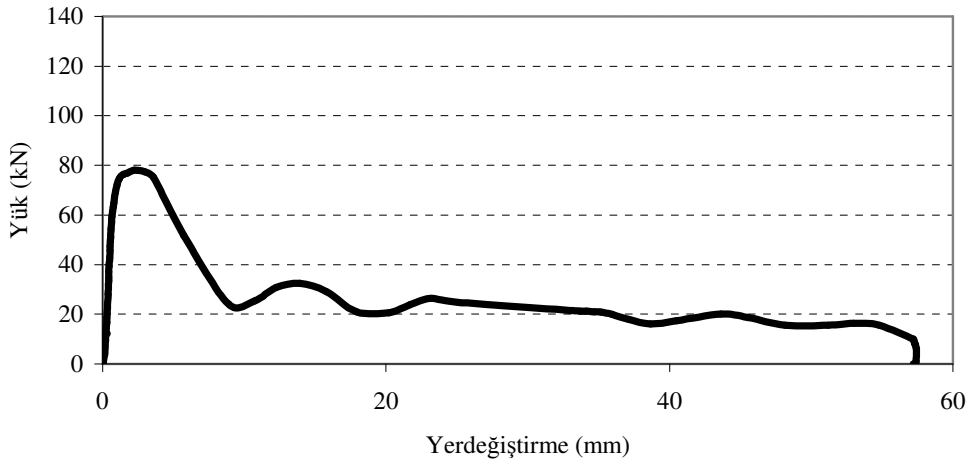
Şekil 5.97: (6+4)Φ.C.ref2 Numunesine Ait Bir Fotoğraf

5.3.1.1.3 (6+4)Φ.C.ref3

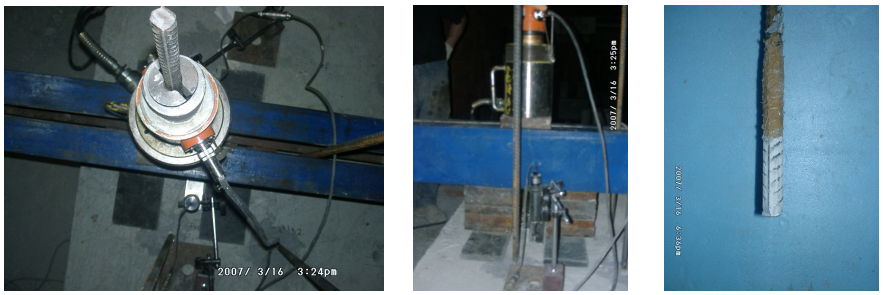
Tablo 5.50'de (6+4)Φ.C3 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.98'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.99'da ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.50: (6+4)Φ.C.ref3 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+4)Φ.C.ref3
Toplam Derinlik	10Φ = 160 mm
Bağlı Derinlik	4Φ = 64 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	78.0 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	24.2 MPa
Yüzey Özellikleri	Temiz
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.98: (6+4)Φ.C.ref3 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



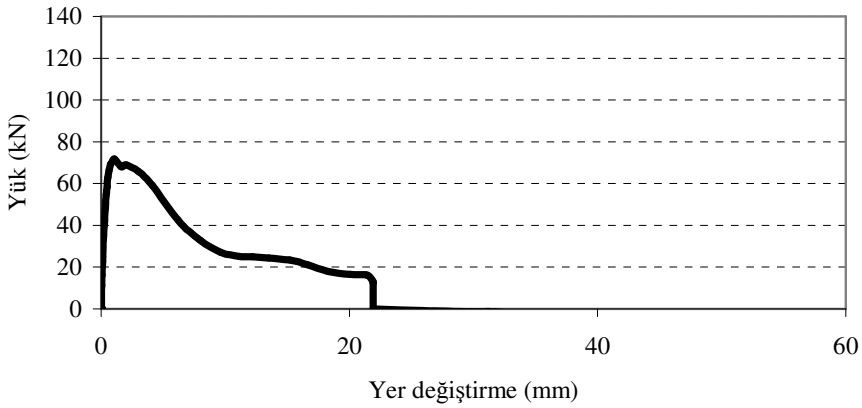
Şekil 5.99: (6+4)Φ.C.ref3 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.3.1.1.4 (6+4)Φ.C.Ref4

Tablo 5.51'de (6+4)Φ.C.ref4 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.100'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.101'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.51: (6+4)Φ.C.ref4 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+4)Φ.C.ref4
Toplam Derinlik	10Φ = 160 mm
Bağlı Derinlik	4Φ = 64 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	71.6 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	22.3 MPa
Yüzey Özellikleri	Temiz
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.100: (6+4)Φ.C.ref4 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



Şekil 5.101: (6+4)Φ.C.ref4 Numunesine Ait Fotoğraflar

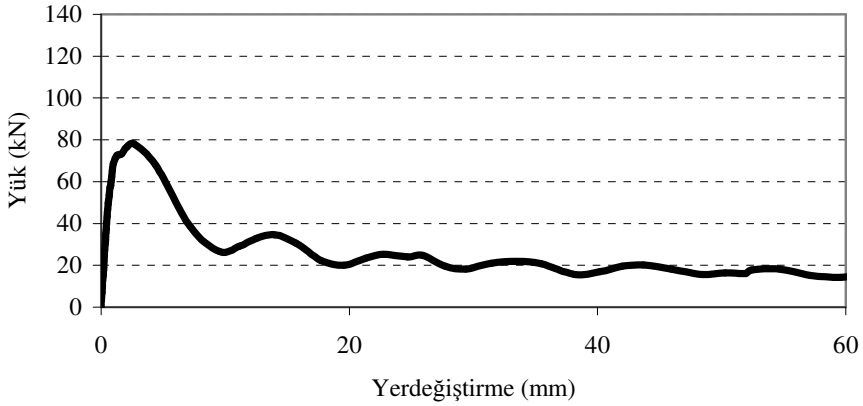
5.3.1.2 (6+4)Φ Derinliğinde, Delik Tozu Atılmış Kısmi Bağlı Ankrajlar

5.3.1.2.1 (6+4)Φ.D1.ref1

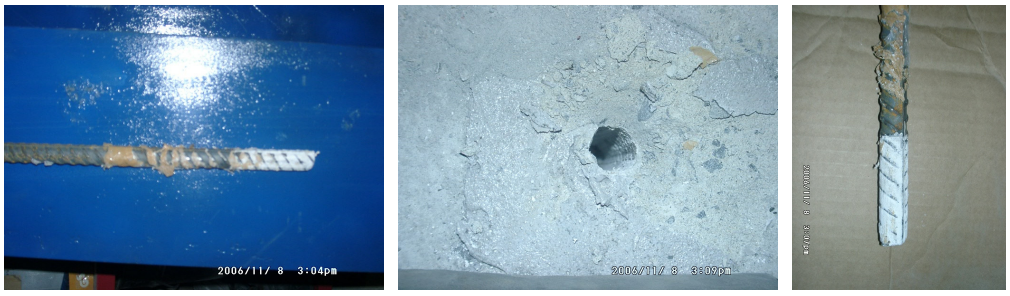
Tablo 5.52'te (6+4)Φ.D1.ref1 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.102'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.103'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.52: (6+4)Φ.D1.ref1 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+4)Φ.H2.1
Toplam Derinlik	10Φ = 160 mm
Bağlı Derinlik	4Φ = 64 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	78.0 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	24.2 MPa
Yüzey Özellikleri	Tozu Atılmış
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.102: (6+4)Φ.D1.ref1 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



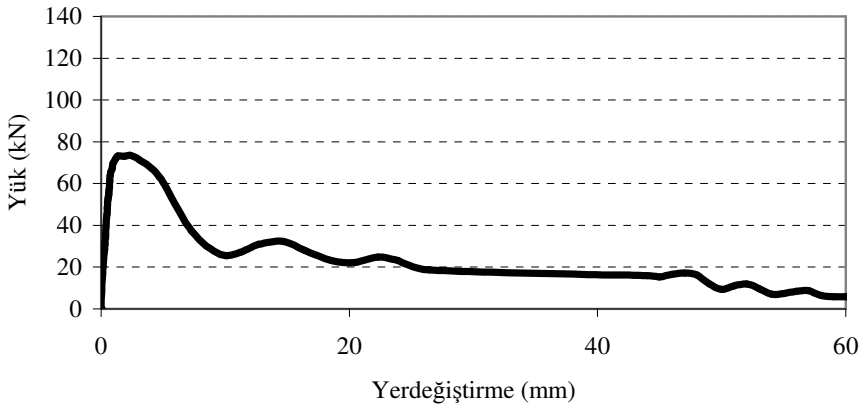
Şekil 5.103: (6+4)Φ.D1.ref1 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.3.1.2.2 (6+4)Φ.D1.ref2

Tablo 5.53'de (6+4)Φ.D1.ref2 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.103'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.105'de ise deney sonrasında çekilen fotoğraf görülmektedir.

Tablo 5.53: (6+4)Φ.D1.ref2 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+4)Φ.D1.ref2
Toplam Derinlik	10Φ = 160 mm
Bağlı Derinlik	4Φ = 64 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	73.6 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	22.9 MPa
Yüzey Özellikleri	Tozu Atılmış
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.104: (6+4)Φ.D1.ref2 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



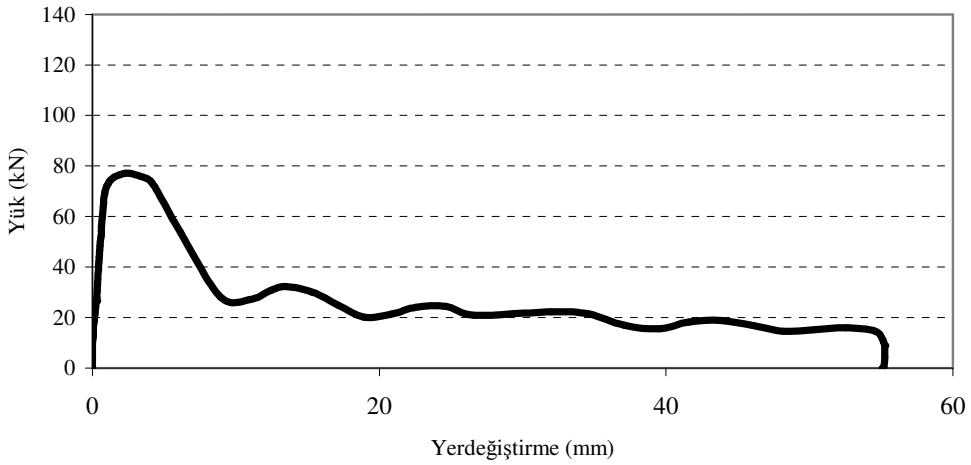
Şekil 5.105: (6+4)Φ.D1.ref2 Numunesine Ait Bir Fotoğraf

5.3.1.2.3 (6+4)Φ.D1.ref3

Tablo 5.54'de (6+4)Φ.D1.ref3 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.106'da deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.107'de ise deney sonrasında çekilen fotoğraf görülmektedir.

Tablo 5.54: (6+4)Φ.D1.ref3 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+4)Φ.D1.ref3
Toplam Derinlik	10Φ = 160 mm
Bağlı Derinlik	4Φ = 64 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	77.2 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	24.0 MPa
Yüzey Özellikleri	Tozu Atılmış
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.106: (6+4)Φ.D1.ref3 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



Şekil 5.107: (6+4)Φ.D1.ref3 Numunesine Ait Bir Fotoğraf

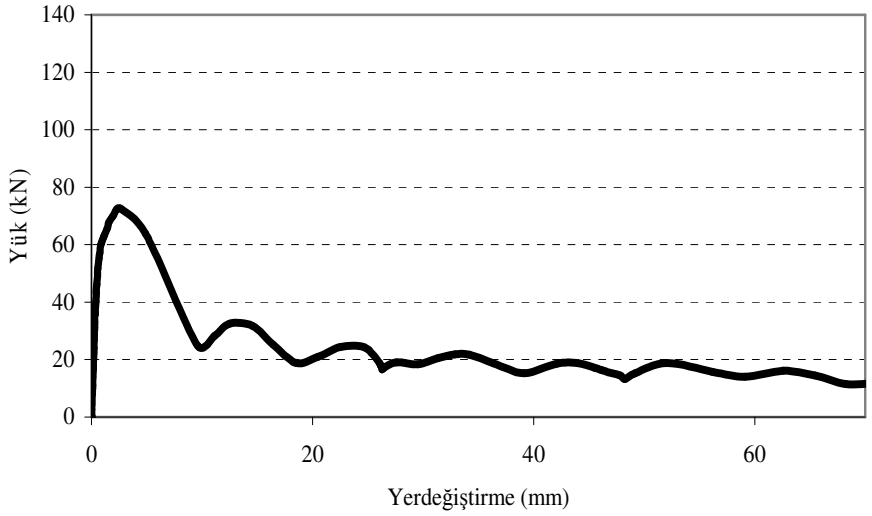
5.3.1.3 (6+4) Derinliğinde, Tozlu Deliğe Ekilmiş Kısmi Bağlı Ankrajlar

5.3.1.3.1 (6+4)Φ.D2.ref1

Tablo 5.55'de (6+4)Φ.D2.ref1 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.108'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.109'da ise deney sonrasında çekilen fotoğraf görülmektedir.

Tablo 5.55: (6+4)Φ.D2.ref1 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+4)Φ.D2.ref1
Toplam Derinlik	10Φ = 160 mm
Bağlı Derinlik	4Φ = 64 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	72.6 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	22.6 MPa
Yüzey Özellikleri	Tozlu
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.108: (6+4)Φ.D2.ref1 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



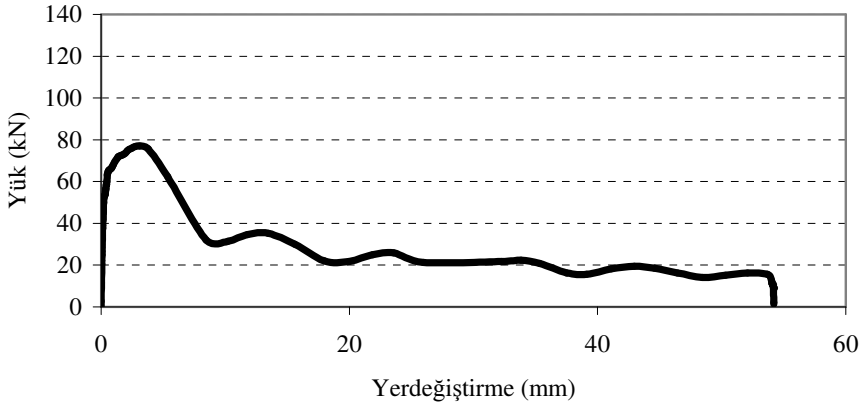
Şekil 5.109: (6+4)Φ.D2.ref1 Numunesine Ait Bir Fotoğraf

5.3.1.3.2 (6+4)Φ.D2.ref2

Tablo 5.56'de (6+4)Φ.D2.ref2 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.109'da deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.111'de ise deney sonrasında çekilen fotoğraf görülmektedir.

Tablo 5.56: (6+4)Φ.D2.ref2 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+4)Φ.D2.ref2
Toplam Derinlik	10Φ = 160 mm
Bağlı Derinlik	4Φ = 64 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	77.0 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	23.9 MPa
Yüzey Özellikleri	Tozlu
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.110: (6+4)Φ.D2.ref2 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



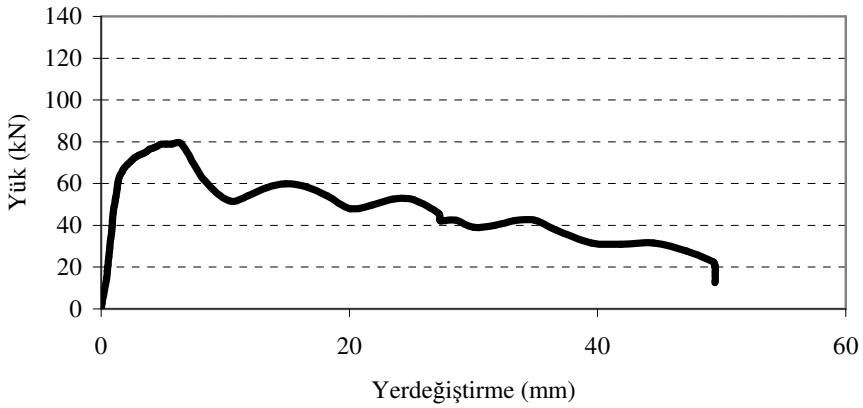
Şekil 5.111: (6+4)Φ.D2.ref2 Numunesine Ait Bir Fotoğraf

5.3.1.3.3 (6+4)Φ.D2.ref3

Tablo 5.57'de (6+4)Φ.D2.ref3 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.111'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.113'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.57: (6+4)Φ.D2.ref3 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+4)Φ.D2.ref3
Toplam Derinlik	10Φ = 160 mm
Bağlı Derinlik	4Φ = 64 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	79.0 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	24.6 MPa
Yüzey Özellikleri	Tozlu
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.112: (6+4)Φ.D2.ref3 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



Şekil 5.113: (6+4)Φ.D2.ref3 Numunesine Ait Fotoğraflar

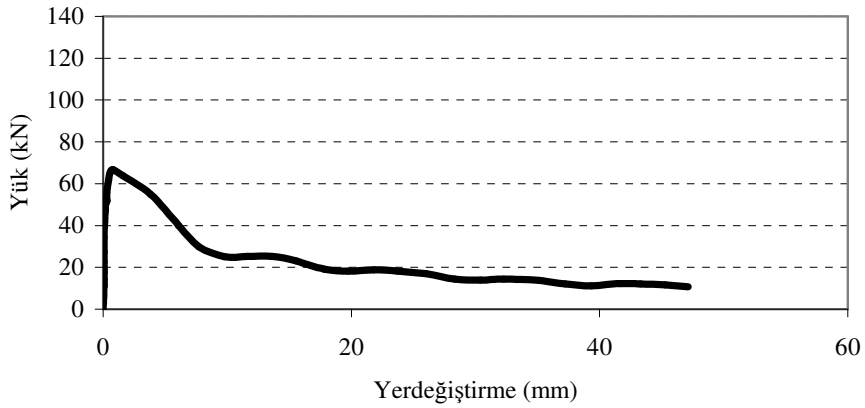
5.3.1.4 (6+4) Derinliğinde, Nemli Deliğe Ekilmiş Kısmi Bağlı Ankrajlar

5.3.1.4.1 (6+4)Φ.H1.ref1

Tablo 5.58'de (6+4)Φ.H1.ref1 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.114'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.115'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.58: (6+4)Φ.H1.ref1 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+4)Φ.H1.ref1
Toplam Derinlik	10Φ = 160 mm
Bağlı Derinlik	4Φ = 64 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	66.7 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	20.7 MPa
Yüzey Özellikleri	Nemli
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.114: (6+4)Φ.H1.ref1 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



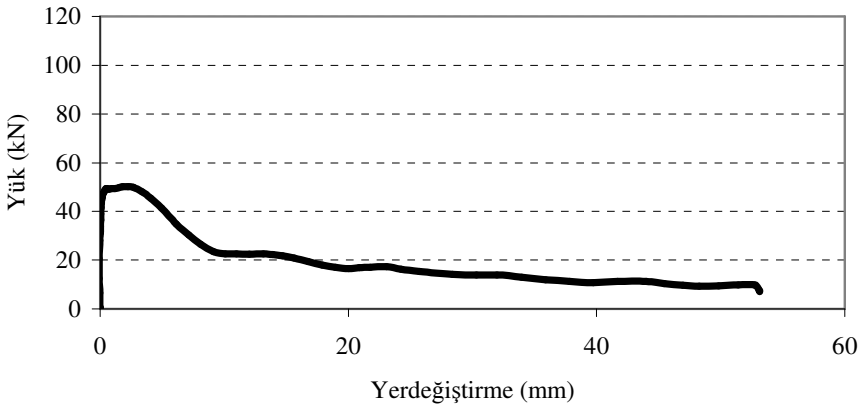
Şekil 5.115: (6+4)Φ.H1.ref1 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.3.1.4.2 (6+4)Φ.H1.ref2

Tablo 5.59'da (6+4)Φ.H1.ref2 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.116'da deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.117'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.59: (6+4)Φ.H1.ref2 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+4)Φ.H1.ref2
Toplam Derinlik	10Φ = 160 mm
Bağlı Derinlik	4Φ = 64 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	50.2 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	15.6 MPa
Yüzey Özellikleri	Nemli
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.116: (6+4)Φ.H1.ref2 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



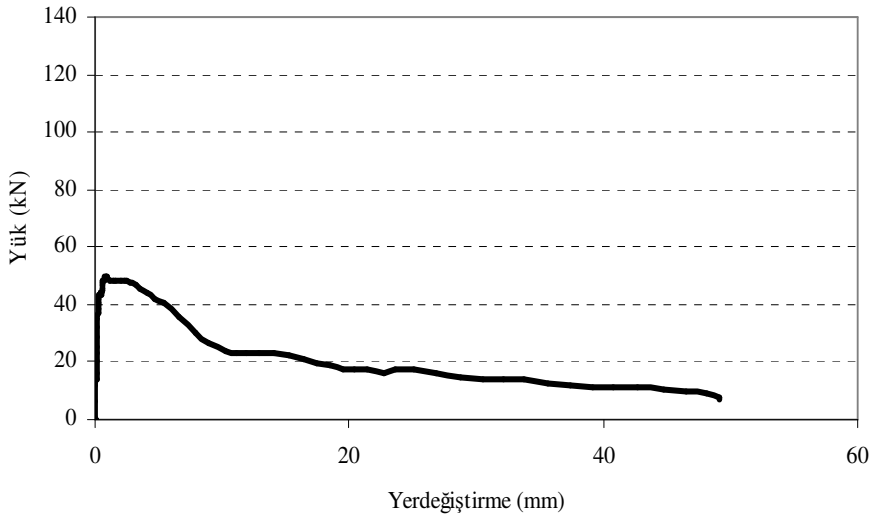
Şekil 5.117: (6+4)Φ.H1.ref2 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.3.1.4.3 (6+4)Φ.H1.ref3

Tablo 5.60'de (6+4)Φ.H1.ref3 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.118'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.119'da ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.60: (6+4)Φ.H1.ref3 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+4)Φ.H1.ref3
Toplam Derinlik	10Φ = 160 mm
Bağlı Derinlik	4Φ = 64 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	49.4 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	15.4 MPa
Yüzey Özellikleri	Nemli
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.118: (6+4)Φ.H1.ref3 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



Şekil 5.119: (6+4)Φ.H1.ref3 Numunesine Ait Fotoğraflar

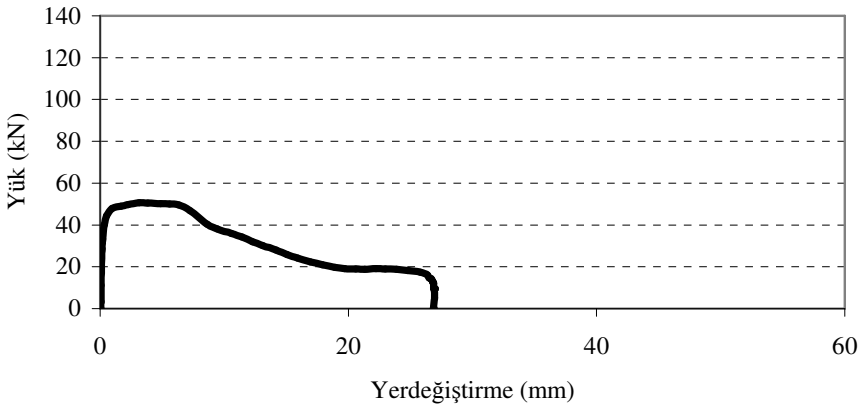
5.3.1.5 (6+4) Derinliğinde, Islak Deliğe Ekilmiş Kısmi Bağlı Ankrajlar

5.3.1.5.1 (6+4)Φ.H2.ref1

Tablo 5.61'de (6+4)Φ.H2.ref1 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.120'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.121'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.61: (6+4)Φ.H2.ref1 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+4)Φ.H2.ref1
Toplam Derinlik	10Φ = 160 mm
Bağlı Derinlik	4Φ = 64 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	50.6 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	15.7 MPa
Yüzey Özellikleri	Islak
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.120: (6+4)Φ.H2.ref1 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



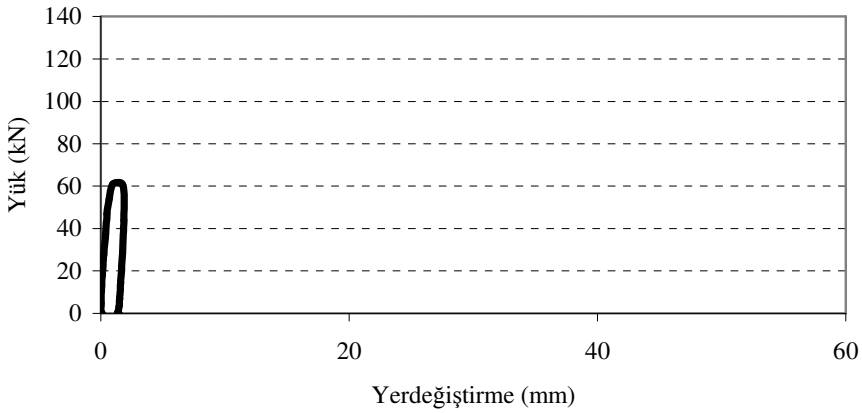
Şekil 5.121: (6+4)Φ.H2.ref1 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.3.1.5.2 (6+4)Φ.H2.ref2

Tablo 5.62'de (6+4)Φ.H2.ref2 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.122'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.123'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.62: (6+4)Φ.H2.ref2 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+4)Φ.H2.ref2
Toplam Derinlik	10Φ = 160 mm
Bağlı Derinlik	4Φ = 64 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	60.9 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	18.9 MPa
Yüzey Özellikleri	Islak
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.122: (6+4)Φ.H2.ref2 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



Şekil 5.123: (6+4)Φ.H2.ref2 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.3.2 (6+6)Φ Derinliğinde Ekilmiş Kısmi Bağlı Ankrajlar Referans Deneyleri

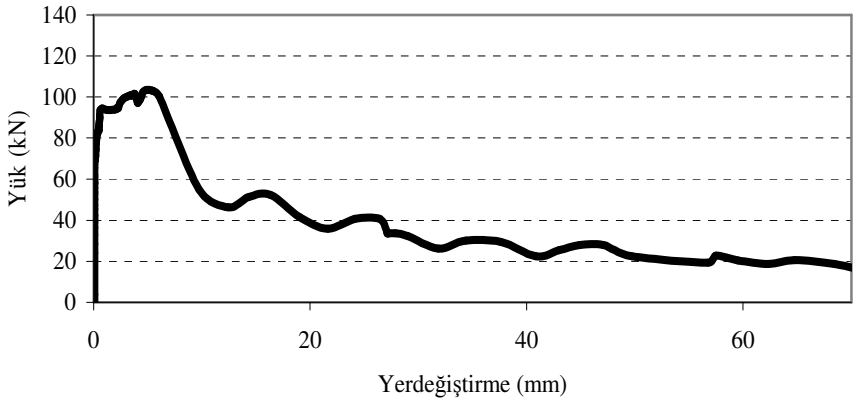
5.3.2.1 (6+6)Φ Derinlikte, Delik Temizliği Yapılmış Kısmi Bağlı Ankrajlar

5.3.2.1.1 (6+6)Φ.C.ref1

Tablo 5.63'de (6+6)Φ.C.ref1 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.124'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.125'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.63: (6+6)Φ.C.ref1 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+6)Φ.C.ref1
Toplam Derinlik	12Φ = 192 mm
Bağlı Derinlik	6Φ = 96 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	103.5 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	21.4 MPa
Yüzey Özellikleri	Temiz
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.124: (6+6)Φ.C.ref1 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



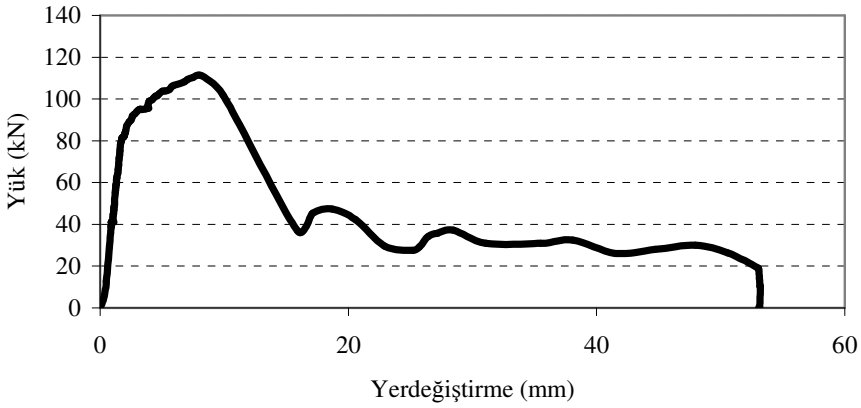
Şekil 5.125: (6+6)Φ.C.ref1 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.3.2.1.2 (6+6)Φ.C.ref2

Tablo 5.64'de (6+6)Φ.C.ref2 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.126'da deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği görülmektedir.

