

T.C.  
BİLECİK ŐEHY EDEBALI ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ESKİŞEHİR TEKNİK ÜNİVERSİTESİ İLE ORTAK PROGRAM

**ÇEKME KUVVETLERİ ETKİSİNDEKİ KİMYASAL  
ANKRAJLARDA GRUP ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÖZER ÖZDEMİR

TEZ DANIŐMANI

DR. ÖĞR. ÜYESİ ÖZLEM ÇALIŞKAN

BİLECİK, 2022

REFERANS NUMARASI

10439340

T.C.  
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ESKİŞEHİR TEKNİK ÜNİVERSİTESİ İLE ORTAK PROGRAM

**ÇEKME KUVVETLERİ ETKİSİNDEKİ KİMYASAL  
ANKRAJLARDA GRUP ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÖZER ÖZDEMİR

TEZ DANIŐMANI

DR. ÖĞR. ÜYESİ ÖZLEM ÇALIŞKAN

BİLECİK, 2022

REFERANS NUMARASI

10439340

## BEYAN

Çekme Kuvvetleri Etkisindeki Kimyasal Ankrajlarda Grup Etkisi adlı yüksek lisans tezinin hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel araştırma ve etik kurallarına uyduğumu, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel kurallara uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, tezin herhangi bir kısmının Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını, aksinin tespit edileceği muhtemel durumlarda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Bu çalışmanın, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP), TÜBİTAK veya benzeri kuruluşlarca desteklenmesi durumunda; projenin ve destekleyen kurumun adı proje numarası ile birlikte, ETİK KURUL onayı alınması durumunda ise ETİK KURUL tarih karar ve sayı bilgilerinin beyan edilmesi gerekmektedir.			
<b>DESTEK ALINMIŞTIR</b>		<b>DESTEK ALINMAMIŞTIR</b>	
<b>Destek alındı ise;</b>			
<b>Destekleyen kurum;</b>			
<b>Desteğin Türü</b>	<b>Proje Numarası</b>		
<b>1-BAP (Bilimsel Araştırma Projesi)</b>			
<b>2-TÜBİTAK</b>			
<b>Diğer;</b>			
<b>ETİK KURUL onayı var ise;</b>			
<b>ETİK KURUL karar tarih/sayı</b>			

**Öğrencinin Adı ve Soyadı**

**Özer Özdemir**

**Tarih**

**..../..../20..**

**İmza**

## ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca hiçbir desteğini esirgemeyen, her türlü konuda yol gösteren, teşvik eden değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Özlem ÇALIŞKAN'a teşekkürlerimi ve saygılarımı bir borç bilirim.

Ayrıca tez çalışmamın deneysel sürecinde çalışmama yardımcı olan ve desteğini esirgemeyen Öğr. Gör. Dr. Murat Aras'a teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimimi tamamlamak için her zaman teşvik eden ve desteklerini esirgemeyen değerli eşime ve aileme teşekkürlerimi sunarım.

**Özer ÖZDEMİR**

**Ocak, 2022**

## ÖZET

### ÇEKME KUVVETLERİ ETKİSİNDEKİ KİMYASAL ANKRAJLARDA GRUP ETKİSİ

Ülkemizin deprem kuşağı üzerinde yer alması nedeniyle, ülkemizdeki yapı sektörü sürekli bir deprem gerçeğiyle karşı karşıya kalmaktadır. Yaşanan depremler sonrasında mevcut yapı stoğu incelenmiş olup, yapıların deprem açısından yetersiz olduğu ve güçlendirilmesi gerektiği sonucu ortaya çıkmaktadır. Deprem veya bunun dışındaki dış etmenler nedeniyle zarar gören yapılar güçlendirilmek istendiğinde genelde ilave yapı elemanı tercih edilmektedir. İlave yapı elemanı eklemenin en yaygın yolu kimyasal ankrajdır. Planlama, tasarım ve uygulama kolaylığına ilave olarak maliyeti nedeniyle kimyasal ankraj tercih edilmektedir. Ankraj uygulamalarında en önemli husus ise yeni eklenen betonarme elemanın, mevcut betonarme elemanlar ile veya kesiti büyütülen mevcut betonarme elemanın mevcuttaki betonarme elemanlarla birlikte çalışabilmesidir. Bu yüzden kimyasal ankrajların hangi faktörlere bağlı olduğu ve hangi faktörlerin daha çok etkilediği büyük bir önem arz etmektedir.

Bu çalışmada kimyasal ankrajlarda grup etkisi deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmada bu amaçla ikili ankraj grupları kullanılmıştır. 8, 10, 12 ve 14 olmak üzere dört farklı ankraj çubuk çapı, 40, 80 ve 120 mm olmak üzere üç farklı ankraj gömülme derinliği, B420C ve 4.6 kalitesinde sonsuz dişli çelik olmak üzere iki farklı ankraj çubuk türü kullanılmıştır. Bu çubuklar, iki bileşenli, uygulamada filiz ekme işlerinde sıkça kullanılan epoksi ile ekilmişlerdir. Bu numunelere çekme deneyi uygulanmıştır. Çekme deneyi sonucu yük-deplasman eğrileri oluşturulmuştur. Yük-deplasman eğrilerinden çekme dayanımı, başlangıç rijitlik katsayısı, deplasman süneklik oranı ve enerji yutma kapasiteleri belirlenmiştir. ACI 318 tasarım esaslarına göre kapasite dayanımları ve tasarım dayanımları tespit edilmiştir. Deneysel çekme dayanımları ile ACI 318 dayanımları oranlanarak güvenlik katsayıları hesaplanmıştır.

Teorik çalışma kısmında ise ikili, üçlü, dördü, beşli ve altılı ankraj gruplarının ekilme derinliği (5Ø, 10Ø, 15Ø, 20Ø), donatı çapı (8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 24 mm) ve işçilik kalitesi-ortam koşulları ile ilişkisi incelenmiştir. ACI 318'e göre tasarım dayanımları hesaplanmıştır. Tasarım dayanımlarının, işçilik kalitesi ve ankraj grubundaki çubuk sayısı ile ilişkisi değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kimyasal ankraj, çekme kuvveti, grup etkisi, yük-deplasman eğrisi, ACI 318.

## ABSTRACT

### GROUP EFFECT IN CHEMICAL ANCHORS UNDER THE EFFECT OF TENSILE FORCES

Due to the fact that our country is located on the earthquake zone, the construction sector in our country is constantly faced with the reality of earthquakes. After the earthquakes, the existing building stock has been examined and it is revealed that the buildings are insufficient in terms of earthquakes and need to be strengthened. When it is desired to strengthen the structures damaged due to earthquake or external factors other than that, additional structural elements are generally preferred. The most common way of adding additional structural members is chemical anchoring. In addition to the ease of planning, design and application, chemical anchors are preferred because of their cost. The most important issue in anchorage applications is that the newly added reinforced concrete element can work with the existing reinforced concrete elements or the existing reinforced concrete element whose cross-section has been enlarged with the existing reinforced concrete elements. Therefore, it is of great importance to which factors chemical anchors depend and which factors affect them more.

In this study, the group effect in chemical anchors was investigated experimentally and numerically. In the experimental study, double anchor groups were used for this purpose. Four different anchor rod diameters 8, 10, 12 and 14, three different anchor embedment depths 40, 80 and 120 mm, and two different anchor rod types, B420C and 4.6 quality worm gear steel, were used. These rods were planted with two-component epoxy, which is commonly used in sprouts in practice. Tensile test was applied to these samples. Load-displacement curves were created as a result of the tensile test. Tensile strength, initial stiffness coefficient, displacement ductility ratio and energy absorption capacities were determined from the load-displacement curves. Capacity strengths and design strengths were determined according to ACI 318 design principles. The safety coefficients were calculated by proportioning the experimental tensile strengths with the ACI 318 strengths.

In the theoretical part, planting depth ( $5\emptyset$ ,  $10\emptyset$ ,  $15\emptyset$ ,  $20\emptyset$ ), reinforcement diameter (8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 24 mm) and workmanship quality of double, triple, quadruple, quintuple and hexagonal anchor groups -The relationship with the environmental conditions was examined. Design strengths were calculated according to ACI 318. The relationship of design strengths with the quality of workmanship and the number of bars in the anchor group was evaluated.

**Keywords:** Chemical anchor, tensile force, group effect, load-displacement curve, ACI 318.

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KONUYLA İLGİLİ DAHA ÖNCE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR.....	3
3. ANKRAJLAR İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER.....	16
3.1 Ankraj Türleri .....	17
3.2 Etkin Parametreler .....	19
3.3 Çekme Altındaki Kimyasal Ankrajların Göçme Tipleri .....	19
3.4 ACI 318'e Göre Ankraj Çekme Kapasitesi .....	21
3.4.1 Donatı Kapasitesi .....	21
3.4.2 Beton Koni Kapasitesi .....	21
3.4.3 Sıyırılma Kapasitesi .....	24
4. NÜMERİK ÇALIŞMA .....	26
4.1. 8 mm Çapındaki Ankraj Çubukları İçin ACI 318 Tasarım Değerleri.....	27
4.2. 10 mm Çapındaki Ankraj Çubukları İçin ACI 318 Tasarım Değerleri.....	34
4.3. 12 mm Çapındaki Ankraj Çubukları İçin ACI 318 Tasarım Değerleri.....	41
4.4. 14 mm Çapındaki Ankraj Çubukları İçin ACI 318 Tasarım Değerleri.....	47
4.5. 16 mm Çapındaki Ankraj Çubukları İçin ACI 318 Tasarım Değerleri.....	53
4.6. 18 mm Çapındaki Ankraj Çubukları İçin ACI 318 Tasarım Değerleri.....	59

4.7. 20 mm Çapındaki Ankraj Çubukları İçin ACI 318 Tasarım Değerleri.....	65
4.8. 24 mm Çapındaki Ankraj Çubukları İçin ACI 318 Tasarım Değerleri.....	71
<b>5. DENEYSEL ÇALIŞMA .....</b>	<b>78</b>
5.1 Ankrajların Ekilme Geometrisi .....	78
5.2 Malzeme .....	80
5.2.1 Beton .....	80
5.2.2 Kimyasal Yapıştırıcı .....	80
5.2.3 Ankraj Donatıları .....	80
5.3 Ankraj Ekilmesi .....	81
5.4 Parametreler .....	81
5.5 Ankraj Çekme Deneyi .....	82
5.6 Yük-Deplasman Eğrisinden Hesaplamalar .....	82
5.7 ACI 318 (2008)'e Göre Beklenen Ankraj Çekme Kapasiteleri .....	83
<b>6. DENEY SONUÇLARI.....</b>	<b>86</b>
6.1 N8L40 Numunesine Ait Deney Sonuçları.....	87
6.2 N8L80 Numunesine Ait Deney Sonuçları.....	88
6.3 N8L120 Numunesine Ait Deney Sonuçları.....	89
6.4 N10L40 Numunesine Ait Deney Sonuçları.....	90
6.5 N10L80 Numunesine Ait Deney Sonuçları.....	90
6.6 N10L120 Numunesine Ait Deney Sonuçları.....	91
6.7 N12L40 Numunesine Ait Deney Sonuçları.....	92
6.8 N12L80 Numunesine Ait Deney Sonuçları.....	93
6.9 N12L120 Numunesine Ait Deney Sonuçları.....	93
6.10 N14L40 Numunesine Ait Deney Sonuçları.....	94
6.11 N14L80 Numunesine Ait Deney Sonuçları.....	95
6.12 N14L120 Numunesine Ait Deney Sonuçları.....	95

<b>6.13 T8L40 Numunesine Ait Deney Sonuçları .....</b>	<b>96</b>
<b>6.14 T8L80 Numunesine Ait Deney Sonuçları .....</b>	<b>97</b>
<b>6.15 T8L120 Numunesine Ait Deney Sonuçları .....</b>	<b>97</b>
<b>6.16 T10L40 Numunesine Ait Deney Sonuçları .....</b>	<b>98</b>
<b>6.17 T10L80 Numunesine Ait Deney Sonuçları .....</b>	<b>99</b>
<b>6.18 T10L120 Numunesine Ait Deney Sonuçları .....</b>	<b>99</b>
<b>6.19 T12L40 Numunesine Ait Deney Sonuçları .....</b>	<b>100</b>
<b>6.20 T12L80 Numunesine Ait Deney Sonuçları .....</b>	<b>101</b>
<b>6.21 T12L120 Numunesine Ait Deney Sonuçları .....</b>	<b>101</b>
<b>6.22 T14L80 Numunesine Ait Deney Sonuçları .....</b>	<b>102</b>
<b>6.23 T14L120 Numunesine Ait Deney Sonuçları .....</b>	<b>103</b>
<b>7. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>106</b>
<b>KAYNAKÇA .....</b>	<b>110</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>115</b>

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</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
$N_p$ :	Sıyırılma Kapasitesi
$N_{sa}$ :	Donatı Kapasitesi
$\Psi_{ed,N}$ :	Ankrajın Çekme Dayanımı İçin Kenar Mesafesine Bağlı Bir Katsayı
$\Psi_{c,N}$ :	Ankrajın Çekme Dayanımı İçin Betonda Çatlağa 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

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 3.1. ASTM E 488 ankraj ekme aralıkları ve kenar uzunlukları .....	17
Çizelge 3.2. ACI 318 ankraj dayanım azaltma katsayıları.....	25
Çizelge 4.1. Nümerik çalışma için isimlendirme tablosu .....	26
Çizelge 4.2. D8L5 için ACI 318 tasarım dayanımları .....	28
Çizelge 4.3. D8L10 için ACI 318 tasarım dayanımları .....	30
Çizelge 4.4. D8L15 için ACI 318 tasarım dayanımları .....	31
Çizelge 4.5. D8L20 için ACI 318 tasarım dayanımları .....	32
Çizelge 4.6. D10L5 için ACI 318 tasarım dayanımları .....	35
Çizelge 4.7. D10L10 için ACI 318 tasarım dayanımları .....	37
Çizelge 4.8. D10L15 için ACI 318 tasarım dayanımları .....	38
Çizelge 4.9. D10L20 için ACI 318 tasarım dayanımları .....	39
Çizelge 4.10. D12L5 için ACI 318 tasarım dayanımları .....	41
Çizelge 4.11. D12L10 için ACI 318 tasarım dayanımları .....	43
Çizelge 4.12. D12L15 için ACI 318 tasarım dayanımları .....	44
Çizelge 4.13. D12L20 için ACI 318 tasarım dayanımları .....	45
Çizelge 4.14. D14L5 için ACI 318 tasarım dayanımları .....	47
Çizelge 4.15. D14L10 için ACI 318 tasarım dayanımları .....	49
Çizelge 4.16. D14L15 için ACI 318 tasarım dayanımları .....	50
Çizelge 4.17. D14L20 için ACI 318 tasarım dayanımları .....	51
Çizelge 4.18. D16L5 için ACI 318 tasarım dayanımları .....	53
Çizelge 4.19. D16L10 için ACI 318 tasarım dayanımları .....	55
Çizelge 4.20. D16L15 için ACI 318 tasarım dayanımları .....	56
Çizelge 4.21. D16L20 için ACI 318 tasarım dayanımları .....	57
Çizelge 4.22. D18L5 için ACI 318 tasarım dayanımları .....	59

<b>Çizelge 4.23.</b> D18L10 için ACI 318 tasarım dayanımları .....	61
<b>Çizelge 4.24.</b> D18L15 için ACI 318 tasarım dayanımları .....	62
<b>Çizelge 4.25.</b> D18L20 için ACI 318 tasarım dayanımları .....	63
<b>Çizelge 4.26.</b> D20L5 için ACI 318 tasarım dayanımları .....	65
<b>Çizelge 4.27.</b> D20L10 için ACI 318 tasarım dayanımları .....	67
<b>Çizelge 4.28.</b> D20L15 için ACI 318 tasarım dayanımları .....	68
<b>Çizelge 4.29.</b> D20L20 için ACI 318 tasarım dayanımları .....	69
<b>Çizelge 4.30.</b> D24L5 için ACI 318 tasarım dayanımları .....	71
<b>Çizelge 4.31.</b> D24L10 için ACI 318 tasarım dayanımları .....	73
<b>Çizelge 4.32.</b> D24L15 için ACI 318 tasarım dayanımları .....	75
<b>Çizelge 4.33.</b> D24L20 için ACI 318 tasarım dayanımları .....	76
<b>Çizelge 5.1.</b> ASTM E 488'e göre olması gereken sınır değerler .....	79
<b>Çizelge 5.2.</b> 1 m <sup>3</sup> betonun ağırlıkça karışım reçetesi .....	80
<b>Çizelge 5.3.</b> 28 günlük beton basınç dayanımları .....	80
<b>Çizelge 5.4.</b> Numune isimlendirme tablosu .....	81
<b>Çizelge 5.5.</b> Ankraj çubukları için ACI dayanım değerleri .....	84
<b>Çizelge 6.1.</b> B420C sınıfı çubuklar için deney ve hesaplama sonuçları .....	86
<b>Çizelge 6.2.</b> Tij çelikleri için deney ve hesaplama sonuçları .....	87
<b>Çizelge 6.3.</b> Ankraj çubukları için güvenlik katsayıları .....	104

