

**ANADOLU ÜNİVERSİTESİ**



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI  
ÜNİVERSİTESİ**

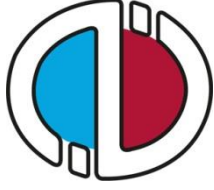
**Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**KİMYASAL ANKRAJLARDA ÇAP, GÖMME DERİNLİĞİ  
VE  
KENAR MESAFESİNİN ÇEKME KUVVETİNE ETKİSİ**

**İdris AYDOĞAN  
Yüksek Lisans Tezi**

**Tez Danışmanı  
Yrd. Doç. Dr. Özlem ÇALIŞKAN DEĞİRMENCİ**

**BİLECİK, 2015  
Ref. No:10082647**



**ANADOLU ÜNİVERSİTESİ**



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI  
ÜNİVERSİTESİ**

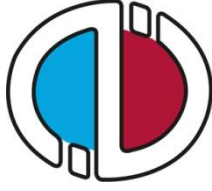
**Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**KİMYASAL ANKRAJLARDA ÇAP, GÖMME DERİNLİĞİ  
VE  
KENAR MESAFESİNİN ÇEKME KUVVETİNE ETKİSİ**

**İdris AYDOĞAN  
Yüksek Lisans Tezi**

**Tez Danışmanı  
Yrd. Doç. Dr. Özlem ÇALIŞKAN DEĞİRMENCİ**

**BİLECİK, 2015**



**ANADOLU UNIVERSITY**



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI  
UNIVERSITY**

**Graduate School of Sciences  
Department of Civil Engineering**

**EFFECTS OF DIAMETER, EMBEDMENT DEPTH AND  
EDGE DISTANCE TO TENSILE FORCE ON THE  
CHEMICAL ANCHORS**

**İdris AYDOĞAN  
Master's Thesis**

**Thesis Advisor  
Assist. Prof. Dr. Özlem ÇALIŞKAN DEĞİRMENCİ**

**BİLECİK, 2015**



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS  
JÜRİ ONAY FORMU**

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 25.06.2015 tarih ve 2357 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 10.07.2015 tarihinde tez savunma sınavı yapılan İdris AYDOĞAN'ın "Kimyasal Ankrajlarda Çap, Gömme Derinliği ve Kenar Mesafesinin Çekme Kuvvetine Etkisi" başlıklı tez çalışması İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği/ oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

**JÜRİ**

**ÜYE**

**(TEZ DANIŞMANI) : YRD. DOÇ.DR. ÖZLEM ÇALIŞKAN DEĞİRMENCI**

**ÜYE : YRD. DOÇ. DR. KIVANÇ TAŞKIN**

**ÜYE : YRD. DOÇ. DR. MEHMET CANBAZ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANI:  
YRD. DOÇ. DR. CENK KARAKURT**

**ONAY**

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun .../.../..... tarih ve ...../..... sayılı kararı.

**İMZA/ MÜHÜR**

## **TEŞEKKÜR**

Yüksek lisans eğitiminin başlangıcından itibaren ve çalışmamda tez danışmanlığımı üstlenen, her konuda destek veren, yenilikçi, yol gösteren, teşvik eden ve öğretici yöntemleriyle üzerimde emeği geçen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Özlem ÇALIŞKAN DEĞİRMENCİ'ye en içten teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Çalışmamın hayata geçmesi ve deneysel çalışmalarımı yapmama imkân verdiği için SERYAPI PREFABRİK LTD ŐTİ. firması yöneticileri ve çalışanlarının desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Yüksek Lisans yapmam için beni teşvik eden ve çalışmalarım esnasında ki tüm desteklerinden dolayı eşim Elif AYDOĞAN' a sonsuz teşekkürler.

Ayrıca bu zamana kadar her türlü desteğini ve dualarını esirgemeyen aile büyüklerime de teşekkürlerimi sunarım.

**İdris AYDOĞAN**

**Temmuz, 2015**

## ÖZET

Mevcut yapıların onarım ve güçlendirilmesinde, yeni elemanların eklenmesinde kimyasal ankrajlar sıklıkla kullanılmaktadır. Kimyasal ankrajların çekme kuvvetini ankraj çapı, kenar mesafesi, ankraj ekme derinliği, kullanılan kimyasal yapıştırıcı türü, ankrajların ekileceği deliğin temizlik ve nem durumu gibi birçok parametre etkilemektedir.

Bu çalışmada, epoksi bazlı kimyasal yapıştırıcı kullanılarak 27 MPa ortalama beton basınç dayanımına sahip beton temellere S420a donatıdan oluşan 80 adet ankraj ekilmiş ve çekme deneyine tabi tutulmuştur. Bu ankrajlar çapın 5, 10, 15 ve 20 katı derinliklerde ve çapın 5, 7.5, 10, 15 ve 20 katı kenardan uzaklığa ekilmiştir. Deneyler sırasında yük ve deplasman değerleri ölçülerek numunelere ait yük – deplasman grafikleri çizilmiş, göçme modları belirlenmiştir. Ankraj çapına, ekme derinliğine ve kenar mesafelerine göre değerlendirmeler yapılmıştır. ACI 318 Ek-D'nin öngördüğü kapasite ve tasarım dayanım değerleriyle deney sonuçları karşılaştırılmış ve güvenlik katsayıları bulunmuştur.

Yapılan deneysel çalışma sonucunda ankraj çapı ve kenar mesafesi arttıkça çekme kuvvetinin arttığı, ankraj ekme derinliği açısından da çapın 15 katı (cm)'na kadar arttığı sonrasında ise çekme kuvvetinde azalma olduğu görülmüştür. ACI 318 Ek-D'nin öngördüğü tasarım dayanımlarıyla deney sonuçları karşılaştırıldığında çap arttıkça güvenlik katsayısının azaldığı belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kimyasal Ankraj; Çekme Kuvveti; ACI 318.

## ABSTRACT

Chemical anchors are frequently used in reinforcement of existing structures and addition of new elements. Tensile strength of chemical anchors was effected by many parameters such as anchor diameter, edge distance, embedment depth, the chemicals used for bonding and cleaning and humidity conditions of the anchor hole.

In the present study, epoxy based chemical adhesives were used to embed 80 anchors consisting of S420 outfits with an average compressive strength of 27 MPa. These anchors were then subjected to tension test. Anchors were embedded to depths determined as 5, 10, 15 and 20 times of diameter and with an edge distance determined as 5, 7.5, 10, 15 and 20 times of diameter. Load and displacement values are measured during experiments and load-displacement graphics were drawn and collapse modes were determined. Experiments were evaluated based on anchor diameter, embedment depth and edge distance. Results were compared to capacity and strength values estimated due to ACI 318 App-D and safety coefficient was determined accordingly.

Evaluation of experimental study showed an increase of tensile strength with increasing anchor diameter and edge distance and the increase of tensile strength has increased until an embedment depth which was 15 times (cm) of diameter. Comparison of design strength estimated by ACI 318 App-D and experimental results indicated that safety coefficient had decreased with increasing diameter.

**Key Words:** Chemical Anchors; Tensile Strength; ACI 318.

## İÇİNDEKİLER

Sayfa No

<b>JURİ ONAY FORMU</b>	
<b>TEŞEKKÜR</b>	
<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. KONUyla İLGİLİ DAHA ÖNCE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR</b> .....	<b>3</b>
<b>3. ANKRAJLARLA İLGİLİ GENEL BİLGİLER</b> .....	<b>18</b>
3.1. ACI 318'e Göre Ankraj Çekme Kapasitesi .....	21
3.1.1. Donatı kapasitesi .....	22
3.1.2. Beton koni kapasitesi .....	23
3.1.3. Sıyırılma kapasitesi .....	24
3.2. ACI318'e Göre Beklenen Ankraj Çekme Kapasitesi .....	24
3.2.1. 12 mm çaplı ankraj çubukları için .....	26
3.2.2. 16 mm çaplı ankraj çubukları için .....	26
3.2.3. 20 mm çaplı ankraj çubukları için .....	27
3.2.4. 24 mm çaplı ankraj çubukları için .....	28
<b>4. DENEYSEL ÇALIŞMA</b> .....	<b>30</b>
4.1. Genel Bilgiler .....	30
4.2. Numunelerin Üretimi .....	30
4.3. Malzeme .....	32
4.3.1. Beton .....	32
4.3.2. Ankraj çubuğu .....	33
4.3.3. Kimyasal yapıştırıcı .....	34
4.4. Deney Düzenegi .....	34
<b>5. DENEY SONUÇLARI</b> .....	<b>35</b>
5.1. Yük – Deplasman Eğrileri .....	35

5.1.1. D12L5 $\Phi$ için yük - deplasman eğrileri .....	35
5.1.2. D12L10 $\Phi$ için yük - deplasman eğrileri .....	36
5.1.3. D12L15 $\Phi$ için yük - deplasman eğrileri .....	36
5.1.4. D12L20 $\Phi$ için yük - deplasman eğrileri .....	37
5.1.5. D16L5 $\Phi$ için yük - deplasman eğrileri .....	38
5.1.6. D16L10 $\Phi$ için yük - deplasman eğrileri .....	38
5.1.7. D16L15 $\Phi$ için yük - deplasman eğrileri .....	39
5.1.8. D16L20 $\Phi$ için yük - deplasman eğrileri .....	40
5.1.9. D20L5 $\Phi$ için yük - deplasman eğrileri .....	40
5.1.10. D20L10 $\Phi$ için yük - deplasman eğrileri .....	41
5.1.11. D20L15 $\Phi$ için yük - deplasman eğrileri .....	42
5.1.12. D20L20 $\Phi$ için yük - deplasman eğrileri .....	42
5.1.13. D24L5 $\Phi$ için yük - deplasman eğrileri .....	43
5.1.14. D24L10 $\Phi$ için yük - deplasman eğrileri .....	44
5.1.15. D24L15 $\Phi$ için yük - deplasman eğrileri .....	44
5.1.16. D24L20 $\Phi$ için yük - deplasman eğrileri .....	45
5.2. Göçme Modları .....	46
5.2.1. D12 için göçme modları .....	46
5.2.2. D16 için göçme modları .....	47
5.2.3. D20 için göçme modları .....	48
5.2.4. D24 için göçme modları .....	49
5.3. Çapın Ankraj Çekme Kuvvetine Etkisi .....	50
5.3.1. D12 için değerlendirme .....	50
5.3.2. D16 için değerlendirme .....	50
5.3.3. D20 için değerlendirme .....	51
5.3.4. D24 için değerlendirme .....	52
5.4. Ekme Derinliğinin Ankraj Çekme Kuvvetine Etkisi .....	52
5.4.1. 5 $\Phi$ derinliğe ekilen ankrajlar .....	52
5.4.2. 10 $\Phi$ derinliğe ekilen ankrajlar .....	53
5.4.3. 15 $\Phi$ derinliğe ekilen ankrajlar .....	54
5.4.4. 20 $\Phi$ derinliğe ekilen ankrajlar .....	54

5.5. Kenar Mesafesinin Ankraj Çekme Kuvvetine Etkisi .....	55
5.5.1. Kenar mesafesi $5\Phi$ olan ankrajlar .....	55
5.5.2. Kenar mesafesi $7.5\Phi$ olan ankrajlar .....	56
5.5.3. Kenar mesafesi $10\Phi$ olan ankrajlar .....	56
5.5.4. Kenar mesafesi $15\Phi$ olan ankrajlar .....	57
5.5.5. Kenar mesafesi $20\Phi$ olan ankrajlar .....	58
5.6. ACI 318'e Göre Güvenlik Katsayıları (GK) .....	59
<b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>61</b>
<b>7. KAYNAKLAR .....</b>	<b>64</b>
<b>Ek-1:</b> 12 mm Çaplı, 6 cm derinliğe ekilen numunelere ait görüntüler .....	69
<b>Ek-2:</b> 12 mm çaplı, 12 cm derinliğe ekilen numunelere ait görüntüler .....	70
<b>Ek-3:</b> 12 mm çaplı, 18 cm derinliğe ekilen numunelere ait görüntüler .....	71
<b>Ek-4:</b> 12 mm çaplı, 24 cm derinliğe ekilen numunelere ait görüntüler .....	72
<b>Ek-5:</b> 16 mm çaplı, 8 cm derinliğe ekilen numunelere ait görüntüler .....	73
<b>Ek-6:</b> 16 mm çaplı, 16 cm derinliğe ekilen numunelere ait görüntüler .....	74
<b>Ek-7:</b> 16 mm çaplı, 24 cm derinliğe ekilen numunelere ait görüntüler .....	75
<b>Ek-8:</b> 16 mm çaplı, 32 cm derinliğe ekilen numunelere ait görüntüler .....	76
<b>Ek-9:</b> 20 mm çaplı, 10 cm derinliğe ekilen numunelere ait görüntüler .....	77
<b>Ek-10:</b> 20 mm çaplı, 20 cm derinliğe ekilen numunelere ait görüntüler .....	78
<b>Ek-11:</b> 20 mm çaplı, 30 cm derinliğe ekilen numunelere ait görüntüler .....	79
<b>Ek-12:</b> 20 mm çaplı, 40 cm derinliğe ekilen numunelere ait görüntüler .....	80
<b>Ek-13:</b> 24 mm çaplı, 12 cm derinliğe ekilen numunelere ait görüntüler .....	81
<b>Ek-14:</b> 24 mm çaplı, 24 cm derinliğe ekilen numunelere ait görüntüler .....	82
<b>Ek-15:</b> 24 mm çaplı, 36 cm derinliğe ekilen numunelere ait görüntüler .....	83
<b>Ek-16:</b> 24 mm çaplı, 48 cm derinliğe ekilen numunelere ait görüntüler .....	84
<b>Ek-17:</b> Tüm deney sonuçları .....	85
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>86</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ACI	: Amerikan Beton Enstitüsü
$A_{NC}$	: Tekil ya da Grup Ankrajlar İçin Planlanan Beton Hasar Alanı, $mm^2$
$A_{NC0}$	: Beton Hasar Alanı, $mm^2$
C	: Beton Dayanım Sınıfı
$c_{a1}$	: Ankrajın Bir Doğrultuda Beton Kenarına Olan Mesafesi, mm
$c_{amin}$	: Ankrajın Beton Kenarına Olan Minimum Mesafesi, mm
CCD	: Kapasite Dizaynı
D	: Ankraj Çapı
$d_o$	: Ankraj Donatı Çapı
$e_h$	: Ankrajın Aks İç Yüzünden Dış Ucuna Olan Uzaklık, mm
$f_c$	: Belirlenmiş Beton Basınç Dayanımı, MPa
$f_{uta}$	: Belirlenmiş Ankraj Nihai Dayanımı, MPa
$f_{ya}$	: Belirlenmiş Akma Dayanımı, MPa
GK	: Güvenlik Katsayısı
$h_{ef}$	: Etkin Gömülme Derinliği
K	: Ankraj Kenar Mesafesi
$k_c$	: Beton Çekip Koparma Dayanımı İle ilgili Temel Bir Katsayı
L	: Ankraj Gömülme Derinliği
n	: Ankraj Sayısı
$N_b$	: Esas Beton Koni Kapasitesi
$N_{cb}$	: Nominal Beton Koni Kapasitesi
$N_p$	: Sıyrılma Kapasitesi
$N_{sa}$	: Donatı Kapasitesi
S420a	: Sıcak Haddeleme İşlemi İle İmal edilen Donatı (Sünek)
TS	: Türk Standardı
$\Psi_{ed,N}$	: Ankrajın Çekme Dayanımı İçin Kenar Mesafesine Bağlı Bir Katsayı
$\Psi_{c,N}$	: Ankrajın Çekme Dayanımı İçin Betonda Çatlak Olup Olmamasına Bağlı Katsayı
$\Psi_{cp,N}$	: Sonradan Yerleştirilen Ankrajların Çekme Dayanımı İçin Katsayı

**ÇİZELGELER DİZİNİ**

	<b>Sayfa No</b>
<b>Çizelge 3.1:</b> ACI318 ankraj dayanım azaltma katsayıları .....	25
<b>Çizelge 3.2:</b> 12mm çaplı ankraj çubukları için ACI çekme kapasitesi değerleri .....	26
<b>Çizelge 3.3:</b> 16mm çaplı ankraj çubukları için ACI çekme kapasitesi değerleri .....	27
<b>Çizelge 3.4:</b> 20mm çaplı ankraj çubukları için ACI çekme kapasitesi değerleri .....	28
<b>Çizelge 3.5:</b> 24mm çaplı ankraj çubukları için ACI çekme kapasitesi değerleri .....	29
<b>Çizelge 4.1:</b> Çalışmanın parametreleri .....	30
<b>Çizelge 4.2:</b> Ağırlıkça beton karışım oranları .....	32
<b>Çizelge 4.3:</b> Beton basınç dayanımları (MPa) .....	32
<b>Çizelge 4.4:</b> S420a çubukların mekanik özellikleri .....	33
<b>Çizelge 5.1:</b> 12 mm çapa sahip ankraj çubukları için göçme modları .....	46
<b>Çizelge 5.2:</b> 16 mm çapa sahip ankraj çubukları için göçme modları .....	47
<b>Çizelge 5.3:</b> 20 mm çapa sahip ankraj çubukları için göçme modları .....	48
<b>Çizelge 5.4:</b> 24 mm çapa sahip ankraj çubukları için göçme modları .....	49

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa No</b>
<b>Şekil 3.1:</b>	Ankraj tipleri (ACI 318-2005) .....18
<b>Şekil 3.2:</b>	Ankraj göçme modları (ACI 318-2005) .....22
<b>Şekil 4.1:</b>	Ankrajın ekileceği temellerin hazırlanması ve beton dökümü .....31
<b>Şekil 4.2:</b>	Ankrajların ekileceği deliklerin açılması .....31
<b>Şekil 4.3:</b>	Deney düzeneğinin şematik gösterimi .....34
<b>Şekil 4.4:</b>	Deney düzeneği .....34
<b>Şekil 5.1:</b>	12 mm çap ve 6 cm gömme derinliği için yük-deplasman eğrileri .....35
<b>Şekil 5.2:</b>	12 mm çap ve 12 cm gömme derinliği için yük-deplasman eğrileri .....36
<b>Şekil 5.3:</b>	12 mm çap ve 18 cm gömme derinliği için yük-deplasman eğrileri .....37
<b>Şekil 5.4:</b>	12 mm çap ve 24 cm gömme derinliği için yük-deplasman eğrileri .....37
<b>Şekil 5.5:</b>	16 mm çap ve 8 cm gömme derinliği için yük-deplasman eğrileri .....38
<b>Şekil 5.6:</b>	16 mm çap ve 16 cm gömme derinliği için yük-deplasman eğrileri .....39
<b>Şekil 5.7:</b>	16 mm çap ve 24 cm gömme derinliği için yük-deplasman eğrileri .....39
<b>Şekil 5.8:</b>	16 mm çap ve 32 cm gömme derinliği için yük-deplasman eğrileri .....40
<b>Şekil 5.9:</b>	20 mm çap ve 10 cm gömme derinliği için yük-deplasman eğrileri .....41
<b>Şekil 5.10:</b>	20 mm çap ve 20 cm gömme derinliği için yük-deplasman eğrileri .....41
<b>Şekil 5.11:</b>	20 mm çap ve 30 cm gömme derinliği için yük-deplasman eğrileri .....42
<b>Şekil 5.12:</b>	20 mm çap ve 40 cm gömme derinliği için yük-deplasman eğrileri .....43
<b>Şekil 5.13:</b>	24 mm çap ve 12 cm gömme derinliği için yük-deplasman eğrileri .....43
<b>Şekil 5.14:</b>	24 mm çap ve 24 cm gömme derinliği için yük-deplasman eğrileri .....44
<b>Şekil 5.15:</b>	24 mm çap ve 36 cm gömme derinliği için yük-deplasman eğrileri .....45
<b>Şekil 5.16:</b>	24 mm çap ve 48 cm gömme derinliği için yük-deplasman eğrileri .....45
<b>Şekil 5.17:</b>	12 mm çapa sahip ankraj çubukları için çekme kuvveti değerleri .....50
<b>Şekil 5.18:</b>	16 mm çapa sahip ankraj çubukları için çekme kuvveti değerleri .....51
<b>Şekil 5.19:</b>	20 mm çapa sahip ankraj çubukları için çekme kuvveti değerleri .....51
<b>Şekil 5.20:</b>	24 mm çapa sahip ankraj çubukları için çekme kuvveti değerleri .....52
<b>Şekil 5.21:</b>	Ekme derinliği 5Φ olan numunelerde çekme kuvveti .....53
<b>Şekil 5.22:</b>	Ekme derinliği 10Φ olan numunelerde çekme kuvveti .....53
<b>Şekil 5.23:</b>	Ekme derinliği 15Φ olan numunelerde çekme kuvveti .....54
<b>Şekil 5.24:</b>	Ekme derinliği 20Φ olan numunelerde çekme kuvveti .....55

<b>Şekil 5.25:</b>	Kenar mesafesi $5\Phi$ olan numunelerde çekme kuvveti .....	55
<b>Şekil 5.26:</b>	Kenar mesafesi $7,5\Phi$ olan numunelerde çekme kuvveti .....	56
<b>Şekil 5.27:</b>	Kenar mesafesi $10\Phi$ olan numunelerde çekme kuvveti .....	57
<b>Şekil 5.28:</b>	Kenar mesafesi $15\Phi$ olan numunelerde çekme kuvveti .....	58
<b>Şekil 5.29:</b>	Kenar mesafesi $20\Phi$ olan numunelerde çekme kuvveti .....	58
<b>Şekil 5.30:</b>	Tüm çaplar için güvenlik katsayıları (kapasite) .....	60
<b>Şekil 5.31:</b>	Tüm çaplar için güvenlik katsayıları (tasarım) .....	60

## 1. GİRİŞ

Ülkemiz coğrafi konumu itibari ile aktif deprem kuşaklarından Alp-Himalaya deprem hattı üzerinde olması sebebiyle yapıların tasarımı ve analizleri esnasında deprem etkilerini ve davranışını göz önünde bulundurmaya kaçınılmaz kılınmıştır. Yapılar kullanım ömründe deprem etkisine en az bir kere maruz kalabileceği olgusu deprem etkilerinin göz ardı edilmemesi gereken bir yükleme durumudur. Deprem güvenliği yalnızca sağlanması gereken koşullardan biridir. Örneğin rüzgar yükü veya kar yükleri deprem yüküne nazaran bazı durumlarda daha olumsuz davranışlar oluşturmakta ve böylece daha önemli bir durum oluşturabilmektedir.

Türkiye de yapıların birçoğu yeterli güvenliğe ve emniyete sahip değildir. Yapılan araştırmalarda bu görüşü doğrular niteliktedir. Yapıların mevcut durumları yeterli güvenliğe sahip olmadığından, bir deprem sonrasında oluşacak felaketler açısından üzerinde durulması gereken önemli bir konudur. Yakın tarihimizde yaşadığımız afetlerden dolayı ülkemizde hız kazanan deneysel çalışmalar, yapılar hakkındaki standartları iyileştirmiş ve yeni şartnamelerin geliştirilmesini sağlamıştır. Bu çalışmalar sayesinde tam olarak bilinmeyen beton davranışlarında daha iyi verilere ulaşılmış ve malzeme biliminin de ilerlemesiyle daha güvenli yapılar yapılmaktadır.

Yeni yapılarda betonarme davranışının daha iyi anlaşılması başka taşıyıcı sistem fikirlerini de ortaya çıkarmıştır. Yeni sistemler eski tip yapılarda ki güvensiz durumların iyileştirilmesinde önemli bir rol oynamıştır. Sistemdeki iyileştirme gereklilikleri betonarmedeki donatı detaylarının da önemli olduğunu ortaya koymuştur.

Bu kadar değişime rağmen yapı sistemlerinde taşıyıcı elemanların fonksiyonları aynı kalmıştır. Örneğin; döşemeler yükleri kirişlere, kirişler ise yüklerini kolonlara (düşey yük aktarımı) ve yapıda sismik yüklemelerden dolayı oluşan yatay yükleri taşımakta, temeller ise kolonlardan gelen yükleri alarak güvenli bir şekilde zemine aktarmaktadır. Yük aktarım sistemlerinde zamana bağlı bir değişim söz konusu değildir. Ancak bu sistemde yer alan yük aktarım mekanizmasını oluşturan taşıyıcı elemanlar geliştirilmiş ve yeni taşıyıcı elemanlar sisteme dahil edilerek yapılar güvenli hale getirilmiştir.

Mevcuttaki yapıların onarım ve güçlendirilmesinde ayrıca yapılar da unutulmuş veya daha sonra planlanarak yapıya taşıyıcı elemanların eklenmesinde, fabrikaların makine kurulumları esnasında çoğunlukla kimyasal ankrajlar tercih edilmektedir.

Kimyasal ankrajlar hızlı ve kolay uygulanabilir olması ayrıca yüksek yapışma mukavemetlerine ulaşması ile tercih sebebi olmuştur. Yapıya sonradan ankre edilen kimyasal ankrajlar uygulama ve tasarım esnasından kullanıcıya büyük kolaylıklar sunmaktadır.

Yapıların deprem etkisini karşılayabilecek olarak tasarlanması ve malzeme seçiminde buna göre yapılması beklenmektedir. Ancak bunların eksikliğinden dolayı ya da zamana bağlı yapıların kullanım ömrünü tamamlaması veya tasarım ile yerinde uygulama arasında farklılıklar oluşması ve malzeme kalitesinde farklı uygulamalar oluşması ile güçlendirme zorunluğu doğmaktadır. Güçlendirilmesi planlanan bir yapıda deprem yüklerini karşılayacak dayanıma sahip taşıyıcı elemanlar eklenmesi (perde) veya mevcut kesitlerin büyütülmesi ( betonarme mantolama) ile yapı mevcut taşıyıcı sistemle çalışması ve güvenli bir şekilde yük aktarımının sağlanması uygulama sırasındaki ankrajlar sayesinde olmaktadır. Mevcuttaki taşıyıcı sisteme eleman eklenmesi ya da kesitin betonarme mantolama ile büyütülmesi esnasında eski betonun yeni betonla beraber çalışmasını sağlayabilmesi için yapısal ankrajların çeşitli yüklemeler de farklı türlerinin ve yapıda uygulama esnasında etkili kenar mesafesi ve derinliğine bağlı durumlarının bilinmesi tasarımcı için önem taşımaktadır.

Ankrajların çekme dayanımının belirlenmesi için ACI 318 Ek- D, farklı göçme şekillerinin dikkate alındığı bir yaklaşımı önermektedir. Diğer yandan, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007)'de ve TS500 (2000)'de ankrajların çekme tasarım dayanımlarının belirlenmesi konusunda herhangi bir hüküm verilmemiştir.

Bu çalışmada kenar mesafesinin, ankraj çapının ve ankraj derinliğinin eksenel çekme kuvvetine etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Ankraj çapı olarak 12, 16, 20 ve 24 mm çapa sahip nervürlü çubuklar, ekme derinliği olarak çapın 5, 10, 15 ve 20 katı, kenar mesafesi olarak ta çapın 5, 7.5, 10, 15 ve 20 katı olacak şekilde tasarlanmış ve eksenel çekme deneyine tabi tutulmuştur. Yapılan 80 adet eksenel çekme deneyinin yük – deplasman eğrileri ve göçme modları belirlenmiştir. Çapın, ekme derinliğinin ve kenar mesafesinin ankraj çekme dayanımına etkisi incelenmiş ve ACI 318 Ek-D'nin öngördüğü kapasite ve tasarım değerlerine göre güvenlik katsayıları belirlenmiştir.