Tablo 5.64: (6+6)Φ.C.ref2 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+6)Φ.C.ref2
Toplam Derinlik	12Φ = 192 mm
Bağlı Derinlik	6Φ = 96 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	111.3 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	23.1 MPa
Yüzey Özellikleri	Temiz
Göçme Şekli	Sıyrılma



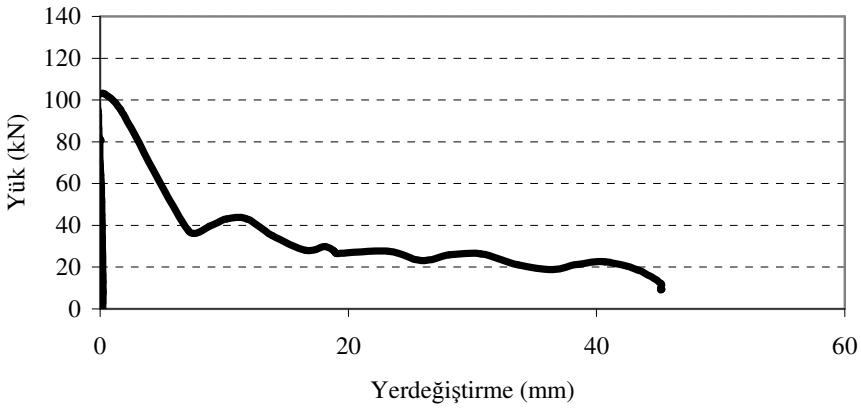
Şekil 5.126: (6+6)Φ.C.ref2 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği

5.3.2.1.3 (6+6)Φ.C.ref3

Tablo 5.65'de (6+6)Φ.C.ref3 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.127'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.128'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.65: (6+6)Φ.C.ref3 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+6)Φ.C.ref3
Toplam Derinlik	12Φ = 192 mm
Bağlı Derinlik	6Φ = 96 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	103.0 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	21.3 MPa
Yüzey Özellikleri	Temiz
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.127: (6+6)Φ.C.ref3 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



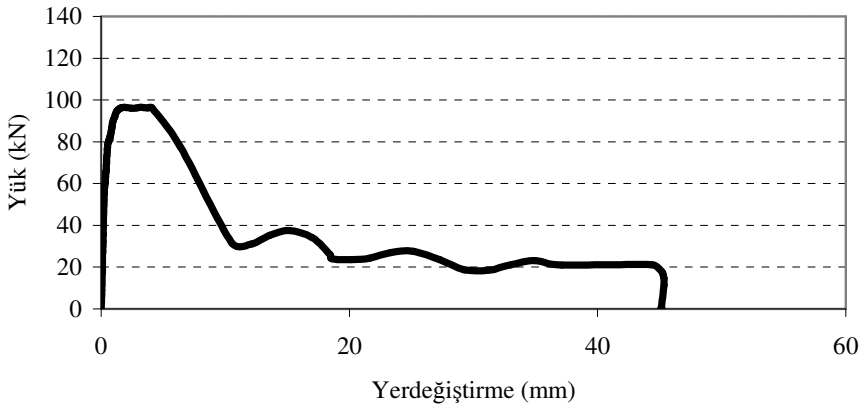
Şekil 5.128: (6+6)Φ.C.ref3 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.3.2.1.4 (6+6)Φ.C.ref4

Tablo 5.66'de (6+6)Φ.C.ref4 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.129'da deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.130'da ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.66: (6+6)Φ.C.ref4 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+6)Φ.C.ref4
Toplam Derinlik	12Φ = 192 mm
Bağlı Derinlik	6Φ = 96 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	96.5 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	20.0 MPa
Yüzey Özellikleri	Temiz
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.129: (6+6)Φ.C.ref4 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



Şekil 5.130: (6+6)Φ.C.ref4 Numunesine Ait Fotoğraflar

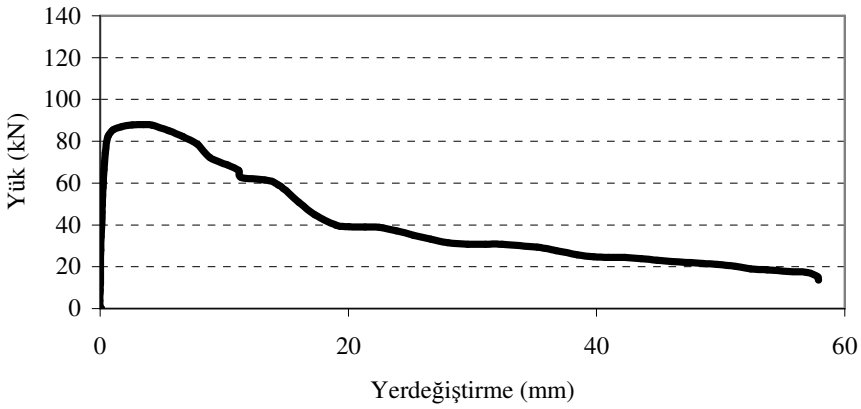
5.3.2.2 (6+6)Φ Derinliğinde, Islak Deliğe Ekilmiş Kısmi Bağlı Ankrajlar

5.3.2.2.1 (6+6)Φ.H2.ref1

Tablo 5.67'de (6+6)Φ.H2.ref1 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.131'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.132'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.67: (6+6)Φ.H2.ref1 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+6)Φ.H2.ref1
Toplam Derinlik	12Φ = 192 mm
Bağlı Derinlik	6Φ = 96 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	88.0 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	18.2 MPa
Yüzey Özellikleri	Islak
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.131: (6+6)Φ.H2.ref1 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



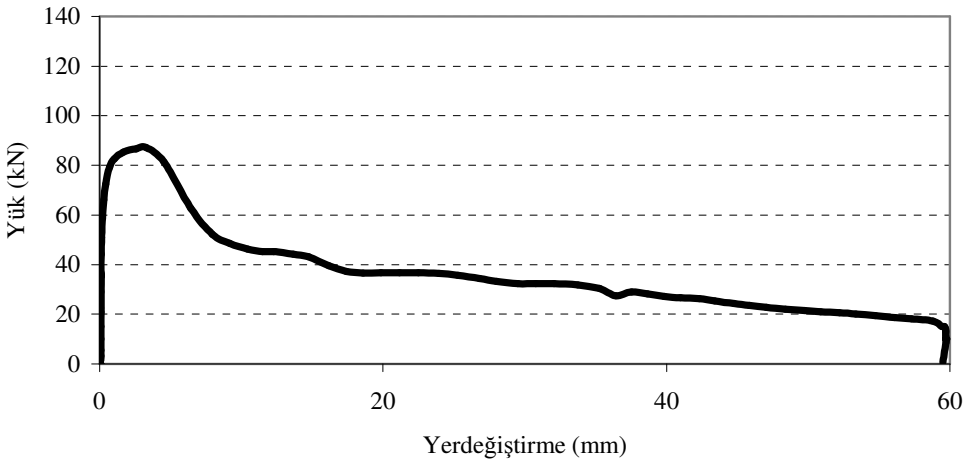
Şekil 5.132: (6+6)Φ.H2.ref1 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.3.2.2.2 (6+6)Φ.H2.ref2

Tablo 5.68'de (6+6)Φ.H2.ref2 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.133'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.134'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.68: (6+6)Φ.H2.ref2 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+6)Φ.H2.ref2
Toplam Derinlik	12Φ = 192 mm
Bağlı Derinlik	6Φ = 96 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	87.2 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	18.1 MPa
Yüzey Özellikleri	Islak
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.133: (6+6)Φ.H2.ref2 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



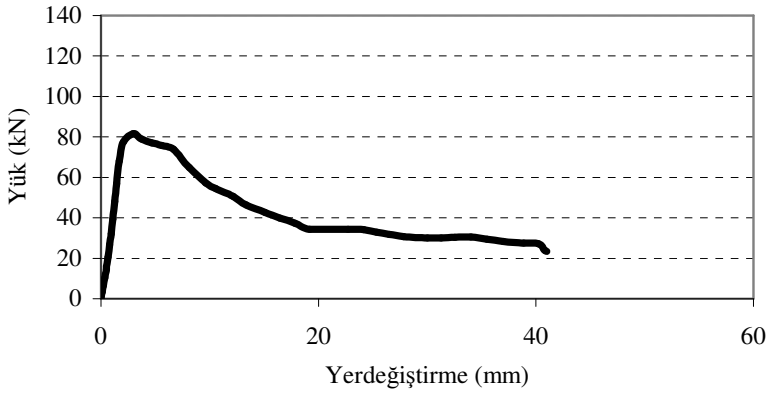
Şekil 5.134: (6+6)Φ.H2.ref2 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.3.2.2.3 (6+6)Φ.H2.ref3

Tablo 5.69'de (6+6)Φ.H2.ref3 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.135'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.136'da ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.69: (6+6)Φ.H2.ref3 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+6)Φ.H2.ref3
Toplam Derinlik	12Φ = 192 mm
Bağlı Derinlik	6Φ = 96 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	81.6 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	16.9 MPa
Yüzey Özellikleri	Islak
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.135: (6+6)Φ.H2.ref3 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



Şekil 5.136: (6+6)Φ.H2.ref3 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.3.3 (6+8)Φ Derinlikte Ekilmiş Kısmi Bağlı Ankrajların Referans Deneyleri

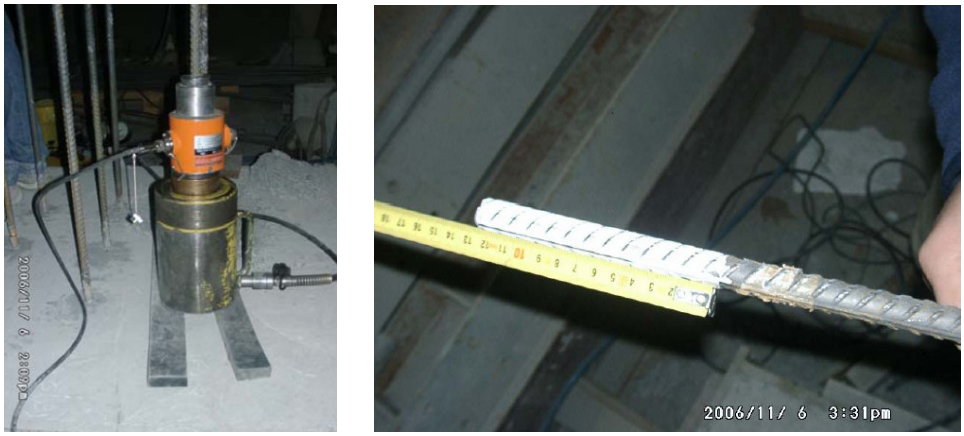
5.3.3.1 (6+8)Φ Derinliğinde, Delik Temizliği Yapılmış Kısmi Bağlı Ankrajlar

5.3.3.1.1 (6+8)Φ.C.Ref1

Tablo 5.70'de (6+8)Φ.C.ref1 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.137'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği görülmektedir.

Tablo 5.70: (6+8)Φ.C.ref1 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+8)Φ.C.ref1
Toplam Derinlik	14Φ = 224 mm
Bağlı Derinlik	8Φ = 128 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	121.8 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	18.9 MPa
Yüzey Özellikleri	Temiz
Göçme Şekli	Sıyrılma



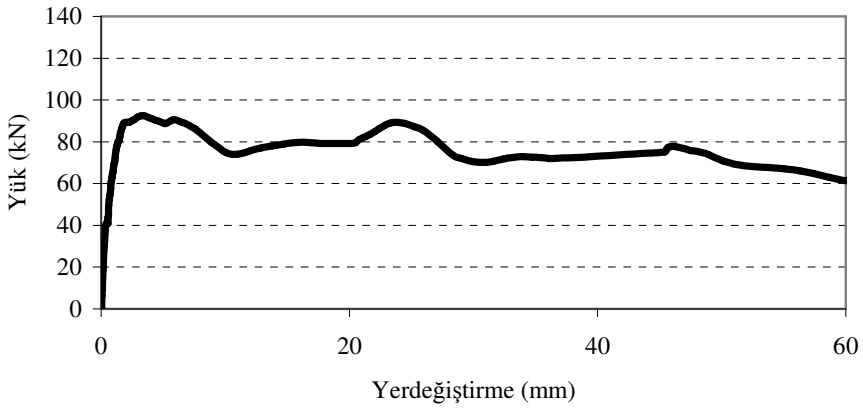
Şekil 5.137: (6+8)Φ.C.ref1 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.3.3.1.2 (6+8)Φ.C.ref2

Tablo 5.71'de (6+8)Φ.C.ref2 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.138'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.139'da ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.71: (6+8)Φ.C.ref2 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+8)Φ.C.ref2
Toplam Derinlik	14Φ = 224 mm
Bağlı Derinlik	8Φ = 128 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	92.5 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	14.4 MPa
Yüzey Özellikleri	Temiz
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.138: (6+8)Φ.C.ref2 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



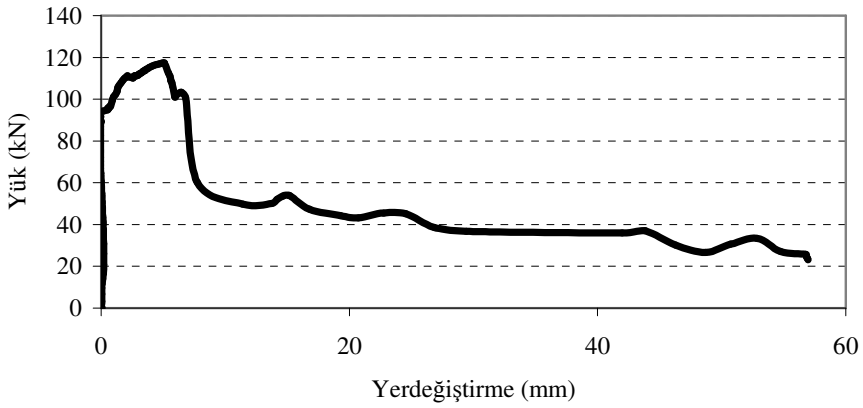
Şekil 5.139: (6+8)Φ.C.ref2 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.3.3.1.3 (6+8)Φ.C.ref3

Tablo 5.72'de (6+8)Φ.C.ref3 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.140'da deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.141'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.72: (6+8)Φ.C.ref3 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+8)Φ.C.ref3
Toplam Derinlik	14Φ = 224 mm
Bağlı Derinlik	8Φ = 128 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	117.2 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	18.2 MPa
Yüzey Özellikleri	Temiz
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.140: (6+8)Φ.C.ref3 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



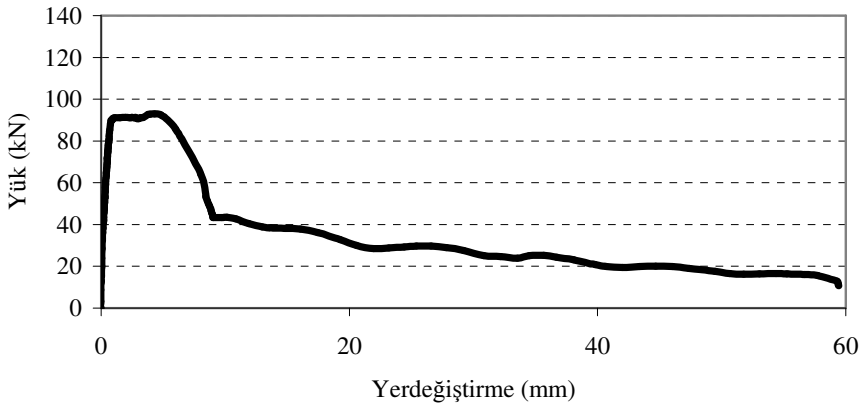
Şekil 5.141: (6+8)Φ.C.ref3 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.3.3.1.4 (6+8)Φ.C.ref4

Tablo 5.73'de (6+8)Φ.C.ref4 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.142'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.143'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.73: (6+8)Φ.C4 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+8)Φ.C.ref4
Toplam Derinlik	14Φ = 224 mm
Bağlı Derinlik	8Φ = 128 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	93.0 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	14.5 MPa
Yüzey Özellikleri	Temiz
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.142: (6+8)Φ.C.ref4 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



Şekil 5.143: (6+8)Φ.C.ref4 Numunesine Ait Fotoğraflar

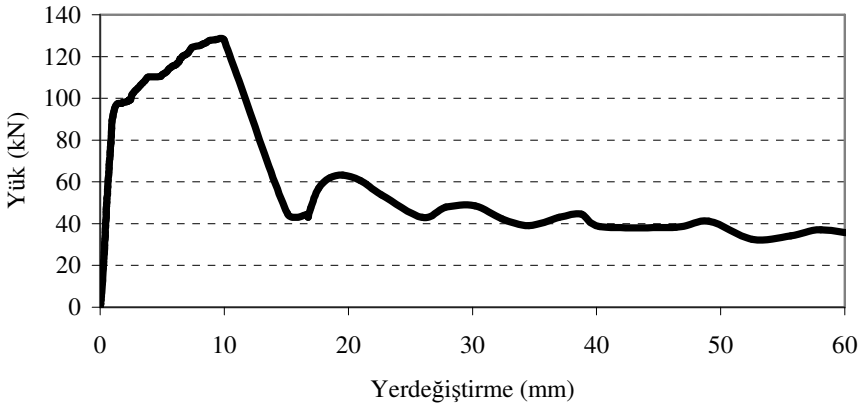
5.3.3.2 (6+8)Φ Derinliğinde, Delik Tozu Atılmış Kısmi Bağlı Ankrajlar

5.3.3.2.1 (6+8)Φ.D1.ref1

Tablo 5.74'de (6+8)Φ.D1.ref1 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.144'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.145'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.74: (6+8)Φ.D1.ref1 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+8)Φ.D1.ref1
Toplam Derinlik	14Φ = 224 mm
Bağlı Derinlik	8Φ = 128 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	128.1 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	19.9 MPa
Yüzey Özellikleri	Tozu Atılmış
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.144: (6+8)Φ.D1.ref1 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



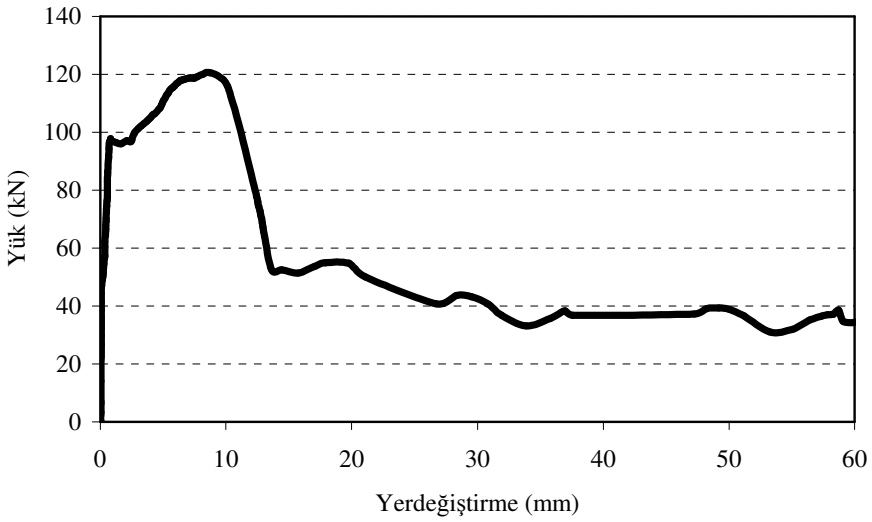
Şekil 5.145: (6+8)Φ.D1.ref1 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.3.3.2.2 (6+8)Φ.D1.ref2

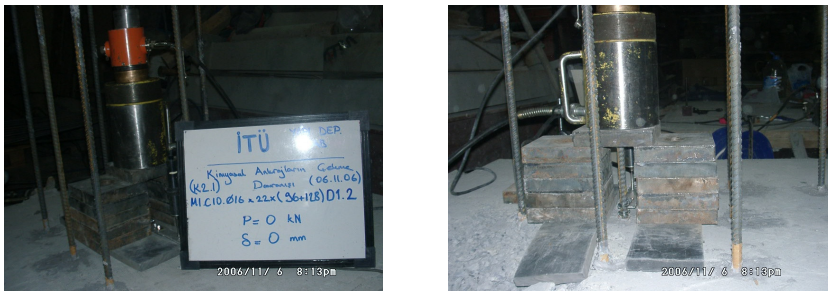
Tablo 5.75'de (6+8)Φ.D1.ref2 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.146'da deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.147'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.75: (6+8)Φ.D1.ref2 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+8)Φ.D1.ref2
Toplam Derinlik	14Φ = 224 mm
Bağlı Derinlik	8Φ = 128 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	120.6 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	18.7 MPa
Yüzey Özellikleri	Tozu Atılmış
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.146: (6+8)Φ.D1.ref2 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



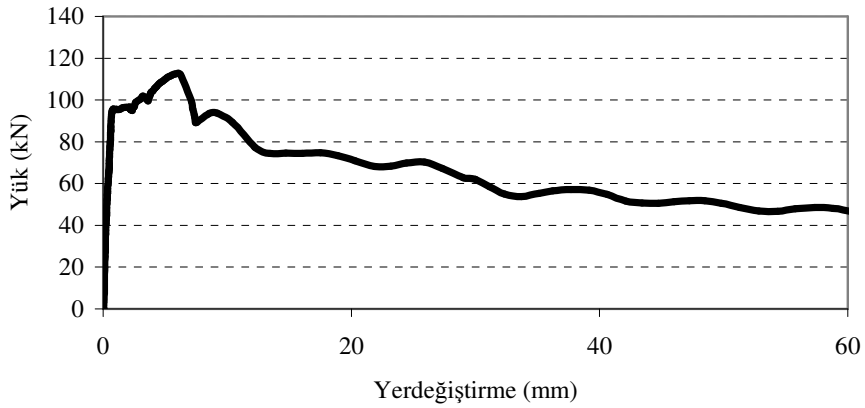
Şekil 5.147: (6+8)Φ.D1.ref2 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.3.3.2.3 (6+8)Φ.D1.ref3

Tablo 5.76'de (6+8)Φ.D1.ref3 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.148'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.149'da ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.76: (6+8)Φ.D1.ref3 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+8)Φ.D1.ref3
Toplam Derinlik	14Φ = 224 mm
Bağlı Derinlik	8Φ = 128 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	112.5 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	17.5 MPa
Yüzey Özellikleri	Tozu Atılmış
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.148: (6+8)Φ.D1.ref3 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



Şekil 5.149: (6+8)Φ.D1.ref3 Numunesine Ait Fotoğraflar

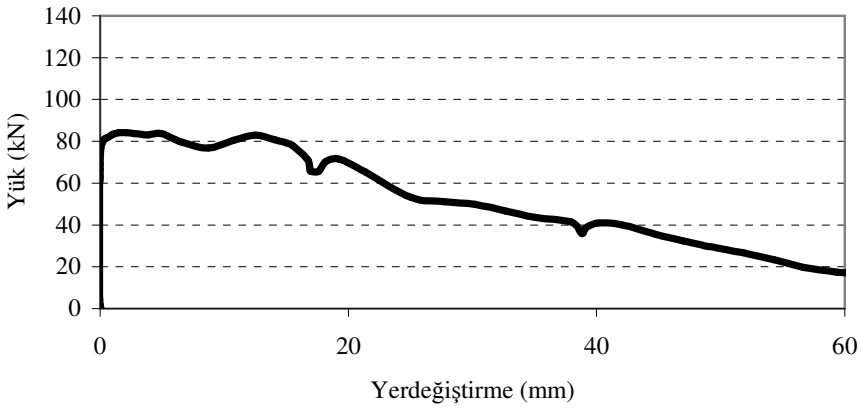
5.3.3.3 (6+8)Φ Derinliğinde, Tozlu Deliğe Ekilmiş Kısmi Bağlı Ankrajlar

5.3.3.3.1 (6+8)Φ.D2.ref1

Tablo 5.77'de (6+8)Φ.D2.ref1 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.150'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.151'de ise deney esnasında çekilen fotoğraf görülmektedir.

Tablo 5.77: (6+8)Φ.D2.ref1 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+8)Φ.D2.ref1
Toplam Derinlik	14Φ = 224 mm
Bağlı Derinlik	8Φ = 128 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	84.2 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	13.1 MPa
Yüzey Özellikleri	Tozlu
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.150: (6+8)Φ.D2.ref1 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



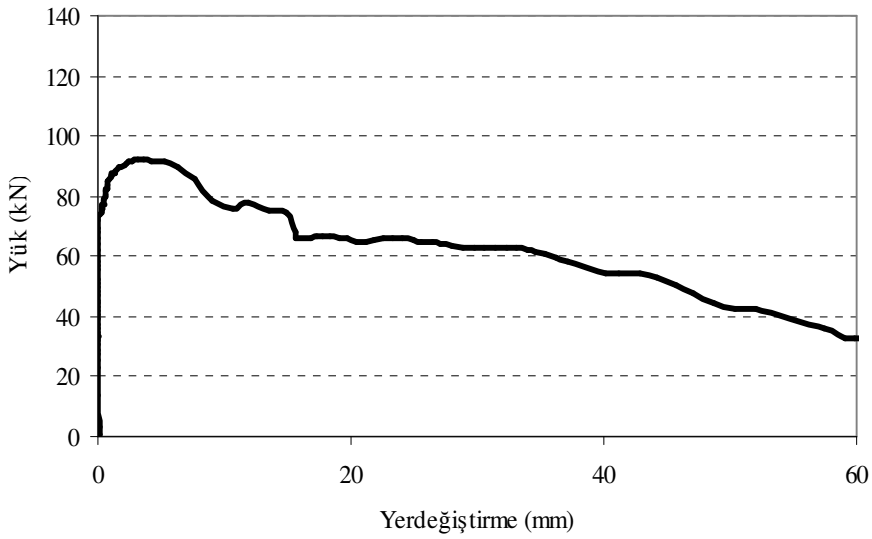
Şekil 5.151: (6+8)Φ.D2.ref1 Numunesine Ait Bir Fotoğraf

5.3.3.3.2 (6+8)Φ.D2.ref2

Tablo 5.78'de (6+8)Φ.D2.ref2 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.152'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.153'de ise deney esnasında çekilen fotoğraf görülmektedir.

Tablo 5.78: (6+8)Φ.D2.ref2 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+8)Φ.D2.ref2
Toplam Derinlik	14Φ = 224 mm
Bağlı Derinlik	8Φ = 128 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	92.4 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	14.4 MPa
Yüzey Özellikleri	Tozlu
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.152: (6+8)Φ.D2.ref2 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



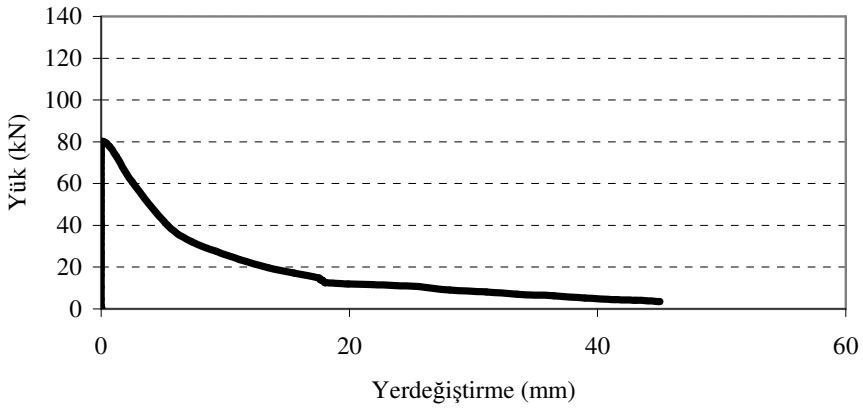
Şekil 5.153: (6+8)Φ.D2.ref2 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.3.3.3.3 (6+8)Φ.D2.ref3

Tablo 5.79'de (6+8)Φ.D2.ref3 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.154'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.155'de ise deney esnasında çekilen fotoğraf görülmektedir.

