

**ESKİŞEHİR**  
**ANADOLU ÜNİVERSİTESİ**



**BİLECİK**  
**ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**  
**İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**KİMYASAL ANKRAJ ÇEKME DAYANIMINI**  
**ETKİLEYEN FAKTÖRLER**

**Yılmaz AĞDAĞ**  
**Yüksek Lisans**

**Tez Danışmanı**  
**Dr. Öğr. Üyesi, Özlem ÇALIŞKAN**

**BİLECİK, 2019**  
**Ref. No:10292200**



**ESKİŞEHİR  
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ**



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI  
ÜNİVERSİTESİ**

**BİLECİK  
ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**

**Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**KİMYASAL ANKRAJ ÇEKME DAYANIMINI  
ETKİLEYEN FAKTÖRLER**

**Yılmaz AĞDAĞ  
Yüksek Lisans**

**Tez Danışmanı  
Dr. Öğr. Üyesi, Özlem ÇALIŞKAN**

**BİLECİK, 2019**



**ESKİŞEHİR  
ANADOLU UNIVERSITY**



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI  
ÜNİVERSİTESİ  
BİLECİK  
SEYH EDEBALI UNIVERSITY**

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

**FACTORS AFFECTING CHEMICAL ANCHOR  
PULL-OUT STRENGTH**

**Yılmaz AĞDAĞ  
Master's Thesis**

**Thesis Advisor  
Asst. Prof. Dr. Özlem ÇALIŞKAN**

**BİLECİK, 2019**



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS  
JÜRİ ONAY FORMU**

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 06/08/2019 tarih ve 42-04 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 21/08/2019 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Yılmaz AĞDAĞ'ın "Kimyasal Ankraj Çekme Dayanımını Etkileyen Faktörler" başlıklı tez çalışması İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği/ oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

**JÜRİ**

**ÜYE  
(TEZ DANIŞMANI) : Dr. Öğr. Üyesi Özlem ÇALIŞKAN**

**ÜYE :  
(JÜRİ BAŞKANI) : Prof. Dr. Özgür ANIL**

**ÜYE : Dr. Öğr. Üyesi Kıvanç TAŞKIN**

**ONAY**

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

İMZA/ MÜHÜR

MÜHÜR

## TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam boyunca bilgisini ve desteğini benden hiçbir zaman esirgemeyen, yol gösterici, teővik edici ve öğretici değerli danıőmanım Dr. Öğr. Üyesi zlem ÇALIŞKAN'a öncelikle teőekkürlerimi borç bilirim.

Çalıőmalarımnda büyük yardımları bulunan Ağdağ İnşaat ve deneyler sırasında desteklerini esirgemeyen Arő. Gör. Murat ARAS ve Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölüm hocalarıma teőekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca her türlü desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyerek yanımnda olan çok kıymetli eőime, çocuklarıma ve aileme sonsuz teşekkür ederim.

## **BEYANNAME**

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada, tez içindeki tüm verileri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun olarak sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu Üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmada kullanılmadığını beyan ederim.

.../.../ 2019

**Yılmaz AĞDAĞ**

## KİMYASAL ANKRAJ ÇEKME DAYANIMINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

### ÖZET

Ülkemizdeki mevcut yapı stoğunun büyük bir kısmı mevcut deprem yönetmeliği koşullarının öngördüğü koşulları içermemektedir. Deprem güvenliğine sahip olmayan yapıların güçlendirilmesi gerektiği bilinmektedir. Güçlendirme uygulamalarında çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Taşıyıcı sisteme yeni eleman eklenmesi durumunda en çok tercih edilen yöntem ankrajların kimyasal yapıştırıcılar ile ekilmesidir. Kolay ve hızlı uygulanabilir olması, yüksek yapışma dayanımları kimyasal ankrajların üstün özellikleridir. Güvenli bir tasarım için kimyasal ankrajların çekme, kesme ve eğilme kuvvetleri altındaki davranışlarının bilinmesi önemlidir.

Bu çalışmada farklı çap, derinlik ve ortam koşullarında kimyasal ankrajların çekme kuvveti incelenmiştir. 12, 16 ve 20 mm çapa sahip ankraj çubukları çapın 5, 10, 15 ve 20 katı derinliklerine farklı ortam koşullarında ekilmiştir. Ankraj deliklerinin temizliği, nem ve sıcaklık durumu da değişkendir. Yapılan çekip-çıkarma deneyleri sonucunda ankrajların farklı çap, derinlik ve ortam koşullarındaki yük-deplasman eğrileri, eksenel yük kapasiteleri, göçme modları, rijitlikleri, deplasman süneklik oranları ve enerji yutma kapasiteleri belirlenmiştir. ACI 318 Ek-D'nin ankrajlar için öngördüğü kapasite ve tasarım dayanım değerleri belirlenmiş ve deney sonuçları ile karşılaştırılarak güvenlik katsayıları bulunmuştur.

Çalışma sonucunda kimyasal ankrajların dayanımlarının ankrajların ekileceği deliklerin temizliğinden, neminden ve sıcaklığından etkilendiği görülmüştür. Ankrajlardan istenilen dayanımın elde edilebilmesi için dikkat edilmesi gereken hususlar olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kimyasal Ankraj; Temizlik; Nem; Sıcaklık, ACI 318.

## FACTORS AFFECTING CHEMICAL ANCHOR PULL-OUT STRENGTH

### ABSTRACT

Most of the existing building stock in our country does not include the conditions stipulated by the current earthquake regulations. It is known that structures that do not have earthquake safety need to be strengthened. There are various methods for strengthening applications. If new elements are added to the carrier system, the most preferred method is to attach the anchors with chemical adhesives. Easy and fast application, high adhesion strengths are the superior properties of chemical anchors. For a safe design, it is important to know the behavior of chemical anchors under tensile, shear and bending forces.

In this study, tensile strength of chemical anchors were investigated under different diameter, depth and environment conditions. Anchor rods with a diameter of 12, 16 and 20 mm were planted at depths of 5, 10, 15 and 20 times the diameter under different environment conditions. The cleanliness of the anchor holes, the humidity and temperature are also variable. As a result of pull-out experiments, load-displacement curves, axial load capacities, failure modes, stiffness, displacement ductility ratios and energy absorption capacities of anchors in different diameters, depths and environment conditions were determined. ACI 318 Annex-D's capacity and design strength values for anchors were determined and the safety coefficients were compared with the test results.

As a result of the study, it was seen that the strength of the chemical anchors was affected by the cleanliness, humidity and temperature of the holes where the anchors would be planted. It has been determined that there are issues to be considered in order to obtain the desired strength from the anchors.

**Key Words:** Chemical Anchor; Cleaning, Humidity, Temperature, ACI 318.

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	
<b>BEYANNAME</b> .....	
<b>ÖZET</b> .....	<b>I</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>II</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>VI</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>IX</b>
<b>SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>X</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. LİTERATÜR ÖZETİ</b> .....	<b>3</b>
<b>3. ANKRAJLAR İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER</b> .....	<b>14</b>
3.1. Ankraj Türleri .....	14
3.1.1. Kimyasal ankrajlar .....	15
3.2. Kimyasal Ankraj Dayanımını Etkileyen Parametreler .....	16
3.3. Çekme Altındaki Kimyasal Ankrajların Göçme Tipleri .....	16
3.4. ACI 318 (2008)'e Göre Ankraj Çekme Kapasitesi .....	18
3.4.1. Donatı kapasitesi .....	18
3.4.2. Beton koni kapasitesi .....	18
3.4.3. Sıyırılma kapasitesi .....	20
<b>4. MATERYAL ve METOT</b> .....	<b>22</b>
4.1. Ankrajların Ekilme Geometrisi. ....	22
4.2. Malzeme .....	22
4.2.1. Beton .....	22
4.2.2. Kimyasal yapıştırıcı .....	23
4.2.3. Ankraj donatıları .....	23
4.3. Ankraj Ekimi .....	24
4.4. Parametreler .....	24
4.5. Ankraj Çekme Deneyi .....	25
4.6. Nihai yük kapasitesi, başlangıç rijitliği, deplasman süneklik oranı ve enerji yutma kapasitesinin hesaplanması... ..	26
4.7. ACI 318 (2008)'e göre Beklenen Ankraj Çekme Kapasiteleri .....	27

4.7.1. 12 mm çaplı ankraj çubukları için beklenen çekme kapasiteleri .....	28
4.7.2. 16 mm çaplı ankraj çubukları için beklenen çekme kapasiteleri .....	28
4.7.3. 20 mm çaplı ankraj çubukları için beklenen çekme kapasiteleri .....	28
<b>5. DENEY SONUÇLARI .....</b>	<b>30</b>
5.1. Temizlik Durumu: Temiz.....	30
5.1.1. Temizlik Durumu: Temiz için yük-deplasman eğrileri .....	30
5.1.2. Temizlik durumu: temiz için çekme kuvveti değerleri ve göçme modları ..	33
5.1.3. Temizlik durumu: temiz için rijitlik değerleri .....	33
5.1.4. Temizlik durumu: temiz için enerji yutma kapasitesi .....	34
5.1.5. Temizlik durumu: temiz için güvenlik katsayıları .....	35
5.2. Temizlik Durumu: Yarı Temiz.....	35
5.2.1. Temizlik durumu: yarı temiz için yük-deplasman eğrileri .....	36
5.2.2. Temizlik durumu: yarı temiz için çekme kuvveti değerleri ve göçme modları .....	38
5.2.3. Temizlik durumu: yarı temiz için rijitlik değerleri .....	39
5.2.4. Temizlik durumu: yarı temiz için enerji yutma kapasitesi .....	39
5.2.5. Temizlik durumu: yarı temiz için güvenlik katsayıları .....	40
5.3. Nem Durumu: Nemli.....	41
5.3.1. Nem durumu: nemli için yük-deplasman eğrileri .....	41
5.3.2. Nem durumu: nemli için çekme kuvveti değerleri ve göçme modları .....	44
5.3.3. Nem durumu: nemli için rijitlik değerleri .....	45
5.3.4. Nem durumu: nemli için enerji yutma kapasitesi .....	46
5.3.5. Nem durumu: nemli için güvenlik katsayıları .....	46
5.4. Nem Durumu: Yarı Nemli.....	47
5.4.1. Nem durumu: yarı nemli için yük-deplasman eğrileri .....	47
5.4.2. Nem durumu: yarı nemli için çekme kuvveti değerleri ve göçme modları ..	50
5.4.3. Nem durumu: yarı nemli için rijitlik değerleri .....	51
5.4.4. Nem durumu: yarı nemli için enerji yutma kapasitesi .....	52
5.4.5. Nem durumu: yarı nemli için güvenlik katsayıları .....	52
5.5. Sıcaklık Durumu: 50 °C.....	53
5.5.1. Sıcaklık durumu: 50 °C için yük-deplasman eğrileri .....	54
5.5.2. Sıcaklık durumu: 50 °C için çekme kuvveti değerleri ve göçme modları ..	56

5.5.3. Sıcaklık durumu: 50 °C için rijitlik değerleri .....	57
5.5.4. Sıcaklık durumu: 50 °C için enerji yutma kapasitesi .....	58
5.5.5. Sıcaklık durumu: 50 °C için güvenlik katsayıları .....	58
5.6. Sıcaklık Durumu: 150 °C. ....	59
5.6.1. Sıcaklık durumu: 150 °C için yük-deplasman eğrileri .....	60
5.6.2. Sıcaklık durumu: 150 °C için çekme kuvveti değerleri ve göçme modları	61
5.6.3. Sıcaklık durumu: 150 °C için rijitlik değerleri .....	62
5.6.4. Sıcaklık durumu: 150 °C için enerji yutma kapasitesi .....	63
5.6.5. Sıcaklık durumu: 150 °C için güvenlik katsayıları .....	63
5.7. Genel Değerlendirme .....	65
5.7.1. 12 mm çaplı ankraj çubukları için değerlendirme .....	65
5.7.2. 16 mm çaplı ankraj çubukları için değerlendirme .....	66
5.7.3. 20 mm çaplı ankraj çubukları için değerlendirme .....	67
<b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>69</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>71</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>75</b>
<b>ÖZ GEÇMİŞ .....</b>	

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa No</b>
<b>Şekil 3.1.</b> Ankraj tipleri.....	15
<b>Şekil 3.2.</b> Kimyasal ankraj bileşenleri. ....	15
<b>Şekil 3.3.</b> Eksenel çekme kuvveti altında ankrajların göçme biçimleri (ACI 318, 2008) ...	17
<b>Şekil 3.4.</b> ACI 318'e göre öngörülen göçme alanları... ..	19
<b>Şekil 4.1.</b> Deney düzeneğinin şematik gösterimi... ..	26
<b>Şekil 4.2.</b> Yük-deplasman eğrisinden değerlerin hesaplanması.....	27
<b>Şekil 5.1.</b> Temizlik durumu: temiz için 12 mm çapa sahip ankrajların yük-deplasman eğrileri.....	31
<b>Şekil 5.2.</b> Temizlik durumu: temiz için 16 mm çapa sahip ankrajların yük-deplasman eğrileri.....	32
<b>Şekil 5.3.</b> Temizlik durumu: temiz için 20 mm çapa sahip ankrajların yük-deplasman eğrileri.....	32
<b>Şekil 5.4.</b> Temizlik durumu: temiz için çekme kuvveti değerleri.....	33
<b>Şekil 5.5.</b> Temizlik durumu: temiz için rijitlik değerleri.....	34
<b>Şekil 5.6.</b> Temizlik durumu: temiz için enerji yutma kapasitesi değerleri .....	34
<b>Şekil 5.7.</b> Temizlik durumu: yarı temiz için 12 mm çapa sahip ankrajların yük-deplasman eğrileri .....	37
<b>Şekil 5.8.</b> Temizlik durumu: yarı temiz için 16 mm çapa sahip ankrajların yük-deplasman eğrileri.....	37
<b>Şekil 5.9.</b> Temizlik durumu: yarı temiz için 20 mm çapa sahip ankrajların yük-deplasman eğrileri .....	38
<b>Şekil 5.10.</b> Temizlik durumu: yarı temiz için çekme kuvveti değerleri .....	39
<b>Şekil 5.11.</b> Temizlik durumu: yarı temiz için rijitlik değerleri .....	40
<b>Şekil 5.12.</b> Temizlik durumu: yarı temiz için enerji yutma kapasitesi değerleri .....	40
<b>Şekil 5.13.</b> Nem durumu: nemli için 12 mm çapa sahip ankrajların yük-deplasman eğrileri .....	42
<b>Şekil 5.14.</b> Nem durumu: nemli için 16 mm çapa sahip ankrajların yük-deplasman eğrileri.....	43
<b>Şekil 5.15.</b> Nem durumu: nemli için 20 mm çapa sahip ankrajların yük-deplasman eğrileri .....	44

<b>Şekil 5.16.</b>	Nem durumu: nemli için çekme kuvveti değerleri .....	45
<b>Şekil 5.17.</b>	Nem durumu: nemli için rijitlik değerleri .....	45
<b>Şekil 5.18.</b>	Nem durumu: nemli için enerji yutma kapasitesi değerleri .....	46
<b>Şekil 5.19.</b>	Nem durumu: yarı nemli için 12 mm çapa sahip ankrajların yük-deplasman eğrileri .....	48
<b>Şekil 5.20.</b>	Nem durumu: yarı nemli için 16 mm çapa sahip ankrajların yük-deplasman eğrileri .....	49
<b>Şekil 5.21.</b>	Nem durumu: yarı nemli için 20 mm çapa sahip ankrajların yük-deplasman eğrileri .....	50
<b>Şekil 5.22.</b>	Nem durumu: yarı nemli için çekme kuvveti değerleri .....	51
<b>Şekil 5.23.</b>	Nem durumu: yarı nemli için rijitlik değerleri.....	51
<b>Şekil 5.24.</b>	Nem durumu: yarı nemli için enerji yutma kapasitesi değerleri .....	52
<b>Şekil 5.25.</b>	Sıcaklık durumu: 50 °C için 12 mm çapa sahip ankrajların yük-deplasman eğrileri .....	54
<b>Şekil 5.26.</b>	Sıcaklık durumu: 50 °C için 16 mm çapa sahip ankrajların yük-deplasman eğrileri .....	55
<b>Şekil 5.27.</b>	Sıcaklık durumu: 50 °C için 20 mm çapa sahip ankrajların yük-deplasman eğrileri .....	56
<b>Şekil 5.28.</b>	Sıcaklık durumu: 50 °C için çekme kuvveti değerleri .....	57
<b>Şekil 5.29.</b>	Sıcaklık durumu: 50 °C için rijitlik değerleri .....	57
<b>Şekil 5.30.</b>	Sıcaklık durumu: 50 °C için enerji yutma kapasitesi değerleri .....	58
<b>Şekil 5.31.</b>	Sıcaklık durumu: 150 °C için 12 mm çapa sahip ankrajların yük-deplasman eğrileri .....	60
<b>Şekil 5.32.</b>	Sıcaklık durumu: 150 °C için 16 mm çapa sahip ankrajların yük-deplasman eğrileri .....	61
<b>Şekil 5.33.</b>	Sıcaklık durumu: 150 °C için 20 mm çapa sahip ankrajların yük-deplasman eğrileri .....	62
<b>Şekil 5.34.</b>	Sıcaklık durumu: 150 °C için çekme kuvveti değerleri .....	62
<b>Şekil 5.35.</b>	Sıcaklık durumu: 150 °C için rijitlik değerleri.....	63
<b>Şekil 5.36.</b>	Sıcaklık durumu: 150 °C için enerji yutma kapasitesi değerleri .....	64
<b>Şekil 5.37.</b>	12 mm çaplı ankraj çubukları çekme değerleri .....	66
<b>Şekil 5.38.</b>	16 mm çaplı ankraj çubukları çekme değerleri .....	67

<b>Şekil 5.39.</b> 20 mm çaplı ankraj çubukları çekme değerleri .....	68
---	----

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa No</b>
<b>Çizelge 3.1.</b> ACI 318 ankraj dayanım azaltma katsayıları .....	21
<b>Çizelge 4.1.</b> 1 m <sup>3</sup> beton için ağırlıkça karışım oranları. ....	23
<b>Çizelge 4.2.</b> 28 günlük beton basınç dayanımları. ....	23
<b>Çizelge 4.3.</b> Ankraj çubuklarının mekanik özellikleri. ....	24
<b>Çizelge 4.4.</b> Çalışmada kullanılan parametreler. ....	25
<b>Çizelge 4.5.</b> 12 mm çaplı ankraj çubukları için ACI dayanım değerleri. ....	28
<b>Çizelge 4.6.</b> 16 mm çaplı ankraj çubukları için ACI dayanım değerleri. ....	29
<b>Çizelge 4.7.</b> 20 mm çaplı ankraj çubukları için ACI dayanım değerleri. ....	29
<b>Çizelge 5.1.</b> Temizlik durumu: temiz için deney ve hesaplama sonuçları.....	30
<b>Çizelge 5.2.</b> Temizlik durumu: temiz için güvenlik katsayıları.....	35
<b>Çizelge 5.3.</b> Temizlik durumu: yarı temiz için deney ve hesaplama sonuçları. ....	36
<b>Çizelge 5.4.</b> Temizlik durumu: yarı temiz için güvenlik katsayıları.....	41
<b>Çizelge 5.5.</b> Nem durumu: nemli için deney ve hesaplama sonuçları. ....	42
<b>Çizelge 5.6.</b> Nem durumu: nemli için güvenlik katsayıları. ....	47
<b>Çizelge 5.7.</b> Nem durumu: yarı nemli için deney ve hesaplama sonuçları.....	48
<b>Çizelge 5.8.</b> Nem durumu: yarı nemli için güvenlik katsayıları. ....	53
<b>Çizelge 5.9.</b> Sıcaklık durumu: 50 °C için deney ve hesaplama sonuçları.....	53
<b>Çizelge 5.10.</b> Sıcaklık durumu: 50 °C için güvenlik katsayıları. ....	59
<b>Çizelge 5.11.</b> Sıcaklık durumu: 150 °C için deney ve hesaplama sonuçları. ....	59
<b>Çizelge 5.12.</b> Sıcaklık durumu: 150 °C için güvenlik katsayıları.....	64

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<b><u>Simgeler</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
$A_{NC}$	: Tekil ya da Grup Ankrajlar İçin Planlanan Beton Hasar Alanı, $mm^2$
$A_{NC0}$	: Beton Hasar Alanı, $mm^2$
$c_{a,min}$	: Ankrajın Beton Kenarına Olan Minimum Mesafesi, mm
$d_o$	: 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
$h_{ef}$	: Etkin Gömülme Derinliği
$k_c$	: Beton Çekip Koparma Dayanımı İle ilgili Temel Bir Katsayı
$n$	: Ankraj Sayısı
$N_b$	: Esas Beton Koni Kapasitesi
$N_{cb}$	: Nominal Beton Koni Kapasitesi
$N_p$	: Sıyrılma Kapasitesi
$N_{sa}$	: Donatı Kapasitesi
$\Psi_{ed,N}$	: Ankrajın Çekme Dayanımı İçin Kenar Mesafesine Bağlı Bir Katsayı
$\Psi_{cs,N}$	: Ankrajın Çekme Dayanımı İçin Betonda Çatlak Olup Olmamasına Bağlı Katsayı
$\Psi_{cp,N}$	: Sonradan Yerleştirilen Ankrajların Çekme Dayanımı İçin Katsayı

### **Kısaltmalar** **Açıklama**

ACI	: Amerikan Beton Enstitüsü
C	: Beton Dayanım Sınıfı
GK	: Güvenlik Katsayısı
TS	: Türk Standardı

## 1. GİRİŞ

Kimyasal ankrajlar mevcut yapıların onarım ve güçlendirme uygulamalarında yaygın olarak tercih edilmektedir. Kimyasal ankrajlar diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında düşük maliyetli, uygulanması hızlı ve yüksek yapışma dayanımına sahip olması nedeni ile ön plana çıkmaktadır. Sadece onarım ve güçlendirme çalışmalarında değil, yapıların kullanım amacının değiştirilmesi durumlarında da kimyasal ankrajlar kullanılmaktadır.

Son yıllarda yaşanan depremler sonucunda mevcut yapı stoklarında hasarlar oluşmuştur. Bu hasarların bazıları onarılabilir durumda olup çeşitli yöntemler ile onarım ve güçlendirme yapılabilmektedir. Bu yöntemler arasında kimyasal ankrajlar yaygın olarak kullanılmaktadır.

Ankrajlar taze betona ve sertleşmiş betona yapılan olmak üzere ikiye ayrılır. Kimyasal ankrajlar, sertleşmiş betona yapılan ankraj tipidir. Sertleşmiş betona sonradan delik açılır ve bir yapıştırıcı yardımı ile ankraj çubukları betona ekilir. Ekilen bu donatılar yardımı ile eski ve yeni betonun birlikte çalışması sağlanacaktır.

Mevcut bir yapının deprem güvenliğinin artırılmasındaki amaç sisteme sonradan eklenen yeni yapısal betonarme elemanların mevcut yapısal elemanla beraber çalışmasının sağlanmasıdır. Bu sebepten dolayı özen gerektiren bir işdir. Kullanılacak malzemelerin özellikleri, ortam koşulları ve işçilik dikkat gerektiren konulardır.

Bu çalışmada çap, derinlik ve ortam koşulları değişkendir. Çap olarak 12, 16 ve 20 mm, derinlik olarak ta çapın 5, 10, 15 ve 20 katı seçilmiştir. 12 mm çapa sahip ankraj çubukları 60, 120, 180 ve 240 mm derinliklere; 16 mm çaplı ankraj çubukları 80, 160, 240 ve 320 mm derinliklere ve 20 mm çaplı ankraj çubukları ise 100, 200, 300 ve 400 mm derinliklere ekilmiştir. Ortam koşulları da bu çalışmada değişkendir. Ortam koşulları ankraj deliklerinin tamamen temizlendiği temiz, üstün körü temizlendiği yarı temiz, ankraj deliklerinin suya doyurulmasıyla nemli, doldurulan suyun temizlenmesi ile yarı nemli, ankraj deliklerinin 50 °C ve 150 °C'ye ısıtıldığı ortam koşulları değişkenlerdir. Çalışmada 72 adet ankraj deneyi yapılmıştır. Bu ankrajların tamamı iki bileşenli, kartuşlu bir yapıştırıcı ile ekilmiştir. Deneyler sırasında yük ve deplasmanlar ölçülmüş, yük-deplasman eğrileri çizilmiştir. Çizilen bu eğrilerden nihai yük kapasiteleri, başlangıç rijitlikleri, deplasman süneklik oranları ve enerji yutma kapasiteleri belirlenmiştir. ACI 318 (2008) Ek-D ankrajların tasarımına yönelik bilgiler

içermektedir. Buradaki formülasyon kullanılarak çalışmada test edilen ankrajlar için kapasite ve tasarım dayanımları belirlenmiştir. Deneylelerden elde edilen sonuçlar hesaplamalar ile karşılaştırılmış ve güvenlik katsayıları tespit edilmiştir.

## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

Peier, 1983, tekil ankrajların çekme davranışını matematik modelle açıklamıştır. Bu çalışmada C25 ve C50 dayanım sınıflarına sahip betonlarda genişler ve kimyasal ankrajlar üzerine çalışmıştır. Hesap ile elde edilen yük taşıma kapasitelerini deneysel verilerle karşılaştırmıştır. Çalışmada bulunan analitik model sonuçlarının 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, et al., (1992), taze betona yerleştirilen ve sertleşmiş betona ekilen tekil ankrajların yük-deplasman davranışını incelemiştir. Çalışmada taze betona yerleştirilen ve eski betona ekilen tekil ankrajların statik, yorulma ve darbe çekme yükleri altındaki davranışlarını ve dizaynını araştırmışlardır. Çalışmalarında kullandıkları ankraj tipleri: kimyasal, harçlı, genişler ve öngermeli ankrajlardır. Kimyasal ankrajlarda da epoksi, poliester ve vinilester esaslı ürünler kullanmışlardır. Yaptıkları deneysel çalışmada kullanılan çap 16 mm ve beton basınç dayanımı da 34.5 MPa'dır. Çalışma 24 ürünün toplamda 178 testini içerir.

Cook (1993), kimyasal ankrajların davranışlarını belirlemek üzere bir çalışma yapmıştır. Çalışma mekanik bağlı ankrajların çekme dayanımını belirlemek için oransal tasarım önerileri sunmaktadır. Tasarım önerileri dayanım testlerinde gözlenen beton koni göçmesi, bağ göçmesi ve koni-bağ göçmesi modları için değerlendirmeyi kapsar. Tasarım önerilerini sunarken Teksas Üniversitesi'nde 113 test, Florida Üniversitesi'nde 167 test olmak üzere toplam 280 test sonuçlarından yararlanmıştır. Dayanım, kimyasal tipi ve rijitlik özelliklerine bağlı olarak geliştirmişlerdir.

Cook, et al., (1993), yaptıkları çalışmada kimyasal ankrajların dizaynı için bağ gerilme modelini araştırmışlardır. Çalışmada kullandıkları parametreler; çap 16 mm ve 6 farklı yapıştırıcı türüdür. Toplamda 97 adet çekme testi yapmışlardır. Ankrajları tamamı bağlı tekil ankrajlar, kısmi bağlı tekil ankrajlar ve tamamı bağlı ankraj çiftleri şeklinde tasarlamışlardır. Ankrajları ettikleri betonun dayanımı 24.8 MPa'dır. Yaptıkları deneysel çalışma sonucunda aralarında ekme derinliğinin yarısı kadar mesafe bırakılması durumunda çift ankrajın taşıyabildiği nihai yük tek ankraj yükünün %94'ü kadardır. Ankrajlar arasında ekme derinliği kadar mesafe bırakarak ekildiklerinde tek ankrajın mukavemetine erişebildiğini gözlemlemişlerdir.

Fuchs, et al., (1995), yaptıkları çalışmada sertleşmiş betona sonradan yerleştirilen çelik ankrajları ve taze betona yerleştirilen başlıklı vida veya civatalar için beton kapasitesini araştırmışlar, bir model sunmuşlar ve bulunan değerleri ACI349-85'den elde edilen değerler ile karşılaştırmışlardır. Çalışmada kullandıkları değişkenler; tekil ankrajların kenar mesafesi, ankraj grupları, çekme ve kesme yüklemesidir. Veri tabanı olarak Avrupa ve Amerika'da test edilen yaklaşık 1200 testi kullanmışlardır. CCD metodunun incelenen uygulamaların tamamında bağlayıcıların beton göçme yükünün tam olarak tahmini için kullanılabilir bir metot olduğunu belirlemişlerdir. Yaptıkları karşılaştırmalar sonucunda ACI 349'daki tahminlerin bazen tutarlı bazen de tutarsız değerler verdiğini ifade etmişlerdir. Genel olarak ankraj tasarımı için CCD metodunun daha kullanışlı olduğunu gözlemlemişlerdir.

Darwin and Zavegh (1996), harçlı ankraj çubuklarının bağ dayanımı üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada parametreler; delik hazırlama metodu, harç tipi, delik çapı, çubuk boyutu, gömme derinliği, çubuk yüzey durumu (epoksili veya epoksisiz), çubukların yerleştirme düzeni ve beton dayanımıdır. Çalışmada kullanılan delik çapları; 16 mm çapa sahip ankraj çubukları için 19-38 mm ve 25 mm çapa sahip ankraj çubukları için ise 32 mm dir. 16 mm çapa sahip çubuklar için gömme derinlikleri; 102-305 mm, 25 mm çapa sahip çubuklar için ise 150-380 mm aralığındadır. Çubuklar sadece düşey olarak değil eğimli ve yatay olarak yerleştirilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda bağ dayanımının gömme derinliği ve çubuk boyutu ile arttığını, düşey ve yatay ankrajlı çubukların kullanılan harca bağlı olarak farklı bağ dayanımı sergileyebileceğini, test edilen harçlar için bağ dayanımının yaklaşık olarak beton basınç dayanımının kare kökü ile arttığını gözlemlemişlerdir.

McVay, et al., (1996) kimyasal ankrajlarla ilgili bir çalışma yapmışlardır. Epoksi amin esaslı yapıştırıcı kullanılarak 76, 102, 127 ve 152 mm derinliklerine 16 mm çapa sahip ankraj çubuklarını ekmişler ve çekme testi yapmışlardır. Ankrajları ettikleri betonların basınç dayanımları 39 - 43.4 MPa aralığındadır. Çalışma kapsamında ankrajları ettiklerin derinliklerin her biri için gözlenen göçme konilerinin sayısal olarak bulunan sonuçlarla uyumlu olduğunu görmüşlerdir.

Primavera, et al., (1997), beton basınç dayanımı 51.7 ve 82.7 MPa olan yüksek dayanımlı taze betona yerleştirilen ve sonradan ekilen öngermeli ankrajların çekme davranışını incelemişlerdir. Çalışmada kullandıkları gömme derinlikleri; taze betona

yerleştirilen ankrajlar için 102, 152 ve 203 mm, sertleşmiş betona ekilen öngermeli ankrajlar için ise 203 mm'dir. Deney sonuçlarını 45° koni modeliyle karşılaştırdıklarında sonuçların çeliştiğini gözlemlemişlerdir.

Cook, et al., (1998), yaptıkları çalışmada taze betonda çekme yüklemesine maruz tekil kimyasal ankrajların dizaynı için bir model önermişlerdir. Kenar mesafesinin etkili olmadığı tekil kimyasal ankrajlar için farklı tasarım modellerini dünya çapındaki veri tabanı ile karşılaştırmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda üniform bağ modelinin kullanışlı olduğunu, önerdikleri modelin kenar mesafesini içermesi ve çoklu ankrajlar için de genişletilmesi gerektiğini ifade etmişlerdir

Obata, et al., (1998), serbest kenara yakın ekilen bağ tipi ankrajların çekme dayanımı ve göçme mekanizmalarını belirlemek için bir çalışma yapmışlardır. 35 mm çapa sahip ankraj çivatalarını 24.6 – 28.9 MPa beton basınç dayanımına sahip betonlara ekmişlerdir. Serbest kenar etkisindeki bağ tipi ankrajların davranışını hem analitik hem de deneysel olarak inceledikleri bu çalışmada koni göçme dayanımını tahmin etmek için yeni bir metot önermişlerdir.

Higgins, et al., (1998), taze ve sertleşmiş betona yerleştirilen genişler, öngermeli ve kimyasal güçlendirme ankrajlarının 5 farklı çevresel koşullara maruz kalmasındaki performanslarını incelemişlerdir. Çevresel etkiler; ultraviyole ışık, donma ve çözülme, doğal tuz solüsyonunda korozyon, asit yağmurlarında ıslatma ve kurutma durumlarının kombinasyonu şeklindedir. Yaptıkları çalışmanın sonucunda ulaştıkları sonuçlar şöyledir: ultraviyole ışığı çalışmaları etkilememektedir, donma ve çözülme betona zarar verebilir, bundan dolayı genişler ankrajların davranışını etkileyebilir, asit yağmurlarında ıslatma ve kurutma etkisi kimyasal ankrajların davranışını önemli oranda etkilemez şeklindedir. Bu etkilerin kombinasyonu bazı genişler ankrajların rijitliğini azaltabilir.

Gross, et al., (2001), kenara yakın ekilen tekil ve çift ankrajların statik ve dinamik davranışını belirlemek üzere bir çalışma yapmışlardır. Ankraj çubuklarını basınç dayanımı 32.4 MPa olan betona ekmişlerdir. Tekil ankrajları kenardan 100 mm uzağa, çift ankrajları da 100 ve 300 mm uzağa ekmişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda çatlak betondaki kapasitenin çatlama beton durumları ile karşılaştırıldığında %18 daha düşük olduğunu belirlemişlerdir.