## 2. KONUYLA İLGİLİ DAHA ÖNCE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

Ankrajlar için ilk tasarım standardı 1970 ortalarında çıkmıştır. ACI 349 ve PCI Design Handbook bu yayını referans göstermelerine rağmen, bu iki yayın yalnız yerinde döküm başlıklı ankrajların tasarım metotlarını önermiştir. Daha sonra yerleştirilen ankraj sistemlerini kapsamaz. ACI 318 Appendix D, yerinde dökme ve sonradan yerleştirilen mekanik ankrajların her ikisini de kapsamaktadır. Kimyasal ve harçlı ankrajları içermez. Yeni araştırmalar kimyasal ankrajlar için tasarım şartnamelerinin gelişmesine katkıda bulunmuştur (Zamora, et al., 2003). AC308 (2009) betona sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajlar için kriterleri vermektedir.

Peier (1983), ankrajların çekme dayanımı için bir model üzerinde çalışmıştır. Tekil ankrajların statik davranışını matematik model aracılığıyla araştırmıştır. Bu çalışmada genişler ve kimyasal ankrajları göz önünde bulundurmuş, C25 ve C50 beton sınıflarında çalışmıştır. Hesaplanan yük taşıma kapasitelerini deneysel verilerle karşılaştırmıştır. Çalışmanın sonucunda analitik sonuçların deneysel sonuçlar ile uyumlu olduğunu görmüştür. Beton göçme modeline dayandırılan bağ modelinin plastik modelin tersine tekil ankrajların statik davranışını daha iyi tanımladığını ifade etmiştir.

Cook, vd., (1992), taze betona ve güçlendirme betonuna yapılan ankrajların yük-deplasman davranışını incelemişlerdir. Çalışmada taze betona ve güçlendirme betonuna yapılan tekil ankrajların statik, yorulma ve darbe çekme yükleri altındaki davranışlarını ve dizaynını araştırmışlardır. Kimyasal (epoksi, poliester ve vinilester), harçlı, genişler ve öngermeli ankraj tiplerinde çalışmışlardır. Çalışma 24 ürünün 178 testini içerir. Kullanılan çap 16 mm, beton basınç dayanımı da 34.5 MPa'dır.

Cook, (1993), kimyasal ankrajların davranışları üzerine bir çalışma yapmıştır. Çalışma bağlı ankrajların çekme dayanımını belirlemek için oransal tasarım önerileri sunar. Tasarım önerileri dayanım testlerinde gözlenen her türlü göçme modları için (beton koni göçmesi, bağ göçmesi ve koni-bağ göçme modları kombinasyonu) için değerlendirmeyi kapsar. Dizayn önerileri Teksas Üniversitesi'nde 113 test, Florida Üniversitesi'nde 167 test olmak üzere toplam 280 test sonuçları ile kurulmuştur. Farklı yapıştırma kimyasalları, farklı dayanım ve rijitlik özelliklerine bağlıdır. Ürünlerin temel yapışma özelliklerini belirlemek için test edilmeleri gerektiğini ifade etmiştir. Sunulan dizayn önerilerini test sonuçları ve gözlenen göçme modlarının bağdaşması ile oransal analize dayandırmıştır.

Cook v.d., (1993), yaptıkları çalışma, 16 mm çaplı dişli ankraj kullanarak 6 farklı yapıstırıcı ürünün 97 adet çekme testini kapsar. Ankrajlar; tamamı bağlı tekil ankrajlar, kısmi bağlı tekil ankrajlar ve tamamı bağlı ankraj çiftleri şeklinde tasarlanmıştır. Elastik formülasyonu temel alan bir davranış modeli geliştirilmiştir. Tekil ve çoklu kimyasal bağlı ankrajlar için tasarım tavsiyeleri sunmuşlardır. Kullanılan betonun dayanımı 24.8 MPa'dır. Tamamı bağlı ankrajların sık kullanımının etkisinin çok olmadığını gözlemlemişlerdir. Test edilen bir çift ankrajın, aralarında boşluk gömülü boyun yarısı olmak üzere elde edilen taşıyabildiği nihai yükler, ayrı iki tek ankraj yükünün %94 ü kadardır. Kimyasal ankrajlar, gömülü oldukları boy kadar boşluk bırakarak kullanıldığında, tek ankrajın mukavemetine erişebildiğini bildirmişlerdir.

Fuchs, vd., (1995), yaptıkları çalışmada sertleşmiş betona sonradan yerleştirilen çelik ankrajlar veya taze betona yerleştirilen başlıklı vida veya civatalar için beton kapasitesi dizayn yaklaşımı olarak adlandırılan kullanışlı, anlaşılır bir model sunmuşlar ve bu yaklaşımı ACI 349-85 ile karşılaştırmışlardır. Çalışmada kullanılan değişkenler tekil ankrajların kenar mesafesi, ankraj grupları, çekme yüklemesi ve kesme yüklemesidir. Veri tabanı Avrupa ve Amerika'da test edilen yaklaşık 1200 testi içerir. Karşılaştırma sonucunda CCD metodunun incelenen uygulamaların tamamında bağlayıcıların beton göçme yükünün tam olarak tahmini için iyi bir metot olduğunu belirtmişlerdir. ACI 349'daki tahminlerin bazen tutucu bazen de tutucu olmadığını ifade etmişlerdir. CCD metodunun dizayn için daha kullanışlı olduğunu gözlemlemişlerdir. Yazarlar, birçok ankraj uygulaması için ACI 349'un kullanımının uygun olmadığını ifade etmişlerdir.

Darwin ve Zavaregh (1996), harçlı güçlendirme çubuklarının bağ dayanımı üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada; delik hazırlama metodu, harç tipi, delik çapı, çubuk boyutu, gömme derinliği, çubuk yüzey durumu (epoksili veya epoksisiz), çubukların yerleştirme düzeni ve beton dayanımının harçlı güçlendirme çubuklarının bağ dayanımı üzerine etkilerini tanımlamışlardır. Kullanılan delik çapları  $\Phi 16$  lık çubuklar için 19-38 mm aralığındadır.  $\Phi 25$  lik çubuklar için ise 32 mm dir. Gömme derinlikleri ise;  $\Phi 16$  lık çubuklar için 102-305 mm,  $\Phi 25$  lik çubuklar için 150-380 mm dir. Çubuklar düşey, eğimli ve yatay olarak yerleştirilmiştir. Bağ dayanımının gömme derinliği ve çubuk boyutu ile arttığını gözlemlemişlerdir. Düşey ve yatay ankrajlı çubukların kullanılan harca bağlı olarak farklı bağ dayanımı sergileyebileceğini ifade

etmişlerdir. Test edilen harçlar için bağ dayanımının yaklaşık olarak beton basınç dayanımının kare kökü ile arttığını gözlemlemişlerdir.

McVay, vd., (1996) kimyasal bağlı ankrajların sayısal ve deneysel çalışmalarını yapmışlardır. Deneysel çalışma,  $\Phi 16$  vidalı çubuk ve epoksi amin esaslı bağlayıcı kullanılarak 4 farklı derinlikte (76, 102, 127 ve 152 mm) serbest çekme testini içerir. Kullanılan betonların basınç dayanımları 39 ile 43.4 MPa aralığındadır. Sayısal çalışma; beton çökme konisinin beton-yapıştırıcı bağ yüzeyinde başladığını ve olası göçme alanlarının aralıklarıyla bölgesel göçme olarak yüzeye doğru yayıldığını göstermiştir. Test edilen derinliklerin her biri için gözlenen göçme konilerinin sayısal tahminlerle oldukça uyumlu olduğunu görmüşlerdir. Kimyasal bağlı ankrajlar için beton-yapıştırıcı bağ arayüzey dayanımı direk kesme testinden yeterli derecede tahmin edilemeyeceğini ve göçme derinliği arttığında beton-yapıştırıcı bağ arayüzündeki kesme gerilmesinin daha çok üniform hale geleceğini ifade etmişlerdir.

Primavera, vd., (1997), taze betona ekilen ve öngermeli ankrajların yüksek dayanımlı betondaki çekme davranışını incelemişlerdir. Beton basınç dayanımı 51.7 MPa ve 82.7 MPa olan yüksek dayanımlı betonlarda önceden ekilen ve sonradan ekilen öngermeli ankrajlar için yük-deformasyon davranışı, göçme koni geometrisi ve çekme kapasitesi üzerine çalışmalar yapmışlardır. Taze betona ekilen ankrajlarda kullanılan göçme derinlikleri 102 mm, 152 mm ve 203 mm'dir. Sonradan ekilen öngermeli ankrajlar da ise 203 mm derinlikte çalışmışlardır. 152 ve 203 mm derinlikte önceden ve sonradan yerleştirilen ankrajlar için beton çekme kapasitesinin yüksek beton basınç dayanımıyla arttığı yönünde bir eğilim vardır. 102 mm önceden taze betona ekilen ankrajlar için çekme kapasitesinin yüksek basınç dayanımlı betonlarda artmadığını gözlemlemişlerdir. Yüzeysel açılı koni göçmelerini ( $21^{\circ}$ - $28^{\circ}$ ), 203 mm göçme derinliklerinde bile test edilen tüm ankrajlar için elde etmişlerdir. Buldukları sonuçların  $45^{\circ}$  koni modeliyle çeliştiğini görmüşlerdir.

Cook, vd., (1998), yaptıkları çalışmada çatlamamış betonda çekme yüklemesine maruz tekil kimyasal ankrajların dizaynı için kullanışlı bir model önermişlerdir. Beton serbest kenarından uzağa yerleştirilen tekil kimyasal ankrajlar için değişik tasarım modellerini dünya çapındaki veritabanı ile karşılaştırmışlardır. Yazarlar üniform bağ modelinin kullanışlı olduğunu ifade etmişlerdir. Önerdikleri dizayn modelinin ankraj

grupları için genişletilmesini ve kenar mesafe etkisini de içermesi gerektiğini bildirmişlerdir.

Obata, vd., (1998), serbest kenara yakın bağ tipi ankrajların çekme dayanımı ve göçme mekanizması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada sonradan yerleştirilen ankraj tipi olan bağ tipi ankrajlar kullanmışlardır. Kullanılan beton basınç dayanımı 24.6 – 28.9 MPa' dır. Kullanılan ankraj civatasının çapı 35 mm dir. Serbest kenar etkisindeki bağ tipi ankrajların davranışını hem analitik hem de deneysel olarak incelemişlerdir. Koni göçme dayanımını tahmin etmek için yeni bir metot önermişlerdir. Gerilme konisinin dayanımını hesaplamak için iki farklı varsayım kullanmışlardır. Biri ACI 349-85 (1985)'e göre beton göçme yüzeyinde üniform gerilme dağılımı ve diğeri de kritik yükteki kararsız çatlak büyümesidir. Doğrusal göçme mekanizmasının derinliğin 1.5 katı ile orantılı olduğunu göstermişlerdir.

Higgins, vd., (1998), taze betona yerleştirilen ve sonradan yerleştirilen güçlendirme ankrajlarının (genişler, öngermeli ve kimyasal) çevresel etkilere maruz kalmasındaki performanslarını incelemişlerdir. Çalışma kapsamında 5 farklı çevresel koşullarda simülasyon yapmışlardır. Çevresel etkiler; ultraviyole ışık, donma ve çözülme, doğal tuz solüsyonunda korozyon, asit yağmurlarında ıslatma ve kurutma, durumların kombinasyonu olacak şekilde 5 farklı çevresel koşullar altında deneysel çalışılmıştır. Çevresel faktörlerin etkisini belirlemek için çekme yükü deplasman davranışını, çevresel etkilere maruz bırakılmamış ankrajlarla karşılaştırmışlardır. Yaptıkları çalışmanın sonucunda ultraviyole ışığın çalışmalarını etkilemediğini görmüşlerdir. Diğer elde ettikleri sonuçlar şöyledir: Donma ve çözülme betona zarar verebilir, bundan dolayı genişler ankrajların davranışını etkiler. Asit yağmurlarında ıslatma ve kurutma etkisi kimyasal ankrajların davranışını önemli oranda etkilemez. Etkilerin kombinasyonu bazı genişler ankrajların rijitliğini azaltır. Etkilerin kombinasyonu taze betona yerleştirilmiş ankrajların davranışını etkilemez.

Gross, vd., (2001), kenara yakın tekil ve çift ankrajların statik ve dinamik davranışı (150 test) üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışma kapsamında kullanılan beton basınç dayanımı 32.4 MPa'dır. Tekil ankrajların kenar mesafesi 100 mm, çift ankrajların kenar mesafeleri 100 ve 300 mm, ankrajlar arası mesafe ise 200 mm'dir. Çatlak betondaki kapasitenin çatlamamış beton durumları ile karşılaştırıldığında %18 daha düşük olduğunu gözlemlemişlerdir.

Cook ve Konz (2001), kimyasal ankrajların bağ dayanımına etki eden çeşitli faktörleri araştırmak için kapsamlı bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışma farklı 12 üreticiden 20 farklı ürünün toplamda 765 testini içerir. Temizlenmiş, kuru deliklere yerleştirilen ankrajların oda sıcaklığındaki performansları referans bağ dayanımı olarak alınmıştır. Kullanılan 20 farklı ürünün 14'ü epoksi, 6'sı ester esaslıdır. İki farklı kalitede beton (17.2 MPa ve 37.9 MPa) kullanmışlardır. Sıcaklık etkisinin ankraj dayanımında oluşturduğu değişikliği incelemek için oda sıcaklığı ve 43°C olmak üzere iki farklı sıcaklıkta ankraj çekme deneyleri yapmışlardır. 20 farklı ürünün referans bağ dayanımlarının ortalaması 15.4 MPa olarak bulunmuştur. Epoksi esaslı ürünlerin ortalama dayanımları 18.4 MPa, ester esaslı ürünlerin ise 8.3 MPa'dır. Sonuçlar derlendiğinde nemli yüzeylere yapılan ankrajlarda oluşan yapışma dayanımı, kuru ve temiz yüzeylerde bulunan referans bağ dayanımlarının ortalama %77'si ve ıslak yüzeylerde oluşan bağ dayanımı ise referans dayanımın ortalama %43'ü kadar olmuştur. Tozlu yüzeylerde kimyasal yapıştırıcı-beton arayüzünde yapışmanın sürekli oluşmaması bağ kuvvetini azaltmıştır. Tozlu deliklere yapılan ankrajlarda bağ dayanımı referans bağ dayanımının %71'i kadar olmuştur. Kısa kür süresinde (24 saat) ankrajların bağ dayanımlarının ortalama %88'ini kazandığı görülmüştür. Beton dayanımındaki artışın bağ dayanımları üzerindeki etkisi çok olmasa da ufak artışlar sağlamıştır.

Özkul, vd., (2001) yaptıkları çalışmada, sertleşmiş betona bağlayıcı bir madde ile 3 farklı nervürlü çelik donatıyı (14, 18 ve 22 mm) ankraj elemanı olarak seçmişler ve 3 ayrı dayanımdaki betona ekmişlerdir (C14, C20 ve C25). Bağlayıcı olarak ta iki farklı epoksi reçinesi ile bir döküm harcı (grout) kullanmışlardır. Denenen 3 ayrı bağlayıcı sistemi içinde bir donatı tarafından taşınabilen yükün en büyük değerini döküm harcı ile ekilen sistemde elde edildiğini gözlemlemişlerdir. Ancak döküm harcı kullanıldığında, daha geniş ve derin delik açılması ve dolayısı ile bu delikleri doldurabilmek için daha fazla miktarda bağlayıcı gerekecektir. Kullanılan bağlayıcılar arasında ekonomik açıdan analiz yapılarak çözüm bulunmalıdır. Çapa göre karşılaştırma yaptıklarında, en büyük aderans gerilmesinin 14 mm'lik donatılarda oluştuğu, 22 mm çaplı donatıların bunu izlediğini ve en küçük aderans gerilmesinin 18 mm'lik donatılarda oluştuğunu gözlemlemişlerdir.

Fujikake, vd., (2003), çekme yüküne maruz kalmış kimyasal bağlı ankrajlar üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, hızlı çekme yüküne maruz kimyasal

ankrajların nihai çekme direnci üzerine yüklemenin etkileri araştırılmıştır. Kullanılan betonun silindir basınç dayanımı ortalama 32 MPa'dır. Denenen gömme derinlikleri 40, 65, 70, 90 ve 120 mm dir. Yapılan çalışmanın sonucunda nihai koni direnci ve nihai bağ dayanımının yüklenme oranı artışı ile arttığını gözlemlemişlerdir. Dinamik koni dayanımı ve dinamik bağ dayanımını tahmin etmek için ampirik denklemler önermişlerdir. Yazarlar, statik yüklenme altındaki kimyasal ankrajların davranışının fazlasıyla bağlayıcı katkı malzemesine bağlı olduğunu bildirmişler ve bunun dinamik yüklenme altındaki kimyasal ankrajlar için de geçerli olabileceğini ifade etmişlerdir. Bundan dolayı kimyasal ankrajların nihai dinamik çekme direncini tahmin etmek için makul bir dizayn modeli geliştirmek için dinamik çekme yüklemesi altında bağlayıcı katkı maddelerinin farklı tiplerinin etkilerini incelemek için araştırmalar yapılmalıdır tavsiyesinde bulunmuşlardır.

Zamora, vd., (2003), tekil, başlıklı ve başlıksız harçlı ankrajların çekme yükü altında dizaynı ve davranışı üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmanın amacı harçlı ankraj tipleri için makul bir dizayn geliştirmek ve çekme yüklerindeki davranışlarını belirlemektir. Çalışmada 3 polimer harcı ve 6 çimento harcı kullanılarak yerleştirilen başlıklı başlıksız ankrajlarda 237 adet çekme testini kapsar. Kullanılan betonun basınç dayanımı 30 ile 64 MPa aralığında, çaplar ise 15.9-19.1 ve 25.4 mm'dir. Efektif gömme derinliği de 76 ile 178 mm aralığında değişmektedir. Başlıksız harçlı ankrajlarının davranışının kimyasal ankrajlara, başlıklı harçlı ankrajlarında yerinde dökülmüş başlıklı ankrajlara benzediğini gözlemlemişlerdir. Bazı ürünler için harç-beton arayüzünde bağ göçmesinin olası olduğunu ve göz önünde bulundurulması gerektiğini ifade etmişlerdir.

Shirvani, vd., (2004), betondaki ankrajların çekme kapasitesini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada, çatlamış ve çatlamamış betondaki statik ve dinamik yüklenme altındaki çekme ankrajlarının beton koparma kapasitelerinin tahmini için 3 farklı prosedürü değerlendirmişlerdir. Beton kopmasıyla göçen çekme ankrajlarının gözlenen kapasiteleri 3 metodun tahminleri ile karşılaştırılmıştır: 45° koni metodu, beton kapasitesi (CC) metodu ve değişik varyasyonları, teorik metot. Yapılan çalışmanın sonucunda, çekme kapasitesinin tahmininde beton kapasitesi metodu ve teorik metodun 45° koni metoduna göre daha gerçeğe yakın sonuçlar verdiğini bulmuşlardır.

Özturan, vd., (2004), betona sonradan yerleştirilen ankrajların statik çekme, tekrarlı çekme ve statik kesme yüklemesi altındaki yük-deplasman davranışları ile yük taşıma kapasitelerini ve göçme modlarını incelemek için yalın ve lif katkılı normal ve yüksek dayanımlı beton bloklar üzerine yerleştirilen kimyasal, harçlı ve genişleyen tip mekanik ankrajlar üzerinde toplam 130 adet deney yapmışlardır. Çalışmanın sonucunda ASTM E 488'de ankrajlar arası uzaklık ve kenar uzaklıkları için verilen alt sınır değerleri derin ankrajlar için yeterli olsa da, sığ ve orta derinlikteki ankrajlar için yetersiz bulmuşlardır. Beton basınç dayanımının artışıyla kimyasal ve harçlı ankrajların statik çekme yükleri altındaki taşıma kapasitelerinin yaklaşık %30 oranında arttığını, genişleyen tip mekanik ankrajlarda ise artışın %20 civarında olduğunu gözlemlemişlerdir. Statik çekme yükleri altındaki sığ kimyasal ankrajlarda ekme boyunun artmasıyla ankraj çekme yükleri doğrusal olarak artarken, derin ankrajların göçme yüklerinde daha az oranda artış görülmüştür. Normal ve yüksek dayanımlı yalın betonlara 6 ve 8 cm boylarda ekilen kimyasal ankrajlarda ankraj çapının artmasıyla statik çekme yüklemesinde ankraj taşıma kapasitesi artmaktadır. Ankraj çapındaki artışla statik çekme altındaki ankraj rijitliğinin de arttığını gözlemlemişlerdir.

Ashour ve Alqedra (2005), yapay sinir ağları kullanılarak çekme etkisindeki tekil ankrajların beton koparma kapasitesini incelemişlerdir. Önceden taze betona ve sonradan sertleşmiş betona yerleştirilen mekanik ankrajların çekmede beton koparma kapasitesini değerlendirmek için ileri beslemeli yapay sinir ağı modeli sunmuşlardır. Yapay sinir ağı modeli önceki laboratuvar ankraj testlerinden elde edilen 451 deneysel test veritabanına dayandırılarak eğitilmiş ve test edilmiştir. Eğitilen yapay sinir ağı testlerinin çekmeden önceden taze betona yerleştirilen ve sonradan yerleştirilen mekanik ankrajlar için iyi tahminler verdiğini gözlemlemişlerdir. Yapılan çalışmanın sonucunda, ankraj çapının ankrajların beton koparma dayanımı üzerine etkisinin göz ardı edilebileceğini, önceden ve sonradan yerleştirilen tekil mekanik ankrajlar için beton koparma kapasitesinin, efektif gömme derinliğinin yaklaşık 1.5 katı olduğunu bildirmişlerdir. Eğitilen yapay sinir ağı modelinden elde edilen tahminlerinde ACI 318-02 Appendix D'de verilen formulasyon ile uyumlu olduğunu gözlemlemişlerdir.

Sakla ve Ashour (2005), yapay sinir ağlarını kullanarak tekil kimyasal ankrajların çekme kapasitelerinin tahmini için bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada kullanılan beton sınıfı C10-C60 aralığındadır. Gömme derinliği de 20 ile 300 mm

arasında değişmektedir. Yaptıkları çalışmanın sonucunda, kimyasal ankrajların çekme kapasitesinin ankraj çapı ve gömme derinliği ile doğrusal orantılı olduğunu gözlemlemişlerdir. Kimyasal ankrajların çekme kapasitesi üzerine beton basınç dayanımının etkisinin neredeyse doğrusal olduğunu ve kimyasal reçine tipine bağlı olduğunu bildirmişlerdir. Kimyasal ankrajların çekme kapasitesinde farklı parametrelerin etkisini kestirmek için üniform bağ modelinin en uygun yöntem olduğunu ifade etmişlerdir. Yaptıkları çalışmanın sonucunda kimyasal ankrajların çekme kapasitesinin tahmini için yapay sinir ağlarının kullanışlı bir teknik olduğunu gözlemlemişlerdir.

Gesoglu, vd., (2005), sonradan yerleştirilmiş ankrajların çelik liflerle güçlendirilmiş normal ve yüksek betonlardaki çekme davranışı üzerine bir çalışma yapmışlardır. Kimyasal ankrajlarda kullandıkları çaplar  $\Phi 12$  ve  $\Phi 16$ 'dır. Gömme derinliği de 40 ila 160 mm aralığında 39 testi içerir. Harçlı ankrajlarda ise  $\Phi 16$  lık çap kullanılmış, 80, 120 ve 160 mm gömme derinliğine ekilmiş 18 adet testi kapsar. Yaptıkları çalışmanın sonucunda ankrajların nihai kapasitesinin beton basınç dayanımı artışıyla genelde arttığını gözlemlemişlerdir. Çelik lifle güçlendirilmiş betonlarda maksimum yükteki deplasmanların genelde yüksek olduğunu ifade etmişlerdir. Ankraj tipi, temel olarak göçme moduna bağlı olan nihai kapasite üzerinde etkilidir. Küçük gömme derinliklerinde  $\Phi 12$  ve  $\Phi 16$  çaplı kimyasal ve harçlı ankrajlar için ACI 349-85 metodunun ankraj kapasitesinde CCD metottan daha iyi olduğunu bildirmişlerdir. Çekme kapasitesinin beton basınç dayanımının artışıyla arttığını, kullandıkları beton dayanımında çelik liflerin kullanılması ile azaldığını gözlemlemişlerdir.

Seyhan (2006), yaptığı tez çalışmasında Türkiye'de mevcut yapıları temsil etmek üzere seçilen düşük dayanımlı bir beton içerisine 5 farklı kimyasal yapıştırıcı kullanarak, ankraj çapının, ankraj derinliğinin, donatı çapının ve ankraj deliklerinin hazırlanma yöntemlerinin değişken olarak incelendiği kimyasal ankrajlara yönelik bir dizi deney yapmıştır. Çalışmada ankrajların ekildiği beton plakların karakteristik basınç dayanımı 16 MPa,  $\Phi 16$  ve  $\Phi 20$  donatı çaplarında, 6 $\Phi$ , 8 $\Phi$ , 10 $\Phi$  ve 12 $\Phi$  derinliklerde,  $\Phi+6$  mm ve  $\Phi+8$  mm ankraj deliği çaplarında ve tam temizlenmiş, eksik temizlenmiş ve suya doygun-nemli yüzey hazırlık aşamalarından geçmiş 80 adet ankraj imalatı yapılmış ve eksenel çekme yükleri altındaki davranışları incelenmiştir. Bu çalışmada; ankraj deliği çapının arttırılması derin ankrajlarda (derinlik $>10\Phi$ ) ankraj davranışı üzerinde

sınırlı bir etki gösterdiği, ankraj derinliğinin artmasının ankraj dayanımını arttırdığı, ankraj imalatında kullanılan yapıştırıcı malzemenin ankraj davranışını doğrudan etkileyen en önemli etkenlerden biri olduğu sonucuna varılmıştır. Malzemenin fiziksel ve kimyasal özellikleri ankraj dayanımını ve göçme tipini belirleyen önemli etkilendir.

Eligehausen, vd., (2006), kimyasal bağlı ankrajların dizaynını içeren bir davranış modeli kurmak için kapsamlı nümerik ve deneysel bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada, davranış modelini kimyasal ankraj gruplarının 415 testini ve serbest kenara yerleştirilen kimyasal ankrajların 133 testini içeren dünya çapındaki veritabanı ile karşılaştırmışlardır. Ankraj gruplarında 16 MPa, kenara yakın tekil ankrajlarda ise 21.8 MPa basınç dayanımındaki betonlarda deneyler yapmışlardır. Kullanılan ankraj çapı 8 ile 24 mm aralığındadır. Karşılaştırma sonucunda davranış modelinin grupların deneysel sonuçları ile uyumlu olduğunu gözlemlemişlerdir. 415 test için %15.4 lük varyasyon katsayısı ile test/tahmin ortalama değerini 0.99 bulmuşlardır. Kimyasal ankrajların kritik aralık ve kritik kenar mesafesinin ankraj gömme derinliğine değil, ankraj çapına ve bağ dayanımına bağlı olduğunu ifade etmişlerdir. Kenara yakın tekil ankrajların 133 testi ile karşılaştırıldığında da önerilen davranış modelinin tutucu olduğunu gözlemlemişlerdir.