Tablo 5.79: (6+8)Φ.D2.ref3 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+8)Φ.D2.ref3
Toplam Derinlik	14Φ = 224 mm
Bağlı Derinlik	8Φ = 128 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	80.3 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	12.5 MPa
Yüzey Özellikleri	Tozlu
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.154: (6+8)Φ.D2.ref3 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



Şekil 5.155: (6+8)Φ.D2.ref3 Numunesine Ait Bir Fotoğraf

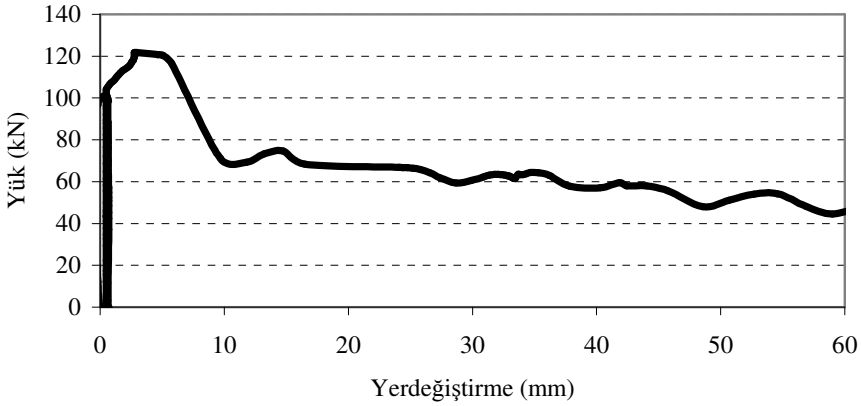
5.3.3.4 (6+8)Φ Derinliğinde, Nemli Deliğe Ekilmiş Kısmi Bağlı Ankrajlar

5.3.3.4.1 (6+8)Φ.H1.ref1

Tablo 5.80'de (6+8)Φ.H1.ref1 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.156'da deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.157'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.80: (6+8)Φ.H1.ref1 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+8)Φ.H1.ref1
Toplam Derinlik	14Φ = 224 mm
Bağlı Derinlik	8Φ = 128 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	122.3 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	19.0 MPa
Yüzey Özellikleri	Nemli
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.156: (6+8)Φ.H1.ref1 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



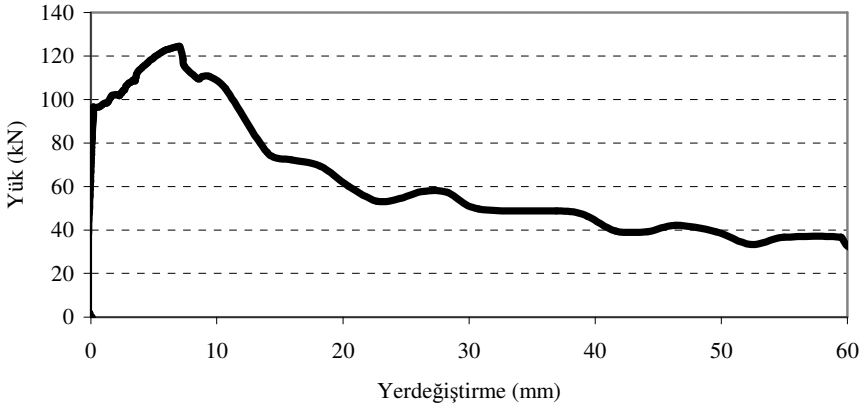
Şekil 5.157: (6+8)Φ.H1.ref1 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.3.3.4.2 (6+8)Φ.H1.ref2

Tablo 5.81'de (6+8)Φ.H1.ref2 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.158'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.159'da ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.81: (6+8)Φ.H1.ref2 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+8)Φ.H1.ref2
Toplam Derinlik	14Φ = 224 mm
Bağlı Derinlik	8Φ = 128 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	124.1 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	19.3 MPa
Yüzey Özellikleri	Nemli
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.158: (6+8)Φ.H1.ref2 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



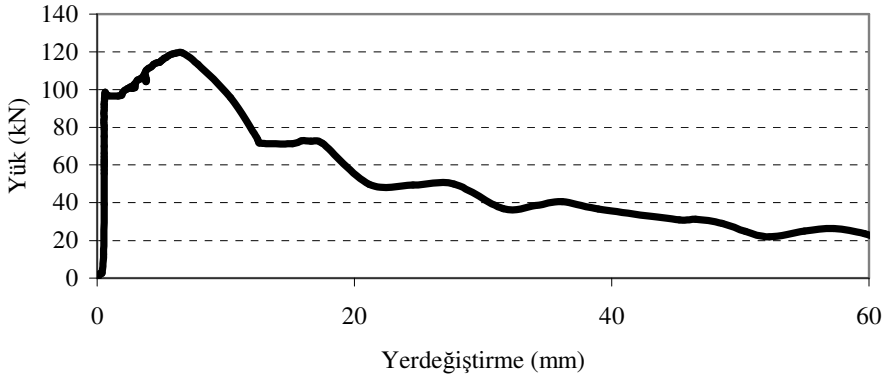
Şekil 5.159: (6+8)Φ.H1.ref2 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.3.3.4.3 (6+8)Φ.H1.ref3

Tablo 5.82'de (6+8)Φ.H1.ref3 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.160'da deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.161'de ise deney esnasında çekilen fotoğraf görülmektedir.

Tablo 5.82: (6+8)Φ.H1.ref3 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+8)Φ.H1.ref3
Toplam Derinlik	14Φ = 224 mm
Bağlı Derinlik	8Φ = 128 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	119.5 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	18.6 MPa
Yüzey Özellikleri	Nemli
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.160: (6+8)Φ.H1.ref3 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



Şekil 5.161: (6+8)Φ.H1.ref3 Numunesine Ait Bir Fotoğraf

5.3.4 (6+10)Φ Derinlikte Ekilmiş Kısmi Bağlı Ankrajlar

5.3.4.1 (6+10)Φ Derinliğinde, Delik Temizliği Yapılmış Kısmi Bağlı Ankrajların Referans Deneyleri

5.3.4.1.1 (6+10)Φ.C.ref1

Tablo 5.83'de (6+10)Φ.C.ref1 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.162'de deney esnasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.83: (6+10)Φ.C.ref1 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+10)Φ.C.ref1
Toplam Derinlik	16Φ = 256 mm
Bağlı Derinlik	10Φ = 160 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	123.6 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	15.4 MPa
Yüzey Özellikleri	Temiz
Göçme Şekli	Sıyrılma



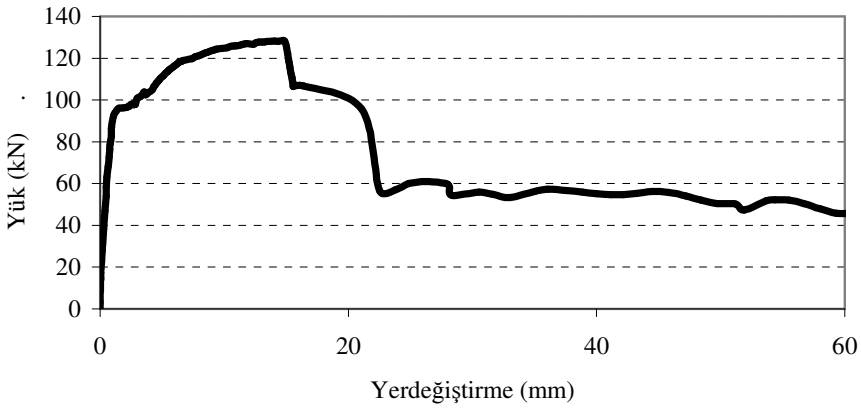
Şekil 5.162: (6+10)Φ.C.ref1 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.3.4.1.2 (6+10)Φ.C.ref2

Tablo 5.84'de (6+10)Φ.C.ref2 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.163'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.164'de ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.84: (6+10)Φ.C.ref2 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+10)Φ.C.ref2
Toplam Derinlik	16Φ = 256 mm
Bağlı Derinlik	10Φ = 160 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	128.3 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	16.0 MPa
Yüzey Özellikleri	Temiz
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.163: (6+10)Φ.C.ref2 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği



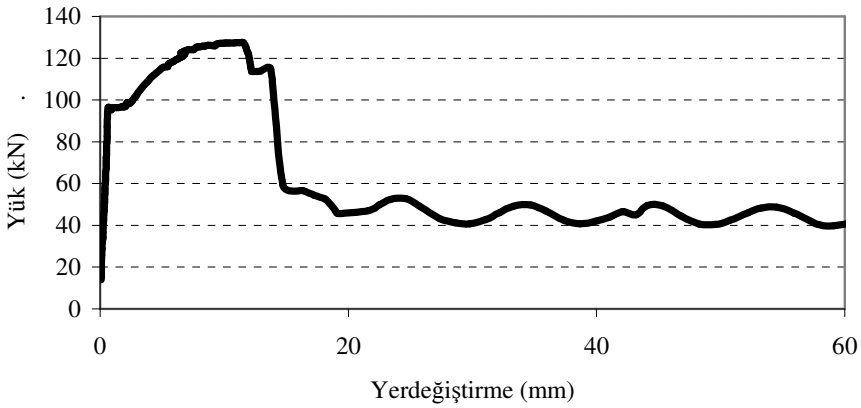
Şekil 5.164: (6+10)Φ.C.ref2 Numunesine Ait Fotoğraflar

5.3.4.1.3 (6+10)Φ.C.ref3

Tablo 5.85'de (6+10)Φ.C.ref3 numunesine ait deneysel veriler, Şekil 5.165'de deney sonucu elde edilen yük - yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 5.166'da ise deney esnasında ve sonrasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

Tablo 5.85: (6+10)Φ.C.ref3 Numunesine Ait Veriler

Numune Adı	(6+10)Φ.C.ref3
Toplam Derinlik	16Φ = 256 mm
Bağlı Derinlik	10Φ = 160 mm
Serbest Derinlik	6Φ = 96 mm
Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi	127.5 kN
Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı	15.9 MPa
Yüzey Özellikleri	Temiz
Göçme Şekli	Sıyrılma



Şekil 5.165: (6+10)Φ.C.ref3 Numunesine Ait Yük – Yerdeğiştirme Grafiği

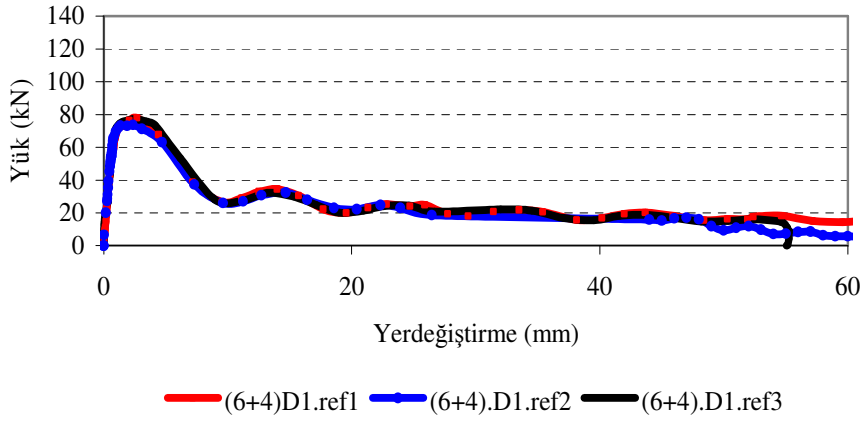


Şekil 5.166: (6+10)Φ.C.ref3 Numunesine Ait Fotoğraflar

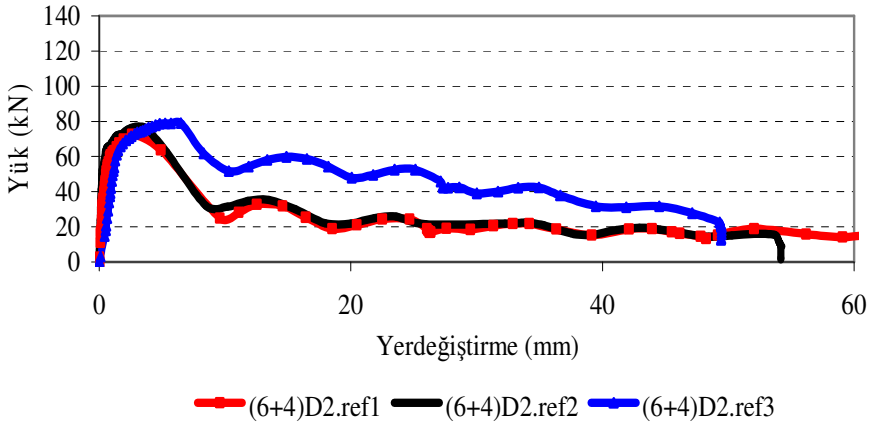
6. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde ankraj numunelerine ait çekip çıkarma deneylerinden elde edilen yük–yerdeğiştirme ilişkileri ve eksenel çekme kapasiteleri deneyde kullanılan farklı parametrelere göre karşılaştırılmış; parametrelerin ankraj davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ankraj numuneleri üzerinde yapılan deneyler; tam bağlı ankraj deneyleri, kısmi bağlı ankraj deneyleri ve ankraj referans deneyleri olmak üzere üç farklı setten oluşmaktadır. Ankraj deneylerinde taban betonunda düşük kalitede beton (deney zamanı dayanımı 12.7 MPa) kullanılmıştır.

Ankraj çekip çıkarma deneylerinde incelenecek her bir farklı parametre için tamamen aynı özelliğe sahip üç numune denenmiştir. Aynı özelliklere sahip üç nununenin çekip çıkarma deneylerinden elde edilen yük–yerdeğiştirme grafikleri incelendiğinde çoğunun benzer davranış sergilediği gözlenmiştir. Şekil 6.1'de (6+4)Φ derinliğinde tozlu ankraj numunelerinin referans deneyine ait yük-yerdeğiştirme eğrileri verilmiştir. Her üç numune eksenel çekme etkisinde benzer davranış göstermektedir. Bunun yanında deney esnasında taban betonunda oluşan kılcal çatlaklar bazı numunelerin davranışını etkilemiş, bu numunelerin yük–yerdeğiştirme grafiklerinde bazı sapmalar meydana gelmiştir. Şekil 6.2'de (6+4)Φ derinliğinde tozlu ankraj numunelerinin referans deneylerine ait yük-yerdeğiştirme ilişkileri verilmiştir. Bütün kesitte oluşan kılcal çatlaklar nedeniyle (6+4)D2.ref3 numunesinin yük–yerdeğiştirme ilişkisinde farklılık meydana gelmiştir.



Şekil 6.1: (6+4)D1.ref Numunelerine ait Yük-Yerdeğiştirme Grafikleri



Şekil 6.2: (6+4)D2.ref Numunelerine ait Yük-Yerdeğiştirme Grafikleri

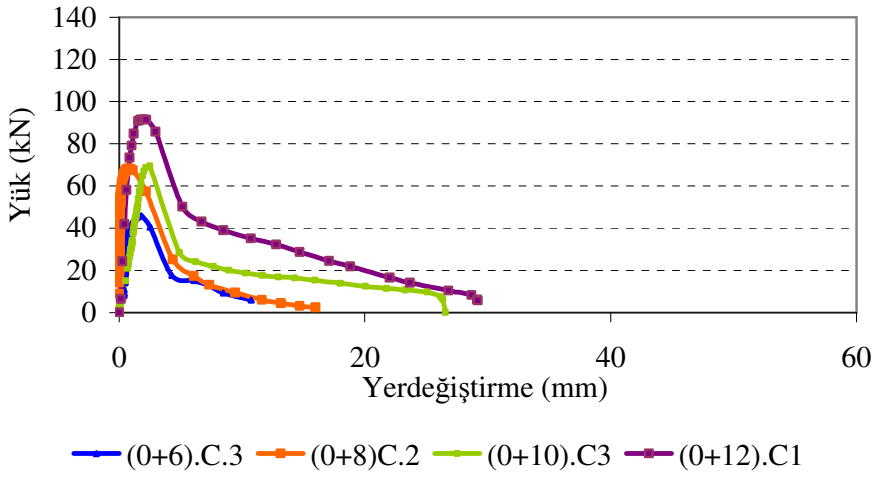
Herbir farklı ankraj numunesinden üçer tane denenmiş, bu numunelerin ortalama dayanımları dikkate alınmıştır. Böylece deneysel farklılıklardan kaynaklanan hataların en aza indirildiği düşünülmektedir.

6.1 Ankraj Derinliğinin Eksenel Çekme Davranışına Etkisi

Çalışma kapsamında ankraj derinliğinin eksenel çekme etkisi altındaki ankraj davranışına etkisinin incelenebilmesi için tam ve kısmi bağlı ankrajlarda dört farklı ankraj derinliğinde deneyler yapılmıştır.

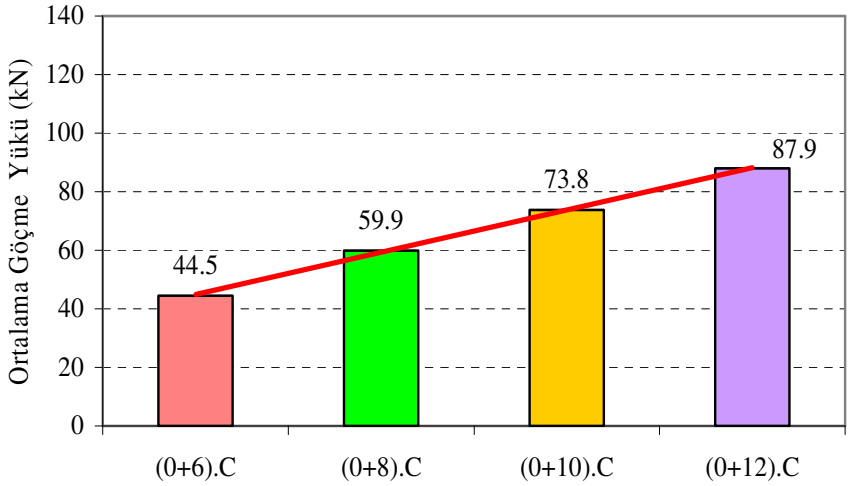
6.1.1 Tam Bağlı Ankrajlar

Tam bağlı ankrajlarda 6Φ, 8Φ, 10Φ ve 12Φ derinlikte ankrajlar uygulanmıştır. Farklı derinliklerde ekilen tam bağlı ankrajların yük–yerdeğiştirme eğrileri Şekil 6.3'te verilmiştir. Grafik incelendiğinde ankraj derinliğinin artmasıyla ankraj dayanımının arttığı gözlenmektedir.



Şekil 6.3: Farklı Derinlikte Tam Bağlı Ankrajların Yük–Yerdeğiştirme İlişkisi

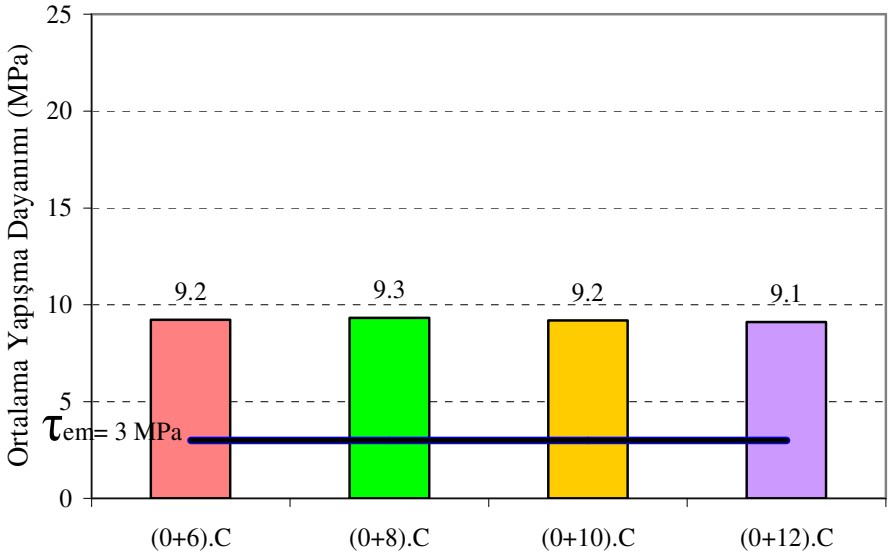
Tam bağlı ankrajların farklı derinliklerdeki ortalama göçme yükleri Şekil 6.4 'te verilmiştir. Tam bağlı ankrajlarda anraj derinliği ile ortalama göçme yükü arasındaki ilşkinin doğrusal olduğu Şekil 6.4'te görülmektedir



Şekil 6.4: Farklı Derinliklerde Tam Bağlı Ankrajlarda Ortalama Göçme Yükünün Değişimi

Şekil 6.5'de ise farklı derinliklerde ekilmiş tam bağlı ankrajların çekip çıkarma deneylerinden elde edilen ortalama yapışma dayanımları verilmiştir. Farklı derinliklerde ekilen tam bağlı ankrajlarda ortalama düzgün yapışma dayanımı benzer çıkmıştır. Şekil 6.5'te üretici firma tarafından verilen emniyetli yapışma gerilmesi değeri gösterilmiştir. Deneylerden elde edilen ortalama yapışma dayanımı (≈9.2

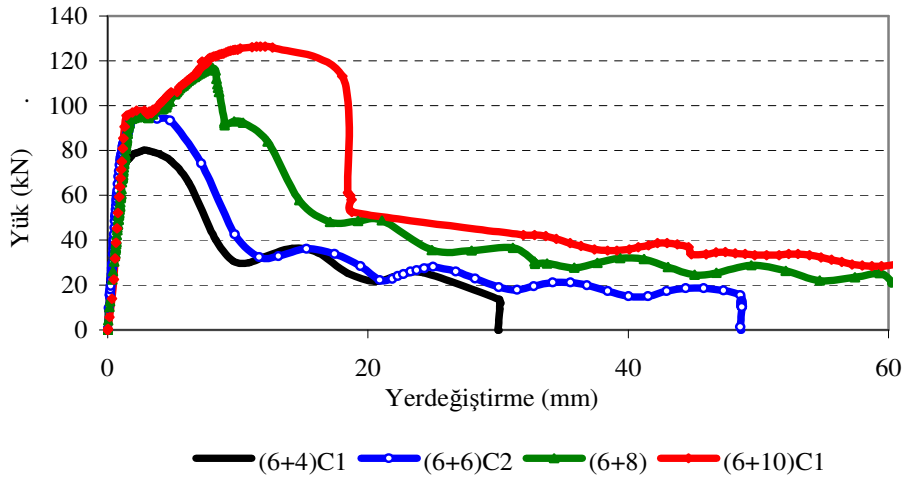
MPa) üretici firmanın, kullanılan kimyasal yapıştırıcı için tavsiye ettiği yapışma dayanımı olan 3 MPa (7 günde betona yapışma dayanımı) değerinden yüksek çıkmıştır. Bu durum göz önüne alındığında yaklaşık olarak 3 mertebesinde bir emniyet faktörü söz konusudur.



Şekil 6.5: Farklı Derinliklerde Tam Bağlı Ankrajlarda Yapışma Dayanımı

6.1.2 Kısmi Bağlı Ankrajlar

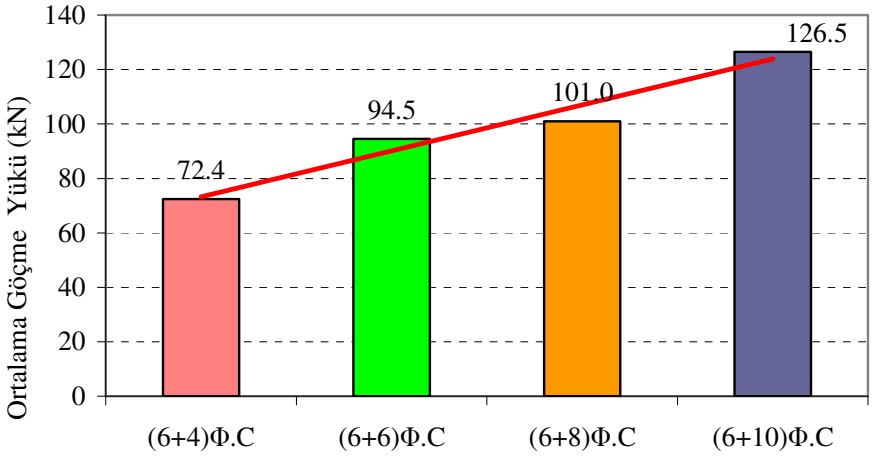
(6+4)Φ, (6+6)Φ, (6+8)Φ ve (6+10)Φ derinliklerde uygulanan kısmi bağlı ankrajların deney sonucu elde edilen yük–yerdeğiştirme grafikleri Şekil 6.6'da verilmiştir.



Şekil 6.6: Farklı Derinlikte Kısmi Bağlı Ankrajların Yük–Yerdeğiştirme Eğrisi

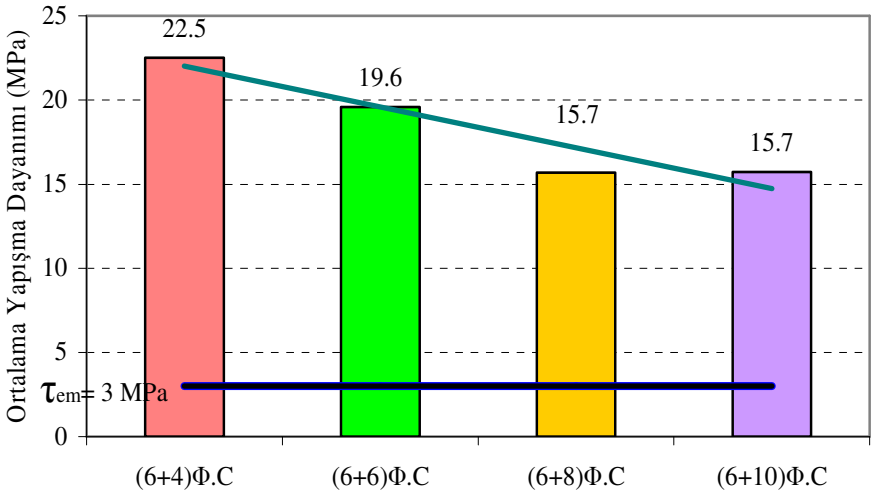
Kısmi bağlı ankrajlarda, serbest derinlik sabit tutularak bağlı derinlik arttırılmıştır. Kısmi bağlı ankrajların dayanımının, bağlı ankraj derinliğinin artması ile yükseldiği Şekil 6.6'da görülmektedir.

Kısmi bağlı ankrajlar için farklı ankraj derinliğindeki numunelerin ortalama göçme yükü Şekil 6.7'de verilmiştir. Kısmi bağlı ankrajlarda bağlı ankraj derinliğinin artımı ile ankraj kapasitesinin artmış, aralarında doğrusala yakın bir ilişki gözlenmiştir, Şekil 6.7.