Cook and Konz (2001), kimyasal ankrajların bağ dayanımına etki eden faktörleri araştırmak için 12 üreticiden 20 farklı ürünün toplamda 765 test içeren kapsamlı bir

çalışma yapmışlardır. 17.2 ve 37.9 MPa beton basınç dayanımlarına sahip betonlara 6'sı ester esaslı, 14'ü epoksi esaslı yapıştırıcı olmak üzere ankraj çubuklarını ekmişlerdir. Sıcaklığın bağ dayanımına etkisini belirlemek için oda sıcaklığı ve 43°C olmak üzere iki farklı sıcaklıkta ankraj çekme deneyleri yapmışlardır. Nemin etkisinin incelendiği deneylerin sonucunda 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 dayanımının ortalama %43'ü kadar olduğunu belirlemişlerdir. Temizlik durumunun değerlendirildiği grupta tozlu yüzeylerde kimyasal yapıştırıcı-beton arayüzünde yapışmanın sürekli oluşmamasından dolayı bağ kuvvetinin azaldığını gözlemlemişlerdir. Referans numunelerle yapılan karşılaştırmada tozlu deliklere ekilen ankrajlarda bağ dayanımının %29 azaldığını belirlemişlerdir.

Özkul, vd., (2001) yaptıkları çalışmada, 14, 18 ve 22 mm çaplarındaki ankraj çubuklarını 3 farklı yapıştırıcı ile 14, 20 ve 25 MPa basınç dayanımındaki sertleşmiş betonlara ekmişlerdir. Ankraj çubuklarını bir döküm harcı ve iki farklı epoksi reçinesini kullanarak yerleştirmişlerdir. Yapıştırıcı türü açısından yaptıkları değerlendirmede en büyük çekme yükü değerlerinin döküm harcı ile ekilen ankrajlardan elde etmişlerdir. Ekonomiklik açısından değerlendirme yapıldığında ise daha geniş ve derin delik açılması ve dolayısıyla daha fazla miktarda bağlayıcı malzeme gerekeceğinden döküm harcı kullanılarak ekilen ankrajların daha masraflı olduğunu dile getirmişlerdir.

Fujikake, et al., (2003), hızlı çekme yüküne maruz kalmış kimyasal bağlı ankrajların nihai çekme direnci üzerine etkilerini araştırmışlardır. Beton basınç dayanımı 32 MPa olan betona 40, 65, 70, 90 ve 120 mm derinliklerinde ankraj çubukları ekmişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda yükleme oranının artmasıyla dinamik nihai dayanımın arttığını belirlemişlerdir. Yapılan çalışmanın sonucunda ankraj çubuklarında oluşan nihai koni direnci ve nihai bağ dayanımının yükleme oranının artması ile arttığını gözlemlemişlerdir. Statik yükleme altındaki kimyasal yapıştırıcı kullanılarak ekilen ankrajların davranışlarının kimyasal yapıştırıcıya bağlı olduğunu ve farklı yapıştırıcılar ile araştırmalar yapılmasının uygun olacağını dile getirmişlerdir.

Zamora, et al., (2003), harçlı ankraj tipleri için makul bir tasarım geliştirmek ve çekme yükleri etkisinde davranışlarını belirlemeye yönelik bir çalışma yapmışlardır. 30-64 MPa aralığında beton basınç dayanımına sahip betonlara 15.9, 19.1 ve 25.4 mm çaplarında tekil, başlıklı ve başlıksız ankraj çubuklarını 76-178 mm aralığında değişen

derinliklere 3 farklı polimer ve 6 farklı çimento harcı kullanarak ekmişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda başlıksız harçlı ankrajların çekme davranışının kimyasal ankrajlara, başlıklı harçlı ankrajların ise çekme davranışlarının yerinde dökülmüş başlıklı ankrajlara benzediğini belirlemişlerdir.

Shirvani, et al., (2004), hasarlı ve hasarsız betondaki ankrajların beton koparma kapasitelerinin tahmini için 45° koni metodu, beton kapasitesi (CC) metodu ve teorik metodu değerlendiren bir çalışma yapmışlardır. Yaptıkları çalışmalar ve karşılaştırmalar sonucunda, çekme kapasitesinin tahmininde beton kapasitesi metodu ve teorik metodun 45° koni metoduna göre daha gerçeğe yakın sonuçlar verdiğini bulmuşlardır.

Özturan, vd., (2004), sertleşmiş yalın ve lif katkılı normal betonlara yerleştirilen kimyasal, harçlı ve genişleyen tip mekanik ankrajların statik çekme, tekrarlı çekme ve statik kesme yüklemesi altındaki yük-deplasman davranışları ile yük taşıma kapasitelerini ve göçme modlarını belirlemek için deneysel bir çalışma yapmışlardır. Ankrajları ekerken ASTM E 488’de verilen alt sınırları göz önünde bulundurmışlardır. Çalışmanın sonucunda standartta verilen ankrajlar arası ve kenar uzaklıkları için verilen değerlerin sığ ve orta derinliğe ekilen ankrajlar için yetersiz, derine ekilen ankrajlar için ise yeterli olduğunu tespit etmişlerdir. Beton basınç dayanımının çekme kuvvetine etkisini incelediklerinde beton basınç dayanımının artması kimyasal ve harçlı ankrajlarda %30, genişleyen tip ankrajlarda ise %20 oranında bir artış sergilediğini ifade etmişlerdir.

Ashour and Alqedra (2005), yaptıkları çalışmada taze ve sertleşmiş betona yerleştirilen çekme etkisi altındaki tekil ankrajların beton koparma kapasitesini belirlemek için ileri beslemeli yapay sinir ağı modeli sunmuşlardır. Modeldeki değişkenler; gömme derinliği, ankraj çapı, beton dayanımı ve ankrajların yerleşimidir. Bu modeli oluşturmak için yazarlar 451 adet deneyin sonuçlarından yararlanmışlardır. Eğitilen modelin taze ve sertleşmiş betona yerleştirilen mekanik ankrajlar için iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir. Çalışma sonucunda ankraj çapının beton koparma dayanımı üzerine çok etkisi olmadığını ve eğitilen modeldeki tahminlerin ACI 318-02 Appendix D’de verilen formülasyon ile uyumlu olduğunu ifade etmişlerdir.

Sakla and Ashour (2005), kimyasal tekil ankrajların çekme kapasitelerinin tahmini için yapay sinir ağlarını kullanarak bir çalışma yapmışlardır. Bu modeli oluştururken internetteki kimyasal ankraj veri tabanını kullanmışlardır. Beton sınıfı 10-

60 MPa, gömme derinliği ise 20-300 mm aralığında değişmektedir. Yaptıkları inceleme sonucunda beton basınç dayanımı, ankraj çapı ve gömme derinliğinin artmasının kimyasal ankraj çekmesini de arttırdığını ve kimyasal yapıştırıcı tipinin çok önemli olduğunu bildirmişlerdir.

Gesoglu, et al., (2005), çelik liflerle güçlendirilmiş normal ve yüksek dayanımlı sertleşmiş betona yerleştirilen kimyasal ankrajların çekme davranışını belirlemek için deneysel bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada kullandıkları parametreler; çap kimyasal ankrajlarda 12 ve 16 mm, harçlı ankrajlarda 16 mm, gömme derinlikleri kimyasal ankrajlarda 40-160 mm aralığında ve harçlı ankrajlarda ise 80, 120 ve 160 mm'dir. Deneysel çalışmanın sonucunda beton basınç dayanımının artmasının nihai çekme kapasitesini arttırdığını betonda çelik liflerin kullanılması ile azaldığını gözlemlemişlerdir.

Seyhan (2006), yaptığı tez çalışmasında Türkiye'de mevcut yapıları temsil etmek üzere seçilen 16 MPa basınç dayanımına sahip beton içerisine farklı tiplerde kimyasal yapıştırıcılar kullanıldığı, 16 ve 20 mm çaplara sahip, ankraj çapının 6, 8, 10 ve 12 katı derinliklere ekilen tam temizlenmiş, temiz, tozlu, suya doymuş ve nemli yüzey hazırlıklarından geçmiş kimyasal ankrajların çekme yükleri altındaki davranışlarını belirlemeye yönelik deneysel bir çalışma yapmıştır. Çalışma sonucunda ekme derinliğinin artmasının ankraj çekme dayanımını arttırdığını, ankrajları ekme için kullanılan yapıştırıcı malzemesinin ankraj davranışını doğrudan etkileyen önemli bir etken olduğunu belirtmiştir.

Eligehausen, et al., (2006), kimyasal yapıştırıcı kullanılarak ekilen ankrajların tasarımı için kapsamlı nümerik ve deneysel bir çalışma yapmışlardır. Çalışma kapsamında oluşturulan davranış modelini kimyasal ankraj grupları için 415 adet ve serbest kenara yerleştirilen kimyasal tekil ankrajlar için ise 133 adet testi içeren dünya çapındaki veritabanı ile karşılaştırmışlardır. Deneysel çalışmada kullandıkları beton dayanımları; ankraj grupları için 16 MPa, kenara yakın ekilen tekil ankrajlar için 21.8 MPa, seçilen ankraj çapları ise 8-24 mm aralığındadır. Oluşturdukları davranış modelini grup ankrajların sonuçları ile karşılaştırdıklarında 415 adet test için test/tahmin ortalama değerini 0.99 olarak bulmuşlardır. Kenara yakın ekilen tekil ankraj sonuçları ile karşılaştırıldığında ise önerilen modelin tutarlı olduğunu ifade etmişlerdir.

Ozbolt, vd., (2006), yaptıkları çalışmada derinlikleri 150-1500 mm arasında değişen küçük, orta, ve geniş başlıklı tekil ankrajların sonlu elemanlar modeliyle eksenel çekme dayanımlarını beton koni modeli yöntemi sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır. Ankrajların gömülme derinlikleri arttıkça eksenel çekme dayanımlarının arttığını ve geniş başlıklı ankrajlar için nümerik hesaplamaların kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Gürbüz, vd., (2007), 12 ve 16 MPa dayanıma sahip iki tip beton blok içerisine, iki farklı tipte kimyasal yapıştırıcı kullanılarak ankre edilen 16 ve 20 mm çaplara sahip çubukları ankraj çapının 6, 8, 10 ve 12 katı derinliklere ekildiği ankraj çubuklarına çekme deneyi yapmışlardır. Yapılan deneylerde numunelerin yük-deplasman ilişkileri, eksenel çekme kuvvetleri ve göçme modlarını belirlemişlerdir. Çalışmanın sonucunda uygulamada sıkça tercih edilen ankraj çapının 10 katına ekilen ankrajlarda donatı akma dayanımına ulaşmadan erken göçme meydana geldiğini ve kullanılan kimyasal yapıştırıcıların ankraj performansında çok etkili olduğunu gözlemlemişlerdir.

Lee, et al., (2007), ACI 318 Appendix D ve ACI 349 Appendix B'de yer almayan 50 mm den daha büyük çap ve 635 mm den daha fazla gömme derinliğindeki başlıklı ankrajların çekme kapasitelerini belirlemek üzere deneysel bir çalışma yapmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda gömme derinliğinin artması ile test/hesap oranının azaldığını gözlemlemişler ve beton konisi eğiminin de  $45^\circ$ 'nin altında kaldığını belirlemişlerdir. 50 mm den daha büyük çap ve 635 mm'den daha fazla gömme derinliklerdeki ankrajlar için ACI 349-97'deki formülün uygun olmadığını ifade etmişlerdir.

Gürbüz (2007), yaptığı tez çalışmasında, tam ve kısmi bağlı 16 mm çapa sahip ankrajları çapın 6, 8, 10 ve 12 katı derinliklere iyi temizlenmiş, tozdan arındırılmış, tozlu, nemli ve ıslak yüzey koşulları altında 12.7 MPa dayanıma sahip beton bloklara ekilen ankrajlara çekme deneyi yapmıştır ve yük-deplasman ilişkilerini, eksenel çekme kapasitelerini ve göçme modlarını belirlemiştir. Kısmi bağlı ankraklar ile tam bağlı ankrajları karşılaştırdıklarında göçme tiplerinin birbirlerinden farklı olduğunu, kısmi bağlı ankrajların tümünün sıyrıldığını, tam bağlı ankrajların ise göçmenin donatı akma gerilmesine ulaşmadan gerçekleştiğini gözlemlemiştir. Temizlik durumunu karşılaştırdıklarında temizlenmemiş deliklere ekilen ankrajların çekme dayanımlarında

%40'lara varan düşüş, nemli deliklere ekilen ankrajların çekme dayanımlarında ise %30 oranında bir azalmanın olduğunu belirlemiştir.

Kaya (2007), yaptığı tez çalışmasında onarım ve güçlendirme uygulamalarında sıkça kullanılan kimyasal ankrajların; değişik yüzey temizliği, ankrajların bağlılık durumlarının aksel çekme ve statik yüklemeye etkisini incelemiştir. Mevcut yapı stoğu da dikkate alınarak düşük dayanımlı beton içerisine 16 mm çapındaki ankraj çubuklarını ekmiştir. Kısmi bağlanan ankrajları tam bağlı ankrajlar ile ekonomik açıdan karşılaştırdıklarında kullanılacak yapıştırıcının miktarında azalma olacağından önemli tasarruf sağlanacağını ifade etmiştir. Ancak kısmi bağlı ankraj uygulaması yapıldığı takdirde yapıştırıcı sürülmeyen derinlik boyunca korozyon ve çevresel etkilere karşı dikkatli olunması gerektiğini belirtmiştir.

Çolak (2007), yaptığı çalışmada piyasada sıkça kullanılan metilmetakrilat esaslı bir yapıştırıcı kullanarak ekilen ankrajların çekme kapasitelerini belirlemek için alternatif bir metot önermiştir. Kimyasal bağlı ankrajların davranışlarını belirlerken kullanılan elastik modelin metilmetakrilat esaslı bağlayıcılar için uygun olmadığını gözlemlemiş ve yeni bir teori ortaya koymuştur. Model sonucu ampirik olarak ürettiği bir parametrenin kullanılmamasında çekme yüklerinin 3-5 kat daha düşük çıktığını ifade etmiştir.

Demir vd. (2009), ankrajları ekmek için kullanılan kimyasal yapıştırıcıların çekme performansına etkisini araştırmak üzere bir çalışma yapmışlardır. BÇ I sınıfında bulunan çelik donatıları reçine bazlı iki farklı ürün kullanarak ekmişlerdir. Ekilen ankrajlara çekme testi uygulamışlardır. Çalışmada ankraj çapı ve gömme derinliğinin çekme kuvvetine etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda açılan delik çapının donatı çapına yakın olması durumunda sıyırılma direncinin arttığını, gömme derinliğinin ise bir etkisinin olmadığını ifade etmişlerdir. Farklı üreticilerin piyasaya sürdüğü kimyasal yapıştırıcıların aynı türde dahi olsa farklı sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir.

Yılmaz vd., (2010), yaptıkları çalışmada kimyasal ankrajın dayanımını etkileyen parametreler üzerine derleme bir çalışma yapmışlardır. Ankraj çekme dayanımını bağlayıcı cinsi, ankraj deliklerinin temizlik durumu, ankraj çapı, beton kalitesi, gömme derinliği açısından değerlendirmişlerdir. Yaptıkları incelemede gömme derinliği ve

beton sınıfının belli bir değere kadar etkili olduğunu, en etkin parametrelerin ise bağlayıcı cinsi ve temizlik durumu olduğunu görmüşlerdir.

Özen (2010), yaptığı tez çalışmasında 5-25 MPa aralığındaki dayanımlarda olan betonarme elemanlara S420a ve S420b sınıfındaki çelik çubukları kimyasal yapıştırıcı ile yerleştirmiş ve çekme deneylerine tabi tutmuştur. Yaptığı deneyler sonucunda kenara yakın ekilen ankrajların gevrek beton hasarı ile göçtüğünü belirlemiştir. Gevrek beton hasarının oluşmaması için ankrajların çapın 15 katı kadar kenardan uzağa ekilmesi gerektiğini ifade etmiştir. Deney sonuçlarını ACI 318 Ek D’de verilen kapasite ve tasarım deneyleri ile karşılaştırmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda S420 a çubuklar ile ekilen ankrajların %82’sinin nominal dayanımı aştığını, S420 b çubuklar da ise bu oranın %40’ların altında olduğunu gözlemlemiştir. ACI 318 Ek D’de verilen ifadelerin S420b sınıfındaki çubuklar için uygun olmayıp S420a çubuklar için kullanılabileceğini ifade etmiştir.

Pinoteau vd., (2011), yaptıkları çalışmada ankrajların çekme performansına yangının etkisini araştırmışlardır. Bu çalışma için 20-24 MPa dayanımlı betonlara 12 mm çaplı çubukları 12 cm derinliğe ekmişlerdir. Sıcaklığı 750 °C ye kadar çıkartarak ölçümler yapmışlardır. Düşük sıcaklıklarda ankraj çekme dayanımında herhangi bir değişiklik olmadığını belirlemişlerdir. 20 °C üzerindeki durumlarda ankraj çubuklarının doğrudan etkilendiğini ancak önemli bir ankraj çekme dayanımında azalma olmadığını gözlemlemiştir. Sığ ankrajları tasarlarken ısı etkisinin de dikkate alınması gerektiğini ifade etmişlerdir.

Bajer ve Barnat (2012), yaptıkları çalışmada piyasada çok kullanılan vinil-üretan, epoksi reçinesi ve polimer-çimento bazlı kimyasal yapıştırıcıları kullanarak çekme deneyleri yapmışlardır. 28-30-48 MPa dayanımdaki beton elemanları kullanmışlardır. Çalışma sonucunda ürünlerin ortalama dayanımlarını elde etmişlerdir. Polimer-çimento bazlı yapıştırıcı grubu için 16.7 MPa, vinil-üretan bazlı grup için 17.8 MPa ve epoksi reçinesi için ise 23.4 MPa olarak bulmuşlardır. Malzemelerin sertleşme sürelerinin de birbirlerinden çok farklı olduğunu ifade etmişlerdir. Buldukları deney sonuçlarını kullanarak ATENA programı ile modellemişlerdir.

Çavunt (2013), çalışmasını mevcut bir betonarme bir binada bulunan 30 adet ankrajın 14’üne çekme ve 16’sına kesme yüklemesi yapmıştır. Bu ankrajları ekmek için farklı özelliklere sahip 3 çeşit kimyasal yapıştırıcı kullanmıştır. Bir grup ankrajın ekimi

için ise yapıştırıcı kullanmayıp çekiç yardımı ile yerleştirilmiştir. Ankrajları yerleştirmek için kullandığı harçlar; modifiye polimer esaslı ankraj ve montaj harcı, özel çimentolar ve modifiye polimerler içeren erken dayanımı yüksek ankraj harcı ve epoksi esaslı çift bileşenli ankraj harcı şeklindedir. Deney sonuçlarını standart ve literatürde verilen eşitlikler ile kıyaslamıştır. Ekonomiklik açısından bir değerlendirme yaptığında çimento esaslı harçların daha ekonomik olduğunu ifade etmiştir.

Altan (2013), basınç dayanımı 11-37 MPa aralığında olan silindir numunelere beton dökülürken yerleştirilen mekanik ve sertleşmiş betona ekilen kimyasal ankrajların çekme yükleri altındaki davranışını belirlemeye yönelik bir çalışma yapmıştır. Deneysel çalışmada kullandığı çaplar 8 ve 16 mm, gömülme derinlikleri ise ankraj çubuk çapının 10 ve 15 katı olacak şekildedir. Deney sonuçlarını karşılaştırdığında sertleşmiş betona ekilen kimyasal ankrajların taze betona yerleştirilen mekanik ankrajlardan daha iyi performans sergilediğini gözlemlemiştir. Aderansın oluşabilmesi için ankraj çubuklarını en az çapın 10 katı derinliğe gömülmesi ve beton sınıfının da 12 MPa'dan büyük olması gerektiğini önermiştir.

Yılmaz vd., (2013), beton basınç dayanımı 5.9 ve 10.9 MPa olan betonlara ekilen kimyasal ankrajların nihai eksenel çekme dayanımlarını belirlemek üzere deneysel bir çalışma yapmışlardır. 12, 16 ve 20 mm çapa sahip nervürlü çelik donatıları, çapın 10, 15 ve 20 katı olacak şekilde yerleştirmişlerdir. Deney sonuçlarını ACI 318 Ek D'de verilen tasarım ve kapasite değerleriyle karşılaştırmış ve serbest kenara ekilen ankrajlar için en az çapın 15 katı kadar bir boşluğun bırakılması gerektiği sonucuna ulaşmışlardır.

Delhomme vd., (2015), taze betona yerleştirilen mekanik ankraj çubuklarını ve sertleşmiş betona yerleştirilen bağ tipi ankrajları 310 ve 475 mm'ye ekmişler ve çekme davranışını belirlemişlerdir. Beton basınç dayanımı 50-64 MPa olan betonlara ankraj çubuklarını kenardan 70-925 mm uzağa ekmişlerdir. Yazarlar yaptıkları bu deneysel çalışmanın nümerik metotları geliştirmek için iyi bir altyapı olacağını ifade etmişlerdir.

Aras (2015), yaptığı tez çalışmasında 10 farklı kimyasal yapıştırıcı kullanarak 12, 16, 20 ve 24 mm çaplara sahip nervürlü donatıları çapın 5, 10, 15 ve 20 katı derinliklere ekerek eksenel çekme deneyine tabi tutmuş ve yük-deplasman eğrilerini eksenel çekme kuvvetlerini ve göçme modlarını belirlemiştir. Çalışmada 30 MPa dayanıma sahip donatısız beton bokları kullanmıştır. Kullandığı yapıştırıcı piyasada

sıkça kullanılan ürünlerdir. Kullanılan kimyasal yapıştırıcının 9'u iki bileşenli kartuşlu, 1'i de üç bileşenli uygulayıcı tarafından karıştırılan ürünlerdir. 10 ürünün 4'ü epoksi, 3'ü polyester, 2'si epoksi akrilik ve 1'i de vinylester esaslıdır. Yaptığı deneysel çalışmayı sonlu elemanlar programı olan ANSYS ile modellemiştir. Deney sonuçlarını ACI318 Ek-D de verilen kimyasal ankrajların kapasite ve tasarım dayanımı değerleri ile karşılaştırmış ve güvenlik düzeylerini belirlemiştir. Çalışma sonucunda kullanılan kimyasal yapıştırıcının özellikle derin ankrajlarda önemli olduğunu ve oluşturulan modelin de büyük çap ve derinliklere ekilen ankrajlar için sağlıklı sonuçlar verdiğini gözlemlemiştir.

Aydoğan (2015), yaptığı tez çalışmasında 27 MPa basınç dayanımına sahip beton bloklara 10, 12, 16 ve 20 mm çaplara sahip S420a nervürlü donatı çubuklarını çapın 5, 10, 15 ve 20 katı derinliklerine, kenardan çapın 5, 7.5, 10, 15 ve 20 katı uzaklıklara ekerek aksenal çekme kuvveti deneyleri yapmıştır. Ankraj çapı, ekme derinliğe ve kenar mesafelerinin değişken olduğu çalışmada yük-deplasman grafikleri, aksenal çekme kuvveti değerleri, göçme modları, ACI 318 Ek D'de verilen kapasite, tasarım değerleri ve güvenlik düzeylerini belirlemiştir. Yaptığı deneysel çalışma sonucunda etkili gömme derinliğini çapın 15 katı olduğunu daha derinlere ekilen ankrajların çekme kuvvetinde azalmalar meydana geldiğini gözlemlemiştir. ACI 318'den elde edilen güvenlik katsayılarının çap arttıkça azaldığını ifade etmiştir.

### 3. ANKRAJLAR İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

#### 3.1. Ankraj Türleri

Betona yapılan ankrajlar yerleştirilme zamanı ve şekilleri açısından genel olarak iki ana gruba ayrılmaktadır (Şekil 3.1):

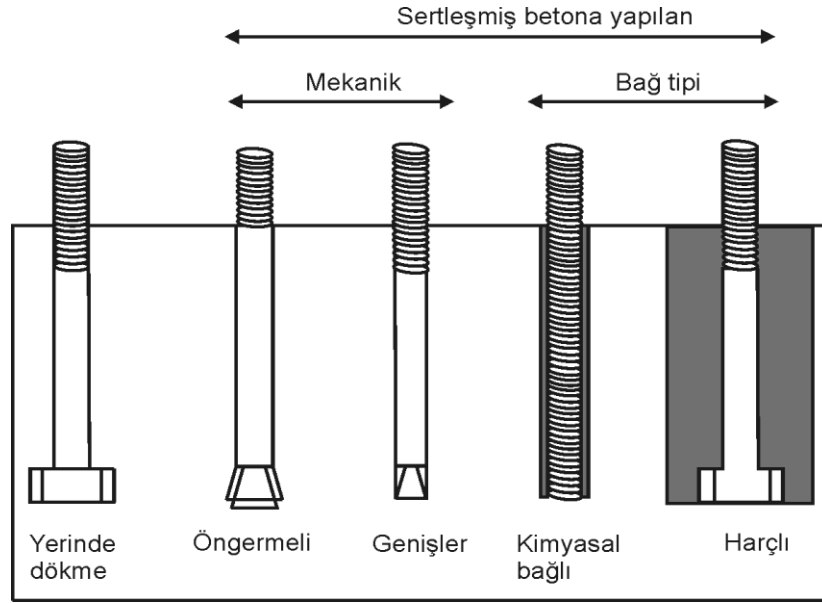
- Betonlama esnasında yerleştirilen ankrajlar (cast-in-place anchors),
- Sertleşmiş betona ekilen ankrajlar (post-installed anchors)

Sertleşmiş betona yapılan ankrajlar, mekanik ve bağ tipi olmak üzere ikiye ayrılır. Bu tür ankrajlar; betona açılan silindirik şeklindeki deliğe yerleştirilen ve genişleyerek betona sürtünme kuvvetleri yolu ile yük aktaran elemanlar ve 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, epoksi, vinilester esaslı olanlar ve çimento esaslı döküm harçlı olanlar olmak üzere farklı ankraj türlerine rastlanılabilir (Özkul, vd., 2001). Onarım ve güçlendirme işlerinde, eksik bırakılan filizlerin eklenmesinde betona sonradan ekilen kimyasal ankrajlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Mevcut taşıyıcı sisteme yeni betonarme elemanlar eklenmesine fırsat vermesinden dolayı yapıcılara geniş kullanım alanı sunmaktadır. Maliyet ve uygulama kolaylığı yönünden de en çok tercih edilen ankraj tipidir.

Muratlı, vd., 2004, taze ve sertleşmiş beton üzerinde yaptıkları çalışmada; sonradan yerleştirilen ankrajlarda beton çekip çıkarma kapasitesinin önceden taze betona yerleştirilen ankrajlardan %10 daha düşük olduğunu belirlemişlerdir.

Kimyasal ankrajlar üzerlerine gelen çekme yüklerini monte edildikleri betona ankrajın bağlı derinliği boyunca oluşan aderans gerilmeleri vasıtasıyla aktarırlar. Kimyasal ankrajlarda aderansın beş bileşeni bulunmaktadır. Bunlar:

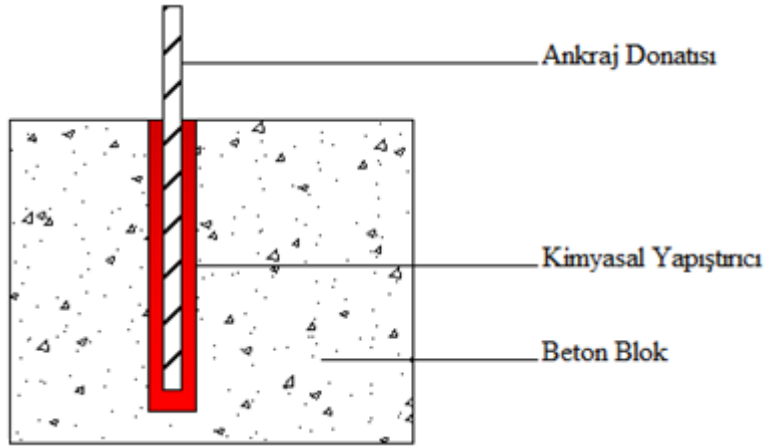
- Epoksi ile beton arasındaki sürtünme,
- Epoksi ile çelik arasındaki sürtünme,
- Epoksi ile beton arasında oluşan kimyasal bağ,
- Epoksi ile çelik arasındaki kimyasal bağ,
- Çelik üzerindeki mekanik diş kuvvetleridir (Gürbüz, 2007).



Şekil 3.1. Ankraj tipleri.

### 3.1.1. Kimyasal ankrajlar

Mevcut yapıların onarım-güçlendirme işlerinde eski beton ile yeni betonun birlikte çalışmasını sağlamak için kullanılan kimyasal ankrajlar; Şekil 3.2’de görüldüğü gibi ankraj donatısı, beton/betonarme blok ve kimyasal yapıştırıcıdan oluşmaktadır.



Şekil 3.2. Kimyasal ankraj bileşenleri.

Kimyasal ankrajlar; etkisi altında oldukları kuvvetin oluşturduğu gerilmeleri aderans ile betona aktarırlar. Bu aktarımın tam aderansla gerçekleşmesi için bağlantıyı oluşturan ara elemanın tam kenetlenme yapması gerekmektedir. Ankrajlarda yapıştırıcı

malzeme olarak epoksi diye isimlendirilen reçine malzemeler kullanılır. Donatıları ekmek için kullanılan reçinelerin polyester, vinylester, epoksi, poliüretan, akrilik esaslı olan çeşitleri vardır. Ankrajları betona ekmek için; sertleştirici polimer ile reçine karıştırıldıktan sonra açılan deliğe doldurulur. Ankraj elemanları ile mevcut elemanlar arasında iyi bir yük aktarımının sağlanması için açılan deliklerin iyice doldurulması ve ankraj macununun uygun kıvamda ekiminin yapılması gerekir (Özen, 2010).

Ankrajlarda kullanılan kimyasal yapıştırıcı, üretici firmalar tarafından genellikle iki tip imal edilir. Birinci tipteki ürün daha sık kullanılan, uygulanması kolay kartuşlu ürünlerdir. Uygulanması daha kolay ve işçilik kalitesini daha az gerektirir. İkinci tip ürün ise; yapıştırıcı ve sertleştiricinin bileşenlerinin uygulayıcı tarafından üreticinin belirlediği oranda karıştırılarak herhangi bir alet (mala, spatula vb.) veya harç tabancasıyla uygulandığı üründür.

### **3.2. Kimyasal Ankraj Dayanımını Etkileyen Parametreler**

Kimyasal ankrajların dayanımını etkileyen birçok parametre vardır. Bunlar;

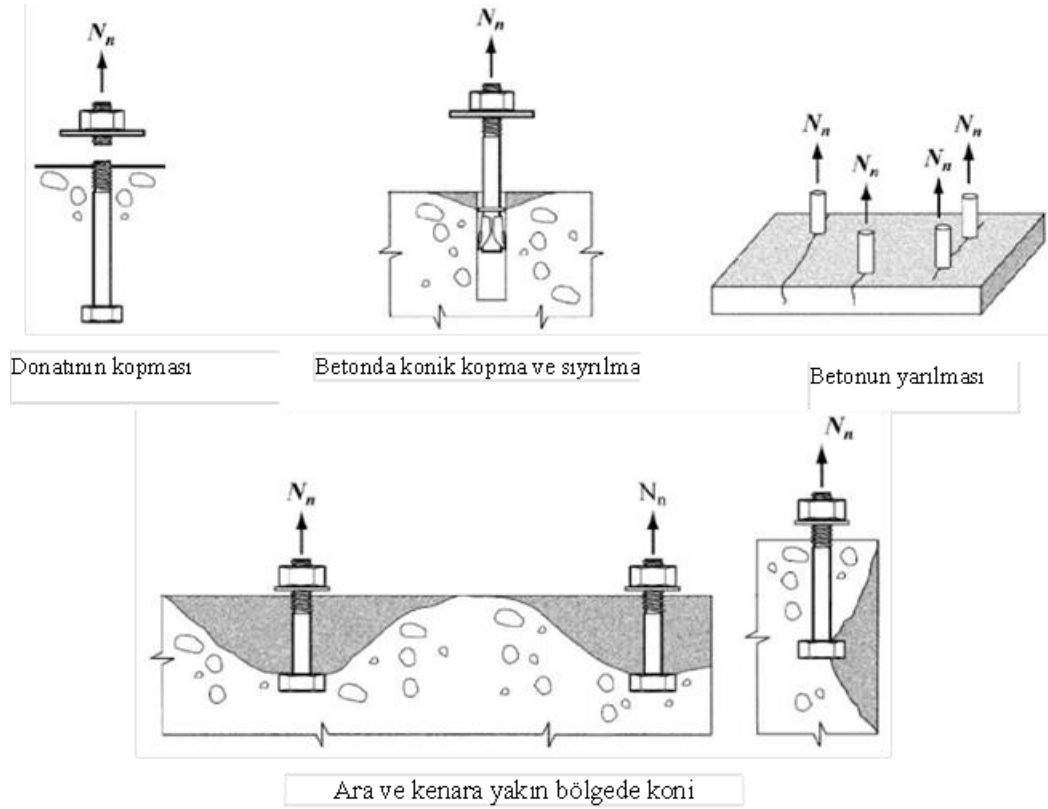
- Temizlik koşulları,
- Nem etkisi,
- Sıcaklık,
- Kür süresi,
- Ankrajların bağlanma durumları,
- Ankraj çubuğunun dayanımı
- Açılan delik çapı,
- Gömme derinliği,
- Betonun dayanımı ve durumu (çatlak oluşumu),
- Ankrajların kenara olan mesafesi,
- Ankrajlar arası mesafe,
- Kimyasal yapıştırıcı türüdür.