Gürbüz, vd., (2007), farklı dayanımlarda iki tip beton blok içerisine, iki farklı tipte kimyasal yapıştırıcı kullanılarak, ankre edilen donatı çubukları üzerinde, ankraj derinliğinin (6Φ, 8Φ, 10Φ ve 12Φ) ve donatı çapının (16Φ ve 20Φ) değişken olarak incelendiği 24 adet çekip çıkarma deneyleri yapmışlardır. Her iki kimyasal malzemede de aksenal çekme kapasitelerinde, artan derinlikle birlikte doğrusala yakın olarak artma görmüşlerdir. Eşdeğer düzgün yayılı yapışma dayanımlarında, artan derinlik ile önemli bir değişiklik görülmemiş, yapışma dayanımlarının genel olarak M1 kimyasal yapıştırıcı kullanılan ankrajlarda 9-10 MPa, M2 kimyasal yapıştırıcı kullanılan ankrajlarda ise 4-5 MPa düzeylerinde olduğu görülmüştür. Buradan ankraj uygulamalarında kullanılan kimyasal yapıştırıcıların ankraj performansında çok etkili olabileceği sonucuna varmışlardır.

Gürbüz (2007), yaptığı tez çalışmasında, tam ve kısmi bağlı kimyasal ankrajların farklı ankraj derinlikleri (6Φ, 8Φ, 10Φ ve 12Φ) ve farklı ankraj delik yüzey koşulları altında (iyi temizlenmiş, tozu atılmış, tozlu, nemli ve ıslak) 85 adet ankraj numunesinin çekip çıkarma deneyleri yapılmış, yük-yerdeğiştirme ilişkileri, aksenal yük kapasiteleri

ve göçme modları tespit edilmiştir. Kısmi bağlı ankrajlar ile tam bağlı ankrajların göçme tiplerinin birbirinden farklı olduğu gözlenmiştir. Kısmi bağlı ankraj numunelerinin tümünde sıyrılma ile göçme gerçekleşmiştir. Tam bağlı ankraj numunelerinin tümünde eksenel çekme deneylerinde göçme donatı akma gerilmesine ulaşmadan gerçekleşmiştir.

Kaya (2007), yaptığı tez çalışmasında onarım ve güçlendirme uygulamalarında sıkça kullanılan kimyasal ankrajların; değişik yüzey temizliği ve yüzey tozluluğu durumları için eksenel çekme ve statik yükleme altında davranışlarını incelemiştir. Bütün ankraj donatıları  $\Phi 16$  nervürlü donatıdır. Temiz, tozu atılmış ve temizlenmemiş yüzeylere ankraj ekilmiştir. Çalışma sonucunda düzgün yayılı kabul edilen yapışma dayanımı tüm bağlı numunelerde 9 MPa dolayında bulunmuştur. Kısmi bağlı olarak tasarlanan ankraj numunelerinin sıyrılma ile göçtüğü görülmüştür. Kısmi bağlı ankrajların aynı bağlı derinlikte; tam bağlı ankrajlara oranla çok yüksek göçme dayanımlara ulaştığını gözlemlemiştir. Aynı tasarım yükleri için tam bağlı yerine kısmi bağlı üretilecek ankrajlar, ankraj yapısının en pahalı elemanı olan kimyasal yapıştırıcının sarfiyatında önemli tasarruf sağlayacaktır. Ancak kısmi bağlı ankrajların, yapı kimyasalı ile ankre edilmemiş serbest derinlikleri boyunca korozyon ve çevresel etkilere karşı özel önlemler alınması gerektiğini belirtmiştir. Deney programı sırasında gerçekleştirilen ancak beton kesitin yarılması dolayısıyla yapışma dayanımını kaybetmeden göçen numunelerin derinlikleri ve içlerine ankre edildikleri beton plağın kalınlığı değerlendirilerek, ankraj derinliğinin, plak kalınlığının %75'inden daha derin olmasının sakıncalı olduğu sonucuna varmıştır.

Betona yapılan bağ tipi ankrajlarda epoksi, vinilester, polyester ve metilmetakrilat yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Çolak (2007), yaptığı çalışmada bağlayıcı olarak metilmetakrilat (MMA) kullanarak ekilen ankrajların nihai çekme yüklerinin tahmini için alternatif bir metot önermektedir. Genelde kimyasal bağlı çelik çubukların deneysel olarak gözlenen pek çok karakteristiği belirlemede elastik model kullanılmaktadır. Bu teori epoksi bağlayıcılara uygulandığında oldukça yakın sonuçlar verirken MMA bağlayıcılarla elde edilen veriler ile uyumlu olmadığını ifade etmiştir. Bu durumda elastik modelin test verisi ile uyumlu olması amacıyla analizin c gibi boyutsuz bir parametre ile modifiye edilmesi gerektiğini belirtmiştir. Model sonucu ampirik olarak üretilen c parametresinin MMA kullanılarak gerçekleştirilen deneysel

verilerle uyumlu olduğunu göstermiştir. Bu parametrenin olmaması durumunda nihai çekme yükünün 3 ila 5 kat daha düşük tahmin edildiğini belirtmiştir.

Demir vd. (2009) yaptıkları çalışmada epoksi türünün ankraj performansına etkisini araştırmışlar. Ankraj malzemesi olarak uygulamada BÇI sınıfı donatı seçilmiştir. Donatıların betona eklenmesinde reçine bazlı iki farklı firmanın ürettiği epoksi kullanılarak numuneler üretilmiştir. Numunelere çekip-çıkarma testi uygulanmış, ankraj delik çapı ve ankraj gömme derinliğinin test sonuçlarına etkisi araştırılmıştır. Test sonuçlarına göre; delik çapının donatı çapına yakınlığının sıyrılma direncini artırdığı görülmüştür. Ankrajların gömme derinliğinin sıyrılma direncine etkisinin olmadığı saptanmıştır. Farklı firmaların ürettiği aynı türde epoksilerin birbirlerinden farklı sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Yılmaz vd., (2010), yapıları çalışmada kimyasal ankrajlarla ilgili bağlayıcı cinsi, ankraj deliğinin temizliği vb. parametreler altında performan değerlendirmesi yapmışlardır. Sonuç olarak ankraj dayanımını etkileyen faktörlerden bağlayıcı cinsi ve ankraj deliğinin temizlik durumunun diğerlerine göre daha baskın olduğu görülmüştür. Ekme boyunun ve beton sınıfının belli bir değere kadar etkili olduğu daha sonrasında ise dayanıma etkisinin sınırlı kaldığı gözlenmiştir.

Özen (2010), yaptığı tez çalışmasında düşük ve normal dayanımlı betonlara ekilen kimyasal (epoksi) ankrajların çekme dayanımlarını araştırmak üzere 337 adet ankraj numunesinin çekme deneylerini yapmıştır. Bu deneylerde 5 - 25 MPa beton basınç dayanımına sahip taban betonarme elemanlarına S420a ve S420b donatı çubukları ekilmiş ve çekme testine tabi tutulmuştur. Çalışmanın sonunda özellikle kenara yakın ekilen ankrajlarda donatının akma ve/veya çekme dayanımlarına ulaşmadan gevrek beton hasarları gözlenmiştir. Bunun sonucunda hem dayanım hem de ciddi bir süneklik kaybı görülmüştür. Sağlıklı bir kimyasal ankraj uygulaması için kenar mesafesinin donatı çapının en az 15 katı olması gerektiğini belirtmiştir. Yapılan deneyler sonucunda kenara yakın ankrajlarda donatı hasarı öncesinde beton hasarı görülme olasılığının arttığı görülmüştür. ACI 318 ankraj nominal kapasitesinin %95 güvenli olarak belirlenmesini esas alan bir yaklaşıma sahip olduğunu ancak yapılan deneylerde S420a deney elemanlarının %82'sinde ACI 318 nominal dayanımın aşılabildiğini S420b ankrajlarda ise bu oranın %37'ye düştüğünü gözlemlemiştir. S420a çeliğinden imal edilen kimyasal ankrajların çekme dayanımlarının tahmini ve tasarımı

için ACI 318 yönteminin daha büyük dayanım azaltma katsayıları ile kullanılabilceği belirtmiş ve S420b donatı ile yapılan ankrajlar için ise ACI 318 yönteminin uygun olmadığını ifade etmiştir.

Pinoteau vd., (2011), yangın etkisinin kimyasal ankrajlara etkilerini araştırmışlardır. 16 cm çaplı 25 cm yükseklikli, 20-24 MPa dayanımlı silindir numunelere 12 mm lik inşaat çeliğini polimer bazlı yapıştırıcılar ile 12 cm derinliğe ankre etmişler, bunlar 4-60 kN arasında yükler altında iken sıcaklığı 750 °C ye kadar çıkarmışlardır. Bu ısıyı da elektrikli fırın ya da yüksek sıcaklıklı gazlar kullanarak sağlamışlardır. Elektrikli fırın kullanılarak yapılan deneylerde dakikada 5-10-20 °C artışlarda ankraj dayanımında herhangi değişiklik olmadığını belirtmişlerdir.

Bajer ve Barnat (2012), yaptıkları çalışmada ankrajlarda çok kullanılan kimyasal yapıştırıcıların üç tanesini (vinil-üretan, epoksi reçinesi, polimer-çimento karışımı) deneysel olarak incelemişlerdir. Deney sonuçlarını da ATENA programında modellemişler ve sonuçların yakın çıktığını belirlemişlerdir. Çalışmada kullanılan beton dayanımları 28.5, 29.4 ve 48.3 MPa'dır. Vinil-üretan bazlı yapıştırıcı kapsül olarak uygulandığı için kullanımı daha kolay ve sertleşmesi 1 saat 20 dakika sürerken, epoksi bazlı yapıştırıcının sertleşmesi 12 saati bulmuştur. Epoksi reçinesi ortalama dayanımı 23.42 MPa, vinil-üratan bazlı yapıştırıcı için ortalama dayanım 17.80 MPa ve polimer-çimento bazlı yapıştırıcı için ise ort. Dayanım değerini 16.72 MPa olarak belirlemişlerdir.

Štrba ve Karmazínová (2012), betona sonradan ekilmiş mekanik genişlemeli ankrajların tekrarlı yükler altında davranışını incelemişlerdir. Çalışmada kullanılan betonun basınç dayanımı C12/20 MPa ile C30/37 MPa arasındadır. Çalışma kapsamında 255 adet ankraj ekmişlerdir. Ankraj çubuklarını göçme gerçekleşene kadar tekrarlı yüke tabii tutmuşlardır. Deneyler sonucunda 156 numunede ankraj çubuğu kopmuş, 72 numunede konik göçme olmuş, 25 adet numune ise hemen koparak sonuç vermemiştir. Genişlemeli ankraj göçmesinde ankrajın beton içine girdiği kısımda genişleyen parçanın baş tarafı ile kuvvet uygulayan ankrajın baş tarafı arasındaki mesafe 1-2 mm den fazla olmaması gerektiğini aksi takdirde ankraj gömülme derinliğine bağlı olarak da tekrarlı yükler altında ankraj göçme dayanımının düştüğü belirlemişlerdir.

Barnat vd., (2012), piyasada en çok kullanılan en güçlü epoksi reçine bazlı 3 adet kimyasal ankraj yapıştırıcının yüksek dayanımlı betonlarda ve çelik bir malzemede

davranışını incelemişlerdir. Deney numunesi olarak C50/60 MPa basınç dayanımına sahip beton, 8.8 ve 10.9 mm lik çelik çubuklar ve EXP2012 adlı kimyasal bağlayıcılar kullanmışlardır. Çalışmalarında ETAG adlı ankraj dizayn standardını baz almışlardır. Aynı ankraj yapıştırıcılarını kullanarak beton ve çeliği değişken olarak kullandıklarında, deney sonuçları ankraj çubuklarında oluşan uzamanın beton numunelerinde daha fazla olduğunu, dayanımların ise beton numunede 34 MPa ve çelik numunede ise 35.5 MPa olduğunu belirlemişlerdir. Sadece yapıştırıcıyı değişken olarak tuttuklarında ise betona uygulanmış EXP2012/1 numaralı yapıştırıcı en yüksek dayanımı sağlamış, çeliğe uygulanan EXP2012/3 yapıştırıcılı numune dayanımı ise betona uygulanandan yaklaşık % 4 oranında daha düşük dayanım gösterttiğini ifade etmişlerdir.

Altan (2013), farklı beton sınıflarında üretilen silindir numunelerin içerisine betonlama sırasında konulan mekanik bağlantı olarak nitelendirilen ankrajlar ile betona sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajların aksel çekme etkisi altındaki davranışlarını belirlemek için deneysel bir çalışma yapmıştır. Basınç dayanımı 11 ile 37 MPa arasında değişen dört farklı betona 8 ve 16 mm çapındaki çubuklar çapın 10 ve 15 katı olacak şekilde ekilmişlerdir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda betona sonradan kimyasal yapıştırıcılar kullanılarak yerleştirilen ankrajların, betonlama sırasında konulan donatıların oluşturduğu mekanik bağlantılı ankraj sisteminden daha etkili olduğunu belirlemiştir. Aderans etkinliğinin donatı çapının 10 katı kadar derinlikte daha iyi olduğunu belirtmiş ve kimyasal ankraj yapılacak betonların beklenen faydanın sağlanabilmesi açısından beton sınıfının C12 üzerinde olması gerektiğini önermiştir.

Çavunt (2013), çalışmasını mevcut bir betonarme bir binada yürütmüştür. Deneysel programda, 14 adet çekme ve 16 adet kesme olmak üzere toplam 30 adet numune saha ortamında test edilmiştir. Çekme ve kesme deneyleri için 3 çeşit kimyasal yapıştırıcı kullanılmış olup 1 çeşit ankrajın ise hiçbir kimyasal yapıştırıcı olmadan ekimi gerçekleştirilmiştir. Yapıştırıcı olarak modifiye polimer esaslı ankraj ve montaj harç katkısı (F), özel çimentolar ve modifiye polimerler içeren erken dayanımı yüksek ankraj harcı (M) ve epoksi esaslı çift bileşenli ankraj harcı (E) kullanılmıştır. Bir grup ankraj ise hiçbir yapıştırıcı olmadan çekiç yardımı ile ekimi yapılmış ve testleri yapılmıştır. Çalışma sonuçları uygun bir şekilde tasarlanan çimento esaslı yapıştırıcıların düşük dayanımlı betonda nervürlü ankraj donatısının ekiminde etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir. Ek olarak çalışma sonunda, mevcut standartlara ve

literatürdeki verilmiş olan bağıntılar ile tahmini ankraj kapasiteleri ile deneysel ankraj kapasiteleri kıyaslanmıştır. Çimento esaslı harçlar ile ekimi yapılan ankrajların maliyetinin epoksi ile ekimi yapılan ankrajlardan çok düşük olduğunu belirtmiştir.

Turan (2013), dört farklı dayanıma sahip beton gruplarından oluşturulan iki parçalı kirişlerin betonlama sırasında beton içerisine yerleştirilen ve mekanik bağlantı olarak nitelendirilen ankrajlar ile beton sertleştikten sonra epoksi yapıştırıcı kullanılarak yerleştirilen kimyasal bağlantılı ankrajlarla birleştirilmesi sonrası oluşturulan kiriş elemanlarının basit eğilme altında mekanik özelliklerini belirlenmek üzere deneysel bir çalışma yapmıştır. Betonlama sırasında yeterli kenetlenme boyuna sahip olarak konulan 40Φ ankraj çubuklarında donatının 12 mm den 16 mm çıkması durumunda yaklaşık % 30 seviyesinde bir artışın olduğunu gözlemlemiştir. Betona sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajlar ile yapılan birleşimlerde ise donatı çapının 12 mm den 16 mm çıkması ( $\tau_{max})_{ort}$  gerilmelerinde azalmalara neden olduğunu, beton dayanım grubu düşük olan serilerde azalmaların daha fazla olduğunu belirtmiştir. Eğilme etkisinde kalan ankrajlarda donatı çapı küçüldükçe eksenel çekme etkisindeki davranışlar etkin olurken donatı çapı arttıkça basit eğilme etkisindeki davranışların da ön plana çıktığını gözlemlemiştir.

Yılmaz vd., (2013), yaptıkları çalışmada 5.9 ve 10.9 MPa basınç dayanımına sahip betonlara sonradan ekilen kimyasal ankrajların çekme davranışını incelemiştir. 12, 16 ve 20 mm çapa sahip ankraj çubuklarını, çapın 10, 15 ve 20 katı olacak şekilde ekmişlerdir. Deney sonuçlarını ACI 318'de tanımlı dayanım değerleriyle karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak kenar mesafesi olarak en az çapın 15 katı kadar bir mesafenin bırakılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Yang vd., (2014), yaptıkları çalışmada epoksi bağlı ankraj sistemlerinin sünme davranışını incelemiştir. Çalışmada kimyasal katmanın viskoelastik davranışını gözünde tutarak epoksi ile ekilen ankraj sistemlerinin uzun dönem performanslarını karakterize edecek teorik model önerilmektedir. İlk olarak Abaquste nümerik analizle teorik model karşılaştırılmış ve yakın sonuçlar elde edilmiştir. Önerilen teorik model temel alınarak ankraj ve epoksi arayüzündeki çekme ve kesme gerilmelerinin zamana bağlı davranışları geliştirilmiştir. Başlangıçtaki kırılma yükü belirlenerek yükleme zamanı ile ilişkilendirilmiştir. Epoksi bağlı ankrajların uzun vadeli davranışlarındaki bileşim faktörlerinin belirleyici etkisini analiz etmek için parametrik bir çalışma

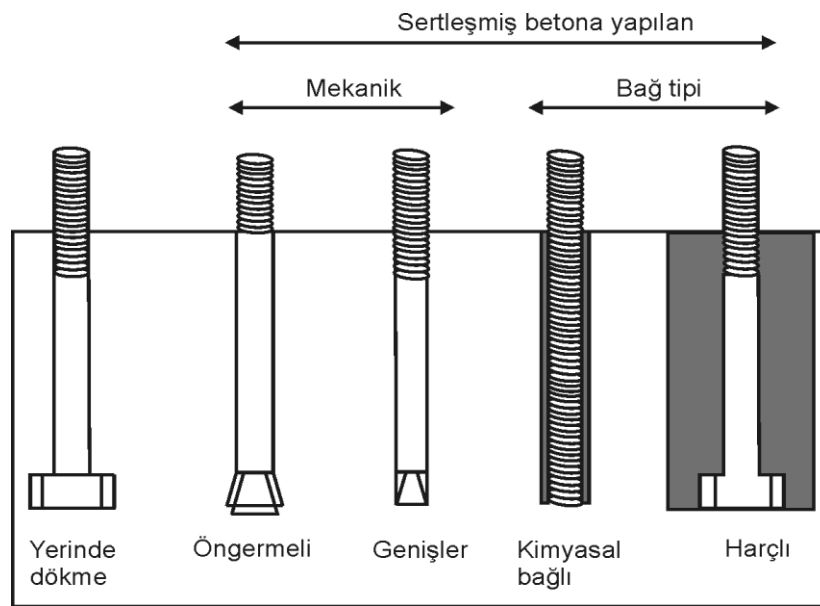
yapmışlardır. Yaptıkları çalışmanın sonucunda Abaquste geliştirilen modelin %92 oranında uyumlu sonuç verdiğini ifade etmişlerdir.

Zheng ve Dai (2014), çimento harcıyla doldurulmuş çelik tüpler içine ekilen FRP çubuklarının lineer olmayan davranışlarının tahmin edilmesi için nümerik metot geliştirmişlerdir. Geliştirilen nümerik metot temel alınarak arayüz bağ özellikleri analiz edilmiştir. Metodun 4 set deneysel verinin karşılaştırılmasıyla doğrulanmasını takiben FRP çubukları çap ve uzunluk etkileri, bölgesel bağ gerilmeleri ve sürtünme kuvvetlerinin maksimum çekme yükü üzerindeki etkilerini sayısal olarak değerlendirmişlerdir. Yazarlar bu metodun önemli avantajının hesaplamadaki kolaylığı olduğunu ifade etmişlerdir.

Delhomme vd., (2015), döküm sırasında yerleştirilen başlıklı ankrajların ve çatlamış betona sonradan yerleştirilen bağ tipi ankrajların derin gömme derinliklerindeki statik çekme davranışını inceleyen bir çalışma yapmışlardır. Çalışmadaki parametreler yükleme durumu, kenar mesafesi ve betonun çatlak durumudur. Gömme derinliği olarak 310 ve 475 mm seçilmiştir. Kenar mesafesi olarak ta 70-925 mm arasında değerler alınmıştır. Kullanılan betonun silindir basınç dayanımı 50 – 64 MPa aralığındadır. Yazarlar, bu deneysel çalışmanın nümerik metotları geliştirmek için bir altyapı oluşturacağını belirtmişlerdir.

### 3. ANKRAJLARLA İLGİLİ GENEL BİLGİLER

Betona yapılan ankrajlar yerleştirilme zamanı ve şekilleri açısından genel olarak iki ana gruba ayrılmaktadır (Şekil 3.1) (ACI 318). Sertleşmiş betona yapılan ankrajlar genellikle mevcut yapıların onarım ve güçlendirmesinde kullanılmakta ve taşıyıcı sisteme yeni betonarme elemanlar eklenmesine fırsat verecek biçimde kullanılmaktadır. Bu tür ankrajlar; betona açılan silindirik şeklindeki deliğe yerleştirilen ve genişleyerek betona sürtünme kuvvetleri yolu ile yük aktaran elemanlar, betona açılan deliğe yerleştirildikten sonra delik cidarı ile arasındaki boşluk bağlayıcı bir malzeme ile doldurulan elemanlar olmak üzere ikiye ayrılır. Bağlayıcı malzeme açısından da bağlayıcısı polimer esaslı olanlar ve çimento esaslı döküm harçlı olanlar olmak üzere farklı ankraj türlerine rastlanılabilir (Özkul vd., 2001).



Şekil 3.1. Ankraj tipleri (ACI 318-2005).

Polimer epoksi ankraj çubuklarında kullanılan en yaygın bağlayıcı maddedir. Bunun dışında poliester ve vinilester de bağlayıcı olarak kullanılmaktadır. Reçine belli oranda sertleştirici polimer ile karıştırıldıktan sonra deliğe enjekte edilir. Döküm harçları kumlu olabilirler. Açılan deliklerin iyi bir şekilde doldurmaları ve ankraj elemanını sarmaları için bunların yeterli kıvama sahip olmaları gerekir (Özkul vd., 2001).

Sonradan yerleştirilen ankrajlarda beton çekip çıkarma kapasitesi, önceden taze betona yerleştirilen ankrajlardan %10 daha düşüktür (Muratlı, vd., 2004).

Kimyasal ankrajlar, maliyet ve uygulama kolaylığı yönünden en çok tercih edilen ankraj tipidir.

Ankrajlar üzerlerindeki çekme yüklerini monte edildikleri betona ankrajın bağı derinliği boyunca oluşan aderans gerilmeleri vasıtasıyla aktarırlar. 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 dış kuvvetleridir (Gürbüz, 2007).

Betonun kopması veya ezilmesi gibi gevrek hasar şekilleri özellikle düşük dayanımlı betonlarda, sığ ve kenara yakın ankrajlarda daha çok karşılaşılan durumlar iken, ankrajın uygun şekilde tasarlanması ve uygulanması durumunda donatının kopması ile sünek davranış elde edilebilmektedir. Çekme etkisine maruz ankrajlarda ise, uygulamanın temiz olmayan yağlı, nemli deliklerde veya korozyona uğramış donatılarla yapılması durumunda ise donatı sıyrılması gibi gevrek hasarlar da ortaya çıkabilmektedir.

Bağ tipi ankrajların çekme dayanımına birçok etken etki eder. Bunlar:

- Bileşenlerin dayanımı
- Bağlayıcı
- Beton
- Çelik
- Delik temizliği
- Sıcaklık
- Yükleme zamanı
- Yükleme tipi

- Delikteki nem oranı
- Mevcut betonun durumu (çatlak oluşumu) (Cook, 1993).

ACI 355.2-07’de tanımlanan ankrajların etkisinde kaldığı yükleme tipleri;

Eksenel çekme etkisi altındaki ankrajlar

Kesme etkisi altındaki ankrajlar

Eksenel çekme ve kesme etkisi altındaki ankrajlar

Eğilme etkisi altındaki ankrajlar

Çekme etkisi altındaki kimyasal ankrajlar, göçme mekanizmalarının oluşumuna göre beş şekilde sınıflandırılabilirler (Cook 1993, Eligehausen vd., 1984, ACI355, 2007). Bunlar;

1. Ankraj donatısının kopması
2. Ankraj donatısının sıyırılması
3. Betonun konik kopması
4. Konik kopma ve sıyırmanın birlikte oluşumu
5. Betonun yarılarak göçmesi

Ankraj donatısının kopmasına, küçük donatı çaplı ankrajlarda ve yüksek beton dayanımına sahip ya da derin ankrajlarda rastlanır (ACI355, 2007). Bu göçme tipi ankrajın göçme yükünün üst sınırını belirler. Delik cidarında yapışma dayanımının aşılması ile sıyırma gerçekleşir (Eligehausen vd., 1984, Goto vd., 1993). Sıyırma yükü; kullanılan kimyasal ve betonun özelliklerine ve birbiri ile etkileşimine bağlıdır (Peier, 1983). Malzemenin yapışma dayanımının yetersiz olması, kötü kür, tozlu yüzeyin temizliğinin yetersizliği gibi durumlarda sıyırma görülür (Cook, 1993). Sıyırma tipi göçme sonucu büyük çatlaklar görülmez (Goto vd., 1993). Yeteri kadar derin olmayan ankrajlarda betonun çekme gerilmelerini karşılayamadığı durumlarda konik kopma biçiminde göçme mekanizmasına rastlanır. Daha derin ankrajlarda ise sıyırma ve beraberinde konik kopma biçiminde göçme görülür.

Kılcal çatlakların koni biçiminde oluşmaya başlaması ile yapışmaya çalışan boyu aniden kısalan ankrajda, yapışma dayanımına aniden ulaşılması ile konik kopma

ve sıyrılma birlikte oluşur (Cook, 1993 Eligehausen vd., 1984, ACI355 2007, Cook vd., 1993).

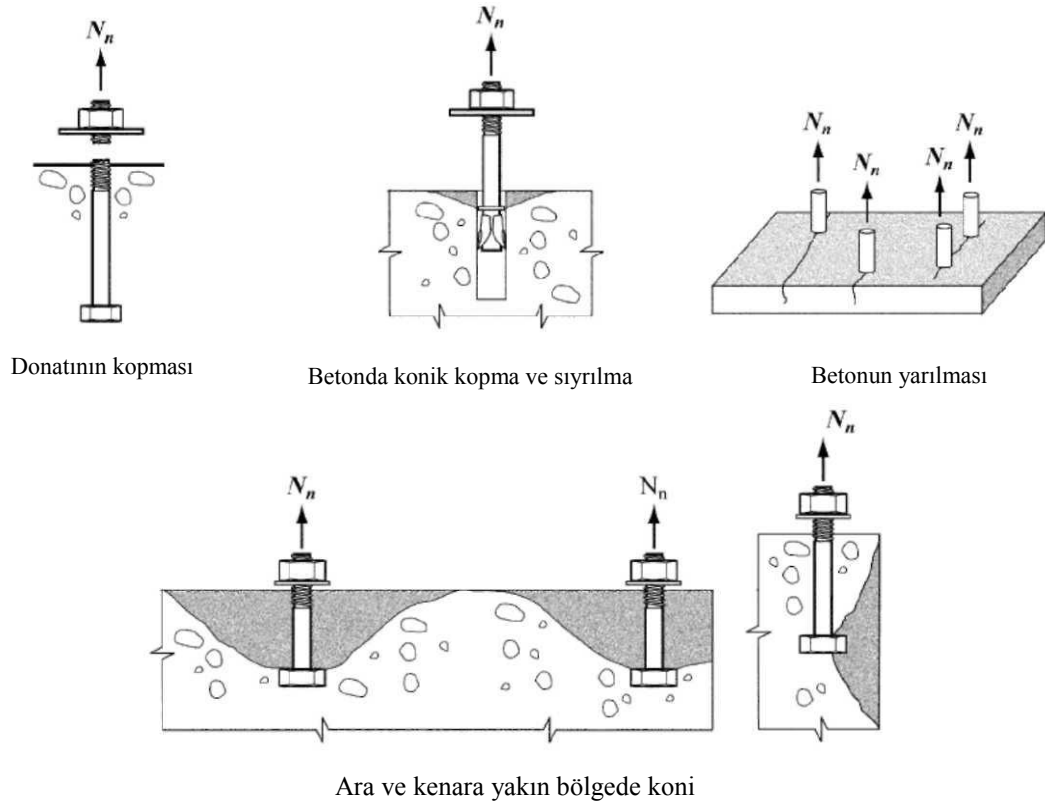
Kullanılan malzemelerin kimyasal özelliklerine bağlı olarak; karma göçme tiplerinde sıyrılma bölgesi boyunca kimyasal ile beton ya da kimyasal ile donatı ara yüzünde gerçekleşebilir (Cook et al., 1992, Cook et al., 1998).