Şekil 6.7: Farklı Derinliklerde Kısmi Bağlı Ankrajlarda Göçme Yükünün Değişimi

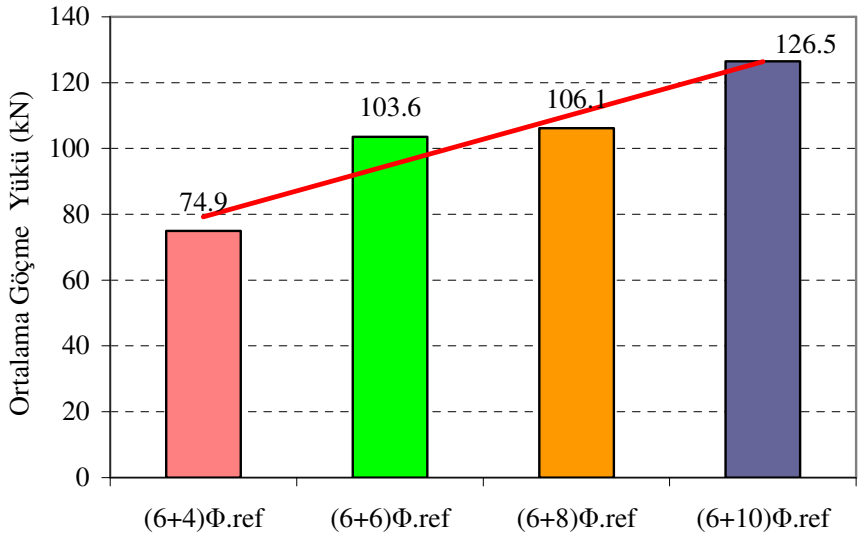
Şekil 6.8'de kısmi bağlı ankrajların ortalama düzgün yapışma dayanımlarının ankraj derinliği ile değişimi verilmiştir. Verilen garfik incelendiğinde, kısmi bağlı ankrajlarda ortalama yapışma dayanımının farklı derinlikteki ankrajlar için sabit olmadığı, ankraj derinliği arttıkça yapışma dayanımının azaldığı görülmektedir. (6+4)Φ derinliğindeki ankrajlarda elde edilen ortalama düzgün yapışma dayanımı üretici firmanın verdiği yapışma dayanımı değerinin yaklaşık olarak 5.6 katı kadarken, bu değer (6+6)Φ derinliğindeki ankrajlarda 6.5, (6+8)Φ ve (6+10)Φ derinliğindeki ankrajlarda ise 5.2 gibi çıkmıştır. Bu durumda sabit bir güvenlik katsayısından bahsedilemeyeceği açıktır.



Şekil 6.8: Temiz Yüzeylerde Farklı Derinliklerde Uygulanan Kısmi Bağlı Ankrajlarda Yapışma Dayanımının Değişimi

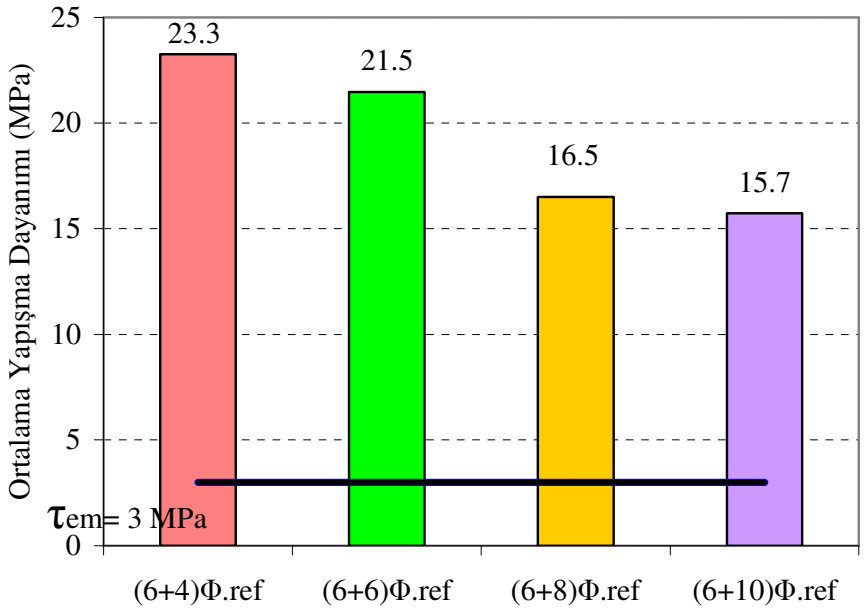
6.1.3 Referans Deneyleri

Çalışma kapsamında referans deneyleri sadece kısmi bağlı ankrajlar için uygulanmıştır. (6+4)Φ, (6+6)Φ, (6+8)Φ ve (6+10)Φ derinliklerde uygulanan kısmi bağlı ankrajların referans deneyleri sonucu elde edilen ortalama göçme yükleri Şekil 6.9'da verilmiştir. Referans deneylerinde de artan ankraj derinliği ile ankraj dayanımı yaklaşık doğrusal olarak artmıştır.



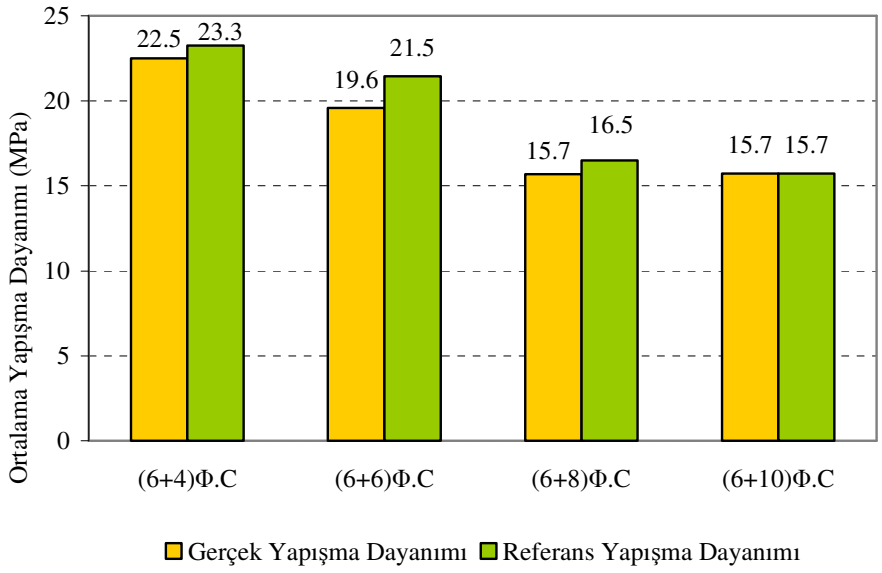
Şekil 6.9: Temiz Yüzeylerde Farklı Derinliklerde Kısmi Bağlı Ankrajların Referans Göçme Yükleri

Referans deneylerinden elde edilen ortalama düzgün yayılı yapışma dayanımı ise Şekil 6.10'da verilmiştir. Referans deneyleri; ankrajların bağlı derinlikleri boyunca oluşan bağ gerilmelerinin farklı özelliklere sahip numuneler arasında kıyaslanmasına olanak sağlamaktadır. Düzgün yayılı bağ modeline göre ankraj boyunca oluşan bağ gerilmeleri sabit bir değer alır. Şekil 6.10 incelendiğinde en sığ ankrajda oluşan yapışma dayanımı en yüksek değeri alırken ankraj derinliği arttıkça ortalama düzgün yayılı yapışma dayanımı azalmaktadır. Bu davranış; ankraj bağlı derinliği boyunca oluşan yapışma dayanımının maksimum değerini ankraj derinliğinin en üstünde alıp artan ankraj derinliğiyle azaldığını söyleyen elastik bağ teorisini doğrulamaktadır.



Şekil 6.10: Temiz Yüzeylerde Farklı Derinliklerde Kısmi Bağlı Ankrajların Referans Yapışma Dayanımları

Şekil 6.11'de kısmi bağlı ankrajların farklı derinliklerdeki gerçek yapışma dayanımları ile referans yapışma dayanımları bir arada verilmiştir. Şekil 6.11 incelendiğinde beklenildiği gibi referans yapışma dayanımı gerçek yapışma dayanımından büyük değerler almış fakat kısmi bağlı ankrajlarda göçme sıyrılma ile oluştuğı için referans yapışma dayanımı ile gerçek yapışma dayanımı arasında büyük farklılık oluşmamıştır. Kısmi bağlı ankraj uygulamasıyla hemen hemen ulaşılabilecek en büyük yapışma dayanımı elde edilmiştir.

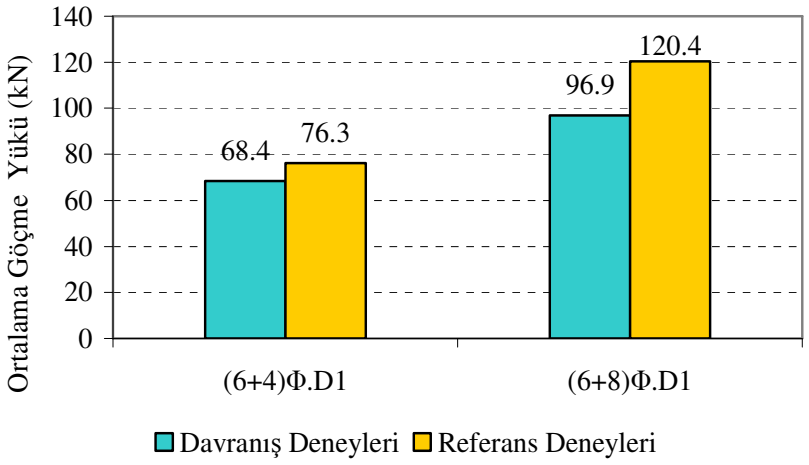


Şekil 6.11: Farklı Derinliklerde Kısmi Bağlı Ankrajların Referans Yapışma Dayanımları ile Gerçek Yapışma Dayanımlarının Karşılaştırılması

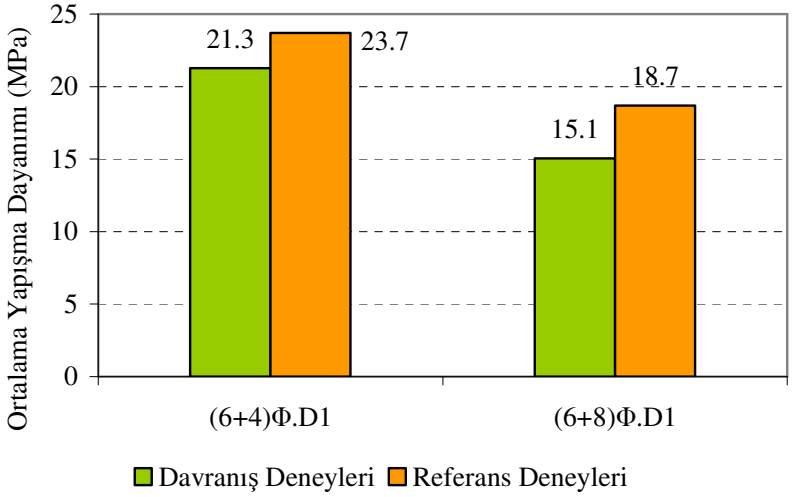
Şekil 6.11'de, (6+4)Φ ve (6+6)Φ derinliklerindeki kısmi bağlı ankrajların ortalama düzgün yayılı yapışma dayanımları yüksek değerler almıştır. Buna karşılık (6+8)Φ derinliğindeki ankrajlarda (6+6)Φ derinliğine göre ortalama yapışma dayanımında bir düşüş gözlenmiştir. İki farklı ankraj derinliğinde yapışma dayanımlarındaki bu farklılık sonucu (6+8)Φ ve (6+6)Φ derinliğindeki ankrajlar hemen hemen aynı düzeyde yük taşıyabilmektedirler. Sonuçta (6+6)Φ derinliğindeki bir ankrajın derinliğini arttırmak anlamlı gözükmeyip, (6+6)Φ derinliğinin (6+8)Φ 'e göre daha ekonomik olduğu söylenebilir.

6.1.4 Tozu Atılmış Numuneler

Kısmi bağlı ankrajların tozu atılmış ankraj deliklerinde göçme yüklerinin ankraj derinliği ile değişimi Şekil 6.12'de; Şekil 6.13'de ise ankraj yapışma dayanımının ankraj derinliği ile değişimi gösterilmiştir. Tozu atılmış numunelerde temiz yüzeylerde olduğu gibi ankraj kapasitesi artan derinlikle artmış, ortalama düzgün yayılı yapışma dayanımı ise derinlik arttıkça azalmıştır. Ankrajların referans yapışma dayanımları ve dolayısıyla referans kapasiteleri gerçek ankraj davranışının temsil eden çekip çıkarma deneylerine göre beklenildiği gibi daha yüksek değerler almıştır.



Şekil 6.12: Tozu Atılmış Yüzeylerde Kısmi Bağlı Ankrajların Göçme Yüklerinin Ankraj Derinliği ile Değişimi

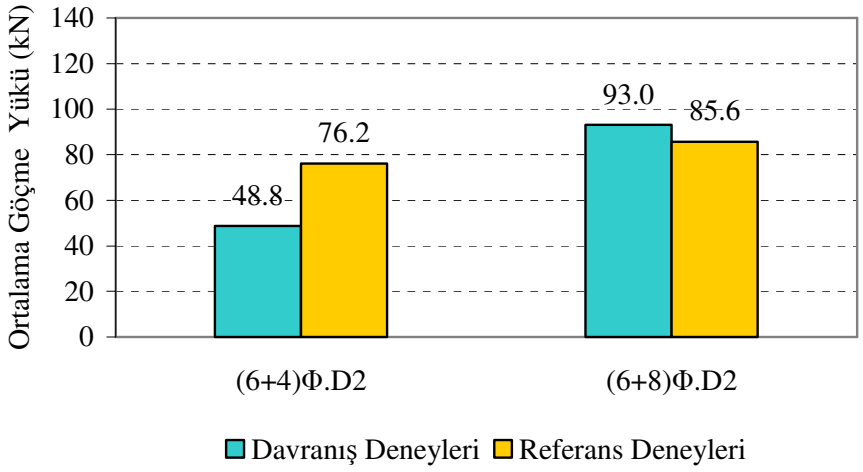


Şekil 6.13: Tozu Atılmış Yüzeylerde Kısmi Bağlı Ankrajların Ortalama Yapışma Dayanımlarının Ankraj Derinliği ile Değişimi

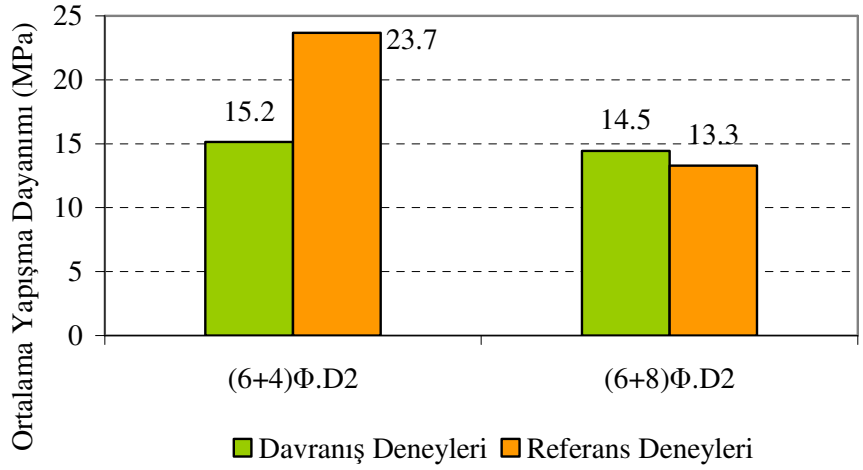
6.1.5 Temizlenmemiş Numuneler

Kısmi bağlı ankrajların temizlenmemiş ankraj deliklerinde göçme yüklerinin ankraj derinliği ile değişimi Şekil 6.14'de; Şekil 6.15'de ise ankraj yapışma dayanımının ankraj derinliği ile değişimi gösterilmiştir. Temizlenmemiş numunelerde temiz yüzeylerde olduğu gibi ankraj kapasitesi artan derinlikle artmış, ortalama düzgün yayılı yapışma dayanımı ise derinlik arttıkça azalmıştır. Yapışma dayanımının

kaybedilmesi ile göçmenin oluştuğu referans deneylerinde; temizlenmemiş yüzeylerde yapışma dayanımının derinlikle hızla azaldığı görülmektedir.



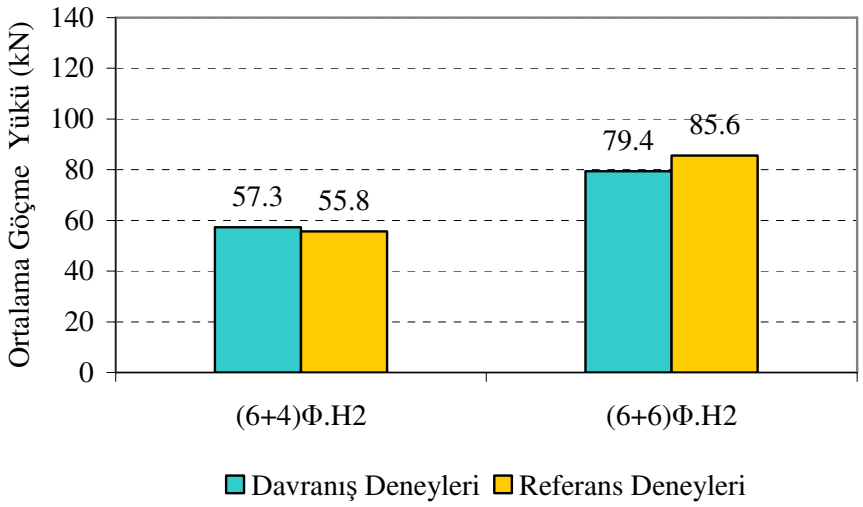
Şekil 6.14: Temizlenmemiş Yüzeylerde Kısmi Bağlı Ankrajların Göçme Yüklerinin Ankraj Derinliği ile Değişimi



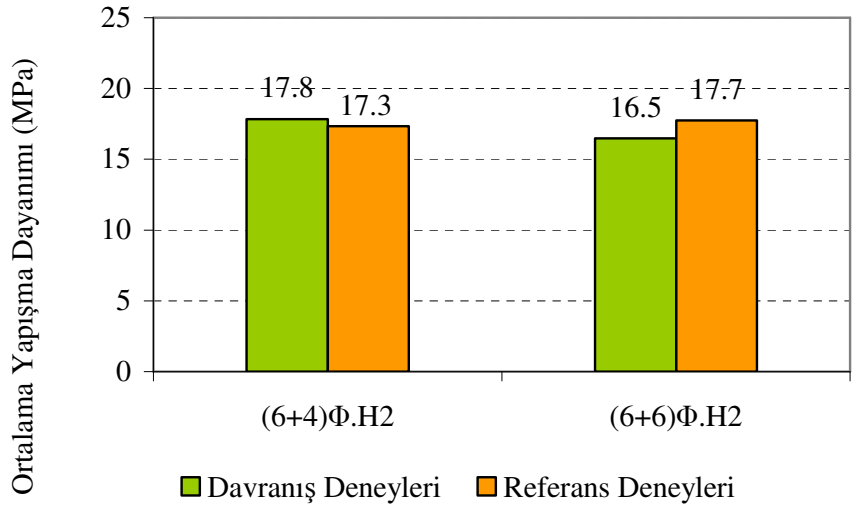
Şekil 6.15: Temizlenmemiş Yüzeylerde Kısmi Bağlı Ankrajların Ortalama Yapışma Dayanımlarının Ankraj Derinliği ile Değişimi

6.1.6 Islak Numuneler

Kısmi bağlı ankrajların ıslak ankraj deliklerinde göçme yüklerinin ankraj derinliği ile değişimi Şekil 6.16'da; Şekil 6.17'de ise ankraj yapışma dayanımının ankraj derinliği ile değişimi gösterilmiştir. Islak numunelerde ankraj kapasitesi artan derinlikle artmıştır.



Şekil 6.16: Islak Yüzeylerde Kısmi Bağlı Ankrajların Göçme Yüklerinin Ankraj Derinliği ile Değişimi



Şekil 6.17: Islak Yüzeylerde Kısmi Bağlı Ankrajların Yapışma Dayanımının Ankraj Derinliği ile Değişimi

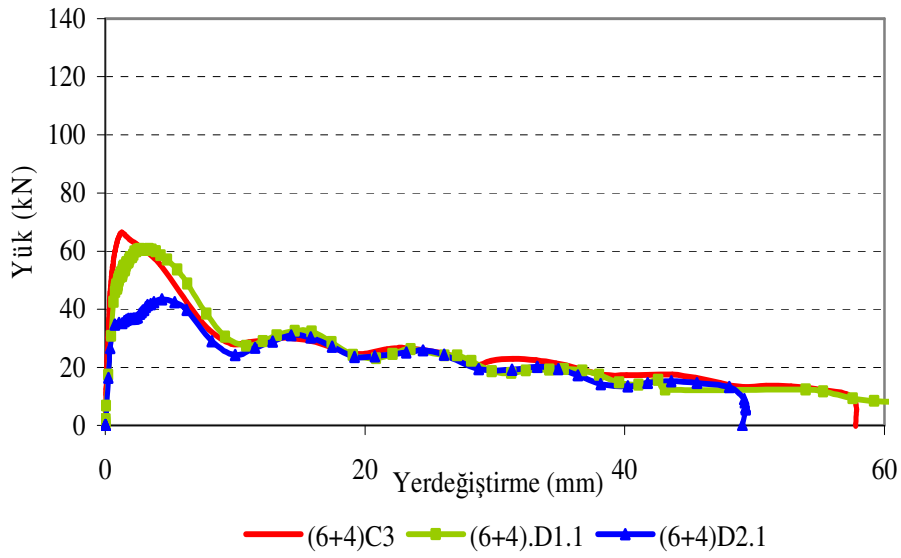
6.2 Ankraj Delik Yüzey Koşullarının Eksenel Çekme Davranışına Etkisi

Ankraj eksenel çekme davranışına delik yüzey koşullarının etkisinin incelenebilmesi için temizlenmiş, tozu atılmış, temizlenmemiş, nemli ve ıslak ankraj deliği yüzey koşulları altında çekip çıkarma deneyleri yapılmıştır. İncelenen beş yüzey koşulunun üçü yüzey temizliği ile ilgiliyken diğer ikisi ise yüzey nemi ile ilişkilidir.

6.2.1 Delik Yüzey Temizliğinin Çekme Davranışına Etkisi

Bu bölümde sırası ile iyi temizlenmiş, tozu atılmış ve temizlenmemiş olmak üzere üç farklı ankraj deliği yüzey koşulunun ankraj kapasitesi üzerindeki etkisi incelenecektir. Ankraj delik temizliği iyi yapılmış numunelerde ankraj deliği içindeki toz hava kompresörü ile atıldıktan sonra, delik tel fırça ile fırçalanıp deliğe tekrar basınçlı hava tutulmuştur. Tozu atılmış numunelerde ankraj delikleri içindeki toz basınçlı hava ile atılmış, temizlenmemiş numunelerde ise ankraj deliği açıldıktan sonra herhangi bir temizleme işlemi yapılmamıştır.Ankraj deliği yüzey koşullarının ankraj performansına etkisi (6+4)Φ ve (6+8)Φ derinliklerdeki kısmi bağlı ankrajlarda her bir derinlikten üçer adet numune denenerek incelenmiştir.

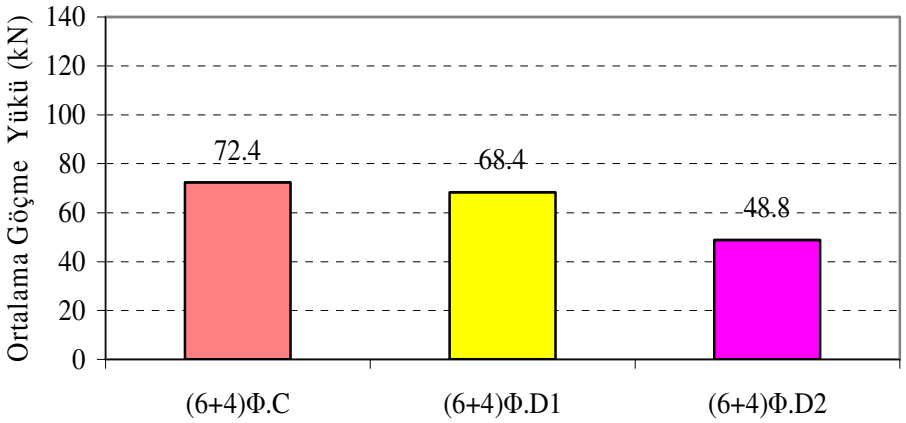
Şekil 6.18'de (6+4)Φ derinliğinde, farklı ankraj deliği yüzey temizliği yapılmış kısmi bağlı ankraj numunelerinin yük–yerdeğiştirme eğrileri verilmiştir. Eğriler incelendiğinde ankraj deliği temizliğinin yeterli yapılmamasının ankraj kapasitesinde düşüşe neden olduğu görülmektedir. Yük-yerdeğiştirme eğrisinde maksimum yükten sonra eğrinin düşen koludaki davranışın yani mekanik sürtünmenin her üç nunume için benzer olduğu görülmektedir.



Şekil 6.18: (6+4)Φ Derinliğinde, Farklı Yüzey Temizliği Etkisinde Kısmi Bağlı Ankrajların Yük-Yerdeğiştirme İlişkisi

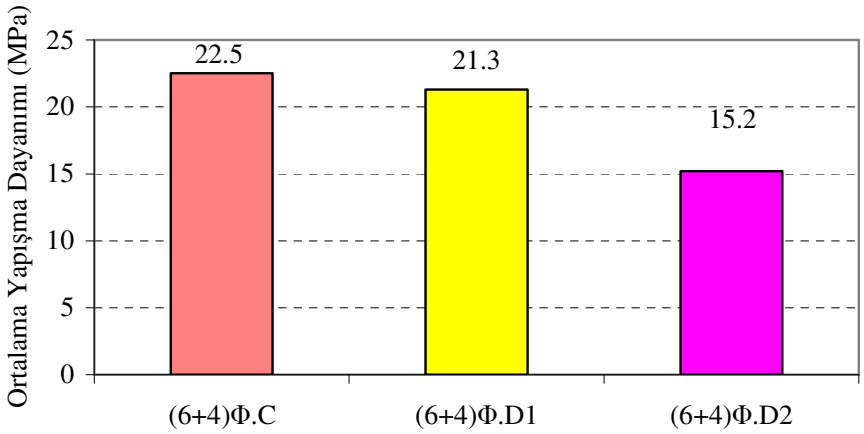
Şekil 6.19'da farklı ankraj deliği yüzey temizliğinin; ankraj göçme yükü üzerindeki etkisi verilmiştir. (6+4)Φ derinlikteki kısmi bağlı ankrajların farklı yüzey temizliği koşulları altında eksenel çekme yükü etkisinde davranışı farklılaşmaktadır. Yapılan deneylerde iyi temizlenmiş yüzey koşullarında numunelerin en yüksek eksenel

kapasitesine ulaştığı gözlenirken, tozu atılmış numunelerde ortalama eksenel çekme kapasitesinde düşüş gözlenmiştir. Tozlu yüzeylerde ise eksenel çekme kapasitesi temiz yüzeylerde oluşan kapasitenin % 67'si kadar olmuş; bu numunelerde kapasitedeki düşüş daha hissedilir olarak izlenmiştir.



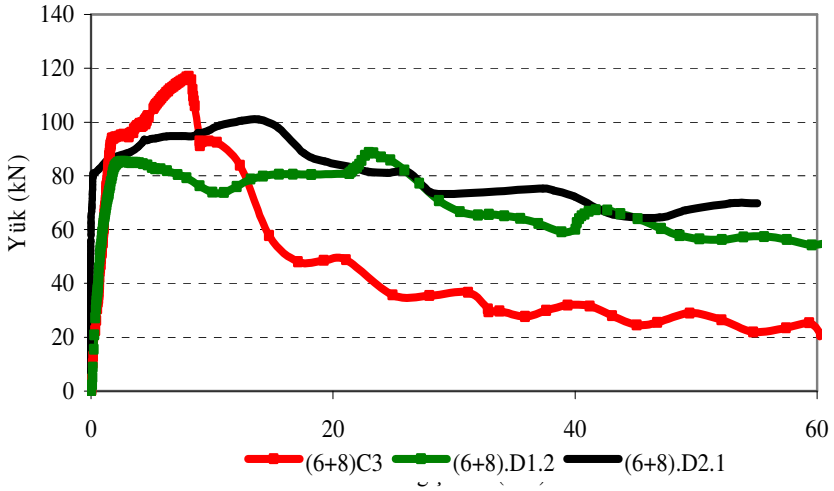
Şekil 6.19: (6+4)Φ Derinliğinde Kısmi Bağlı Ankrajların Göçme Yükünün Farklı Yüzey Temizliği Etkisiyle Değişimi

Şekil 6.20'de farklı ankraj deliği yüzey temizliğinin; ortalam düzgün yayılı yapışma dayanımı üzerindeki etkisi verilmiştir. Tamamen sıyrılarak dayanımlarını kaybeden kısmi bağlı ankrajlarda özellikle tozlu yüzeylerde yapı kimyasallının yapışma dayanımında beklenilen azalma oluşmuştur.