### **3.3. Çekme Altındaki Kimyasal Ankrajların Göçme Tipleri**

Kimyasal ankrajların çekme kuvvetleri karşısında oluşabilecek göçme tipleri;

1. Ankraj donatısının kopması,
2. Ankraj donatısının sıyırılması,
3. Betonun konik kopması,

4. Konik kopma ve sıyrılmanın birlikte oluşumu,
5. Betonun yarılarak göçmesidir (Şekil 3.3).



**Şekil 3.3.** Eksenel çekme kuvveti altında ankrajların göçme biçimleri (ACI 318, 2008).

Ankraj çubuğunun kopması göçme tipi daha çok beton ve kimyasal yapıştırıcı kalitesi yüksek derin ekme boyuna sahip ankrajlarda görülmektedir. Koni ile sıyrılmanın birlikte oluşması, genellikle derin ankrajlarda rastlanmaktadır. Sıyrılma yükü; ankrajları ekme için kullanılan kimyasal yapıştırıcı ile betonun özelliklerine bağlıdır. Malzemenin yapışma dayanımının yetersiz olması, kötü kür, kötü yüzeysel koşullar sıyrılmanın oluşmasına neden olur (Cook, 1993). Betonun konik kopması ise eksenel çekme sırasında betonda oluşan çekme gerilmelerinin beton çekme dayanımını aşmasıyla betonun koni şeklinde göçmesidir. Genellikle uygulanma derinliği ve betonun çekme dayanımıyla ilişkilendirilir.

Ankraj çubuğunun sıyrılması, yapışma dayanımının sona ermesiyle meydana gelir. Bu tip göçmeyi engellemek için kimyasal yapıştırıcının iyi seçilmesi ve doğru şekilde uygulanması gereklidir.

Betonun yarılmaması göçme tipi, serbest kenara yakın yerleştirilen ankrajlarda görülür. Beton konisi oluşumu için yeterli alan olmaması veya ankraj ve serbest kenar mesafelerinin çalışma alanıyla kesişmesiyle meydana gelmektedir.

### 3.4. ACI 318 (2008)'e Göre Ankraj Çekme Kapasitesi

ACI 318 (2008) ankrajların çekme kuvvetleri karşısındaki dayanımları için üç farklı kapasite hesabı vermiştir. Bunlar; donatı, beton koni ve sıyrılma kapasitesidir. Genel olarak ankrajın kenara olan mesafesinin yetersiz olduğu durumlarda ve düşük dayanımlı betonlara büyük çaplı veya akma dayanımı yüksek donatıların ekilmesi durumunda beton kapasitesini ankraj kapasitesinin belirlediği, kenar mesafesinin yeterli düzeyde olduğu ankrajlarda ise donatı kapasitesinin ankrajın kapasitesini belirlediği söylenebilir.

ACI 318'e göre ankraj çekme kapasitesi; donatı, koni ve sıyrılma kapasitelerinden en düşük olanıdır. Bu bulunan kapasite değeri işçilik kalitesi ve ortam koşullarına bağlı olan azaltma katsayısı ile çarpılır ve ACI 318 ankraj tasarım dayanımı elde edilir.

#### 3.4.1. Donatı kapasitesi

Ankrajların donatı kapasitesini belirlemek için ACI 318'de verilen Eşitlik 3.1-2 kullanılmalıdır.

$$N_{sa} = n A_{se} f_{uta} \quad (3.1)$$

Tekil veya grup ankrajların çekme yüklemesinde nominal dayanımı ( $N_{sa}$ ) Eşitlik 4.1'deki değeri geçemeyecektir. Eşitlik 3.1'de  $n$  ankraj sayısı,  $f_{uta}$ ; 860 MPa ve  $1.9f_{ya}$ 'dan küçük olanı ve  $f_{ya}$  ise ankraj donatısının akma dayanımı ve  $A_{se}$  etkili kesit alanını göstermektedir.

$$A_{se} = \frac{\pi}{4} \left( d_a - \frac{0.9743}{n_t} \right)^2 \quad (3.2)$$

#### 3.4.2. Beton koni kapasitesi

ACI 318'e göre beton koni kapasitesi Eşitlik 3.3-11'e göre hesaplanır. Tekil ankraj için;

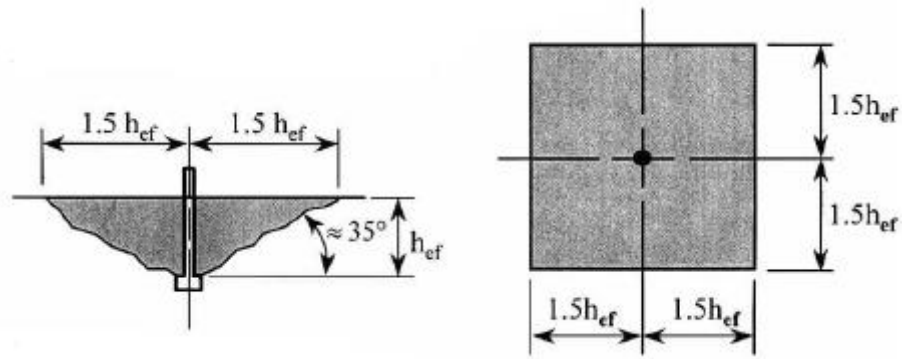
$$N_{cb} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \Psi_{ed,N} \Psi_{c,N} \Psi_{cp,N} N_b \quad (3.3)$$

Ankraj grubu için;

$$N_{cbg} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \Psi_{ec,N} \Psi_{ed,N} \Psi_{c,N} \Psi_{cp,N} N_b \quad (3.4)$$

Birbirine  $3h_{ef}$  daha yakın olan ankrajlar grup olarak çalıştığı kabul edilir.

$A_{Nc}$ ; betonda öngörülen göçme alanı,  $A_{Nco}$ ;  $1.5 h_{ef}$  kenar mesafesindeki ankrajda öngörülen göçme alanı,  $N_b$ ; nominal beton göçme dayanımı,  $N_{cb}$ ; beton koni kapasitesidir. Belirli kenar mesafede  $A_{Nco}$  öngörülen göçme alanı etkin gömme derinliğiyle ilişkilendirilmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. ACI 318'e göre öngörülen göçme alanları.

$$A_{Nco} = (2 \times 1.5 h_{ef}) (2 \times 1.5 h_{ef}) = 9 h_{ef}^2 \quad (3.5)$$

Sonradan ekilen ankrajlar için belirli bir katsayıya bağlı olarak nominal beton göçme dayanımı hesaplanabilmektedir.

$$N_b = k_c \lambda_a \sqrt{f'_c} h_{ef}^{1.5} \quad (3.6)$$

Verilen denklemde;  $k_c$  değeri kimyasal ankraj için 17, önceden yerleştirilmiş ankraj bulonlar için 10, sonradan yerleştirilmiş ankraj bulonlar için 7,  $f'_c$ ; beton basınç dayanımı,  $\lambda_a$ ; hafif beton için düzeltme katsayısıdır. Çekme kuvveti etkisi altındaki ankrajın betonun kopup çıkma dayanımı  $N_b$ 'yi geçemez.  $N_b$ 'nin  $280\text{mm} \leq h_{ef} \leq 635\text{mm}$  aralığı için maksimum değerine alternatif denklem ise;

$$N_b = 3.9 \lambda_a \sqrt{f'_c} h_{ef}^{5/3} \quad (3.7)$$

Denkleimde verilen katsayılar kenar mesafeli durumlarına göre belirlenmesi gerekir.

$$c_{a,min} \geq 1.5 h_{ef} \text{ ise } \Psi_{ed,N} = 1 \quad (3.8)$$

$$c_{a,min} < 1.5 h_{ef} \text{ ise } \Psi_{ed,N} = 0.7 + 0.3 \frac{c_{a,min}}{1.5 h_{ef}} \quad (3.9)$$

$c_{a,min}$ ; ankrajların kenara olan en yakın mesafedir.  $\Psi_{ed,N}$ ; serbest kenara olan uzaklıkla ilgili azaltma katsayısı,  $\Psi_{c,N}$ ; çatlamış ve çatlamamış beton ile ilgili azaltma katsayısıdır. Servis yükleri etkisinde betonun çatlamadığı gösterilebiliyorsa 1.25 alınabilir.

Sertleşmiş betona ekilen ankrajlarda;

$$c_{a,min} \geq c_{ac} \text{ ise } \Psi_{cp,N} = 1 \quad (3.10)$$

$$c_{a,min} \leq c_{ac} \text{ ise } \Psi_{cp,N} = \frac{c_{a,min}}{c_{ac}} \quad (3.11)$$

Şeklinde ifade edilir.

### 3.4.3. Sıyırılma kapasitesi

ACI 318' de yer verilen sıyırılma kapasitesi Eşitlik 3.12-15 ile hesaplanır.

$$N_p = 0.9 f'_c e_h d_o \quad (3.12)$$

Burada;  $N_p$ ; nominal sıyırılma kapasitesi,  $f'_c$ ; belirlenen beton basınç dayanımı,  $d_o$ ; ankraj donatı çapı,  $e_h$ ; uygulanan ankraj tipine göre değişen bir katsayıdır.

$$N_{pn} = \Psi_{c,p} N_p \quad (3.13)$$

$$\Psi_{c,p} = 1.4 \quad (3.14)$$

(3.15)

$$3d_0 < e_n < 4,5d_0$$

Hesaplanan donatı, beton koni ve sıyrılma kapasite değerlerinin en küçüğü ankraj kapasite değeri olarak alınır. Tasarım dayanımını belirlemek için Çizelge 3.1’de verilen azaltma katsayılarından uygun olanı ile kapasite değeri çarpılır. Azaltma katsayısı ankrajın ekildiği betonun donatılı olup olmamasına, işçilik kalitesine, ortam koşullarına bağlı bir sayıdır.

**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	Durum A (Donatılı beton)	C1	0.75
		C2	0.65
		C3	0.55
Konik Kopma Beton Hasarı	Durum B (Donatısız beton)	C1	0.65
		C2	0.55
		C3	0.45

C1: işçilik kalitesi ve ortam koşullarından az etkilenen, güvenilirliği yüksek  
C2: işçilik kalitesi ve ortam koşullarından orta derecede etkilenen, güvenilirliği orta  
C3: işçilik kalitesi ve ortam koşullarından çok etkilenen, güvenilirliği düşük

## 4. MATERYAL ve METOT

Bu tez çalışmasında kimyasal ankrajların çekme davranışlarını etkileyen faktörler araştırılmıştır. Değişken olarak farklı çap, farklı gömme derinliği, temizlik durumu, nem durumu ve sıcaklık etkisi incelenmiştir. Çalışmada 12, 16 ve 20 mm çapa sahip nervürlü çelik çubuklar çapın 5, 10, 15 ve 20 katı derinliklere ekilmiştir. Değişken olarak; tam ve yarı temiz olmak üzere iki farklı temizlik durumu, nemli ve yarı nemli olmak üzere iki farklı nem durumu, 50 ve 150 °C olmak üzere iki farklı sıcaklık durumu seçilmiştir. Değişik parametrelerde ekilen ankrajlara aksenal çekme kuvveti uygulanmış ve yük-deplasman grafikleri elde edilmiştir. Elde edilen grafiklerden başlangıç rijitlikleri, deplasman süneklik oranları, enerji yutma kapasiteleri ve göçme modları belirlenmiştir. ACI 318 (2008)'e göre kapasite ve tasarım dayanımları hesaplanmış, deney sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve güvenlik katsayıları bulunmuştur.

### 4.1. Ankrajların Ekilme Geometrisi

Farklı çap, farklı derinlik ve farklı ortam koşullarında hazırlanan 72 adet ankraj çubuğu donatısız beton bloklara ekilmiş ve çekme testine tabi tutulmuştur. Ankraj çubuğu olarak 12, 16 ve 20 mm çapındaki B420C nervürlü donatılar seçilmiştir. Ankraj çubukları çapın 5, 10, 15 ve 20 katı gömme derinliklerine ekilmişlerdir. Ankraj uygulaması yapılacak silindir delik çapı, uygulanacak donatı çapından 4 mm fazla olarak belirlenmiştir. Ankrajlar ekilirken birbirlerinden etkilenmemeleri için ASTM E-488-5 Yönetmeliğinde verilen ankrajlar arası mesafe ve kenara olan mesafe sınır şartları göz önünde bulundurulmuştur.

### 4.2. Malzeme

Kimyasal ankrajların aksenal çekme kuvveti altında yük kapasitelerini belirlemek için yapılan bu çalışmada 12, 16 ve 20 mm çaplarında nervürlü B420C çubukları, C20/25 sınıfında hazır beton ve iki bileşenli epoksi kullanılmıştır.

#### 4.2.1. Beton

Ankraj ekilecek bloklar; donatısız hazır beton olarak C20/25 sınıfında üretilmiştir. Kullanılan betonun ağırlıkça karışım oranları Çizelge 4.1'de verilmiştir. Üretim sırasında alınan numunelere 28. günde basınç testi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.2'de görülmektedir.

**Çizelge 4.1.** 1 m<sup>3</sup> beton için ağırlıkça karışım oranları.

Malzeme (kg/m <sup>3</sup> )	C 20/25 (kg)
0-4 mm	1180
5-12 mm	225
12-22 mm	510
CEM I 42.5	260
Su	190
Kimyasal katkı	3.5

**Çizelge 4.2.** 28 günlük beton basınç dayanımları.

C 20/25 (MPa)			
I	II	III	Ortalama
21.25	21.73	20.13	21.04

#### 4.2.2. Kimyasal yapıştırıcı

Bu çalışmada ankrajları ekmek için iki bileşenli, kartuşlu, piyasada çok kullanılan bir ürün kullanılmıştır. Bu malzeme iki bileşenli, hızlı kür alan yüksek performanslı ankraj çubuklarını ekmek için kullanılan bir üründür. Kartuşlu bir ürün olup filiz ekme işlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

#### 4.2.3. Ankraj donatıları

Ankraj çubuğu olarak 12, 16 ve 20 mm çaplara sahip, B420C sınıfında, nervürlü çelik donatılar kullanılmıştır. Kullanılan çubuklara çekme testi uygulanmıştır. Çekme testi sonuçları ve TS 708 Beton Çelik Çubukları Standardında yer alan min. akma ve min. çekme değerleri Çizelge 4.3'te verilmiştir.

**Çizelge 4.3.** Ankraj çubuklarının mekanik özellikleri.

<b>Betonarme çeliği mekanik özellikleri (TS708, 2010)</b>			
	<b>Akma (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Çekme (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Kopma Uzaması (%)</b>
	420	-----	12
<b>Deney Sonucu Bulunan Değerler</b>			
<b>Çap (mm)</b>	<b>Akma Dayanımı (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Çekme Dayanımı (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Kopma Uzaması (%)</b>
12	465	543	31
16	473	579	29
20	477	582	30

### 4.3. Ankraj Ekimi

ASTM E-488-5 Yönetmeliğinde verilen ankrajlar arası ve kenara olan mesafe sınır şartları göz önünde bulundurularak ankrajların ekileceği delikler açılmıştır. Delik çapları ekilecek ankraj çubuğu çapından 4 mm daha fazla seçilmiştir. Açılan 72 adet delik basınçlı hava yardımıyla tozdan arındırılmıştır. 12 adet ankraj deliği tamamen temizlenmeyip tozlu bırakılmıştır. Açılan deliklere B420C nervürlü çubuklar kimyasal yapıştırıcı kullanılarak ekilmiştir. Ankraj çubukları ekilirken hava kabarcığı kalmamasına, taban betonuna dik bir şekilde yerleştirilmesine ve yapıştırıcı prizini alıncaya kadar korunmasına özen gösterilmiştir.

### 4.4. Parametreler

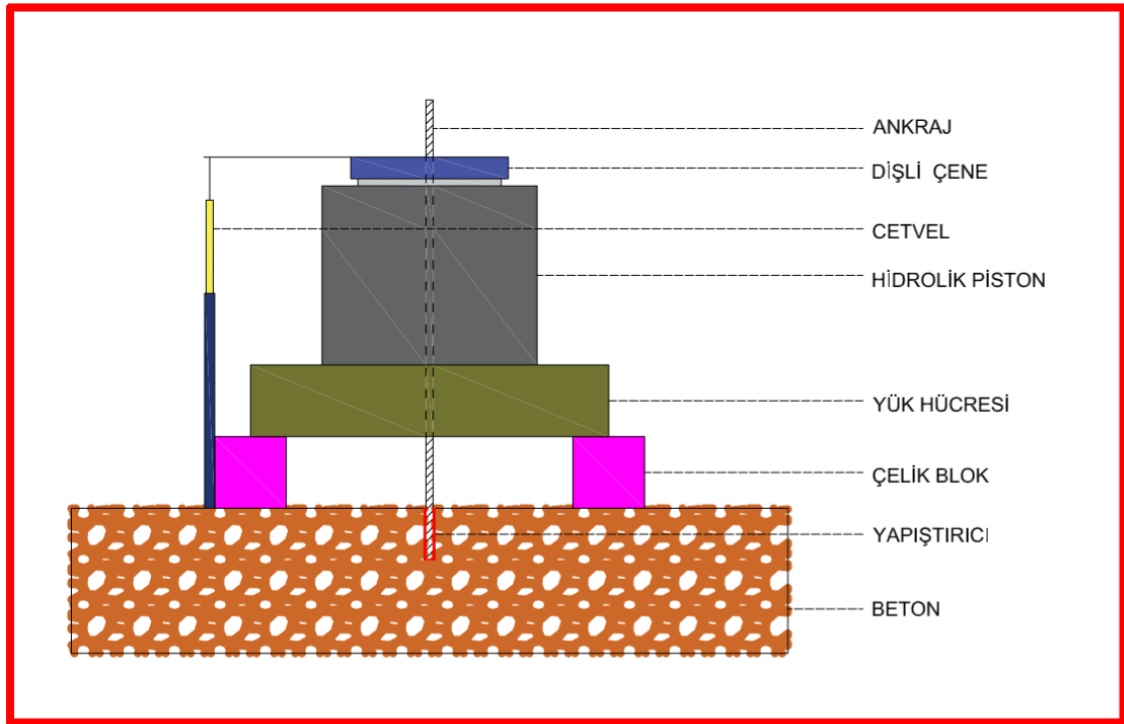
Bu çalışmada 12, 16 ve 20 mm çaplı ankraj çubukları kullanılmıştır. Çapın 5, 10, 15 ve 20 katı derinlikler de gömme derinliği olarak seçilmiştir. 12 mm çaplı ankrajlar 60, 120, 180 ve 240 mm derinliklere, 16 mm çaplı ankrajlar 80, 160, 240 ve 320 mm derinliklere, 20 mm çaplı ankrajlar ise 100, 200, 300 ve 400 mm derinliklere ekilmiştir. Çalışmada ortam koşulları da değişkendir. Değişkenlere ait kısaltma ve açıklamalar Çizelge 4.4'te verilmiştir.

**Çizelge 4.4.** Çalışmada kullanılan parametreler.

Değişken	Kısaltma	Çap / Derinlik (mm)	Açıklama
Temiz	T	12 / 60-120-180-240 16 / 80-160-240-320 20 / 100-200-300-400	Ankraj deliklerinin tamamen tozdan arındırıldığı durum
Yarı temiz	YT	12 / 60-120-180-240 16 / 80-160-240-320 20 / 100-200-300-400	Ankraj deliklerinin tozlu bırakıldığı durum
Nemli	N	12 / 60-120-180-240 16 / 80-160-240-320 20 / 100-200-300-400	Ankraj deliklerinin suya doyurulup nemli bırakıldığı durum
Yarı nemli	YN	12 / 60-120-180-240 16 / 80-160-240-320 20 / 100-200-300-400	Ankraj deliklerinin suya doyurulup suyun çekilmesi durumu
50 °C	50 °C	12 / 60-120-180-240 16 / 80-160-240-320 20 / 100-200-300-400	Ankraj deliklerinin 50 °C'ye ısıtılarak çubukların ekilmesi durumu
150 °C	150 °C	12 / 60-120-180-240 16 / 80-160-240-320 20 / 100-200-300-400	Ankraj deliklerinin 150 °C'ye ısıtılarak çubukların ekilmesi durumu

#### 4.5. Ankraj Çekme Deneyi

Farklı parametrelerde ekilen 72 adet ankrajın çekme altındaki dayanımını belirlemek için çekip çıkarma deneyi yapılmıştır. Deney seti, ankrajlara çekme kuvveti uygulayacak hidrolik piston, kuvvetleri ölçmek için yük hücresi, deplasman miktarını ölçmek için deplasman ölçer, göçme tipini görmek için kullanılan çelik blok, ölçümleri alabilmek için veri toplama cihazı ve ankraj çubuklarını tutmak için kullanılan dişli çeneden oluşmaktadır. Dişli çenelerle tutulan ankraj çubukları hidrolik piston yardımıyla çekilmiş, yük hücresi ve deplasman ölçer ile ölçümler alınarak yük-deplasman eğrileri elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan deney düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 4.1'de verilmiştir.



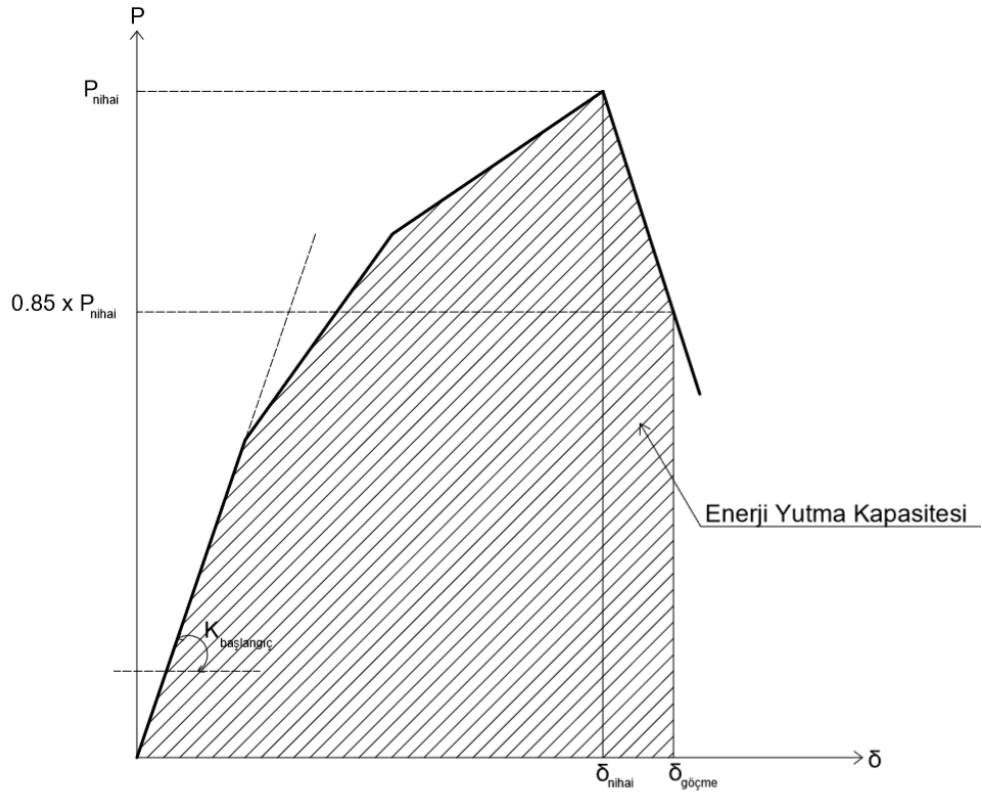
Şekil 4.1. Deney düzeneğinin şematik gösterimi.

#### 4.6. Nihai Yük Kapasitesi, Başlangıç Rijitliği, Deplasman Süneklik Oranı ve Enerji Yutma Kapasitesinin Hesaplanması

**Başlangıç rijitliği:** Ankraj uygulamasını oluşturulan beton, kimyasal yapıştırıcı ve donatı birleşiminin rijitliği yük-deplasman eğrisinin eğimidir (Şekil 4.2).

**Deplasman süneklik oranı:** Kimyasal ankraj uygulamasındaki süneklik oranı, yük-deplasman eğrileri dikkate alınarak göçme tiplerine göre belirlenmiştir. Dayanım kaybı olan numunelerde göçme donatı oranı, yük-deplasman eğrisindeki maksimum yükün 0.85 katı olan yük değerine karşılık gelen deplasman değeridir. Dayanım artışı olan numunelerde ise göçme donatı oranı, kopma noktasındaki deplasmandır. Akma donatı oranı da maksimum yüke karşılık gelen deplasman değeridir. Süneklik oranı da göçme deplasman değerinin akma deplasman değerine oranlanması ile elde edilmiştir (Şekil 4.2). Göçme tipi sıyrılma olan numunelerde de sıyrılmaya başladığı nokta dikkate alınmıştır.

**Enerji yutma kapasitesi:** Enerji yutma kapasitesi deney sırasında elde edilen yük-deplasman eğrisinin altında kalan alanın bulunmasıyla elde edilir (Şekil 4.2).



**Şekil 4.2.** Yük-deplasman eğrisinden değerlerin hesaplanması.

#### 4.7. ACI 318 (2008)'e göre Beklenen Ankraj Çekme Kapasiteleri

ACI 318 Ek-D ankrajların çekme dayanımı ile ilgili olarak üç farklı dayanım tanımlamaktadır. Bunlar; donatı kapasitesi, beton koni kapasitesi ve sıyırılma kapasitesidir. Bu dayanımlar ACI 318'in verdiği formülasyona göre hesaplanır. Bu üç dayanım değerinden en küçüğü ankraj kapasite dayanımını ve göçme modunu belirlemektedir. Kapasite değeri belirlendikten sonra işçilik kalitesi ve ortam koşullarına bağlı olan dayanım azaltma katsayısı ile çarpılır ve ankraj tasarım dayanımı belirlenir. Sıyırılma kapasite değerleri düşük çıktığı için bu çalışmada dikkate alınmamıştır. Donatı ve beton koni kapasiteleri hesaplanmıştır. Çalışma laboratuvar ortamında değil, şantiye ortamında gerçekleştirilmiştir. Bundan dolayı dayanım azaltma katsayısı olarak donatısız beton, işçilik kalitesi ve ortam koşullarından çok etkilenen, güvenilirliği düşük katsayıları olan 0.45 ve 0.55 değerlerinin ortalaması 0.50 alınmıştır.

#### 4.7.1. 12 mm çaplı ankraj çubukları için beklenen çekme kapasiteleri

12 mm çaplı ankraj çubukları için ACI 318'de tanımlanmış kapasite ve tasarım değerleri Çizelge 4.5'te verilmiştir.  $15\Phi$  derinliğe kadar göçme modunu koni kapasitesi belirlerken derinliğin  $15\Phi$  olmasından sonra donatı kapasitesi belirlemiştir.

**Çizelge 4.5.** 12 mm çaplı ankraj çubukları için ACI dayanım değerleri.

Çap (mm)	Derinlik (mm)	Donatı Kapasitesi kN	Koni Kapasitesi kN	ACI Kapasite dayanımı kN	Dayanım azaltma katsayısı	ACI Tasarım dayanımı kN
12	60	65.10	23.87	23.87	0.5	11.94
12	120	65.10	42.28	42.28	0.5	21.14
12	180	65.10	61.99	61.99	0.5	31.00
12	240	65.10	77.37	65.10	0.5	32.55

#### 4.7.2. 16 mm çaplı ankraj çubukları için beklenen çekme kapasiteleri

16 mm çaplı ankraj çubukları için ACI 318'de tanımlanmış kapasite ve tasarım değerleri Çizelge 4.6'da verilmiştir.  $20\Phi$  derinliğe kadar göçme modunu koni kapasitesi belirlemiştir.

#### 4.7.3. 20 mm çaplı ankraj çubukları için beklenen çekme kapasiteleri

20 mm çaplı ankraj çubukları için ACI 318'de tanımlanmış kapasite ve tasarım değerleri Çizelge 4.7'de verilmiştir.  $20\Phi$  derinliğe kadar göçme modunu koni kapasitesi belirlemiştir.

**Çizelge 4.6.** 16 mm çaplı ankraj çubukları için ACI dayanım değerleri.

<b>Çap (mm)</b>	<b>Derinlik (mm)</b>	<b>Donatı Kapasitesi kN</b>	<b>Koni Kapasitesi kN</b>	<b>ACI Kapasite dayanımı kN</b>	<b>Dayanım azaltma katsayısı</b>	<b>ACI Tasarım dayanımı kN</b>
16	80	115.70	29.89	29.89	0.5	14.95
16	160	115.70	55.38	55.38	0.5	27.69
16	240	115.70	77.37	77.37	0.5	38.69
16	320	115.70	100.03	100.03	0.5	50.02

**Çizelge 4.7.** 20 mm çaplı ankraj çubukları için ACI dayanım değerleri.

<b>Çap (mm)</b>	<b>Derinlik (mm)</b>	<b>Donatı Kapasitesi kN</b>	<b>Koni Kapasitesi kN</b>	<b>ACI Kapasite dayanımı kN</b>	<b>Dayanım azaltma katsayısı</b>	<b>ACI Tasarım dayanımı kN</b>
20	100	180.70	36.01	36.01	0.5	18.01
20	200	180.70	66.94	66.94	0.5	33.47
20	300	180.70	94.16	94.16	0.5	47.08
20	400	180.70	124.82	124.82	0.5	62.41

## 5. DENEY SONUÇLARI

Bu bölümde; farklı çap, farklı gömme derinlikleri ve farklı ortam koşullarında ekilen ankraj çubuklarında çekip çıkarma deneyleri sonucunda elde edilen yük-deplasman eğrileri, rijitlik, deplasman süneklik oranları, enerji yutma kapasiteleri, göçme tipleri ve ACI 318 (2008)'e göre güvenlik katsayıları değerlerine yer verilmiştir.

### 5.1. Temizlik Durumu: Temiz

Açılan ankraj delikleri basınçlı hava ile tamamen temizlenmiştir. 12, 16 ve 20 mm çaplara sahip ankraj çubukları çapın 5, 10, 15 ve 20 katı derinliğe ekilmiştir. Ekilen ankrajlara aksenal çekme kuvveti uygulanmış ve yük-deplasman grafikleri elde edilmiştir. Bu eğrilerden ankrajlara ait çekme dayanımları, başlangıç rijitlikleri, deplasman süneklik oranları, enerji yutma kapasiteleri ve göçme modları belirlenmiştir (Çizelge 5.1). Deneylere ilişkin görüntüler EK-1'de verilmiştir.

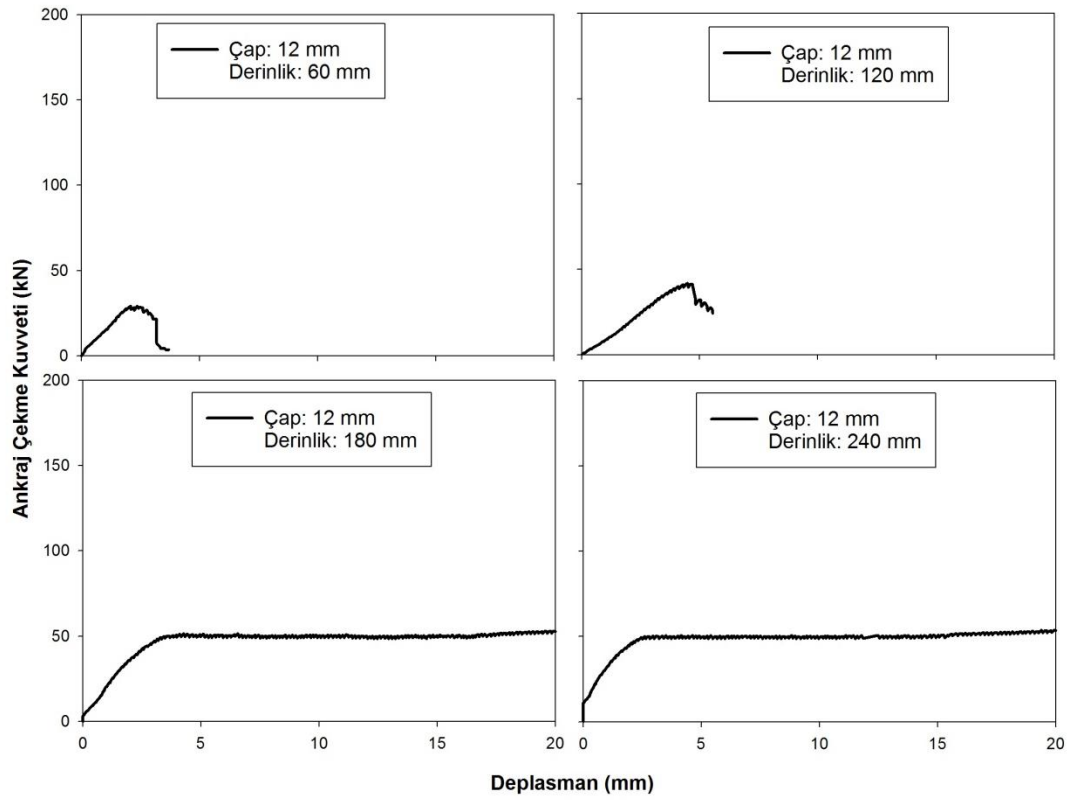
**Çizelge 5.1.** Temizlik durumu: temiz için deney ve hesaplama sonuçları.