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 3.1. Beton konik kopma alanları kesişimi.....	17
Şekil 3.2. Kimyasal ankraj.....	18
Şekil 3.3. Harçlı ankraj.....	18
Şekil 3.4. Eksenel çekme kuvveti altında ankrajların göçme biçimleri .....	20
Şekil 3.5. Tekil ankraj için maksimum göçme alanı.....	22
Şekil 3.6. Grup ankraj için gerçek etki alanı .....	23
Şekil 4.1. D8L5 için ACI 318 tasarım dayanımı .....	29
Şekil 4.2. D8L10, D8L15, D8L20 için ACI 318 tasarım dayanımı .....	33
Şekil 4.3. 8 mm için ACI 318 kapasite dayanımı artış oranları grafiği .....	34
Şekil 4.4. D10L5 için ACI 318 tasarım dayanımı .....	36
Şekil 4.5. D10L10, D10L15, D10L20 için ACI 318 tasarım dayanımı .....	40
Şekil 4.6. 10 mm için ACI 318 kapasite dayanımı artış oranları grafiği .....	40
Şekil 4.7. D12L5 için ACI 318 tasarım dayanımı .....	42
Şekil 4.8. D12L10, D12L15, D12L20 için ACI 318 tasarım dayanımı .....	46
Şekil 4.9. 12 mm için ACI 318 kapasite dayanımı artış oranları grafiği .....	46
Şekil 4.10. D14L5 için ACI 318 tasarım dayanımı .....	48
Şekil 4.11. D14L10, D14L15, D14L20 için ACI 318 tasarım dayanımı .....	52
Şekil 4.12. 14 mm için ACI 318 kapasite dayanımı artış oranları grafiği.....	52
Şekil 4.13. D16L5 için ACI 318 tasarım dayanımı .....	54
Şekil 4.14. D16L10, D16L15, D16L20 için ACI 318 tasarım dayanımı .....	58
Şekil 4.15. 16 mm için ACI 318 kapasite dayanımı artış oranları grafiği.....	58
Şekil 4.16. D18L5 için ACI 318 tasarım dayanımı .....	60
Şekil 4.17. D18L10, D18L15, D18L20 için ACI 318 tasarım dayanımı .....	64
Şekil 4.18. 18 mm için ACI 318 kapasite dayanımı artış oranları grafiği.....	64

Şekil 4.19. D20L5 için ACI 318 tasarım dayanımı .....	66
Şekil 4.20. D20L10, D20L10, D20L15, D20L20 için ACI 318 tasarım dayanımı .....	70
Şekil 4.21. 20 mm için ACI 318 kapasite dayanımı artış oranları grafiği .....	70
Şekil 4.22. D24L5 için ACI 318 tasarım dayanımı .....	72
Şekil 4.23. D24L10 için ACI 318 tasarım dayanımı .....	74
Şekil 4.24. D24L15, D14L20 için ACI 318 tasarım dayanımı .....	76
Şekil 4.25. 24 mm için ACI 318 kapasite dayanımı artış oranları grafiği.....	77
Şekil 5.1. Çekme deneyi uygulanan ankraj gruplarının genel gösterimi .....	78
Şekil 5.2. Ankraj ekim planı .....	79
Şekil 5.3. B420C sınıfı nervürlü çelik ve 4.6 kalitesinde sonsuz dişli çelik gösterimi. ..	81
Şekil 5.4. Deney düzeneği gösterimi .....	82
Şekil 5.5. Yük-deplasman eğrisinden ilgili değerlerin hesaplanması.....	83
Şekil 6.1. N8L40 numunesine ait yük-deplasman eğrisi.....	88
Şekil 6.2. N8L80 numunesine ait yük-deplasman eğrisi.....	88
Şekil 6.3. N8L120 numunesine ait yük-deplasman eğrisi.....	89
Şekil 6.4. N10L40 numunesine ait yük-deplasman eğrisi.....	90
Şekil 6.5. N10L80 numunesine ait yük-deplasman eğrisi.....	91
Şekil 6.6. N10L120 numunesine ait yük-deplasman eğrisi.....	91
Şekil 6.7. N12L40 numunesine ait yük-deplasman eğrisi.....	92
Şekil 6.8. N12L80 numunesine ait yük-deplasman eğrisi.....	93
Şekil 6.9. N12L120 numunesine ait yük-deplasman eğrisi.....	94
Şekil 6.10. N14L40 numunesine ait yük-deplasman eğrisi.....	94
Şekil 6.11. N14L80 numunesine ait yük-deplasman eğrisi.....	95
Şekil 6.12. N14L120 numunesine ait yük-deplasman eğrisi.....	96
Şekil 6.13. T8L40 numunesine ait yük-deplasman eğrisi .....	96
Şekil 6.14. T8L80 numunesine ait yük-deplasman eğrisi .....	97

<b>Şekil 6.15.</b> T8L120 numunesine ait yük-deplasman eğrisi .....	98
<b>Şekil 6.16.</b> T10L40 numunesine ait yük-deplasman eğrisi .....	98
<b>Şekil 6.17.</b> T10L80 numunesine ait yük-deplasman eğrisi .....	99
<b>Şekil 6.18.</b> T10L120 numunesine ait yük-deplasman eğrisi .....	100
<b>Şekil 6.19.</b> T12L40 numunesine ait yük-deplasman eğrisi .....	100
<b>Şekil 6.20.</b> T12L80 numunesine ait yük-deplasman eğrisi .....	101
<b>Şekil 6.21.</b> T12L120 numunesine ait yük-deplasman eğrisi .....	102
<b>Şekil 6.22.</b> T14L80 numunesine ait yük-deplasman eğrisi .....	102
<b>Şekil 6.23.</b> T14L120 numunesine ait yük-deplasman eğrisi .....	103
<b>Şekil 6.24.</b> Kapasite güvenlik katsayıları .....	105
<b>Şekil 6.25.</b> Tasarım güvenlik katsayıları .....	105

## 1.GİRİŞ

Ülkemiz, yeryüzü üzerindeki en aktif deprem bölgelerinden birinde yer almaktadır. Dolayısıyla yapılarımız birçok kez deprem etkisi altında kalmış, can kayıpları yaşanmıştır. Yapı stokumuz incelendiğinde inşa edilen birçok yapının deprem açısından yetersiz kaldığı ve güçlendirilmesi gerektiği sonucu ortaya çıkmıştır. Ülkemizde yaşanacak olası depremler açısından güçlendirme uygulamaları önemli bir yer teşkil etmektedir.

Mevcut yapıların onarım ve güçlendirilmesi gündeme geldiğinde en çok kullanılan yöntem kimyasal ankrajdır. Kolonların, kirişlerin, döşemelerin kesitlerinin büyütülmesinde, yapıya perde eklenmesinde, mevcut cephelerinde dışına kaplama yapılmasında kullanılabilir. Kimyasal ankrajların tercih edilmesinin sebebi tasarım ve uygulamasının kolay olması, maliyetinin düşük olması ve yapıya dayanımı açısından yüksek performans göstermesidir. Yapıya yeni bir betonarme eleman eklerken veya mevcut betonarme elemanın kesitini büyütürken kimyasal ankraj kolaylıkla kullanılabilir. Güçlendirme çalışmalarında uygulanan ankrajların farklı kuvvetler altındaki göstereceği davranış tasarım açısından önemli bir husustur. Ankraj uygulamalarında en önemli husus ise yeni eklenen betonarme elemanın, mevcut betonarme elemanlar ile veya kesiti büyütülen mevcut betonarme elemanın mevcuttaki betonarme elemanlarla birlikte çalışabilmesidir.

Son yıllarda güçlendirme ihtiyacı nedeniyle sıklıkla tercih edilen kimyasal ankrajlarla ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda ankraj türü, kimyasal yapıştırıcı türü, kullanılan beton dayanımı, ankraj donatısı çapı, ankraj gömme derinliği, ankraj deliğinin temizlik durumu, ankraj deliğinin ıslaklık durumu gibi pek çok parametre incelenmiştir.

Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (TS 500)'de kimyasal ankrajlar ile ilgili doğrudan bir bilgi bulunmamaktadır. Ancak Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007) ankrajların kesme dayanımı hesabını TS 500 sürtünme kesmesi formülüyle hesaplanacağını belirtmiştir. Bu yaklaşıma göre sadece donatının göçme durumu değerlendirilmektedir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018)'de kimyasal ankraj tasarımı ve uygulaması için uluslararası geçerliliğe sahip standart ve yönetmeliklerin kullanılacağı belirtilmiştir. Güçlendirme amacıyla yapıya eklenen elemanlar ile mevcut yapı elemanları arasında deprem kuvvetleri nedeniyle oluşacak kayma gerilmelerinin karşılanması için ankraj dayanımının önemli olduğu belirtilmiştir. Yapılara güçlendirme için eklenecek perdelerin ankrajlarında en az 16 mm çapında çubuk, 10Ø gömme derinliği ve iki ankraj arası en fazla 40 cm mesafe olması gerektiği belirtilmiştir.

Çalışmada grup ankrajlar deneysel ve nümerik olmak üzere iki kısımda ele alınmıştır. Deneysel çalışmada ankraj grupları ikili olarak oluşturulmuştur. Donatı türü, donatı çapı ve ankraj ekilme derinliği parametreleri kullanılarak çekme testleri uygulanmıştır. Donatı türü olarak Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)'nin izin verdiği B420C sınıfı nervürlü çelik kullanılmıştır. Bunun dışında 4.6 kalitesinde sonsuz dişli tij çelik çubuklar kullanılarak ankraj grupları oluşturulmuştur. B420C sınıfındaki çelik çubuklar 8, 10, 12 ve 14 mm olmak üzere dört farklı çapta seçilmiştir. 40, 80 ve 120 mm olmak üzere 3 farklı gömme derinliği tercih edilmiştir. Piyasada filiz ekme işlerinde yaygın olarak kullanılan iki bileşenli, kartuşlu epoksi yapıştırıcı ve 28 günlük ortalama basınç dayanımı 24.44 MPa olan beton numuneler kullanılmıştır. Çekme deneyi sonucu yük-deplasman eğrileri oluşturulmuştur. Yük-deplasman eğrilerinden çekme dayanımı, başlangıç rijitlik katsayısı, deplasman süneklik oranı ve enerji yutma kapasiteleri tespit edilmiştir. ACI 318 tasarım esaslarına göre kapasite dayanımları ve tasarım dayanımları tespit edilmiştir. Çekme dayanımları ile ACI 318 dayanımları oranlanarak güvenlik katsayıları hesaplanmıştır.

Teorik çalışma kısmında ise ikili, üçlü, dördü, beşli ve altılı ankraj gruplarının ekilme derinliği, donatı çapı ve işçilik kalitesi-ortam koşulları ile ilişkisi incelenmiştir. ACI 318'e göre tasarım dayanımları hesaplanmıştır. Tasarım dayanımlarının, işçilik kalitesi ve ankraj grubundaki çubuk sayısı ile ilişkisi değerlendirilmiştir.

## 2.KONUyla İLGİLİ DAHA ÖNCE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

Peier (1983), tasarladığı modelle birlikte ankrajların çekme dayanımlarını incelemiştir. C25 ve C50 olmak üzere iki farklı beton sınıfı tercih etmiştir. Oluşturulan matematik modelden elde edilen sonuçlar ile deneysel verileri karşılaştırmıştır. Modelin deneysel veriler ile uyumlu olduğunu ve bu modelin tekil ankrajların tasarımında verimli sonuçlar verdiğini görmüştür.

Cook (1993), çalışmasında kimyasal ankrajların çekme kapasitelerinin belirlenmesi için oransal tasarım yöntemlerini sunmuştur. Her türlü göçme modu için bir tasarım yöntemi belirlemiştir. Toplamda 280 adet test yapmıştır ve tasarım önerilerini oransal analize dayandırmıştır.

Cook vd. (1993), tam bağlı tekil, kısmi bağlı tekil ve tam bağlı ikili ankrajlara çekme testleri uygulamışlardır. Tasarım önerilerinde bulunmuşlardır. Tam bağlı ankrajların büyük bir fark yaratmadığı sonucuna varmışlardır. Ankraj çiftleri arasında gömme derinliği kadar boşluk olduğunda, tekil ankraj dayanıma ulaştığını tespit etmişlerdir.

Darwin vd. (1993), yaptıkları çalışmada delik hazırlama yönteminin, harç tipinin, delik çapının, gömülme derinliğinin, çubuk yüzey durumunun, çubuk yönünün ve beton dayanımının ankraj dayanımına etkisini incelemişlerdir. Deliklerin bir kısmı yüksek hızlı vakumlu matkapla, bir kısmı el tipi pnömomatik darbeli matkapla açılmıştır. Ancak delik açma yönteminin ankraj dayanımına etkisi olmadığını belirlemişlerdir. Deliklerin bazılarını su ve fırça yardımıyla, bazılarını sadece fırçayla, bazılarını ise basınçlı hava yardımıyla temizlemişlerdir. En sağlıklı sonucun basınçlı hava yardımıyla temizlenen numunelerden elde edildiğini belirtmişlerdir. Yapıştırıcı olarak iki farklı ürün kullanmışlardır. Delik çapının çok büyük olmadığı sürece ankraj dayanımına etkisi olmadığını belirlemişlerdir. Yani delik çapı için üst sınır olması gerektiğini belirtmişlerdir. Gömme derinliğinin artması, ankraj kapasitesini de artırmaktadır. Beton dayanımının da ankraj dayanımı üzerinde olumlu bir etkisi olduğunu ifade etmişlerdir.

Fuchs vd. (1995), çalışmalarında sertleşmiş ve taze beton kullanarak, farklı türdeki çubuklarla ekilen ankrajların tasarımı için bir model sunup, ACI 349-85 ile karşılaştırmışlardır. Tekil ve ikili ankrajlar ekmişlerdir. Farklı kenar mesafelerinde, farklı yükler etki ettirmişlerdir. Sonucunda ACI 349'un ankraj tasarımı için uygun olmadığı sonucuna varmışlardır.

Darwin ve Zavaregh (1996), çalışmalarında; ankraj deliği hazırlama yöntemi, çubuk çapı, ankraj harç tipi, ankraj derinliği, epoksi durumu, beton dayanımı ve ankraj ekilme aralığı parametrelerini kullanarak harçlı güçlendirme çubuklarının dayanımlarını tespit etmişlerdir.

Ankraj ekilme derinliği, ankraj çubuk çapı ve beton dayanımı artıkça ankraj dayanımının da artığını gözlemlemişlerdir.

Primavera vd. (1997), yüksek dayanımlı betonlarda; tazeyken ve sertleşmişken ekilen ankrajların dayanımlarını incelemişlerdir. Farklı ankraj ekilme derinliği kullanmışlardır. Beton dayanımının ve ekilme derinliğinin artmasıyla ankraj çekme kapasitesinin de artığı görüşüne varmışlardır.

Obata vd. (1998), araştırmalarında serbest kenara yakın bağ tipi ankrajların çekme dayanımlarını incelemişlerdir. İki farklı sınıfta beton ve tek çapta ankraj çubuğu kullanmışlardır. Çalışmada hem teorik hem de deneysel sonuçları karşılaştırarak tasarım önerilerinde bulunmuşlardır.

Higgins vd. (1998), çalışmalarında sertleşmiş ve taze beton kullanmışlardır. Taze ve sertleşmiş betona ekilen ankrajlara çevresel etkilerin, ankraj dayanımına ne derece etkilediğini araştırılmışlardır. Ultraviyole ışınların herhangi bir etkisi olmadığını görmüşlerdir. Donma ve çözülme etkisinin ankraj dayanımını düşürdüğünü belirlemişlerdir. Asit etkisinin ise çok etkilemese de ankraj dayanımını düşürdüğü sonucuna varmışlardır.

zturan vd. (2004), ankrajların statik çekme, tekrarlı çekme ve kesme yükleri altındaki davranışlarını incelemişlerdir. Yapılan çalışmalarda beton donatı olarak yalın ve lifli olarak, dayanım açısından ise normal ve yüksek dayanımlı olarak seçmişlerdir. Ankraj gömme derinliği ve ankraj donatı çapı da değişkendir. Ekilen ankrajlar ise kimyasal, harçlı ve mekanik ankraj olmak üzere üç farklı yöntemle ekilmiştir. Toplamda 130 adet numuneye test uygulamışlardır. Ankraj serbest kenara mesafelerini ve ara mesafelerini belirlerken ASTM E 488'i kullanmışlardır. Deney sonuçlarını incelediklerinde bu mesafelerin derin ankrajlarda yeterli, orta ve sığ ankrajlarda ise yetersiz olduğunu tespit etmişlerdir. Beton dayanımı artıkça ankrajların taşıma kapasitelerinin de artığını ancak ankraj gömme derinliği arttıkça, beton dayanımının etkisinin azaldığını gözlemlemişlerdir. Ankraj tipi açısından incelediklerinde kimyasal ankraj dayanımlarının en yüksek, mekanik ankraj dayanımlarının ise en düşük değerler verdiğini belirlemişlerdir. Ankraj gömme derinliği artıkça harçlı ankraj dayanımlarının, kimyasal ankraj dayanımlarına yaklaştığını yine göçme yükleri açısından da kimyasal ve harçlı ankrajların birbirlerine yakın sonuç verdiğini statik çekme yükleri altında elik lif katılmasının da sünekliği artırsa da dayanım açısından çok fazla bir etkisinin olmadığını gözlemlemişlerdir.

Cook ve Kanz (2001), ortam koşulları, temizlik durumu ve yapıştırıcı türü gibi parametreleri kullanarak kimyasal ankraj dayanımlarının nasıl değiştiğini incelemişlerdir. Ankraj deliklerinde ıslaklığın artmasıyla ankraj dayanımının azaldığını tespit etmişlerdir. Aynı durumun temizlik durumu içinde meydana geldiği, deliklerde toz miktarının artmasıyla, ankraj dayanımının azaldığını görmüşlerdir.

Fujikake vd. (2003), farklı gömme derinliklerindeki ankrajlara hızlı çekme yükü uygulamışlardır. Bunun sonucunda ankrajların dayanımlarının nasıl etkilendiğini araştırmışlardır. Çalışmanın sonucunda yükleme oranı arttıkça, bağ dayanımının arttığı sonucuna varmışlardır.

Zamara vd. (2003), harçlı ankraj türleri üzerine çalışmışlardır. Harç tipi, beton dayanımı, ankraj çapı, ankraj derinliği, çubuk başlık durumu parametrelerini değişken olarak kullanmışlardır. Çalışmanın sonucunda başlıklı harçlı ankrajların kimyasal ankrajlar ile yakın sonuçlar verdiği sonucuna varmışlardır.

Binici vd. (2006), çalışmalarında epoksinin kimyasal ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Konuyla ilgili detaylı bir literatür taraması yapmışlardır. Epoksiye kazandırılan özellikler sayesinde kimyasal dirençlerinin yüksek olduğu, esnek olduğu ve iyi yapışmaları sayesinde birçok alanda kullanıldığını belirtmişlerdir. Son yıllarda epoksinin yapı güçlendirmesinde sıklıkla tercih edildiğinden bahsetmişlerdir. Epoksi karbon lifleriyle beraber kullanılarak, yapısal çatlaklara sıkılarak ya da kimyasal ankrajlarda kullanılarak yapısal güçlendirmede yararlanılmaktadır. Kimyasal ankrajın demir filizi ekiminde en güvenilir yöntem olduğunu, bu yöntemde ise epoksi malzemesinin ekonomik, hızlı ve güvenli olduğundan dolayı sıklıkla kullanıldığını ifade etmişlerdir.