Şekil 6.20: (6+4)Φ Derinliğinde Kısmi Bağlı Ankrajların Yapışma Dayanımının Farklı Yüzey Temizliği Etkisiyle Değişimi

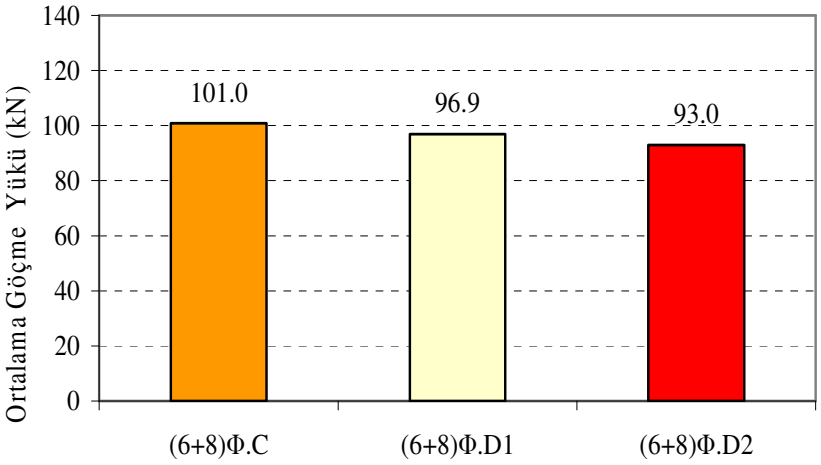
Şekil 6.21'de (6+8)Φ derinliğinde, farklı ankraj deliği yüzey temizliği yapılmış kısmi bağlı ankraj numunelerinin yük–yerdeğiştirme eğrileri verilmiştir.



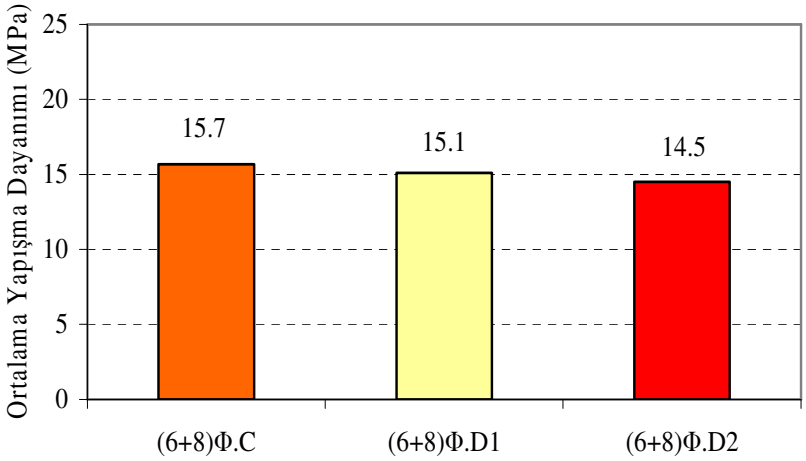
Şekil 6.21: (6+8)Φ Derinliğindeki Kısmi Bağlı Ankrajların Farklı Yüzey Temizliği Etkisinde Yük-Yerdeğiştirme İlişkisi

(6+8)Φ derinlikteki kısmi bağlı ankrajların farklı yüzey temizliği koşulları altında eksenel çekme yükü etkisindeki davranışında oluşan değişim (6+4)Φ'e göre daha azdır. Tozlu numunelerde eksenel çekme kapasitesi temişlenmiş yüzeylerdeki ankraj kapasitesinin % 92'si mertebesindedir, tozu atılmış numunelerde ise kapasitedeki azalma daha azdır. Bu numunelerin yük–yerdeğiştirme ilişkileri incelendiğinde temizlenmiş yüzey koşullarındaki numune yapışma dayanımının aşılmasıyla sıyrılarak dayanımını kaybederken; tozu atılmış ve tozlu yüzeylerde yapışma dayanımının kaybedilmesi ile kapasitede düşüş görülmemiş göreli olarak daha yüksek olan mekanik sürtünme mekanizması ile ankraj yük taşımaya devam etmiştir. (6+4)Φ derinliğindeki ankrajlarda ise bağlı derinliğin küçük olması nedeniyle mekanik sürtünmenin davranış üzerindeki etkisi hissedilebilir olmamıştır.

Şekil 6.22 ve Şekil 6.23'de farklı ankraj deliği yüzey temizliğinin; ankraj göçme yükü ve yapışma dayanımı üzerindeki etkisi verilmiştir. Delik temizliliğinin iyi yapılmamasının kimyasalın yapışma dayanımını düşürdüğü dolayısıyla ankrajın taşıma kapasitesinde azalmaya neden olduğu şekillerde açıkca görülmektedir.



Şekil 6.22: (6+8)Φ Derinliğinde Kısmi Bağlı Ankrajların Göçme Yükünün Farklı Yüzey Temizliği Etkisiyle Değişimi

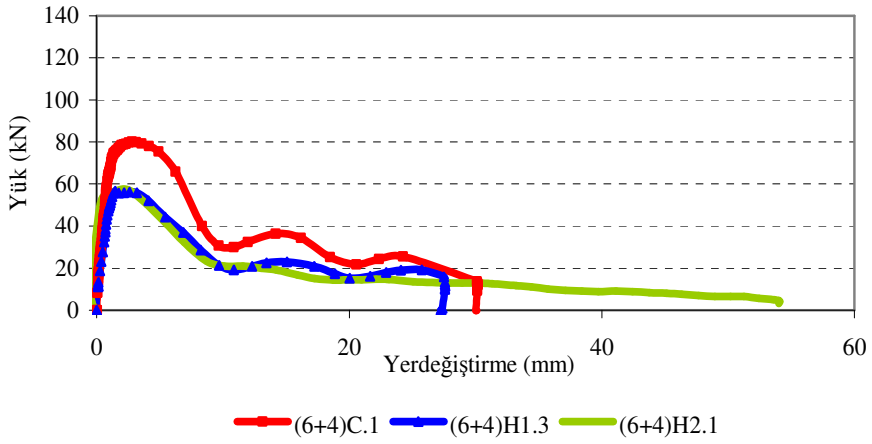


Şekil 6.23: (6+8)Φ Derinliğinde Kısmi Bağlı Ankrajların Yapışma Dayanımının Farklı Yüzey Temizliği Etkisiyle Değişimi

6.2.2 Delik Yüzey Neminin Eksenel Çekme Davranışına Etkisi

Bu bölümde sırası ile nemli ve ıslak ankraj deliği yüzeyi koşullarının ankraj kapasitesi üzerindeki etkisi incelenecektir. Nemli yüzey koşulları, ankraj delikleri 48 saat su içinde bekletildikten sonra delik içindeki su boşaltılıp ankraj ekimi yapılarak sağlanmıştır. Islak numunelerde ise 7 gün süresince su altında bekletilen deliklere ankrajların ekimi delik içindeki su boşaltıldıktan sonra yapılmış, kimyasalın kürünü 7 gün yine su içinde alması sağlanmıştır. (6+4)Φ ile (6+6)Φ derinliklerdeki kısmi bağlı akrajlarda 3'er adet numune ile yüzey nemliliğinin ankraj performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir.

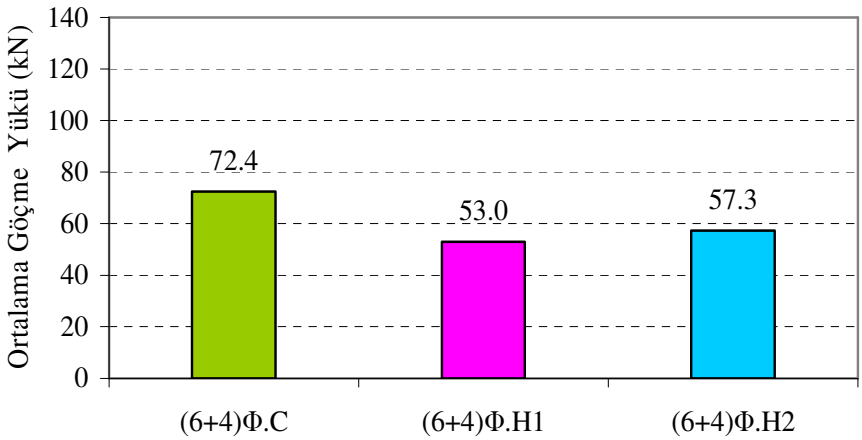
Şekil 6.24'de (6+4)Φ derinliğinde, temizlenmiş, nemli ve ıslak ankraj deliği yüzey koşulları altındaki kısmi bağlı ankraj numunelerinin yük–yerdeğiştirme eğrileri verilmiştir.



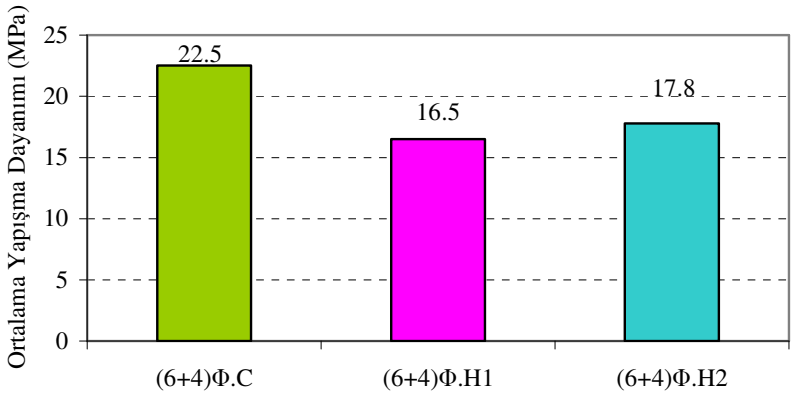
Şekil 6.24: (6+4)Φ Derinliğinde, Temiz, Nemli, Islak Yüzey Koşulları Etkisindeki Kısmi Bağlı Ankrajların Yük-Yerdeğiştirme İlişkisi

Üretici firmanın kimyasal yapıştırıcının kullanımı ile ilgili kullanım önerilerinden yola çıkılarak yapılan deneylerde, kimyasal ankrajların en yüksek performansı kuru ve iyi temizlenmiş ankraj deliklerinde sergilediği açıkca görülmektedir. Ankraj deliğinin nemli veya ıslak olması ankraj kapasitesini düşürmüştür, Şekil 6.24.

Şekil 6.25 ve Şekil 6.26'da nemli ve ıslak ankraj deliği yüzey koşullarının ankraj göçme yükü ve yapışma dayanımı üzerindeki etkisi gösterilmiştir.



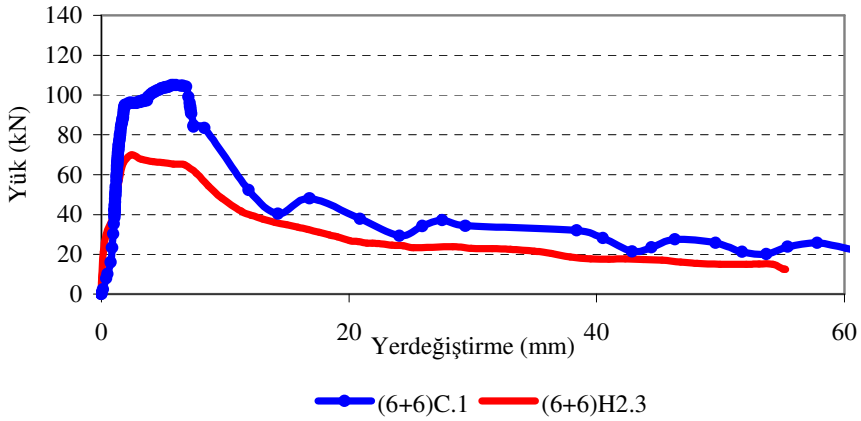
Şekil 6.25: (6+4)Φ Derinliğinde Temiz, Nemli, Islak Yüzey Koşulları Etkisindeki Kısmi Bağlı Ankrajların Göçme Yükünün Değişimi



Şekil 6.26: (6+4)Φ Derinliğinde Temiz, Nemli, Islak Yüzey Koşulları Etkisindeki Kısmi Bağlı Ankrajların Yapışma Dayanımının Değişimi

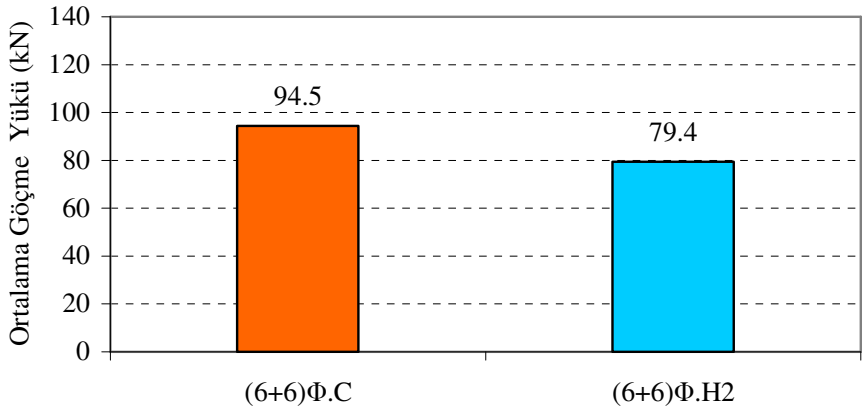
Ankraj deliğinin yüzey nemliliğinin etkisiyle ankraj ortalama göçme yükünde oluşan düşüş Şekil 6.25'te açıkça görülmektedir. Kullanılan kimyasal yapıştırıcının nemli yüzeylerdeki yapışma dayanımındaki düşüş ankraj kapasitelerinde azalmaya yol açmıştır. Delik yüzeyindeki nemin etkisiyle yapıştırıcının yapışma dayanımını kazanabilmesi için gerekli ortam koşulları sağlanamamıştır. Ankraj deliğinin ıslak ya da nemli olması ankraj performansında benzer düşüşe neden olmuştur. Nemli ve ankraj numunelerinin dayanımı temizlenmiş kuru yüzeylerdeki ankrajların dayanımının % 73'ü kadardır.

Şekil 6.27, Şekil 6.28 ve Şekil 6.29 incelendiğinde (6+6)Φ derinlikte ıslak ankraj deliğine ekilen ankraj numunelerinde de (6+4)Φ derinliğindeki ıslak ankraj deliğine ekilen ankrajlara benzer davranış göstermiş, ankraj dayanımında düşüş gözlenmiştir.

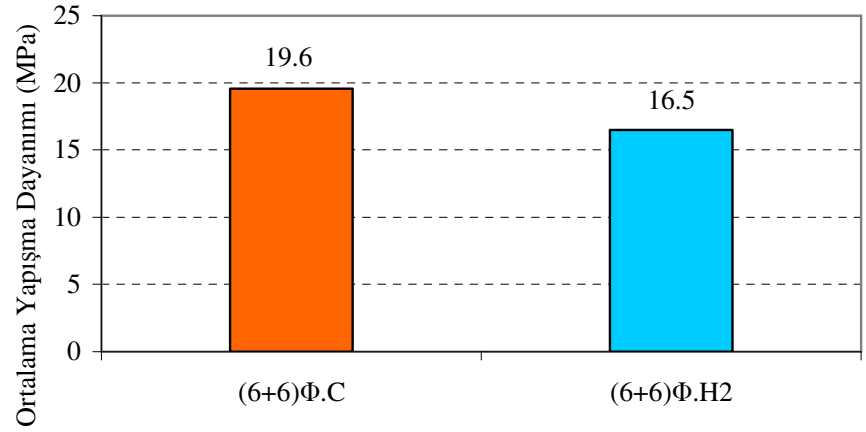


Şekil 6.27: (6+6)Φ Derinliğinde, Temiz, Islak Yüzey Koşulları Etkisindeki Kısmi Bağlı Ankrajların Yük-Yerdeğiştirme İlişkisi

Yapışma dayanımında oluşan düşüş nedeniyle ıslak yüzeylerde ankraj kapasitesi; tam temiz kuru ankraj deliklerine uygulanan ankraj kapasitesinin %84'ü oranında olmuştur, Şekil 6.28 ve Şekil 6.29.

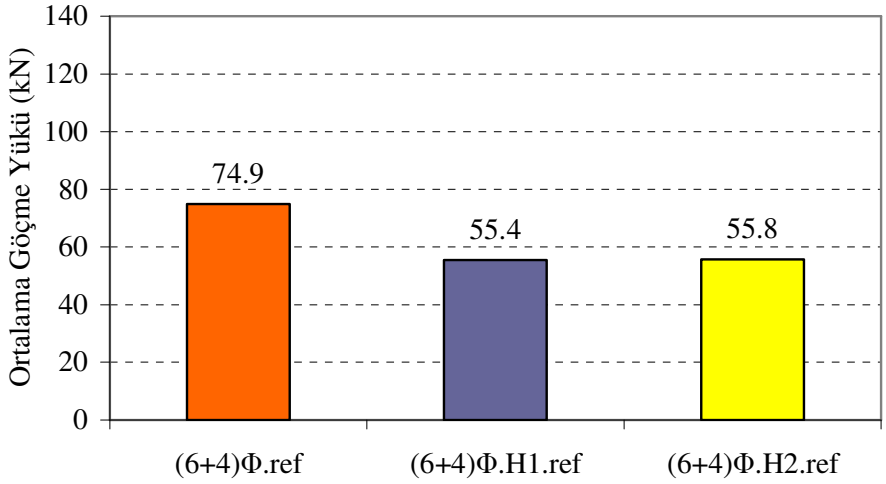


Şekil 6.28: (6+6)Φ Derinliğinde Temiz, Islak Yüzey Koşulları Etkisindeki Kısmi Bağlı Ankrajların Göçme Yükünün Değişimi

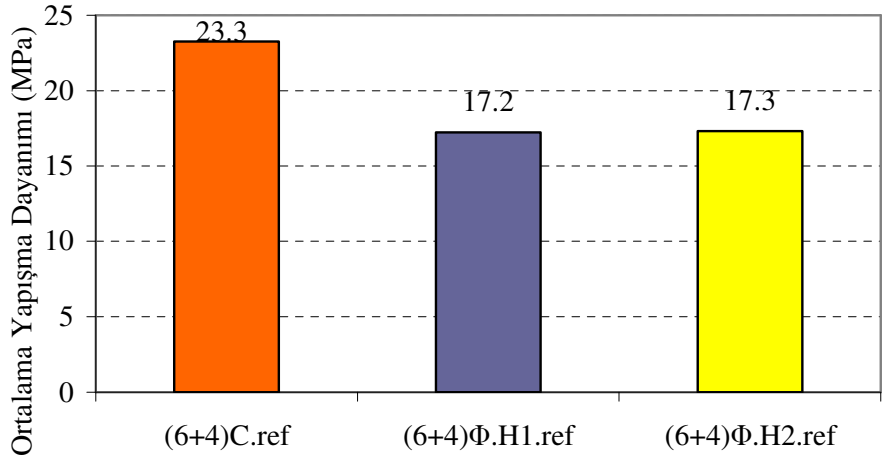


Şekil 6.29: (6+6)Φ Derinliğinde Temiz, Islak Yüzey Koşulları Etkisindeki Kısmi Bağlı Ankrajların Yapışma Dayanımının Değişimi

Şekil 6.30 ve Şekil 6.31'de; (6+4)Φ derinliğinde, temizlenmiş, nemli ve ıslak ankraj deliği yüzey koşulları altındaki kısmi bağlı ankraj numunelerinin referans deneylerine ait ankraj göçme yükü ve yapışma dayanımları verilmiştir.



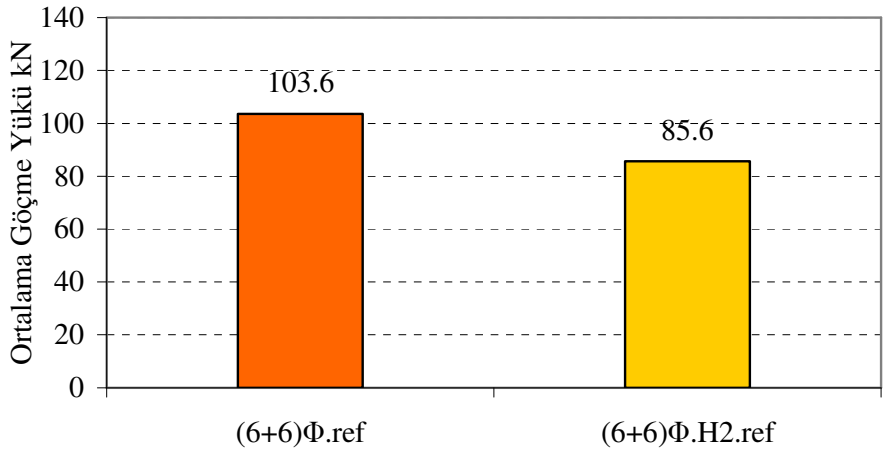
Şekil 6.30: (6+4)Φ Derinliğinde Temiz, Nemli, Islak Yüzey Koşulları Etkisindeki Kısmi Bağlı Ankrajların Referans Göçme Yükünün Değişimi



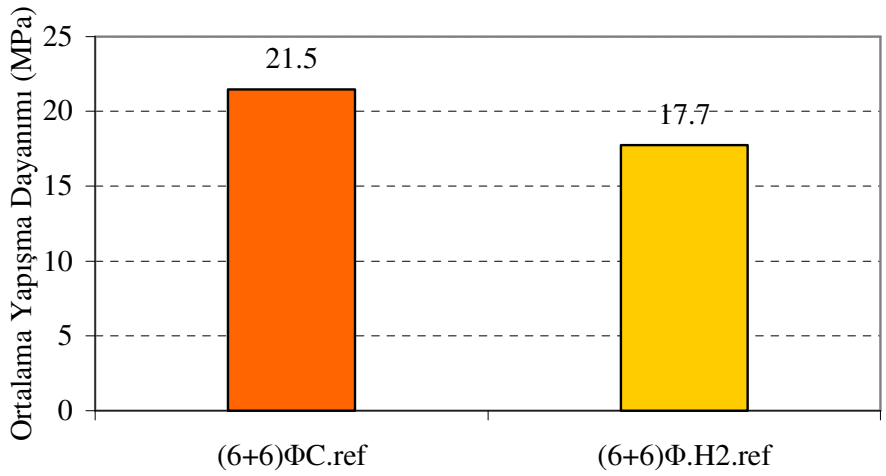
Şekil 6.31: (6+4)Φ Derinliğinde Temiz, Nemli, Islak Yüzey Koşulları Etkisindeki Kısmi Bağlı Ankrajların Referans Yapışma Dayanımının Değişimi

(6+4)Φ derinliğindeki kısmi bağlı ankrajların referans deneylerinde nemli ve ıslak deliklere ekilen ankrajların dayanımının temizlenmiş deliklere ekilen ankrajların dayanımının ancak %74'ne ulaştığı gözlenmiştir. Ankraj gerçek davranışını temsil eden deneyler ile referans deneylerinde gözlenilen kapasite düşüşleri aynı oranda olmuştur.

Şekil 6.32 ve Şekil 6.33'de (6+6)Φ derinliğinde, temizlenmiş ve ıslak ankraj deliği yüzey koşulları altındaki kısmi bağlı ankraj numunelerinin referans deneylerine ait ankraj göçme yükü ve yapışma dayanımları verilmiştir.



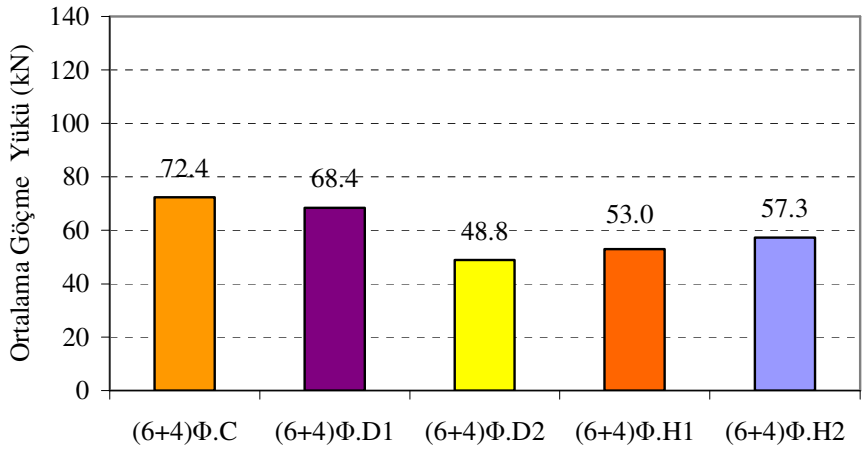
Şekil 6.32: (6+6)Φ Derinliğinde Temiz, Islak Yüzey Koşulları Etkisindeki Kısmi Bağlı Ankrajların Referans Göçme Yükünün Değişimi



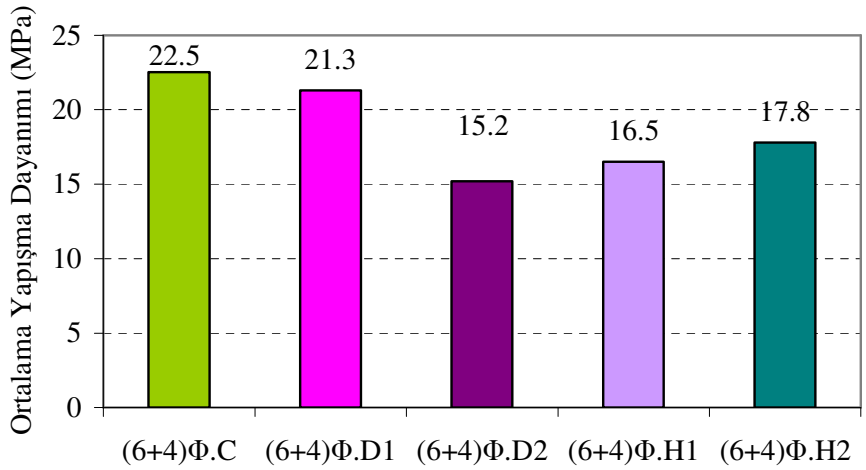
Şekil 6.33: (6+6)Φ Derinliğinde Temiz, Islak Yüzey Koşulları Etkisindeki Kısmi Bağlı Ankrajların Referans Yapışma Dayanımının Değişimi

Ankraj referans deneylerinin sonuçlarında da gerçek ankraj davranışının gözlendiği deneylerdeki gibi ıslak yüzeylerde ankraj performansında düşüş gözlenmiştir. Referans deneylerinde nemli yüzeylerde ankraj kapasitesi, kuru yüzeylerdeki ankrajların kapasitesinin %82'si kadar olmuştur.

Şekil 6.34'de (6+4)Φ derinliğindeki kısmi bağlı ankrajların eksenel çekme kapasitelerinin, Şekil 6.35'de ise yapışma dayanımının tüm farklı ankraj deliği yüzey koşulları ile değişimi verilmiştir.