Yüksek dayanımlı betonlarda çekme konilerinin daha düzgün yanal yüzeylerle koptuğu görülmüştür (Peier, 1983). Beton konisi oluşumu için yeterli alanın olmadığı ya da ankrajların birbirlerine ya da serbest kenarlara yakın olduğu durumlarda betonun yarılması tipte göçme oluşur. Bu şekilde bir göçme mekanizmasının azami yükü, aynı değişkenlere sahip ama daha kalın bir kesitte ya da uzak aralıklardaki ankrajların oluşturacağı koni göçme yüklerinden genellikle daha küçüktür (Goto vd., 1993). Bu durumda göçme yükünü belirleyen beton plağın eğilme kapasitesidir.

### **3.1. ACI 318'e Göre Ankraj Çekme Kapasitesi**

ACI 318'de çekmeye çalışan başlıklı ankrajların göçme mekanizmaları Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Genel bir ifade ile ankrajın kenara olan mesafesinin yetersiz olduğu durumlarda ve düşük dayanımlı betonlara büyük çaplı veya akma dayanımı yüksek donatıların ekilmesi durumunda beton kapasitesinin ankraj kapasitesini belirlediği, kenar mesafesinin yeterli düzeyde olduğu ankrajlarda ise donatının kapasitesinin ankrajın kapasitesini belirlediği söylenebilir.

ACI 318'e göre nihai ankraj kapasitesi donatı kapasitesi, koni ve sıyrılma kapasitelerinin en küçük olanıdır. Fakat ACI 318'deki sıyrılma kapasiteleri çok düşük değerler çıktığı için ankraj kapasitesinin belirlenmesinde bu tez kapsamında sıyrılma kapasiteleri hesaba katılmamıştır.



**Şekil 3.2.** Ankraj göçme modları (ACI 318, 2005).

Fakat ACI 318'deki sıyırılma kapasiteleri çok düşük değerler çıktığı için ankraj kapasitesinin belirlenmesinde bu tez kapsamında sıyırılma kapasiteleri hesaba katılmamıştır.

ACI 318'e göre ankraj kapasitesi hesaplanmasında, ankraj elemanlarından kapasitesi en düşük olanı o ankrajın kapasitesini vermektedir. Bu çıkan kapasite değeri azaltma katsayısı ile çarpılarak ACI 318 ankraj tasarım dayanımı elde edilir.

### 3.1.1 Donatı kapasitesi

Donatının koptuğu ankrajların kapasitesi için ACI 318'de verilen (3.1) formülü kullanılacaktır.

$$N_{sa} = n \cdot A \cdot f_{uta} \quad (3.1)$$

Tekil veya grup ankrajların çekme yüklemesinde nominal dayanımı ( $N_{sa}$ ) (3.1)'deki değeri geçemeyecektir. Bu denklemde n ankraj sayısıdır,  $f_{uta}$  ise 860 MPa ve

1.9 $f_{ya}$ 'dan küçük olanı seçilecektir. (3.1)'de geçen  $f_{ya}$  ise ankraj donatısını akma dayanımıdır.

### 3.1.2 Beton koni kapasitesi

$$N_{cb} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \Psi_{ed,N} \Psi_{c,N} \Psi_{cp,N} \quad (3.2)$$

(3.2)'deki  $A_{Nc}$  beton öngörülen göçme alanı,  $A_{Nco}$  1.5  $h_{ef}$  kenar mesafesi olan ankrajın öngörülen göçme alanı,  $N_{cb}$ , nominal beton göçme dayanımı,  $N_{cb}$  ise Beton koni kapasitesidir.

$$A_{Nco} = 9h_{ef}^2 \quad (3.3)$$

$$A_{Nc} = (c_{a1} + 1.5h_{ef})(2*1.5h_{ef}) \quad (3.4)$$

(3.3)'deki  $h_{ef}$  değeri ankrajın etkin gömülme derinliğidir. Bu tez kapsamında etkin gömülme derinliği olarak ankraj gömülme derinliği alınmıştır.

$$N_b = k_c \sqrt{f'_c} h_{ef}^{1.5} \quad (3.5)$$

(3.6)'da geçen sonradan ekilen ankrajlar için  $k_c$  değeri olarak 17 alınır.  $f'_c$  ise belirlenmiş beton basınç dayanımıdır.

$$c_{a,min} \geq 1.5h_{ef} \Rightarrow \Psi_{ed,N} = 1 \quad (3.6)$$

$$c_{a,min} < 1.5h_{ef} \Rightarrow \Psi_{ed,N} = 0.7 + 0.3 \frac{c_{a,min}}{1.5h_{ef}} \quad (3.7)$$

$$\Psi_{c,N} = 1.4 \quad (3.8)$$

(3.6-7) ve (3.9-10)'da geçen  $c_{a,min}$  değerleri ankrajın kenara olan en yakın mesafesidir.  $c_{a,c}$  değerleri ankrajın kritik kenar mesafesi olarak tanımlanmaktadır.

$\Psi_{ed,N}$  değeri serbest kenara olan uzaklıkla ilgili azaltma katsayısıdır,  $\Psi_{c,N}$  değeri ise betonda çatlak bulunması ile alakalı azaltma katsayısıdır.

Betona sonradan ekilen ankrajlarda;

$$c_{a,min} \geq c_{ac} \Rightarrow \Psi_{cp,N} = 1.0 \quad (3.9)$$

$$c_{a,min} < c_{ac} \Rightarrow \Psi_{cp,N} = \frac{c_{a,min}}{c_{ac}} \quad (3.10)$$

### 3.1.3 Sıyırılma kapasitesi

$$N_p = 0.9f_c' e_h d_o \quad (3.11)$$

(3.11)'de geçen  $N_p$  değeri ACI 318'de tanımlanan esas sıyırılma kapasitesidir,  $N_{pn}$  değeri ise nominal sıyırılma kapasitesi olarak tanımlanmıştır,  $f_c'$  belirlenmiş beton basınç dayanımıdır,  $d_o$  değeri ise ankraj donatı çapıdır. (3.11)'de geçen  $e_h$  değeri ise ankraj donatının J veya L tipinde kancalı olmasına göre değişen bir katsayıdır.

$$N_{pn} = \Psi_{c,p} N_p \quad (3.12)$$

(3.13)'de geçen  $\Psi_{c,p}$  değeri betonda çatlak olmasıyla ilgili bir azaltma katsayısıdır.

$$\Psi_{c,p} = 1.4 \quad (3.13)$$

$$N_{pn} = \Psi_{c,p} N_p \quad (3.14)$$

ACI 318 sonradan ekilen ankrajlar için sıyırılma kapasitesinin hesaplanmasını değil, deneysel olarak elde edilen verilerden %95 güvenli yönde kalacak şekilde nominal sıyırılma dayanımının hesaplanmasını öngörmektedir.

Bu tez çalışmasında ekilen ankrajların sonradan ekilmiş olması dolayısıyla  $N_{pn}$  sıyırılma dayanımı dikkate alınmamıştır. Ankraj kapasitesi  $N_{sa}$  ile  $N_{cb}$ 'den küçük olanı olarak değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada, ACI 318 Ek-C'deki yükleme kombinasyonları için verilen dayanım azaltma katsayıları kullanılmıştır. Ankraj ekimi yapılan blokların donatısız beton olması dolayısı ile B durumu ve deneylerin laboratuvar dışında yapılmasından dolayı da C3 durumu için verilen dayanım azaltma katsayıları ile ACI 318 kapasite dayanımları azaltılmıştır.

## 3.2. ACI 318'e Göre Beklenen Ankraj Çekme Kapasitesi

ACI 318 Ek-D'de ankrajların çekme dayanımı ile ilgili olarak üç farklı dayanım tanımlanmıştır. Bunlar; donatı kapasitesi, beton koni kapasitesi ve sıyırılma kapasitesidir. Bu üç farklı dayanıma ait formülasyon vardır. Parametreler göz önünde tutularak formüllerde yerine konur ve üç durum için ankraj kapasiteleri belirlenir. Bu üç

dayanım değerinden en küçük olan değer ankraj kapasite dayanımını belirler. Sıyrılma kapasite değerleri çok küçük çıktığı için bu çalışmada dikkate alınmamıştır. Donatı ve beton koni kapasitesi değerlerinden küçük olanı seçilmiştir. Kapasite değeri belirlendikten sonra işçilik ve malzeme değerlerine bağlı olan bir azaltma katsayısıyla çarpılır. Katsayıyla çarpılıp bulunan değer ACI 318 tasarım değeridir. ACI 318'in ankrajların çekme dayanım değerlerini belirlemek için kullanılacak azaltma katsayıları Çizelge 3.1'de verilmiştir. Dayanım azaltma katsayısı ankrajın ekileceği betonun donatılı veya donatısız olmasına, işçilik kalitesine, ortam koşullarından etkilenme durumuna ve güvenilirliğine bağlı olarak değişmektedir.

**Çizelge 3.1.** ACI 318 ankraj dayanım azaltma katsayıları.

Göçme Şekli	Diğer Etkin Parametreler		Dayanım Azaltma Katsayısı	
			ACI 318, 9.2'ye Göre Yükleme	ACI 318, Ek-C'ye Göre Yükleme
Çelik Hasarı	Sünek çelik		0.75	0.80
	Gevrek çelik		0.65	0.70
Sıyrılma Hasarı Konik Kopma Beton Hasarı	Durum A (Donatılı beton)	C1	0.75	0.85
		C2	0.65	0.75
		C3	0.55	0.65
	Durum B (Donatısız beton)	C1	0.65	0.75
		C2	0.55	0.65
		C3	0.45	0.55
C1: İşçilik kalitesi ve ortam koşullarından az etkilenen, güvenilirliği yüksek				
C2: İşçilik kalitesi ve ortam koşullarından orta derecede etkilenen, güvenilirliği orta				
C3: İşçilik kalitesi ve ortam koşullarından çok etkilenen, güvenilirliği düşük				

### 3.2.1. 12 mm çaplı ankraj çubukları için

12 mm çaplı ankraj çubukları için ACI 318’de tanımlanmış kapasite ve tasarım değerleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.  $10\Phi$  derinliğe kadar göçme modunu koni kapasitesi belirlerken derinliğin  $10\Phi$  olmasından sonra donatı kapasitesi belirlemiştir.

**Çizelge 3.2.** 12 mm çaplı ankraj çubukları için ACI çekme kapasitesi değerleri.

Numune Adı	Donatı Kapasitesi kN	Koni Kapasitesi kN	Dayanım azaltma katsayısı	ACI Kapasite dayanımı kN	ACI Tasarım dayanımı kN
D12L6K6	71.5	43.3	0.5	43.3	21.6
D12L6K9	71.5	57.7	0.5	57.7	28.8
D12L6K12	71.5	57.7	0.5	57.7	28.8
D12L6K18	71.5	57.7	0.5	57.7	28.8
D12L6K24	71.5	57.7	0.5	57.7	28.8
D12L12K6	71.5	87.0	0.5	71.5	35.7
D12L12K9	71.5	104.0	0.5	71.5	35.7
D12L12K12	71.5	122.3	0.5	71.5	35.7
D12L12K18	71.5	163.1	0.5	71.5	35.7
D12L12K24	71.5	163.1	0.5	71.5	35.7
D12L18K6	71.5	140.4	0.5	71.5	35.7
D12L18K9	71.5	159.8	0.5	71.5	35.7
D12L18K12	71.5	180.3	0.5	71.5	35.7
D12L18K18	71.5	224.7	0.5	71.5	35.7
D12L18K24	71.5	273.6	0.5	71.5	35.7
D12L24K6	71.5	201.8	0.5	71.5	35.7
D12L24K9	71.5	223.5	0.5	71.5	35.7
D12L24K12	71.5	246.0	0.5	71.5	35.7
D12L24K18	71.5	294.1	0.5	71.5	35.7
D12L24K24	71.5	346.0	0.5	71.5	35.7

### 3.2.2. 16 mm çaplı ankraj çubukları için

16 mm çaplı ankraj çubukları için ACI 318’de tanımlanmış kapasite ve tasarım değerleri Çizelge 3.3’te verilmiştir.  $10\Phi$  derinliğe kadar göçme modunu koni kapasitesi belirlerken derinliğin  $10\Phi$  olmasından sonra donatı kapasitesi belirlemiştir.

**Çizelge 3.3.** 16 mm çaplı ankraj çubukları için ACI çekme kapasitesi değerleri.

Numune Adı	Donatı Kapasitesi	Koni Kapasitesi	Dayanım azaltma katsayısı	ACI Kapasite dayanımı	ACI Tasarım dayanımı
D16L8K8	133.3	66.6	0.5	66.6	33.3
D16L8K12	133.3	88.8	0.5	88.8	44.4
D16L8K16	133.3	88.8	0.5	88.8	44.4
D16L8K24	133.3	88.8	0.5	88.8	44.4
D16L8K32	133.3	88.8	0.5	88.8	44.4
D16L16K8	133.3	133.9	0.5	133.3	66.6
D16L16K12	133.3	160.1	0.5	133.3	66.6
D16L16K16	133.3	188.3	0.5	133.3	66.6
D16L16K24	133.3	251.1	0.5	133.3	66.6
D16L16K32	133.3	251.1	0.5	133.3	66.6
D16L24K8	133.3	216.1	0.5	133.3	66.6
D16L24K12	133.3	246.0	0.5	133.3	66.6
D16L24K16	133.3	277.7	0.5	133.3	66.6
D16L24K24	133.3	346.0	0.5	133.3	66.6
D16L24K32	133.3	421.2	0.5	133.3	66.6
D16L32K8	133.3	310.7	0.5	133.3	66.6
D16L32K12	133.3	344.0	0.5	133.3	66.6
D16L32K16	133.3	378.8	0.5	133.3	66.6
D16L32K24	133.3	452.8	0.5	133.3	66.6
D16L32K32	133.3	532.7	0.5	133.3	66.6

### 3.2.3. 20 mm çaplı ankraj çubukları için

20 mm çaplı ankraj çubukları için ACI 318’de tanımlanmış kapasite ve tasarım değerleri Çizelge 3.4’te verilmiştir. 10Φ derinliğe kadar göçme modunu koni kapasitesi belirlerken derinliğin 10Φ olmasından sonra donatı kapasitesi belirlemiştir.

**Çizelge 3.4.** 20 mm çaplı ankraj çubukları için ACI çekme kapasitesi değerleri.

Numune Adı	Donatı Kapasitesi	Koni Kapasitesi	Dayanım azaltma katsayısı	ACI Kapasite dayanımı	ACI Tasarım dayanımı
D20L10K10	208.3	93.1	0.5	93.1	46.5
D20L10K15	208.3	124.1	0.5	124.1	62.0
D20L10K20	208.3	124.1	0.5	124.1	62.0
D20L10K30	208.3	124.1	0.5	124.1	62.0
D20L10K40	208.3	124.1	0.5	124.1	62.0
D20L20K10	208.3	187.2	0.5	187.2	93.6
D20L20K15	208.3	223.7	0.5	208.3	104.1
D20L20K20	208.3	263.2	0.5	208.3	104.1
D20L20K30	208.3	351.0	0.5	208.3	104.1
D20L20K40	208.3	351.0	0.5	208.3	104.1
D20L30K10	208.3	302.1	0.5	208.3	104.1
D20L30K15	208.3	343.9	0.5	208.3	104.1
D20L30K20	208.3	388.0	0.5	208.3	104.1
D20L30K30	208.3	483.6	0.5	208.3	104.1
D20L30K40	208.3	588.6	0.5	208.3	104.1
D20L40K10	208.3	434.3	0.5	208.3	104.1
D20L40K15	208.3	480.8	0.5	208.3	104.1
D20L40K20	208.3	529.4	0.5	208.3	104.1
D20L40K30	208.3	632.8	0.5	208.3	104.1
D20L40K40	208.3	744.5	0.5	208.3	104.1

#### 3.2.4. 24 mm çaplı ankraj çubukları için

24 mm çaplı ankraj çubukları için ACI 318’de tanımlanmış kapasite ve tasarım değerleri Çizelge 3.5’te verilmiştir. 10Φ derinliğe kadar göçme modunu koni kapasitesi belirlerken derinliğin 10Φ olmasından sonra donatı kapasitesi belirlemiştir.

**Çizelge 3.5.** 24 mm çaplı ankraj çubukları için ACI çekme kapasitesi değerleri.

Numune Adı	Donatı Kapasitesi	Koni Kapasitesi	Dayanım azaltma katsayısı	ACI Kapasite dayanımı	ACI Tasarım dayanımı
D24L12K12	299.1	122.3	0.5	122.3	61.2
D24L12K18	299.1	163.1	0.5	163.1	81.6
D24L12K24	299.1	163.1	0.5	163.1	81.6
D24L12K36	299.1	163.1	0.5	163.1	81.6
D24L12K48	299.1	163.1	0.5	163.1	81.6
D24L24K12	299.1	246.0	0.5	246.0	123.0
D24L24K18	299.1	294.1	0.5	294.1	147.1
D24L24K24	299.1	346.0	0.5	299.1	149.5
D24L24K36	299.1	461.3	0.5	299.1	149.5
D24L24K48	299.1	461.3	0.5	299.1	149.5
D24L36K12	299.1	397.1	0.5	299.1	149.5
D24L36K18	299.1	452.0	0.5	299.1	149.5
D24L36K24	299.1	510.1	0.5	299.1	149.5
D24L36K36	299.1	635.6	0.5	299.1	149.5
D24L36K48	299.1	773.8	0.5	299.1	149.5
D24L48K12	299.1	570.9	0.5	299.1	149.5
D24L48K18	299.1	632.0	0.5	299.1	149.5
D24L48K24	299.1	695.9	0.5	299.1	149.5
D24L48K36	299.1	831.8	0.5	299.1	149.5
D24L48K48	299.1	978.6	0.5	299.1	149.5

Genel bir değerlendirme yapılırsa ACI 318 Ek-D'ye göre belirlenen tasarım dayanımlarında tüm ankraj çaplarında, 10 $\Phi$  derinliğe kadar göçme modunu koni kapasitesi belirlerken 10 $\Phi$  olmasından sonra donatı kapasitesi belirlemiştir. Tasarım dayanımının bulunabilmesi için kapasite dayanımlarından minimumu ile dayanım azaltma katsayısı ile çarpılması gerekmektedir. Bu çalışmada bu katsayı 0.5 olarak seçilmiştir. Ankrajların ekileceği taban betonu donatısız, işçilik kalitesi ve ortam koşullarından çok etkilenen, güvenilirliği düşük gibi en olumsuz durumlar düşünülerek ortalama değer alınmıştır.

#### 4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada donatısız beton bloklara ankraj çubukları ekilerek çekip çıkarma deneyi yapılmıştır. 4 farklı çapa sahip ankraj çubukları (12, 16, 20 ve 24 mm) çapın 5, 10, 15 ve 20 katları olacak şekilde derinlik ve çapın 5, 7.5, 10, 15 ve 20 katları kenar mesafesinde kimyasal yapıştırıcı ile ekilmişlerdir. Ekilen 80 adet ankraj çubuğuna çekip çıkarma deneyi uygulanmıştır.

##### 4.1. Genel Bilgiler

Çalışmada çap D ile, ankrajların ekildiği derinlik L ile, kenar mesafeleri de K ile gösterilmiştir. D20L20K20 şeklindeki bir gösterimde 20 mm çapa sahip ankraj çubuğu 20 cm derinliğe ve kenardan da 20 cm uzaklığa ekilmiştir. Çalışmada kullanılan değişkenler Çizelge 4.1’de verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Çalışmanın parametreleri.

Çap (D) (mm)	Ekme Derinliği (L) (cm)	Kenar Mesafesi (K) (cm)
12 16 20 24	5Φ 10Φ 15Φ 20Φ	5Φ
		7.5Φ
		10Φ
		15Φ
		20Φ

##### 4.2. Numunelerin Üretimi

Deney modellerinin üretimi üç aşamada gerçekleştirilmiştir: Bunlar beton temellerin yapılması, ankrajların ekileceği deliklerin açılması ve temizlenmesi, ankraj çubuklarının ekilmesidir.

Ankrajların ekileceği taban betonları donatısız, yüksekliği 50 cm olacak şekilde hazırlanmıştır. Hazırlanan kalıplar hazır beton ile doldurulmuştur (Şekil 4.1). Beton temellerin dayanım kazanmaları için 28 gün bekletilmişlerdir. Daha sonra bu temeller üzerine ankraj delikleri açılmıştır (Şekil 4.2). Ankraj çapları 12, 16, 20 ve 24 mm dir. Ankraj delikleri; Φ12 donatı için 16 mm, Φ16 donatı için 20 mm, Φ20 donatı için 24

mm ve  $\Phi 24$  donatı için 28 mm olarak açılmıştır. Açılan delikler basınçlı hava kullanılarak kuru – yağsız kompresör ile temizlenmiştir.

Açılan deliklere kimyasal yapıştırıcı (epoksi) doldurularak ankraj çubukları usulüne uygun bir şekilde ekilmiştir. Ankraj ekimi düşey pozisyonda gerçekleştirilmiştir. Böylece ideal bir ankraj ekimi yapılmıştır. Epoksi malzeme yeterli dayanım kazandıktan sonra çekme deneyleri yapılmıştır.



**Şekil 4.1.** Ankrajların ekileceği temellerin hazırlanması ve beton dökümü.



**Şekil 4.2.** Ankrajların ekileceği deliklerin açılması.

### 4.3. Malzeme

Numunelerin üretiminde hazır beton kullanılmıştır. Ankraj çubukları olarak 12, 16, 20 ve 24 mm çapa sahip nervürlü donatılar, kimyasal yapıştırıcı olarak ta epoksi akrilat esaslı, iki bileşenli ankraj reçinesi kullanılmıştır.

#### 4.3.1. Beton

Beton temel elemanların üretiminde C20/25 olması planlanan hazır beton kullanılmıştır. Numunelerin üretiminde kullanılan hazır betonun ağırlıkça karışım oranları Çizelge 4.2’de verilmiştir. Beton dökümü sırasında 12 adet küp numune alınmıştır. Alınan numunelere 2, 7 ve 28 günlük olmak üzere basınç testi uygulanmıştır. Alınan numunelerin 2, 7 ve 28 günlük dayanımları Çizelge 4.3’te verilmiştir. C20/25 sınıfında planlanan betonun 28 günlük ortalama küp basınç dayanımı 27.18 MPa çıkmıştır.

**Çizelge 4.2.** Ağırlıkça beton karışım oranları.

Malzeme (kg/m <sup>3</sup> )	C20/25
0-4 mm	1075
4-11 mm	270
11-22 mm	500
CEM I 42,5	250
Kül	40
Su	185
Katkı (Akışkanlaştırıcı)	2.5

**Çizelge 4.3.** Beton basınç dayanımları (MPa).

Beton Yaşı	C20/25
7 Günlük	20.19
	20.37
	19.66
28 Günlük	27.10
	27.38
	27.06
Ortalama f <sub>c28</sub>	27.18

### 4.3.2. Ankraj çubuğu

Çalışmada 12, 16, 20 ve 24 mm çapa sahip nervürlü S420a sınıfı çelik çubuklar kullanılmıştır. Kullanılan çubuklara ilişkin akma, çekme dayanımları TS708'deki sınır değerlerle karşılaştırılarak Çizelge 4.4'te verilmiştir.

**Çizelge 4.4.** S420a çubukların mekanik özellikleri.

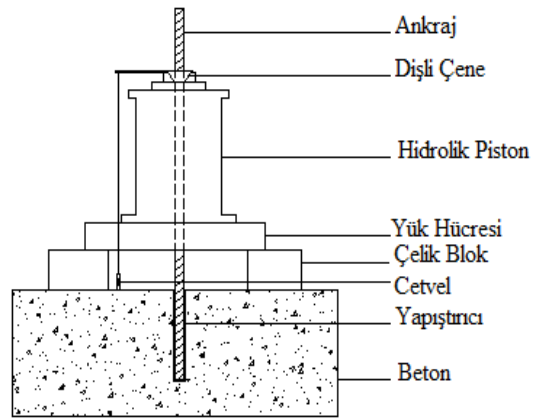
<b>TS 708 Standart Sınır Değerler</b>					
		<b>Akma Min.</b> (N/mm <sup>2</sup> )	<b>Çekme Min.</b> (N/mm <sup>2</sup> )	<b>Kopma Uzaması</b>	
		<b>420</b>	<b>500</b>	<b>10</b>	
<b>Deney Sonucu Bulunan Değerler</b>					
<b>Çap (mm)</b>	<b>Akma Dayanımı (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Ortalama Akma Dayanımı (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Çekme Dayanımı (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Ortalama Çekme Dayanımı (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Kopma Uzaması (%)</b>
12	467	465	544	543	31
	463		542		30
	464		544		29
16	473	473	577	579	29
	470		578		30
	475		582		31
20	479	477	580	582	30
	484		585		28
	469		582		29
24	465	475	596	596	27
	474		593		27
	486		599		28

### 4.3.3. Kimyasal yapıştırıcı

Kimyasal yapıştırıcı olarak solventsiz ve styrene içermeyen, epoksi akrilat esaslı, iki bileşenli yüksek performanslı ankraj reçinesi kullanılmıştır. Kullanılan malzemenin yoğunluğu 1.60-1.68 kg/l civarındadır. Ankrajların ekilmesinde kullanılmak üzere seçilen kimyasal yapıştırıcı; hızlı kür alan, standart kartuşlar ile uygulanan, filiz ekme işlerinde sıklıkla kullanılan bir üründür.

### 4.4. Deney Düzenegi

Deneylerde numune deplasmanı ve uygulanan yük ölçülerek kaydedilmiştir. Bunun için numuneye yük hücresi (load cell) ve potansiyometrik cetvel bağlanmıştır. Ekilen ankrajlara çekme yüklemesi yapabilmek kullanılan deney düzeneginin şematik gösterimi Şekil 4.3'te ve görüntüsü de Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.3. Deney düzeneginin şematik gösterimi.



Şekil 4.4. Deney düzenegi.