Seyhan (2006), çalışmasında Türkiye'deki yapıları temsilen düşük dayanımlı betonlara, farklı kimyasal yapıştırıcılar kullanarak ankrajlar ekmiştir. Ankraj ekimi aşamasında ankraj çapı, ankraj derinliği, donatı çapı ve ankraj deliği hazırlama yöntemi gibi faktörler değişken olarak belirlenmiş olup, toplamda 80 adet ankraj ekmiş ve ankrajların eksenel çekme yükü altında davranışlarını incelemiştir. Deneyler sonucunda; eğer göçme tipi sıyrılma ise delik çapı arttıkça ankraj dayanımının arttığını ve delik çapı arttıkça göçme tipinin konik kopma ile birlikte sıyrılma şeklinde olduğunu ifade etmiştir. Ankraj derinliği bakımından derinlik arttıkça; yeterli yapışma oluşmamışsa ankraj dayanımı doğrusal olarak, yeterli yapışma oluşmuşsa ankraj dayanımının parabolik bir şekilde arttığını gözlemlemiştir.

Eligehausen vd. (2006), kimyasal ankrajlar üzerinde teorik ve deneysel çalışmalar yapmışlardır. Çalışmaların sonucunda model oluşturmaya çalışmışlardır. Tekil ve grup ankrajlar kullanmışlardır. Grup ankrajların ekildiği betonlar, tekil ankrajların ekildiği betonlara göre daha düşük dayanımlı seçilmiştir. İki farklı ankraj çubuk çapı kullanmışlardır. Sonucunda deneysel çalışma ile teorik çalışma sonuçlarının uyumlu olduğunu gözlemlemişlerdir. Kritik ankraj çubuğu aralığı ve kenar mesafesi seçiminde ankraj çapının ve bağ dayanımının önemli faktörler olduğu sonucuna varmışlardır.

Gürbüz (2007), yaptığı tez çalışmasında kimyasal ankrajların farklı ankraj derinlikleri ve ankraj deliği koşullarında aksel çekme davranışlarını incelemiştir. Çalışma kapsamında kısmi ve tam bağlı olmak üzere iki farklı ankraj detayı kullanmıştır. Tam bağlı ankrajlarda ankraj derinliği boyunca beton ile donatı temas halinde iken, kısmi bağlı ankrajlarda ankraj deliğinin üst bölgesinde oluşturulan serbest bölgede betonla donatının teması kesilmektedir. Bu bağlamda kısmi ve tam bağlı ankraj detaylarında farklı ankraj derinliklerinde deneyler yapmıştır. Bunun dışında delik yüzeyi temizliğinde yapılan ihmallerin ankraj dayanımı üzerindeki etkilerini tespit etmek için, 3 farklı temizlik düzeyini test etmiştir. Bunlar ilki basınçlı hava tutulup sonrasında tel fırça ile temizlenip ve yine basınçlı hava tutulan numuneler, sadece basınçlı hava tutulan numuneler ve tozlu numunelerdir. Daha sonra yüzeylerin nem düzeylerinin ankraj dayanımına etkisini incelemiş olup, bu amaçla nemli, ıslak ve kuru yüzeylerde incelemelerde bulunmuştur. Deneyler sonucunda 6Ø derinliğindeki tam bağlı ankrajlarda beton konik olarak göçmüş olup, derinlik arttıkça betonun konik olması ile birlikte sıyrılma şeklinde göçmeler gözlemlemiştir. Aksel çekme kapasitelerinin derinlikle doğrusal olarak arttığını, göçmelerin donatı akma kapasitesine ulaşmadan gerçekleştiğini ve kısmi bağlı ankrajların tamamında ise sıyrılma şeklinde göçme oluştuğunu ifade etmiştir. (6+6) Ø ve daha derin ankrajlarda donatının göçmeden önce aktığını, bu davranışın ani göçmeyi engellemekte ve depremde daha fazla enerji tüketimine neden olmakta olduğunu belirtmiştir. Bu faktörün kısmi bağlı ankrajları, tam bağlı ankrajların bir adım önüne geçirdiğini ifade etmiştir. Yüzey temizliği ve nemliliği konusunda ise temiz yüzeylerde ve kuru yüzeylerde ankraj çekme kapasitesinin daha yüksek çıktığını, bunun nedeninin tozlu yüzeylerin ve yüzeydeki zemin, beton ile donatı arasındaki sürtünmeyi azaltması olduğunu belirtmiştir.

Kimyasal ankraj tasarımında, ankrajların aksel çekme kuvveti etkisindeyken nasıl bir davranış sergileyecekleri önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Gürbüz vd. çalışmalarında beton dayanımını, ankraj bağlayıcı malzemesini, ankraj gömme derinliğini ve donatı çapını değişken olarak tutarak toplamda 24 adet numune oluşturup, bu numunelere çekip

çıkarma testi uygulamışlardır. Deney sonuçları incelendiğinde beton dayanımındaki küçük artışların, eksenel çekme ve yapışma kapasitelerini büyük oranda artırdığını tespit etmişlerdir. Bağlayıcı malzeme türündeki farklılıklar ise bir malzemede sadece sıyırılma göçmesine neden olurken diğer bir malzemede önce betonda konik göçme, ankraj gömme derinliği arttıkça hem betonda konik göçme hem de sıyırılma göçmesine neden olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca iki farklı bağlayıcı malzeme türü arasında yarı yarıya bir yapışma dayanımı farkı çıktığını tespit etmişlerdir. Bu gibi nedenlerden dolayı bağlayıcı malzeme türünün ne kadar önemli olduğunu belirtmişlerdir (Gürbüz vd., 2007).

Kaya (2007), yaptığı tez çalışmasında güçlendirme için kullanılan kimyasal ankrajların yüzey temizliği ve uygulama detayı gibi faktörlerden nasıl etkilendiğini incelemiştir. Delik çapı ve donatı çapını sabit bırakmış, temiz, tozu atılmış, temizlenmemiş yüzeyler olarak 3 farklı yüzey hazırlamıştır. Referans yapışma dayanımı numunelerinin tamamının sıyırılma ile göçtüğünü tam bağlı ankrajların tamamının konik göçme ve ardışık boyda sıyırılma ile göçtüğünü kısmi bağlı ankrajların ise sıyırılma ile göçtüğünü belirtmiştir. Deneyler sonucunda ankraj için yüzeyin sadece tozunun atılmasının, yani sadece kompresörle tozunun atılmasının, yapışma dayanımı açısından yeterli olduğunu görmüştür.

Demir vd. (2009), ankraj donatısı özelliklerinin ankraj kapasitesine etkisini araştırmak amacıyla, uygulamada yaygın olarak kullanılan BÇIII ve BÇI donatılarını ankrajlamışlardır. Ankrajlamada reçine bazlı epoksi tercih etmişlerdir. Oluşturulan numunelere çekip çıkarma testi uygulamışlardır. Ankraj delik çapı ve gömme derinliğinin etkilerini araştırmak amacıyla bu iki parametreyi değişken olarak seçmişlerdir. Donatı çapı olarak 14 mm'yi seçmişlerdir. Toplamda 54 adet numuneye testler yapmışlardır. Yapılan testler sonucunda BÇI donatılarının nervürsüz olduğu için donatı ile epoksi arasında sıyırılma, ancak BÇIII donatılarında epoksi ile beton arasında konik çatlaklar oluştuğunu ifade etmişlerdir. Ankrajların gömme derinliğinin sıyırılmaya etkisinin olmadığını ve BÇIII çeliğinin, BÇI çeliğine göre daha iyi bir kopma dayanımı gösterdiğini belirlemişlerdir.

Özen (2010), farklı beton dayanımlarında, farklı donatı özelliklerinde, farklı derinlik ve kenar mesafelerinde ankrajlar ekmiş ve çekme testleri uygulamıştır. Beton dayanımları 5.9 ile 35.6 MPa arasında değişmektedir. Ankraj donatıları ise S420a ve S420b olmak üzere iki farklı özellikte kullanılmıştır. Ankraj derinliği ve kenar mesafeleri sırasıyla 10Ø, 15Ø ve 20Ø olarak değişmektedir. Ankrajın sağlıklı olması için ankraj kenar mesafesinin en az 15Ø olması gerektiği, aksi takdirde donatı hasarından önce beton hasarının görüleceğini, beton dayanımının

artmasıyla donatının akma dayanımına ulaşmadan, betonun gevrek şekilde hasara uğrama olasılığının azaldığını gözlemlemiştir.

Çalışkan vd. (2011), çalışmalarında ankraj kesme dayanımını hesaplarken TS500 ve ACI318 standartları kullanıldığında ikisi arasında ne gibi tasarım farklılıkları olduğunu incelemişlerdir. Yapılan deneysel çalışmalarda ankraj derinliği, ankraj çapı, ankraj serbest kenar mesafesi ve beton dayanımı değişken faktörler olarak belirlemişlerdir. ACI318’de ankraj kesme ve çekme kapasiteleri için hesap yöntemleri sunulurken, 2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik’te sadece TS500’deki sürtünme kesmesi formülüne atıfta bulunmaktadır. ACI318’deki yöntemde çelik kopması, beton göçmesi ve kenara yakın ankrajlarda beton kopması olmak üzere üç farklı göçme modu bulunmaktadır. Ankraj kapasitesi belirlenirken en düşük dayanımlı göçme kapasitesinin değeri dikkate alınmaktadır. Tasarım kesme kuvveti belirlenirken ise bu değer belirli bir dayanım azaltma katsayısıyla çarpılmaktadır. TS500’de ise sadece donatının göçme modu dikkate alınmaktadır. Çalışmalar sonucunda düşük dayanımlı betonlarda büyük çaplı ve serbest kenara yakın ankrajlarda TS500’e göre tasarım yapılırsa gerçek dışı sonuçların çıkacağını ifade etmişlerdir. Bu yüzden uygulamada sağlıklı sonuçlar almak adına donatı çapında ve serbest kenar mesafesinde sınırlamalar getirilmesi gerektiği sonucuna varmışlardır.

Çırak (2011), çalışmasında mevcut ve sonradan ilave edilen yapısal elemanları arasındaki ankrajların kayma davranışını ele almıştır. ANSYS programını kullanarak kayma davranışını temsil eden doğrusal olmayan bir model tasarlamıştır. Çoklu regresyon yöntemi yardımıyla, beton dayanımı, donatı akma dayanımı, ankraj çapı ve gömme derinliği, yer değiştirme parametreleri ile tasarım yapmıştır. Oluşturduğu modelde ortalama karesel hata, belirlilik katsayısı, standart sapma vs. kullanarak en iyi modeli seçilmiştir. Seçilen modeli 2 boyutlu olarak SAP2000’de analiz yapmıştır. Analizler sonucunda modelde, beton hasarından önce donatının akma dayanımına ulaştığını gözlemlemiştir. Bu modelle üzerine etkileyen kesme kuvveti bilinen bir yapı elemanının, modelle belirlenen ankraj kesme kapasitesi değeriyle kullanılacak ankraj miktarının kolayca belirlenebileceği ifade etmiştir.

Pinoteau vd. (2011), kimyasal ankrajların yangın etkisi altındaki dayanımlarını incelemişlerdir. Deneysel beton dayanımı ve etki eden yükü sabit tutmuşlardır. Çalışma sonucunda yangının herhangi bir olumsuz etkisini gözlemlememişlerdir.

Barnat vd. (2012), çalışmalarında kimyasal ankrajlarda kullanılan yapıştırıcı türünün mukavemet sınırlarını belirlemeyi amaçlamışlardır. Yapıştırıcı dayanımının hangi diğer

faktörlere bağılı olduğunu araştırmışlardır. Çalışmada yüksek dayanımlı beton tercih etmişlerdir. İncelemeler neticesinde kimyasal yapıştırıcı dayanımının beton dayanımıyla ilişkisi olmadığını, kimyasal yapıştırıcı kesme dayanımının daha çok elik donatıyla arasındaki ara yüzde etkilendiğini tespit etmişlerdir.

Bajer ve Barnat (2012), çalışmalarında vinil-üretan, epoksi ve polimer-imento olmak üzere 3 farklı yapıştırıcı türü kullanmışlardır. Deney sonuçlarına göre ATENA programında modelleme yapmışlardır. Üç farklı beton dayanımı kullanmışlardır. Çalışmanı sonucunda çekme kapasiteleri yönünden en iyi sonucun epoksi yapıştırıcılar ile alındığı, en düşük sonucun ise polimer-imento ile alındığı sonucuna varmışlardır.

Altan (2013), araştırmasında betonarme elemanlara sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajların aksnel çekme etkileri altında mekanik özelliklerini belirlemiş, betonlama sırasında konulan mekanik bağlantı olarak nitelendirilen ankrajlar ile karşılaştırılmasını yapmış olup, elde edilen sonuçlara bağlı olarak, kimyasal ankrajların yeterli çap ve boyda kullanılması durumunda daha etkin davranış sağladığını görmüştür. Çalışmada C8, C12, C16, C20 olmak üzere 4 farklı beton dayanım sınıfı tercih etmiştir. 12 ve 16 mm olmak üzere iki farklı donatı çapı ve 10Ø ve 15Ø olmak üzere iki farklı ankraj derinliği belirlemiştir. Ankraj yöntemi olarak ise bir grup numunede beton tazeyken bırakılırken, diğer bir grup numunede sertleşmiş betona sonradan kimyasal ankraj ile ekim yapmıştır. Deney sonucunda beton dayanımı artıkça aderans gerilmelerinin de artığını görmüş ancak C12'nin altındaki dayanım sınıflarında yetersiz olduğunu belirtmiştir. Çalışma sonucunda ankraj derinliği artıkça ankraj aderansının artığını fakat ortalama aderans gerilmelerinin bir miktar azaldığını belirlemiştir. Betona sonradan ekilen kimyasal ankrajlarda aderansın, derinliği az numunelerde daha yüksek olduğu ve sertleşmiş betona sonradan ekilen ankrajlarda aderansın, taze betona ekilen ankrajlardan daha etkin çıktığı sonuçlarına ulaşmıştır.

Özdemir (2013), yaptığı tez çalışmasında betonarme elemanlara sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajların kesme etkileri altında mekanik özelliklerini belirlemiştir. Bu amaçla her grupta 2 adet kiriş numunesi olmak üzere, 4 grup deney numunesi hazırlamıştır. Gruptaki kirişlerden birinin beton dayanımı sabit tutarken, diğer numunenin dayanımını değişken tutmuştur. Mekanik birleşme ve kimyasal ankraj olmak üzere iki farklı ankraj tekniği kullanmıştır. Yapılan deneyler neticesinde beton dayanımı, donatı çapı ve ankraj derinliği artıkça kesme kuvvetlerinin artığını görmüştür.

Yang vd. (2014), epoksi yapıştırıcılı ankrajların sünme davranışlarını incelemişlerdir. Teorik model oluşturmuşlar ve bu modelin deneysel sonuçlarla %92 oranında yakın olduğunu tespit etmişlerdir. Modeller ile ankraj ve epoksi arasında oluşan çekme ve kesme gerilmelerinin zamanla değişiminin tespitini amaçlamışlardır.

Aydoğan (2015), çalışmasında, epoksi bazlı kimyasal yapıştırıcı kullanılarak 27 MPa ortalama beton basınç dayanımına sahip beton temellere S420a donatıdan oluşan 80 adet ankraj ekmiş ve çekme deneyine tabi tutmuştur. Bu ankrajları çapın 5, 10, 15 ve 20 katı derinliklerde ve çapın 5, 7.5, 10, 15 ve 20 katı kenardan uzaklığa ekmiştir. Kimyasal ankrajların çekme kuvvetini ankraj çapı, kenar mesafesi, ankraj ekme derinliği, kullanılan kimyasal yapıştırıcı türü, ankrajların ekileceği deliğin temizlik ve nem durumu gibi birçok parametrenin etkilediğini belirtmiştir. Yaptığı deneysel çalışma sonucunda ankraj çapı ve kenar mesafesi artıkça çekme kuvvetinin arttığını, ankraj ekme derinliği açısından da çapın 15 katı (cm)'na kadar arttığı sonrasında ise çekme kuvvetinde azalma olduğunu görmüştür. ACI 318 Ek-D'nin öngördüğü tasarım dayanımlarıyla deney sonuçlarını karşılaştırdığında çap artıkça güvenlik katsayısının azaldığını belirlemiştir. Kimyasal ankrajlar yüksek yapışma kapasiteleri, kolay ve hızlı uygulanabilir olmaları nedeniyle tercih edildiğini, kimyasal ankrajların güvenli tasarımı için eksenel çekme etkisi altında davranışlarının bilinmesi gerektiğini belirtmiştir.

Aras (2015), yaptığı tez çalışmasında 10 farklı kimyasal yapıştırıcı ile farklı çaplarda (12, 16, 20 ve 24 mm), farklı derinliklerde (5, 10, 15 ve 20Φ), donatısız beton bloklara nervürlü çubuklar ekilerek eksenel çekme deneyine tabi tutmuştur. Yaptığı deneysel çalışmayı mühendislik uygulamalarında kullanılan ANSYS programı yardımıyla modellemiştir. Çalışmada kimyasal ankrajların eksenel çekme davranışlarını deneysel olarak incelemiş, ACI 318 ve sonlu elemanlar programı ile karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda kimyasal ankraj elemanlarında eksenel çekme kapasitesine kimyasal yapıştırıcının etkisinin derin ankrajlarda ortaya çıktığını, ACI 318 ankraj nominal kapasitesinin hedeflenen %95 güvenli durumu için ankraj elemanlarının %85'inde sağlandığını ifade etmiştir. ANSYS programıyla gerçekleştirilen modelde büyük çaplarda ve derin ankrajlarda sağlıklı sonuçlar elde edildiğini gözlemlemiştir.