Şekil 6.34: (6+4)Φ Derinliğinde Kısmi Bağlı Ankrajların Göçme Yükünün Yüzey Koşulları ile Değişimi

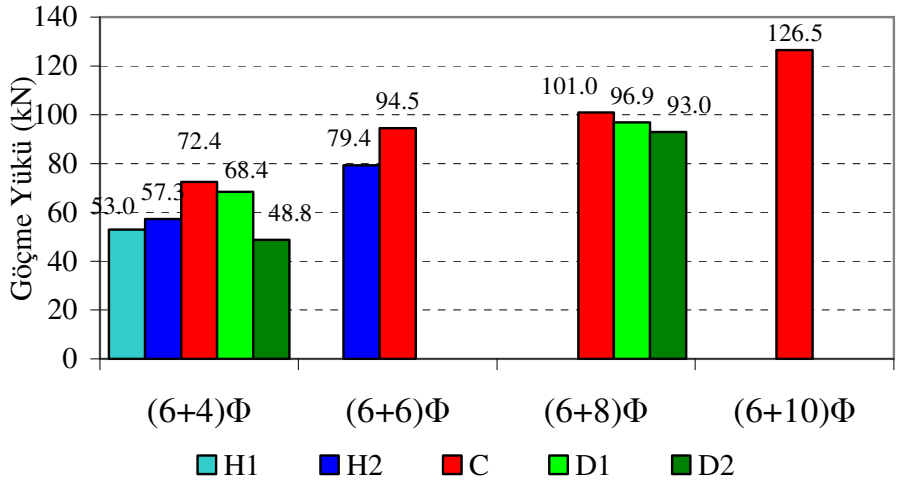


Şekil 6.35: (6+4)Φ Derinliğinde Kısmi Bağlı Ankrajların Yapışma Dayanımının Yüzey Koşulları ile Değişimi

Ankraj deliği yüzey koşullarının ankraj kapasitesi üzerinde önemli etkileri olduğu deney sonuçlarında açıkça görülmektedir. Gerek ankraj uygulamasında yapılan ihmaller (delik içindeki tozun atılmaması) gerekse ankraj uygulanan bölgenin yüzey koşulları (ıslak bölgeler) kullanılan kimyasalın yapışma dayanımını etkileyebilmektedir. Yüzey koşullarının ankraj performansı üzerindeki etkisi

kullanılan kimyasalın özellikleri ile doğrudan ilişkilidir. Kullanılan kimyasal yapıştırıcıya göre yüzey koşullarının ankraj üzerindeki etkisi değişebilmektedir [4]. Yapılan çekip çıkarma deneylerinden elde edilen sonuçlar tüm kimyasal ankrajlar için genelleştirilmemelidir.

Şekil 6.36'da çalışma kapsamında denenen kısmi bağlı ankrajların farklı ankraj derinliği ve ankraj deliği yüzey koşulları altındaki ortalama eksenel çekme kapasitelerindeki değişim verilmiştir.



Şekil 6.36: Kısmi Bağlı Ankrajların Göçme Yükünün Ankraj Derinliği ve Yüzey Koşulları ile Değişimi

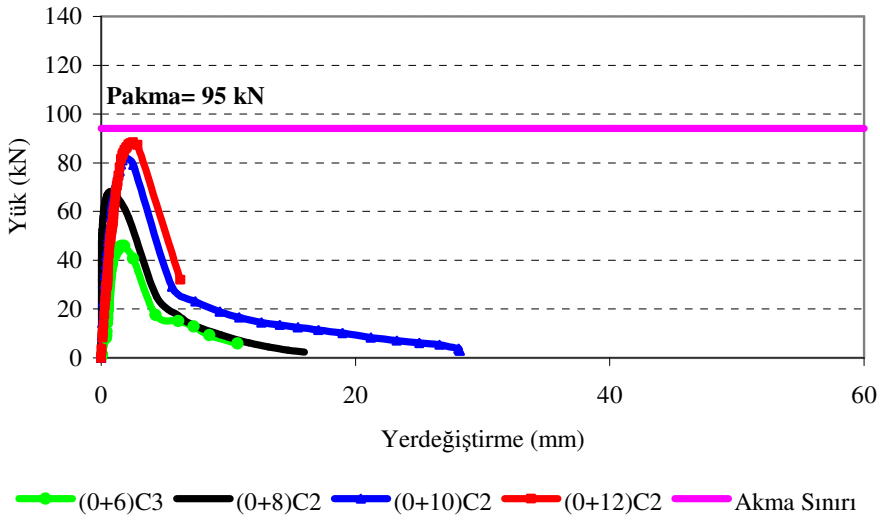
6.3 Ankraj Detayının Eksenel Çekme Davranışına Etkisi

Yapılan çalışmanın amaçlarından bir başkası ise, yapıların güçlendirilmesi esnasında kullanılan tam bağlı kimyasal ankrajlara alternatif olarak sunduğumuz kısmi bağlı ankrajların eksenel çekme etkisi altındaki davranışının ve kapasitesinin incelenmesidir.

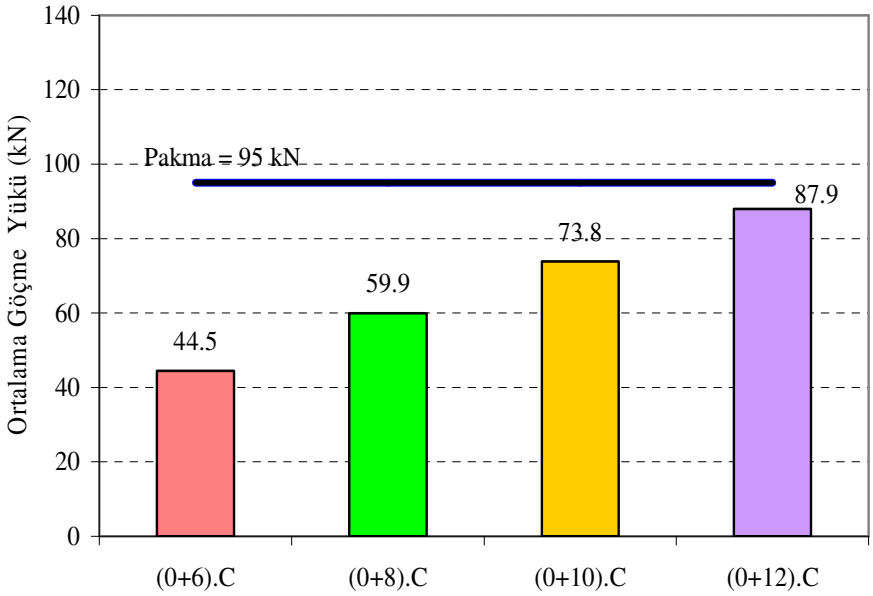
6.3.1 Tam Bağlı Ankrajlar

Çalışma kapsamında güçlendirme uygulamalarında sıklıkla kullanılan ankraj derinlikleri dikkate alınmış ve (0+6)Φ, (0+8)Φ, (0+10)Φ ve (0+12)Φ derinliklerinde tam bağlı ankrajların eksenel çekme deneyleri yapılmıştır. Şekil 6.37'de farklı ankraj derinliklerinde tam bağlı ankrajların yük-yerdeğiştirme eğrileri, Şekil 6.38'de ise ankrajların ortalama göçme yükleri verilmiştir. Her iki şekilde de ankraj donatısının

akma dayanımına ulaştığı eksenel yük seviyesi olan 95 kN'luk akma yükü belirtilmiştir.



Şekil 6.37: Tam Bağlı Ankrajların Yük Yerdeğiştirme Eğrisi

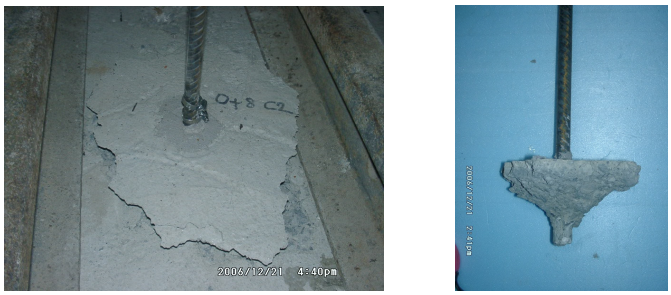


Şekil 6.38: Tam Bağlı Ankrajların Farklı Derinliklerdeki Ortalama Göçme Yükleri

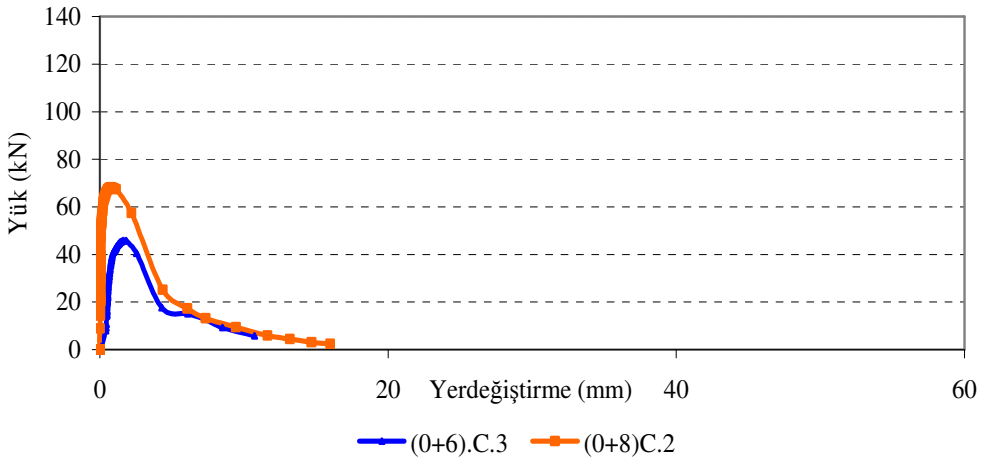
Kimyasal ankraj uygulamalarında üreticilerin sıklıkla tavsiye ettiği uygulama derinliği 10Φ'dir. Kimyasal ankraj tasarımları ise, özellikle güçlendirme uygulamalarında ankraj donatısının aktığı yük esas alınarak yapılmaktadır. Yapılan deneysel çalışmada 6Φ, 8Φ, 10Φ ve 12Φ derinlikte uygulanan tam bağlı ankrajlarda, donatı akma yükü olan 95 kN'a ulaşılamamış, sonuçta ankrajlardan etkin şekilde

yararlanılamamıştır, Şekil 6.37 ve Şekil 6.38. Çalışmada farklı derinliklerde uygulanan tam bağlı kimyasal ankrajların tümü düşük dayanımlı betonda akma yüküne ulaşamadan beton konisi oluşumu ile dayanımlarını erken kaybetmiştir. Güçlendirme çalışmalarında genellikle üretici firmaların tavsite ettiği 10Φ derinliğinde ankraj ekimleri yapıldığı ve güçlendirme yapılan binaların beton kalitesinin çalışmada kullanılan betona göre daha düşük kalitede olabileceği düşünülürse yapılan uygulamalar büyük sorunlara yola açabilir.

Yapılan deneyler sonucu (0+6)Φ derinliğindeki tam bağlı ankrajlar beton konisi ile (0+8)Φ, (0+10)Φ ve (0+12)Φ derinliğindeki ankrajlar ise beton konisi ve sıyrılma mekanizmaları ile göçme yüklerine ulaştığı görülmüştür, Şekil 6.39. Ankraj çekimi esnasında oluşan çekme gerilmelerinin, çekme dayanımı düşük olan taban betonu tarafından karşılanamaması sonucu donatının akma dayanımına ulaşmadan ankrajın dayanımını erken yitirmektedir. Tam bağlı ankrajlara ait Şekil 6.40'da verilen grafikler incelendiğinde ankrajın karşıladığı yükün koni oluşumuyla ani olarak düştüğü, düşük yük seviyelerinde dayanımın kaybedildiği görülmektedir. Tam bağlı ankrajlarda göçme oldukça gevrek oluşmuştur.



Şekil 6.39: Tam Bağlı Ankrajlarda Oluşan Beton Konileri



Şekil 6.40: Tam Bağlı Ankrajların Yük-Yerdeğiştirme İlişkileri

Yapılan tüm tam bağlı ankraj deneylerinde oluşan beton konisi yüksekliği 80-90 mm arasında kalmıştır. Beton konisi yüksekliğinin taban betonu çekme dayanımına bağlı olduğu düşünüldüğünde, her numunede benzer koni yüksekliği elde edilmesi beklenilen bir sonuçtur. Beton koni göçmesi gözlenen ankrajların eksenel kapasiteleri büyük ölçüde ankrajın yapıldığı betonun dayanımı ile ilişkilidir. Sonuç olarak düşük kalitede betona yapılan tam bağlı ankrajların eksenel çekme kapasiteleri oldukça düşük çıkmaktadır.

Uygulama esnasında sık aralıklarla ekilen ankrajların hepsine aynı anda çekme yükü uygulandığında şüphesiz oluşan durum tekil ankraj davranışına göre daha elverişsiz olacaktır. Yapılan deneysel çalışmada konik olarak göçen tam bağlı ankrajların koni derinliği (80 - 90 mm) düşünüldüğünde ve 45^{o}'lik koni modeli dikkate alınırsa; yan yana ekilmiş tam bağlı ankrajların birbirlerini etkilememeleri için koni derinliğinin iki katı kadar mesafe (160 - 180 mm) arayla ekilmeleri gerekmektedir. Deneyde kullanılan beton dikkate alınırsa tam bağlı ankrajların oluşan konilerin üst üste düşüp birbirlerinin kapasitelerini etkilememeleri için 160-180 mm aralıkla ekilmeleri gerekmektedir. Yapılan güçlendirme çalışmalarında genellikle ankraj aralıklarının daha sık uygulandığı bilinmektedir.

6.3.2 Kısmi Bağlı Ankrajlar

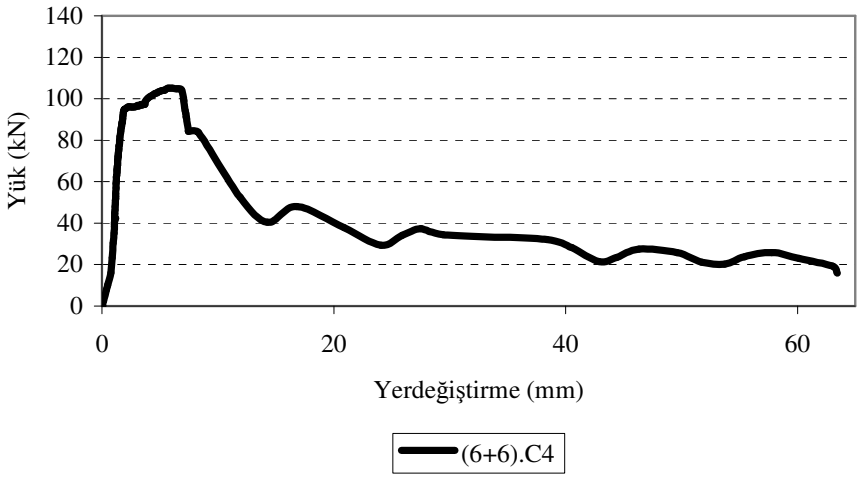
Deneysel çalışmada uygulanan ikinci bir ankraj detayı olan kısmi bağlı ankrajların eksenel çekme etkisi altında davranışları ve performansları tam bağlı ankrajlara göre önemli farklılıklar göstermiştir. (6+4)Φ, (6+6)Φ, (6+8)Φ ve (6+10)Φ derinliklerde uygulanan kısmi bağlı ankrajlarda; potansiyel koni derinliği kadar serbest derinlik bırakılması eksenel çekme etkisi altında ankrajların hepsinin donatının sıyrılması ile göçmesini sağlamıştır, koni oluşumu engellenmiştir, Şekil 6.41. Sıyrılma tipi göçme mekanizmalarında, ankraj davranışını belirleyen en önemli parametre kullanılan kimyasal yapıştırıcının yapışma dayanımı olmaktadır. Kimyasal yapıştırıcıların betona ve çeliğe olan yüksek aderans dayanımı kısmi bağlı ankrajların aynı bağlı derinliğe sahip tam bağlı ankrajlara oranla daha yüksek eksenel çekme kapasitelerine ulaşmasına olanak sağlamaktadır. Sonuçta varılmak istenen amaç gerçekleşmiş kısmi bağlı ankraj detayı ile düşük kalitede betona yapılan kimyasal ankrajların göçme modu beton konisinden sıyrılma tipine çevrilmiştir. Göçme tipi kimyasal ankrajların performansını etkileyen etmenlerin başında gelmektedir.

Şekil 6.42'de kısmi bağlı ankraja ait eksenel çekme etkisinde sıyrılma mekanizması ile oluşan tüpük yük-yerdeğiştirme grafiği verilmiştir. Ankraj maksimum yüke

ulaştığında yapışma dayanımını kaybetmesi ile sıyrılmaya başlar. Maksimum yükten sonraki davranış mekanik sürtünmeden oluşmaktadır.

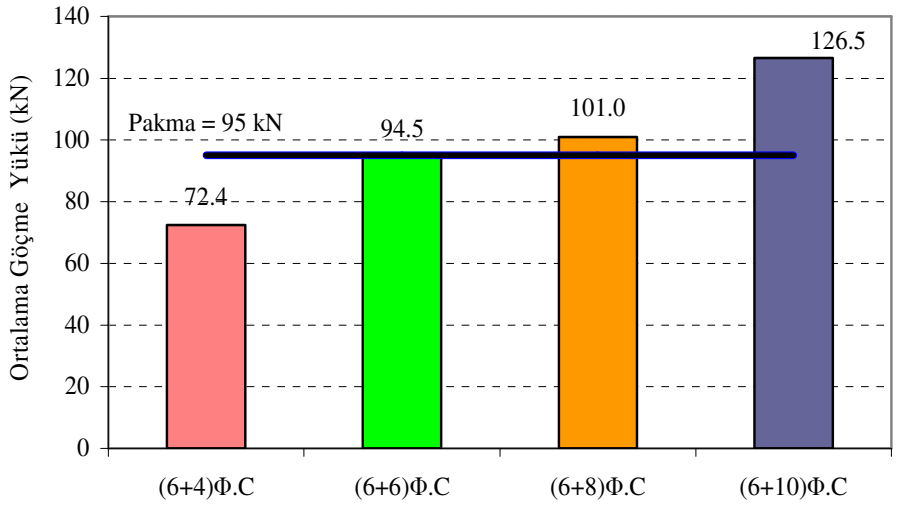


Şekil 6.41: Kısmi Bağlı Ankrajlarda Sıyrılma ile Göçme



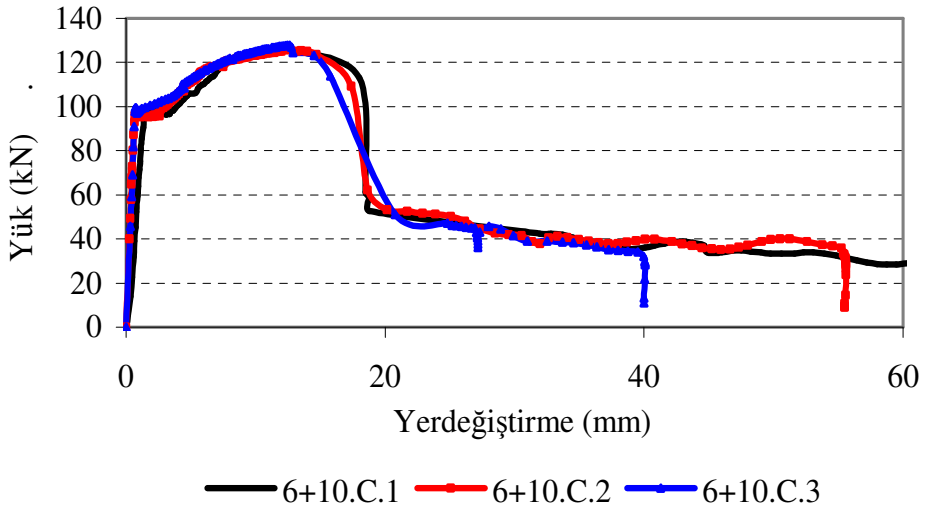
Şekil 6.42: Kısmi Bağlı Ankrajlarda Tipik Yük-Yerdeğiştirme İlişkisi

Kısmi bağlı ankraj detayında (6+6)Φ ve daha derin ankraj boylarında göçme öncesi donatı akmıştır, Şekil 6.43. Hiç şüphesiz depreme karşı yapılan güçlendirmelerde ankraj donatılarının ani sıyrılması veya betonu çatlatarak yerinden çıkması yerine dayanımını kaybetmeden önce akması beklenmektedir. Kısmi bağlı ankrajlarla düşük dayanımlı betonda bu durumun sağlanmış olması önemlidir. Donatının akma dayanımına erişmiş olması davranışı daha sünek yapmıştır. Sonuçta kısmi bağlı ankraj detaylarında yük–yerdeğiştirme grafiği altında kalan alan (sistemin enerji yutabilme kapasitesi) daha fazla olmuştur, Şekil 6.42. Tekrarlı yükler altında da kısmi bağlı ankrajların daha iyi sonuçlar vermesi beklenmektedir.



Şekil 6.43: Farklı Derinliklerde Kısmi Bağlı Ankrajlarda Göçme Yükünün Değişimi

Ankraj derinliğinin artması göçme tipini ve ankraj davranışını da etkilemiştir. (6+4)Φ, (6+6)Φ ve (6+8)Φ derinliğindeki kısmi bağlı ankrajlarda sıyrılma ile göçme oluşurken; (6+10)Φ derinliğindeki ankrajın davranışında farklılık görülmüştür. Şekil 6.44'deki yük–yerdeğiştirme grafiği incelendiğinde; (6+10)Φ derinliğindeki ankrajda yük ankraj donatısının akma değeri olan 95 kN'a kadar artmış donatının aktığı değerde grafikte akma sahanlığı oluşmuş sonrasında donatının pekleşmesi ile yük artımı devam etmiştir. (6+10)Φ derinliğinde ankrajlarda donatının karşılayabileceği maksimum çekme yükü olan 131 kN'a ulaşılamadan ankraj bağlı derinliği boyunca oluşan yapışma dayanımının aşılması ile göçme gerçekleşmiştir.



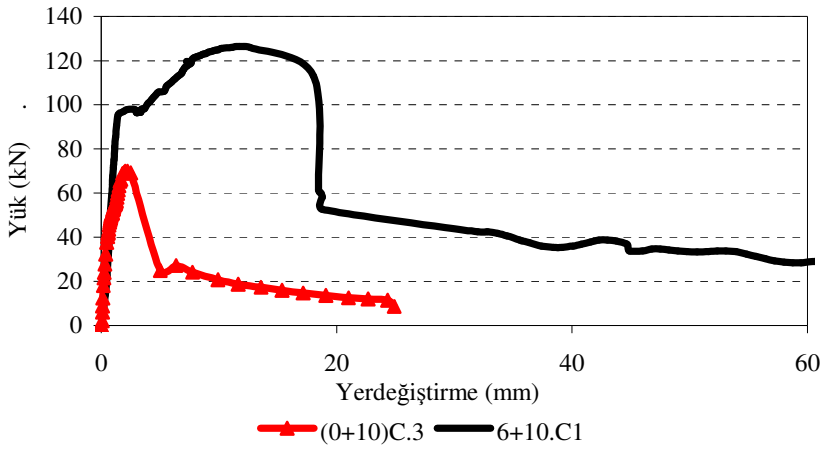
Şekil 6.44: (6+10)Φ Derinliğindeki Ankrajların Yük-Yerdeğiştirme İlişkileri

Sıyrılma tipi göçmenin; koni oluşumuna göre ankraj kapasitesinde artış sağlaması yanında taban betonuna daha az zarar vermesi ankrajların daha sık ekilebilmesine olanak sağlamaktadır.

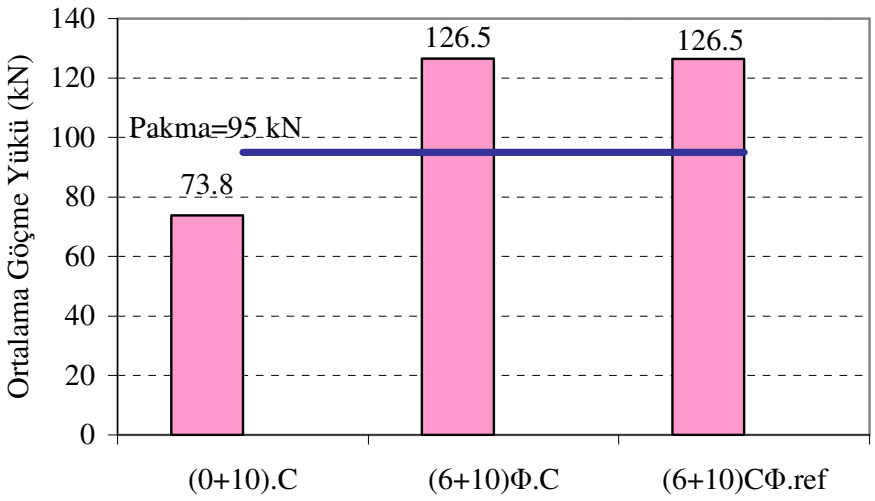
Kısmi bağlı ankrajlarda ortalama yapışma dayanımının farklı derinlikteki ankraj uygulamalarında tam bağlı ankrajlar gibi sabit bir değer almadığı, ankraj derinliği arttıkça yapışma dayanımının azaldığı daha önce belirtilmişti.

Yapılan çekip çıkarma deneyleri sonucu tam bağlı ve kısmi bağlı ankrajlara ait yük–yerdeğiştirme ilişkileri ve ankraj kapasiteleri karşılaştırıldığında önemli sonuçlar elde edilmiştir. Aynı bağlı derinliğe sahip iki farklı ankraj detayında (tam ve kısmi bağlı), kısmi bağlı ankrajların eksenel yük kapasitesi daha yüksektir. Aynı derinlikteki ankrajların ortalama eksenel yük kapasiteleri dikkate alınırsa, aynı bağlı derinliğe sahip ankrajlardan; kısmi bağlı ankrajların eksenel yük kapasiteleri tam bağlı ankrajların kapasitesinin yaklaşık 1.5 ile 2 katı arasındadır.

Şekil 6.45 ve Şekil 6.46'da 10Φ bağlı derinliğe sahip kısmi ve tam bağlı ankrajların yük-yerdeğiştirme eğrileri ve göçme yükü değerleri verilmiştir.



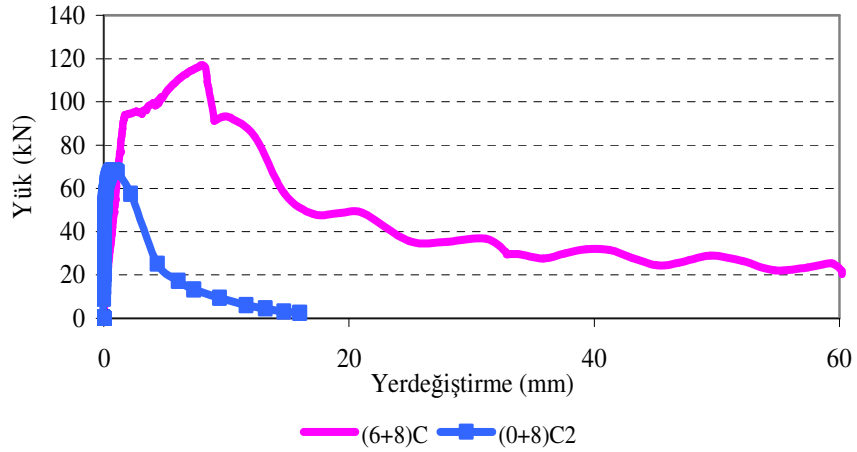
Şekil 6.45: 10Φ Bağlı Derinlikte Kısmi ve Tam Bağlı Ankrajların Yük–Yerdeğiştirme Eğrisi



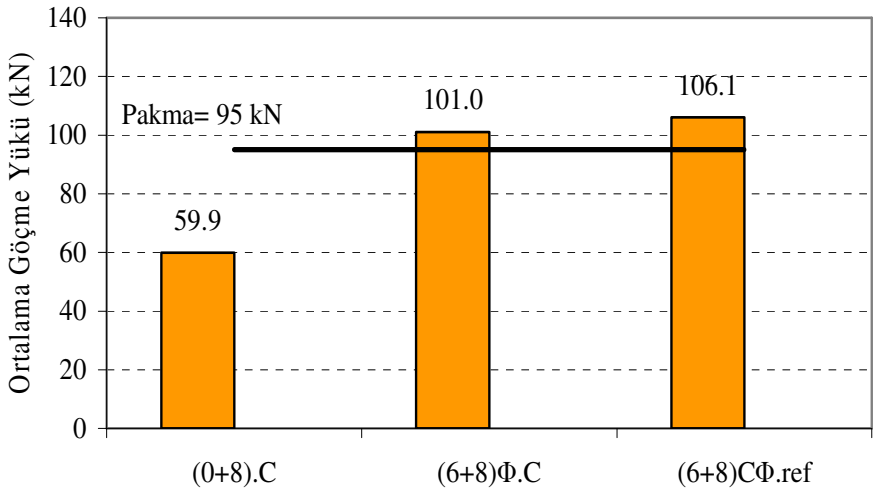
Şekil 6.46: 10Φ Bağlı Derinlikte Kısmi ve Tam Bağlı Ankrajların Ortalama Göçme Yükleri

10Φ bağlı derinliğe sahip kısmi ve tam bağlı ankrajlar karşılaştırıldığında, (6+10)Φ derinliğindeki kısmi bağlı ankrajın yük-yerdeğiştirme eğrisi altında kalan alanın daha büyük olduğu bu ise deprem etkileri gibi dinamik yükler altında daha iyi performans sergileyebileceğini göstermektedir. Kısmi bağlı ankrajın (6+10)Φ eksenel çekme kapasitesi (0+10)Φ derinliğindeki tam bağlı ankrajın kapasitesinden %70 daha yüksek çıkmış ve kısi bağlı ankraj akma yükünü aşmıştır.