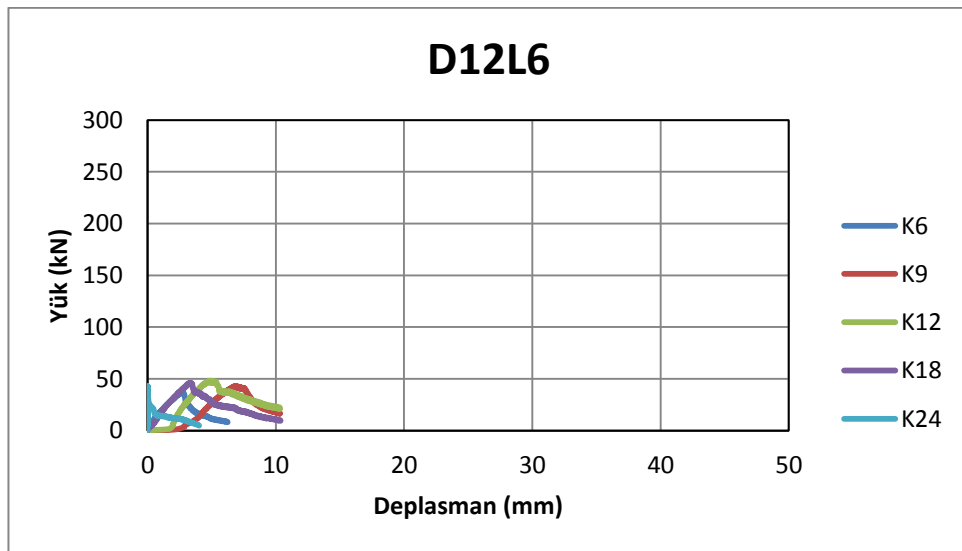
## 5. DENEY SONUÇLARI

Ankraj çapının, ekme derinliğinin ve kenar mesafesinin değişken olarak tutulduğu bu çalışmada 80 adet aksenal çekme deneyi yapılmıştır. Her deneyde yük ve deplasman değerleri ölçülüp grafikleri çizilmiştir. Bu bölümde numunelere ait yük-deplasman eğrileri, göçme modları, çapın, ekme derinliğinin ve kenar mesafesinin ankraj çekme dayanıma etkisi incelenmiş ve ACI 318 Ek-D’de bulunan kapasite ve tasarım dayanım değerlerine göre güvenlik katsayıları belirlenmiştir. Deneylere ait görüntüler Ek 1-16’da verilmiştir. 80 adet numuneye ait toplu deney sonuçları da Ek-17’de gösterilmiştir.

### 5.1. Yük - Deplasman Eğrileri

#### 5.1.1. D12L5Φ için yük - deplasman eğrileri

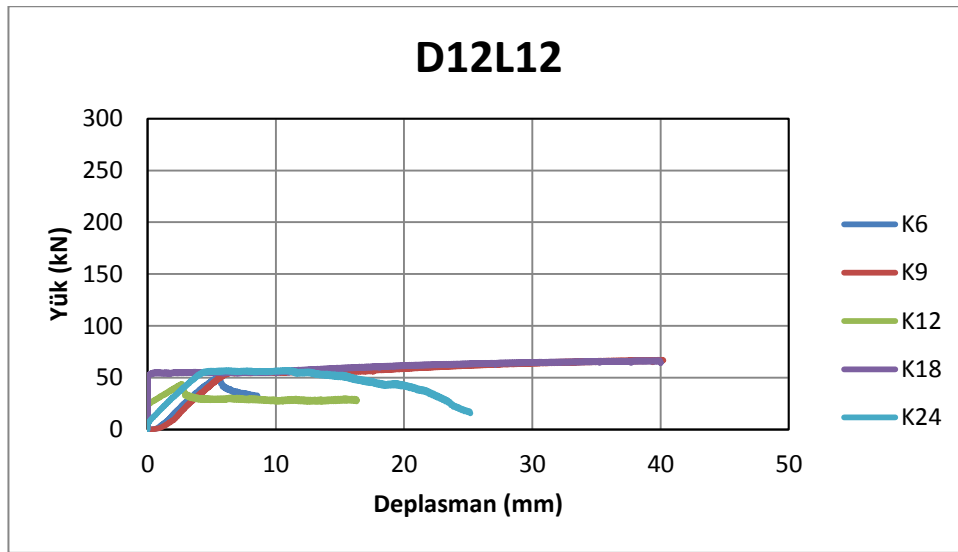
12 mm çapa sahip ankraj çubuklarının değişken kenar mesafelerinde (K= 6, 9, 12, 18 ve 24 cm) 5Φ derinliğe (L=6 cm) ekildiği durum için oluşan yük-deplasman eğrileri Şekil 5.1’de verilmiştir. Bu grupta en küçük çekme yükü değeri 37.9 kN iken en büyük değer 46.2 kN’dur. Kenar mesafesi arttıkça yük değerlerinin arttığı görülmektedir. 12 mm çaplı 6 cm derinliğe ekilen numunelerde genel olarak konik kopma gözlenmiştir.



Şekil 5.1. 12 mm çap ve 6 cm gömme derinliği için yük-deplasman eğrileri.

### 5.1.2. D12L10Φ için yük - deplasman eğrileri

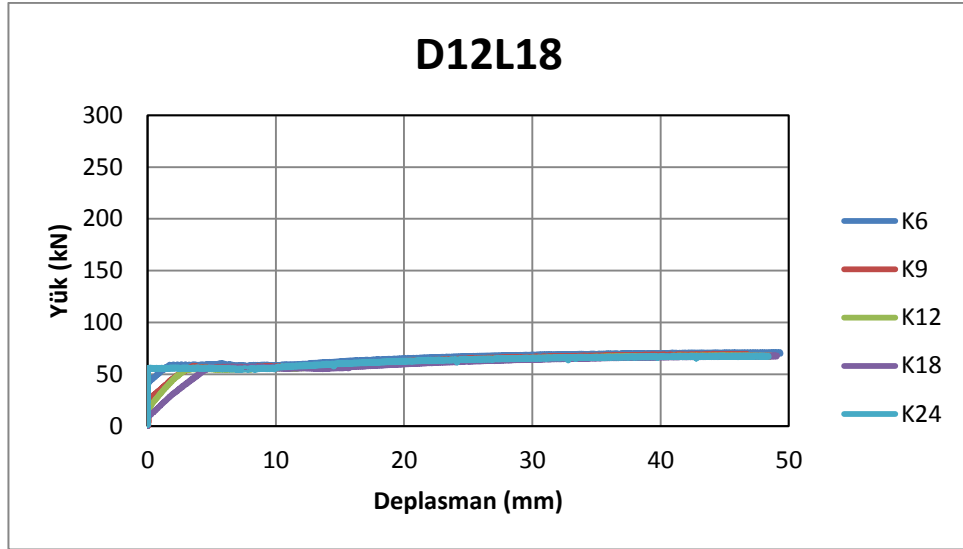
12 mm çapa sahip ankraj çubuklarının değişen kenar mesafelerinde (K= 6, 9, 12, 18 ve 24 cm) 10Φ derinliğe (L=12 cm) ekildiği durum için oluşan yük-deplasman eğrileri Şekil 5.2’de verilmiştir. Bu grupta en küçük çekme yükü değeri 44.1 kN iken en büyük değer 67.0 kN’dur. 12 mm çaplı 12 cm derinliğe ekilen numunelerde genel olarak konik kopma ve sıyrılmanın birlikte olduğu göçme durumları gözlenmiştir.



Şekil 5.2. 12 mm çap ve 12 cm gömme derinliği için yük-deplasman eğrileri.

### 5.1.3. D12L15Φ için yük - deplasman eğrileri

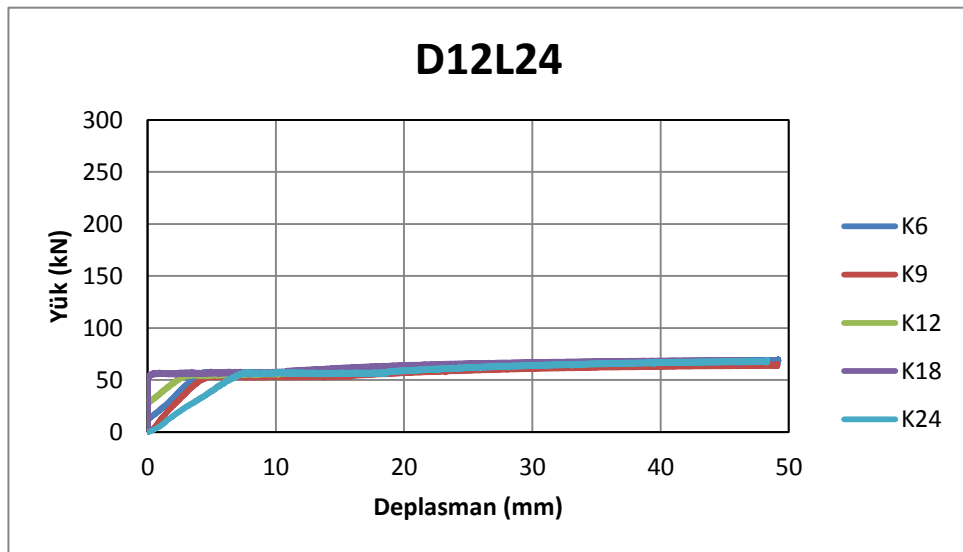
12 mm çapa sahip ankraj çubuklarının değişen kenar mesafelerinde (K= 6, 9, 12, 18 ve 24 cm) 15Φ derinliğe (L=18 cm) ekildiği durum için oluşan yük-deplasman eğrileri Şekil 5.3’te verilmiştir. Bu grupta en küçük çekme yükü değeri 54.2 kN iken en büyük değer ise 57.9 kN ölçülmüştür. 12 mm çaplı 18 cm derinliğe ekilen numunelerde çekme yükü değerleri birbirine çok yakın çıkmıştır. Bu numunelerde göçme tipi olarak sıyrılma gözlenmiştir.



Şekil 5.3. 12 mm çap ve 18 cm gömme derinliği için yük-deplasman eğrileri.

#### 5.1.4. D12L20Φ için yük - deplasman eğrileri

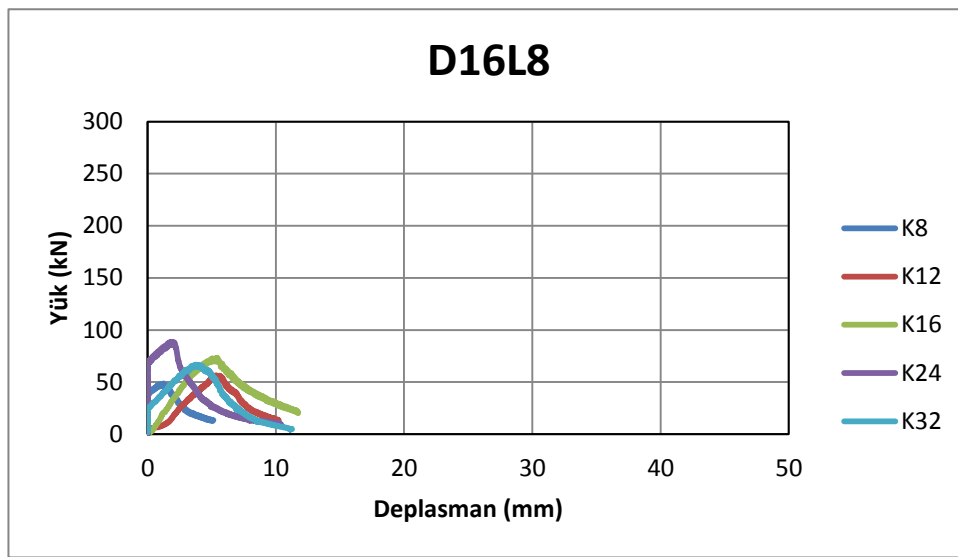
12 mm çapa sahip ankraj çubuklarının değişen kenar mesafelerinde (K= 6, 9, 12, 18 ve 24 cm) 20Φ derinliğe (L=24 cm) ekildiği durum için oluşan yük-deplasman eğrileri Şekil 5.4'te verilmiştir. Bu grupta çekme yükü değerleri birbirine çok yakın çıkmıştır. 12 mm çaplı 18 cm derinliğe ekilen numunelerde göçme tipi olarak sıyrılma gözlenmiştir.



Şekil 5.4. 12 mm çap ve 24 cm gömme derinliği için yük-deplasman eğrileri.

### 5.1.5. D16L5Φ için yük - deplasman eğrileri

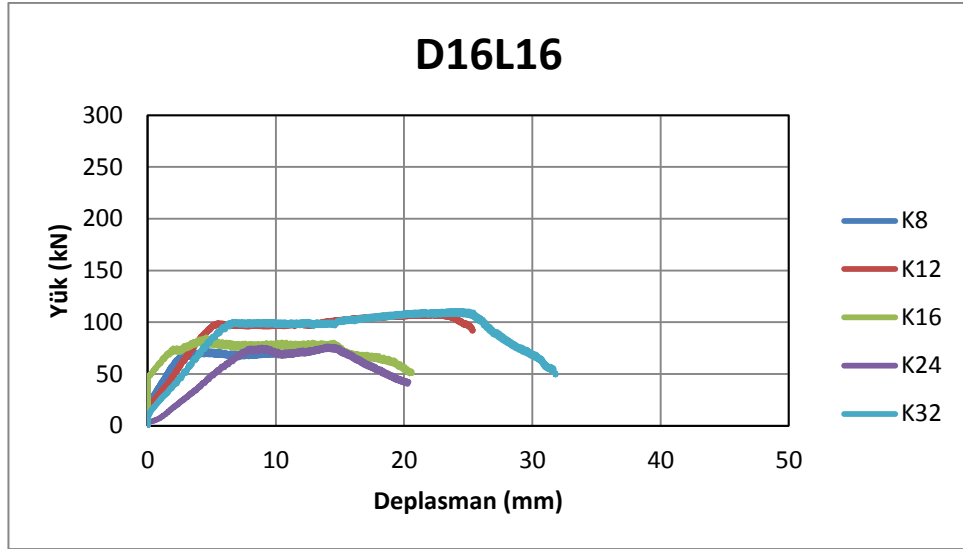
16 mm çapa sahip ankraj çubuklarının değişen kenar mesafelerinde (K= 8, 12, 16, 24 ve 32 cm) 5Φ derinliğe (L=8 cm) ekildiği durum için oluşan yük-deplasman eğrileri Şekil 5.5'te verilmiştir. Bu grupta en küçük çekme yükü değeri 48.5 kN iken en büyük değer 88.7 kN'dur. 16 mm çaplı 8 cm derinliğe ekilen numunelerde genel olarak konik kopma gözlenmiştir.



Şekil 5.5. 16 mm çap ve 8 cm gömme derinliği için yük-deplasman eğrileri.

### 5.1.6. D16L10Φ için yük - deplasman eğrileri

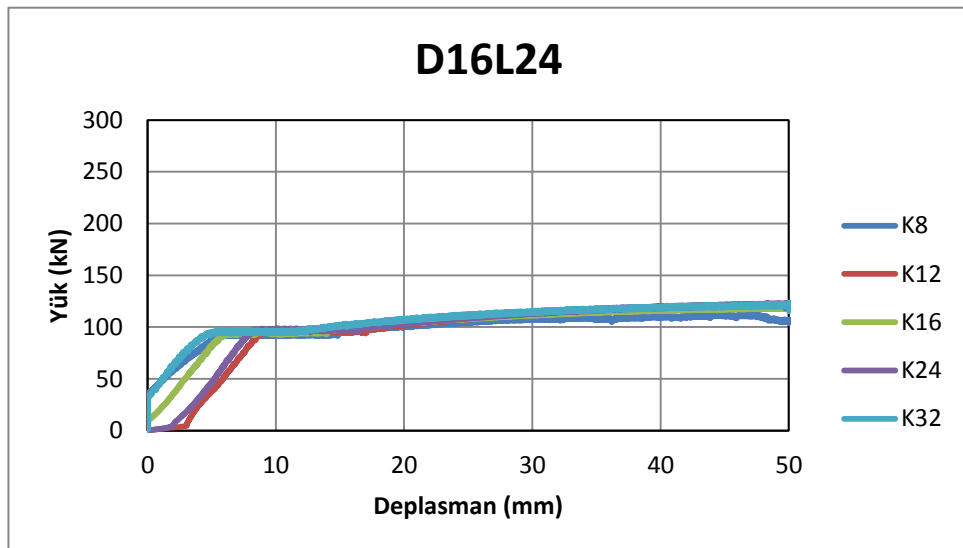
16 mm çapa sahip ankraj çubuklarının değişen kenar mesafelerinde (K= 8, 12, 16, 24 ve 32 cm) 10Φ derinliğe (L=16 cm) ekildiği durum için oluşan yük-deplasman eğrileri Şekil 5.6'da verilmiştir. Bu grupta en küçük çekme yükü değeri 72.5 kN iken en büyük değer 111.11 kN'dur. 16 mm çaplı 8 cm derinliğe ekilen numunelerde genel olarak konik kopma gözlenmiştir.



Şekil 5.6. 16 mm çap ve 16 cm gömme derinliği için yük-deplasman eğrileri.

#### 5.1.7. D16L15Φ için yük - deplasman eğrileri

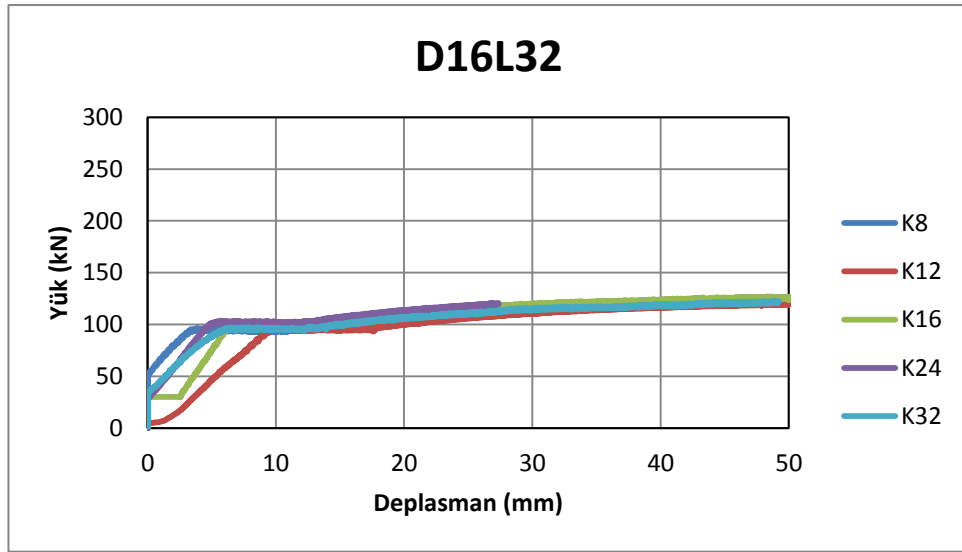
16 mm çapa sahip ankraj çubuklarının değişen kenar mesafelerinde (K= 8, 12, 16, 24 ve 32 cm) 15Φ derinliğe (L=24 cm) ekildiği durum için oluşan yük-deplasman eğrileri Şekil 5.7'de verilmiştir. Bu grupta çekme yükü değerleri 120 kN civarında birbirine çok yakın çıkmıştır. 16 mm çaplı 24 cm derinliğe ekilen numunelerde göçme tipi olarak sıyrılma gözlenmiştir.



Şekil 5.7. 16 mm çap ve 24 cm gömme derinliği için yük-deplasman eğrileri.

### 5.1.8. D16L20Φ için yük - deplasman eğrileri

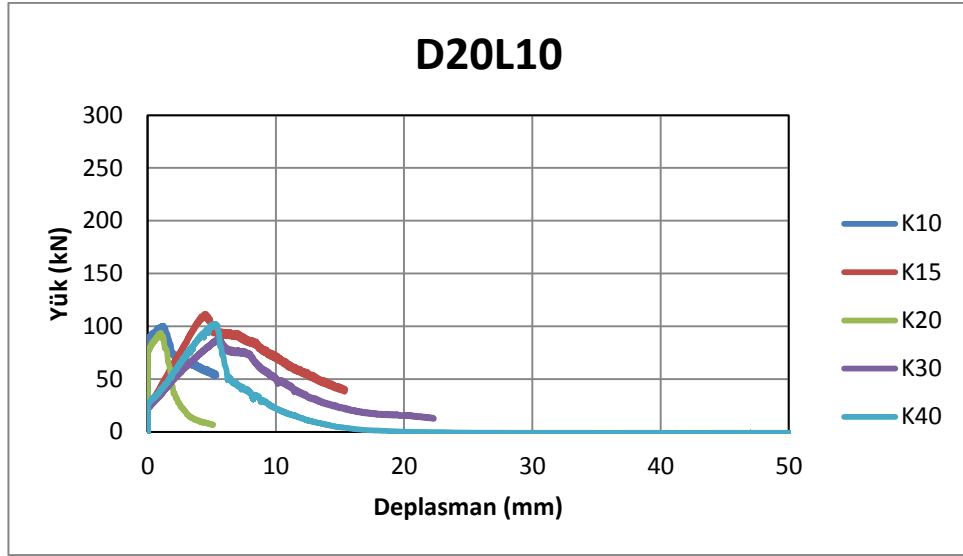
16 mm çapa sahip ankraj çubuklarının değişen kenar mesafelerinde (K= 8, 12, 16, 24 ve 32 cm) 20Φ derinliğe (L=32 cm) ekildiği durum için oluşan yük-deplasman eğrileri Şekil 5.8'de verilmiştir. Bu grupta en küçük çekme yükü değeri 92.7 kN iken en büyük değer 100.8 kN'dur. 16 mm çaplı 32 cm derinliğe ekilen numunelerde genel olarak sıyrılma gözlenmiştir.



Şekil 5.8. 16 mm çap ve 32 cm gömme derinliği için yük-deplasman eğrileri.

### 5.1.9. D20L5Φ için yük - deplasman eğrileri

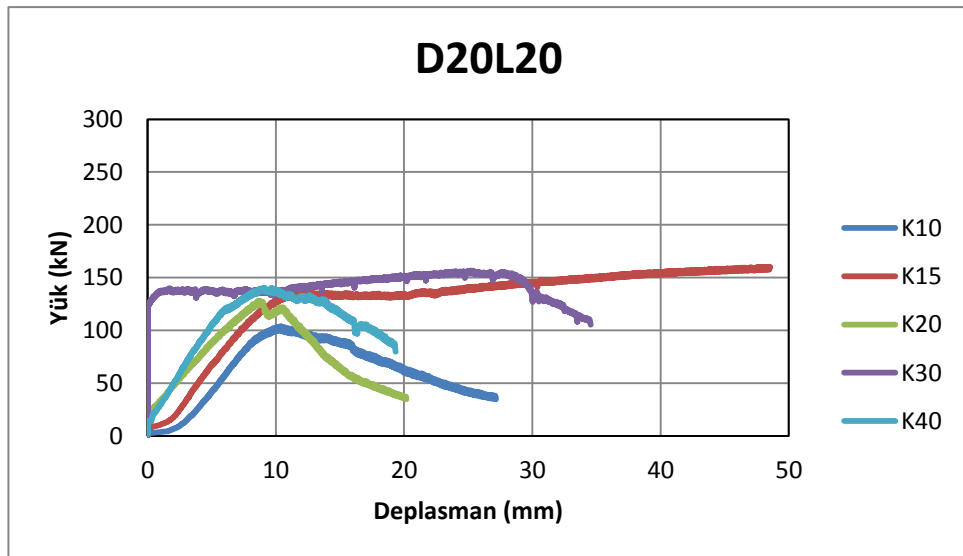
20 mm çapa sahip ankraj çubuklarının değişen kenar mesafelerinde (K= 10, 15, 20, 30 ve 40 cm) 5Φ derinliğe (L=10 cm) ekildiği durum için oluşan yük-deplasman eğrileri Şekil 5.9'da verilmiştir. Bu grupta en küçük çekme yükü değeri 88.1 kN iken en büyük değer 111.7 kN'dur. 20 mm çaplı 10 cm derinliğe ekilen numunelerde genel olarak konik kopma gözlenmiştir.



Şekil 5.9. 20 mm çap ve 10 cm gömme derinliği için yük-deplasman eğrileri.

#### 5.1.10. D20L10Φ için yük - deplasman eğrileri

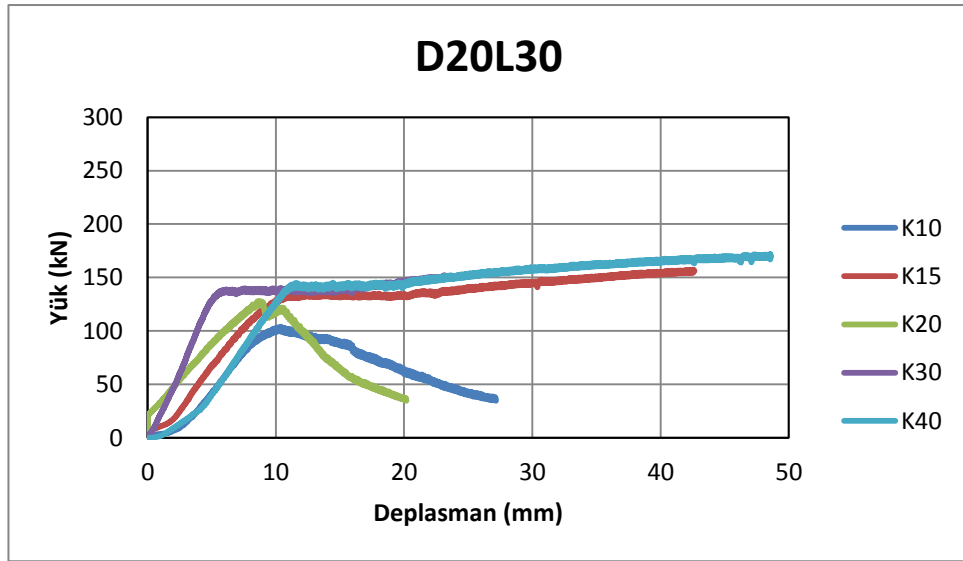
20 mm çapa sahip ankraj çubuklarının değişen kenar mesafelerinde (K= 10, 15, 20, 30 ve 40 cm) 10Φ derinliğe (L=20 cm) ekildiği durum için oluşan yük-deplasman eğrileri Şekil 5.10'da verilmiştir. Bu grupta konik kopma ve sıyrılmanın birlikte olduğu göçme tipi hakim olmuştur.



Şekil 5.10. 20 mm çap ve 20 cm gömme derinliği için yük-deplasman eğrileri.

### 5.1.11. D20L15Φ için yük - deplasman eğrileri

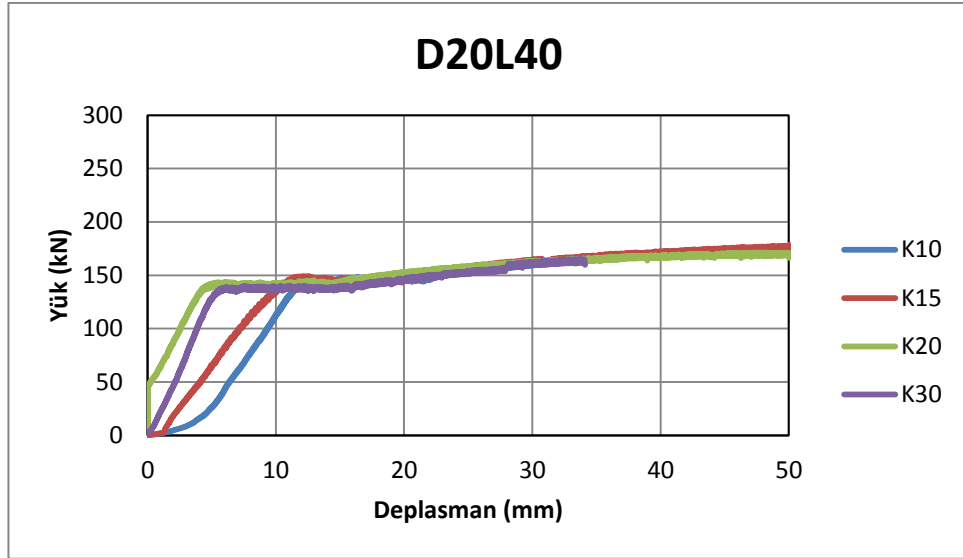
20 mm çapa sahip ankraj çubuklarının değişen kenar mesafelerinde (K= 10, 15, 20, 30 ve 40 cm) 15Φ derinliğe (L=30 cm) ekildiği durum için oluşan yük-deplasman eğrileri Şekil 5.11’de verilmiştir. Bu grupta en küçük çekme yükü değeri 131.2 kN iken en büyük değer 140.9 kN’dur. 20 mm çaplı 30 cm derinliğe ekilen numunelerde genel olarak sıyrılma gözlenmiştir.