Çalışkan vd. (2015a), çalışmalarında düşük ve normal dayanıma sahip betonlara ekilmiş kimyasal ankrajlara tersinir tekrarlı kesme yükleri etkitemiş ve davranışlarını incelemişlerdir. Çıkan sonuçları ise TS500 ve ACI318'e göre karşılaştırmışlardır. Beton dayanımı ve ankraj çapı değişken olarak kabul edilmiş olup, gömme derinliği sabit tutulmuştur. Ankrajların üzerine daha yüksek dayanımlı bir beton dökülerek yükleme sağlamışlardır. Deney sonuçlarını

ACI318'e göre incelediklerinde kenara yapılan ve sığ ankrajlarda, beton kalitesi de düşükse, ankraj dayanımının oldukça düşük çıktığını belirlemişlerdir. TS500'e göre baktıklarında ise aynı çaptaki donatılar için aynı kesme kuvveti çıktığını gözlemlemişlerdir. Bunun nedeninin ACI318'in beton göçme şekillerini de dikkate alması, TS500'ün ise sadece donatı göçmesini dikkate alması olduğunu tespit etmişlerdir. Bundan dolayı uygulama için yapılacak tasarımlarda, Türkiye'deki mevcut yapıların durumu göz önünde bulundurulduğunda hem çekme etkileri hem de kesme etkileri için hesap yöntemi kullanılması gerektiğini ifade etmişlerdir.

Çalışkan vd. (2015b), çalışmalarında onarım ve güçlendirme uygulamalarında sıklıkla tercih edilen kimyasal ankrajlarda kullanılan epoksi malzemesini ele almışlardır. Bu malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Epoksi malzemesinin diğer türevlerine göre betonla daha iyi aderans sağladığı, dolayısıyla daha sağlıklı çalıştığını tespit etmişlerdir. Epoksi malzemesinin türleri arasında en yüksek dayanımı gösterdiği ve boşlukları daha iyi doldurduğunu belirlemişlerdir. Ancak kimyasal ankrajlarda sağlıklı bir sonuç almak için ankraj yerinin doğru tespiti, ankraj deliğinin temizliği ve uygun kür koşulları oldukça önemli olduğunu ifade etmişlerdir.

Çırak'ın ankrajlar ile ilgili çalışmasında, kimyasal ankrajların kesme dayanımlarını etkileyen faktörleri ele almıştır. Mevcut yapılarda rastlanılan deprem açısından olumsuz durumlarda kimyasal ankrajların ne gibi faktörlerden etkilendiğini belirlemek adına farklı beton dayanımı, farklı ankraj çapı, farklı gömme derinliği ve farklı serbest kenara mesafesi parametrelerini kullanarak modeller oluşturmuştur. Oluşturulan toplam 24 adet modele kesme yükleri uygulamıştır. Yapılan modeller sonucunda ankraj gömme derinliği ve beton dayanımı arttıkça ankraj çekme kapasitesinin arttığını tespit etmiştir (Çırak, 2015a).

Çırak vd. (2015b), çalışmalarında ankrajların kesme kapasiteleriyle ilgili bazı genellemeler yapabilmek adına, bir ankraj kayma modeli tasarlamışlardır. Bu modele de farklı verilerle girdiler yaparak nelerin, nasıl değiştiğini incelemişlerdir. Oluşturulan ankraj kayma modeli, ankraj çapına, ankraj gömme derinliğine, beton basınç dayanımına ve donatının akma dayanımına bağlı bir formül ortaya çıkarmışlardır. Literatürdeki çalışmalarda ankrajların çekme kapasitelerini en çok gömme derinliğinin etkilediğini ifade etmişlerdir. Gömme derinliğinin beton kesme dayanımına ise çok az bir etkisi olduğunu belirtilmişlerdir. Bu çalışmada da gömme derinliği, ankraj çapı ve beton basınç dayanımı değişken olarak tutularak ankraj kesme kapasiteleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmalar neticesinde ankraj gömme derinliği arttıkça ankraj kesme kapasitesinin de arttığını gözlemlemişlerdir. Aynı çaptaki ankrajlarda ise

beton basınç dayanımı artıkça ankraj kesme dayanımının da arttığını tespit etmişlerdir. Ankraj kapasitesini en çok ankraj çapının artırdığını görmüşlerdir.

Topçu vd. (2015), çalışmalarında daha önce konuyla ilgili yapılan araştırmaları incelemişler ve ankraj donatı çapının, ankraj delik çapının, ankraj gömme derinliğinin göçme yüküne olan etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla 30 adet ankraj ekilmiş olup, bu numunelere çekme deneyleri uygulamışlardır. Deneyler sırasında yapıştırıcı türü ve ankraj için açılan deliğin fiziksel durumunu sabit tutmuşlardır. Deneyleri sertleşmiş beton üzerinde yapmışlardır. Deneyler sonucunda ankraj donatı çapı, ankraj derinliği ve ankraj delik çapı artıkça, göçme kapasitesinin de arttığını görmüşlerdir. Ancak en baskın olan faktörün donatı çapı olduğunu ifade etmişlerdir.

Arslan (2016), çalışmasında, ülkemizde kimyasal ankraj uygulamalarının genel olarak yapıldığı düşük dayanımlı betonlarda çoklu ve tekli ankraj kapasitelerini etkileyen faktörleri incelemiştir. Bu amaçla yirmi altısı üçlü grup ankraj olmak üzere toplamda yüz adet ankraj ekmiştir. Donatı çapı 12 ve 20 mm olarak belirlemiştir. Bunun dışında gömme derinliği ve kenar mesafesini de değişken olarak kabul etmiş, Ø5, Ø10, Ø15 olarak belirlemiştir. Yapılan deneyler sonucunda ACI318 tasarım hesaplarına göre elde edilen kapasitenin, deneylerden elde edilen taşıma kapasitesinden daha küçük olduğunu belirlemiştir. Bu da ACI318 tasarım kriterlerinin güvenli tarafta kaldığını ve tasarımda rahatlıkla kullanılabileceği sonucunu ortaya çıkardığını ifade etmiştir. Ancak büyük çaplı grup ankrajlarda bu farkın azaldığını belirlemiştir. Donatı çapı arttığında ise taşıma kapasitesinin arttığını ancak bununla beraber betonun gevrek kırılma ihtimalinin de arttığını gözlemlemiştir. Bundan dolayı donatı çapı için üst sınır belirlenmesi gerektiğini belirtmiştir.

Bayazit (2016), çalışmasında beton sınıfı (C20/25) ve donatı çapı (16 mm) sabit tutmuş olup, kolon boyuna donatı oranı, kolon etriye aralığı, ankraj derinliği faktörlerinin etkisini araştırmıştır. Kolon boyuna donatı oranı olarak 0.005, 0.015, 0.025 ve 0.035, kolon etriye aralığı olarak 300, 200 ve 100 mm belirlemiştir. Deneyler sonucunda kolon boyuna donatı oranının ve kolon etriye aralığının ankraj dayanım kapasitesine herhangi bir etkisi olmadığını, sadece betonda konik göçme yerine daha geniş yüzeyli göçme gerçekleştiğini, dayanım kapasitesinde ankraj derinliğinin daha belirleyici bir faktör olduğunu tespit etmiştir. Bir yapının hatalı ve eksik projelendirilmesi, uygulama sırasında yapılan hatalar, yapı elemanlarında ortaya çıkan hasar ve zayıflık belirtileri, yapının zaman içinde kullanım amacının değişmesi nedeniyle taşıyıcı sistemde yapılan değişiklikler gibi birçok nedenle güçlendirme gerekliliği ortaya çıkabilmektedir. Kimyasal ankrajların planlama, tasarım ve uygulama aşamalarında kullanıcıya

büyük esneklik sağlamalarının yanında; sahip oldukları yüksek yapışma dayanımları, kolay ve hızlı uygulanabilir olmaları nedeniyle sıklıkla kullanıldığını ifade etmiştir.

Nilforoush vd. (2017), araştırmalarında düz ve çelik elyaf takviyeli, normal ve yüksek dayanımlı betonlara ekilen ankraj çubuklarına sabit çekme yükleri uygulamışlardır. Ekilen ankrajların beton kalınlığından, beton dayanımından ve lif takviyesinden nasıl etkilendiğini ele almışlardır. Yapılan araştırmalar neticesinde lif takviyesinin hem normal hem de yüksek dayanımlı betonlarda ankraj dayanımını artırdığını gözlemlemişlerdir. Beton dayanımının artmasının ankraj dayanımını da artırdığını belirlemiştir. Beton kalınlığının artmasının ise gömme derinliğinin belli bir katına kadar ankraj dayanımını olumlu etkilediğini, gömme derinliğinin belli bir katından sonra herhangi bir etkisinin olmadığını gözlemlemiştir.

Çelik (2018), çalışmasında iki farklı kesme ve çekme levhası tasarlamış, bu levhaları yığma duvarla hidrolik kriko arasına yerleştirmiştir. Deneysel çalışmalar sonucu ankraj çapı ve gömme derinliğine bağlı olarak, ankraj çekme ve kesme kapasitelerini belirlemeyi amaçlamıştır. Üç farklı yığma yapıda 21 adet kesme deneyi, on iki adet tam sıyrılmalı çekme deneyi ve yirmi dört adet levhalı kısmi sıyrılmalı çekme deneyi gerçekleştirmiştir. Kesme deneylerinde gömme derinliği arttıkça kesme kapasitesinin ve sünekliğin arttığını tespit etmiştir. Ankraj donatı çapındaki artış da aynı etkiyi yapmakla beraber, gömme derinliği kadar etkili olmadığını görmüştür.

Delhomme vd. (2018), çalışmalarında basınç dayanımı 130 MPa'dan yüksek, ultra yüksek performanslı fiber takviyeli betonlara ekilen kimyasal ankrajların mekanik davranışlarını incelemişlerdir. Çalışmanın amacı statik çekme altındaki göçme modellerini araştırarak, sayısal bir model oluşturup, uygulamada kullanılacak kimyasal ankrajların tasarımını kolaylaştırmaktır. Sayısal model oluşturabilmek için Abaqus programını tercih etmişlerdir. Deneyler sonucunda 40 mm gömme derinliğine sahip kimyasal ankrajlarda betonun konik göçmesi, 100 mm gömme derinliğine sahip kimyasal ankrajlarda ise çelik çubuğun kopmasını gözlemlemişlerdir. Ultra yüksek performanslı fiber donatı kullanımı kimyasal ankraj çubuğundaki gerilmenin beton içine daha iyi yayılması yol açtığını ifade etmişlerdir. Metalik fiber kullanımının da kimyasal ankraj gerilme kapasitesini büyük ölçüde artırdığını belirlemişlerdir. Abaqus programında gömme derinliğini; donatının sıyrılmamasını önlemek amacıyla 50 mm almışlardır. Çalışma sonucunda Abaqus programından elde edilen veriler ile deneysel çalışmadan elde edilen verilerin uyum gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Müsevitoğlu (2019), çalışmasında, kimyasal ankrajların çekme etkisindeki davranışını gözlemleyebilmek için farklı beton sınıfına, donatı çapına, ankraj derinliğine, açılan deliklerin büyüklüğüne ve açılan deliklerin temizliğine göre 108 adet ankraj numunesi hazırlamış ve bu numunelere çekip çıkarma deneyi yapmıştır. Ankraj çapı olarak 16 ve 20 mm çapındaki demirleri, beton sınıfı olarak C10 ve C30 dayanım sınıfı betonları tercih etmiştir. Ankraj delik çaplarını ankraj çubuğu çapından 4, 6 ve 8 mm fazla olacak şekilde, ankraj derinliğini ise 5 Ø, 10 Ø ve 15 Ø olarak belirlemiştir. Bu faktörlerin dışında delik temizliğini su ile temizlenmiş, hava ile temizlenmiş ve temizlenmemiş olarak 3 farklı şekilde yapmıştır. Yaptığı deneyler sonucunda beton dayanımı, ankraj derinliği ve ankraj çapı gibi faktörler artıkça ankraj kapasitesinin arttığını tespit etmiştir. Temizlik durumuna baktığında ankraj kapasitesinin en yüksek su ile temizlenmiş numunelerde, en düşük ise temizlenmemiş numunelerde çıktığını belirlemiştir.

Sansak (2019), çalışmasında kimyasal ankrajlarda kimyasal yapıştırıcı türü, ankraj donatısı cinsi, ankraj derinliği, beton sınıfını sabit tutmuş olup, ankraj çapının, ankraj donatısının galvaniz durumunun, ankrajın betonun taze ve sertleşmiş durumda ekilme durumunun ankraj kapasitesini ne oranda etkilediğini incelemiştir. Yaptığı deneyler sonucunda beton tazeyken yapılan ankrajlarda kapasitenin daha fazla çıktığını, ankraj donatı çapı artıkça ankraj dayanım kapasitesinin arttığını belirlemiştir. Donatı galvanizli olduğunda da yine ankraj dayanım kapasitesinin arttığını ifade etmiştir.

Ağdağ (2019), yaptığı tez çalışmasında çap, derinlik ve ortam koşullarının kimyasal ankraj çekme kapasitesine olan etkilerini araştırmıştır. Elde edilen verileri ACI 318 ile birlikte değerlendirerek güvenlik katsayılarını belirlemiştir. 12, 16 ve 20 mm çaplarındaki inşaat demirlerini çapın 5, 10, 15 ve 20 katı derinlikte ekmiştir. Temiz, yarı temiz, nemli, yarı nemli, 50°C ve 150°C ortam koşulları altında deneyler yapmıştır. Çubuk çapı ile çekme kuvvetinin doğru orantılı olduğunu gözlemiştir. Derinlik artmasının 10-15 kata kadar verimli olduğunu, sonrasında ya bir etkisinin olmadığı ya da olumsuz bir etki yarattığını ifade etmiştir. Ankrajların tozlu ve nemli ortamlara ekilmemesi gerektiğini, ekim sırasında delik içerisinde hava kabarcığı kalmamasına dikkat edilmesi gerektiğini belirlemiştir.

Türkay (2020), tezinde farklı çaplardaki polimerik donatılar ile inşaat demiri ve bazalt donatıların ankraj dayanımlarını karşılaştırmıştır. Polimerik donatıların özellikle tünellerde yaygın olarak kullanıldığını, yüksek mukavemetli ve korozyona dayanıklı olmaları ile bilindiklerini belirtmiştir. Farklı çap ve derinlikteki numunelere çekip çıkarma deneyi uygulamıştır. Deneyler sonucunda polimerik donatı ankraj kapasitelerinin de inşaat demirleri

gibi donatı çapı, derinliği ve beton sınıfı gibi etkenlerden etkilendiği görmüştür. Polimerik donatıları betondan çıkarabilmek için sarf edilen kuvvetin inşaat demirine oranla daha yüksek olduğunu belirlemiştir. Yapışma yüzey alanının artmasından dolayı, donatı çapı arttıkça aderans dayanımının azaldığını, tüm ankraj çubuğu türlerinde, ankraj derinliğinin artmasıyla aderans dayanımının azaldığını görmüştür. Çalışmanın sonucu olarak polimerik donatıların korozyon direnci ve kullanım ömrü açısından kullanılmasının faydalı olacağını ifade etmiştir.

Bozancı (2020), çalışmasında, mevcut yapıların güçlendirilmesi amacıyla kullanılan inşaat demiri ile çelik dübelleri ankraj dayanımları açısından karşılaştırmıştır. Ankraj çapı, derinliği ve beton dayanımını sabit tutmuştur. Çalışmada klipsli ve gömlekli olarak bilinen iki farklı çelik dübel kullanmıştır. Kimyasal yapıştırıcı ile ekilen inşaat demir dayanımlarının çelik dübellere nazaran daha fazla olduğunu gözlemlemiştir. Çelik dübeller arasında ise klipsli tipin daha faydalı olduğunu, ortam koşulları uygun olduğunda kimyasal ankraj yapılması gerektiğini belirtmiştir.

Doğan vd. (2020), çalışmalarında farklı çap ve derinliklerde ankraj çubuklarına tam ve kısmi sıyrılmalı deneyler uygulamışlardır. Donatı çapı olarak 10, 12, 14 ve 16 mm çapında demirleri ve 5, 10 ve 15 cm'lik gömme derinliklerini seçmişlerdir. Mevcut duvara ekilen ankrajlarda sıvanın etkisini göz ardı etmişlerdir. Delikleri hava ile temizledikten sonra epoksi enjekte edip çubukları çakmışlardır. Çalışma sonucunda kısmi sıyrılmalı donatıların çekme mukavemetinin tam sıyrılmalı numunelere oranla daha küçük çıktığını belirlemişlerdir. Ankraj kapasitesini belirlerken ankraj derinliğinin çapına oranla daha büyük bir etken olduğunu ifade etmişlerdir.

Çalışkan (2020), yaptığı çalışmada kenar mesafesi ve derinlikleri değişken tutarak kimyasal ankraj dayanımlarına olan etkilerini incelemiştir. Derinlik olarak 60, 100, 120, 150, 180 ve 240 mm kullanılırken, kenar mesafesi olarak 60, 80, 100 ve 120 mm tercih etmiştir. Kartuşlu ve iki bileşenli kimyasal yapıştırıcı kullanmıştır. Eksenel çekme kuvveti uygulamış ve deneyler sonucunda başlangıç rijitliği, deplasman süneklik oranı ve enerji yutma kapasitelerini hesaplayıp; güvenlik katsayılarını bulmuştur. Donatısız, C20 betondan üretilen hazır bloklara ekim yapmıştır. Çalışmada 12 mm çapında inşaat demiri kullanmış, açılan delikleri basınçlı hava ile temizlemiştir. Deneyler sonucunda ankraj derinliğinden daha az kenar mesafesine sahip ankrajlarda beton yarılmaması oluşurken, diğer mesafelerde koni göçmesi ve sıyrılmamanın birlikte olduğunu ifade etmiştir. Kenar mesafesi ile çekme kuvvetinin doğru orantılı olduğunu, gömme derinliği ve kenar mesafesinin artmasının ise enerji yutma kapasitesini artırdığını belirlemiştir.