Çap (mm)	Ekme Derinliği (mm)	Çekme dayanımı (kN)	Rijitlik K (kN/mm)	Deplasman süneklik oranı	Enerji yutma kapasitesi (kN mm)	Göçme Modları
12	60	29.3	14.37	1.36	32.35	Koni
12	120	41.7	9.37	1.06	65.00	Koni
12	180	49.8	14.10	4.64	476.16	Sıyırılma
12	240	49.8	18.51	5.87	441.56	Sıyırılma
16	80	77.9	6.57	1.05	389.45	Koni + Sıyırılma
16	160	73.9	15.96	1.97	316.46	Sıyırılma
16	240	79.6	17.97	1.94	272.02	Sıyırılma
16	320	74.9	9.59	1.51	241.70	Sıyırılma
20	100	29.1	12.00	1.12	22.44	Koni
20	200	131.5	10.55	1.05	518.81	Sıyırılma
20	300	126.4	14.73	1.34	595.03	Sıyırılma
20	400	139.5	16.41	1.46	701.67	Sıyırılma

#### 5.1.1. Temizlik durumu: temiz için yük-deplasman eğrileri

##### 5.1.1.1. T - 12 mm çaplı ankrajlar için yük-deplasman eğrileri

Temizlik durumunun incelendiği bu grupta 12 mm çapa sahip ankraj çubukları tamamen tozdan arındırılan deliklere 60, 120, 180 ve 240 mm (çapın 5, 10, 15 ve 20 katı) derinliklerde ekilmiş ve yük-deplasman grafikleri elde edilmiştir (Şekil 5.1).



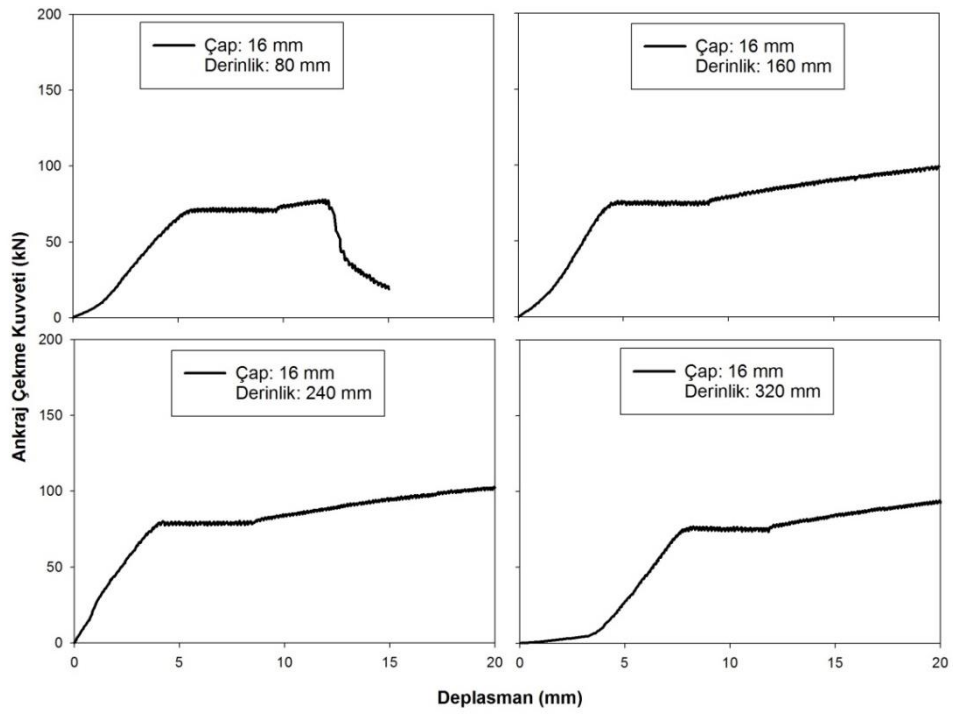
**Şekil 5.1.** Temizlik durumu: temiz için 12 mm çapa sahip ankrajların yük-deplasman eğrileri.

#### **5.1.1.2. T - 16 mm çaplı ankrajlar için yük-deplasman eğrileri**

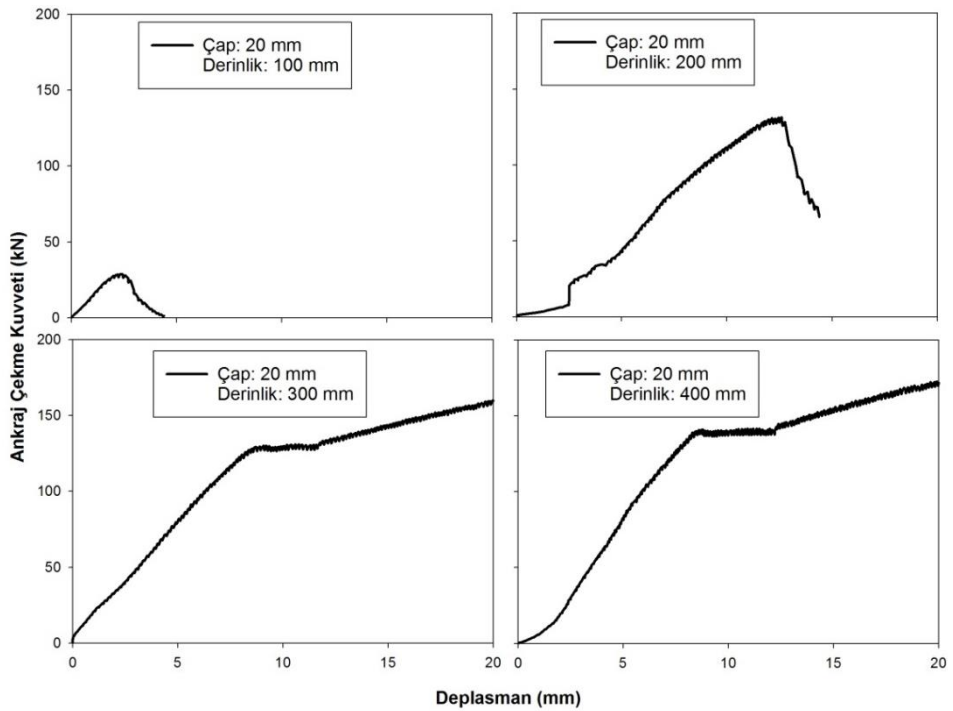
Temizlik durumunun incelendiği bu grupta 16 mm çapa sahip ankraj çubukları tamamen tozdan arındırılan deliklere 80, 160, 240 ve 320 mm (çapın 5, 10, 15 ve 20 katı) derinliklerde ekilmiş ve yük-deplasman grafikleri elde edilmiştir (Şekil 5.2).

#### **5.1.1.3. T - 20 mm çaplı ankrajlar için yük-deplasman eğrileri**

Temizlik durumunun incelendiği bu grupta 20 mm çapa sahip ankraj çubukları tamamen tozdan arındırılan deliklere 100, 200, 300 ve 400 mm (çapın 5, 10, 15 ve 20 katı) derinliklerde ekilmiş ve yük-deplasman grafikleri elde edilmiştir (Şekil 5.3).



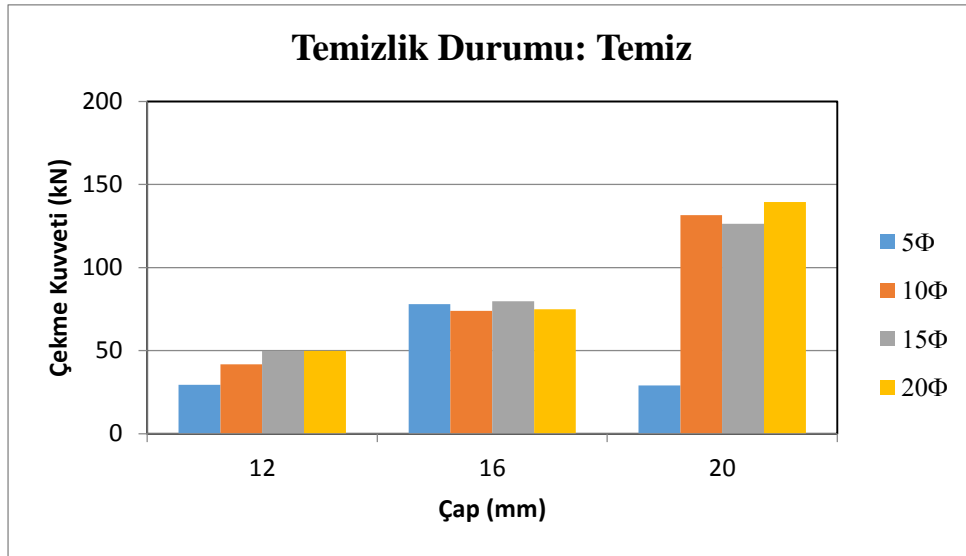
Şekil 5.2. Temizlik durumu: temiz için 16 mm çapa sahip ankrajların yük-deplasman eğrileri.



Şekil 5.3. Temizlik durumu: temiz için 20 mm çapa sahip ankrajların yük-deplasman eğrileri.

### 5.1.2. Temizlik durumu: temiz için çekme kuvveti değerleri ve göçme modları

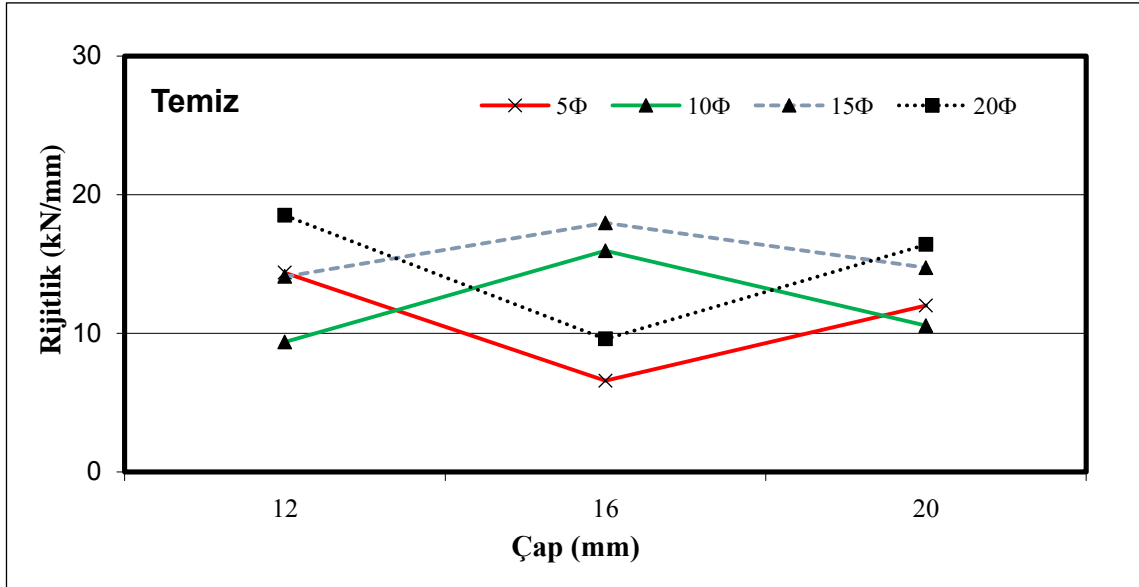
Ankraj deliklerinin tamamen tozdan arındırıldığı ortam koşullarında ekilen 12, 16 ve 20 mm çapa sahip ankraj çubuklarına çekme testi uygulandığında elde edilen çekme kuvveti değerleri Çizelge 5.1 ve Şekil 5.4'te verilmiştir. Çap açısından değerlendirme yapıldığında 12 mm çapa sahip ankrajların ortalama çekme kuvveti değeri 42.7 kN, 16 mm çapa sahip olanların 76.6 kN ve 20 mm çapa sahip olanların ise 106.6 kN'dur. Bu gruptaki ankrajların göçme modlarına bakarsak 3'ü koni, 8'i sıyrılma, 1'i de koni + sıyrılma şeklinde göçmüştür. Genel olarak değerlendirdiğimizde göçme modu olarak sıyrılma hâkimdir.



Şekil 5.4. Temizlik durumu: temiz için çekme kuvveti değerleri.

### 5.1.3. Temizlik durumu: temiz için rijitlik değerleri

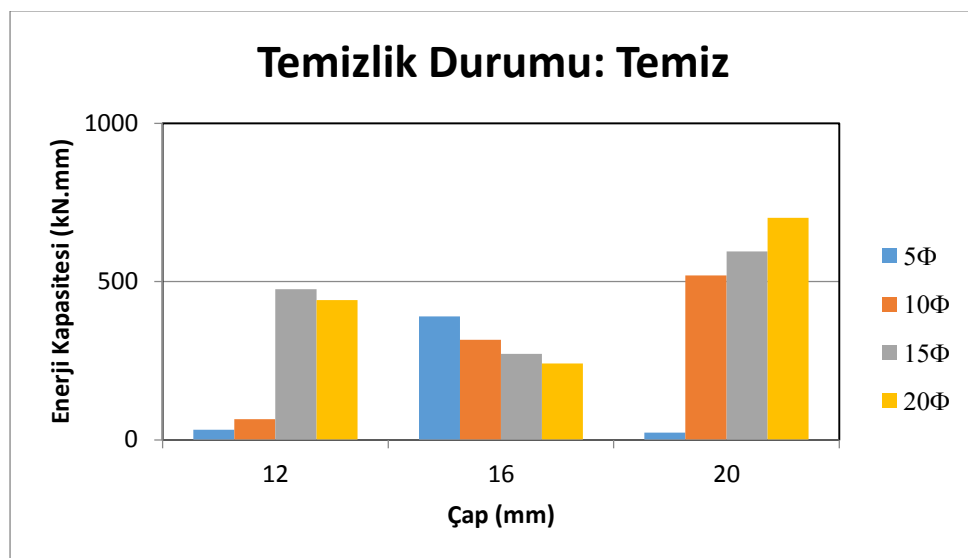
Ankraj deliklerinin tamamen tozdan arındırıldığı ortam koşullarında ekilen 12, 16 ve 20 mm çapa sahip ankraj çubuklarına ait yük-deplasman eğrilerinden elde edilen rijitlik değerleri Çizelge 5.1 ve Şekil 5.5'te verilmiştir. Rijitlik değerleri incelendiğinde 12 mm çapa sahip ankrajların ortalama rijitlik değeri 14.09 kN/mm, 16 mm çapa sahip olanların 12.52 kN/mm ve 20 mm çapa sahip olanların ise 13.42 kN/mm'dir.



Şekil 5.5. Temizlik durumu: temiz için rijitlik değerleri.

#### 5.1.4. Temizlik durumu: temiz için enerji yutma kapasitesi

Ankraj deliklerinin tamamen tozdan arındırıldığı ortam koşullarında ekilen 12, 16 ve 20 mm çapa sahip ankraj çubuklarına ait yük-deplasman eğrilerinden elde edilen enerji yutma kapasiteleri Çizelge 5.1 ve Şekil 5.6'da verilmiştir. Enerji yutma kapasiteleri incelendiğinde 12 mm çapa sahip ankrajların ortalama enerji yutma kapasitesi 253.77 kN.mm, 16 mm çapa sahip olanların 304.90 kN.mm ve 20 mm çapa sahip olanların ise 459.49 kN.mm'dir.



Şekil 5.6. Temizlik durumu: temiz için enerji yutma kapasitesi değerleri.

### 5.1.5. Temizlik durumu: temiz için güvenlik katsayıları

Deneyssel olarak elde edilen çekme dayanımı değerleri, ACI 318 (2008)'e göre hesaplanan kapasite ve tasarım dayanım değerleri ile oranlanarak güvenlik katsayıları (GK) elde edilmiştir (Çizelge 5.2). 12 mm çapa sahip olan ankraj çubuklarının ortalama kapasite güvenlik katsayısı 0.95, tasarım güvenlik katsayısı 1.89'dur. 16 mm çaplı çubukların kapasite güvenlik katsayısı 1.43, tasarım güvenlik katsayısı 2.86'dır. 20 mm çaplı çubukların ise kapasite güvenlik katsayısı 1.31, tasarım güvenlik katsayısı da 2.62 olarak bulunmuştur. Temizlik durumu temiz için test edilen tüm ankraj çubuklarının tasarım güvenlik katsayıları 1'in üstünde çıkmıştır (EK-2).

**Çizelge 5.2.** Temizlik durumu: temiz için güvenlik katsayıları.

Numune Adı	Çekme Day. (kN)	ACI Kapasite Day. (kN)	ACI Tasarım Day. (kN)	GK Kapasite	GK Tasarım
T-12-60	29.3	23.87	11.94	1.23	2.45
T-12-120	41.7	42.28	21.14	0.99	1.97
T-12-180	49.8	61.99	31.00	0.80	1.61
T-12-240	49.8	65.10	32.55	0.76	1.53
T-16-80	77.9	29.89	14.95	2.61	5.21
T-16-160	73.9	55.38	27.69	1.33	2.67
T-16-240	79.6	77.37	38.69	1.03	2.06
T-16-320	74.9	100.03	50.02	0.75	1.50
T-20-100	29.1	36.01	18.01	0.81	1.62
T-20-200	131.5	66.94	33.47	1.96	3.93
T-20-300	126.4	94.16	47.08	1.34	2.68
T-20-400	139.5	124.82	62.41	1.12	2.24

### 5.2. Temizlik Durumu: Yarı Temiz

Açılan ankraj delikleri basınçlı hava ile üstün körü temizlenmiştir. Delikler tamamen tozdan arındırılmamıştır. 12, 16 ve 20 mm çaplara sahip ankraj çubukları çapın 5, 10, 15 ve 20 katı derinliğe ekilmiştir. Ekilen ankrajlara aksenal çekme kuvveti uygulanmış ve yük-deplasman grafikleri elde edilmiştir. Bu eğrilerden ankrajlara ait çekme dayanımları, başlangıç rijitlikleri, deplasman süneklik oranları, enerji yutma kapasiteleri ve göçme modları belirlenmiştir (Çizelge 5.3).

**Çizelge 5.3.** Temizlik durumu: yarı temiz için deney ve hesaplama sonuçları.

Çap (mm)	Ekme Derinliği (mm)	Çekme dayanımı (kN)	Rijitlik K (kN/mm)	Deplasman süneklik oranı	Enerji yutma kapasitesi (kN mm)	Göçme Modları
12	60	21.4	20.0	2.12	24.26	Koni
12	120	48.3	8.80	3.40	494.40	Koni + Sıyırılma
12	180	48.1	9.77	1.78	186.14	Koni + Sıyırılma
12	240	38.1	14.47	5.56	346.31	Sıyırılma
16	80	52.7	13.83	1.05	74.46	Koni
16	160	64.5	15.25	2.05	272.47	Sıyırılma
16	240	77.5	19.38	2.15	323.16	Sıyırılma
16	320	68.5	14.60	1.97	299.90	Sıyırılma
20	100	110.3	19.56	1.09	168.40	Koni
20	200	124.7	17.03	1.44	604.60	Sıyırılma
20	300	121.13	13.27	1.30	629.33	Sıyırılma
20	400	135.0	14.10	1.30	650.45	Sıyırılma

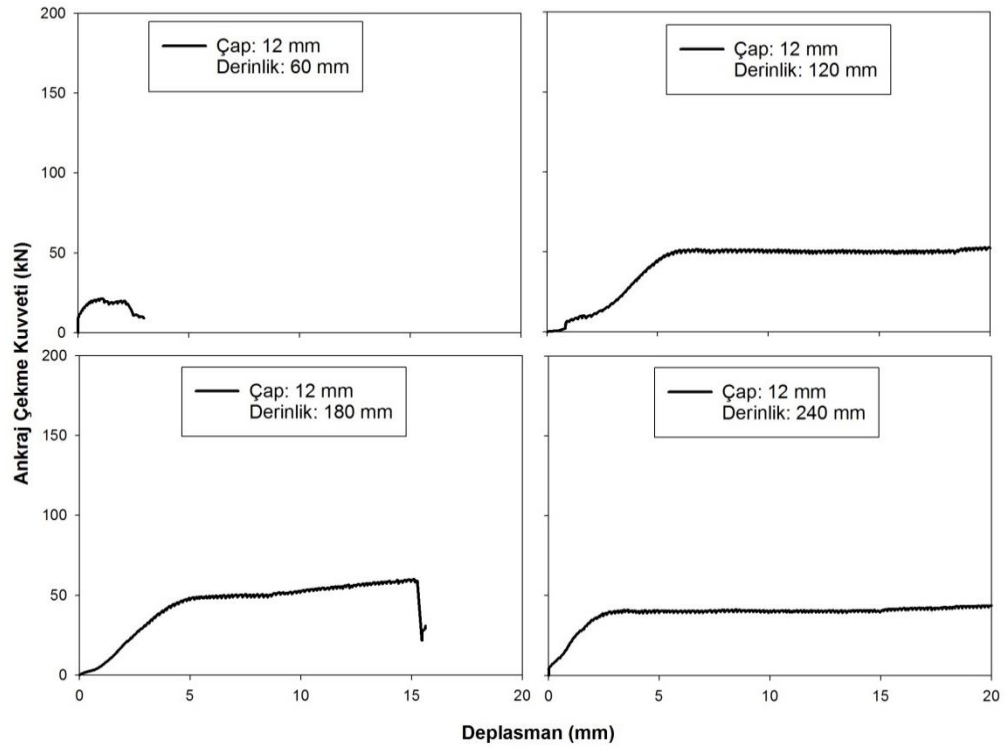
### 5.2.1. Temizlik durumu: yarı temiz için yük-deplasman eğrileri

#### **5.2.1.1. YT - 12 mm çaplı ankrajlar için yük-deplasman eğrileri**

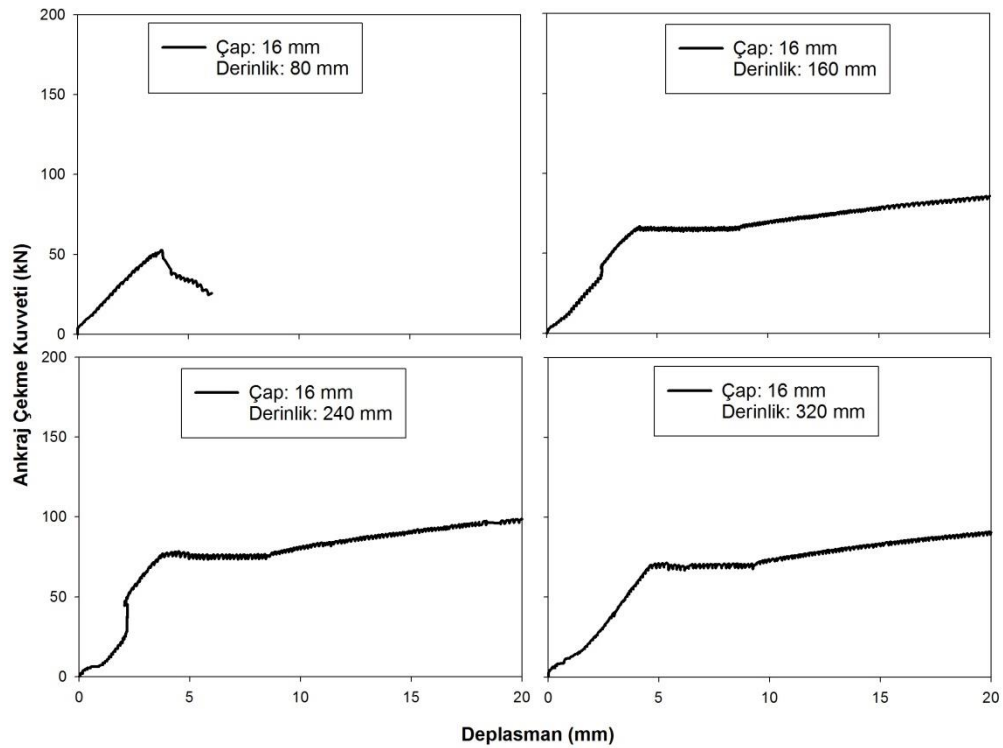
Temizlik durumunun incelendiği bu grupta 12 mm çapa sahip ankraj çubukları üstün körü tozdan arındırılan deliklere 60, 120, 180 ve 240 mm (çapın 5, 10, 15 ve 20 katı) derinliklerde ekilmiş ve yük-deplasman grafikleri elde edilmiştir (Şekil 5.7).

#### **5.2.1.2. YT - 16 mm çaplı ankrajlar için yük-deplasman eğrileri**

Temizlik durumunun incelendiği bu grupta 16 mm çapa sahip ankraj çubukları tamamen tozdan arındırılan deliklere 80, 160, 240 ve 320 mm (çapın 5, 10, 15 ve 20 katı) derinliklerde ekilmiş ve yük-deplasman grafikleri elde edilmiştir (Şekil 5.8).



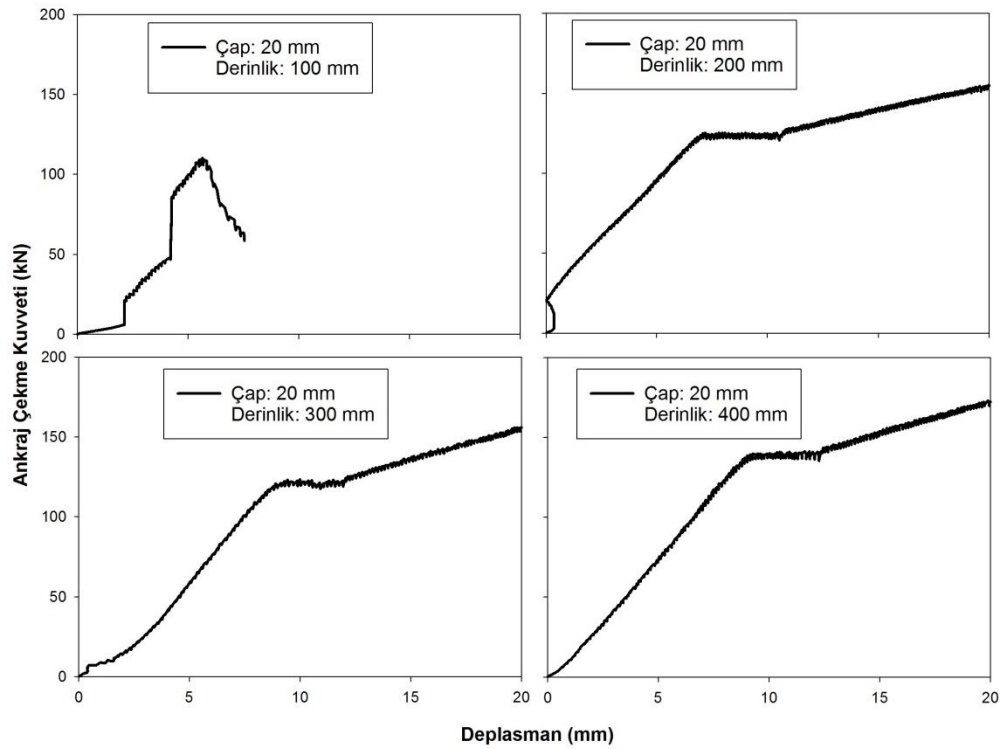
Şekil 5.7. Temizlik durumu: yarı temiz için 12 mm çapa sahip ankrajların yük-deplasman eğrileri.



Şekil 5.8. Temizlik durumu: yarı temiz için 16 mm çapa sahip ankrajların yük-deplasman eğrileri.

### **5.2.1.3. YT - 20 mm çaplı ankrajlar için yük-deplasman eğrileri**

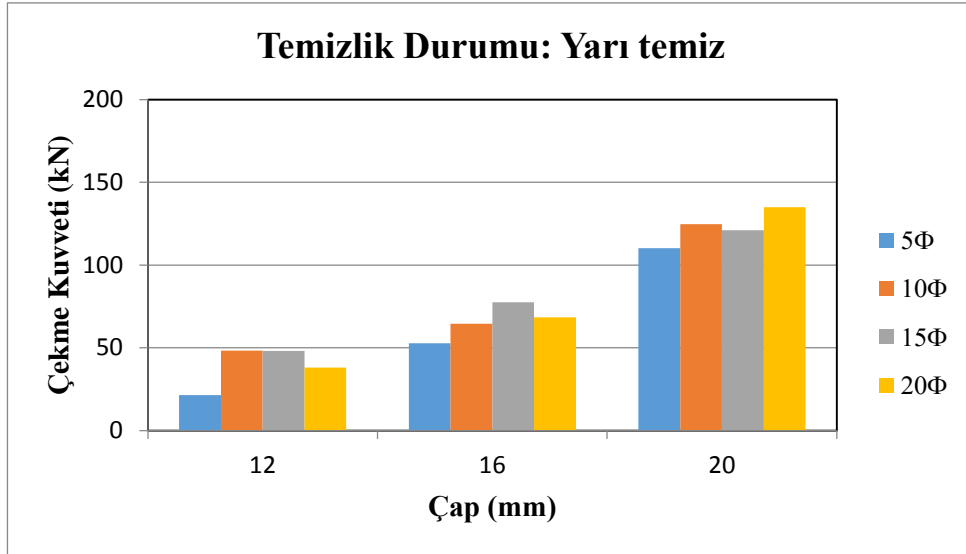
Temizlik durumunun incelendiği bu grupta 20 mm çapa sahip ankraj çubukları tamamen tozdan arındırılan deliklere 100, 200, 300 ve 400 mm (çapın 5, 10, 15 ve 20 katı) derinliklerde ekilmiş ve yük-deplasman grafikleri elde edilmiştir (Şekil 5.9).



**Şekil 5.9.** Temizlik durumu: yarı temiz için 20 mm çapa sahip ankrajların yük-deplasman eğrileri.

### **5.2.2. Temizlik durumu: yarı temiz için çekme kuvveti değerleri ve göçme modları**

Ankraj deliklerinin tamamen tozdan arındırılmadığı ortam koşullarında ekilen 12, 16 ve 20 mm çapa sahip ankraj çubuklarına çekme testi uygulandığında elde edilen çekme kuvveti değerleri Çizelge 5.2 ve Şekil 5.10'da verilmiştir. Çap açısından değerlendirme yapıldığında 12 mm çapa sahip ankrajların ortalama çekme kuvveti değeri 39.0 kN, 16 mm çapa sahip olanların 65.8 kN ve 20 mm çapa sahip olanların ise 122.8 kN'dur. Bu gruptaki ankrajların göçme modlarına bakarsak 3'ü koni, 7'si sıyrılma, 2'si de koni + sıyrılma şeklinde göçmüştür. Genel olarak değerlendirdiğimizde göçme modu olarak sıyrılma hâkimdir.



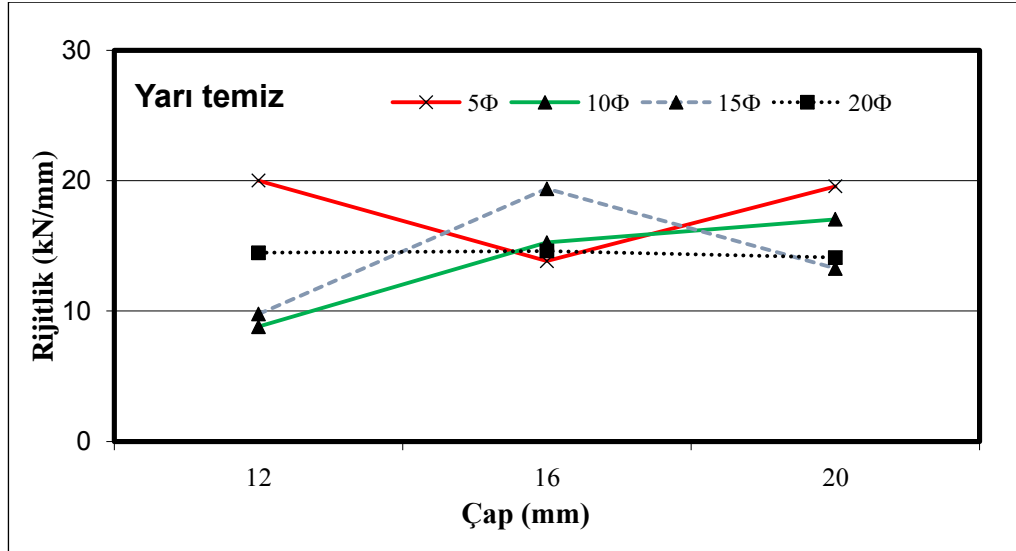
**Şekil 5.10.** Temizlik durumu: yarı temiz için çekme kuvveti değerleri.

### 5.2.3. Temizlik durumu: yarı temiz için rijitlik değerleri

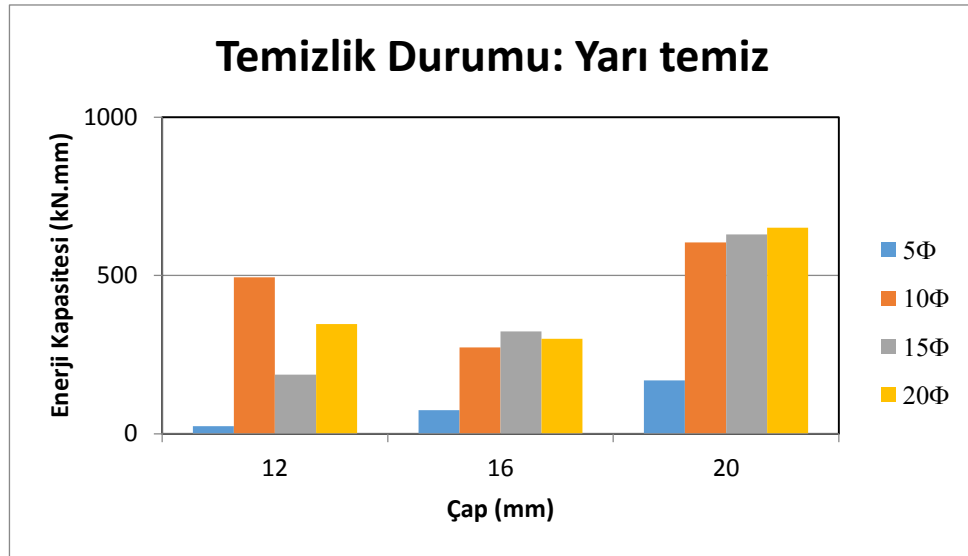
Ankraj deliklerinin tamamen tozdan arındırılmadığı ortam koşullarında ekilen 12, 16 ve 20 mm çapa sahip ankraj çubuklarına ait yük-deplasman eğrilerinden elde edilen rijitlik değerleri Çizelge 5.3 ve Şekil 5.11’de verilmiştir. Rijitlik değerleri incelendiğinde 12 mm çapa sahip ankrajların ortalama rijitlik değeri 13.265 kN/mm, 16 mm çapa sahip olanların 15.77 kN/mm ve 20 mm çapa sahip olanların ise 15.99 kN/mm’dir.