Şekil 5.11. 20 mm çap ve 30 cm gömme derinliği için yük-deplasman eğrileri.

### 5.1.12. D20L20Φ için yük - deplasman eğrileri

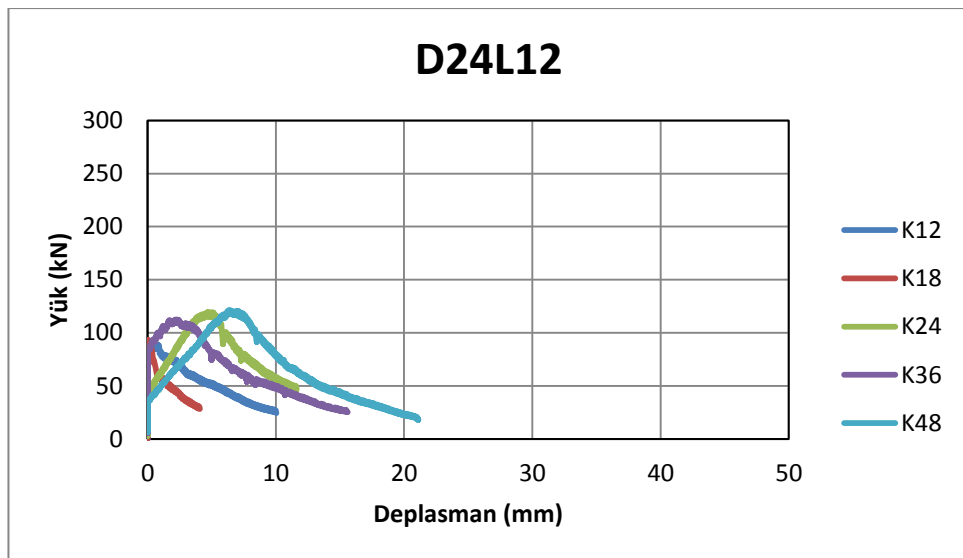
20 mm çapa sahip ankraj çubuklarının değişen kenar mesafelerinde (K= 10, 15, 20, 30 ve 40 cm) 20Φ derinliğe (L=40 cm) ekildiği durum için oluşan yük-deplasman eğrileri Şekil 5.12’de verilmiştir. Bu grupta çekme yükü değerleri 140 kN civarında birbirine çok yakın çıkmıştır. 20 mm çaplı 40 cm derinliğe ekilen numunelerde göçme tipi olarak sıyrılma gözlenmiştir.



Şekil 5.12. 20 mm çap ve 40 cm gömme derinliği için yük-deplasman eğrileri.

### 5.1.13. D24L5Φ için yük - deplasman eğrileri

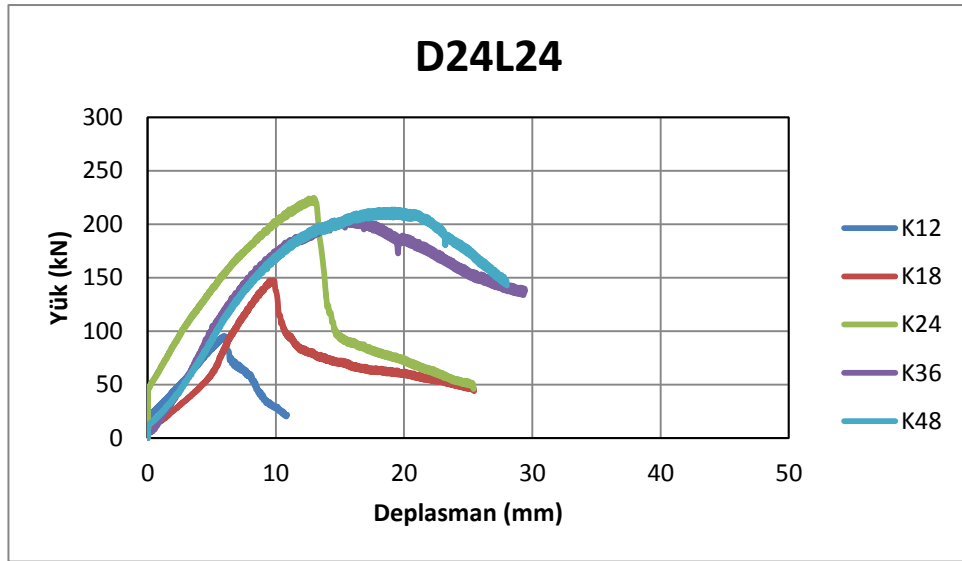
24 mm çapa sahip ankraj çubuklarının değişen kenar mesafelerinde ( $K= 12, 18, 24, 36$  ve  $48$  cm)  $20\Phi$  derinliğe ( $L=12$  cm) ekildiği durum için oluşan yük-deplasman eğrileri Şekil 5.13'te verilmiştir. 24 mm çaplı 12 cm derinliğe ekilen tüm numunelerde konik kopma gözlenmiştir.



Şekil 5.13. 24 mm çap ve 12 cm gömme derinliği için yük-deplasman eğrileri.

#### 5.1.14. D24L10Φ için yük - deplasman eğrileri

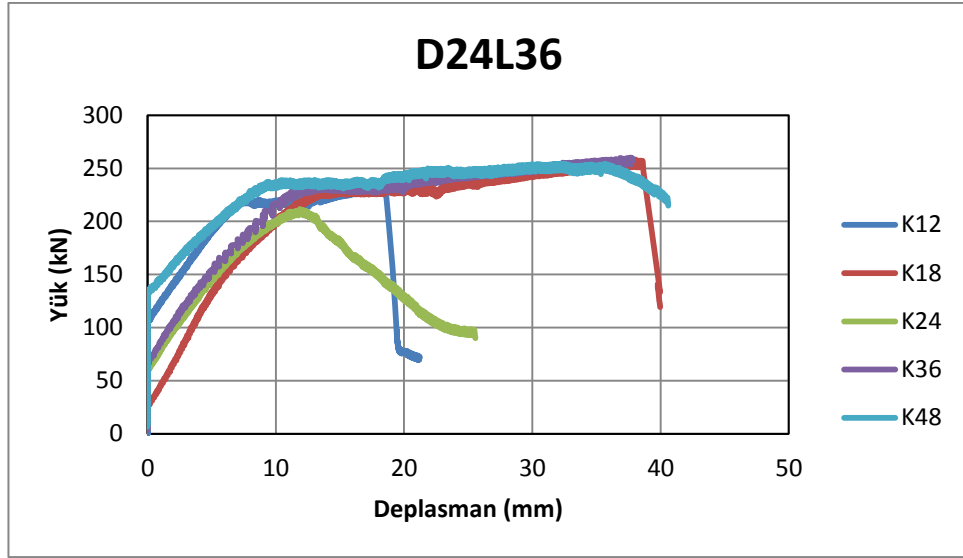
24 mm çapa sahip ankraj çubuklarının değişen kenar mesafelerinde (K= 12, 18, 24, 36 ve 48 cm) 20Φ derinliğe (L=24 cm) ekildiği durum için oluşan yük-deplasman eğrileri Şekil 5.14'te verilmiştir. Bu grupta en küçük çekme yükü değeri 95.4 kN iken en büyük değer 224.8 kN'dur. 24 mm çaplı 24 cm derinliğe ekilen numunelerde genel olarak konik kopma gözlenmiştir.



Şekil 5.14. 24 mm çap ve 24 cm gömme derinliği için yük-deplasman eğrileri.

#### 5.1.15. D24L15Φ için yük - deplasman eğrileri

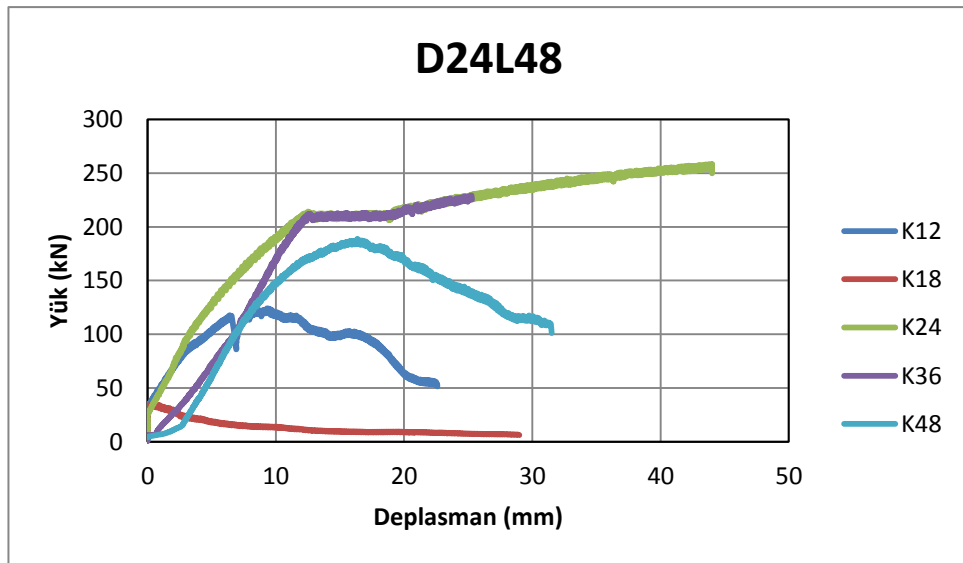
24 mm çapa sahip ankraj çubuklarının değişen kenar mesafelerinde (K= 12, 18, 24, 36 ve 48 cm) 20Φ derinliğe (L=36 cm) ekildiği durum için oluşan yük-deplasman eğrileri Şekil 5.15'te verilmiştir. Bu grupta en küçük çekme yükü değeri 211.6 kN iken en büyük değer 258.3 kN'dur. 24 mm çaplı 36 cm derinliğe ekilen numunelerde genel olarak konik kopma ve sıyrılma birlikte gözlenmiştir.



Şekil 5.15. 24 mm çap ve 36 cm gömme derinliği için yük-deplasman eğrileri.

#### 5.1.16. D24L20Φ için yük - deplasman eğrileri

24 mm çapa sahip ankraj çubuklarının değişen kenar mesafelerinde (K= 12, 18, 24, 36 ve 48 cm) 20Φ derinliğe (L=48 cm) ekildiği durum için oluşan yük-deplasman eğrileri Şekil 5.16'da verilmiştir. 24 mm çaplı 48 cm derinliğe ekilen numunelerde genel olarak konik kopma ve sıyrılma birlikte gözlenmiştir.



Şekil 5.16. 24 mm çap ve 48 cm gömme derinliği için yük-deplasman eğrileri.

## 5.2. Göçme Modları

Bu bölümde ankraj çapının, gömme derinliğinin ve kenar mesafesinin değişken olduğu 80 adet numuneye ait göçme modları verilmiştir.

### 5.2.1. D12 için göçme modları

12 mm çapa sahip ankraj çubuklarında yapılan aksenal çekme deneyleri sonucunda oluşan göçme modları Çizelge 5.1’de verilmiştir. 5Φ derinlikte ekilen numunelerde konik kopma, derinliğin artmasıyla da konik kopma + sıyırılmanın olduğu, 15Φ derinlikte ekilen tüm numunelerde de sıyırılma gözlenmiştir.

**Çizelge 5.1.** 12 mm çapa sahip ankraj çubukları için göçme modları.

Numune adı	Çap D (mm)	Derinlik L (mm)	Kenar mesafesi K (mm)	Göçme yükü kN	Göçme modu
D12L6K6	12	60	60	37.9	Konik kopma + sıyırılma
D12L6K9	12	60	90	43.3	Konik kopma
D12L6K12	12	60	120	48.4	Konik kopma
D12L6K18	12	60	180	46.2	Konik kopma
D12L6K24	12	60	240	43.1	Konik kopma
D12L12K6	12	120	60	50.5	Konik kopma
D12L12K9	12	120	90	57.5	Sıyırılma
D12L12K12	12	120	120	44.1	Konik kopma + sıyırılma
D12L12K18	12	120	180	67.0	Konik kopma + sıyırılma
D12L12K24	12	120	240	57.6	Konik kopma + sıyırılma
D12L18K6	12	180	60	57.9	Sıyırılma
D12L18K9	12	180	90	55.6	Sıyırılma
D12L18K12	12	180	120	54.2	Sıyırılma
D12L18K18	12	180	180	55.1	Sıyırılma
D12L18K24	12	180	240	57.7	Sıyırılma
D12L24K6	12	240	60	53.3	Sıyırılma
D12L24K9	12	240	90	52.8	Sıyırılma
D12L24K12	12	240	120	54.9	Konik kopma + sıyırılma
D12L24K18	12	240	180	56.3	Sıyırılma
D12L24K24	12	240	240	55.9	Konik kopma + sıyırılma

### 5.2.2. D16 için göçme modları

16 mm çapa sahip ankraj çubuklarında yapılan aksenal çekme deneyleri sonucunda oluşan göçme modları Çizelge 5.2’de verilmiştir. Numunelerin çoğunda konik kopma gözlenmiştir. 5 $\Phi$  derinlikte ekilen numunelerde konik kopma, derinliğin artmasıyla da konik kopma + sıyrılmanın olduğu gözlenmiştir. Derinliğin 20 $\Phi$  olduğu tüm numunelerde sıyrılma oluşmuştur.

**Çizelge 5.2.** 16 mm çapa sahip ankraj çubukları için göçme modları.

Numune adı	Çap D (mm)	Derinlik L (mm)	Kenar mesafesi K (mm)	Göçme yükü kN	Göçme modu
D16L8K8	16	80	80	48.5	Konik kopma
D16L8K12	16	80	120	56.5	Konik kopma
D16L8K16	16	80	160	73.4	Konik kopma
D16L8K24	16	80	240	88.7	Konik kopma
D16L8K32	16	80	320	66.8	Konik kopma
D16L16K8	16	160	80	72.5	Sıyrılma
D16L16K12	16	160	120	108.3	Konik kopma + sıyrılma
D16L16K16	16	160	160	85.5	Konik kopma + sıyrılma
D16L16K24	16	160	240	74.0	Konik kopma + sıyrılma
D16L16K32	16	160	320	111.11	Konik kopma + sıyrılma
D16L24K8	16	240	80	113.2	Konik kopma + sıyrılma
D16L24K12	16	240	120	123.0	Sıyrılma
D16L24K16	16	240	160	119.9	Sıyrılma
D16L24K24	16	240	240	123.2	Konik kopma + sıyrılma
D16L24K32	16	240	320	123.3	Sıyrılma
D16L32K8	16	320	80	92.7	Sıyrılma
D16L32K12	16	320	120	96.7	Sıyrılma
D16L32K16	16	320	160	100.2	Sıyrılma
D16L32K24	16	320	240	100.8	Sıyrılma
D16L32K32	16	320	320	95.1	Sıyrılma

### 5.2.3. D20 için göçme modları

20 mm çapa sahip ankraj çubuklarında yapılan aksel çekme deneyleri sonucunda oluşan göçme modları Çizelge 5.3'te verilmiştir. 5 $\Phi$  derinlikte ekilen numunelerde konik kopma, derinliğin artmasıyla da konik kopma + sıyrılmanın olduğu gözlenmiştir. Derinliğin 15 ve 20 $\Phi$  olduğu tüm numunelerde sıyrılma oluşmuştur.

**Çizelge 5.3.** 20 mm çapa sahip ankraj çubukları için göçme modları.

Numune adı	Çap D (mm)	Derinlik L (mm)	Kenar mesafesi K (mm)	Göçme yükü kN	Göçme modu
D20L10K10	20	100	100	100.6	Konik kopma
D20L10K15	20	100	150	111.7	Konik kopma
D20L10K20	20	100	200	93.9	Konik kopma
D20L10K30	20	100	300	88.1	Konik kopma
D20L10K40	20	100	400	102.3	Konik kopma
D20L20K10	20	200	100	104.1	Konik kopma
D20L20K15	20	200	150	160.8	Konik kopma + sıyrılma
D20L20K20	20	200	200	128.1	Konik kopma
D20L20K30	20	200	300	156.7	Konik kopma + sıyrılma
D20L20K40	20	200	400	140.4	Konik kopma
D20L30K10	20	300	100	136.7	Konik kopma + sıyrılma
D20L30K15	20	300	150	131.2	Sıyrılma
D20L30K20	20	300	200	135.7	Sıyrılma
D20L30K30	20	300	300	140.3	Sıyrılma
D20L30K40	20	300	400	140.9	Sıyrılma
D20L40K10	20	400	100	145.0	Sıyrılma
D20L40K15	20	400	150	143.0	Sıyrılma
D20L40K20	20	400	200	144.2	Sıyrılma
D20L40K30	20	400	300	140.0	Sıyrılma
D20L40K40	20	400	400	138.1	Sıyrılma

#### 5.2.4. D24 için göçme modları

24 mm çapa sahip ankraj çubuklarında yapılan aksenal çekme deneyleri sonucunda oluşan göçme modları Çizelge 5.4'te verilmiştir. 5 ve 10Φ derinlikte ekilen numunelerde konik kopma, derinliğin artmasıyla da konik kopma + sıyrılmanın birlikte olduğu gözlenmiştir.

**Çizelge 5.4.** 24 mm çapa sahip ankraj çubukları için göçme modları.

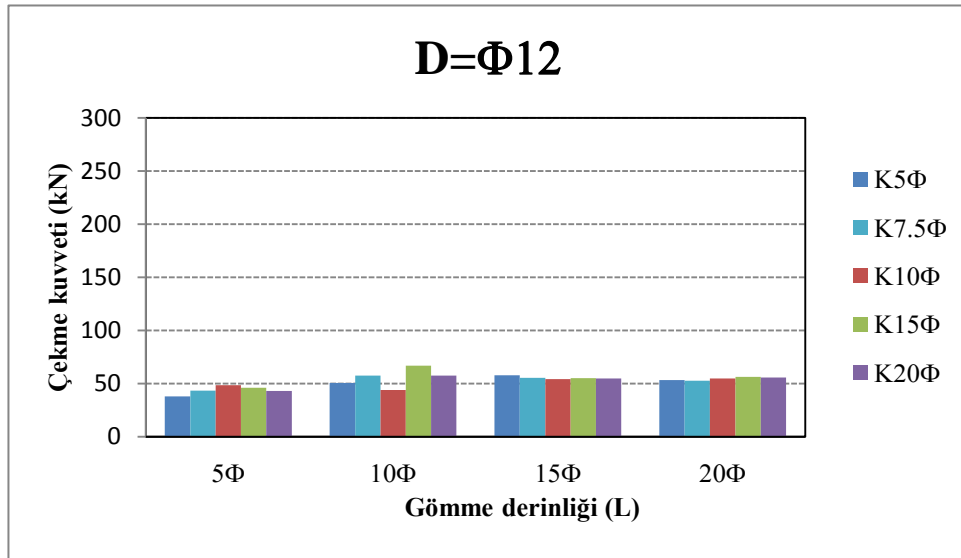
Numune adı	Çap D (mm)	Derinlik L (mm)	Kenar mesafesi K (mm)	Göçme yükü kN	Göçme modu
D24L12K12	24	120	120	89.1	Konik kopma
D24L12K18	24	120	180	93.2	Konik kopma
D24L12K24	24	120	240	119.7	Konik kopma
D24L12K36	24	120	360	112.7	Konik kopma
D24L12K48	24	120	480	121.3	Konik kopma
D24L24K12	24	240	120	95.4	Konik kopma
D24L24K18	24	240	180	147.5	Konik kopma
D24L24K24	24	240	240	224.8	Konik kopma
D24L24K36	24	240	360	205.5	Konik kopma
D24L24K48	24	240	480	213.9	Konik kopma
D24L36K12	24	360	120	235.0	Konik kopma
D24L36K18	24	360	180	258.3	Konik kopma + sıyrılma
D24L36K24	24	360	240	211.6	Konik kopma
D24L36K36	24	360	360	260.8	Konik kopma + sıyrılma
D24L36K48	24	360	480	254.4	Konik kopma + sıyrılma
D24L48K12	24	480	120	124.2	Konik kopma
D24L48K18	24	480	180	35.15	Konik kopma + sıyrılma
D24L48K24	24	480	240	258.2	Sıyrılma
D24L48K36	24	480	360	262.9	Sıyrılma
D24L48K48	24	480	480	188.9	Konik kopma + sıyrılma

### 5.3. Çapın Ankraj Çekme Dayanımına Etkisi

Çalışmada 12, 16, 20 ve 24 mm çapa sahip nervürlü çubuklar kullanılmıştır. Burada çapa göre değerlendirme sunulmuştur.

#### 5.3.1. D12 için değerlendirme

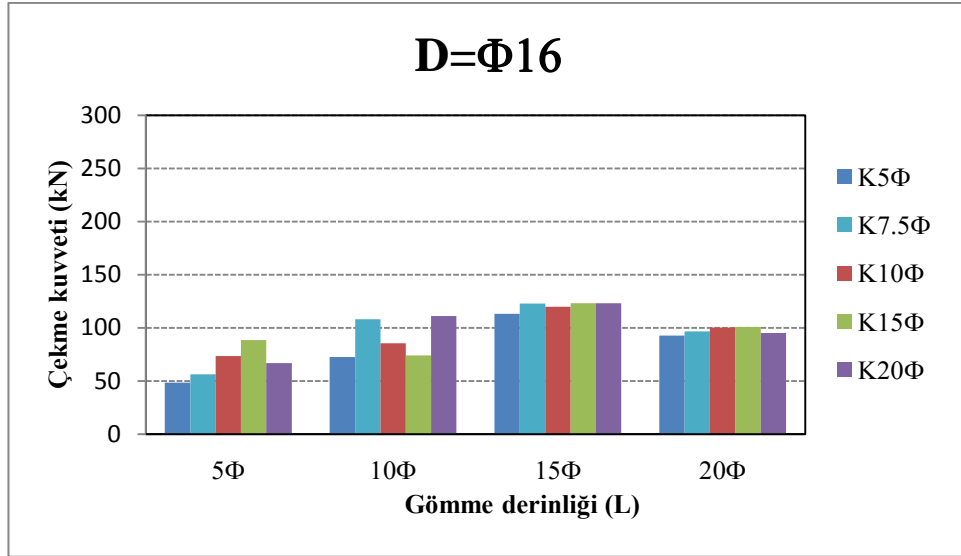
12 mm çapa sahip ankraj çubukları için oluşan aksenal çekme kuvveti değerleri Şekil 5.17’de verilmiştir. 12 mm çapa sahip, 5, 10, 15 ve 20Φ derinlikte ekilen çubuklar için ortalama çekme kuvveti değerleri sırasıyla 43.8, 55.3, 54.2 ve 52.8 kN’dur.



Şekil 5.17. 12 mm çapa sahip ankraj çubukları için çekme kuvveti değerleri.

#### 5.3.2. D16 için değerlendirme

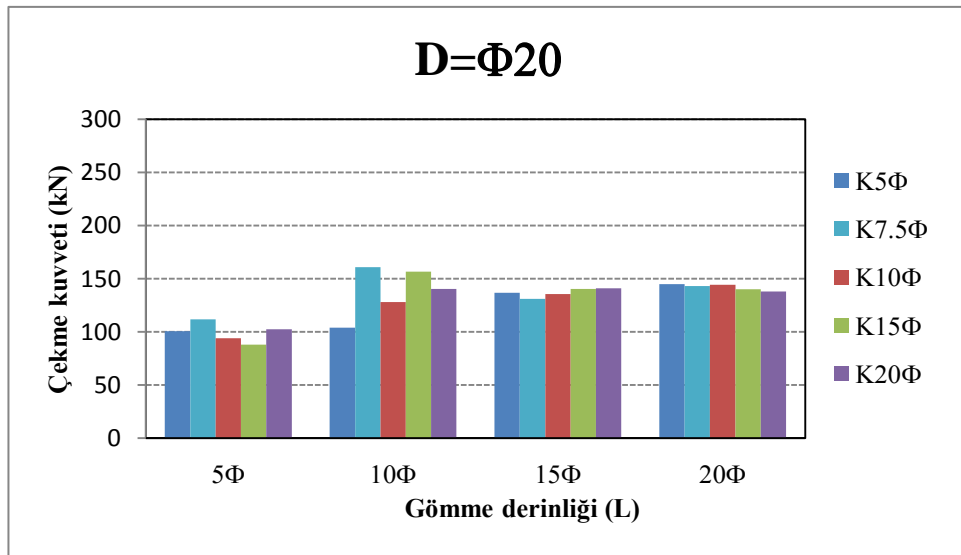
16 mm çapa sahip ankraj çubukları için oluşan aksenal çekme kuvveti değerleri Şekil 5.18’te verilmiştir. 16 mm çapa sahip, 5, 10, 15 ve 20Φ derinlikte ekilen çubuklar için ortalama çekme kuvveti değerleri sırasıyla 66.8, 90.3, 120.5 ve 97.1 kN’dur.



Şekil 5.18. 16 mm çapa sahip ankraj çubukları için çekme kuvveti değerleri.

### 5.3.3. D20 için değerlendirme

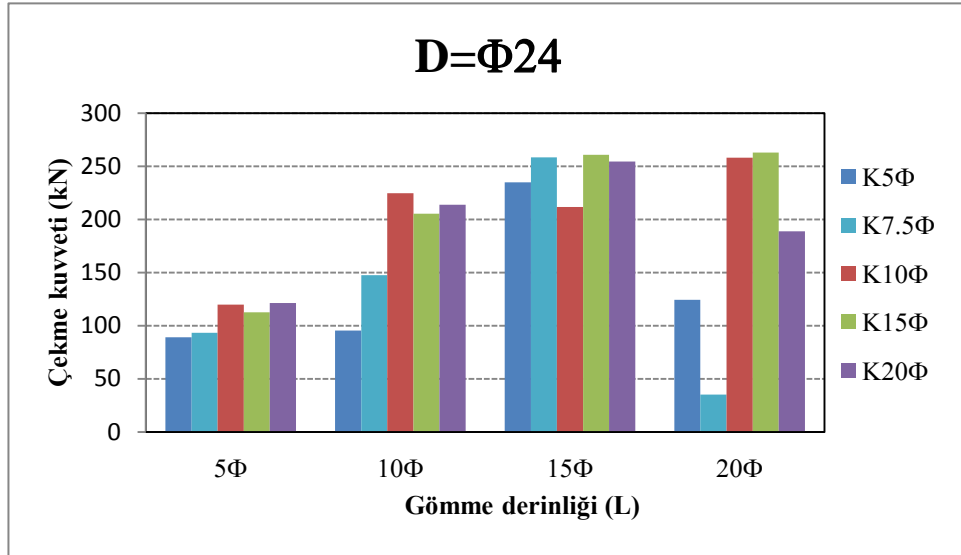
20 mm çapa sahip ankraj çubukları için oluşan aksenal çekme kuvveti değerleri Şekil 5.19'da verilmiştir. 20 mm çapa sahip, 5, 10, 15 ve 20Φ derinlikte ekilen çubuklar için ortalama çekme kuvveti değerleri sırasıyla 99.3, 104.1, 131.2 ve 138.2 kN'dur.