### 3.ANKRAJLAR İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

Ankrajlar yapıdaki mevcut elemanlar ile yeni elemanlar arasında bağlantı sağlamaktadır. Genellikle güçlendirme uygulamalarında kullanılmaktadırlar. Planlama, tasarım ve uygulama kolaylığına ilave olarak maliyeti nedeniyle kimyasal ankraj tercih edilmektedir. Kimyasal ankrajlarda esas aderanstır ki aderans, epoksi, beton ve donatı arasındaki sürtünmeyi karşılamaktadır. Ankrajlar yerleştirilme zamanına göre betonlama aşamasında ve betona sonradan olmak üzere iki farklı şekilde ekilebilmektedir. Uygulamada genellikle betona sonradan ekim yapılmakta ve bu yöntem de güçlendirme, yenileme projelerinde tercih edilmektedir. Ankrajı sonradan ektiğimizde, betonlama aşamasında ekilene oranla %10 dayanım kaybı yaşanmaktadır (Muratlı vd., 2004). Sonradan ekilen ankrajlarda önce betona delik açılır ve ankraj donatısı yerleştirildikten sonra etrafındaki boşluğa bağlayıcı malzeme doldurulmaktadır. Bu malzeme polimer esaslı veya çimento esaslı olabilmekle birlikte, uygulamada genellikle polimer esaslı bir malzeme olan epoksi kullanılmaktadır. Yeterli aderansın sağlanabilmesi için bağlayıcı malzemenin beton ve donatı ile olan uyumuna dikkat edilmelidir. Kimyasal ankrajlarda deliğin temizlik ve ıslaklık durumu da aderansı etkileyen faktörlerdendir. Delik temizlenmemiş olursa veya ıslak olursa yeterli sürtünme olamayacağından ankraj dayanımı bu durumdan olumsuz etkilenmektedir. Sürtünmenin yüksek olabilmesi için yapılabilecek en iyi uygulama vakumlu temizlik ve yüzeyin hafif nemli olma durumudur. Yapılan ankrajlar serbest kenara yakın olduğu takdirde betonda çatlama ve akabinde göçme olabilmektedir. Ya da iki ankraj arası mesafe yeteri kadar olmadığı durumda, bir ankrajın göçmesi diğer ankrajı da olumsuz etkileyebilmektedir. O yüzden hem serbest kenar mesafesi hem de iki ankraj arası mesafesine dikkat edilmesi gerekmektedir. Ankraj göçme derinliği arttığında ise göçme kapasitesi belli bir derinliğe kadar doğrusal, belli bir derinlikten sonra artış miktarı azalarak artış göstermektedir. Yine beton dayanımı ve ankraj çapı da ankraj dayanımını artıran faktörlerdendir (Yılmaz vd., 2010).

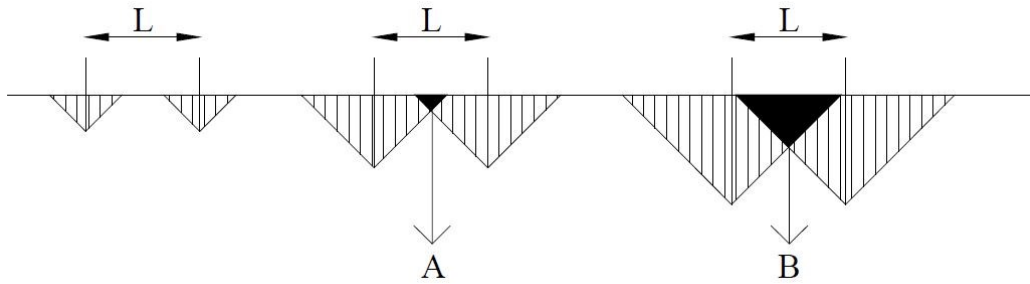
Ankrajların birbirlerini etkilememesi için ara mesafeleri, serbest kenar mesafesinden etkilenmemesi için de kenar mesafeleri için ASTM E 488’de sınır değerler belirlenmiştir. Bu değerler Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Ankraj ekme aralıkları ve kenar uzunlukları (ASTM E 488).

	Kimyasal Ankrajlar	
Ekme Boyu ( $l_d$ )	İki Ankraj Arası Uzaklık	Kenar Mesafesi
$<6d_0$ (Sığ)	$2 l_d$	$l_d$
$6d_0-8d_0$ (Standart)	$1.5 l_d$	$l_d$
$>8d_0$ (Derin)	$l_d$	$0.75 l_d$

$d_0$ : ankraj çapı,  $l_d$ : Ekme boyu

Grup ankrajlarda iki ankraj arası mesafenin yeteri kadar olmaması durumunda Şekil 3.1’de görüleceği üzere, beton konik göçme alanlarının kesişimi artar ve göçmeye neden olan kuvvet artış gösterir.



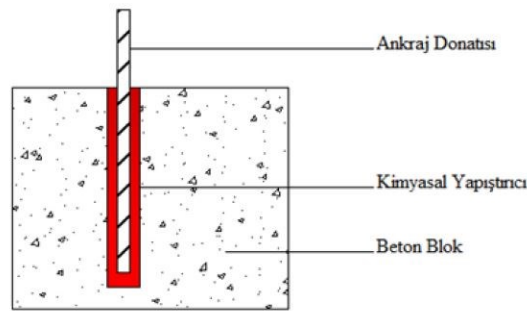
**Şekil 3.1.** Beton Konik Kopma Alanları Kesişimi

Şekil 3.1’de görüldüğü gibi, eğer ankraj grubundaki çubuklar arasında yeteri kadar mesafe yoksa beton konik göçme alanları kesişir. Şekilde ilk önce derinlik az iken göçme alanları birbirini etkilememektedir. Sonrasında ankraj çubukları arası mesafe sabit tutularak ankraj derinliği artırıldığında çubukların göçme alanları kesişir. Ankraj derinliği daha da artırılırsa kesişme alanlarının büyüklüğü daha da artıp, göçmeyi hızlandırmakta ve ankraj çekme kapasitelerinin değerlerini azaltmaktadır.

### 3.1. Ankraj Türleri

Amerikan Beton Kurumu (ACI) betonda kullanılan ankrajları, sertleşmiş betona yapılan ankrajlar ve beton tazeyken yapılan ankrajlar olmak üzere iki grupta ele almaktadır. Sertleşmiş betona yapılan ankrajlar, betona sonradan açılan silindirik şeklindeki deliklere kimyasal yapıştırıcı kullanarak donatı ekilen ankrajlardır. Sertleşmiş betona yapılan ankrajlar bağ tipi ve

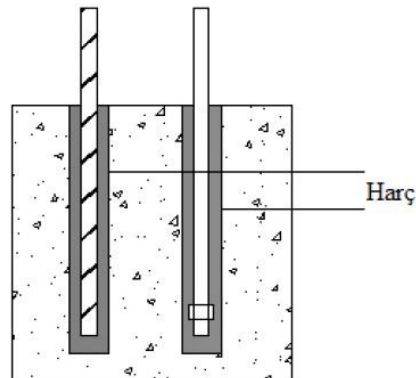
mekanik ankrajlardır. Bağ tipi ankrajlar; kimyasal bağli ankrajlar ve harç tipi ankrajlardır. Kimyasal ankrajlar, Şekil 3.2’de gösterildiği üzere kullanılan ankraj çubuğu, kimyasal yapıştırıcı ve betonarme elemandan oluşmaktadır. Etkilendikleri kuvvetlerin oluşturduğu gerilmeleri sürtünme kuvveti ile betona aktarmaktadırlar. Kimyasal yapıştırıcı olarak, polyester, vinylester, epoksi, akrilik, poliüretan esaslı reçineler kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygın kullanılanı epoksidir. Kullanılan yapıştırıcıdan etkin olarak yararlanabilmek için deliğin temiz olması, reçinenin kıvamının yeterli olması, delik doldurulurken boşluk bırakılmaması gerekmektedir. Çünkü kimyasal ankraj kapasitesini belirleyen faktör, yapıştırıcının beton ve donatı ile olan aderansıdır (Aras, 2015).



**Şekil 3.2.** Kimyasal Ankraj

Ankrajlarda üretilen kimyasal yapıştırıcı kapsül olarak veya enjeksiyon yöntemi olarak uygulanmaktadır. Uygulanması ve işçiliği daha kolay olan kapsül tip daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Enjeksiyon yönteminde yapıştırıcı ve sertleştirici bileşenler belli oranlarda karıştırılıp, herhangi bir el aletiyle uygulanmaktadır.

Harçlı ankrajın farkı ise, kimyasal yapıştırıcı yerine harç kullanılmasıdır (Şekil 3.3).



**Şekil 3.3.** Harçlı Ankraj

Mekanik ankrajlar, etkileyen yükü öngermeli ya da ucu genişleyerek delik cidarı arasında oluşacak sürtünme ve basınç kuvveti yardımıyla aktarmaktadır.

Taze betona yapılan ankrajlar ise betonarme eleman ile çelik ankraj elemanının birleştirilmesiyle uygulanmaktadır. Tasarımında dikkat edilmesi gereken husus ise gevrek bir malzeme olan betonun güç tüketmesine izin vermeyerek, ankraj donatısının akmasına izin vermektir. Yani sünek davranış sergilemesini sağlamaktır (Aras, 2015).

### **3.2.Etkin Parametreler**

Ankraj kapasitesini etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Ortamdaki nem, sıcaklık, deliğin temizlik durumu, uygulama sonrası kür yöntemi gibi çevresel faktörler ankraj kapasitesine etki etmektedir. Bunların yanı sıra ankraj donatısının dayanımı, çapı, gömme derinliği, kenardan uzaklığı, birbirlerine olan mesafeleri, betonun dayanımı, kimyasal yapıştırıcının türü gibi birçok faktör ankraj kapasitesine etki etmektedir (Gürbüz, 2007).

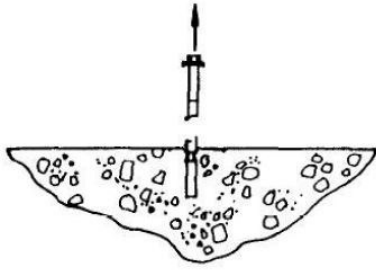
### **3.3.Çekme Altındaki Kimyasal Ankrajların Göçme Tipleri**

Eksenel çekme yükleri altında ankrajlarda beş farklı göçme tipi gözlenmektedir. Bu göçme tipleri şu şekildedir:

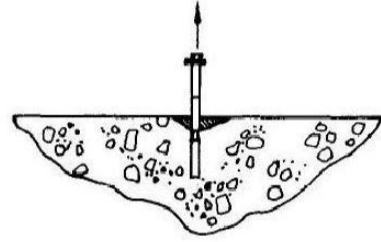
- Ankraj çubuğunun kopması
- Ankraj çubuğunun sıyrılması
- Betonun çatlaması veya yarılması
- Betonun konik kopması
- Serbest kenarlara veya birbirlerine yakın olan ankrajların betondan konik olarak kopması (Şekil 3.4.) (Seyhan, 2006).

Kimyasal ankrajlar bu göçme tiplerinden nadiren birini, çoğunlukla birden fazla göçme tipini aynı anda göstermektedir. Ankraj çubuğunun kopması ankraj derinliğinin çok olduğu, bir başka deyişle ankraj çubuğunun sıyrılmasının mümkün olmadığı durumlarda gözlemlenmektedir. Yani ankraj kimyasal yapışma dayanımı bu durumda çeliğin kopma dayanımından yüksektir. Bu göçme tipinden ankraj kapasitesi donatının çapıyla doğru orantılı olarak değişmektedir. Ankraj çubuğunun sıyrılması; yapıştırıcı ile betonun yeterli sürtünme oluşturamadığı durumlarda meydana gelmektedir. Bu durumda üç eksenli gerilme oluşmamaktadır. Bunun sonucunda göçme olmaktadır. Sürtünmenin oluşmaması da yeterli temizliğin olmaması, kimyasal yapıştırıcının gerekli özellikleri göstermemesi, düzgün kürlenmemesi durumlarından kaynaklanabilmektedir. Ankraj derinliğinin çekme

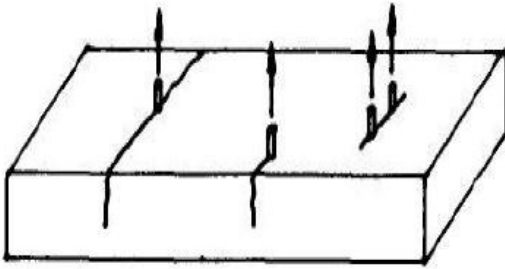
dayanımından etkili olduğu durumlarda ve kimyasal yapıştırıcının beton ve donatıyla yeterli aderansı sağladığı durumlarda; ankraj sığ ise betonun konik göçmesi, ankraj yeterli derinlikte ise betonun konik göçmesiyle birlikte sıyırılma oluşmaktadır. Her ikisinin aynı andan gerçekleştiği durum karma göçme tipi olarak adlandırılmaktadır. Bu tip göçmeler beton ile kimyasal yapıştırıcı arasındaki sürtünme kaybından olabileceği gibi çelik ile kimyasal yapıştırıcı arasındaki sürtünme kaybından dolayı da olabilmektedir. Bu tip göçme durumlarında; çekme konisi ile sıyırılma birbirinin peşi sıra gerçekleşmektedir (Seyhan, 2006).



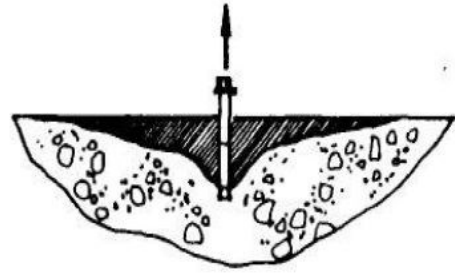
Ankraj Çubuğunun Kopması



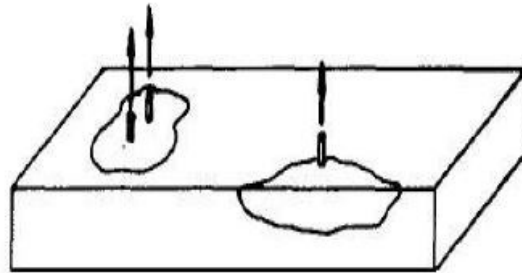
Ankraj Çubuğunun Sıyırılması



Betonun Çatlama



Betonun Konik Kopması



Serbest Kenarlara veya Birbirlerine Yakın Olan Ankrajların Betondan Konik Olarak Kopması

**Şekil 3.4.** Eksenel çekme kuvveti altında ankrajların göçme biçimleri (ACI 318, 2008).

### 3.4.ACI 318'e Göre Ankraj Çekme Kapasitesi

Ankrajın kenar mesafesinin yetersiz olduğu, beton dayanımının düşük olduğu durumlarda büyük çaplı veya akma dayanımı yüksek donatı ekimi olduğu takdirde ankraj kapasitesini beton belirlemektedir. Kenar mesafesinin yeterli olduğu durumlarda ise ankraj kapasitesini donatı belirlemektedir. ACI 318'e göre ankraj kapasitesini, ankraj elemanlarından kapasitesi en küçük olan belirlemektedir. Bu kapasite değeri ACI 318'de verilen azaltma katsayısı ile çarpılarak ankraj tasarım dayanımı elde edilmektedir (ACI 318, 2008).

#### 3.4.1.Donatı Kapasitesi

Donatının koptuğu ankrajlar için kapasite değeri ACI 318'de verildiği üzere grup ankrajlar için Denklem 3.1 ve 3.2 ile tekil ankrajlar için Denklem 3.3 ile hesaplanmaktadır. Tekil veya grup ankrajların çekme yüklemesindeki nominal dayanımı,  $N_{sa}$  değerini geçemeyecektir.

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

n: Ankraj sayısıdır.

$f_{uta}$ : 860 MPa ve  $1.9f_{ya}$ 'dan küçük olan seçilecektir.

$f_{ya}$ : Ankraj donatısının akma dayanımıdır.

$A_{se}$ : Çubuk kesit alanıdır. Denklem 3.2 ile hesaplanacaktır.

$$A_{se}=(\pi/4) \times (d_a - (0.9743/n_t))^2 \quad (3.2)$$

$d_a$ : Çubuk çapıdır.

$n_t$ : 1 mm'deki diş sayısıdır.

Tekil ankrajlarda:

$$N_{sa}= A_{se} \cdot f_{uta} \quad (3.3)$$

#### 3.4.2.Beton Koni Kapasitesi

Ankrajlarda betonun konik koptuğu durumlarda, ACI 318'de gösterildiği üzere, tekil ankrajlar için Denklem 3.4, grup ankrajlar için ise Denklem 3.5 kullanılacaktır.

Tekil ankrajlar için:

$$N_{cb} = (A_{Nc} / A_{Nco}) * \psi_{ed, N} * \psi_{c, N} * \psi_{cp, N} * N_b \quad (3.4)$$

Grup ankrajlar için:

$$N_{cb} = (A_{Nc} / A_{Nco}) * \psi_{ec, N} * \psi_{ed, N} * \psi_{c, N} * \psi_{cp, N} * N_b \quad (3.5)$$

$A_{Nco}$ :  $1.5 h_{ef}$  kenar mesafesi olan ankrajın öngörülen göçme alanıdır (Denklem 3.6) (Şekil 3.5).

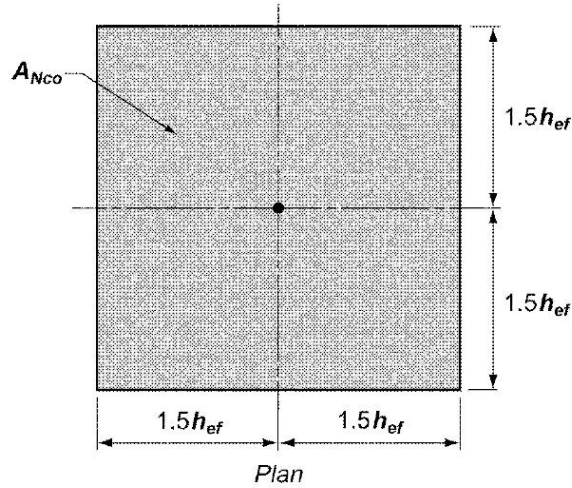
$A_{Nc}$ : Öngörülen göçme alanıdır. Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

$N_{cb}$ : Beton koni kapasitesidir.