Şekil 6.47 ve Şekil 6.48'de 8Φ bağlı derinliğe sahip kısmi ve tam bağlı ankrajların yük-yerdeğiştirme eğrileri ve göçme yükü değerleri verilmiştir.



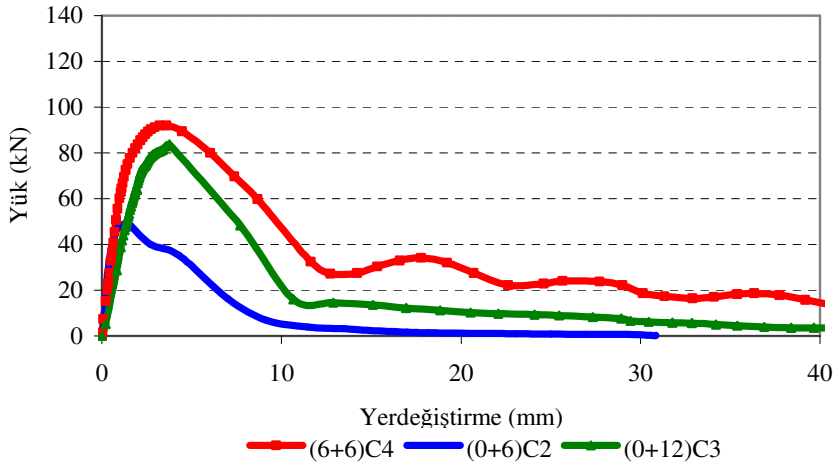
Şekil 6.47: 8Φ Bağlı Derinlikte Kısmi ve Tam Bağlı Ankrajların Yük–Yerdeğiştirme Eğrisi



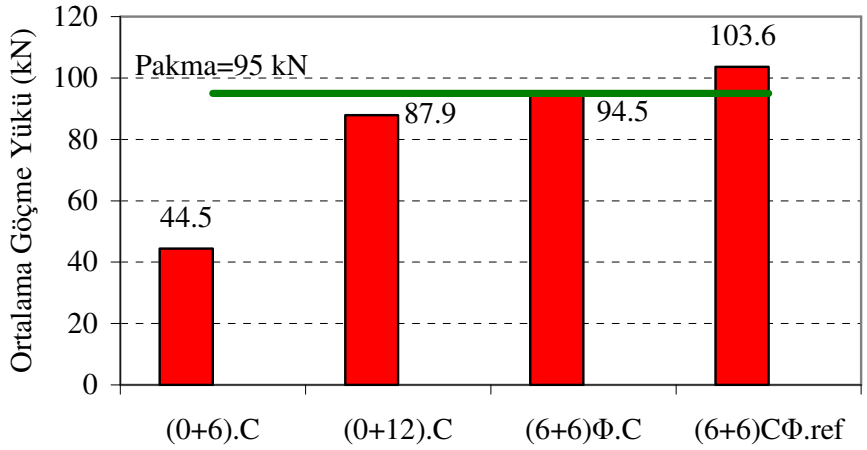
Şekil 6.48: 8Φ Bağlı Derinlikte Kısmi ve Tam Bağlı Ankrajların Göçme Yükleri

8Φ bağlı derinliğindeki kısmi ve tam bağlı ankrajların eksenel çekme kapasiteleri karşılaştırıldığında, gerçek davranışın temsil edildiği deneylerde kısmi ankrajın kapasitesi %68 daha fazla iken, referans deneylerinde %77 oranında yüksek çıkmıştır. (6+8)Φ derinliğindeki kısmi bağlı ankrajlar akma yükü değerini aşarken (0+8)Φ derinliğindeki tam bağlı ankrajların kapasitesi akma yükünün altında kalmıştır.

Şekil 6.49 ve Şekil 6.50'de 6Φ bağlı derinliğe sahip kısmi bağlı ankraj ile 6Φ ve 12Φ derinliğinde tam bağlı ankrajların yük-yerdeğiştirme eğrileri ve göçme yükü değerleri verilmiştir.



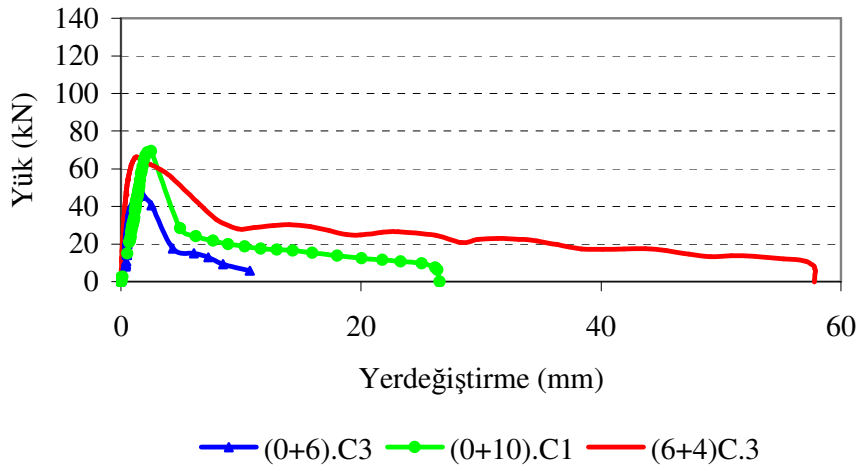
Şekil 6.49: 6Φ Bağlı Derinlikte Kısmi Bağlı Ankraj ile 6Φ ve 12Φ Derinlikte Tam Bağlı Ankrajların Yük–Yerdeğiştirme Eğrileri



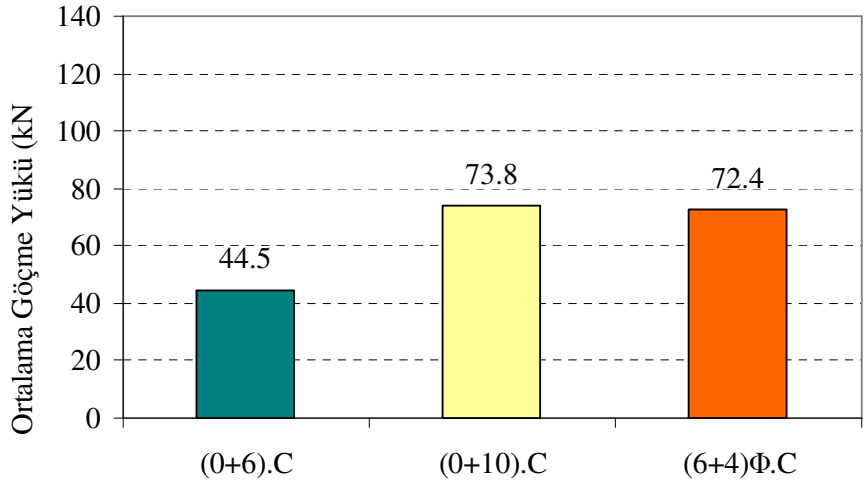
Şekil 6.50: 6Φ Bağlı Derinlikte Kısmi Bağlı Ankraj ile 6Φ ve 12Φ Derinlikte Tam Bağlı Ankrajların Göçme Yükleri

Grafikler incelendiğinde (6+6)Φ derinliğindeki kısmi bağlı ankrajların toplam ankraj boyuna eşit derinlikteki (12Φ) tam bağlı ankrajlardan daha yüksek eksenel çekme kapasitesine sahip olduğu görülmektedir. Aynı yükseklikte açılan ankraj derinliğine daha az miktarda kimyasal yapıştırıcı kullanarak hazırlanan kısmi bağlı kimyasal ankrajın eksenel çekme kapasitesinin tam bağlıya oranla daha yüksek çıkması, kısmi bağlı ankraj detayını aynı cazip hale getirmiştir. 6Φ bağlı derinliğe sahip kısmi bağlı ankrajın eksenek çekme kapasitesi aynı bağlı derinliğe sahip tam bağlı ankrajın kapasitesinin 2 katı kadardır.

Şekil 6.51 ve Şekil 6.52'de 4Φ bağlı derinliğe sahip kısmi bağlı ankraj ile 6Φ ve 10Φ derinliğinde tam bağlı ankrajların yük - yerdeğiştirme eğrileri ve göçme yükü değerleri verilmiştir.



Şekil 6.51: 4Φ Bağlı Derinlikte Kısmi Bağlı Ankraj ile 6Φ ve 10Φ Derinlikte Tam Bağlı Ankrajların Yük–yerdeğiştirme Eğrileri

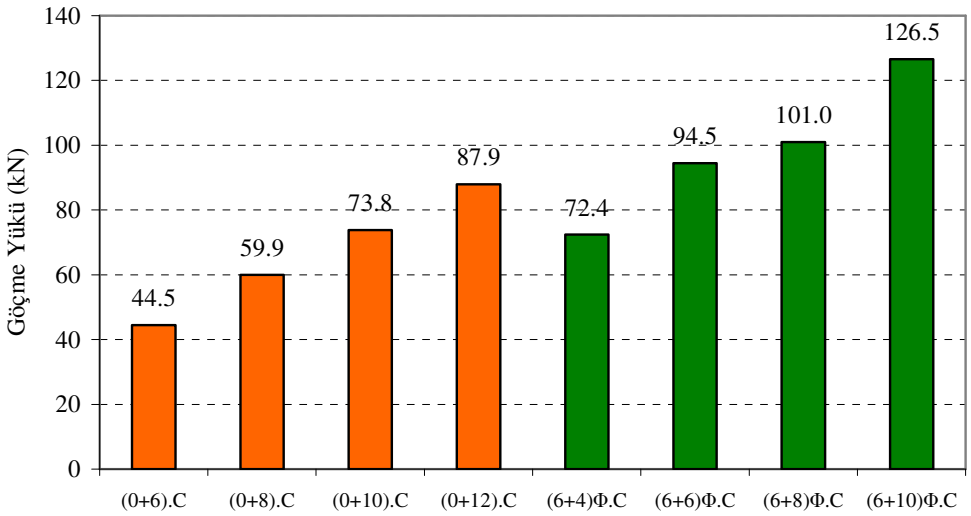


Şekil 6.52: 4Φ Bağlı Derinlikte Kısmi Bağlı Ankraj ile 6Φ ve 10Φ Derinlikte Tam Bağlı Ankrajların Göçme Yükleri

Kısmi bağlı ankrajların farklı derinliklerdeki davranışlarını incelemek amacıyla, çalışma kapsamında en sığ ankraj derinliğinin ne kadar olması gerektiğini saptamak için (6+4)Φ derinliğinde ankraj deneyleri yapılmıştır. Sadece 4Φ=9.6 cm bağlı derinliği olan sığ ankrajlar kısmi bağlı ankraj numuneleri arasında en düşük performansı göstermiştir. Grafikler incelendiğinde (6+4)Φ derinliğindeki bu ankrajların dahi, toplam ankraj boyuna eşit derinlikte ekilen (10Φ) tam bağlı ankrajlarla hemen hemen aynı ortalama eksenel çekme kapasitesine sahip olduğu görülmektedir. Pratikte sık uygulanan 10Φ derinliğindeki tam bağlı ankrajların

kapasitelerini hemen hemen yakalayabilen (6+4)Φ derinliğindeki kısmi ankrajların tam bağlı ankrajlara göre daha az kimyasal yapıştırıcı gerektirdiği ve sonuçta daha ekonomik oldukları düşünüldüğünde uygulanan kısmi bağlı ankraj detayının sağladığı avantajlar açıktır.

Şekil 6.53'de farklı derinliklerdeki kısmi ve tam bağlı ankraj detaylarının eksenel kapasitelerinin değişimi verilmiştir.



Şekil 6.53: Tam ve Kısmi Bağlı Ankrajların Göçme Yüklerinin Derinlikle Değişimi

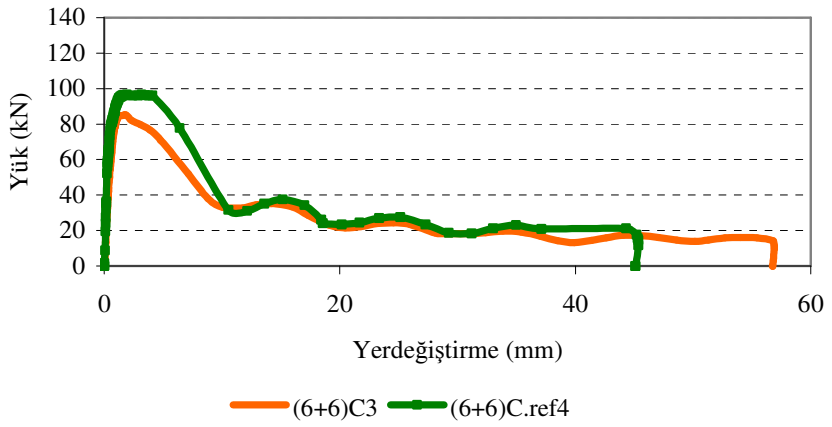
Kısmi bağlı ankrajlarda, ankraj derinliği boyunca bağsız serbest bir bölge bırakılması kopma öncesi donatıdaki plastik deformasyonların yayıldığı bölgeyi arttırarak daha büyük enerji yutma ve elastik ötesi deformasyon kapasitesi sağlayabileceği düşünülmektedir.

6.4 Ankraj Davranışına Ait Deneyler ile Referans Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Çalışma kapsamunda ankraj çekip çıkarma deneyleri iki farklı yöntemle yapılmıştır. Gerçek ankraj davranışını daha iyi temsil ettiği düşünülen ilk yöntemle ankrajın göçme mekanizması sınırlandırılmamış, deney düzeneği oluşabilecek koninin beton yüzündeki izdüşümünü kesmeyecek şekilde konumlandırılmıştır, [11]. Bu deney düzeneğinde beton içinde oluşan çatlakların ankrajın kapasitesine etkisi engellenmemiştir. Referans deneylerinde ise deney düzeneği ankraj donatısının 3 cm uzağına yerleştirilerek deney esnasında koni oluşumu engellenmiştir. Hemen yan

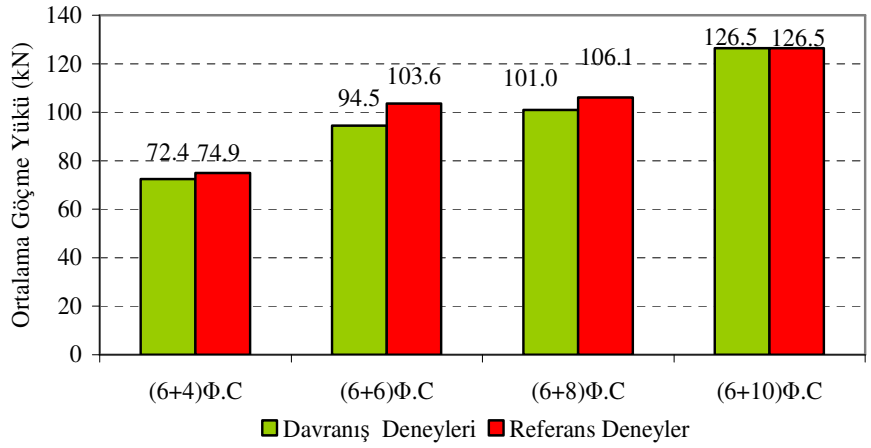
yüzündeki betondan tutularak çekilen ankrajın göçme mekanizması sadece yapışma dayanımının kaybedilmesi ile oluşmuştur. Böylece betonun ankraj kapasitesi üzerindeki etkisi minimuma indirilmiştir.

Şekil 6.54'de aynı özelliklere sahip ankraj numunesinin ankraj davranışını gerçekçi biçimde belirtmek üzere üzere kullanılan deney düzeneği ile elde edilen yük-yerdeğiştirme grafiği ile referans deneyine ait yük–yerdeğiştirme grafiği verilmiştir.

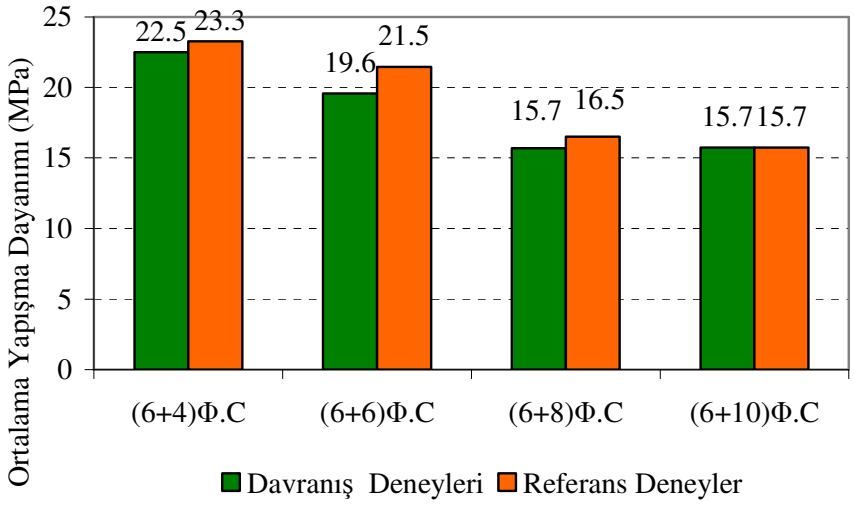


Şekil 6.54: (6+6)Φ Kısmi Bağlı Ankrajın Davranışına Ait Deney ile Referans Deneyi Yük - Yerdeğiştirme Grafiği

Şekil 6.55 ve Şekil 6.56'da farklı derinliklerdeki kısmi bağlı ankrajların davranış deneylerindeki göçme yükü ve yapışma dayanımlarının referans deneyleri ile karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 6.55: Davranış Deneyleri ile Referans Deneylerinin Göçme Yüklerinin Karşılaştırılması



Şekil 6.56: Davranış Deneyleri ile Referans Deneylerinin Yapışma Dayanımlarının Karşılaştırılması

Grafikler incelendiğinde referans deneylerinden elde edilen yapışma dayanımlarının belirtildiği gibi daha yüksek olduğu; dolayısıyla daha yüksek ankraj kapasiteleri elde edildiği görülmüştür.

Buna karşılık kısmi bağlı ankraj detayı ile göçmenin beton konisi oluşumu ile meydana gelmesi engellenip sıyrılma ile ankrajın kapasitesine ulaşması sağlandığı için davranış deneyleri ile referans deneyleri bir hayli yakın sonuçlar vermiştir.

7. SONUÇLAR

Bu çalışmada onarım ve güçlendirme çalışmalarında sıkça kullanılan kimyasal ankrajların farklı ankraj derinlikleri ve ankraj deliği koşulları altında eksenel çekme davranışları incelenmiştir. Çalışma kapsamında yapılan deneylerde iki farklı ankraj detayı kullanılmıştır. Uygulanan ankraj detaylarından ilki; ankraj derinliği boyunca kimyasal yapıştırıcının donatı ile beton arasında oluşturduğu arayüz ile toplam ankraj derinliği boyunca donatı ile betonun birlikte çalışmasının sağlandığı tam bağlı kimyasal ankrajlardır. Güçlendirme uygulamalarında yaygın olarak kullanılan tam bağlı ankrajlara alternatif bir ankraj detayı olan kısmi bağlı ankrajlar çalışmada kullanılan ikinci ankraj detayı olmuştur. Kısmi bağlı ankrajlarda, ankraj deliğinin üst bölgesinde kullanılan bir ara malzeme ile betonla donatının teması kesilip belli bir serbest boy uzunluğu boyunca donatının betona yapışması engellenmiştir. Ankraj derinliğinin alt ucundan itibaren belli bir uzunlukta betona kimyasal ile yapıştırılan ankraj donatısı derinliğin üst kısmında bulunan bağsız bölgede ise serbest bırakılmıştır.

İTÜ Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuarında kimyasal ankrajların davranışları ile ilgili yürümekte olan araştırmaların bir parçası olan bu çalışmanın öncelikle amaçları belirlenip sınırları çizilmiştir. Ankraj davranışını etkileyen ankraj geometrisine bağlı olan parametrelerden ankraj deliği çapı (22mm) ve ankraj donatısı çapı (Φ16) sabit tutulmuş; ankrajı oluşturan üç temel malzeme olan ankraj donatı çeliği (S420), kimyasal yapıştırıcı (Concresive 1406) ve taban betonu (deney esnasındaki dayanımı 12.7 MPa) tek tip tercih edilmiştir. Aynı durumu temsil eden ankraj numunelerinden 3'er adet test edilmiştir. Bu çalışmanın çerçevesi içinde incelenen başlıca beş konu ankraj uygulamalarında karşılaşılan bazı sorunlara ışık tutacak niteliktedir.

i. Güçlendirme uygulamalarında yaygın olarak kullanılan tam bağlı kimyasal ankrajların genellikle kullanılan uygulama derinliklerinde (10Φ), eksenel çekme etkisi altında, tasarlandıkları gibi ankraj donatısının akma dayanımına erişmesinden sonra göçmenin oluştuğunu incelenmek amaçıyla 6Φ, 8Φ, 10Φ ve 12Φ derinliklerde tam bağlı ankraj deneyleri yapılmıştır.

ii. Klasik ankraj detayına alternatif bir yöntem olarak sunulan kısmi bağlı ankrajların düşük dayanıma sahip betonda eksenel çekme etkisi altındaki davranışları incelenmiş, bu ankrajların kapasiteleri tam bağlı ankrajların kapasiteleri ile karşılaştırılmıştır. Bütün kısmi bağlı ankrajlarda serbest derinlik sabit tutulup, donatı çapının altı katı (6Φ) olarak seçilmiştir. Serbest derinliğin belirlenmesi, tam bağlı ankrajlarda oluşan ortalama koni derinliği (80 - 90 mm) göz önüne alınarak yapılmıştır. Kısmi bağlı ankrajlarda uygulanan ankraj derinlikleri, serbest derinlikle bağlı derinliğin toplamı olarak ifade edildiğinde (6+4)Φ, (6+6)Φ, (6+8)Φ ve (6+10)Φ dir.

iii. Ankraj uygulamaları esnasında delik yüzeyi temizliğinde yapılan ihmallerin (delik içindeki tozun dışarı atılmaması) ankraj dayanımı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu araştırma için üç farklı yüzey temizliği aşaması tanımlanmış, üç durum için elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Birinci aşama olan tam temiz (C clean) ankraj deliği uygulamasında, ankraj deliği açıldıktan sonra delik içindeki toz basınçlı hava ile atılmış, sonrasında matkap ucuna takılmış tel fırça yardımıyla delik duvarlarındaki tozlar temizlenmiş, arkasından çöken son tozları temizlemek için yeniden basınçlı hava tatbik edilmiştir. İkinci tip yüzey temizliğinde ise (tozu atılmış numuneler, D1 Dust) delik delindikten sonra sadece basınçlı hava ile delik içindeki toz dışarı atılmıştır. Son yüzey temizliği durumu ise tozlu numunelerdir (D2). Bu numune uygulamasında ankraj deliği açıldıktan sonra hiçbir temizleme işlemi yapılmamıştır. Çalışmanın bu aşamasında elde edilen sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılıp yüzey temizliğinin ankraj davranışına etkisi incelenmiştir.

iv. Üretici firmalar kimyasal ankrajların nemli yüzeylere uygulanmasını tavsiye etmemektedir. Yapılan uygulamalar esnasında ankrajların nemli veya ıslak zeminlere (yeraltı su seviyesi altındaki temellere yapılan ankraj uygulamaları) uygulanması gerekebilmektedir. Çalışmanın bu aşamasında ankraj deliği yüzey nemliliğinin ankraj dayanımı üzerindeki etkisinin incelenmesi için nemli (H1 Humid) ve ıslak (H2) olmak üzere iki farklı yüzey koşulu sağlanmıştır. Nemli ankraj yüzeyi uygulamasında ankraj deliği 48 saat süre ile su dolu olarak bekletilmiş ve ankraj ekimi esnasında delik içindeki su boşaltılarak kimyasal yapıştırıcı ile ankraj uygulanmıştır. Islak ankraj deliği uygulamasında ise ankraj deliklerinin etrafı çevrilerek küçük bir havuz yapılmış ve ankraj delikleri 7 gün su içinde tutulmuştur. 8. gün havuz içindeki su boşaltılıp ankraj ekimi yapılmış, bu işlem tamamlandıktan 2 saat sonra havuz tekrar su ile doldurulup ankrajların 7 gün su içinde kürlenmesi sağlanmıştır. Nemli ve ıslak ortamdaki numunelerin kapasiteleri tam temizlenmiş kuru ankraj deliğine ekilmiş numunelerin kapasiteleri ile karşılaştırılmıştır.

v. Ankraj tasarımında faydalanılan en temel kaynaklardan biri kimyasal yapıştırıcı üretici firmaların verdikleri ürün katalogları olmaktadır. Firmaların sağladığı ürün kataloglarında kimyasalların donatı ve betona yapışma dayanımları verilmektedir. Kimyasal yapışma dayanımının deneysel olarak farklı derinlik ve yüzey koşulları altında elde edilmesi için kısmi bağlı ankrajların referans deneyleri yapılmıştır. Bulunan yapışma dayanımları üretici firmanın verdiği değerlerle karşılaştırılmıştır. Ayrıca farklı deney düzenekleri kullanılarak elde edilen ankraj davranışları birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

Yürütülen deneysel çalışmanın sonunda aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

- 6Φ derinliğindeki tam bağlı ankrajlarda betonun konik olarak göçmesi gözlenirken, daha derin ankrajlarda beton konisi ile ankraj sıyrılması birlikte oluşmuştur. Oluşan koni derinliği ankrajın uygulandığı betonun çekme dayanımıyla ilgili olması nedeniyle tüm tam bağlı ankrajlarda beton konisi derinliği 80 - 90 mm arasında oluşmuştur. Koni derinliğinin altında kalan bağlı derinlikte oluşan sıyrılma beton ile kimyasal yapıştırıcının arayüzünde meydana gelmiştir. Tam bağlı ankrajların çekip çıkarma deneylerinde koni oluşumuyla göçme oldukça ani ve gevrek oluşmaktadır. Maksimum yüke kadar yerdeğiştirmeler sınırlı kalırken, koni oluşumuyla yük ani olarak düşmüş ve yerdeğiştirmeler hızla artmıştır. Koni oluşumu sonrasında yük, ankrajın sıyrılma derinliği boyunca karşılanan mekanik sürtünme kuvveti değerine kadar hızla düşer ve sonrasında belli bir miktar yükü mekanik sürtünme ile karşılamaya devam eder. Beton konisinin oluşumu sonrasında betonda derin çatlaklar meydana gelir. Ankrajlar arası yeterli mesafe bırakılmadığında oluşan bu çatlaklar komşu ankrajların kapasitelerini düşürebilmektedir. Tam bağlı ankrajlarda göçme yükünün ankraj donatısının bağlı derinliğindeki yüzey alanına bölünmesi ile elde edilen ortalama düzgün yayılı yapışma dayanımı tüm ankraj derinliklerinde yaklaşık olarak 9 MPa çıkmıştır. Üretici firmanın tavsiye ettiği betona yapışma dayanımı olan 3 MPa'ın üzerinde yapışma dayanımı elde edilmiştir. 6Φ, 8Φ, 10Φ ve 12Φ derinliklerinde ekilen tam bağlı ankrajların eksenel çekme kapasiteleri derinlikle doğrusal olarak artmıştır. Tam bağlı ankraj numunelerinin tümünde eksenel çekme deneylerinde göçme donatı akma gerilmesine ulaşmadan gerçekleşmiştir. Tam bağlı ankrajlarda tasarım amacına ulaşılamamış olması pratikte uygulanan ankraj uygulamalarında sorun oluşturabileceğini göstermiştir.