Şekil 5.19. 20 mm çapa sahip ankraj çubukları için çekme kuvveti değerleri.

### 5.3.4. D24 için değerlendirme

24 mm çapa sahip ankraj çubukları için oluşan aksenal çekme kuvveti değerleri Şekil 5.20’de verilmiştir. 24 mm çapa sahip, 5, 10, 15 ve 20Φ derinlikte ekilen çubuklar için ortalama çekme kuvveti değerleri sırasıyla 107.2, 177.4, 244.0 ve 173.9 kN’dur.



Şekil 5.20. 24 mm çapa sahip ankraj çubukları için çekme kuvveti değerleri.

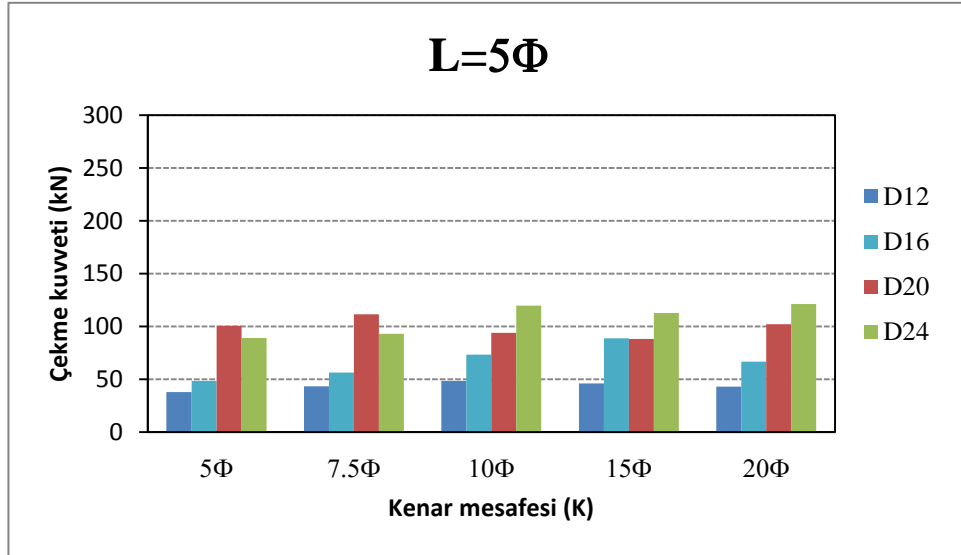
Çapa göre genel bir değerlendirme yapılırsa 12, 16, 20 ve 24 mm çapa sahip ankraj çubuklarının 5Φ derinliğe ekildiği durumda oluşan ortalama çekme kuvveti değerleri 43.8, 66.8, 99.3 ve 107.2 kN olarak bulunmuştur. 10Φ derinlik için değerler; 55.3, 90.3, 104.1 ve 177.4 kN, 15Φ derinlik için değerler; 54.2, 120.5, 131.2, 244.0 kN ve 20Φ derinlik için bulunan ortalama çekme kuvveti değerleri de 52.8, 97.1, 138.2 ve 173.9 kN’dur. Çap büyüdükçe aksenal çekme kuvveti de artmaktadır.

### 5.4. Ekme Derinliğinin Ankraj Çekme Dayanımına Etkisi

Çalışma kapsamında kullanılan ekme derinlikleri çapın 5, 10, 15 ve 20 katıdır. 12 mm çapa sahip çubuklar için ekme derinlikleri 6, 12, 18 ve 24 cm’dir. 16 mm çaplı çubuklar için 8, 16, 24 ve 32 cm; 20 mm çaplı çubuklar için 10, 20, 30 ve 40 cm; 24 cm çaplı çubuklarda ekme derinlikleri ise 12, 24, 36 ve 48 cm’dir.

#### 5.4.1. 5Φ derinliğe ekilen ankrajlar

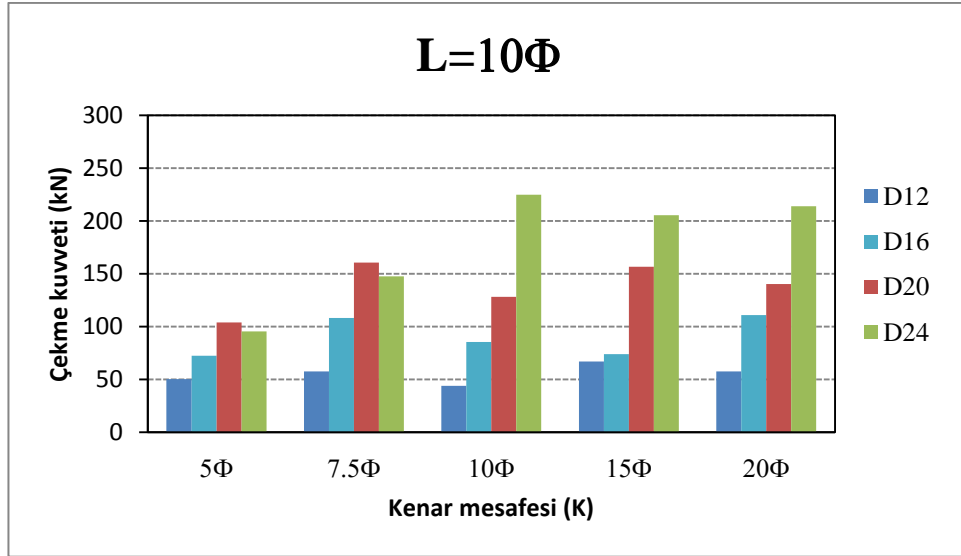
5Φ derinliğe ekilen ankrajlar için oluşan aksenal çekme kuvveti değerleri Şekil 5.21'de verilmiştir. 5Φ derinliğe ekilen 5, 7.5, 10, 15 ve 20Φ kenar mesafesinde ekilen çubuklar için ortalama çekme kuvveti değerleri sırasıyla 69.0, 76.2, 83.9, 83.9 ve 83.4 kN'dur.



Şekil 5. 21. Ekme derinliği 5Φ olan numunelerde çekme kuvveti.

#### 5.4.2. 10Φ derinliğe ekilen ankrajlar

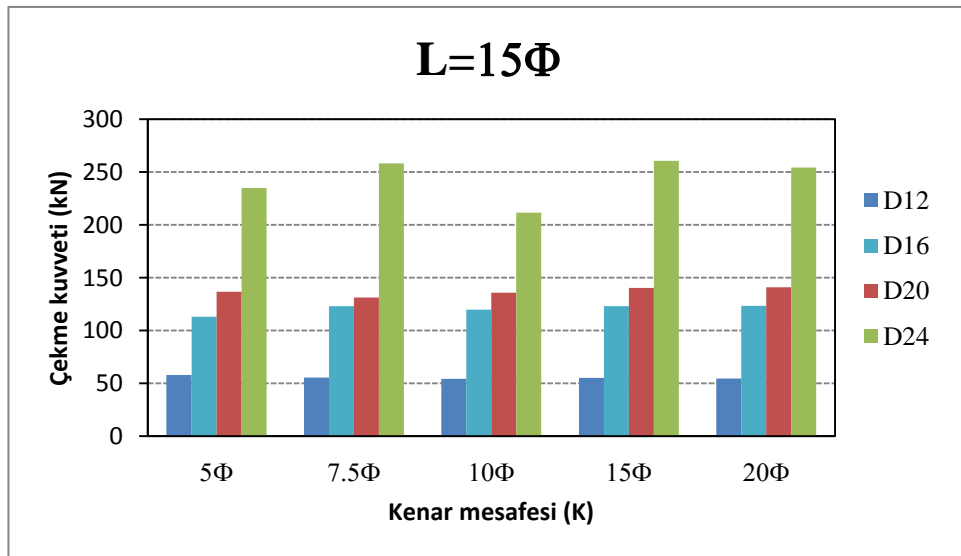
10Φ derinliğe ekilen ankrajlar için oluşan aksenal çekme kuvveti değerleri Şekil 5.22'de verilmiştir. 10Φ derinliğe ekilen 5, 7.5, 10, 15 ve 20Φ kenar mesafesinde ekilen çubuklar için ortalama çekme kuvveti değerleri sırasıyla 80.6, 118.5, 120.6, 128.8 ve 130.8 kN'dur.



Şekil 5. 22. Ekme derinliği 10Φ olan numunelerde çekme kuvveti.

#### 5.4.3. 15Φ derinliğe ekilen ankrajlar

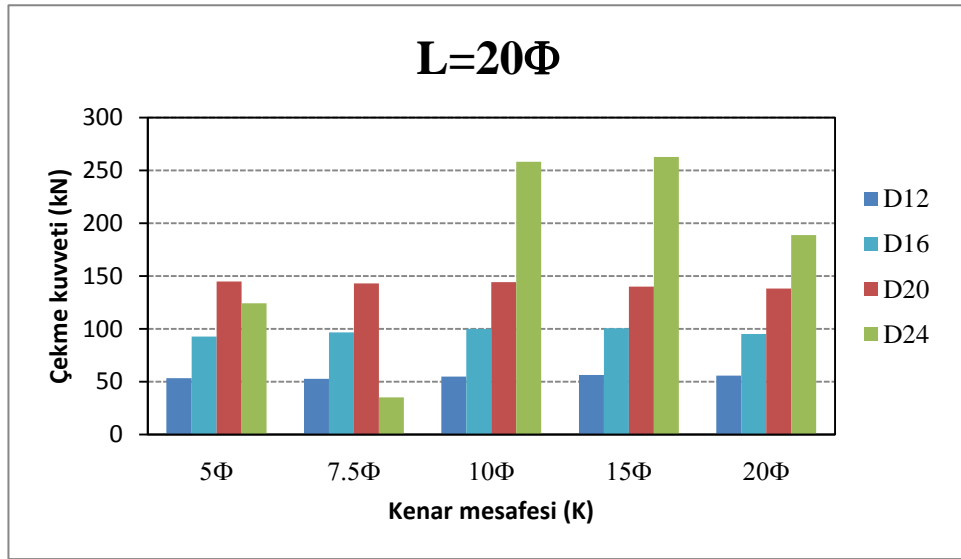
15Φ derinliğe ekilen ankrajlar için oluşan aksel çekme kuvveti değerleri Şekil 5.23'te verilmiştir. 15Φ derinliğe ekilen 5, 7.5, 10, 15 ve 20Φ kenar mesafesinde ekilen çubuklar için ortalama çekme kuvveti değerleri sırasıyla 135.7, 140.0, 130.4, 144.9 ve 143.3 kN'dur.



Şekil 5. 23. Ekme derinliği 15Φ olan numunelerde çekme kuvveti

#### 5.4.4. 20Φ derinliğe ekilen ankrajlar

20Φ derinliğe ekilen ankrajlar için oluşan aksenal çekme kuvveti değerleri Şekil 5.24'de verilmiştir. 20Φ derinliğe ekilen ankrajlar değerlendirildiğinde genel olarak kenar mesafesi arttıkça çekme kuvvetinin arttığı görülmüştür. 20Φ derinliğe ekilen 5, 7.5, 10, 15 ve 20Φ kenar mesafesinde ekilen çubuklar için ortalama çekme kuvveti değerleri sırasıyla 103.8, 81.9, 139.4, 140.0, 119.5 kN'dur.



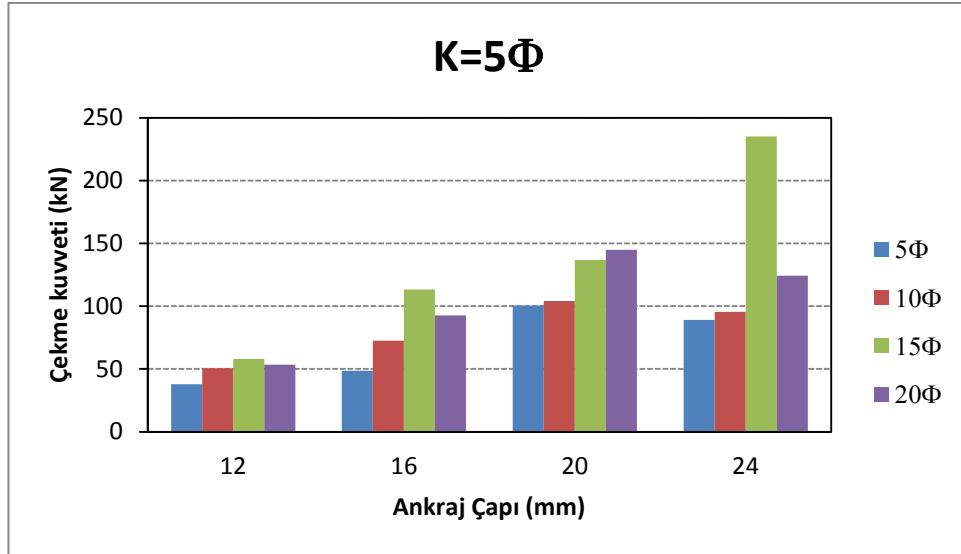
Şekil 5. 24. Ekme derinliği 20Φ olan numunelerde çekme kuvveti.

#### 5.5. Kenar Mesafesinin Ankraj Çekme Dayanımına Etkisi

Çalışma kapsamında kullanılan kenar mesafeleri çapın 5, 7.5, 10, 15 ve 20 katıdır. 12 mm çapa sahip çubuklar için kenar mesafeleri 6, 9, 12, 18 ve 24 cm'dir. 16 mm çaplı çubuklar için 8, 12, 16, 24 ve 32 cm; 20 mm çaplı çubuklar için 10, 15, 20, 30 ve 40 cm; 24 cm çaplı çubuklarda kenar mesafeleri ise 12, 18, 24, 36 ve 48 cm'dir.

##### 5.5.1. Kenar mesafesi 5Φ olan ankrajlar

Beton kenarından 5Φ uzaklığa ekilen ankrajlar için oluşan aksenal çekme kuvveti değerleri Şekil 5.25'te verilmiştir.

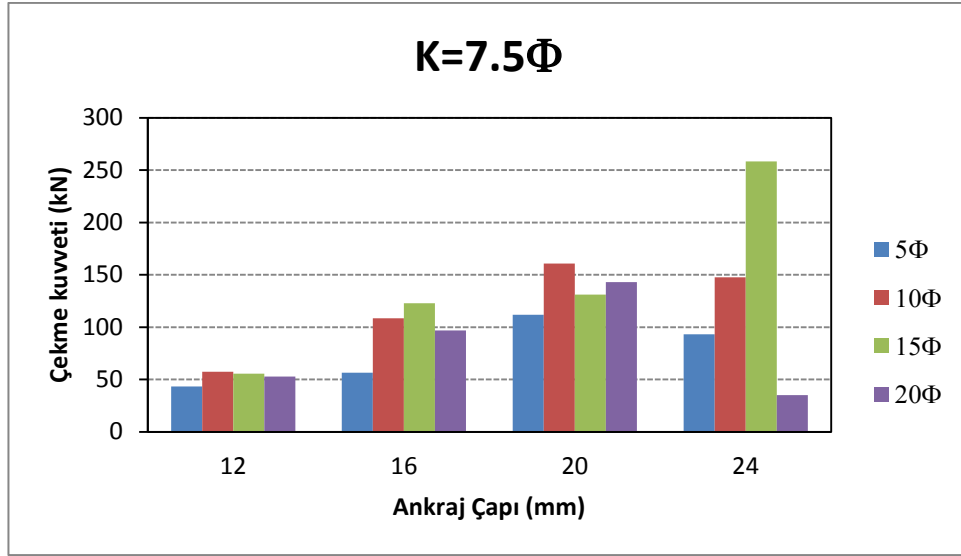


Şekil 5. 25. Kenar mesafesi  $5\Phi$  olan numunelerde çekme kuvveti.

$5\Phi$  kenar mesafesinde 12, 16, 20 ve 24 mm çapa sahip ankrajların ortalama dayanımları sırası ile 37.9, 81.7, 121.6 ve 135.9 kN'dur.  $5\Phi$  kenar mesafesinde 5, 10, 15 ve 20 $\Phi$  derinliklere ekilen ankrajların ortalama dayanımları ise 69.0, 80.6, 135.7 ve 103.8 kN olarak bulunmuştur. Kenar mesafesi olarak çapın 5 katı bırakıldığı durum için yapılan 16 adet deneyin ortalaması da 92.3 kN'dur.

### 5.5.2. Kenar mesafesi $7.5\Phi$ olan ankrajlar

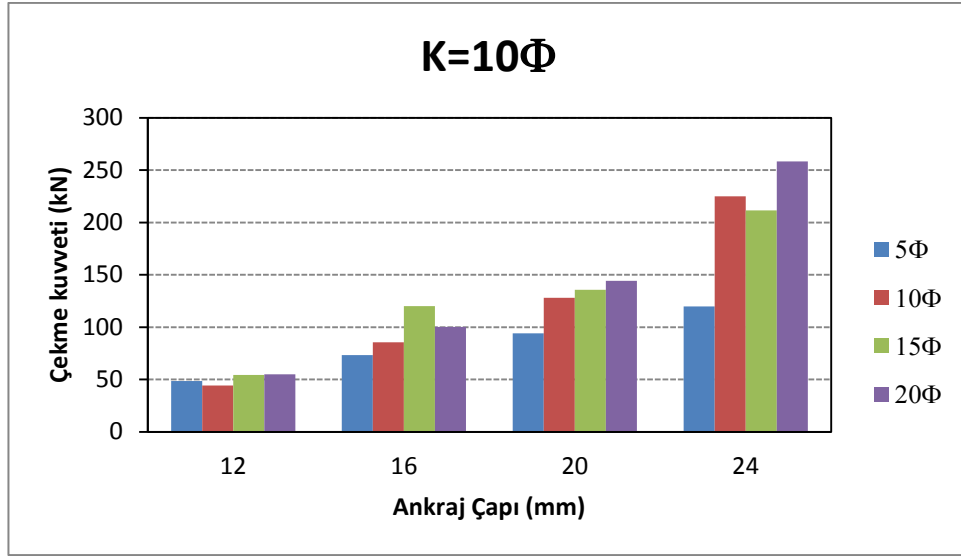
Beton kenarından  $7.5\Phi$  uzaklığa ekilen ankrajlar için oluşan aksenal çekme kuvveti değerleri Şekil 5.26'da verilmiştir.  $7.5\Phi$  kenar mesafesinde 12, 16, 20 ve 24 mm çapa sahip ankrajların ortalama dayanımları sırası ile 69.0, 80.6, 135.7 ve 103.8 kN'dur.  $7.5\Phi$  kenar mesafesinde 5, 10, 15 ve 20 $\Phi$  derinliklere ekilen ankrajların ortalama dayanımları ise 76.2, 118.5, 142.0 ve 81.9 kN olarak bulunmuştur. Kenar mesafesi olarak çapın 7.5 katı bırakıldığı durum için yapılan 16 adet deneyin ortalaması da 112.2 kN'dur.



Şekil 5. 26. Kenar mesafesi 7.5Φ olan numunelerde çekme kuvveti.

### 5.5.3. Kenar mesafesi 10Φ olan ankrajlar

Beton kenarından 10Φ uzaklığa ekilen ankrajlar için oluşan aksenal çekme kuvveti değerleri Şekil 5.27'de verilmiştir. 10Φ kenar mesafesinde 12, 16, 20 ve 24 mm çapa sahip ankrajların ortalama dayanımları sırası ile 50.4, 94.8, 125.5 ve 203.6 kN'dur. 10Φ kenar mesafesinde 5, 10, 15 ve 20Φ derinliklere ekilen ankrajların ortalama dayanımları ise 83.9, 120.6, 130.4 ve 139.4 kN olarak bulunmuştur. Kenar mesafesi olarak çapın 10 katı bırakıldığı durum için yapılan 16 adet deneyin ortalaması da 118.6 kN'dur.



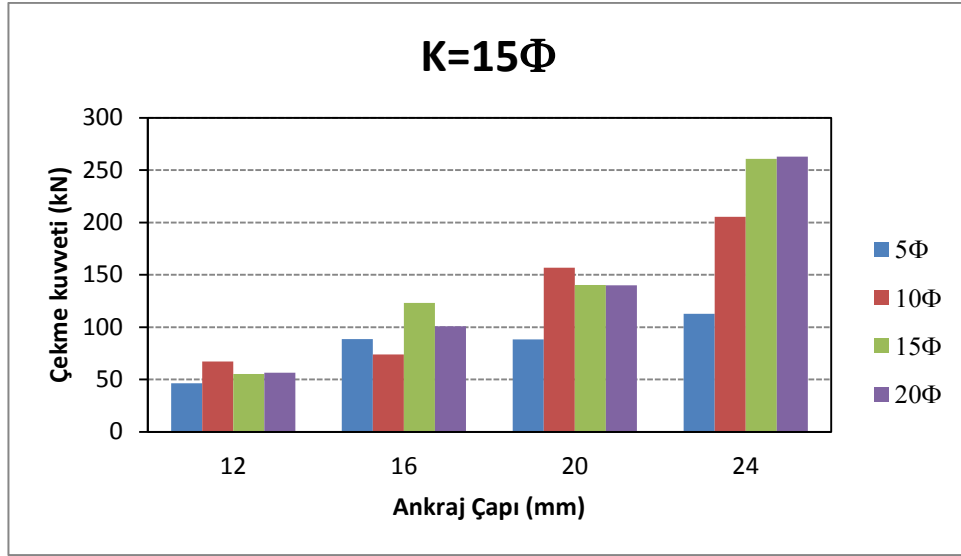
Şekil 5. 27. Kenar mesafesi 10Φ olan numunelerde çekme kuvveti.

#### 5.5.4. Kenar mesafesi 15Φ olan ankrajlar

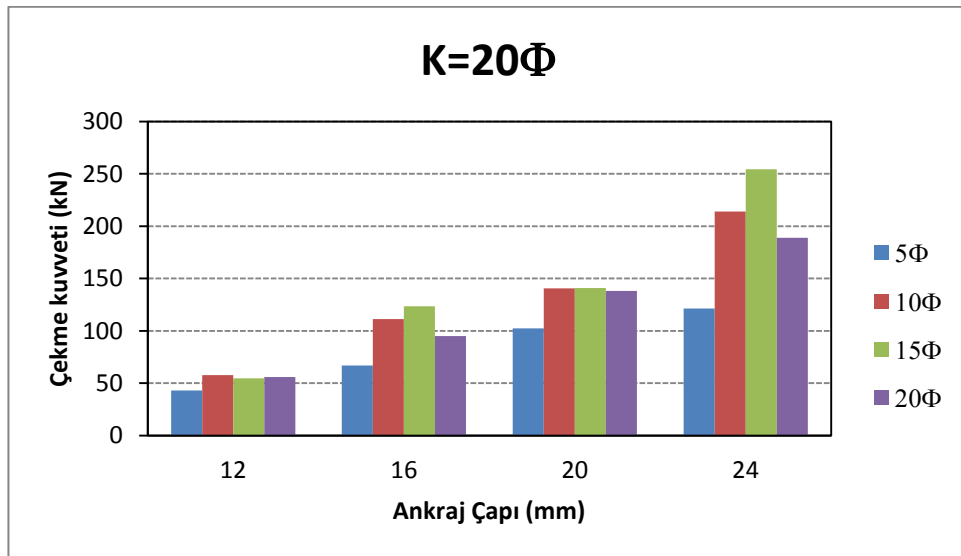
Beton kenarından 15Φ uzaklığa ekilen ankrajlar için oluşan aksenal çekme kuvveti değerleri Şekil 5.28'de verilmiştir. 15Φ kenar mesafesinde 12, 16, 20 ve 24 mm çapa sahip ankrajların ortalama dayanımları sırası ile 56.2, 96.7, 131.3 ve 210.5 kN'dur. 15Φ kenar mesafesinde 5, 10, 15 ve 20Φ derinliklere ekilen ankrajların ortalama dayanımları ise 83.9, 125.8, 144.9 ve 140.0 kN olarak bulunmuştur. Kenar mesafesi olarak çapın 15 katı bırakıldığı durum için yapılan 16 adet deneyin ortalaması da 123.6 kN'dur.

#### 5.5.5. Kenar mesafesi 20Φ olan ankrajlar

Beton kenarından 20Φ uzaklığa ekilen ankrajlar için oluşan aksenal çekme kuvveti değerleri Şekil 5.29'da verilmiştir. 20Φ kenar mesafesinde 12, 16, 20 ve 24 mm çapa sahip ankrajların ortalama dayanımları sırası ile 52.8, 99.1, 130.4 ve 194.6 kN'dur. 20Φ kenar mesafesinde 5, 10, 15 ve 20Φ derinliklere ekilen ankrajların ortalama dayanımları ise 83.4, 130.8, 143.3 ve 119.5 kN olarak bulunmuştur. Kenar mesafesi olarak çapın 20 katı bırakıldığı durum için yapılan 16 adet deneyin ortalaması da 119.2 kN'dur.



Şekil 5. 28. Kenar mesafesi 15Φ olan numunelerde çekme kuvveti.



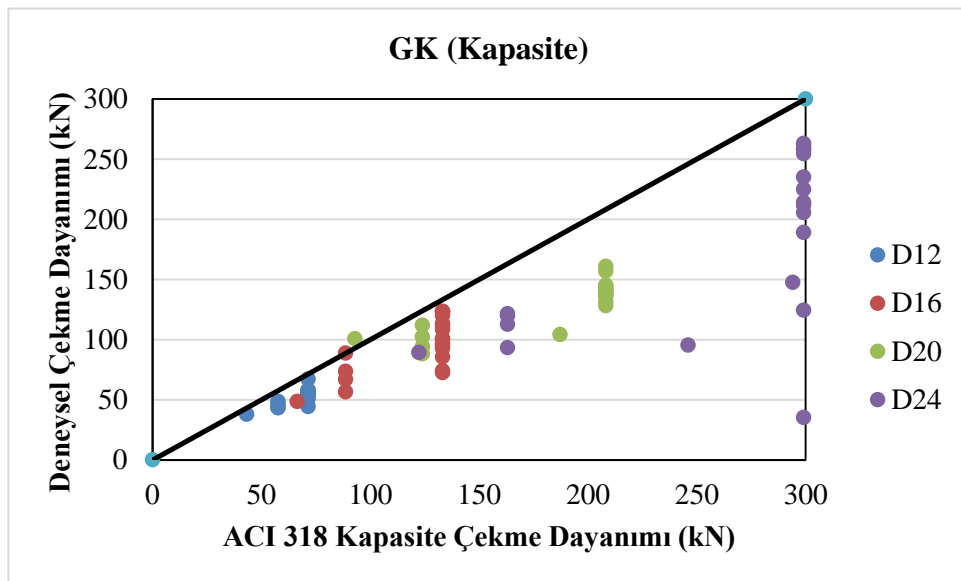
Şekil 5. 29. Kenar mesafesi 20Φ olan numunelerde çekme kuvveti.