$N_b$ : Nominal beton göçme dayanımıdır. Denklem 3.7 ile hesaplanacaktır.

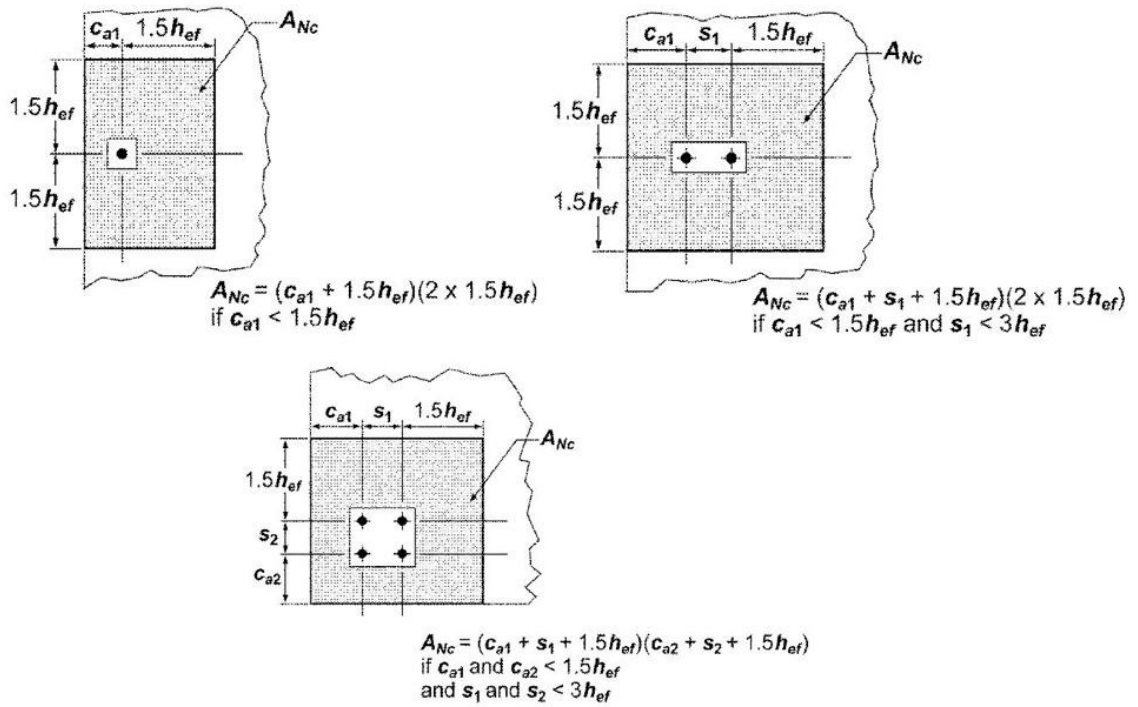
$$A_{Nco} = 9 * h_{ef}^2 \quad (3.6)$$

$h_{ef}$ : Ankrajın etkin gömülme derinliği



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

Şekil 3.5. Tekil ankraj için maksimum göçme alanı (ACI 318).



Şekil 3.6. Grup ankraj için gerçek etki alanı (ACI 318).

$$N_b = k_c * \sqrt{f_c'} * h_{ef}^{1.5} \quad (3.7)$$

$k_c$ : Sonradan ekilen ankrajlar için 17 alınır.

$f_c'$ : Beton basınç dayanımıdır.

$$c_{a,min} \geq 1.5 * h_{ef} \Rightarrow \psi_{ed,N} = 1 \quad (3.8)$$

$$c_{a,min} \leq 1.5 * h_{ef} \Rightarrow \psi_{ed,N} = 0.7 + 0.3 * (c_{a,min} / (1.5 * h_{ef})) \quad (3.9)$$

$$\psi_{c,N} = 1.4$$

$c_{a,min}$ : Ankrajın kenara olan en yakın mesafesidir.

$c_{a,c}$ : Ankrajın kritik kenar mesafesidir.

$\psi_{ed,N}$ : Serbest kenara olan uzaklıkla ilgili azaltma katsayısıdır. Denklem 3.8 veya Denklem 3.9 ile belirlenecektir.

$\psi_{c,N}$ : Betonda çatlak bulunması ile ilgili azaltma katsayısıdır.

Betona sonradan ekilen ankrajlarda ise Denklem 3.10 veya Denklem 3.11'deki şekilde hesaplanacaktır.

$$c_{a,min} \geq c_{ac} \Rightarrow \psi_{cp,N} = 1 \quad (3.10)$$

$$c_{a,min} \leq c_{ac} \Rightarrow \psi_{cp,N} = (c_{a,min} / c_{ac}) \quad (3.11)$$

### 3.4.3. Sıyırılma Kapasitesi

ACI 318'de belirtildiği üzere, sıyırılma kapasitesi aşağıdaki Denklem 3.12 ile hesaplanmaktadır.

$$N_p = 0.9 * f_c' * e_h * d_o \quad (3.12)$$

$N_p$ : Esas sıyırılma kapasitesidir.

$N_{pn}$ : Normal sıyırılma kapasitesidir. Denklem 3.13 ile hesaplanacaktır.

$f_c'$ : Beton basınç dayanımıdır.

$d_o$ : Ankraj donatı çapıdır.

$e_h$ : Ankraj donatsının L veya J olmasına bağlı olarak değişen katsayıdır (Denklem 3.14).

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

$\psi_{c,p}$ : Betonda çatlak olmasıyla ilgili bir katsayıdır.

$$\psi_{c,p} = 1.4$$

$$3d_o \leq e_h \leq 4.5d_o \quad (3.14)$$

ACI 318 sonradan ekilen ankrajlar için sıyırılma kapasitesinin hesapla bulunmasını değil, deneysel olarak elde edilen verilerden %95 güvenli tarafta kalacak şekilde nominal sıyırılma dayanımının hesaplanmasını önermektedir (Özen, 2010).

ACI 318 ankraj tasarımında donatı kapasitesi, beton koni kapasitesi ve sıyırılma kapasitesi değerlerinden küçük olan değeri kapasite dayanımı olarak belirlemektedir. Kapasite dayanımını Çizelge 3.2.'de verilen dayanım azaltma katsayısı ile çarpılması sonucu tasarım dayanımı elde edilmektedir. Dayanım azaltma katsayısı, ankraj için açılan deliğin temizliği, deliğin uygun koşullarda açılması, kullanılan kimyasal yapıştırıcının ortam ve amaca uygun olması, ankraj ekiminin düzgün bir şekilde yapılması gibi işlemler ne kadar doğru bir şekilde yapılırsa, o kadar yüksek değer alınmaktadır. Dolayısıyla ankraj tasarım dayanımı da o kadar yüksek çıkmaktadır.

**Çizelge 3.2.** ACI 318 Ankraj dayanım azaltma katsayıları.

Göçme Şekli	Diğer Etkin Parametreler	Dayanım Azaltma Katsayısı		
		ACI 918, 9.2'ye göre yükleme	ACI 918, EK-C'ye göre yükleme	
Çelik Hasarı	Sünek çelik	0.75	0.80	
	Gevrek çelik	0.65	0.70	
Sıyrılmaya Hasarı	Donatılı Beton	C1	0.75	0.85
		C2	0.65	0.75
		C3	0.55	0.65
Konik Kopma Beton Hasarı	Donatısız Beton	C1	0.65	0.75
		C2	0.55	0.65
		C3	0.45	0.55

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.NÜMERİK ÇALIŞMA

Çalışma kapsamında, ankraj gruplarında ankraj sayısı artırıldığında, kapasite dayanımları ile tasarım dayanımları arasında nasıl bir ilişki olduğu teorik olarak incelenmiştir. Hesaplamalarda ankraj grupları 2'li, 3'lü, 4'lü, 5'li ve 6'lı olarak kurgulanmıştır. Yapı sektöründe yaygın olarak kullanılan 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20 ve 24 mm çaplarında, B420C sınıfı inşaat çeliği seçilmiştir. Gömme derinlikleri 5Ø, 10Ø, 15Ø ve 20Ø olarak seçilmiştir. İşçilik kalitesi ve ortam şartlarına bağlı olarak değişen dayanım azaltma katsayısı da değişken tutulmuştur. Oluşturulan ankraj grupları için isimlendirmesi tablosu Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Nümerik çalışma için isimlendirme tablosu

İsmlendirme	Çap (mm)	Derinlik	İsmlendirme	Çap (mm)	Derinlik
D8L5	8	5Ø	D16L5	16	5Ø
D8L10	8	10Ø	D16L10	16	10Ø
D8L15	8	15Ø	D16L15	16	15Ø
D8L20	8	20Ø	D16L20	16	20Ø
D10L5	10	5Ø	D18L5	18	5Ø
D10L10	10	10Ø	D18L10	18	10Ø
D10L15	10	15Ø	D18L15	18	15Ø
D10L20	10	20Ø	D18L20	18	20Ø
D12L5	12	5Ø	D20L5	20	5Ø
D12L10	12	10Ø	D20L10	20	10Ø
D12L15	12	15Ø	D20L15	20	15Ø
D12L20	12	20Ø	D20L20	20	20Ø
D14L5	14	5Ø	D24L5	24	5Ø
D14L10	14	10Ø	D24L10	24	10Ø
D14L15	14	15Ø	D24L15	24	15Ø
D14L20	14	20Ø	D24L20	24	20Ø

Her bir çaptaki ankraj çubuğu için 2'li, 3'lü, 4'lü, 5'li ve 6'lı ankraj grubu durumları için donatı kapasiteleri, beton koni kopma kapasiteleri ve sıyırılma kapasiteleri hesaplanmıştır. Sıyırılma kapasite değerleri çok küçük çıktığı için tasarım dayanımı hesabında dikkate alınmamıştır. Beton koni kopma kapasitesi hesabında Şekil 3.5'te gösterildiği üzere grup ankraj için gerçek etki alanı hesaplanmaktadır. Bu değer hesabında ankrajlar arası mesafe değeri ve kenar mesafesi değerleri değişken olarak gösterilmiştir. Ankrajlar arası mesafenin  $3h_{ef}$ 'ten, ankrajlardan beton kenarına en yakın olanının mesafesinin ise  $1.5h_{ef}$ 'ten küçük olması

sınırlaması bulunmaktadır. Nümerik çalışmada ankrajlar arası mesafe değeri  $2h_{ef}$ , ankrajlardan beton kenarına en yakın olanının mesafesi ise  $1h_{ef}$  olarak uygulanmıştır. Grup ankraj için gerçek etki alanı bu değerlere göre hesaplanmıştır. Anrajlar arası mesafe ve kenar mesafe değerleri bu şekilde alındığında Çizelge 3.1’de verilen ASTM E 488 sınır değerlerini sağlamaktadır. Beton konik kapasite hesabında beton dayanımı, deneysel çalışmada kullanılan, 24.44 MPa olarak alınmıştır.

Hesaplanan donatı kapasiteleri ve beton koni kopma kapasitelerinden küçük olanı, ACI 318’e göre kapasite dayanımı olarak adlandırılmaktadır. Kapasite dayanımı işçilik kalitesi ve ortam şartlarına bağlı olarak değişen dayanım azaltma katsayısı ile çarpılarak tasarım dayanımları tespit edilmiştir. Her üç işçilik kalitesi ve ortam şartları katsayısı ile çarpılarak her gömme derinliği için üç farklı tasarım dayanımı elde edilmiştir.

Her bir çapın ankraj grupları için ayrı ayrı hesap çizelgeleri oluşturulmuştur. Bu çizelgelere göre tasarım dayanımı grafikleri oluşturulmuştur.

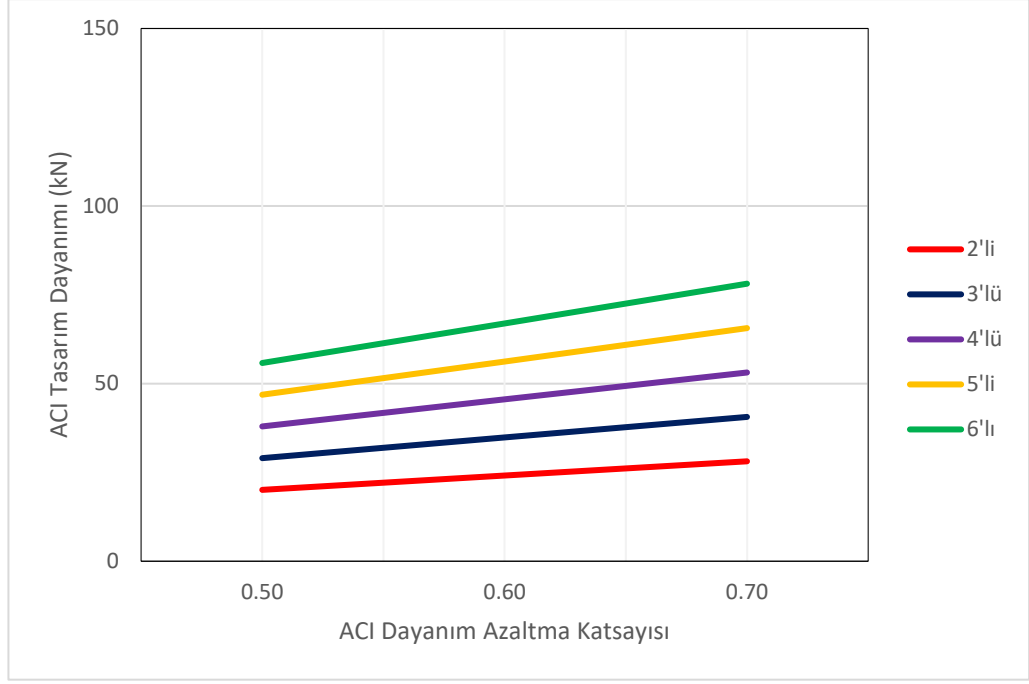
#### **4.1. 8 mm Çapındaki Ankraj Grupları İçin ACI 318 Tasarım Değerleri**

8 mm çapında B420C sınıfı inşaat çeliği için dört farklı derinlikte, 5 farklı ankraj grubu için ACI 318’e göre tasarım dayanımı değerleri hesaplanmıştır. ACI 318 tasarım dayanımı hesabında üç farklı dayanım azaltma katsayısı kullanılmıştır. Dolayısıyla her ankraj grubu için, her farklı ankraj çubuğu değeri ve her farklı ankraj derinliği için üç farklı ACI 318 tasarım dayanımı hesabı oluşturulmuştur. Bulunan ACI 318 tasarım dayanımı değerleri; 5Ø ankraj derinliği için Çizelge 4.2’de, 10Ø ankraj derinliği için Çizelge 4.3’te, 15Ø ankraj derinliği için Çizelge 4.4’te, 20Ø ankraj derinliği için ise Çizelge 4.5’te gösterilmiştir. Bu çizelgeler esas alınarak ACI 318 tasarım dayanımı-dayanım azaltma katsayısı grafikleri oluşturulmuştur.

**Çizelge 4.2.** D8L5 için ACI 318 tasarım dayanımları.

D8L5				Ekilme Derinliği (mm)		40
Çap (mm)	Ankraj Grubu Çubuk Sayısı	Donatı Kapasitesi (kN)	Koni Kapasitesi (kN)	ACI Kapasite Dayanımı (kN)	Dayanım Azaltma Katsayısı	ACI Tasarım Dayanımı (kN)
8	2	53.56	40.18	40.18	0.50	20.09
					0.60	24.11
					0.70	28.13
	3	80.34	58.04	58.04	0.50	29.02
					0.60	34.83
					0.70	40.63
	4	107.12	75.90	75.90	0.50	37.95
					0.60	45.54
					0.70	53.13
	5	133.90	93.76	93.76	0.50	46.88
					0.60	56.26
					0.70	65.63
6	160.69	111.62	111.62	0.50	55.81	
				0.60	66.97	
				0.70	78.14	

8 mm çapındaki ankraj grupları için, 5Ø, yani 40 mm ankraj derinliğinde donatı kapasite değerleri ve beton koni kapasite değerleri, ankraj grubundaki çubuk sayısı artıkça artmıştır. 5Ø gömülme derinliği için donatı kapasite değerleri, beton koni kapasite değerlerinden daha fazla hesaplanmıştır. Bu yüzden ACI 318'e göre kapasite dayanımı değeri, beton koni kapasite değeri olmuştur. ACI 318 tasarım dayanımını belirleyen değer, beton koni kapasite değeri olmuştur. 8 mm çapında, 5Ø derinliğindeki ankraj gruplarının ACI 318 tasarım dayanımı ile dayanım azaltma katsayısı arasındaki ilişki Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



**Şekil 4.1.** D8L5 için ACI 318 tasarım dayanımı.

Ankraj grubundaki çubuk sayısını 2'den 3'e çıkardığımızda tasarım dayanımı %44, 3'ten 4'e çıkardığımızda %31, 4'ten 5'e çıkardığımızda %24, 5'den 6'ya çıkardığımızda ise %19 artmıştır. Ankraj grubundaki çubuk sayısı arttıkça tasarım dayanım değeri artmıştır, ancak artış oranı azalmıştır.

8 mm çapında, 10Ø derinliğindeki ankraj gruplarında ACI 318 tasarım dayanımı hesabında, hesaplanan donatı kapasitesi ve beton koni kapasitesi değerleri Çizelge 4.3'te gösterilmiştir. Donatı kapasite değerleri ve beton koni kapasite değerleri, ankraj grubundaki çubuk sayısı arttıkça artmıştır. Donatı kapasite değerleri, beton koni kapasite değerlerine göre daha küçük hesaplanmıştır. Bu durumda ACI 318 kapasite dayanımı olarak, küçük olan değer, donatı kapasitesi kullanılmıştır. ACI 318 tasarım dayanımını belirleyen faktör donatı olmuştur.