- Kısmi bağlı ankraj numunelerinin tümünde sıyrılma ile göçme gerçekleşmiştir. Ankraj derinliğinin üst bölümünde bağsız bırakılan serbest bölge beton konisi oluşumunu engellemiştir. Göçmenin sıyrılma ile oluşmasının betona daha az tahribat vermesi, ankrajların daha sık konumlandırılmasına olanak sağlamaktadır. (6+6)Φ ve

daha derin kısmi ankrajlarda göçme öncesi ankraj donatısı akmıştır. Ankrajın kapasitesine erişmeden donatının akması ankraj davranışını sünekleştirmekte, ani göçmeyi engellemekteözellikle deprem durumu için daha fazla enerji tüketimine olanak sağlamaktadır. (6+10)Φ derinliğindeki kısmi bağlı ankrajlar deneysel çalışma kapsamında uygulanan en derin ankrajlardır. Bu numunelerde ankraj kapasitesi ankraj donatısının pekleşmesinin etkisiyle akma yükünün üzerine çıkmış, sonra yapışma dayanımının kaybedilmesi ile ani olarak yükte düşüş meydana gelmiştir.

- Kısmi bağlı ankrajlar ile tam bağlı ankrajların göçme tipleri birbirinden farklıdır. Beton konisinin oluşumu gözlenmeyen kısmi bağlı ankrajlar tam bağlı ankrajlara göre daha sünek davranış göstermiş ve daha yüksek göçme dayanımları sergilemişlerdir. Kısmi bağlı ankrajların eksenel çekme etkisi altında tam bağlı ankrajlara göre daha iyi performans sergilemeleri sonucu alternatif ankraj tekniği olarak güçlendirme çalışmalarında tercih edilebilir. Sadece ankraj derinliğinin biraz daha derin açılması ile aynı miktarda veya daha az kullanılan kimyasal yapıştırıcı ile kismi bağlı ankrajlarda daha yüksek dayanımların ve daha çok tercih edilen göçme tiplerinin elde edilmesi mümkündür.

- Temizlenmemiş numunelerde ankrajın eksenel yük kapasitesi temizlenmiş ankrajlara oranla %40'lara varan düşüş göstermiştir. Yüzey temizliği işlemi yapılmamış numunelerde kimyasal yapıştırıcı delik duvarında yeteri kadar yapışma yüzeyi oluşturamamakta ve düşük yük seviyelerinde yapışma dayanımını kaybederek sıyrılmaktadır. Ankraj kapasitesinde düşüşe neden olmamak için uygulama esnasında yüzey temizliğine özen göstermelidir.

- Nemli ve ıslak ankraj deliklerine uygulanan ankrajlarda eksenel yük kapasitelerinde düşüş gözlenmiştir. Kullanılan kimyasal yapıştırıcının kürünü tamamlayabilmesi için gereken ortam şartlarının nemli yüzeylerde sağlanamaması kimyasal yapıştırıcının oluşturduğu kimyasal bağın gücünü düşürmektedir. Ayrıca ankraj deliğindeki ufak pürüzlerin su ile dolu olması kimyasal ile beton ara yüzünde oluşan sürtünme kuvvetinin değerini de düşürmektedir. Nemli ve ıslak yüzeylerde benzer kapasite düşüşleri yaşanmıştır. Nemli yüzeylere uygulanan ankrajların göçme yükleri % 30 oranında azalmıştır.

- Ankraj deliği yüzey nemliliği ve yüzey temizliği koşullarının ankraj davranışı üzerindeki etkisi kimyasal yapıştırıcının özelliklerine göre değişmektedir. Tek kimyasal yapıştırıcıya ait olan bu değerler genelleştirilmemelidir.

- Referans deneylerinin tümünde numuneler beton ile kimyasal yapıştırıcı arayüzündeki yapışma dayanımının kaybedilmesi ile sıyrılarak göçmüşlerdir.

Referans deneylerinden elde edilen ortalama düzgün yayılı yapışma dayanımı ankraj derinliği arttıkça azalmaktadır. Deneylerdeki farklı özelliklere sahip ankrajlardan elde edilen düzgün yayılı yapışma dayanımı kullanılan kimyasal yapıştırıcı için 15 - 23 MPa değerleri arasında değişmektedir. Bulunan bu değerler üretici firmanın verdiği yapışma dayanımı değeri olan 3 MPa değerinin çok üstündedir.

Düşük dayanımlı betonda kısmi ankrajlar için elde edilen ortalama yapışma dayanımı değerleri ile tam bağlı ankrajların ortalama yapışma dayanım değerleri çok farklıdır. Düşük dayanımlı betona ekilen tam bağlı ankrajların dayanımlarının önceden yapılacak referans deneyleri ile belirlenmesi oldukça hatalı sonuçlar doğuracak, deney sonuçları gerçek ankraj dayanımından yüksek değerler verecektir. Ancak çoğu kez sahada uygulanan ankraj deneyleri referans deney düzeneği ile yapılmakta, bu da gerçek ankraj davranışını temsil etmemektedir.

Kısmi bağlı ankrajlarda ise göçme tipinin beton konisinden sıyrılmaya çevrilmesi nedeniyle referans ve davranış deney düzeneklerinde gözlenilen ankraj davranışı ve kapasitesi oldukça yakın sonuçlar vermiştir. Bu durum saha uygulamalarında kısmi bağlı ankrajlarda daha basit bir deney düzeneği olan referans deneyleri ile ankraj kapasitesi belirlenebileceğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

[1] **Bağcı, G., Yatman, A., Özdemir, S., Altın, N.,** Türkiyede Hasar Yapan Depremler, *Deprem Araştırma Bülteni*, **69,** 113-126

[2] **ACI Committee 355**, 1991. State-of-The–Art-Report on Anchorage to Concrete, ACI 355.1R-91, *American Concrete Institute, Detroit, MI*.

[3] **Cook, R. A., Collins, D. M., Klinger,R., Polyzois, D.,** 1992. Load Deflection Behavior of Cast-in Place and Retrofit Concrete Anchors, *ACI Structural Journal,* V.89, No.6, 639-649

[4] **Seyhan, E.**, 2006. Kimyasal Ankrajların Davranışlarının İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[5] **Kaya, Y.**, 2007. Yapıların Güçlendirilmeis Uygulamalarında Kullanılabilecek Kısmi Bağlı Ankraj Detayı ve Yüzey Temizliği Koşulları Altında Ankrajların Eksenel Çekme Davranışlarının İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[6] **Cook, R. A., Kunz, J., Fuchs, W., Konz, R. C.,** 1998. Behavior and Design of Single Adhesive Anchors uns-der Tensile Load in Uncracked Concrete, *ACI Structural Journal,* V.95, No.1, 9-26

[7] **Cook, R. A., Konz, R. C.,** 2001. Factors Influencing Bond Strength of Adhesive Anchors , *ACI Structural Journal,* V.98, No.1, 76-86

[8] **Cook, R. A., Doerr, G. T., Klinger,R.** 1993. Bond Stress Model for Adhesive Anchors, *ACI Structural Journal,* V.90, No.5, 514-524

[9] **Doerr, G.T, Cook R.A, Klinger,** 1989. Adhesive Anchors, Behaviour and Spacing Requirements*, Res.rep.no: 1126-2, Ctr. for Transp. Res., Univ. Of Texas, Austin, Tex.*

[10] **Eligehausen, R., Malee, R., Rehm, G.,** 1984. Befetigungen mit Verbundankern (Fixings Formed with Resin Anchors), *Betonwerk + Fertigteil – Technik,* **V.12,** 686-692

[11] **ASTM E 488 – 96 (Reapproved 2003)**, 2003. Standard Test Methods for Strength of Anchors in Concrete and Masonry Elements.

[12] **ACI Committee 349 - 97**, 1997. Code Requirements for Nuclear Safety Related Concrete Structures, *American Concrete Institute, Detroit, MI*.

[13] **Cook, R. A.,** 1993. Behaviour of Chemically Bonded Anchors, *Journal of Structural Engineering, American Society of Civil Engineers (ASCE),* V.119, No.9, 2744-2762.

[14] **Fuchs, W., Eligehausen, R., Breen E. J.,** 1995. Concrete Capacity Design (CCD) Approach for Fastening to Concrete, *ACI Structural Journal,* V.92, No.1, 73 – 94

[15] **İnan, M.,** 1970. Cisimlerin Mukavemeti, Ofset Matbaacılık Ltd. Şti, *İstanbul.*

[16] **TS 500**, 2000. Betonarme Binaların Tasarım ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.*

[17] **EN 196-1**, 1994. Methods of Testing Cement Part 1: Determination of Strength.

[18] **National Earthquake Information Center,** World Seismicity Map, http://earthquake.usgs.gov/regional/world/seismicity/, 6 Haziran 2007

[19] **Sümer, M., Sarıbıyık, M., Fırat, S., Aydın, F.,** Depremde Hasar Görmüş Yapıların Beton Kalitesinin İncelenmesi, *Deprem Sempozyumu Kocaeli*, 2003

TAM BAĞLI NUMUNELER

Numune Adı	Ankraj Deliği Yüzey Koşulları	Bağlı Derinlik Φ (mm)	Göçme Şekli	Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi (KN)	Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı MPa	Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi (KN)	Eşdeğer Düzgün Yayılı Yapışma Dayanımı MPa
(0+6)Φ.C1	Temiz	6Φ= 96	Koni	38.8	8.0	44.5	9.2
(0+6)Φ.C2	Temiz	6Φ= 96	Koni	48.8	10.1		
(0+6)Φ.C3	Temiz	6Φ= 96	Koni	45.8	9.5		
(0+8)Φ.C1	Temiz	8Φ= 128	Koni ve Sıyrılma	52.0	8.1	59.9	9.3
(0+8)Φ.C2	Temiz	8Φ= 128	Koni ve Sıyrılma	68.2	10.6		
(0+8)Φ.C3	Temiz	8Φ= 128	Koni ve Sıyrılma	59.6	9.3		
(0+10)Φ.C1	Temiz	10Φ= 160	Koni ve Sıyrılma	69.4	8.6	73.8	9.2
(0+10)Φ.C2	Temiz	10Φ= 160	Koni ve Sıyrılma	82.3	10.2		
(0+10)Φ.C3	Temiz	10Φ= 160	Koni ve Sıyrılma	69.8	8.7		
(0+12)Φ.C1	Temiz	12Φ= 192	Koni ve Sıyrılma	91.6	9.5	87.9	9.1
(0+12)Φ.C2	Temiz	12Φ= 192	Koni ve Sıyrılma	88.5	9.2		
(0+12)Φ.C3	Temiz	12Φ= 192	Koni ve Sıyrılma	83.6	8.7		

TEMİZLENMİŞ ANKRAJ DELİĞİNE EKİLEN KISMİ BAĞLI NUMUNELER

Numune Adı	Ankraj Deliği Yüzey Koşulları	Serbest Derinlik Φ (mm)	Bağlı Derinlik Φ (mm)	Toplam Derinlik Φ (mm)	Göçme Şekli	Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi (kN)	Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı (MPa)	Ort Eksenel Çekme Yükü (kN)	Ort Eşdeğer Düzgün Yayılı Yapışma Day (MPa)
(6+4)Φ.C1	Temiz	6Φ= 96	4Φ= 64	10Φ= 160	Sıyrılma	80.1	24.9	72.4	22.5
(6+4)Φ.C2	Temiz	6Φ= 96	4Φ= 64	10Φ= 160	Sıyrılma	70.7	22.0		
(6+4)Φ.C3	Temiz	6Φ= 96	4Φ= 64	10Φ= 160	Sıyrılma	66.4	20.6		
(6+6)Φ.C1	Temiz	6Φ= 96	6Φ= 96	12Φ= 192	Sıyrılma	105.1	21.8	94.5	19.6
(6+6)Φ.C2	Temiz	6Φ= 96	6Φ= 96	12Φ= 192	Sıyrılma	95.6	19.8		
(6+6)Φ.C3	Temiz	6Φ= 96	6Φ= 96	12Φ= 192	Sıyrılma	85.2	17.7		
(6+6)Φ.C4	Temiz	6Φ= 96	6Φ= 96	12Φ= 192	Sıyrılma	91.9	19.0		
(6+8)Φ.C1	Temiz	6Φ= 96	8Φ= 128	14Φ= 224	Sıyrılma	101.0	15.7	101.0	15.7
(6+8)Φ.C2	Temiz	6Φ= 96	8Φ= 128	14Φ= 224	Sıyrılma	116.9	18.2		
(6+8)Φ.C3	Temiz	6Φ= 96	8Φ= 128	14Φ= 224	Sıyrılma	97.4	15.1		
(6+8)Φ.C4	Temiz	6Φ= 96	8Φ= 128	14Φ= 224	Sıyrılma	88.5	13.8		
(6+10)Φ.C1	Temiz	6Φ= 96	10Φ= 160	16Φ= 256	Sıyrılma	126.3	15.7	126.5	15.7
(6+10)Φ.C2	Temiz	6Φ= 96	10Φ= 160	16Φ= 256	Sıyrılma	125.4	15.6		
(6+10)Φ.C3	Temiz	6Φ= 96	10Φ= 160	16Φ= 256	Sıyrılma	127.8	15.9		

TOZU ATILMIŞ ANKRAJ DELİĞİNE EKİLEN KISMİ BAĞLI NUMUNELER

Numune Adı	Ankraj Deliği Yüzey Koşulları	Serbest Derinlik Φ (mm)	Bağlı Derinlik Φ (mm)	Toplam Derinlik Φ (mm)	Göçme Şekli	Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi (kN)	Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı (MPa)	Ort Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi (kN)	Ort Eşdeğer Düzgün Yayılı Yapışma Day (MPa)
(6+4)Φ.D1.1	Az Temiz	6Φ= 96	4Φ= 64	10Φ= 160	Sıyrılma	60.7	18.9	68.4	21.3
(6+4)Φ.D1.2	Az Temiz	6Φ= 96	4Φ= 64	10Φ= 160	Sıyrılma	75.9	23.6		
(6+4)Φ.D1.3	Az Temiz	6Φ= 96	4Φ= 64	10Φ= 160	Sıyrılma	68.7	21.4		
(6+8)Φ.D1.1	Az Temiz	6Φ= 96	8Φ= 128	14Φ= 224	Sıyrılma	88.6	13.8	96.9	15.1
(6+8)Φ.D1.2	Az Temiz	6Φ= 96	8Φ= 128	14Φ= 224	Sıyrılma	88.6	13.8		
(6+8)Φ.D1.3	Az Temiz	6Φ= 96	8Φ= 128	14Φ= 224	Sıyrılma	113.4	17.6		

TEMİZLENMEMİŞ ANKRAJ DELİĞİNE EKİLEN KISMİ BAĞLI NUMUNELER

Numune Adı	Ankraj Deliği Yüzey Koşulları	Serbest Derinlik Φ (mm)	Bağlı Derinlik Φ (mm)	Toplam Derinlik Φ (mm)	Göçme Şekli	Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi (kN)	Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı (MPa)	Ort Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi (kN)	Ort Eşdeğer Düzgün Yayılı Yapışma Day (MPa)
(6+4)Φ.D2.1	Tozlu	6Φ= 96	4Φ= 64	10Φ= 160	Sıyrılma	43.4	13.5	48.8	15.2
(6+4)Φ.D2.2	Tozlu	6Φ= 96	4Φ= 64	10Φ= 160	Sıyrılma	47.3	14.7		
(6+4)Φ.D2.3	Tozlu	6Φ= 96	4Φ= 64	10Φ= 160	Sıyrılma	55.6	17.3		
(6+8)Φ.D2.1	Tozlu	6Φ= 96	8Φ= 128	14Φ= 224	Sıyrılma	101.0	15.7	93.0	14.5
(6+8)Φ.D2.2	Tozlu	6Φ= 96	8Φ= 128	14Φ= 224	Sıyrılma	91.1	14.2		
(6+8)Φ.D2.3	Tozlu	6Φ= 96	8Φ= 128	14Φ= 224	Sıyrılma	87.0	13.5		

NEMLİ ANKRAJ DELİĞİNE EKİLEN KISMİ BAĞLI NUMUNELER

Numune Adı	Ankraj Deliği Yüzey Koşulları	Serbest Derinlik Φ (mm)	Bağlı Derinlik Φ (mm)	Toplam Derinlik Φ (mm)	Göçme Şekli	Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi (kN)	Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı (MPa)	Ort Eksenel Çekme Yükü (kN)	Ort Eşdeğer Düzgün Yayılı Yapışma Day (MPa)
(6+4)Φ.H1.1	Nemli	6Φ= 96	4Φ= 64	10Φ= 160	Sıyrılma	49.9	15.5	53.0	16.5
(6+4)Φ.H1.2	Nemli	6Φ= 96	4Φ= 64	10Φ= 160	Sıyrılma	52.7	16.4		
(6+4)Φ.H13	Nemli	6Φ= 96	4Φ= 64	10Φ= 160	Sıyrılma	56.5	17.6		
(6+8)Φ.H1.1	Nemli	6Φ= 96	8Φ= 128	14Φ= 224	Sıyrılma	107.7	16.7	107.7	16.7

ISLAK ANKRAJ DELİĞİNE EKİLEN KISMİ BAĞLI NUMUNELER

Numune Adı	Ankraj Deliği Yüzey Koşulları	Serbest Derinlik Φ (mm)	Bağlı Derinlik Φ (mm)	Toplam Derinlik Φ (mm)	Göçme Şekli	Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi (kN)	Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı (MPa)	Ort Eksenel Çekme Yükü (kN)	Ort Eşdeğer Düzgün Yayılı Yapışma Day (MPa)
(6+4)Φ.H2.1	Islak	6Φ= 96	4Φ= 64	10Φ= 160	Sıyrılma	57.1	17.7	57.3	17.8
(6+4)Φ.H2.2	Islak	6Φ= 96	4Φ= 64	10Φ= 160	Sıyrılma	51.4	16.0		
(6+4)Φ.H2.3	Islak	6Φ= 96	4Φ= 64	10Φ= 160	Sıyrılma	63.5	19.7		
(6+6)Φ.H2.1	Islak	6Φ= 96	6Φ= 96	12Φ= 192	Sıyrılma	81.6	16.9	79.4	16.5
(6+6)Φ.H2.2	Islak	6Φ= 96	6Φ= 96	12Φ= 192	Sıyrılma	86.7	18.0		
(6+6)Φ.H2.3	Islak	6Φ= 96	6Φ= 96	12Φ= 192	Sıyrılma	70.0	14.5		

TEMİZLENMİŞ ANKRAJ DELİĞİNE EKİLEN KISMİ BAĞLI NUMUNELERİN REFERANS DENEYLERİ

Numune Adı	Ankraj Deliği Yüzey Koşulları	Serbest Derinlik Φ (mm)	Bağlı Derinlik Φ (mm)	Toplam Derinlik Φ (mm)	Göçme Şekli	Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi (kN)	Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı (MPa)	Ort Eksenel Çekme Yükü (kN)	Ort Eşdeğer Düzgün Yayılı Yapışma Day (MPa)
(6+4)Φ.C.ref1	Temiz	6Φ= 96	4Φ= 64	10Φ= 160	Sıyrılma	67.4	21.0	74.9	23.3
(6+4)Φ.C.ref2	Temiz	6Φ= 96	4Φ= 64	10Φ= 160	Sıyrılma	82.4	25.6		
(6+4)Φ.C.ref3	Temiz	6Φ= 96	4Φ= 64	10Φ= 160	Sıyrılma	78	24.2		
(6+4)Φ.C.ref4	Temiz	6Φ= 96	4Φ= 64	10Φ= 160	Sıyrılma	71.6	22.3		
(6+6)Φ.C.ref1	Temiz	6Φ= 96	6Φ= 96	12Φ= 192	Sıyrılma	103.5	21.4	103.6	21.5
(6+6)Φ.C.ref2	Temiz	6Φ= 96	6Φ= 96	12Φ= 192	Sıyrılma	111.3	23.1		
(6+6)Φ.C.ref3	Temiz	6Φ= 96	6Φ= 96	12Φ= 192	Sıyrılma	103	21.3		
(6+6)Φ.C.ref4	Temiz	6Φ= 96	6Φ= 96	12Φ= 192	Sıyrılma	96.5	20.0		
(6+8)Φ.Cref1	Temiz	6Φ= 96	8Φ= 128	14Φ= 224	Sıyrılma	121.8	18.9	106.1	16.5
(6+8)Φ.C.ref2	Temiz	6Φ= 96	8Φ= 128	14Φ= 224	Sıyrılma	92.5	14.4		
(6+8)Φ.C.ref3	Temiz	6Φ= 96	8Φ= 128	14Φ= 224	Sıyrılma	117.2	18.2		
(6+8)Φ.C.ref4	Temiz	6Φ= 96	8Φ= 128	14Φ= 224	Sıyrılma	93.0	14.5		
(6+10)Φ.C.ref1	Temiz	6Φ= 96	10Φ= 160	16Φ= 256	Sıyrılma	123.6	15.4	126.5	15.7
(6+10)Φ.C.ref2	Temiz	6Φ= 96	10Φ= 160	16Φ= 256	Sıyrılma	128.3	16.0		
(6+10)Φ.C.ref3	Temiz	6Φ= 96	10Φ= 160	16Φ= 256	Sıyrılma	127.5	15.9		

TOZU ATILMIŞ ANKRAJ DELİĞİNE EKİLEN KISMİ BAĞLI NUMUNELERİN REFERANS DENEYLERİ

Numune Adı	Ankraj Deliği Yüzey Koşulları	Serbest Derinlik Φ (mm)	Bağlı Derinlik Φ (mm)	Toplam Derinlik Φ (mm)	Göçme Şekli	Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi (kN)	Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı (MPa)	Ort Eksenel Çekme Yükü (kN)	Ort Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı (MPa)
(6+4)Φ.D1.ref1	Az Temiz	6Φ= 96	4Φ= 64	10Φ= 160	Sıyrılma	78.0	24.2	76.3	23.7
(6+4)Φ.D1.ref2	Az Temiz	6Φ= 96	4Φ= 64	10Φ= 160	Sıyrılma	73.6	22.9		
(6+4)Φ.D1.ref3	Az Temiz	6Φ= 96	4Φ= 64	10Φ= 160	Sıyrılma	77.2	24.0		
(6+8)Φ.D1.ref1	Az Temiz	6Φ= 96	8Φ= 128	14Φ= 224	Sıyrılma	128.1	19.9	120.4	18.7
(6+8)Φ.D1.ref2	Az Temiz	6Φ= 96	8Φ= 128	14Φ= 224	Sıyrılma	120.6	18.7		
(6+8)Φ.D1.ref3	Az Temiz	6Φ= 96	8Φ= 128	14Φ= 224	Sıyrılma	112.5	17.5		

TEMİZLENMEMİŞ ANKRAJ DELİĞİNE EKİLEN KISMİ BAĞLI NUMUNELERİN REFERANS DENEYLERİ

Numune Adı	Ankraj Deliği Yüzey Koşulları	Serbest Derinlik Φ (mm)	Bağlı Derinlik Φ (mm)	Toplam Derinlik Φ (mm)	Göçme Şekli	Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi (kN)	Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı (MPa)	Ort Eksenel Çekme Yükü (kN)	Ort Eşdeğer Düzgün Yayılı Yapışma Day (MPa)
(6+4)Φ.D2.ref1	Tozlu	6Φ= 96	4Φ= 64	10Φ= 160	Sıyrılma	72.6	22.6	76.2	23.7
(6+4)Φ.D2.ref2	Tozlu	6Φ= 96	4Φ= 64	10Φ= 160	Sıyrılma	77.0	23.9		
(6+4)Φ.D2.ref3	Tozlu	6Φ= 96	4Φ= 64	10Φ= 160	Sıyrılma	79.0	24.6		
(6+8)Φ.D2.ref1	Tozlu	6Φ= 96	8Φ= 128	14Φ= 224	Sıyrılma	84.2	13.1	85.6	13.3
(6+8)Φ.D2.ref2	Tozlu	6Φ= 96	8Φ= 128	14Φ= 224	Sıyrılma	92.4	14.4		
(6+8)Φ.D2.ref3	Tozlu	6Φ= 96	8Φ= 128	14Φ= 224	Sıyrılma	80.3	12.5		

NEMLİ ANKRAJ DELİĞİNE EKİLEN KISMİ BAĞLI NUMUNELERİN REFERANS DENEYLERİ

Numune Adı	Ankraj Deliği Yüzey Koşulları	Serbest Derinlik Φ (mm)	Bağlı Derinlik Φ (mm)	Toplam Derinlik Φ (mm)	Göçme Şekli	Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi (kN)	Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı (MPa)	Ort Eksenel Çekme Yükü (kN)	Ort Eşdeğer Düzgün Yayılı Yapışma Day (MPa)
(6+4)Φ.H1.ref1	Nemli	6Φ= 96	4Φ= 64	10Φ= 160	Sıyrılma	66.7	20.7	55.4	17.2
(6+4)Φ.H1.ref2	Nemli	6Φ= 96	4Φ= 64	10Φ= 160	Sıyrılma	50.2	15.6		
(6+4)Φ.H1.ref3	Nemli	6Φ= 96	4Φ= 64	10Φ= 160	Sıyrılma	49.4	15.4		
(6+8)Φ.H1.ref1	Nemli	6Φ= 96	8Φ= 128	14Φ= 224	Sıyrılma	122.3	19.0	122.0	19.0
(6+8)Φ.H1.ref2	Nemli	6Φ= 96	8Φ= 128	14Φ= 224	Sıyrılma	124.1	19.3		
(6+8)Φ.H1.ref3	Nemli	6Φ= 96	8Φ= 128	14Φ= 224	Sıyrılma	119.5	18.6		

ISLAK ANKRAJ DELİĞİNE EKİLEN KISMİ BAĞLI NUMUNELERİN REFERANS DENEYLERİ

Numune Adı	Ankraj Deliği Yüzey Koşulları	Serbest Derinlik Φ (mm)	Bağlı Derinlik Φ (mm)	Toplam Derinlik Φ (mm)	Göçme Şekli	Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi (kN)	Eşdeğer Düzgün Yayılı Bağ Dayanımı (MPa)	Ort Eksenel Çekme Yükü Kapasitesi (kN)	Ort Eşdeğer Düzgün Yayılı Yapışma Day (MPa)
(6+4)Φ.H2.ref1	Islak	6Φ= 96	4Φ= 64	10Φ= 160	Sıyrılma	50.6	15.7	55.8	17.3
(6+4)Φ.H2.ref2	Islak	6Φ= 96	4Φ= 64	10Φ= 160	Sıyrılma	60.9	18.9		
(6+6)Φ.H2.ref1	Islak	6Φ= 96	6Φ= 96	12Φ= 192	Sıyrılma	88.0	18.2	85.6	17.7
(6+6)Φ.H2.ref2	Islak	6Φ= 96	6Φ= 96	12Φ= 192	Sıyrılma	87.2	18.1		
(6+6)Φ.H2.ref3	Islak	6Φ= 96	6Φ= 96	12Φ= 192	Sıyrılma	81.6	16.9		

ÖZGEÇMİŞ

Tuba Gürbüz 1981 yılında Ankara'da doğmuştur. 1999 yılında Ankara Atatürk Anadolu Lisesi'nden mezun olmuş aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazanmıştır. 2002 yılında İstanbul Teknik Üniversitesinde Çevre Mühendisliği Bölümü ile Çift Anadal Programına (ÇAP) başlamış, 2004 yılında İnşaat Mühendisliği Bölümünden, 2005 yılında ise Çevre Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. 2004 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Analizi Yüksek Lisans Programına başlamıştır. 2006 yılından itibaren İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı Anabilim dalında araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.