### 5.2.4. Temizlik durumu: yarı temiz için enerji yutma kapasitesi

Ankraj deliklerinin tamamen tozdan arındırılmadığı ortam koşullarında ekilen 12, 16 ve 20 mm çapa sahip ankraj çubuklarına ait yük-deplasman eğrilerinden elde edilen enerji yutma kapasiteleri Çizelge 5.3 ve Şekil 5.12’de verilmiştir. Enerji yutma kapasiteleri incelendiğinde 12 mm çapa sahip ankrajların ortalama enerji yutma kapasitesi 262.80 kN.mm, 16 mm çapa sahip olanların 242.50 kN.mm ve 20 mm çapa sahip olanların ise 513.20 kN.mm’dir.



Şekil 5.11. Temizlik durumu: yarı temiz için rijitlik değerleri.



Şekil 5.12. Temizlik durumu: yarı temiz için enerji yutma kapasitesi değerleri.

### 5.2.5. Temizlik durumu: yarı temiz için güvenlik katsayıları

Deneysel olarak elde edilen çekme dayanımı değerleri, ACI 318 (2008)'e göre hesaplanan kapasite ve tasarım dayanım değerleri ile oranlanarak güvenlik katsayıları (GK) elde edilmiştir (Çizelge 5.4). 12 mm çapa sahip olan ankraj çubuklarının ortalama kapasite güvenlik katsayısı 0.85, tasarım güvenlik katsayısı 1.70'dir. 16 mm çaplı çubukların kapasite güvenlik katsayısı 1.15, tasarım güvenlik katsayısı 2.31'dir. 20 mm

çaplı çubukların ise kapasite güvenlik katsayısı 1.82, tasarım güvenlik katsayısı da 3.65 olarak bulunmuştur. Temizlik durumu yarı temiz için test edilen tüm ankraj çubuklarının tasarım güvenlik katsayıları 1'in üstünde çıkmıştır (EK-3).

**Çizelge 5.4.** Temizlik durumu: yarı temiz için güvenlik katsayıları.

Numune Adı	Çekme dayanımı (kN)	ACI Kapasite dayanımı kN	ACI Tasarım dayanımı kN	GK (Kapasite)	GK (Tasarım)
YT-12-60	21.4	23.87	11.94	0.90	1.79
YT-12-120	48.3	42.28	21.14	1.14	2.28
YT-12-180	48.1	61.99	31.00	0.78	1.55
YT-12-240	38.1	65.10	32.55	0.59	1.17
YT-16-80	52.7	29.89	14.95	1.76	3.53
YT-16-160	64.5	55.38	27.69	1.16	2.33
YT-16-240	77.5	77.37	38.69	1.00	2.00
YT-16-320	68.5	100.03	50.02	0.68	1.37
YT-20-100	110.3	36.01	18.01	3.06	6.12
YT-20-200	124.7	66.94	33.47	1.86	3.73
YT-20-300	121.13	94.16	47.08	1.29	2.57
YT-20-400	135.0	124.82	62.41	1.08	2.16

### 5.3. Nem Durumu: Nemli

Açılan ankraj delikleri tamamen suya doyurulmuştur. 12, 16 ve 20 mm çaplara sahip ankraj çubukları çapın 5, 10, 15 ve 20 katı derinliğe ekilmiştir. Ekilen ankrajlara aksenal çekme kuvveti uygulanmış ve yük-deplasman grafikleri elde edilmiştir. Bu eğrilerden ankrajlara ait çekme dayanımları, başlangıç rijitlikleri, deplasman süneklik oranları, enerji yutma kapasiteleri ve göçme modları belirlenmiştir (Çizelge 5.5). Deneylere ilişkin görüntüler EK-4'te verilmiştir.

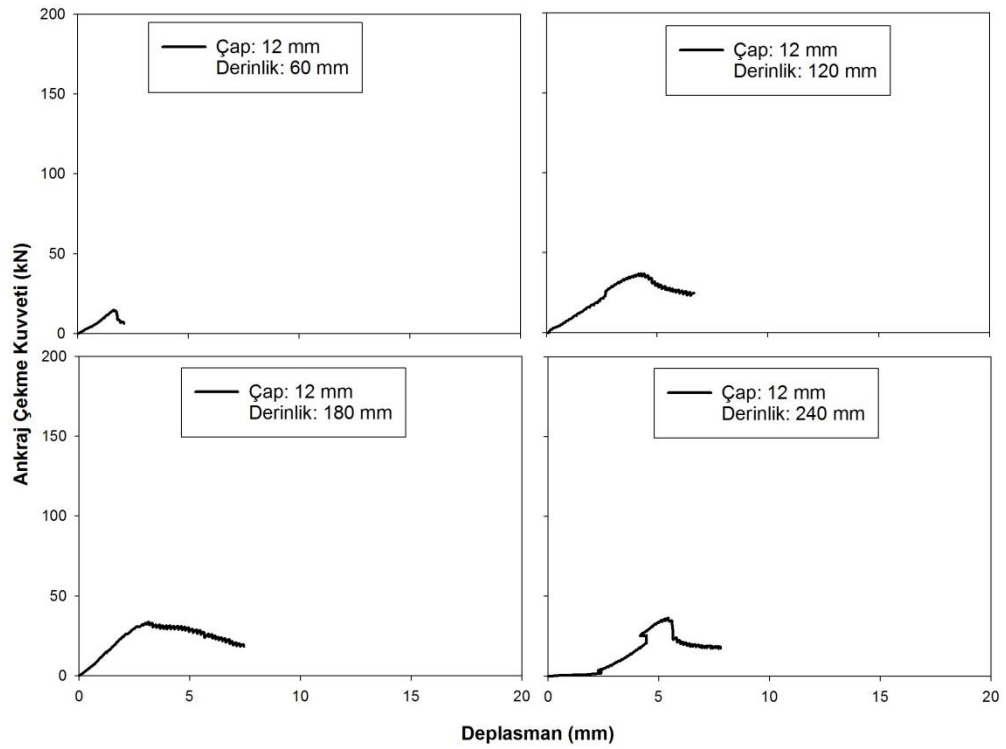
#### 5.3.1. Nem durumu: nemli için yük-deplasman eğrileri

##### 5.3.1.1. N - 12 mm çaplı ankrajlar için yük-deplasman eğrileri

Nem durumunun incelendiği bu grupta 12 mm çapa sahip ankraj çubukları nemli deliklere 60, 120, 180 ve 240 mm (çapın 5, 10, 15 ve 20 katı) derinliklerde ekilmiş ve yük-deplasman grafikleri elde edilmiştir (Şekil 5.13).

**Çizelge 5.5.** Nem durumu: nemli için deney ve hesaplama sonuçları.

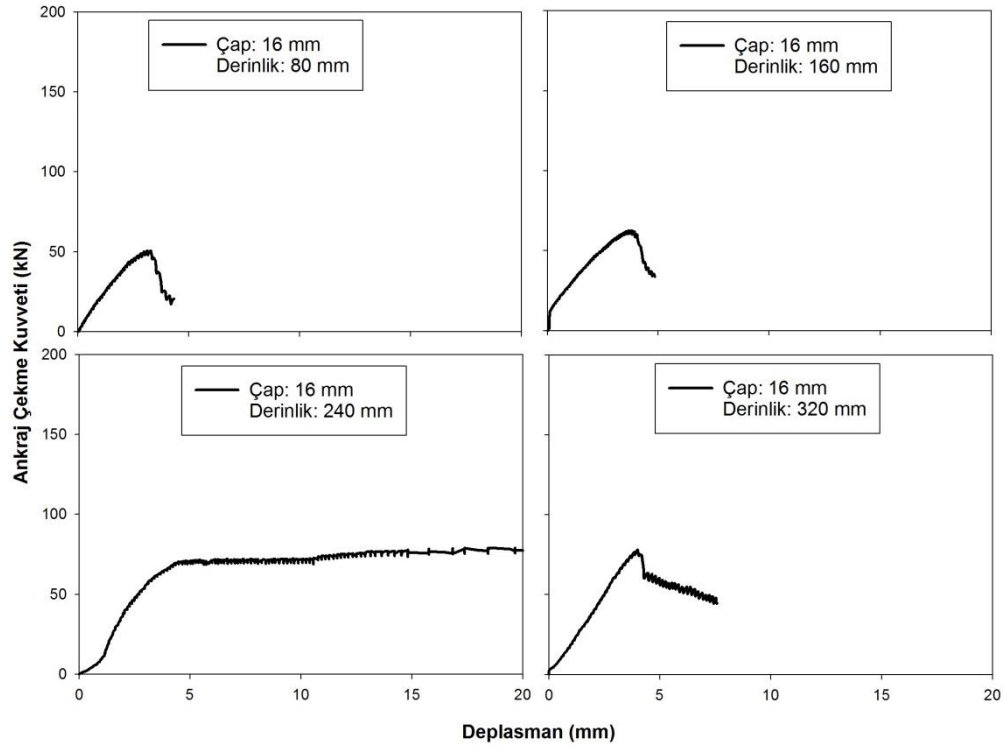
Çap (mm)	Ekme Derinliği (mm)	Çekme dayanımı (kN)	Rijitlik K (kN/mm)	Deplasman süneklik oranı	Enerji yutma kapasitesi (kN mm)	Göçme Modları
12	60	14.7	9.03	1.07	8.52	Koni
12	120	36.9	8.38	1.13	64.69	Koni
12	180	33.7	10.73	1.70	75.44	Koni
12	240	36.4	6.78	1.04	39.13	Koni
16	80	50.7	16.21	1.12	66.91	Koni
16	160	62.8	16.52	1.08	99.27	Koni
16	240	70.3	15.72	2.36	437.56	Sıyrıma
16	320	78.3	19.63	1.07	106.40	Koni
20	100	71.9	15.54	1.05	114.22	Koni
20	200	79.5	26.52	1.37	141.82	Koni
20	300	115.8	24.73	1.15	257.16	Koni
20	400	51.3	21.55	1.08	34.18	Koni



**Şekil 5.13.** Nem durumu: nemli için 12 mm çapa sahip ankrajların yük-deplasman eğrileri.

### **5.3.1.2. N - 16 mm çaplı ankrajlar için yük-deplasman eğrileri**

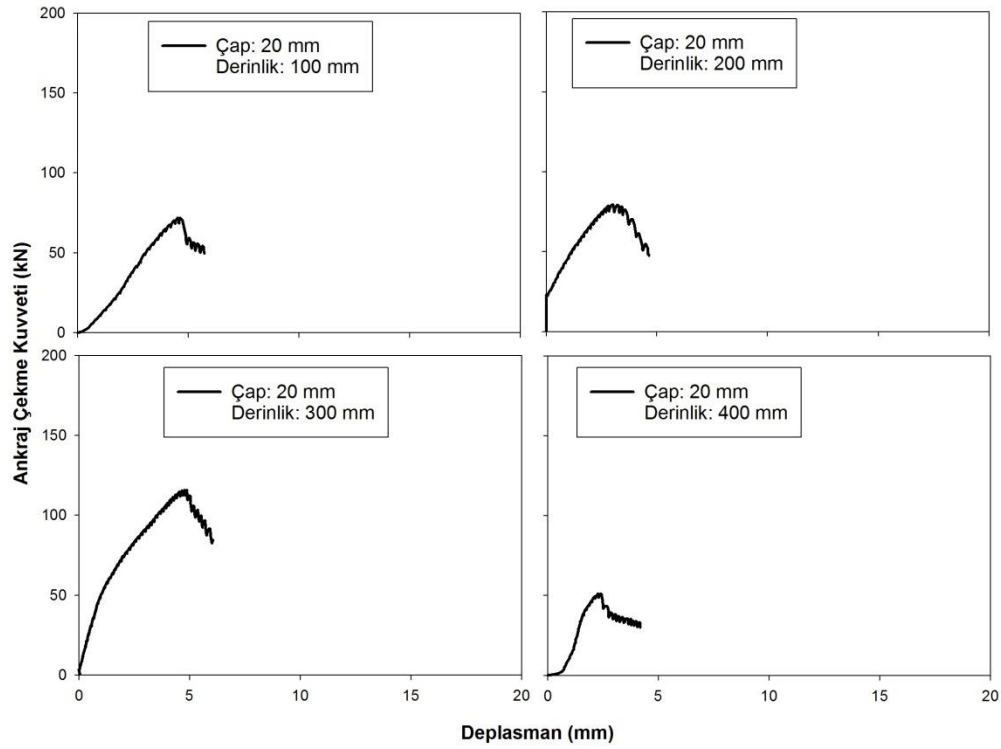
Nem durumunun incelendiği bu grupta 16 mm çapa sahip ankraj çubukları nemli deliklere 80, 160, 240 ve 320 mm (çapın 5, 10, 15 ve 20 katı) derinliklerde ekilmiş ve yük-deplasman grafikleri elde edilmiştir (Şekil 5.14).



**Şekil 5.14.** Nem durumu: nemli için 16 mm çapa sahip ankrajların yük-deplasman eğrileri.

### **5.3.1.3. N - 20 mm çaplı ankrajlar için yük-deplasman eğrileri**

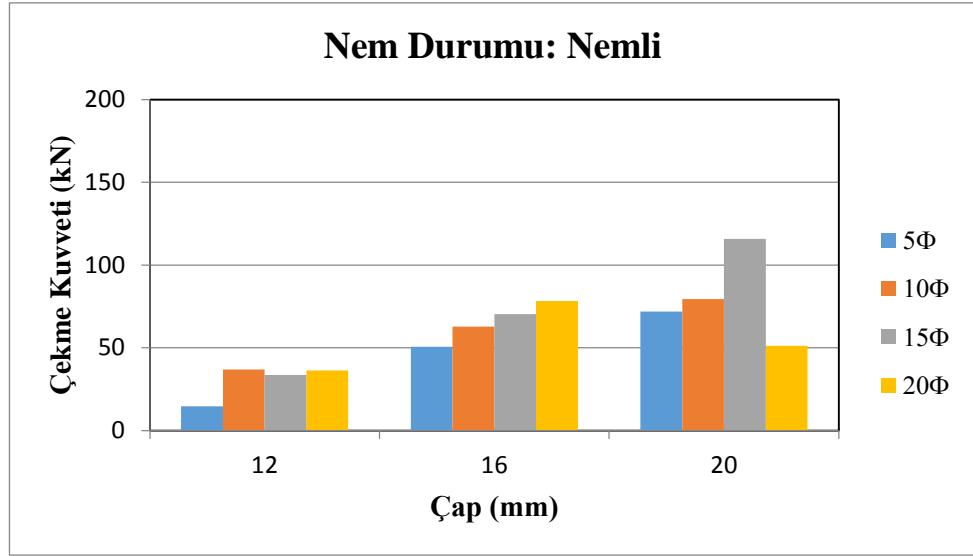
Nem durumunun incelendiği bu grupta 20 mm çapa sahip ankraj çubukları nemli deliklere 100, 200, 300 ve 400 mm (çapın 5, 10, 15 ve 20 katı) derinliklerde ekilmiş ve yük-deplasman grafikleri elde edilmiştir (Şekil 5.15).



**Şekil 5.15.** Nem durumu: nemli için 20 mm çapa sahip ankrajların yük-deplasman eğrileri.

### 5.3.2. Nem durumu: nemli için çekme kuvveti değerleri ve göçme modları

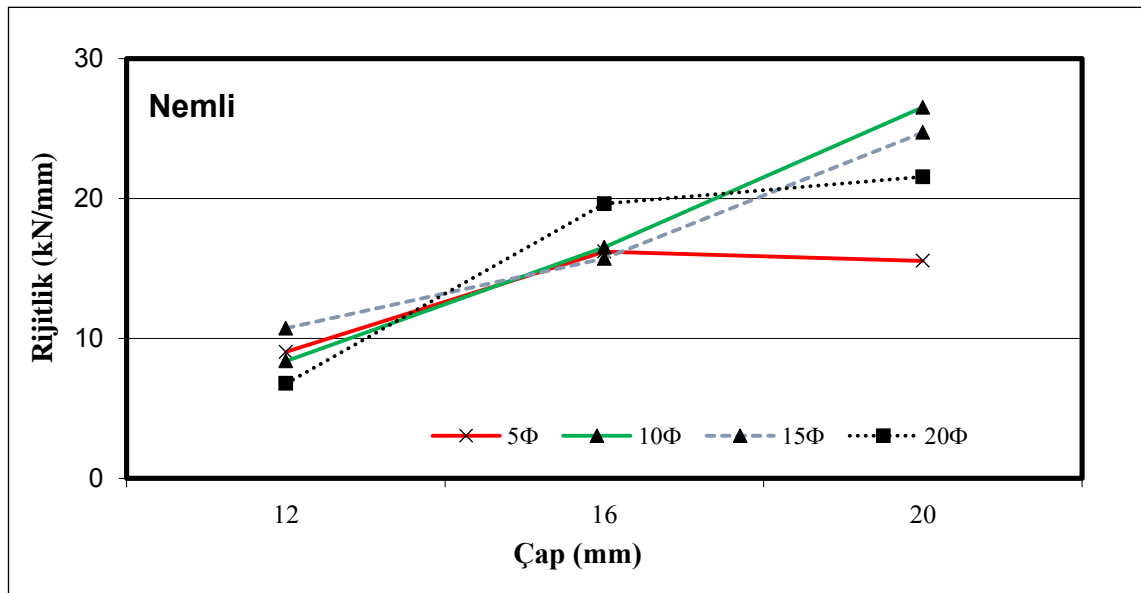
Ankraj deliklerinin nemli olduğu ortam koşullarında ekilen 12, 16 ve 20 mm çapa sahip ankraj çubuklarına çekme testi uygulandığında elde edilen çekme kuvveti değerleri Çizelge 5.5 ve Şekil 5.16’da verilmiştir. Çap açısından değerlendirme yapıldığında 12 mm çapa sahip ankrajların ortalama çekme kuvveti değeri 30.4 kN, 16 mm çapa sahip olanların 65.5 kN ve 20 mm çapa sahip olanların ise 79.6 kN’dur. Bu gruptaki ankrajların göçme modlarına bakarsak 11’i koni ve 1’i sıyrılmaya şeklinde göçmüştür. Genel olarak değerlendirdiğimizde göçme modu olarak konik kopma hâkimdir.



Şekil 5.16. Nem durumu: nemli için çekme kuvveti değerleri.

### 5.3.3. Nem durumu: nemli için rijitlik değerleri

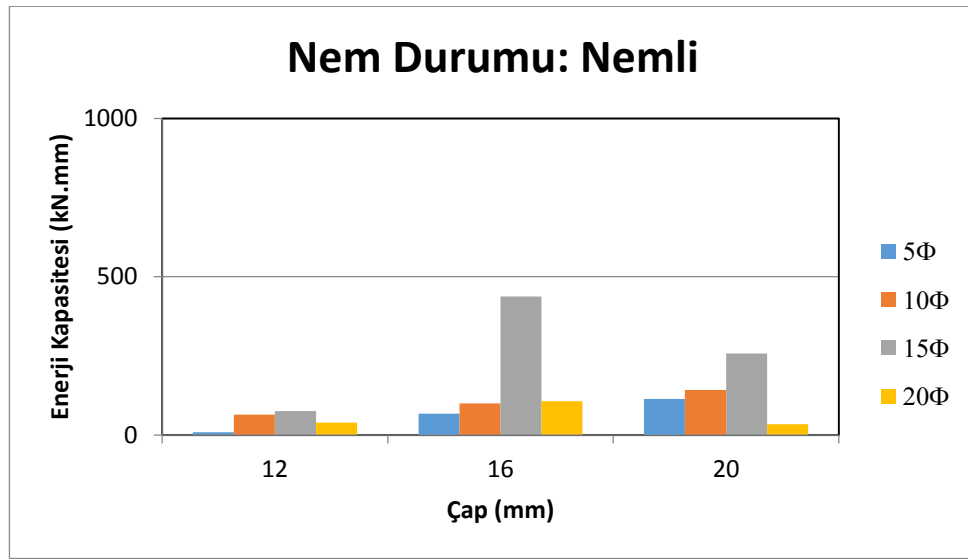
Ankraj deliklerinin nemli bırakıldığı ortam koşullarında ekilen 12, 16 ve 20 mm çapa sahip ankraj çubuklarına ait yük-deplasman eğrilerinden elde edilen rijitlik değerleri Çizelge 5.5 ve Şekil 5.17’de verilmiştir. Rijitlik değerleri incelendiğinde 12 mm çapa sahip ankrajların ortalama rijitlik değeri 8.73 kN/mm, 16 mm çapa sahip olanların 17.02 kN/mm ve 20 mm çapa sahip olanların ise 22.09 kN/mm’dir.



Şekil 5.17. Nem durumu: nemli için rijitlik değerleri.

### 5.3.4. Nem durumu: nemli için enerji yutma kapasitesi

Ankraj deliklerinin nemli bırakıldığı ortam koşullarında ekilen 12, 16 ve 20 mm çapa sahip ankraj çubuklarına ait yük-deplasman eğrilerinden elde edilen enerji yutma kapasiteleri Çizelge 5.5 ve Şekil 5.18’de verilmiştir. Enerji yutma kapasiteleri incelendiğinde 12 mm çapa sahip ankrajların ortalama enerji yutma kapasitesi 46.95 kN.mm, 16 mm çapa sahip olanların 177.54 kN.mm ve 20 mm çapa sahip olanların ise 136.85 kN.mm’dir.



Şekil 5.18. Nem durumu: nemli için enerji yutma kapasitesi değerleri.

### 5.3.5. Nem durumu: nemli için güvenlik katsayıları

DeneySEL olarak elde edilen çekme dayanımı değerleri, ACI 318 (2008)’e göre hesaplanan kapasite ve tasarım dayanım değerleri ile oranlanarak güvenlik katsayıları (GK) elde edilmiştir (Çizelge 5.6). 12 mm çapa sahip olan ankraj çubuklarının ortalama kapasite güvenlik katsayısı 0.65, tasarım güvenlik katsayısı 1.30’dur. 16 mm çaplı çubukların kapasite güvenlik katsayısı 1.13, tasarım güvenlik katsayısı 2.26’dır. 20 mm çaplı çubukların ise kapasite güvenlik katsayısı 1.21, tasarım güvenlik katsayısı da 2.41 olarak bulunmuştur. Nem durumu: nemli için test edilen tüm ankraj çubuklarının tasarım güvenlik katsayıları 1’in üstünde çıkmıştır (EK-5).

**Çizelge 5.6.** Nem durumu: nemli için güvenlik katsayıları.

Numune Adı	Çekme dayanımı (kN)	ACI Kapasite dayanımı kN	ACI Tasarım dayanımı kN	GK (Kapasite)	GK (Tasarım)
N-12-60	14.7	23.87	11.94	0.62	1.23
N-12-120	36.9	42.28	21.14	0.87	1.75
N-12-180	33.7	61.99	31.00	0.54	1.09
N-12-240	36.4	65.10	32.55	0.56	1.12
N-16-80	50.7	29.89	14.95	1.70	3.39
N-16-160	62.8	55.38	27.69	1.13	2.27
N-16-240	70.3	77.37	38.69	0.91	1.82
N-16-320	78.3	100.03	50.02	0.78	1.57
N-20-100	71.9	36.01	18.01	2.00	3.99
N-20-200	79.5	66.94	33.47	1.19	2.38
N-20-300	115.8	94.16	47.08	1.23	2.46
N-20-400	51.3	124.82	62.41	0.41	0.82

#### 5.4. Nem Durumu: Yarı Nemli

Açılan ankraj delikleri tamamen suya doyurulmuş ve birkaç gün beklenilerek suyun buharlaşması beklenmiştir. 12, 16 ve 20 mm çaplara sahip ankraj çubukları çapın 5, 10, 15 ve 20 katı derinliğe ekilmiştir. Ekilen ankrajlara aksenal çekme kuvveti uygulanmış ve yük-deplasman grafikleri elde edilmiştir. Bu eğrilerden ankrajlara ait çekme dayanımları, başlangıç rijitlikleri, deplasman süneklik oranları, enerji yutma kapasiteleri ve göçme modları belirlenmiştir (Çizelge 5.7). Deneylere ilişkin görüntüler EK-6'da verilmiştir.

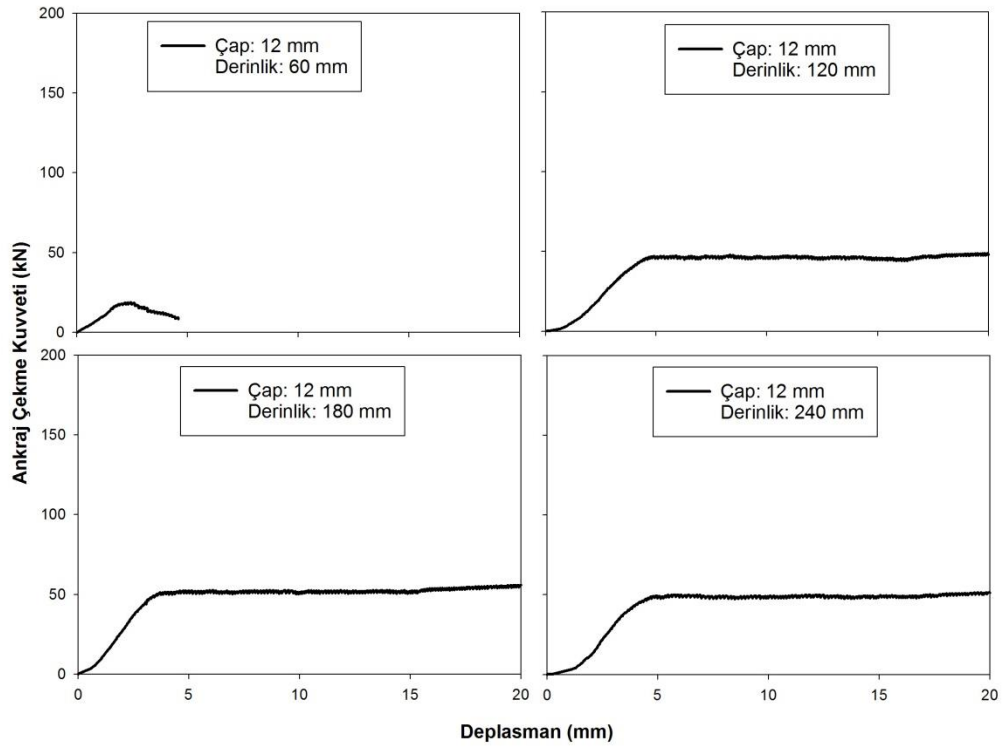
#### 5.4.1. Nem durumu: yarı nemli için yük-deplasman eğrileri

##### 5.4.1.1. YN - 12 mm çaplı ankrajlar için yük-deplasman eğrileri

Nem durumunun incelendiği bu grupta 12 mm çapa sahip ankraj çubukları yarı nemli deliklere 60, 120, 180 ve 240 mm (çapın 5, 10, 15 ve 20 katı) derinliklerde ekilmiş ve yük-deplasman grafikleri elde edilmiştir (Şekil 5.19).

**Çizelge 5.7.** Nem durumu: yarı nemli için deney ve hesaplama sonuçları.

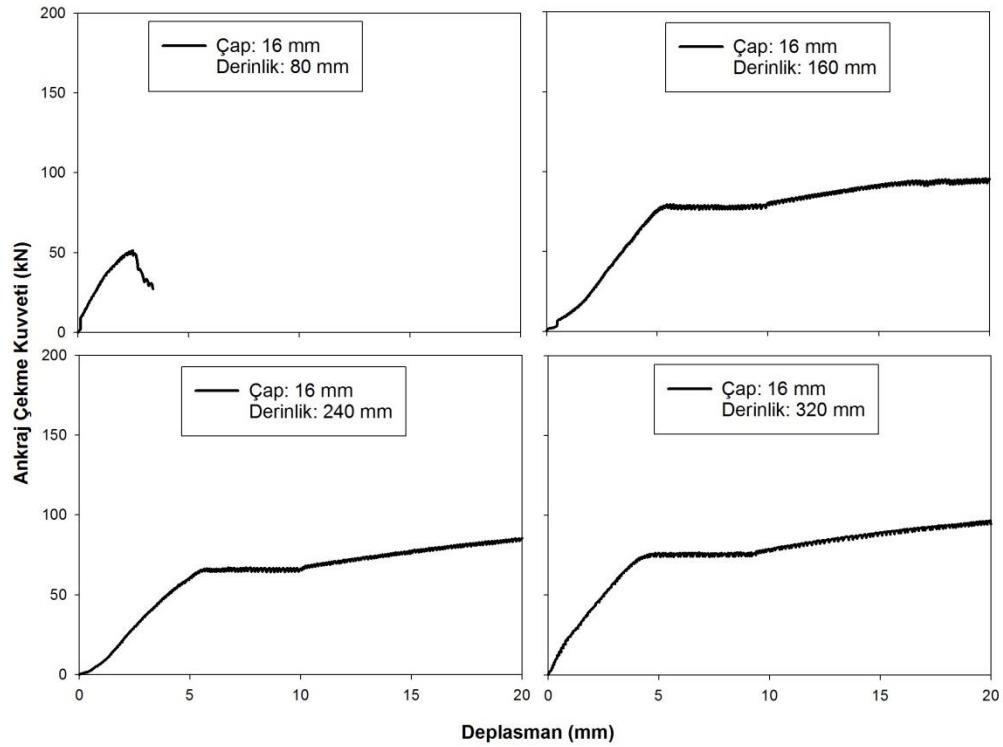
Çap (mm)	Ekme Derinliği (mm)	Çekme dayanımı (kN)	Rijitlik K (kN/mm)	Deplasman süneklik oranı	Enerji yutma kapasitesi (kN mm)	Göçme Modları
12	60	18.8	8.09	1.17	20.75	Koni
12	120	45.0	4.41	3.60	374.55	Sıyrılma
12	180	51.2	13.82	4.06	323.74	Sıyrılma
12	240	49.5	10.04	3.52	568.26	Sıyrılma
16	80	51.5	21.00	1.09	59.08	Koni
16	160	78.3	14.66	1.87	355.57	Koni + sıyrılma
16	240	64.6	11.66	1.81	295.33	Sıyrılma
16	320	73.9	17.44	2.14	350.02	Sıyrılma
20	100	69.6	15.53	1.07	99.21	Koni
20	200	112.8	12.85	1.38	516.71	Koni + sıyrılma
20	300	73.2	12.68	1.77	373.86	Koni
20	400	87.3	6.34	1.24	488.67	Koni



**Şekil 5.19.** Nem durumu: yarı nemli için 12 mm çapa sahip ankrajların yük-deplasman eğrileri.

#### 5.4.1.2. YN - 16 mm çaplı ankrajlar için yük-deplasman eğrileri

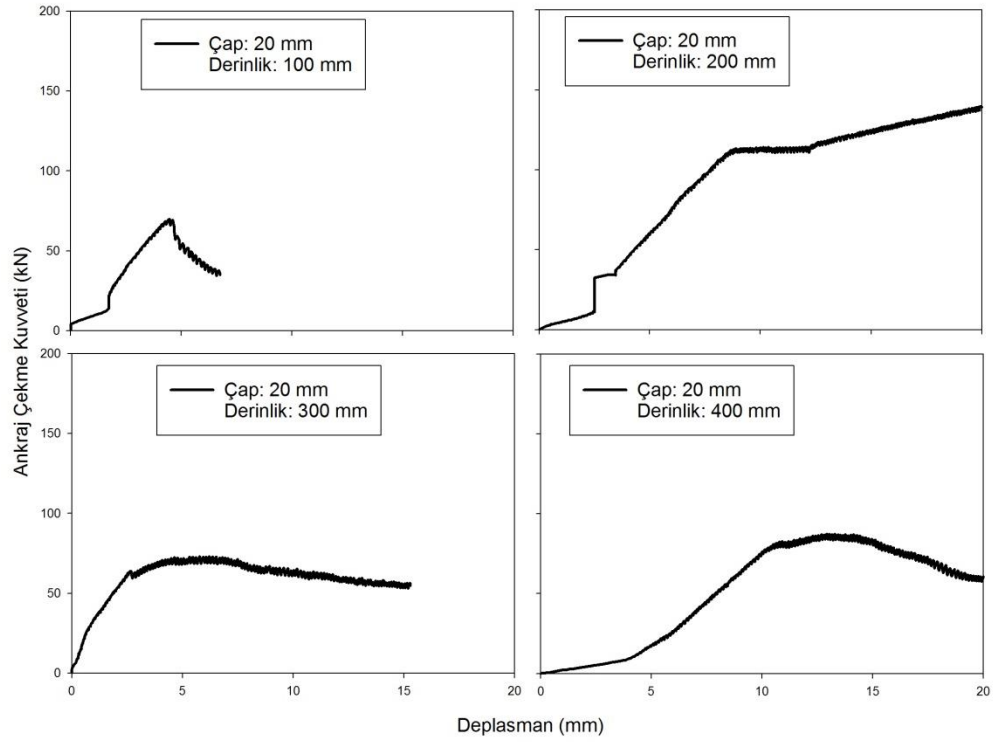
Nem durumunun incelendiği bu grupta 16 mm çapa sahip ankraj çubukları yarı nemli deliklere 80, 160, 240 ve 320 mm (çapın 5, 10, 15 ve 20 katı) derinliklerde ekilmiş ve yük-deplasman grafikleri elde edilmiştir (Şekil 5.20).



Şekil 5.20. Nem durumu: yarı nemli için 16 mm çapa sahip ankrajların yük-deplasman eğrileri.