**Çizelge 4.3.** D8L10 için ACI 318 tasarım dayanımları.

D8L10				Ekilme Derinliği (mm)		80
Çap (mm)	Ankraj Grubu Çubuk Sayısı	Donatı Kapasitesi (kN)	Koni Kapasitesi (kN)	ACI Kapasite Dayanımı (kN)	Dayanım Azaltma Katsayısı	ACI Tasarım Dayanımı (kN)
8	2	53.56	113.66	53.56	0.50	26.78
					0.60	32.14
					0.70	37.49
	3	80.34	164.17	80.34	0.50	40.17
					0.60	48.21
					0.70	56.24
	4	107.12	214.69	107.12	0.50	53.56
					0.60	64.27
					0.70	74.99
	5	133.90	265.20	133.90	0.50	66.95
					0.60	80.34
					0.70	93.73
6	160.69	315.71	160.69	0.50	80.34	
				0.60	96.41	
				0.70	112.48	

8 mm çapında, 15Ø derinliğindeki ankraj gruplarında ACI 318 tasarım dayanımı hesabında, hesaplanan donatı kapasitesi ve beton koni kapasitesi değerleri Çizelge 4.4'te gösterilmiştir. Donatı kapasite değerleri ve beton koni kapasite değerleri, ankraj grubundaki çubuk sayısı artıktıkça artmıştır. Donatı kapasite değerleri, beton koni kapasite değerlerine göre daha küçük hesaplanmıştır. Bu durumda ACI 318 kapasite dayanımı olarak, küçük olan değer, donatı kapasitesi kullanılmıştır. ACI 318 tasarım dayanımını belirleyen faktör burada da donatı olmuştur.

**Çizelge 4.4.** D8L15 için ACI 318 tasarım dayanımları.

D8L15				Ekilme Derinliği (mm)		120
Çap (mm)	Ankraj Grubu Çubuk Sayısı	Donatı Kapasitesi (kN)	Koni Kapasitesi (kN)	ACI Kapasite Dayanımı (kN)	Dayanım Azaltma Katsayısı	ACI Tasarım Dayanımı (kN)
8	2	53.56	208.80	53.56	0.50	26.78
					0.60	32.14
					0.70	37.49
	3	80.34	301.60	80.34	0.50	40.17
					0.60	48.21
					0.70	56.24
	4	107.12	394.40	107.12	0.50	53.56
					0.60	64.27
					0.70	74.99
	5	133.90	487.20	133.90	0.50	66.95
					0.60	80.34
					0.70	93.73
6	160.69	580.00	160.69	0.50	80.34	
				0.60	96.41	
				0.70	112.48	

8 mm çapında, 20Ø derinliğindeki ankraj gruplarında ACI 318 tasarım dayanımı hesabında, hesaplanan donatı kapasitesi ve beton koni kapasitesi değerleri Çizelge 4.5'te gösterilmiştir. Donatı kapasite değerleri ve beton koni kapasite değerleri, ankraj grubundaki çubuk sayısı arttıkça artmıştır. Donatı kapasite değerleri, beton koni kapasite değerlerine göre daha küçük hesaplanmıştır. Bu durumda ACI 318 kapasite dayanımı olarak, küçük olan değer, donatı kapasitesi kullanılmıştır. ACI 318 tasarım dayanımını belirleyen faktör burada da donatı olmuştur.

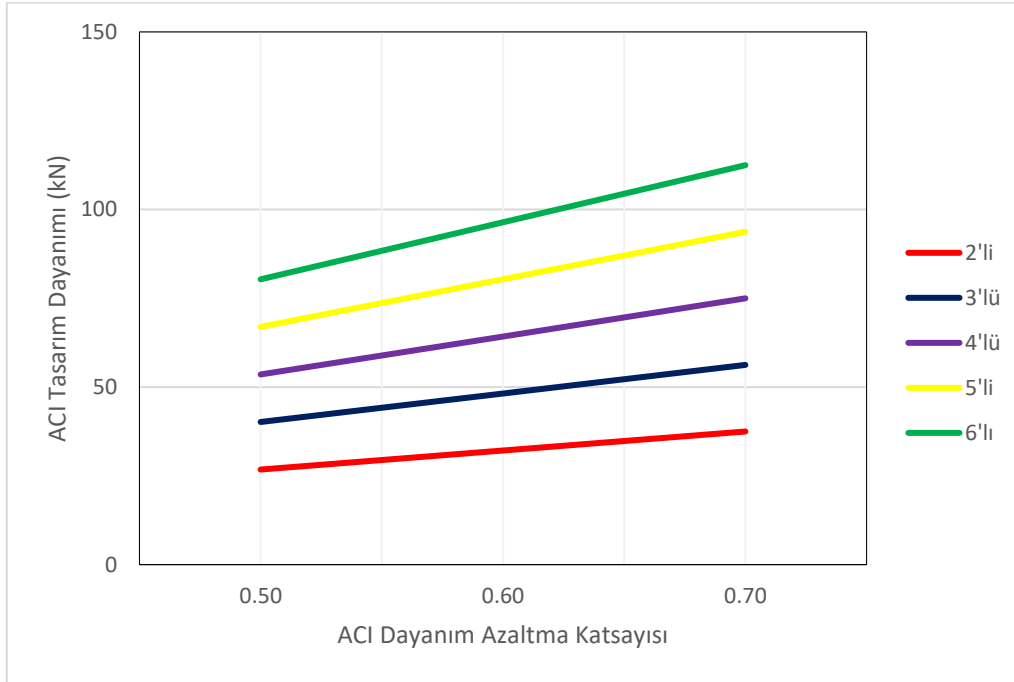
**Çizelge 4.5.** D8L20 için ACI 318 tasarım dayanımları.

D8L20				Ekilme Derinliği (mm)		160
Çap (mm)	Ankraj Grubu Çubuk Sayısı	Donatı Kapasitesi (kN)	Koni Kapasitesi (kN)	ACI Kapasite Dayanımı (kN)	Dayanım Azaltma Katsayısı	ACI Tasarım Dayanımı (kN)
8	2	53.56	321.47	53.56	0.50	26.78
					0.60	32.14
					0.70	37.49
	3	80.34	464.35	80.34	0.50	40.17
					0.60	48.21
					0.70	56.24
	4	107.12	607.22	107.12	0.50	53.56
					0.60	64.27
					0.70	74.99
	5	133.90	750.10	133.90	0.50	66.95
					0.60	80.34
					0.70	93.73
6	160.69	892.97	160.69	0.50	80.34	
				0.60	96.41	
				0.70	112.48	

8 mm çapında, 10Ø, 15Ø, 20Ø derinliğindeki ankraj gruplarında ACI tasarım dayanımını belirleyen faktör donatı kapasitesi olmuştur. Donatı kapasitesi hesabında, Denklem 3.1'de görüldüğü üzere, ankraj ekilme derinliği ve beton dayanımı kullanılmamaktadır. Nümerik çalışmada donatı kapasitesi hesabında sadece ankraj grubundaki çubuk sayısı değişkendir. Bu yüzden 8 mm çapında, 10Ø, 15Ø, 20Ø derinliğinde 2'li, 3'lü, 4'lü, 5'li ve 6'lı ankraj gruplarında ACI 318 tasarım dayanımı değerleri aynı hesaplanmıştır.

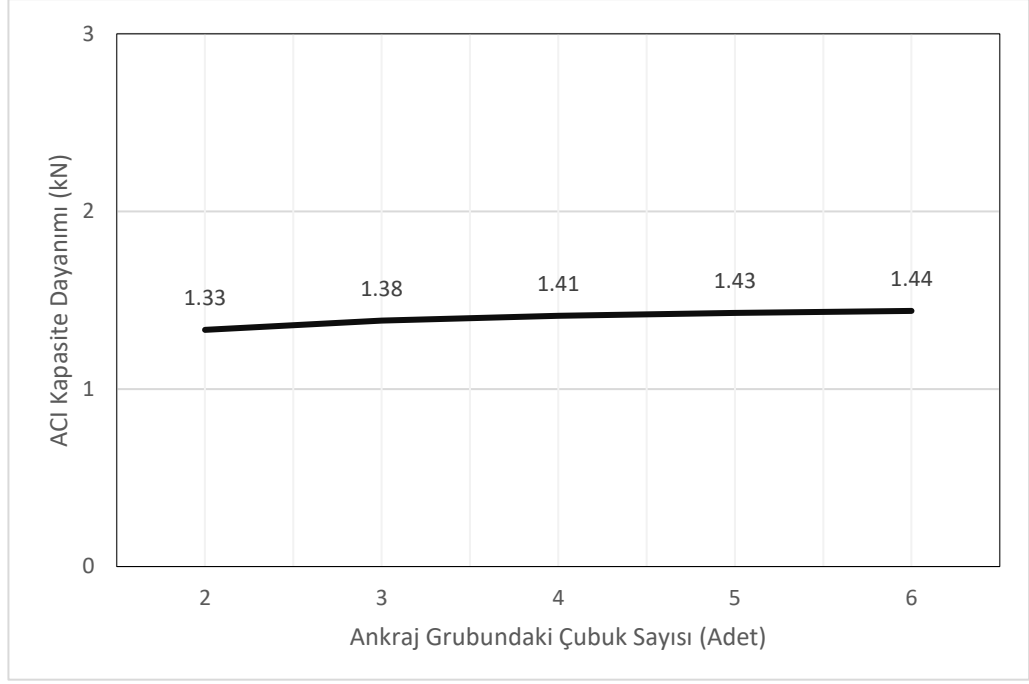
Ankraj grubundaki çubuk sayısını 2'den 3'e çıkardığımızda tasarım dayanımı %50, 3'ten 4'e çıkardığımızda %33, 4'ten 5'e çıkardığımızda %25, 5'den 6'ya çıkardığımızda ise %20 artmıştır. Ankraj grubundaki çubuk sayısı arttıkça tasarım dayanım değeri artmıştır, ancak artış oranı azalmıştır.

8 mm çapında, 10Ø, 15Ø, 20Ø derinliğindeki ankraj gruplarının ACI 318 tasarım dayanımı ile dayanım azaltma katsayısı arasındaki ilişki Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. DL10, D8L15, D8L20 için ACI 318 tasarım dayanımı.

8 mm çapında, 5Ø 10Ø, 15Ø, 20Ø derinliğindeki ankraj gruplarında ACI 318 tasarım dayanımını belirleyen faktör 5Ø derinliğinde beton koni kapasitesi, 10Ø, 15Ø, 20Ø derinliklerinde ise donatı kapasitesi olduğu görülmüştür. 5Ø derinliğinde betonun dayanımının ve ankraj ekilme derinliğinin etkili olduğu görülürken, 10Ø, 15Ø, 20Ø derinliklerinde etkisiz olduğu görülmüştür. Ankraj grubu içindeki çubuk sayısı arttıkça her derinlikte ACI 318 tasarım dayanımı değerinin arttığı belirlenmiştir. İşçilik kalitesi ve ortam koşulları ne kadar iyi olursa, dayanım azaltma katsayısının o kadar yüksek olacağı ve dolayısı ile ACI 318 tasarım dayanımının o kadar yüksek çıkacağı görülmüştür. 8 mm çapındaki ve aynı sayıdaki ankraj gruplarında, ankraj derinliğinin 5Ø'den 10Ø çıkarılmasıyla ACI 318 tasarım dayanımlarının ortalama olarak 1.4 kat arttığı, ancak 10Ø, 15Ø ve 20Ø derinliklerin ACI 318 tasarım dayanımlarının aynı hesaplandığı görülmüştür. ACI 318 kapasite dayanımlarının, çubuk sayısı ile olan ilişkisi Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



**Şekil 4.3.** 8 mm için ACI 318 kapasite dayanımı artış oranları grafiği.

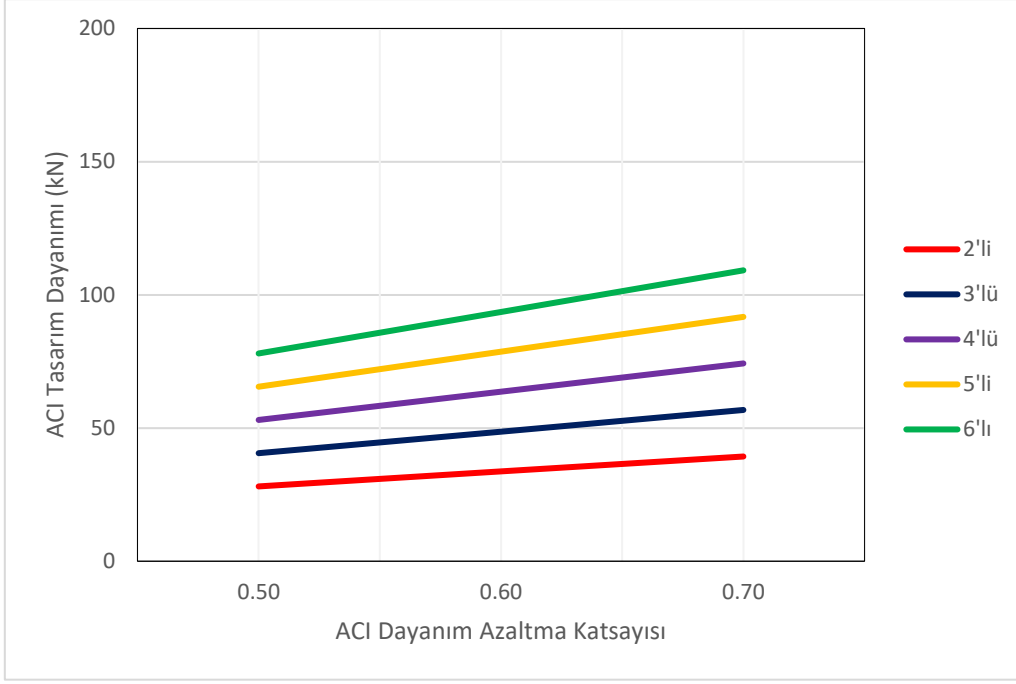
#### **4.2. 10 mm Çapındaki Ankraj Grupları İçin ACI 318 Tasarım Değerleri**

10 mm çapında B420C sınıfı inşaat çeliği için dört farklı derinlikte, 5 farklı ankraj grubu için ACI 318'e göre tasarım dayanımı değerleri hesaplanmıştır. ACI 318 tasarım dayanımı hesabında üç farklı dayanım azaltma katsayısı kullanılmıştır. Dolayısıyla her ankraj grubu için, her farklı ankraj çubuğu değeri ve her farklı ankraj derinliği için üç farklı ACI 318 tasarım dayanımı hesabı oluşturulmuştur. Bulunan ACI 318 tasarım dayanımı değerleri; 5Ø ankraj derinliği için Çizelge 4.6'da, 10Ø ankraj derinliği için Çizelge 4.7'de, 15Ø ankraj derinliği için Çizelge 4.8'de, 20Ø ankraj derinliği için ise Çizelge 4.9'da gösterilmiştir. Bu çizelgeler esas alınarak ACI 318 tasarım dayanımı-dayanım azaltma katsayısı grafikleri oluşturulmuştur.

**Çizelge 4.6.** D10L5 için ACI 318 tasarım dayanımları.

D10L5				Ekilme Derinliği (mm)	50	
Çap (mm)	Ankraj Grubu Çubuk Sayısı	Donatı Kapasitesi (kN)	Koni Kapasitesi (kN)	ACI Kapasite Dayanımı (kN)	Dayanım Azaltma Katsayısı	ACI Tasarım Dayanımı (kN)
10	2	91.34	56.16	56.16	0.50	28.08
					0.60	33.70
					0.70	39.31
	3	137.01	81.12	81.12	0.50	40.56
					0.60	48.67
					0.70	56.78
	4	182.68	106.08	106.08	0.50	53.04
					0.60	63.65
					0.70	74.25
	5	228.35	131.04	131.04	0.50	65.52
					0.60	78.62
					0.70	91.73
6	274.02	156.00	156.00	0.50	78.00	
				0.60	93.60	
				0.70	109.20	

10 mm çapındaki ankraj grupları için, 5Ø, yani 50 mm ankraj derinliğinde donatı kapasite değerleri ve beton koni kapasite değerleri, ankraj grubundaki çubuk sayısı artıca artmıştır. 5Ø gömülme derinliği için donatı kapasite değerleri, beton koni kapasite değerlerinden daha fazla hesaplanmıştır. Bu yüzden ACI 318'e göre kapasite dayanımı değeri, beton koni kapasite değeri olmuştur. ACI 318 tasarım dayanımını belirleyen değer, beton koni kapasite değeri olmuştur. 10 mm çapında, 5Ø derinliğindeki ankraj gruplarının ACI 318 tasarım dayanımı ile dayanım azaltma katsayısı arasındaki ilişki Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



**Şekil 4.4.** D10L5 için ACI 318 tasarım dayanımı.

Ankraj grubundaki çubuk sayısını 2'den 3'e çıkardığımızda tasarım dayanımı %44, 3'ten 4'e çıkardığımızda %31, 4'ten 5'e çıkardığımızda %24, 5'den 6'ya çıkardığımızda ise %19 artmıştır. Ankraj grubundaki çubuk sayısı arttıkça tasarım dayanım değeri artmıştır, ancak artış oranı azalmıştır.

10 mm çapında, 10Ø derinliğindeki ankraj gruplarında ACI 318 tasarım dayanımı hesabında, hesaplanan donatı kapasitesi ve beton koni kapasitesi değerleri Çizelge 4.7'de gösterilmiştir. Donatı kapasite değerleri ve beton koni kapasite değerleri, ankraj grubundaki çubuk sayısı arttıkça artmıştır. Donatı kapasite değerleri, beton koni kapasite değerlerine göre daha küçük hesaplanmıştır. Bu durumda ACI 318 kapasite dayanımı olarak, küçük olan değer, donatı kapasitesi kullanılmıştır. ACI 318 tasarım dayanımını belirleyen faktör donatı olmuştur.

**Çizelge 4.7.** D10L10 için ACI 318 tasarım dayanımları.

<b>D10L10</b>				<b>Ekilme Derinliği (mm)</b>	<b>100</b>	
<b>Çap (mm)</b>	<b>Ankraj Grubu Çubuk Sayısı</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>
10	2	91.34	158.84	91.34	0.50	45.67
					0.60	54.80
					0.70	63.94
	3	137.01	229.44	137.01	0.50	68.50
					0.60	82.21
					0.70	95.91
	4	182.68	300.03	182.68	0.50	91.34
					0.60	109.61
					0.70	127.87
	5	228.35	370.63	228.35	0.50	114.17
					0.60	137.01
					0.70	159.84
6	274.02	441.22	274.02	0.50	137.01	
				0.60	164.41	
				0.70	191.81	

Ankraj grubundaki çubuk sayısını 2'den 3'e çıkardığımızda tasarım dayanımı %50, 3'ten 4'e çıkardığımızda %33, 4'ten 5'e çıkardığımızda %25, 5'den 6'ya çıkardığımızda ise %20 artmıştır. Ankraj grubundaki çubuk sayısı arttıkça tasarım dayanım değeri artmıştır, ancak artış oranı azalmıştır.