### 5.6. ACI 318'e göre Güvenlik Katsayıları (GK)

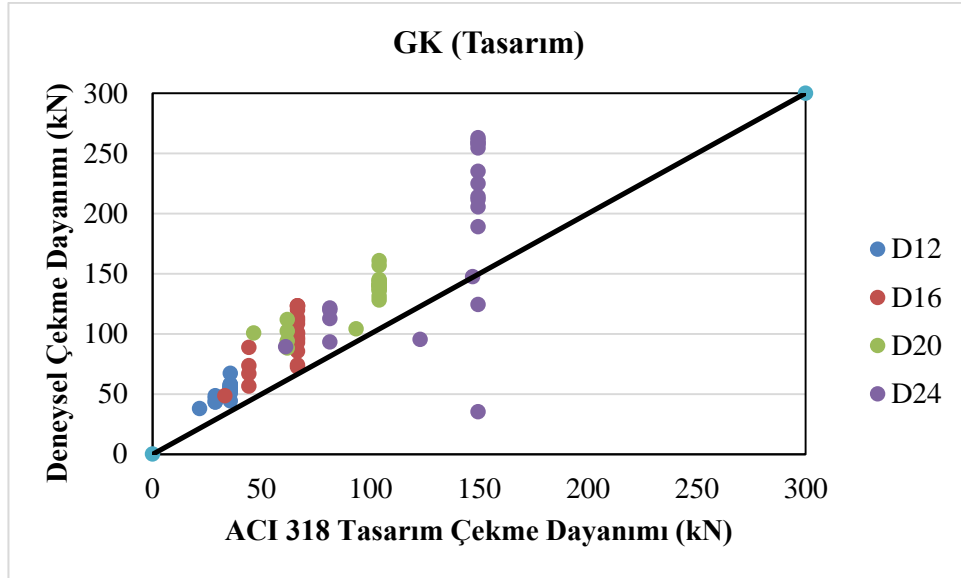
ACI 318 Ek-D'de tanımlı ankraj kapasite ve tasarım çekme dayanımları deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Kapasite çekme dayanımlarına göre güvenlik katsayıları Şekil 5.30'da verilmiştir. Kapasite değerlerinin azaltma katsayısıyla çarpılarak bulunan tasarım çekme dayanımlarına göre oluşan güvenlik katsayıları da Şekil 5.31'de sunulmuştur.

Kapasite çekme değerlerine göre güvenlik katsayıları değerlendirildiğinde 12 mm çapa sahip ankrajlarda 0.78, 16 mm çaplı ankrajlarda 0.77, 20 mm çaplı ankrajlarda 0.72 ve 24 mm çaplı ankrajlarda ise 0.62 olarak bulunmuştur.

0.50 olarak belirlenmiş azaltma katsayısıyla çarpılıp elde edilen tasarım çekme değerlerine göre güvenlik katsayıları değerlendirildiğinde 12 mm çapa sahip ankrajlarda 1.56, 16 mm çaplı ankrajlarda 1.55, 20 mm çaplı ankrajlarda 1.43 ve 24 mm çaplı ankrajlarda ise 1.35 olarak bulunmuştur. Çıkan sonuçlara bakıldığında çap büyüdükçe güvenlik katsayısının azaldığı görülmektedir.



Şekil 5.30. Tüm çaplar için güvenlik katsayıları (kapasite).



**Şekil 5.31.** Tüm çaplar için güvenlik katsayıları (tasarım).

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Mevcut yapıların onarım ve güçlendirilmelerinde kimyasal ankrajlar sıklıkla kullanılmaktadır. Ankrajların çekme dayanımını ankraj çapı, ankraj derinliği, serbest kenara olan uzaklığı, yapıştırıcı cinsi, açılan deliklerin temizlik durumları gibi birçok parametre etkilemektedir.

Bu çalışmada, epoksi bazlı kimyasal yapıştırıcı kullanılarak 27 MPa ortalama beton basınç dayanımına sahip beton temellere S420a donatıdan oluşan 80 adet ankraj ekilmiş ve çekme deneyine tabi tutulmuştur. Bu ankrajlar çapın 5, 10, 15 ve 20 katı derinliklerde ve çapın 5, 7.5, 10, 15 ve 20 katı kenardan uzaklığa ekilmiştir. Deneyler sırasında yük ve deplasman değerleri ölçülerek numunelere ait yük – deplasman grafikleri çizilmiş, göçme modları belirlenmiştir. Çapa, ekme derinliğine ve kenar mesafelerine göre değerlendirmeler yapılmıştır. ACI 318 Ek-D'nin öngördüğü kapasite ve tasarım dayanım değerleriyle deney sonuçları karşılaştırılmış ve güvenlik katsayıları bulunmuştur. Burada bulunan sonuçlar özetlenmiştir:

ACI 318 Ek-D'de ankrajların çekme kuvveti ile ilgili olarak üç farklı dayanım tanımlanmıştır. Bunlar; donatı kapasitesi, beton koni kapasitesi ve sıyırılma kapasitesidir. Parametreler göz önünde tutularak formüllerde yerine konur ve üç durum için ankraj kapasiteleri belirlenir. Bu üç dayanım değerinden en küçük olan değer ankraj kapasite dayanımını belirler. Sıyırılma kapasite değerleri çok küçük çıktığı için bu çalışmada dikkate alınmamıştır. Donatı ve beton koni kapasitesi değerlerinden küçük olanı seçilmiştir. Kapasite değeri belirlendikten sonra işçilik ve malzeme değerlerine bağlı olan bir azaltma katsayısıyla çarpılır. Katsayıyla çarpılıp bulunan değer ACI 318 tasarım değeridir. Dayanım azaltma katsayısı ankrajın ekileceği betonun donatılı veya donatısız olmasına, işçilik kalitesine, ortam koşullarından etkilenme durumuna ve güvenilirliğine bağlı olarak değişmektedir. Bu çalışmada bu katsayı 0.5 olarak seçilmiştir. Ankrajların ekileceği taban betonu donatısız, işçilik kalitesi ve ortam koşullarından çok etkilenen, güvenilirliği düşük gibi en olumsuz durumlar düşünülerek ortalama değer alınmıştır. Genel bir değerlendirme yapılırsa ACI 318 Ek-D'ye göre belirlenen tasarım dayanımlarında tüm ankraj çaplarında, 10Φ derinliğe kadar göçme modunu koni kapasitesi belirlerken derinliğin 10Φ olmasından sonra donatı kapasitesi belirlemiştir.

Göçme modları açısından değerlendirme yapılırsa; 80 adet numunenin %38.8'inde konik kopma, %36.2'sinde sıyrılma ve %25'inde de konik kopma + sıyrılma birlikte gözlenmiştir. Delik cidarında yapışma dayanımının aşılması sonucu sıyrılma gerçekleşir. Sıyrılma yükü; kullanılan kimyasal ve betonun özelliklerine ve birbiri ile etkileşimine bağlıdır. Malzemenin yapışma dayanımının yetersiz olması, kötü kür, tozlu yüzeyin temizliğinin yetersizliği gibi durumlarda sıyrılma görülür. Yeteri kadar derin olmayan ankrajlarda betonun çekme gerilmelerini karşılayamadığı durumlarda konik kopma biçiminde göçme mekanizmasına rastlanır. Daha derin ankrajlarda ise sıyrılma ve beraberinde konik kopma biçiminde göçme görülür. Kılcal çatlakların koni biçiminde oluşmaya başlaması ile yapışmaya çalışan boyu aniden kısalan ankrajda, yapışma dayanımına aniden ulaşılması ile konik kopma ve sıyrılma birlikte oluşur.

Çapın ankraj çekme kuvvetine etkisi;

- 12 mm çapa sahip 20 adet deneyin ortalaması 52.3 kN,
- 16 mm çapa sahip 20 adet deneyin ortalaması 93.7 kN,
- 20 mm çapa sahip 20 adet deneyin ortalaması 129.1 kN,
- 24 mm çapa sahip 20 adet deneyin ortalaması 175.6 kN olarak bulunmuştur.

Buradan çap arttıkça çekme kuvvetinin de arttığı görülmektedir.

Çalışma kapsamında kullanılan ekme derinlikleri çapın 5, 10, 15 ve 20 katıdır. 12 mm çapa sahip çubuklar için ekme derinlikleri 6, 12, 18 ve 24 cm dir. 16 mm çaplı çubuklar için 8, 16, 24 ve 32 cm; 20 mm çaplı çubuklar için 10, 20, 30 ve 40 cm; 24 cm çaplı çubuklarda ekme derinlikleri ise 12, 24, 36 ve 48 cm'dir.

- 5Φ derinliğe ekilen 20 adet deneyin ortalaması 79.2 kN olarak bulunmuştur.
- 10Φ derinliğe ekilen 20 adet deneyin ortalaması 115.3 kN,
- 15Φ derinliğe ekilen 20 adet deneyin ortalaması 139.3 kN,
- 20Φ derinliğe ekilen 20 adet deneyin ortalaması 116.9 kN olarak bulunmuştur.

Buradan 15Φ derinliğe kadar çekme kuvvetinin arttığı daha sonra çekme kuvvetinde azalmalar olduğu görülmüştür.

Çalışma kapsamında kullanılan kenar mesafeleri çapın 5, 7.5, 10, 15 ve 20 katıdır. 12 mm çapa sahip çubuklar için kenar mesafeleri 6, 9, 12, 18 ve 24 cm'dir. 16 mm çaplı çubuklar için 8, 12, 16, 24 ve 32 cm; 20 mm çaplı çubuklar için 10, 15, 20, 30 ve 40 cm; 24 cm çaplı çubuklarda kenar mesafeleri ise 12, 18, 24, 36 ve 48 cm'dir.

- Kenar mesafesi olarak çapın 5 katı bırakıldığı durum için yapılan 16 adet deneyin ortalaması 92.3 kN,
- Kenar mesafesi olarak çapın 7.5 katı bırakıldığı durum için yapılan 16 adet deneyin ortalaması 112.2 kN,
- Kenar mesafesi olarak çapın 10 katı bırakıldığı durum için yapılan 16 adet deneyin ortalaması 118.6 kN,
- Kenar mesafesi olarak çapın 15 katı bırakıldığı durum için yapılan 16 adet deneyin ortalaması 123.6 kN,
- Kenar mesafesi olarak çapın 20 katı bırakıldığı durum için yapılan 16 adet deneyin ortalaması 119.2 kN olarak bulunmuştur.

Kenar mesafesinin  $15\Phi$ 'ye kadar çekme kuvvetinde artış olduğu sonrasında ise çok fazla değişmediği gözlenmiştir.

ACI 318 Ek-D'nin öngördüğü kapasite ve tasarım değerlerine göre değerlendirme yaparsak;

- Kapasite çekme değerlerine göre güvenlik katsayıları değerlendirildiğinde 12 mm çapa sahip ankrajlarda 0.78, 16 mm çaplı ankrajlarda 0.77, 20 mm çaplı ankrajlarda 0.72 ve 24 mm çaplı ankrajlarda ise 0.62 olarak bulunmuştur.
- 0.50 olarak belirlenmiş azaltma katsayısıyla çarpılıp elde edilen tasarım çekme değerlerine göre güvenlik katsayıları değerlendirildiğinde 12 mm çapa sahip ankrajlarda 1.56, 16 mm çaplı ankrajlarda 1.55, 20 mm çaplı ankrajlarda 1.43 ve 24 mm çaplı ankrajlarda ise 1.35 olarak bulunmuştur.

Çıkan sonuçlara bakıldığında çap büyüdükçe güvenlik katsayısının azaldığı görülmektedir.

Burada yapılan çalışma tekil ankrajlara aittir. Devamında grup ankrajlar üzerinde de çapın, ekme derinliğinin ve kenar mesafesinin etkileri incelenebilir.

Ankraj çekme dayanımının belirlenmesi için ACI 318 Ek D'de farklı göçme şekillerinin dikkate alındığı bir yaklaşım benimsenmiştir. Diğer yandan, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007)'de ve TS500 (2000)'de ankrajların çekme tasarım dayanımlarının belirlenmesi konusunda herhangi bir hüküm verilmemiştir. Bu durumda gerekli yönetmelik revizyonları gerçekleştirilinceye dek özellikle S420a donatılar için ACI 318'deki yöntemle ankraj tasarımı yapılması önerilmektedir.

## 7. KAYNAKLAR

- ACI 318, “Building Code Requirements for Reinforced Concrete”, *American Concrete Institute*, Detroit, USA (2005).
- ACI 355.2-07, “Qualification of Post-Installed Mechanical Anchors in Concrete and Commentary”, *American Concrete Institute*, USA (2007).
- Altan, F., “Betona Sonradan Yerleştirilen Kimyasal Ankrajların Eksenel Çekme Etkileri Altında Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* .Afyon, 78 (2013).
- Ashour A. F., “Alqedra M. A., Concrete breakout strength of single anchors in tension using neural Network”, *Advances in Engineering Software* 36: 87-97 (2005).
- Bajer M. and Barnat J., “The glue-concrete interface of bonded anchors”, *Construction and Building Materials*, 34: 267-274 (2012).
- Barnat, J. Bajer, M. and Vyhnánková, M., “Bond strength of chemical anchor in high-strength concrete”, *Procedia Engineering*, 40: 38-43 (2012).
- Cook R. A., Collins D. M.i., Klingner R. E. and Polyzois D., “Load-deflection behavior of cast-in-place and retrofit concrete anchors”, *ACI Structural Journal*, 89(6): 639-649 (1992).
- Cook R.A., 1993, “Behavior of chemically bonded anchors”, *ASCE Journal of Structural Engineering*”, 119(9): 2744-2762 (1993).
- Cook R.A., Doerr G.T. and Klingner R.E., “Bond stress model for design of adhesive anchors”, *ACI Structural Journal*, 90(5): 514-524 (1993).
- Cook R. A. and Konz R. C., “Factors influencing bond strength of adhesive anchors”, *ACI Structural Journal*,98(1): 76-86 (2001).
- Cook R. A., Kunz J., Fuchs W. and Konz R. C., “Behavior and design of single adhesive anchors under tensile load in uncracked concrete”, *ACI Structural Journal*, 95(1): 9-26 (1998).
- Çavunt, D., “Mevcut bir betonarme yapı üzerinde güçlendirme ankrajlarının performanslarının araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 115 (2013).

## 7. KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- Çolak, A., “Estimation of ultimate tension load of methylmethacrylate bonded steel rods into concrete”, *International Journal of Adhesion & Adhesives* 27: 653–660 (2007) .
- Darwin D. and Zavaresh S. S., “Bond strength of grouted reinforcing bars”, *ACI Structural Journal*, 93(4): 486-495 (1996).
- Demir, İ., Şimşek, O. ve Yaprak, H., “Epoksi Türünün Ankraj Performansına Etkisi”, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09)*, Karabük, Türkiye (2009).
- DBYBHY, 2007, “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik”, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara, (2007).
- Delhomme F., Roure T. Arrieta B. and Limam, A., “Static and cyclic pullout behavior of cast-in-place headed and bonded anchors with large embedments depths in cracked concrete”, *Nuclear Engineering and Design*, 287: 139-150 (2015).
- Eligehausen R., Cook R. A. and Appl J., “Behavior and design adhesive bonded anchors”, *ACI Structural Journal*, 103(6): 822-831 (2006).
- Fuchs W., Eligehausen R. and Breen J.E., “Concrete capacity design (CCD) approach for fastening to concrete”, *ACI Structural Journal*, 92(1): 73-94 (1995).
- Fujikake K., Nakayama J., Sato H., Mindess S. and Ishibashi T., “Chemically bonded anchors subjected to rapid pullout loading”, *ACI Materials Journal*, 100(3): 246-252 (2003).
- Gesoğlu M., Özturan T., Özel M. and Güneyisi E., “Tensile behavior of post-installed anchors in plain and steel fiber-reinforced normal- and high strength concretes”, *ACI Structural Journal*, 102(2): 224-231 (2005).
- Goto, Y., Obata, M., Maeno, H., Kobayashi, Y., “Failure mechanism of new bolt-type anchor bolt subject to tension”, *Journal of Structural Engineering, American Society of Civil Engineers ASCE*, 119(4): 1168-1197 (1993).
- Gross J. H., Klingner R. E. and Graves H. L., “ Dynamic behavior of single and double near-edge anchors loaded in shear”, *ACI Structural Journal*, 98(5): 665-676 (2001).

## 7. KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- Gürbüz T., “Yapıların güçlendirilmesinde kullanılan kimyasal ankrajların eksenel çekme etkisi altındaki davranışlarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 226 (2007).
- Gürbüz T., Seyhan E., İlki A. ve Kumbasar N., “Güçlendirme çalışmalarında kullanılan kimyasal ankrajların eksenel çekme etkisi altında davranışları”, *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, 649-659 (2007).
- Higgins C. C. and Klingner R. E., “Effects of environmental exposure on the performance of cast-in-place and retrofit anchors in concrete”, *ACI Structural Journal*, 95(5): 506-517 (1998).
- Kaya Y., “Yapıların güçlendirilmesi uygulamalarında kullanılacak kısmi bağlı ankraj detayı ve yüzey temizliği koşulları altında ankrajların eksenel çekme davranışlarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 185 (2007).
- McVay, M., Cook, R. A. and Krishnamurthy, K., “Pullout simulation of postinstalled chemically bonded anchors”, *Journal of Structural Engineering*, 122(9): 1016-1024 (1996).
- Muratlı H., Klingner R. E. and Graves H. L., “Breakout capacity of anchors in concrete-part 2:shear”, *ACI Structural Journal*, 101(6): 821-829 (2004).
- Obata M., Inoue M. and Goto Y., “The failure mechanism and the pull-out strength of a bond-type anchor near a free edge”, *Mechanics of Materials* 28: 113-122 (1998).
- Özen, M. A., “Düşük ve Normal Dayanımlı Betonlarda Epoksi Ankrajların Çekme Davranışı”, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 146 (2010).
- Özkul H., Mutlu M. ve Sağlam A. R., “Beton Ankrajları”, *Sika Teknik Bülten Sayı 4.*, (2001).
- Özturan T., Gesoğlu M., Özel M. ve Güneyisi E., “Kimyasal, harçlı ve mekanik ankrajların çekme ve kesme yükleri altındaki davranışları”, *İMO Teknik Dergi*, Yazı 208: 3105-3124 (2004).

## 7. KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- Peier W. H., “Model for pullout strength of anchors in concrete”, *Journal of Structural Engineering, American Society of Civil Engineers ASCE*, V.109, No.5, 1155-1173 (1983).
- Pinoteau N., Pimienta P., Guillet T., Rivillon P. and Remond S., “Effect of heating rate on bond failure of rebars into concrete using polymer adhesives to simulate exposure to fire”, *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 31: 851-861( 2011).
- Primavera E. J., Pinelli J. P. and Kalajian E. H., “Tensile behavior of cast-in-place and undercut anchors in high-strength concrete”, *ACI Structural Journal*, 94(5): 583-594 (1997).
- Sakla S.S.S. and Ashour A. F., “Prediction of tensile capacity of single adhesive anchors using neural networks”, *Computers & Structures* 83: 1792-1803 (2005).
- Seyhan E. C., “Kimyasal ankrajların davranışlarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 191 ( Haziran2006).
- Shirvani M., Klingner R. E. and Graves H. L., “Breakout capacity of anchors in concrete-part 1:tension”, *ACI Structural Journal*, 101(6): 813-820 (2004).
- Štrba, M. and Karmazínová M. Actual, “Behaviour and objective load-carrying capacity of tension steel expansion anchors to concrete”, *Procedia Engineering*, 40: 440-444 (2012).
- Turan, M. T., “Betonla Sonradan Yerleştirilen Kimyasal Ankrajların Eğilme Etkileri Altında Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon, 64 ( 2013).
- TS500, 2000, “Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları”. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2000).
- TS 708, 1996, “Betonarme Çelik Çubukları”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (1996).

## 7. KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- Yang M., Zhao Y. and Zhang N., “Creep behavior of epoxy-bonded anchor system”, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 67: 96-103 (2014).
- Yılmaz, S., Çalışkan, Ö., Kaplan, H. ve Kırış, N., “Kimyasal Ankrajların Dayanımını Etkileyen Faktörler”, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* Cilt:XXIII, Sayı:1 (2010).
- Yılmaz, S., Ozen, M. A. and Yardim Y., “Tensile behavior of post-installed chemical anchors embedded to low strength concrete”, *Construction and Building Materials*, 47: 861-866 (2013).
- Zamora N. A., Cook R. A., Konz R. C. and Consolazio G. R., “ Behavior and design of single, headed and unheaded, grouted anchors under tensile load”, *ACI Structural Journal*, 100(2): 222-230 (2003).
- Zheng, J., J. and Dai, J. G., “Prediction of the nonlinear pull-out response of FRP ground anchors using an analytical transfer matrix method”, *Engineering Structures*, 81: 377-385, (2014).

**Ek-1:** 12 mm çaplı, 6 cm derinliğe ekilen numunelere ait görüntüler



**D12L6K6 numunesi**



**D12L6K9 numunesi**



**D12L6K12 numunesi**



**D12L6K18 numunesi**



**D12L6K24 numunesi**

**Ek-2:** 12 mm çaplı, 12 cm derinliğe ekilen numunelere ait görüntüler



**D12L12K6 numunesi**



**D12L12K9 numunesi**



**D12L12K12 numunesi**



**D12L12K18 numunesi**



**D12L12K24 numunesi**

**Ek-3:** 12 mm çaplı, 18 cm derinliğe ekilen numunelere ait görüntüler



**D12L18K6 numunesi**



**D12L18K9 numunesi**



**D12L18K12 numunesi**



**D12L18K18 numunesi**



**D12L18K24 numunesi**

**Ek-4:** 12 mm aplı, 24 cm derinliğe ekilen numunelere ait grntler



**D12L24K6 numunesi**



**D12L24K9 numunesi**



**D12L24K12 numunesi**



**D12L24K18 numunesi**



**D12L24K24 numunesi**

**Ek-5:** 16 mm çaplı, 8 cm derinliğe ekilen numunelere ait görüntüler



**D16L8K8 numunesi**



**D16L8K12 numunesi**



**D16L8K16 numunesi**



**D16L8K24 numunesi**



**D16L8K32 numunesi**

**Ek-6:** 16 mm aplı, 16 cm derinliğe ekilen numunelere ait grntler



**D16L16K8 numunesi**



**D16L16K12 numunesi**



**D16L16K16 numunesi**



**D16L16K24 numunesi**



**D16L16K32 numunesi**

**Ek-7:** 16 mm aplı, 24 cm derinliğe ekilen numunelere ait grntler



**D16L24K8 numunesi**



**D16L24K12 numunesi**



**D16L24K16 numunesi**



**D16L24K24 numunesi**



**D16L24K32 numunesi**

**Ek-8:** 16 mm aplı, 32 cm derinliğe ekilen numunelere ait grntler



**D16L32K8 numunesi**



**D16L32K12 numunesi**



**D16L32K16 numunesi**



**D16L32K24 numunesi**



**D16L32K32 numunesi**

**Ek-9:** 20 mm çaplı, 10 cm derinliğe ekilen numunelere ait görüntüler



**D20L10K10 numunesi**



**D20L10K15 numunesi**



**D20L10K20 numunesi**



**D20L10K30 numunesi**



**D20L10K40 numunesi**

**Ek-10:** 20 mm çaplı, 20 cm derinliğe ekilen numnelere ait görüntüler



**D20L20K10 numunesi**



**D20L20K15 numunesi**



**D20L20K20 numunesi**



**D20L20K30 numunesi**



**D20L20K40 numunesi**

**Ek-11:** 20 mm çaplı, 30 cm derinliğe ekilen numnelere ait görüntüler



**D20L30K10 numunesi**



**D20L30K15 numunesi**



**D20L30K20 numunesi**



**D20L30K30 numunesi**



**D20L30K40 numunesi**

**Ek-12:** 20 mm çaplı, 40 cm derinliğe ekilen numunelere ait görüntüler



**D20L40K10 numunesi**



**D20L40K15 numunesi**



**D20L40K20 numunesi**



**D20L40K30 numunesi**



**D20L40K40 numunesi**

**Ek-13:** 24 mm çaplı, 12 cm derinliğe ekilen numunelere ait görüntüler



**D24L12K12 numunesi**



**D24L12K18 numunesi**



**D24L12K24 numunesi**



**D24L12K36 numunesi**



**D24L12K48 numunesi**

**Ek-14:** 24 mm aplı, 24 cm derinliğe ekilen numunelere ait görüntüler



**D24L24K12 numunesi**



**D24L24K18 numunesi**



**D24L24K24 numunesi**



**D24L24K36 numunesi**



**D24L24K48 numunesi**

**Ek-15:** 24 mm çaplı, 36 cm derinliğe ekilen numunelere ait görüntüler



**D24L36K12 numunesi**



**D24L36K18 numunesi**



**D24L36K24 numunesi**



**D24L36K36 numunesi**



**D24L36K48 numunesi**

**Ek-16:** 24 mm çaplı, 48 cm derinliğe ekilen numnelere ait görüntüler



**D24L48K12 numunesi**



**D24L48K18 numunesi**



**D24L48K24 numunesi**

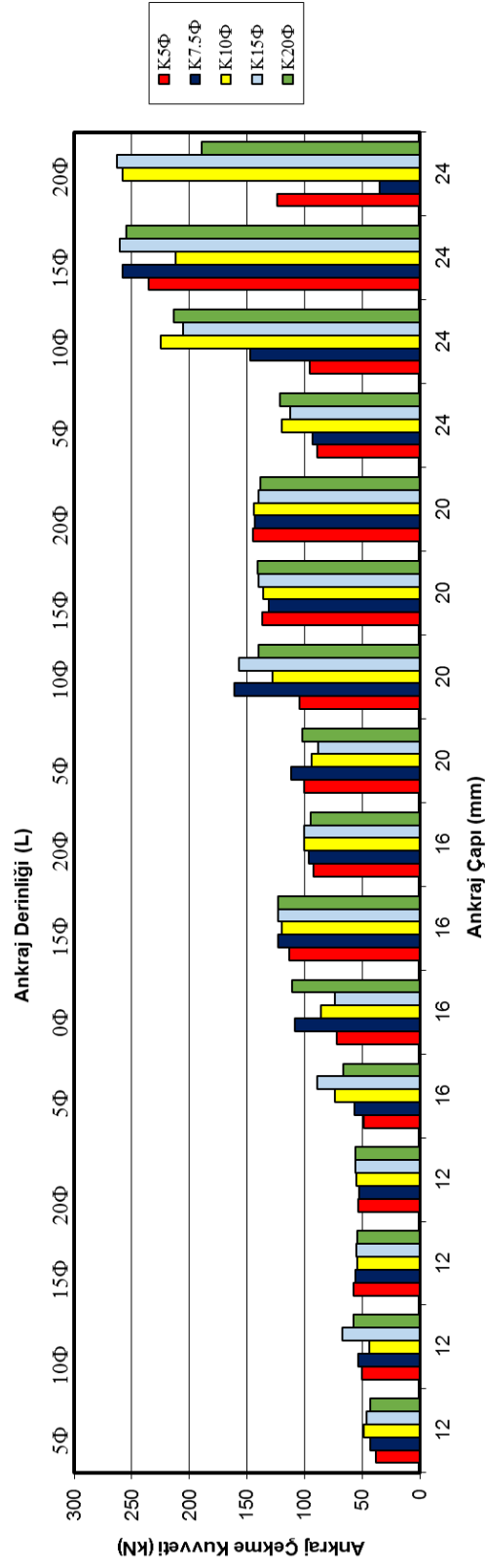


**D24L48K36 numunesi**



**D24L48K48 numunesi**

Ek-17: Tüm deney sonuçları



## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : İdris AYDOĞAN  
Doğum Yeri ve Tarihi : MALATYA / 01.10.1983



### Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Osmangazi Üniversitesi, 2004  
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce  
Bilimsel Faaliyetleri : Değirmenci, Ö., Ç., **Aydoğan, İ.**, Aras, M. ve Çerçevik, A. E., “Ankrajlarda Epoksi Kullanımı”, **Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**, Cilt:3, 2015

### İş Deneyimi

2005- : Şantiye Koordinatörü / Ave İNŞAAT, ESKİŞEHİR  
2007- : Şirket Müdürü / Seryapı Prefabrik, ESKİŞEHİR

### İletişim

Adres : Hoşnudiye Mah. Şahin Cad. No:84/ 7  
Tepebaşı / ESKİŞEHİR.  
Telefon : 022 3202333  
E-Posta : [idris@aveinsaat.com](mailto:idris@aveinsaat.com)