#### 5.4.1.3. YN - 20 mm çaplı ankrajlar için yük-deplasman eğrileri

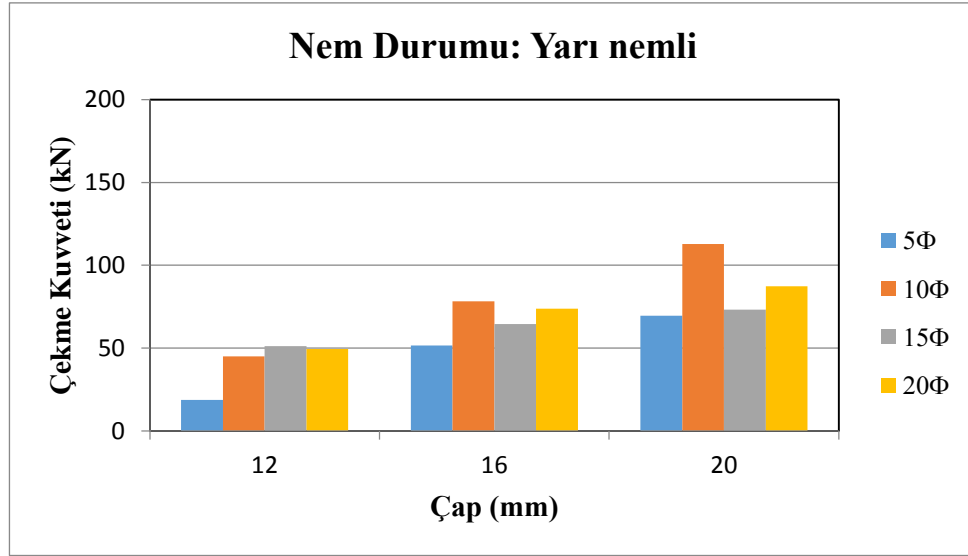
Nem durumunun incelendiği bu grupta 20 mm çapa sahip ankraj çubukları yarı nemli deliklere 100, 200, 300 ve 400 mm (çapın 5, 10, 15 ve 20 katı) derinliklerde ekilmiş ve yük-deplasman grafikleri elde edilmiştir (Şekil 5.21).



**Şekil 5.21.** Nem durumu: yarı nemli için 20 mm çapa sahip ankrajların yük-deplasman eğrileri.

#### 5.4.2. Nem durumu: yarı nemli için çekme kuvveti değerleri ve göçme modları

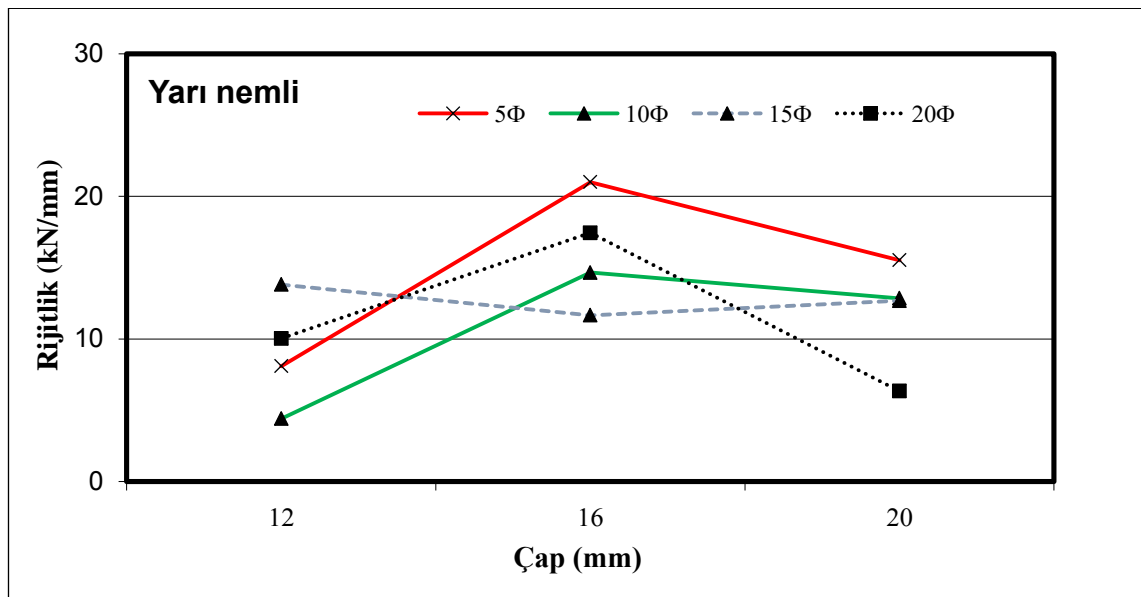
Ankraj deliklerinin yarı nemli bırakıldığı ortam koşullarında ekilen 12, 16 ve 20 mm çapa sahip ankraj çubuklarına çekme testi uygulandığında elde edilen çekme kuvveti değerleri Çizelge 5.7 ve Şekil 5.22’de verilmiştir. Çap açısından değerlendirme yapıldığında 12 mm çapa sahip ankrajların ortalama çekme kuvveti değeri 41.1 kN, 16 mm çapa sahip olanların 67.1 kN ve 20 mm çapa sahip olanların ise 85.7 kN’dur. Bu gruptaki ankrajların göçme modlarına bakarsak 5’i koni, 5’i sıyrılma, 2’si de koni + sıyrılma şeklinde göçmüştür. Genel olarak değerlendirdiğimizde göçme modu olarak sıyrılma ve konik kopma hâkimdir.



Şekil 5.22. Nem durumu: yarı nemli için çekme kuvveti değerleri.

#### 5.4.3. Nem durumu: yarı nemli için rijitlik değerleri

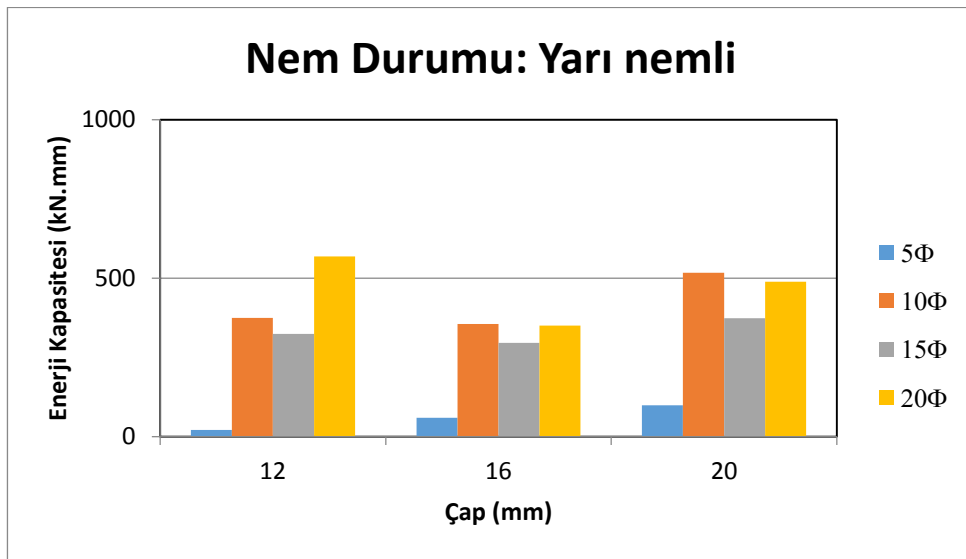
Ankraj deliklerinin yarı nemli bırakıldığı ortam koşullarında ekilen 12, 16 ve 20 mm çapa sahip ankraj çubuklarına ait yük-deplasman eğrilerinden elde edilen rijitlik değerleri Çizelge 5.7 ve Şekil 5.23'te verilmiştir. Rijitlik değerleri incelendiğinde 12 mm çapa sahip ankrajların ortalama rijitlik değeri 9.09 kN/mm, 16 mm çapa sahip olanların 16.19 kN/mm ve 20 mm çapa sahip olanların ise 11.85 kN/mm'dir.



Şekil 5.23. Nem durumu: yarı nemli için rijitlik değerleri.

#### 5.4.4. Nem durumu: yarı nemli için enerji yutma kapasitesi

Ankraj deliklerinin yarı nemli bırakıldığı ortam koşullarında ekilen 12, 16 ve 20 mm çapa sahip ankraj çubuklarına ait yük-deplasman eğrilerinden elde edilen enerji yutma kapasiteleri Çizelge 5.7 ve Şekil 5.24’de verilmiştir. Enerji yutma kapasiteleri incelendiğinde 12 mm çapa sahip ankrajların ortalama enerji yutma kapasitesi 321.83 kN.mm, 16 mm çapa sahip olanların 265.00 kN.mm ve 20 mm çapa sahip olanların ise 369.61 kN.mm’dir.



Şekil 5.24. Nem durumu: yarı nemli için enerji yutma kapasitesi değerleri.

#### 5.4.5. Nem durumu: yarı nemli için güvenlik katsayıları

Deneysel olarak elde edilen çekme dayanımı değerleri, ACI 318 (2008)’e göre hesaplanan kapasite ve tasarım dayanım değerleri ile oranlanarak güvenlik katsayıları (GK) elde edilmiştir (Çizelge 5.8). 12 mm çapa sahip olan ankraj çubuklarının ortalama kapasite güvenlik katsayısı 0.86, tasarım güvenlik katsayısı 1.72’dir. 16 mm çaplı çubukların kapasite güvenlik katsayısı 1.18, tasarım güvenlik katsayısı 2.36’dır. 20 mm çaplı çubukların ise kapasite güvenlik katsayısı 1.28, tasarım güvenlik katsayısı da 2.55 olarak bulunmuştur. Nem durumu yarı nemli için test edilen tüm ankraj çubuklarının tasarım güvenlik katsayıları 1’in üstünde çıkmıştır (EK-7).

**Çizelge 5.8.** Nem durumu: yarı nemli için güvenlik katsayıları.

Numune Adı	Çekme dayanımı (kN)	ACI Kapasite dayanımı kN	ACI Tasarım dayanımı kN	GK (Kapasite)	GK (Tasarım)
YN-12-60	18.8	23.87	11.94	0.79	1.57
YN-12-120	45.0	42.28	21.14	1.06	2.13
YN-12-180	51.2	61.99	31.00	0.83	1.65
YN-12-240	49.5	65.1	32.55	0.76	1.52
YN-16-80	51.5	29.89	14.95	1.72	3.44
YN-16-160	78.3	55.38	27.69	1.41	2.83
YN-16-240	64.6	77.37	38.69	0.83	1.67
YN-16-320	73.9	100.03	50.02	0.74	1.48
YN-20-100	69.6	36.01	18.01	1.93	3.86
YN-20-200	112.8	66.94	33.47	1.69	3.37
YN-20-300	73.2	94.16	47.08	0.78	1.55
YN-20-400	87.3	124.82	62.41	0.70	1.40

**5.5. Sıcaklık Durumu: 50 °C**

Açılan ankraj delikleri 50 °C'ye kadar ısıtılmış ve 12, 16 ve 20 mm çaplara sahip ankraj çubukları çapın 5, 10, 15 ve 20 katı derinliğe ekilmiştir. Ekilen ankrajlara aksinel çekme kuvveti uygulanmış ve yük-deplasman grafikleri elde edilmiştir. Bu eğrilerden ankrajlara ait çekme dayanımları, başlangıç rijitlikleri, deplasman süneklik oranları, enerji yutma kapasiteleri ve göçme modları belirlenmiştir (Çizelge 5.9). Deneylere ilişkin görüntüler EK-8'de verilmiştir.

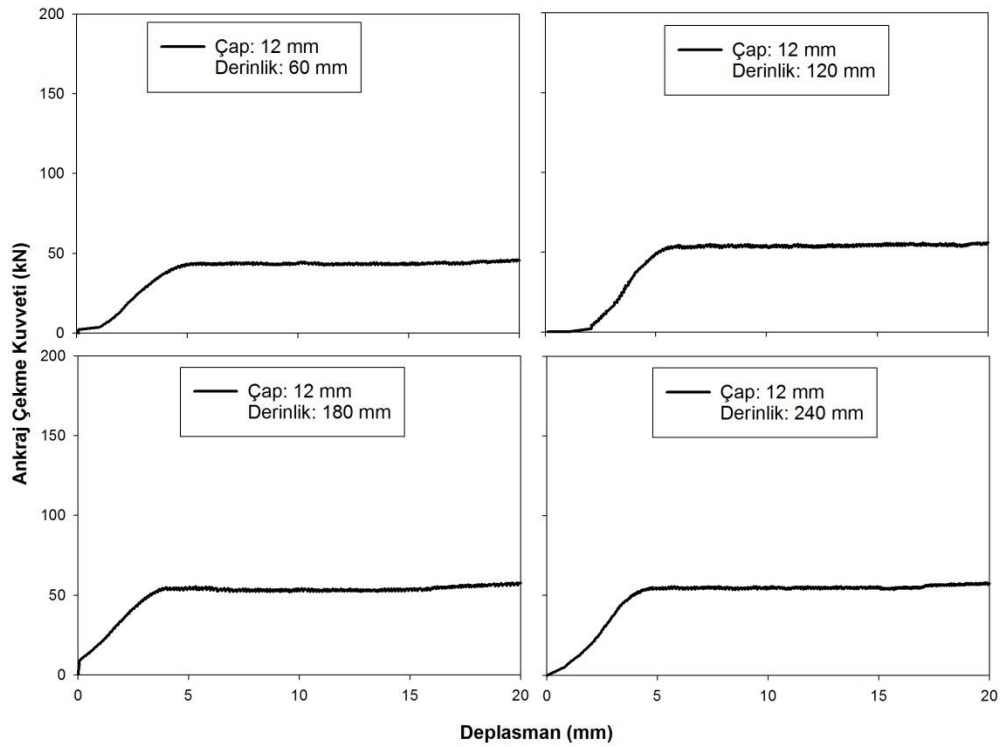
**Çizelge 5.9.** Sıcaklık durumu: 50 °C için deney ve hesaplama sonuçları.

Çap (mm)	Ekme Derinliği (mm)	Çekme dayanımı (kN)	Rijitlik K (kN/mm)	Deplasman süneklik oranı	Enerji yutma kapasitesi (kN mm)	Göçme Modları
12	60	42.3	8.68	3.73	421.53	Sıyrılma
12	120	51.8	9.48	3.43	531.63	Sıyrılma
12	180	53.3	13.74	4.06	489.21	Sıyrılma
12	240	53.3	12.01	3.82	483.01	Sıyrılma
16	80	60.7	15.51	1.03	82.40	Koni
16	160	69.9	18.54	2.34	404.41	Sıyrılma
16	240	60.8	14.24	2.11	274.63	Sıyrılma
16	320	82.3	18.44	2.04	371.96	Sıyrılma
20	100	98.9	15.47	1.12	470.64	Koni
20	200	134.2	15.63	1.40	704.23	Sıyrılma
20	300	139.7	14.64	1.39	764.90	Sıyrılma
20	400	136.13	14.72	1.33	658.40	Sıyrılma

### 5.5.1. Sıcaklık durumu: 50 °C için yük-deplasman eğrileri

#### 5.5.1.1. 50 °C - 12 mm çaplı ankrajlar için yük-deplasman eğrileri

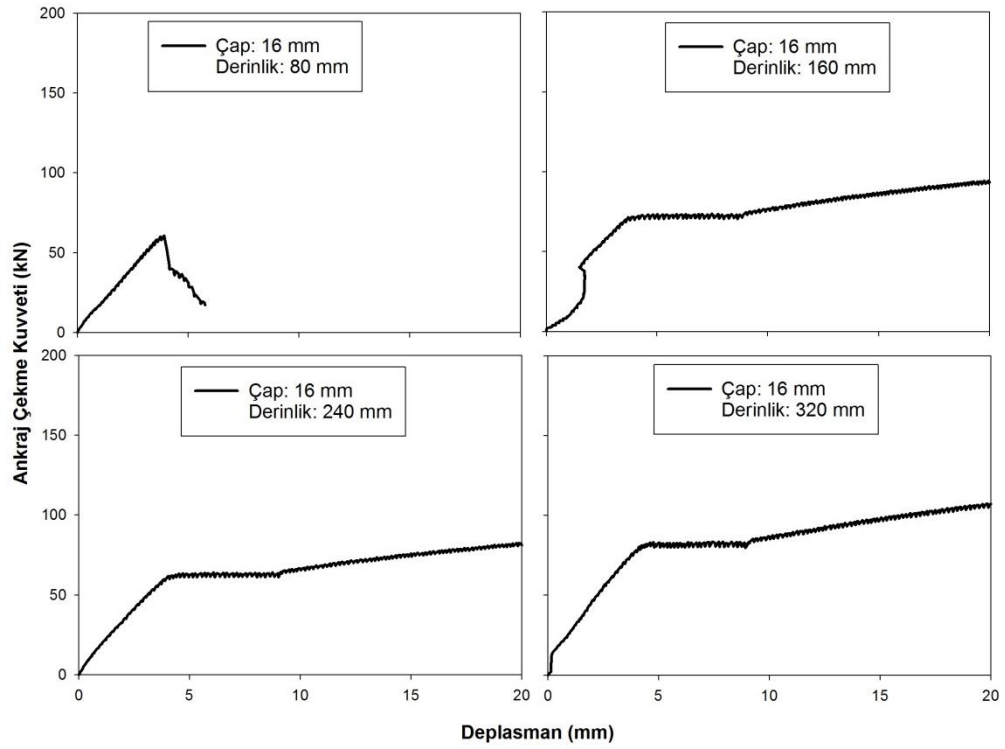
Sıcaklık durumunun incelendiği bu grupta 12 mm çapa sahip ankraj çubukları 50 °C'ye ısıtılan deliklere 60, 120, 180 ve 240 mm (çapın 5, 10, 15 ve 20 katı) derinliklerde ekilmiş ve yük-deplasman grafikleri elde edilmiştir (Şekil 5.25).



**Şekil 5.25.** Sıcaklık durumu: 50 °C için 12 mm çapa sahip ankrajların yük-deplasman eğrileri.

#### 5.5.1.2. 50 °C - 16 mm çaplı ankrajlar için yük-deplasman eğrileri

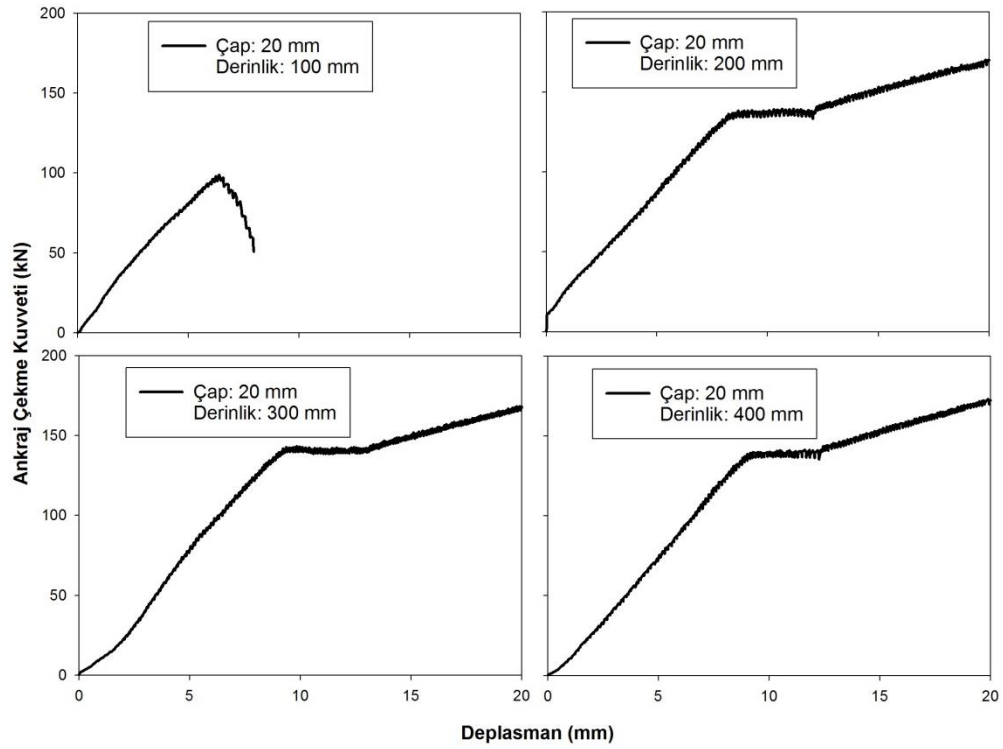
Sıcaklık durumunun incelendiği bu grupta 16 mm çapa sahip ankraj çubukları 50 °C'ye ısıtılan deliklere 80, 160, 240 ve 320 mm (çapın 5, 10, 15 ve 20 katı) derinliklerde ekilmiş ve yük-deplasman grafikleri elde edilmiştir (Şekil 5.26).



**Şekil 5.26.** Sıcaklık durumu: 50 °C için 16 mm çapa sahip ankrajların yük-deplasman eğrileri.

### **5.5.1.3. 50 °C - 20 mm çaplı ankrajlar için yük-deplasman eğrileri**

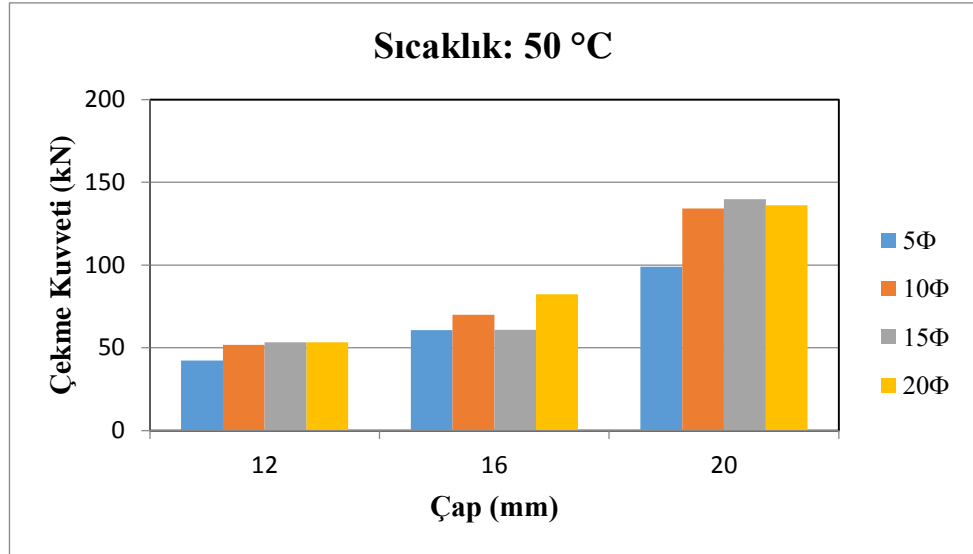
Sıcaklık durumunun incelendiği bu grupta 20 mm çapa sahip ankraj çubukları 50°C'ye ısıtılan deliklere 100, 200, 300 ve 400 mm (çapın 5, 10, 15 ve 20 katı) derinliklerde ekilmiş ve yük-deplasman grafikleri elde edilmiştir (Şekil 5.27).



**Şekil 5.27.** Sıcaklık durumu: 50 °C için 20 mm çapa sahip ankrajların yük-deplasman eğrileri.

### 5.5.2. Sıcaklık durumu: 50 °C için çekme kuvveti değerleri ve göçme modları

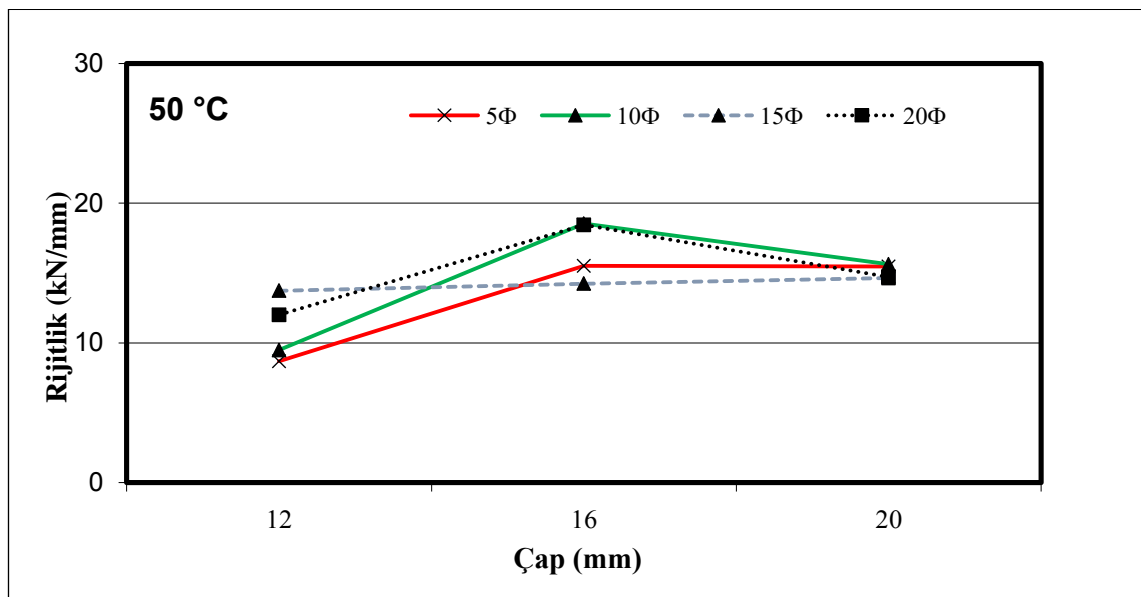
Ankraj deliklerinin 50 °C'ye ısıtıldığı ortam koşullarında ekilen 12, 16 ve 20 mm çapa sahip ankraj çubuklarına çekme testi uygulandığında elde edilen çekme kuvveti değerleri Çizelge 5.9 ve Şekil 5.28'de verilmiştir. Çap açısından değerlendirme yapıldığında 12 mm çapa sahip ankrajların ortalama çekme kuvveti değeri 50.2 kN, 16 mm çapa sahip olanların 68.4 kN ve 20 mm çapa sahip olanların ise 127.2 kN'dur. Bu gruptaki ankrajların göçme modlarına bakarsak 2'si koni ve 10'u sıyrılma şeklinde göçmüştür. Genel olarak değerlendirdiğimizde göçme modu olarak sıyrılma hâkimdir.



Şekil 5.28. Sıcaklık durumu: 50 °C için çekme kuvveti değerleri.

### 5.5.3. Sıcaklık Durumu: 50 °C için rijitlik değerleri

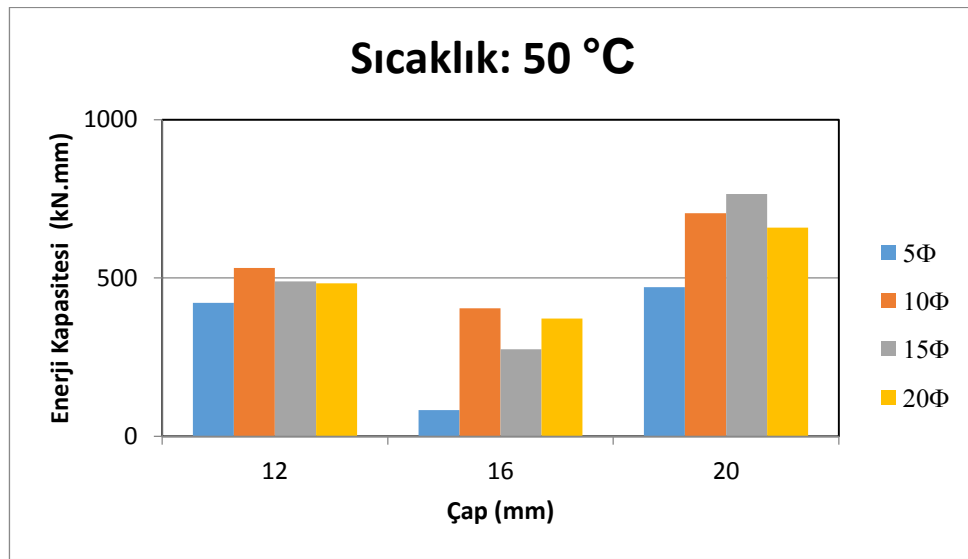
Ankraj deliklerinin 50 °C'ye ısıtıldığı ortam koşullarında ekilen 12, 16 ve 20 mm çapa sahip ankraj çubuklarına ait yük-deplasman eğrilerinden elde edilen rijitlik değerleri Çizelge 5.9 ve Şekil 5.29'da verilmiştir. Rijitlik değerleri incelendiğinde 12 mm çapa sahip ankrajların ortalama rijitlik değeri 10.98 kN/mm, 16 mm çapa sahip olanların 16.68 kN/mm ve 20 mm çapa sahip olanların ise 15.12 kN/mm'dir.



Şekil 5.29. Sıcaklık durumu: 50 °C için rijitlik değerleri.

#### 5.5.4. Sıcaklık durumu: 50 °C için enerji yutma kapasitesi

Ankraj deliklerinin 50 °C'ye ısıtıldığı ortam koşullarında ekilen 12, 16 ve 20 mm çapa sahip ankraj çubuklarına ait yük-deplasman eğrilerinden elde edilen enerji yutma kapasiteleri Çizelge 5.9 ve Şekil 5.30'da verilmiştir. Enerji yutma kapasiteleri incelendiğinde 12 mm çapa sahip ankrajların ortalama enerji yutma kapasitesi 481.35 kN.mm, 16 mm çapa sahip olanların 283.35 kN.mm ve 20 mm çapa sahip olanların ise 649.54 kN.mm'dir.



Şekil 5.30. Sıcaklık durumu: 50 °C için enerji yutma kapasitesi değerleri.

#### 5.5.5. Sıcaklık durumu: 50 °C için güvenlik katsayıları

Deneysel olarak elde edilen çekme dayanımı değerleri, ACI 318 (2008)'e göre hesaplanan kapasite ve tasarım dayanım değerleri ile oranlanarak güvenlik katsayıları (GK) elde edilmiştir (Çizelge 5.10). 12 mm çapa sahip olan ankraj çubuklarının ortalama kapasite güvenlik katsayısı 1.17, tasarım güvenlik katsayısı 2.34'dur. 16 mm çaplı çubukların kapasite güvenlik katsayısı 1.23, tasarım güvenlik katsayısı 2.45'dir. 20 mm çaplı çubukların ise kapasite güvenlik katsayısı 1.83, tasarım güvenlik katsayısı da 3.66 olarak bulunmuştur. Sıcaklık durumu 50 °C için test edilen tüm ankraj çubuklarının tasarım güvenlik katsayıları 1'in üstünde çıkmıştır (EK-9).

**Çizelge 5.10.** Sıcaklık durumu: 50 °C için güvenlik katsayıları.

Numune Adı	Çekme dayanımı (kN)	ACI Kapasite dayanımı kN	ACI Tasarım dayanımı kN	GK (Kapasite)	GK (Tasarım)
50 °C-12-60	42.3	23.87	11.94	1.77	3.54
50 °C-12-120	51.8	42.28	21.14	1.23	2.45
50 °C-12-180	53.3	61.99	31.00	0.86	1.72
50 °C-12-240	53.3	65.1	32.55	0.82	1.64
50 °C-16-80	60.7	29.89	14.95	2.03	4.06
50 °C-16-160	69.9	55.38	27.69	1.26	2.52
50 °C-16-240	60.8	77.37	38.69	0.79	1.57
50 °C-16-320	82.3	100.03	50.02	0.82	1.65
50 °C-20-100	98.9	36.01	18.01	2.75	5.49
50 °C-20-200	134.2	66.94	33.47	2.00	4.01
50 °C-20-300	139.7	94.16	47.08	1.48	2.97
50 °C-20-400	136.13	124.82	62.41	1.09	2.18

**5.6. Sıcaklık Durumu: 150 °C**

Açılan ankraj delikleri 150 °C'ye kadar ısıtılmış ve 12, 16 ve 20 mm çaplara sahip ankraj çubukları çapın 5, 10, 15 ve 20 katı derinliğe ekilmiştir. Ekilen ankrajlara aksenal çekme kuvveti uygulanmış ve yük-deplasman grafikleri elde edilmiştir. Bu eğrilerden ankrajlara ait çekme dayanımları, başlangıç rijitlikleri, deplasman süneklik oranları, enerji yutma kapasiteleri ve göçme modları belirlenmiştir (Çizelge 5.11). Deneyle ilgili görüntüler EK-10'da verilmiştir.

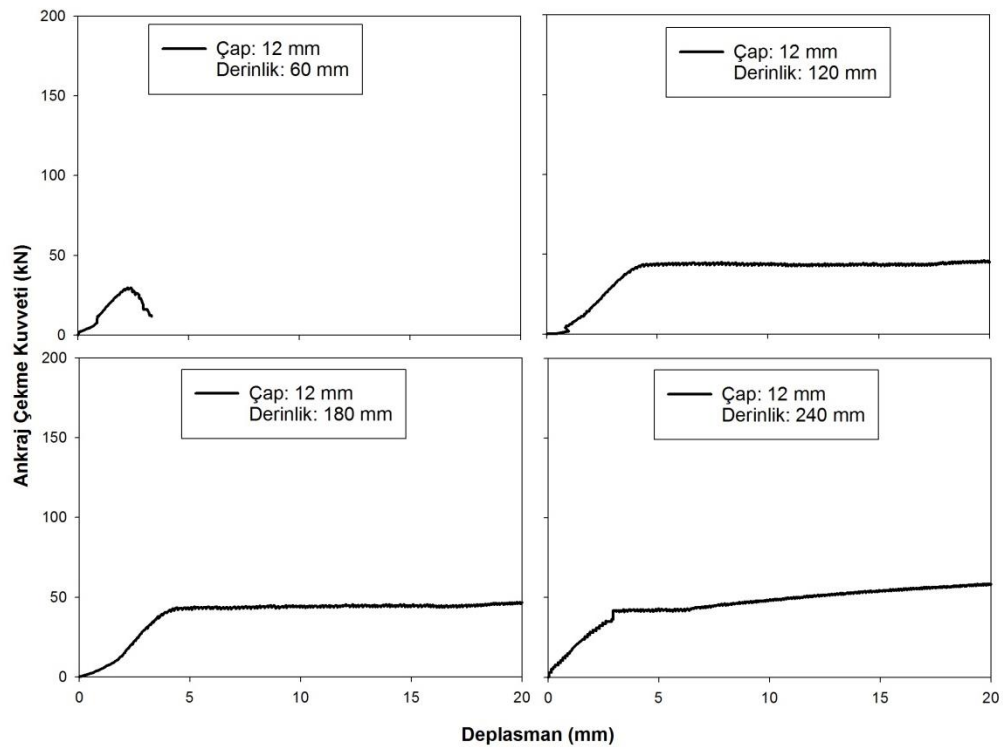
**Çizelge 5.11.** Sıcaklık durumu: 150°C için deney ve hesaplama sonuçları.

Çap (mm)	Ekme Derinliği (mm)	Çekme dayanımı (kN)	Rijitlik K (kN/mm)	Deplasman süneklik oranı	Enerji yutma kapasitesi (kN mm)	Göçme Modları
12	60	29.0	13.31	0.83	28.09	Koni
12	120	42.1	9.81	4.02	418.67	Sıyrılma
12	180	41.1	9.92	4.40	428.75	Sıyrılma
12	240	42.1	13.66	3.80	276.13	Sıyrılma
16	80	42.0	19.74	1.16	61.58	Koni
16	160	72.4	7.56	1.84	293.42	Sıyrılma
16	240	82.4	18.47	1.02	303.14	Sıyrılma
16	320	81.3	15.90	1.89	349.07	Sıyrılma
20	100	104.2	14.83	1.09	285.30	Koni
20	200	133.1	23.27	1.59	600.42	Sıyrılma
20	300	132.9	14.48	1.41	777.10	Sıyrılma
20	400	126.6	11.25	1.56	977.38	Sıyrılma

### 5.6.1. Sıcaklık durumu: 150 °C için yük-deplasman eğrileri

#### 5.6.1.1. 150 °C - 12 mm çaplı ankrajlar için yük-deplasman eğrileri

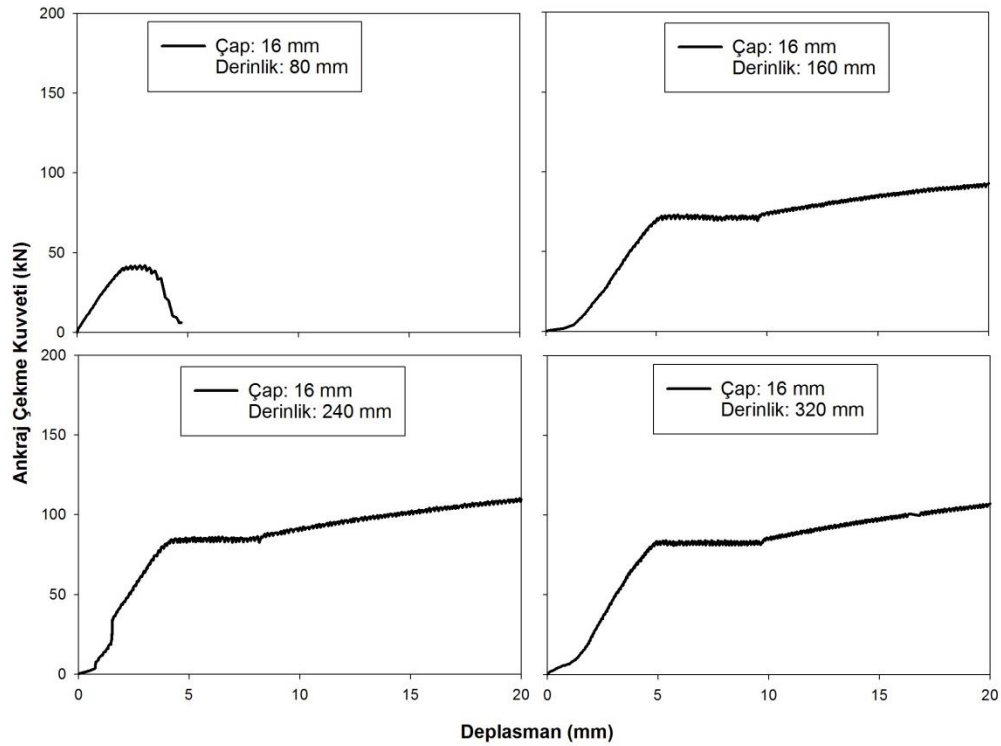
Sıcaklık durumunun incelendiği bu grupta 12 mm çapa sahip ankraj çubukları 150 °C'ye ısıtılan deliklere 60, 120, 180 ve 240 mm (çapın 5, 10, 15 ve 20 katı) derinliklerde ekilmiş ve yük-deplasman grafikleri elde edilmiştir (Şekil 5.31).



**Şekil 5.31.** Sıcaklık durumu: 150 °C için 12 mm çapa sahip ankrajların yük-deplasman eğrileri.

#### 5.6.1.2. 150 °C - 16 mm çaplı ankrajlar için yük-deplasman eğrileri

Sıcaklık durumunun incelendiği bu grupta 16 mm çapa sahip ankraj çubukları 150°C'ye ısıtılan deliklere 80, 160, 240 ve 320 mm (çapın 5, 10, 15 ve 20 katı) derinliklerde ekilmiş ve yük-deplasman grafikleri elde edilmiştir (Şekil 5.32).



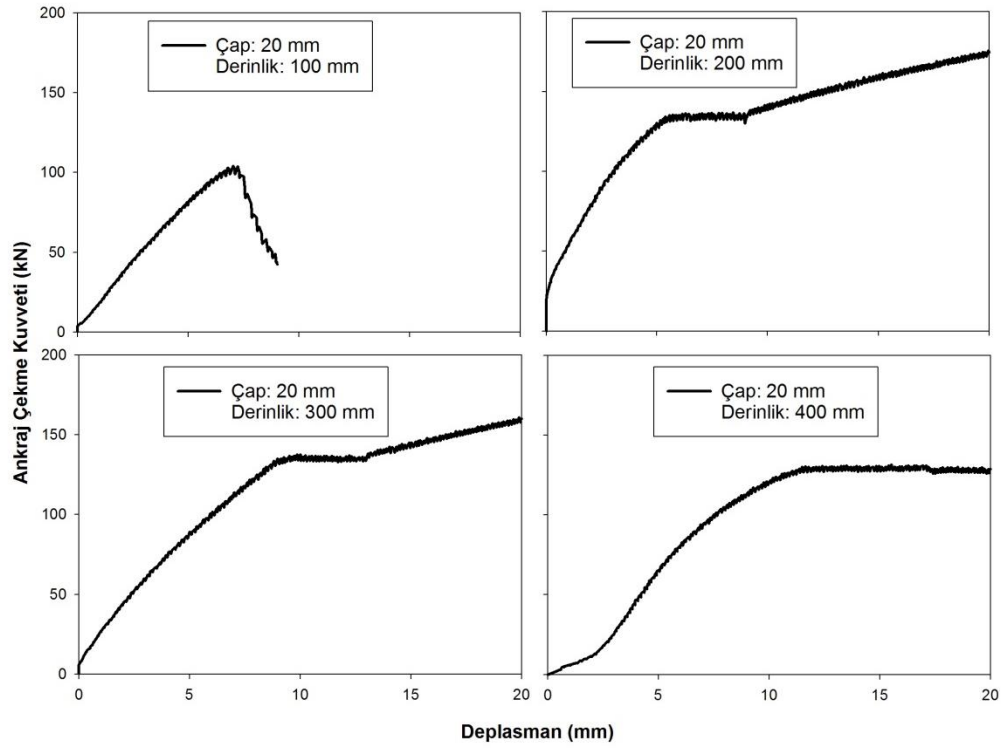
**Şekil 5.32.** Sıcaklık durumu: 150 °C için 16 mm çapa sahip ankrajların yük-deplasman eğrileri.

### **5.6.1.3. 150 °C - 20 mm çaplı ankrajlar için yük-deplasman eğrileri**

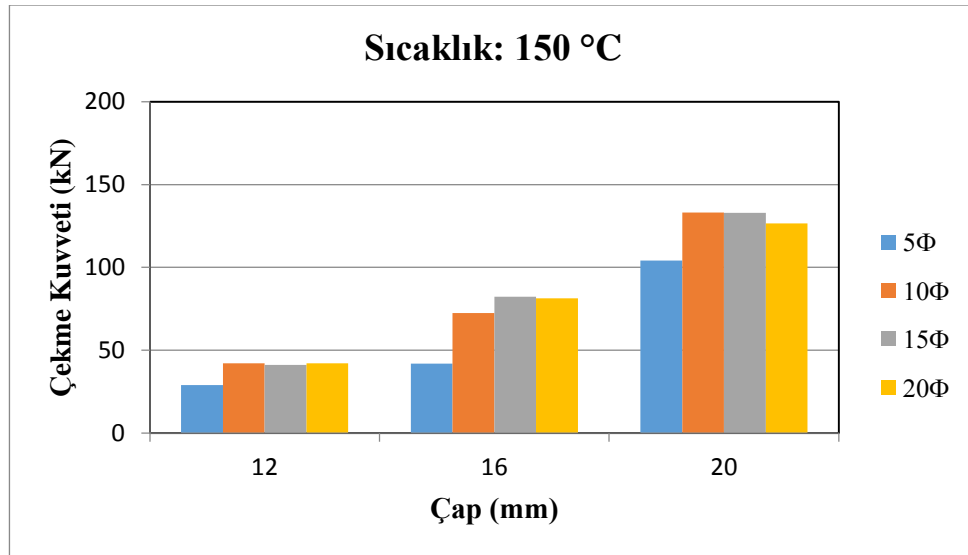
Sıcaklık durumunun incelendiği bu grupta 20 mm çapa sahip ankraj çubukları 150°C'ye ısıtılan deliklere 100, 200, 300 ve 400 mm (çapın 5, 10, 15 ve 20 katı) derinliklerde ekilmiş ve yük-deplasman grafikleri elde edilmiştir (Şekil 5.33).

### **5.6.2. Sıcaklık durumu: 150 °C için çekme kuvveti değerleri ve göçme modları**

Ankraj deliklerinin 150 °C'ye ısıtıldığı ortam koşullarında ekilen 12, 16 ve 20 mm çapa sahip ankraj çubuklarına çekme testi uygulandığında elde edilen çekme kuvveti değerleri Çizelge 5.11 ve Şekil 5.34'te verilmiştir. Çap açısından değerlendirme yapıldığında 12 mm çapa sahip ankrajların ortalama çekme kuvveti değeri 38.6 kN, 16 mm çapa sahip olanların 69.5 kN ve 20 mm çapa sahip olanların ise 124.2 kN'dur. Bu gruptaki ankrajların göçme modlarına bakarsak 3'ü koni ve 9'u sıyrılma şeklinde göçmüştür. Genel olarak değerlendirdiğimizde göçme modu olarak sıyrılma hâkimdir.



**Şekil 5.33.** Sıcaklık durumu: 150 °C için 20 mm çapa sahip ankrajların yük-deplasman eğrileri.

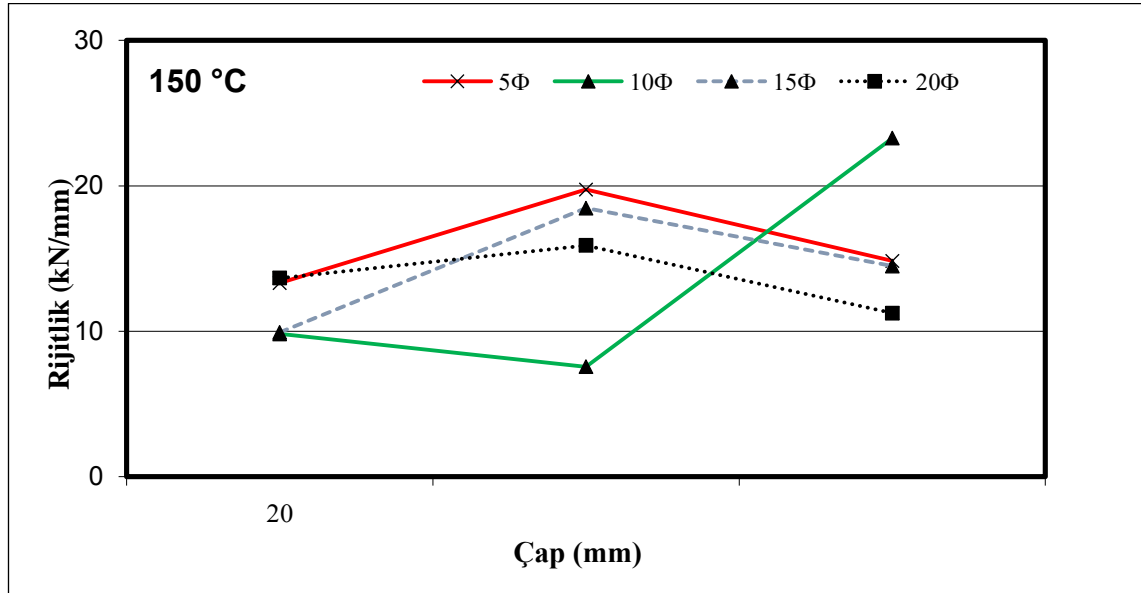


**Şekil 5.34.** Sıcaklık durumu: 150 °C için çekme kuvveti değerleri.

### 5.6.3. Sıcaklık durumu: 150 °C için rijitlik değerleri

Ankraj deliklerinin 150 °C'ye ısıtıldığı ortam koşullarında ekilen 12, 16 ve 20 mm çapa sahip ankraj çubuklarına ait yük-deplasman eğrilerinden elde edilen rijitlik

değerleri Çizelge 5.11 ve Şekil 5.35'te verilmiştir. Rijitlik değerleri incelendiğinde 12 mm çapa sahip ankrajların ortalama rijitlik değeri 11.68 kN/mm, 16 mm çapa sahip olanların 15.42 kN/mm ve 20 mm çapa sahip olanların ise 15.96 kN/mm'dir.



Şekil 5.35. Sıcaklık durumu: 150 °C için rijitlik değerleri.

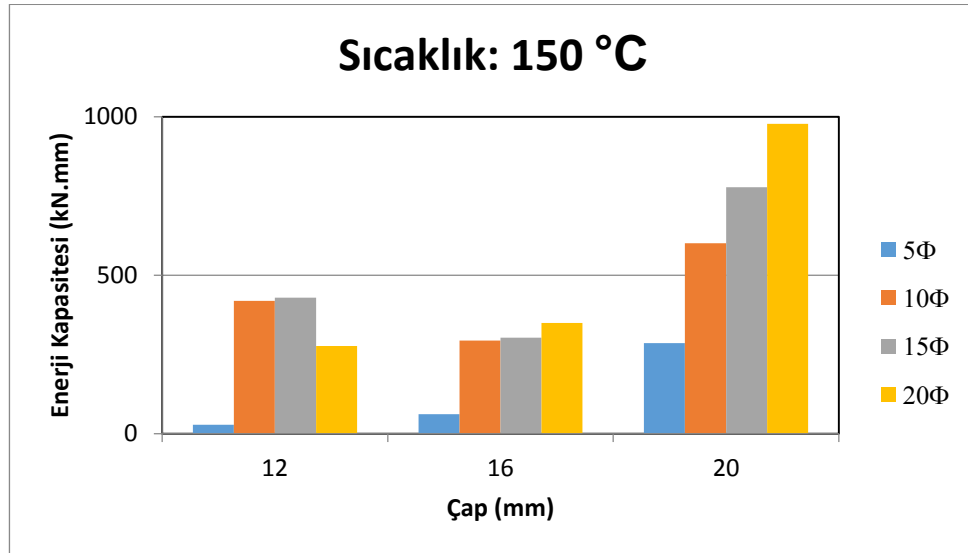
#### 5.6.4. Sıcaklık durumu: 150 °C için enerji yutma kapasitesi

Ankraj deliklerinin 150 °C'ye ısıtıldığı ortam koşullarında ekilen 12, 16 ve 20 mm çapa sahip ankraj çubuklarına ait yük-deplasman eğrilerinden elde edilen enerji yutma kapasiteleri Çizelge 5.11 ve Şekil 5.36'da verilmiştir. Enerji yutma kapasiteleri incelendiğinde 12 mm çapa sahip ankrajların ortalama enerji yutma kapasitesi 287.91 kN.mm, 16 mm çapa sahip olanların 251.80 kN.mm ve 20 mm çapa sahip olanların ise 660.05 kN.mm'dir.

#### 5.6.5. Sıcaklık Durumu: 150 °C için güvenlik katsayıları

Deneysel olarak elde edilen çekme dayanımı değerleri, ACI 318 (2008)'e göre hesaplanan kapasite ve tasarım dayanım değerleri ile oranlanarak güvenlik katsayıları (GK) elde edilmiştir (Çizelge 5.12). 12 mm çapa sahip olan ankraj çubuklarının ortalama kapasite güvenlik katsayısı 0.88, tasarım güvenlik katsayısı 1.76'dur. 16 mm çaplı çubukların kapasite güvenlik katsayısı 1.15, tasarım güvenlik katsayısı 2.30'dır. 20 mm çaplı çubukların ise kapasite güvenlik katsayısı 1.83, tasarım güvenlik katsayısı da

3.66 olarak bulunmuştur. Sıcaklık durumu 150 °C için test edilen tüm ankraj çubuklarının tasarım güvenlik katsayıları 1'in üstünde çıkmıştır (EK-11).



Şekil 5.36. Sıcaklık durumu: 150 °C için enerji yutma kapasitesi değerleri.

Çizelge 5.12. Sıcaklık durumu: 150 °C için güvenlik katsayıları.

Numune Adı	Çekme dayanımı (kN)	ACI Kapasite dayanımı kN	ACI Tasarım dayanımı kN	GK (Kapasite)	GK (Tasarım)
150 °C-12-60	29.0	23.87	11.94	1.21	2.43
150 °C-12-120	42.1	42.28	21.14	1.00	1.99
150 °C-12-180	41.1	61.99	31.00	0.66	1.33
150 °C-12-240	42.1	65.1	32.55	0.65	1.29
150 °C-16-80	42.0	29.89	14.95	1.41	2.81
150 °C-16-160	72.4	55.38	27.69	1.31	2.61
150 °C-16-240	82.4	77.37	38.69	1.07	2.13
150 °C-16-320	81.3	100.03	50.02	0.81	1.63
150 °C-20-100	104.2	36.01	18.01	2.89	5.79
150 °C-20-200	133.1	66.94	33.47	1.99	3.98
150 °C-20-300	132.9	94.16	47.08	1.41	2.82
150 °C-20-400	126.6	124.82	62.41	1.01	2.03

## 5.7. Genel Değerlendirme

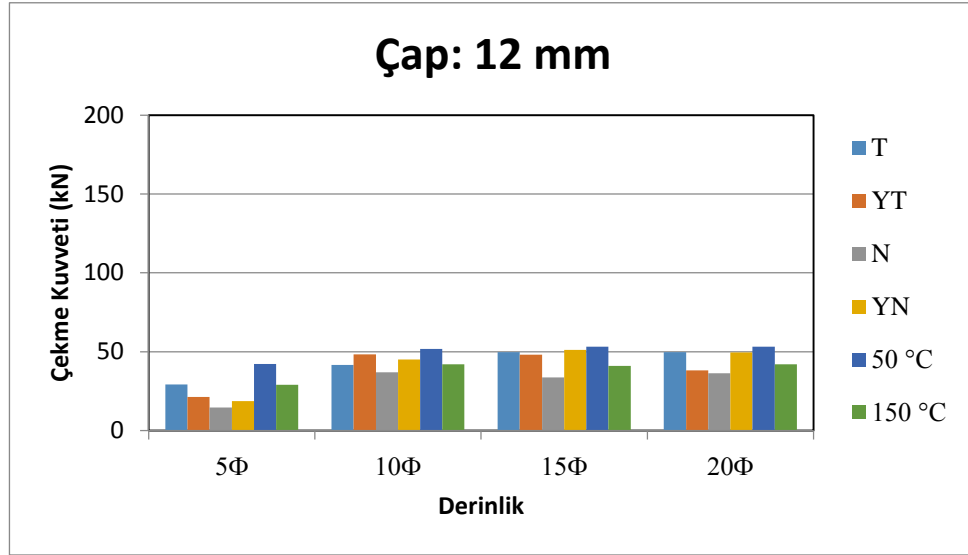
Bu çalışmada; 12, 16 ve 20 mm çaplı nervürlü B420C sınıfındaki çelik çubuklar çapın 5, 10, 15 ve 20 katı derinliklere farklı ortam koşullarında olacak şekilde 72 adet ankraj ekilmiştir. Bu 72 tane ankrajın 12 tanesi deliklerin tamamen tozdan arındırıldığı, 12 tanesi deliklerin tozlu bırakıldığı, 12 tanesi ankraj deliklerinin suya doyurulup nemli bırakıldığı, 12 tanesi deliklerdeki suyun çekildiği, 12 tanesi ankraj deliklerinin 50 °C'ye ısıtıldığı, 12 tanesi de 150 °C'ye ısıtıldığı koşullarda ekilmiştir. Bu ankrajlar ekilirken iki bileşenli, kartuşlu, ankraj ekiminde kullanılan epoksi malzemesi kullanılmıştır. Ekilen ankrajlara aksenal çekme kuvveti uygulanmış ve yük-deplasman eğrileri elde edilmiştir. Yük-deplasman eğrilerinden nihai çekme kuvveti değerleri, başlangıç rijitlikleri, deplasman süneklik oranları ve enerji yutma kapasiteleri elde edilmiştir. 72 deneye ait çekme kuvveti değerleri EK-14, yük-deplasman eğrilerinin altında kalan alanın bulunmasıyla elde edilen enerji yutma kapasiteleri de EK-15'de verilmiştir. ACI 318 Ek D'ye göre ankraj kapasite ve tasarım değerleri belirlenmiş ve deney sonuçları ile karşılaştırılarak güvenlik katsayıları bulunmuştur. Tüm deneylerin güvenlik katsayısı değerleri EK-16'da verilmiştir.

### 5.7.1. 12 mm çaplı ankraj çubukları için değerlendirme

12 mm çapa sahip ankraj çubuklarının yedi farklı ortam koşulunda test edilmesi sonucunda elde edilen çekme kuvveti değerleri Şekil 5.37'de verilmiştir. Temiz ile yarı temiz ortama ekilen ankraj çubuklarının çekme kuvvetleri karşılaştırıldığında 60 mm derinliğe ekilen çubuklarda %27, 180 mm derinliğe ekilen çubuklarda %4 ve 240 mm derinliğe ekilen çubuklarda ise %23.5 kadar azalma olmuştur. Nemli ile yarı nemli ortama ekilen ankraj çubuklarının değerleri karşılaştırıldığında 60 mm derinliğe ekilen çubuklarda %22, 120 mm derinliğe ekilen çubuklarda %18, 180 mm derinliğe ekilen çubuklarda %34 ve 240 mm derinliğe ekilen çubuklarda ise %26.5 kadar azalma belirlenmiştir. 50 ve 150 °C ortama ekilen ankraj çubuklarının değerleri karşılaştırıldığında 60 mm derinliğe ekilen çubuklarda %31, 120 mm derinliğe ekilen çubuklarda %19, 180 mm derinliğe ekilen çubuklarda %23 ve 240 mm derinliğe ekilen çubuklarda ise %21 kadar azalma olmuştur.

Derinlik açısından bir değerlendirme yapıldığında genel olarak 15Φ derinliğe kadar çekme kuvvetlerinin arttığı daha sonra ise çok değişmediği veya azaldığı gözlemlenmiştir.

Deney sonuçlarının ACI 318'in öngördüğü tasarım dayanım değerlerine oranlanması ile elde edilen ortalama güvenlik katsayıları ise 60 mm derinliğe ekilen ankrajlarda 2.17, 120 mm derinliğe ekilen ankrajlarda 2.10, 180 mm derinliğe ekilen ankrajlarda 1.49 ve 240 mm derinliğe ekilen ankrajlarda ise 1.38 olarak bulunmuştur.

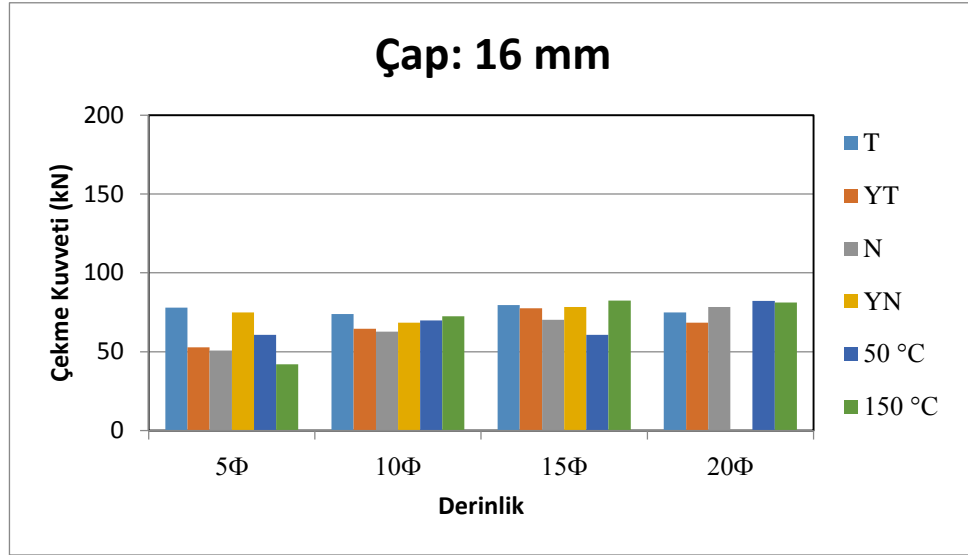


Şekil 5.37. 12 mm çaplı ankraj çubukları çekme değerleri.

### 5.7.2. 16 mm çaplı ankraj çubukları için değerlendirme

16 mm çapa sahip ankraj çubuklarının yedi farklı ortam koşulunda test edilmesi sonucunda elde edilen çekme kuvveti değerleri Şekil 5.38'te verilmiştir. Temiz ile yarı temiz ortama ekilen ankraj çubuklarının çekme kuvvetleri karşılaştırıldığında 80 mm derinliğe ekilen çubuklarda %32, 160 mm derinliğe ekilen çubuklarda %13, 240 mm derinliğe ekilen çubuklarda %3 ve 320 mm derinliğe ekilen çubuklarda ise %8.5 kadar azalma olmuştur. Nemli ile yarı nemli ortama ekilen ankraj çubuklarının değerleri karşılaştırıldığında 240 mm derinliğe ekilen çubuklarda %8 ve 320 mm derinliğe ekilen çubuklarda ise %5.6 kadar azalma belirlenmiştir. 50 ve 150 °C ortama ekilen ankraj çubuklarının değerleri karşılaştırıldığında 80 mm derinliğe ekilen çubuklarda %31 ve 320 mm derinliğe ekilen çubuklarda ise %1 kadar azalma olmuştur. Derinlik açısından bir değerlendirme yapıldığında genel olarak 15Φ derinliğe kadar çekme kuvvetlerinin arttığı daha sonra ise çok değişmediği veya azaldığı gözlemlenmiştir.

Deney sonuçlarının ACI 318'in öngördüğü tasarım dayanım değerlerine oranlanması ile elde edilen ortalama güvenlik katsayıları ise 80 mm derinliğe ekilen ankrajlarda 3.74, 160 mm derinliğe ekilen ankrajlarda 2.54, 240 mm derinliğe ekilen ankrajlarda 1.88 ve 320 mm derinliğe ekilen ankrajlarda ise 1.53 olarak bulunmuştur.



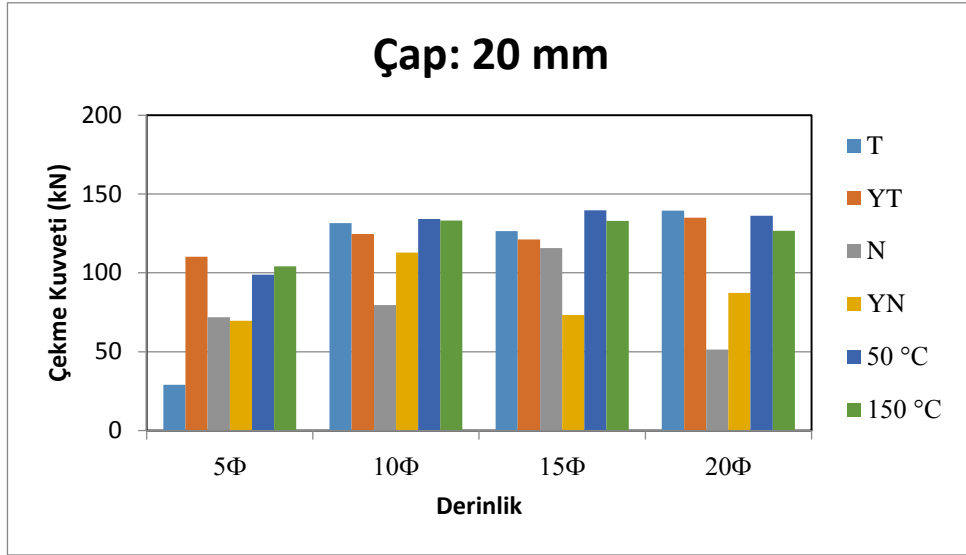
**Şekil 5.38.** 16 mm çaplı ankraj çubukları çekme değerleri.

### 5.7.3. 20 mm çaplı ankraj çubukları için değerlendirme

20 mm çapa sahip ankraj çubuklarının yedi farklı ortam koşulunda test edilmesi sonucunda elde edilen çekme kuvveti değerleri Şekil 5.39'da verilmiştir. Temiz ile yarı temiz ortama ekilen ankraj çubuklarının çekme kuvvetleri karşılaştırıldığında 200 mm derinliğe ekilen çubuklarda %5, 300 mm derinliğe ekilen çubuklarda %4 ve 400 mm derinliğe ekilen çubuklarda ise %3 kadar azalma olmuştur. Nemli ile yarı nemli ortama ekilen ankraj çubuklarının değerleri karşılaştırıldığında 200 mm derinliğe ekilen çubuklarda %29.5 ve 400 mm derinliğe ekilen çubuklarda ise %41 kadar azalma belirlenmiştir. 50 ve 150 °C ortama ekilen ankraj çubuklarının değerleri karşılaştırıldığında 200 mm derinliğe ekilen çubuklarda %1, 300 mm derinliğe ekilen çubuklarda %5 ve 400 mm derinliğe ekilen çubuklarda ise %7 kadar azalma olmuştur.

Derinlik açısından bir değerlendirme yapıldığında genel olarak 10Φ derinliğe kadar çekme kuvvetlerinin arttığı daha sonra ise çok değişmediği veya azaldığı gözlemlenmiştir.

Deney sonuçlarının ACI 318'in öngördüğü tasarım dayanım değerlerine oranlanması ile elde edilen ortalama güvenlik katsayıları ise 100 mm derinliğe ekilen ankrajlarda 4.48, 200 mm derinliğe ekilen ankrajlarda 3.56, 300 mm derinliğe ekilen ankrajlarda 2.51 ve 400 mm derinliğe ekilen ankrajlarda ise 1.81 olarak bulunmuştur.



**Şekil 5.39.** 20 mm çaplı ankraj çubukları çekme değerleri.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada 12, 16 ve 20 mm çaplı çubuklar çapın 5, 10, 15 ve 20 katı derinliklerine temiz, yarı temiz, nemli, yarı nemli, 50 ve 150 °C ortam koşullarında ekilen ankraj çubuklarına aksenal çekme kuvveti uygulanmıştır. Bu deneyler sırasında ankraj çubuklarına ait yük-deplasman eğrileri elde edilmiştir. Yük-deplasman eğrilerinden nihai çekme kuvveti değerleri, başlangıç rijitlikleri, deplasman süneklik oranları, enerji yutma kapasiteleri, göçme modları bulunmuştur. Ayrıca ACI 318 Ek-D'ye kimyasal ankrajlar için verilen kapasite ve tasarım dayanım değerleri ile karşılaştırılarak güvenlik katsayıları belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanabilir.

- Çap arttıkça çekme kuvveti de artmıştır.
- Genel olarak çapın 10-15 katı derinliğine ekilen ankrajların çekme kuvveti değeri artmakta sonrasında ise ya azalmakta ya da çok değişmemektedir.
- Temiz ile yarı temiz ortam koşullarında ekilen çubuklarda ortalama dayanım kaybı 12 mm çaplı çubuklar için %18, 16 mm çaplı çubuklar için %14 ve 20 mm çaplı çubuklar için ise %4 olarak bulunmuştur.
- Nemli ile yarı nemli ortam koşullarında ekilen çubuklarda ortalama dayanım kaybı 12 mm çaplı çubuklar için %25, 16 mm çaplı çubuklar için %7 ve 20 mm çaplı çubuklar için ise %35'dir.
- 50 ve 150 °C ortam koşullarında ekilen çubuklarda ortalama dayanım kaybı 12 mm çaplı çubuklar için %24, 16 mm çaplı çubuklar için %16 ve 20 mm çaplı çubuklar için ise %3 olarak belirlenmiştir.
- 60, 120, 180 ve 240 mm (5, 10, 15 ve 20Φ) derinliğe ekilen 12 mm çaplı ankraj çubukları için ortalama tasarım güvenlik katsayıları sırası ile 2.17, 2.10, 1.49 ve 1.38'dir.
- 80, 160, 240 ve 320 mm (5, 10, 15 ve 20Φ) derinliğe ekilen 16 mm çaplı ankraj çubukları için ortalama tasarım güvenlik katsayıları sırası ile 3.74, 2.54, 1.88 ve 1.53'dür.
- 100, 200, 300 ve 400 mm (5, 10, 15 ve 20Φ) derinliğe ekilen 20 mm çaplı ankraj çubukları için ortalama tasarım güvenlik katsayıları sırası ile 4.48, 3.56, 2.51 ve 1.81'dir.

- Deneysel sonuçlarının ACI 318 tasarım dayanım değerlerine oranlanarak belirlenen ortalama güvenlik katsayısı 12 mm çaplı ankraj çubukları için 1.79'dur. ACI 318 kapasite dayanım değerleri açısından incelendiğinde ise ortalama güvenlik katsayısı 0.90'dır.

- Deneysel sonuçlarının ACI 318 tasarım dayanım değerlerine oranlanarak belirlenen ortalama güvenlik katsayısı 16 mm çaplı ankraj çubukları için 2.42'dir. ACI 318 kapasite dayanım değerleri açısından incelendiğinde ise ortalama güvenlik katsayısı 1.21'dir.

- Deneysel sonuçlarının ACI 318 tasarım dayanım değerlerine oranlanarak belirlenen ortalama güvenlik katsayısı 20 mm çaplı ankraj çubukları için 3.09'dur. ACI 318 kapasite dayanım değerleri açısından incelendiğinde ise ortalama güvenlik katsayısı 1.55'dir.

- Hem tasarım hem de kapasite ortalama güvenlik katsayı değerlerine bakıldığında ekme derinliği arttıkça güvenlik katsayısının azaldığı, çap büyüdükçe güvenlik katsayısının da arttığı görülmüştür.

- 

Ankrajlardan istenilen dayanımların elde edilebilmesi için uygulamaya yönelik bazı öneriler aşağıda sıralanmıştır.

- Kullanılacak yere uygun ankraj sabitleme ürünü seçilmelidir.
- Kullanılan ürünün üretici firma tarafından verilen teknik föyündeki bilgilere uyulmalıdır.

- Ankraj delikleri dik bir şekilde açılmalıdır.
- Ankraj ekilecek delikler tozdan arındırılmalı, tozlu ve nemli deliklere ankraj ekilmemelidir.

- Ankraj çubukları döndürülerek yerleştirilmeli, içerisinde hava kabarcığı kalmamasına dikkat edilmelidir. Deliklerin epoksi ile tam dolduğundan emin olunmalıdır. İlk önce delik hacminin 2/3'ü kadar doldurulmalı, çubuk yerleştirilmeli ve epoksinin dışarıya taşıdığı gözlenmelidir.

Bu yapılan çalışma tekil ankrajların çekme kuvvetleri üzerinedir. Uygulamada birden fazla ankraj ekilmektedir. Bu çalışmanın devamı olarak grup ankrajların çekme kuvvetleri etkisi altındaki davranışları incelenebilir.

## KAYNAKLAR

- ACI 318. (2008). Building code requirements for reinforced concrete, American Concrete Institute, Detroit, USA.
- Altan, F. (2013). *Betona Sonradan Yerleştirilen Kimyasal Ankrajların Eksenel Çekme Etkileri Altında Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Aras, M. (2015). *Yapıştırıcı Türünün Ankraj Çekme Kuvvetine Etkisi ve Sonlu Elemanlar ile Modellenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik.
- Ashour A. F., Alqedra M. A. (2005). Concrete breakout strength of single anchors in tension using neural Network. *Advances in Engineering Software*, 36, 87-97.
- ASTM E488-96. (2003). Standard test methods for strength of anchors in concrete and masonry elements.
- Aydoğan, İ. (2015). *Kenar Mesafesinin Ankraj Dayanımına Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik.
- Bajer M. and Barnat J. (2012). The glue-concrete interface of bonded anchors. *Construction and Building Materials*, 34(1), 267-274.
- Cook R. A., Collins D. M. I., Klingner R. E. and Polyzois D. (1992). Load-deflection behavior of cast-in-place and retrofit concrete anchors. *ACI Structural Journal*, 89(6), 639-649.
- Cook R. A. (1993). Behavior of chemically bonded anchors. *ASCE Journal of Structural Engineering*, 119(9), 2744-2762.
- Cook R. A., Konz J., Fuchs W. and Konz R. C. (1998). Behavior and design of single adhesive anchors undercut tensile load in uncracked concrete. *ACI Structural Journal*, 95(1), 9-26.
- Cook R. A., and Konz R. C. (2001). Factor influencing bond strength of adhesive anchors. *ACI Structural Journal*, 98(1), 76-86.
- Cook R.A., Doerr G.T. and Klingner R.E. (1993). Bond stress model for design of adhesive anchors. *ACI Structural Journal*, 90(5), 514-524.
- Çavunt, D. (2013). *Mevcut bir betonarme yapı üzerinde güçlendirme ankrajlarının performanslarının araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

### KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- Çolak, A. (2007). Estimation of ultimate tension load of methylmethacrylate bonded steel rods into concrete. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 27, 653–660.
- Darwin D. and Zavadzka S. S. (1996). Bond strength of grouted reinforcing bars. *ACI Structural Journal*, 93(4), 486-495.
- Delhomme F., Roure T. Arrieta B. and Limam, A. (2015). 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.
- Demir, İ., Şimşek, O. ve Yaprak, H. (2009). Epoksi Türünün Ankraj Performansına Etkisi. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs, Karabük.
- Eligehausen R., Cook R. A. and Appl J. (2006). Behavior and design adhesive bonded anchors. *ACI Structural Journal*, 103(6), 822-831.
- Fuchs W., Eligehausen R. and Breen J.E. (1995). Concrete capacity design (CCD) approach for fastening to concrete. *ACI Structural Journal*, 92(1), 73-94.
- Fujikake K., Nakayama J., Sato H., Mindess S. and Ishibashi T. (2003). Chemically bonded anchors subjected to rapid pullout loading. *ACI Materials Journal*, 100(3), 246- 252.
- Gesoğlu M., Ozturan T., Ozel M. and Guneyisi E. (2005). Tensile behavior of post-installed anchors in plain and steel fiber-reinforced normal- and high strength concretes. *ACI Structural Journal*, 102(2), 224-231.
- Gross J. H., Klingner R. E. and Graves H. L. (2001). Dynamic behavior of single and double near-edge anchors loaded in shear. *ACI Structural Journal*, 98(5), 665-676.
- Gürbüz T. (2007). *Yapıların güçlendirilmesinde kullanılan kimyasal ankrajların aksenal çekme etkisi altındaki davranışlarının incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Gürbüz T., Seyhan E., İlki A. ve Kumbasar N. (2007). Güçlendirme çalışmalarında kullanılan kimyasal ankrajların aksenal çekme etkisi altında davranışları. *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, 16-20 Ekim, İstanbul, 649-659.
- Higgins C. C. and Klingner R. E. (1998). Effects of environmental exposure on the performance of cast-in-place and retrofit anchors in concrete. *ACI Structural Journal*, 95(5), 506-517.

### KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- Kaya Y. (2007). *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 (2007).
- Lee N. H., Kim K. S., Bang C. J. and Park K. R. (2007). Tensile-headed anchors with large diameter and deep embedment in concrete. *ACI Structural Journal*, 104(4), 479-486.
- McVay, M., Cook, R. A. and Krishnamurthy, K. (1996). Pullout simulation of post-installed chemically bonded anchors. *Journal of Structural Engineering*, 122(9), 1016-1024.
- Obata M., Inoue M. and Goto Y. (1998). The failure mechanism and the pull-out strength of a bond-type anchor near a free edge. *Mechanics of Materials*, 28, 113-122.
- Ozbolt J., Eligehausen R., Periskis G. and Mayer U. (2006). 3D FE analysis of anchor bolts with large embedment depths. *Engineering Fracture Mechanics*, 74, 168-178.
- Özen M. A. (2010). *Düşük ve normal dayanımlı betonlarda epoksi ankrajların çekme davranışı*. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Özkul H., Mutlu M. ve Sağlam A. R. (2001). Beton ankrajları. *Sika Teknik Bülten*, 4, (2001).
- Özturan T., Gesoğlu M., Özel M. ve Güneyisi E. (2004). Kimyasal harçlı ve mekanik ankrajların çekme ve kesme yükleri altındaki davranışları. *İMO Teknik Dergi*, 208, 3105-3124.
- Peier W. H. (1983). Model for pullout strength of anchors in concrete. *Journal of Structural Engineering, American Society of Civil Engineers ASCE*, 109(5), 1155-1173.
- Pinoteau N., Pimienta P., Guillet T., Rivillon P. and Remond S. (2011). Effect of heating rate on bond failure of rebars into concrete using polymer adhesives to simulate exposure to fire. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 31(8), 851-861.
- Primavera E. J., Pinelli J. P. and Kalajian E. H. (1997). Tensile behavior of cast-in-place and undercut anchors in high-strength concrete. *ACI Structural Journal*, 94(5), 583-594.

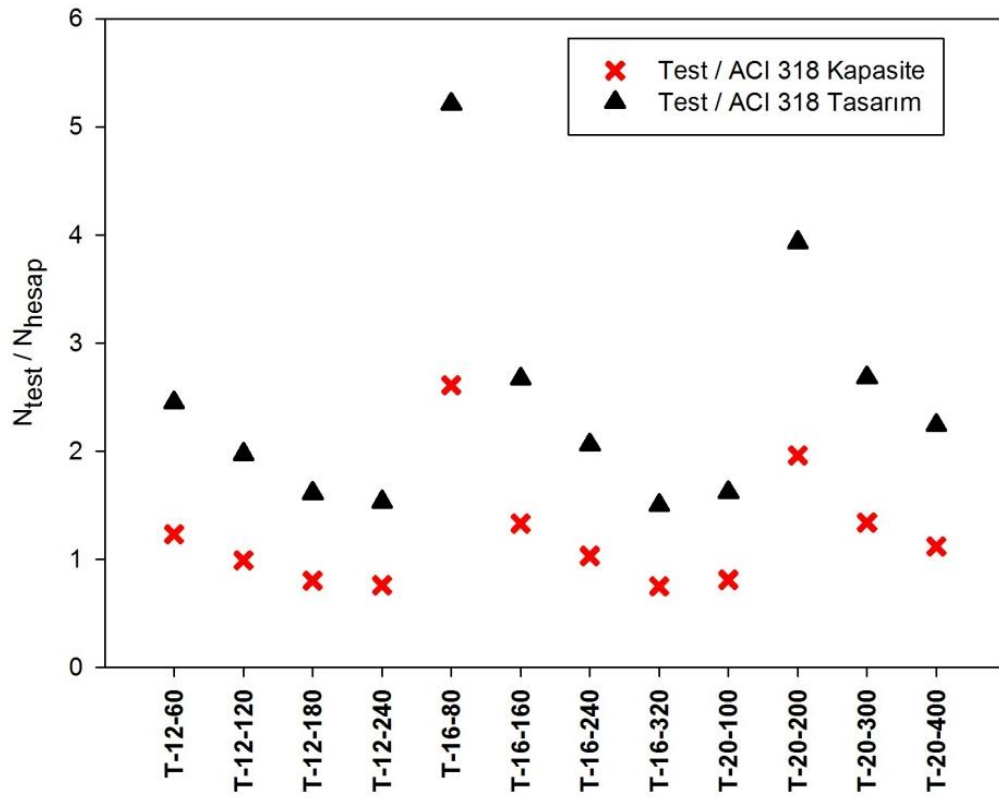
**KAYNAKLAR (Devam Ediyor)**

- Sakla S.S.S. and Ashour A. F. (2005). Prediction of tensile capacity of single adhesive anchors using neural networks. *Computers & Structures*, 83, 1792-1803.
- Seyhan E. C. (2006). *Kimyasal ankrajların davranışlarının incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Shirvani M., Klingner R. E. and Graves H. L. (2004). Breakout capacity of anchors in concrete part 1: tension, *ACI Structural Journal*, 101(6), 813-820.
- TS 708. (2010). Beton Çelik Çubukları, Türk Standardı. Türkiye.
- Yılmaz, S., Çalışkan, Ö., Kaplan, H. ve Kıraç, N. (2010). Kimyasal Ankrajların Dayanımını Etkileyen Faktörler. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, XXIII(1), 123-134.

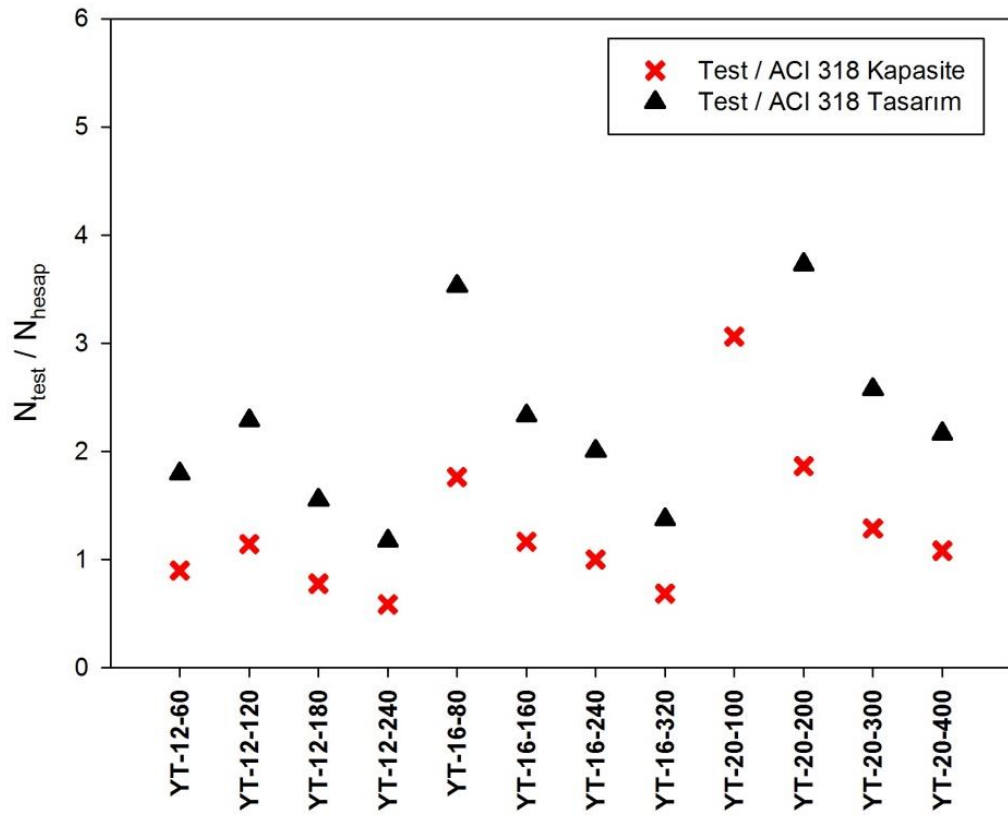
**EKLER**

**EK-1:** Temizlik durumu: temiz için deney fotoğrafları.

**T-12-60****T-12-120****T-12-180****T-12-240****T-16-80****T-16-160****T-16-240****T-16-320****T-20-100****T-20-200****T-20-300****T-200-400**

**EK-2:** Temizlik durumu: temiz için güvenlik katsayıları.

**EK-3:** Temizlik durumu: yarı temiz için güvenlik katsayıları.



**EK-4:** Nem durumu: nemli için deney fotoğrafları.



**N-12-60**



**N-12-120**



**N-12-180**



**N-12-240**



**N-16-80**



**N-16-160**



**N-16-240**



**N-16-320**



**N-20-100**



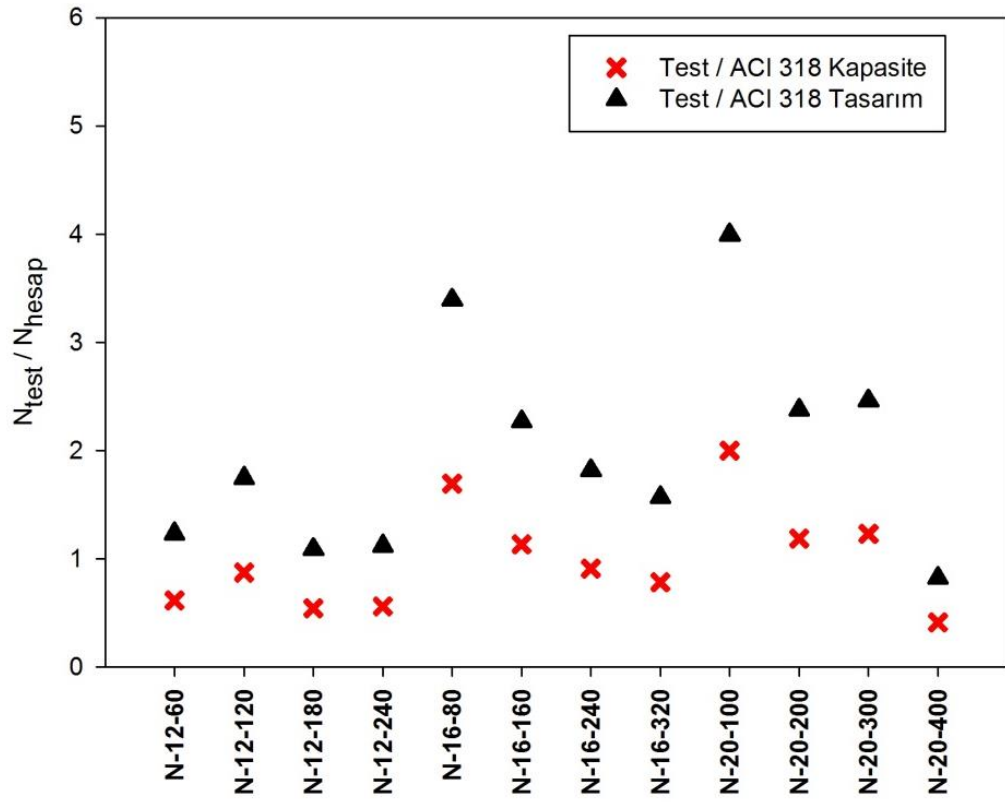
**N-20-200**



**N-20-300**



**N-200-400**

**EK-5:** Nem durumu: nemli için güvenlik katsayıları.

**EK-6:** Nem durumu: yarı nemli için deney fotoğrafları.



**YN-12-60**



**YN-12-120**



**YN-12-180**



**YN-12-240**



**YN-16-80**



**YN-16-160**



**YN-16-240**



**YN-16-320**



**YN-20-100**



**YN-20-200**

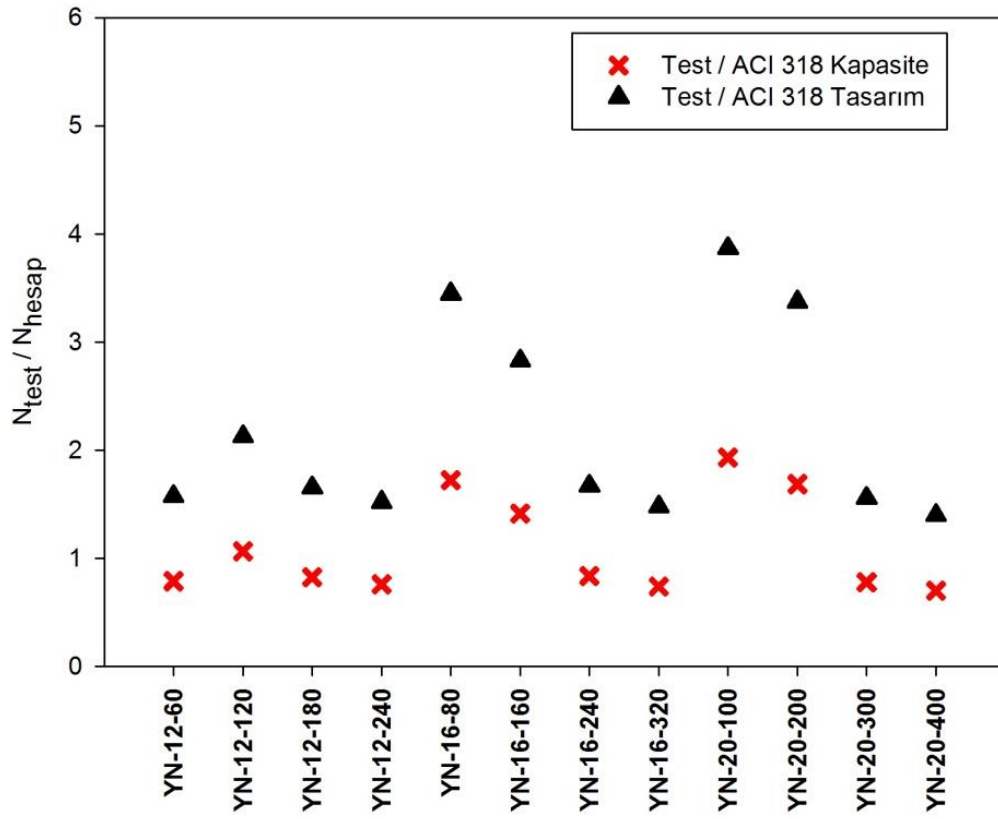


**YN-20-300**



**YN-200-400**

**EK-7:** Nem durumu: yarı nemli için güvenlik katsayıları.



**EK-8:** Sıcaklık durumu: 50 °C için deney fotoğrafları.



**50 °C -12-60**



**50 °C -12-120**



**50 °C -12-180**



**50 °C -12-240**



**50 °C -16-80**



**50 °C -16-160**



**50 °C -16-240**



**50 °C -16-320**



**50 °C -20-100**



**50 °C -20-200**

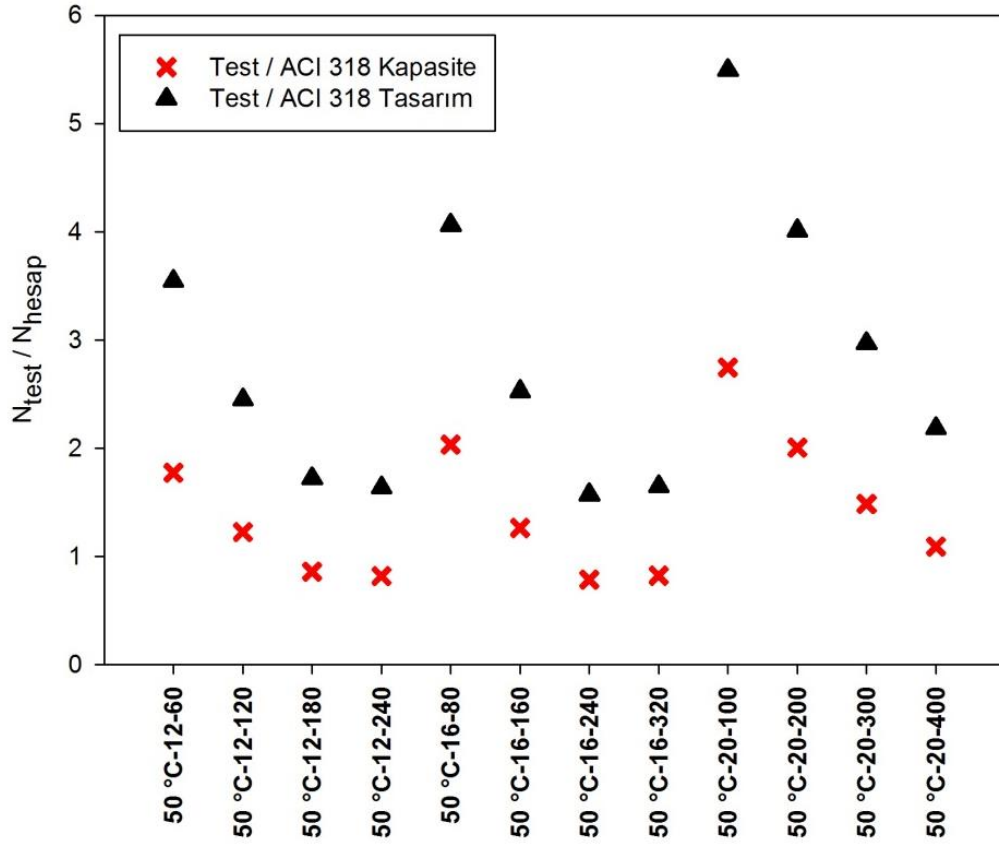


**50 °C -20-300**



**50 °C -200-400**

**EK-9:** Sıcaklık durumu: 50 °C için güvenlik katsayıları.



**EK-10:** Sıcaklık durumu: 150 °C için deney fotoğrafları.



**150 °C -12-60**



**150 °C -12-120**



**150 °C -12-180**



**150 °C -12-240**



**150 °C -16-80**



**150 °C -16-160**



**150 °C -16-240**



**150 °C -16-320**



**150 °C -20-100**



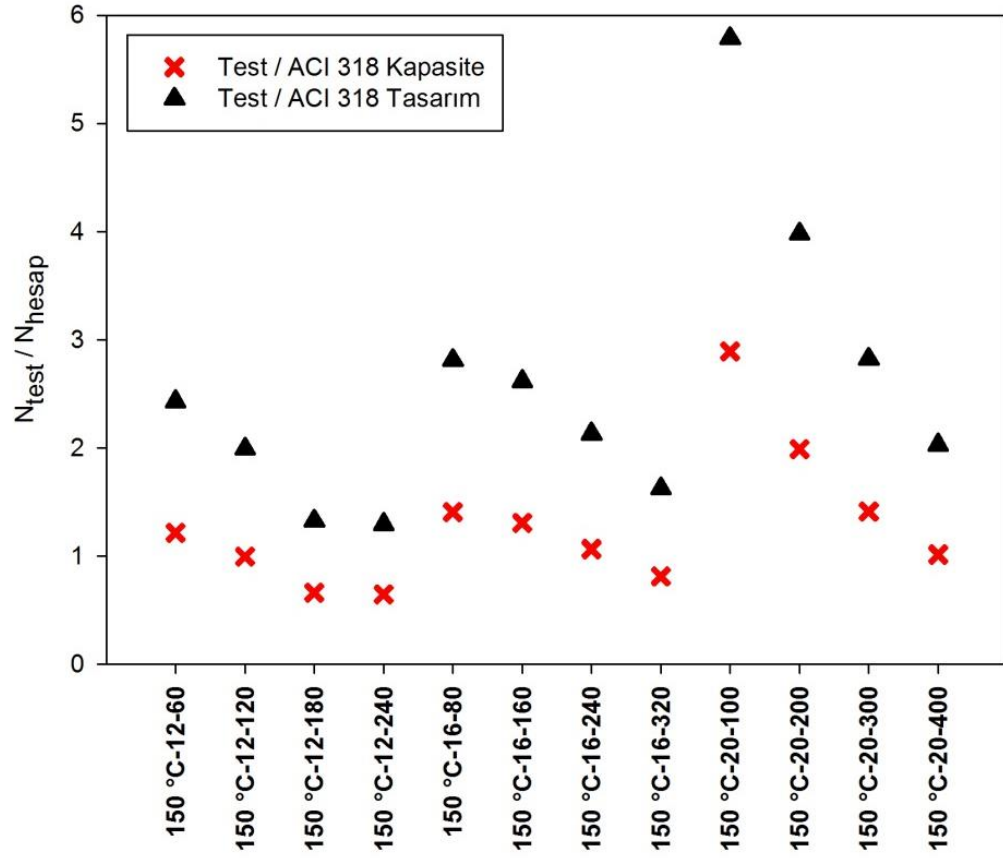
**150 °C -20-200**

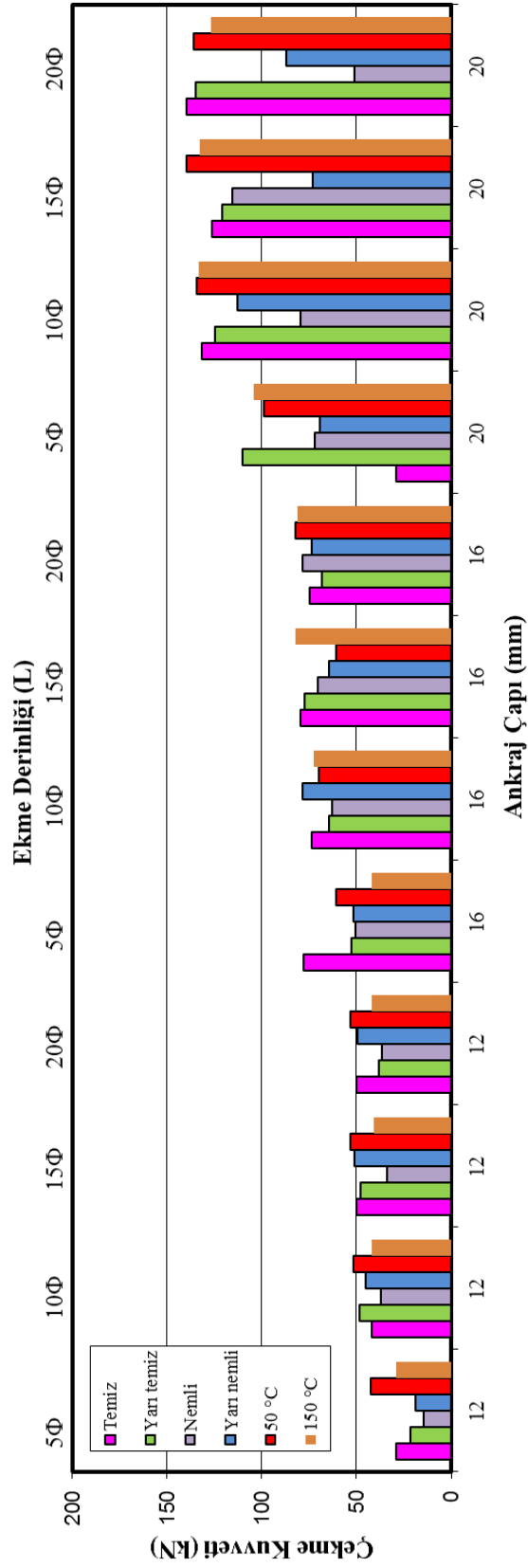


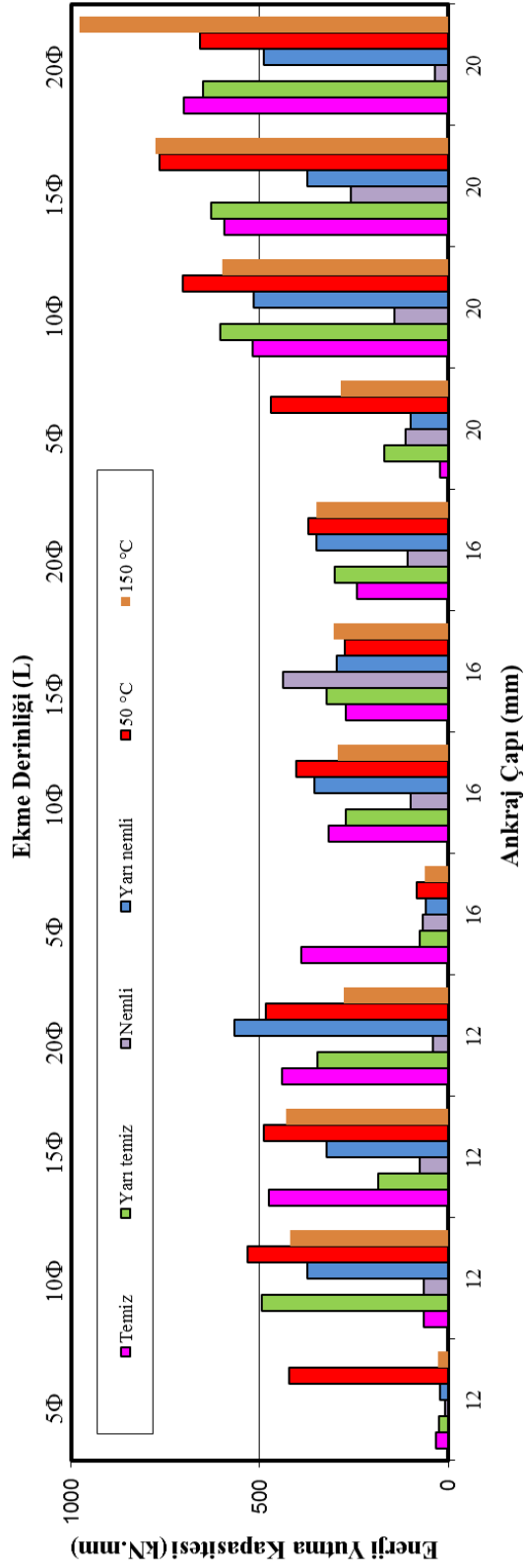
**150 °C -20-300**



**150 °C -200-400**

**EK-11:** Sıcaklık durumu: 150 °C için güvenlik katsayıları.

**EK-12:** Tüm deneylerin çekme kuvveti değerleri.

**EK-13:** Tüm deneylerin enerji yutma kapasitesi değerleri.



## ÖZ GEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : YILMAZ AĞDAĞ  
Doğum Yeri ve Tarihi : Bilecik - 25.06.1983



### Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : İnşaat Mühendisliği  
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

Bilimsel Faaliyetleri : **Çalışkan, Ö.**, Aras, M., Aydoğan, İ. ve Ağdağ, Y., “Kenara Yakın Ekilen Kimyasal Ankrajlarda Göçme Modları”, *4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, 11-13 Ekim 2017, Eskişehir (poster).

### İş Deneyimi

Stajlar : Odöksan A.Ş Kum Kalıplama Tesisi Çelik Konst./ ELBA Rad.Tesisi  
Projeler : ECA Makineli İşleme Tesisi / Şen Piliç Kesimhane Tesisi  
Çalıştığı Kurumlar : Ağdağ İnş.Ltd.Şti.

### İletişim

Adres : Camikebir Mah. Edebali Sokak No:38 Osmaneli/Bilecik  
E-Posta Adresi : y.agdag@gmail.com

**Tarih:21/08/2019**