10 mm çapında, 15Ø derinliğindeki ankraj gruplarında ACI 318 tasarım dayanımı hesabında, hesaplanan donatı kapasitesi ve beton koni kapasitesi değerleri Çizelge 4.8'de gösterilmiştir. Donatı kapasite değerleri ve beton koni kapasite değerleri, ankraj grubundaki çubuk sayısı arttıkça artmıştır. Donatı kapasite değerleri, beton koni kapasite değerlerine göre daha küçük hesaplanmıştır. Bu durumda ACI 318 kapasite dayanımı olarak, küçük olan değer, donatı kapasitesi kullanılmıştır. ACI 318 tasarım dayanımını belirleyen faktör donatı olmuştur.

**Çizelge 4.8.** D10L15 için ACI 318 tasarım dayanımları.

D10L15				Ekilme Derinliği (mm)	150	
Çap (mm)	Ankraj Grubu Çubuk Sayısı	Donatı Kapasitesi (kN)	Koni Kapasitesi (kN)	ACI Kapasite Dayanımı (kN)	Dayanım Azaltma Katsayısı	ACI Tasarım Dayanımı (kN)
10	2	91.34	291.81	91.34	0.50	45.67
					0.60	54.80
					0.70	63.94
	3	137.01	421.50	137.01	0.50	68.50
					0.60	82.21
					0.70	95.91
	4	182.68	551.19	182.68	0.50	91.34
					0.60	109.61
					0.70	127.87
	5	228.35	680.89	228.35	0.50	114.17
					0.60	137.01
					0.70	159.84
6	274.02	810.58	274.02	0.50	137.01	
				0.60	164.41	
				0.70	191.81	

Ankraj grubundaki çubuk sayısını 2’den 3’e çıkardığımızda tasarım dayanımı %50, 3’ten 4’e çıkardığımızda %33, 4’ten 5’e çıkardığımızda %25, 5’den 6’ya çıkardığımızda ise %20 artmıştır. Ankraj grubundaki çubuk sayısı arttıkça tasarım dayanım değeri artmıştır, ancak artış oranı azalmıştır.

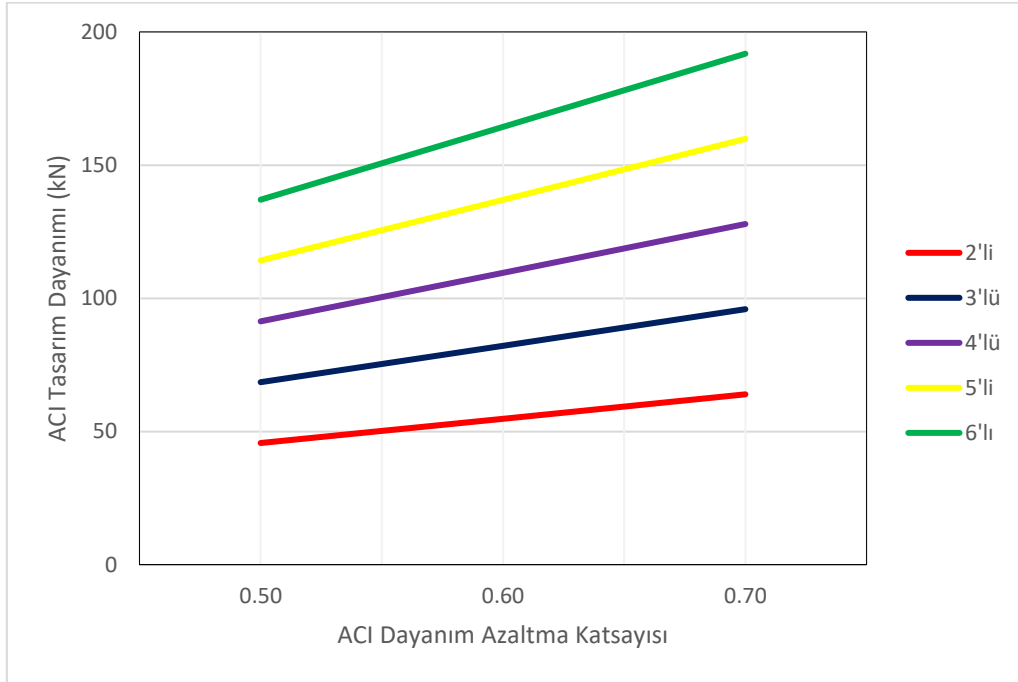
10 mm çapında, 20Ø derinliğindeki ankraj gruplarında ACI 318 tasarım dayanımı hesabında, hesaplanan donatı kapasitesi ve beton koni kapasitesi değerleri Çizelge 4.9’da gösterilmiştir. Donatı kapasite değerleri ve beton koni kapasite değerleri, ankraj grubundaki çubuk sayısı arttıkça artmıştır. Donatı kapasite değerleri, beton koni kapasite değerlerine göre daha küçük hesaplanmıştır. Bu durumda ACI 318 kapasite dayanımı olarak, küçük olan değer, donatı kapasitesi kullanılmıştır. ACI 318 tasarım dayanımını belirleyen faktör donatı olmuştur.

**Çizelge 4.9.** D10L20 için ACI 318 tasarım dayanımları.

D10L20				Ekilme Derinliği (mm)	200	
Çap (mm)	Ankraj Grubu Çubuk Sayısı	Donatı Kapasitesi (kN)	Koni Kapasitesi (kN)	ACI Kapasite Dayanımı (kN)	Dayanım Azaltma Katsayısı	ACI Tasarım Dayanımı (kN)
10	2	91.34	449.27	91.34	0.50	45.67
					0.60	54.80
					0.70	63.94
	3	137.01	648.94	137.01	0.50	68.50
					0.60	82.21
					0.70	95.91
	4	182.68	848.62	182.68	0.50	91.34
					0.60	109.61
					0.70	127.87
	5	228.35	1048.29	228.35	0.50	114.17
					0.60	137.01
					0.70	159.84
6	274.02	1247.97	274.02	0.50	137.01	
				0.60	164.41	
				0.70	191.81	

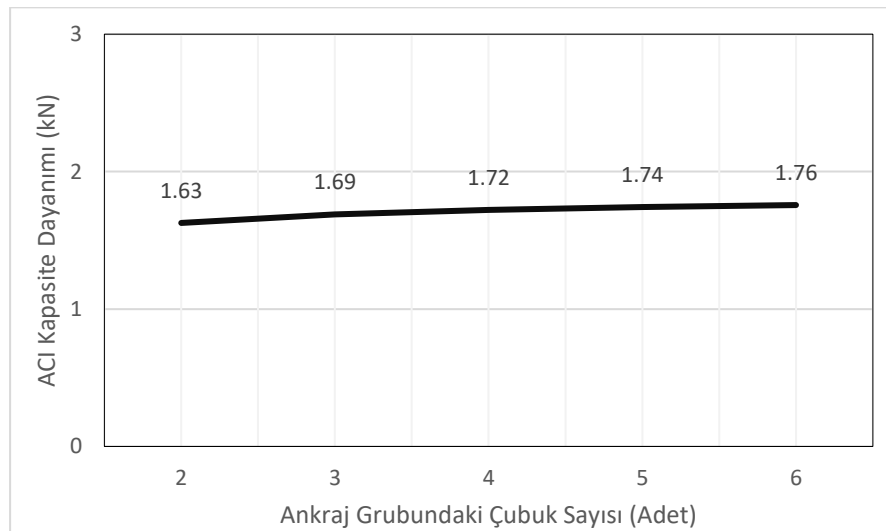
Ankraj grubundaki çubuk sayısını 2'den 3'e çıkardığımızda tasarım dayanımı %50, 3'ten 4'e çıkardığımızda %33, 4'ten 5'e çıkardığımızda %25, 5'den 6'ya çıkardığımızda ise %20 artmıştır. Ankraj grubundaki çubuk sayısı arttıkça tasarım dayanım değeri artmıştır, ancak artış oranı azalmıştır. 10 mm çapında, 10Ø, 15Ø, 20Ø derinliğindeki ankraj gruplarının ACI 318 tasarım dayanımı ile dayanım azaltma katsayısı arasındaki ilişki Şekil 4.5'te gösterilmiştir. 10 mm çapında, 5Ø 10Ø, 15Ø, 20Ø derinliğindeki ankraj gruplarında ACI 318 tasarım dayanımını belirleyen faktör 5Ø derinliğinde beton koni kapasitesi, 10Ø, 15Ø, 20Ø derinliklerinde ise donatı kapasitesi olduğu görülmüştür. 5Ø derinliğinde betonun dayanımının ve ankraj ekilme derinliğinin etkili olduğu görülürken, 10Ø, 15Ø, 20Ø derinliklerinde etkisiz olduğu görülmüştür. Ankraj grubu içindeki çubuk sayısı arttıkça her derinlikte ACI 318 tasarım dayanımı değerinin arttığı belirlenmiştir. İşçilik kalitesi ve ortam koşulları ne kadar iyi olursa,

dayanım azaltma katsayısının o kadar yüksek olacağı ve dolayısı ile ACI 318 tasarım dayanımının o kadar yüksek çıkacağı görülmüştür.



Şekil 4.5. D10L10D, D10L15, D10L20 için ACI 318 tasarım dayanımı.

10 mm çapındaki ve aynı sayıdaki ankraj gruplarında, ankraj derinliğinin 5Ø'den 10Ø çıkarılmasıyla ACI 318 tasarım dayanımlarının ortalama olarak 1.71 kat arttığı, ancak 10Ø, 15Ø ve 20Ø derinliklerin ACI 318 tasarım dayanımlarının aynı hesaplandığı görülmüştür. ACI 318 kapasite dayanımlarının, ankraj derinliğiyle olan ilişki Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. 10 mm için ACI 318 kapasite dayanımı artış oranları grafiği.

### 4.3. 12 mm Çapındaki Ankraj Grupları İçin ACI 318 Tasarım Değerleri

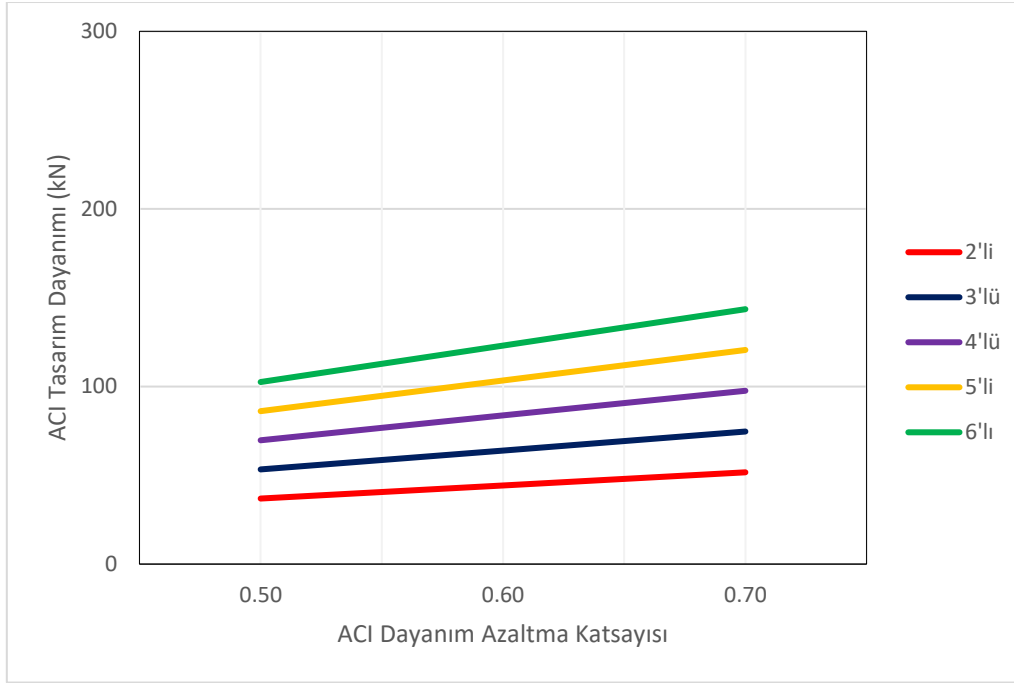
12 mm çapında B420C sınıfı inşaat çeliği için dört farklı derinlikte, 5 farklı ankraj grubu için ACI 318'e göre tasarım dayanımı değerleri hesaplanmıştır. ACI 318 tasarım dayanımı hesabında üç farklı dayanım azaltma katsayısı kullanılmıştır. Dolayısıyla her ankraj grubu için, her farklı ankraj çubuğu değeri ve her farklı ankraj derinliği için üç farklı ACI 318 tasarım dayanımı hesabı oluşturulmuştur. Bulunan ACI 318 tasarım dayanımı değerleri; 5Ø ankraj derinliği için Çizelge 4.10'da, 10Ø ankraj derinliği için Çizelge 4.11'de, 15Ø ankraj derinliği için Çizelge 4.12'de, 20Ø ankraj derinliği için ise Çizelge 4.13'te gösterilmiştir. Bu çizelgeler esas alınarak ACI 318 tasarım dayanımı-dayanım azaltma katsayısı grafikleri oluşturulmuştur.

Çizelge 4.10. D12L5 için ACI 318 tasarım dayanımları.

D12L5				Ekilme Derinliği (mm)		60
Çap (mm)	Ankraj Grubu Çubuk Sayısı	Donatı Kapasitesi (kN)	Koni Kapasitesi (kN)	ACI Kapasite Dayanımı (kN)	Dayanım Azaltma Katsayısı	ACI Tasarım Dayanımı (kN)
12	2	132.79	73.82	73.82	0.50	36.91
					0.60	44.29
					0.70	51.68
	3	199.18	106.63	106.63	0.50	53.32
					0.60	63.98
					0.70	74.64
	4	265.57	139.44	139.44	0.50	69.72
					0.60	83.67
					0.70	97.61
	5	331.97	172.25	172.25	0.50	86.13
					0.60	103.35
					0.70	120.58
	6	398.36	205.06	205.06	0.50	102.53
					0.60	123.04
					0.70	143.54

12 mm çapındaki ankraj grupları için, 5Ø, yani 60 mm ankraj derinliğinde donatı kapasite değerleri ve beton koni kapasite değerleri, ankraj grubundaki çubuk sayısı artıka artmıştır. 5Ø gömülme derinliği için donatı kapasite değerleri, beton koni kapasite

değerlerinden daha fazla hesaplanmıştır. Bu yüzden ACI 318'e göre kapasite dayanımı değeri, beton koni kapasite değeri olmuştur. ACI 318 tasarım dayanımını belirleyen değer, beton koni kapasite değeri olmuştur. 12 mm çapında, 5Ø derinliğindeki ankraj gruplarının ACI 318 tasarım dayanımı ile dayanım azaltma katsayısı arasındaki ilişki Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



**Şekil 4.7.** D12L5 için ACI 318 tasarım dayanımı.

Ankraj grubundaki çubuk sayısını 2'den 3'e çıkardığımızda tasarım dayanımı %44, 3'ten 4'e çıkardığımızda %31, 4'ten 5'e çıkardığımızda %24, 5'den 6'ya çıkardığımızda ise %19 artmıştır. Ankraj grubundaki çubuk sayısı arttıkça tasarım dayanım değeri artmıştır, ancak artış oranı azalmıştır.

12 mm çapında, 10Ø derinliğindeki ankraj gruplarında ACI 318 tasarım dayanımı hesabında, hesaplanan donatı kapasitesi ve beton koni kapasitesi değerleri Çizelge 4.11'de gösterilmiştir. Donatı kapasite değerleri ve beton koni kapasite değerleri, ankraj grubundaki çubuk sayısı arttıkça artmıştır. Donatı kapasite değerleri, beton koni kapasite değerlerine göre daha küçük hesaplanmıştır. Bu durumda ACI 318 kapasite dayanımı olarak, küçük olan değer, donatı kapasitesi kullanılmıştır. ACI 318 tasarım dayanımını belirleyen faktör donatı olmuştur. D12L10 ankraj grupları için ACI 318 tasarım dayanımları Çizelge 4.11'de gösterilmektedir.

**Çizelge 4.11.** D12L10 için ACI 318 tasarım dayanımları.

D12L10				Ekilme Derinliği (mm)	120	
Çap (mm)	Ankraj Grubu Çubuk Sayısı	Donatı Kapasitesi (kN)	Koni Kapasitesi (kN)	ACI Kapasite Dayanımı (kN)	Dayanım Azaltma Katsayısı	ACI Tasarım Dayanımı (kN)
12	2	132.79	208.80	132.79	0.50	66.39
					0.60	79.67
					0.70	92.95
	3	199.18	301.60	199.18	0.50	99.59
					0.60	119.51
					0.70	139.43
	4	265.57	394.40	265.57	0.50	132.79
					0.60	159.34
					0.70	185.90
	5	331.97	487.20	331.97	0.50	165.98
					0.60	199.18
					0.70	232.38
6	398.36	580.00	398.36	0.50	199.18	
				0.60	239.02	
				0.70	278.85	

12 mm çapında ve 120 mm ankraj derinliğindeki ankraj gruplarında, her ankraj grubu için donatı kapasite değerleri daha küçük çıkmıştır. Ankrajın dayanımını belirleyen faktör donatı olmuştur. Bu derinlikte ankraj grubundaki tasarım dayanımlarına bakarsak; çubuk sayısı 2'den 3'e çıktığında %50, 3'den 4'e çıktığında %34, 4'ten 5'e çıktığında %25, 5'ten 6'ya çıktığında ise %20 oranında artışlar meydana gelmiştir.

**Çizelge 4.12.** D12L15 için ACI 318 tasarım dayanımları.

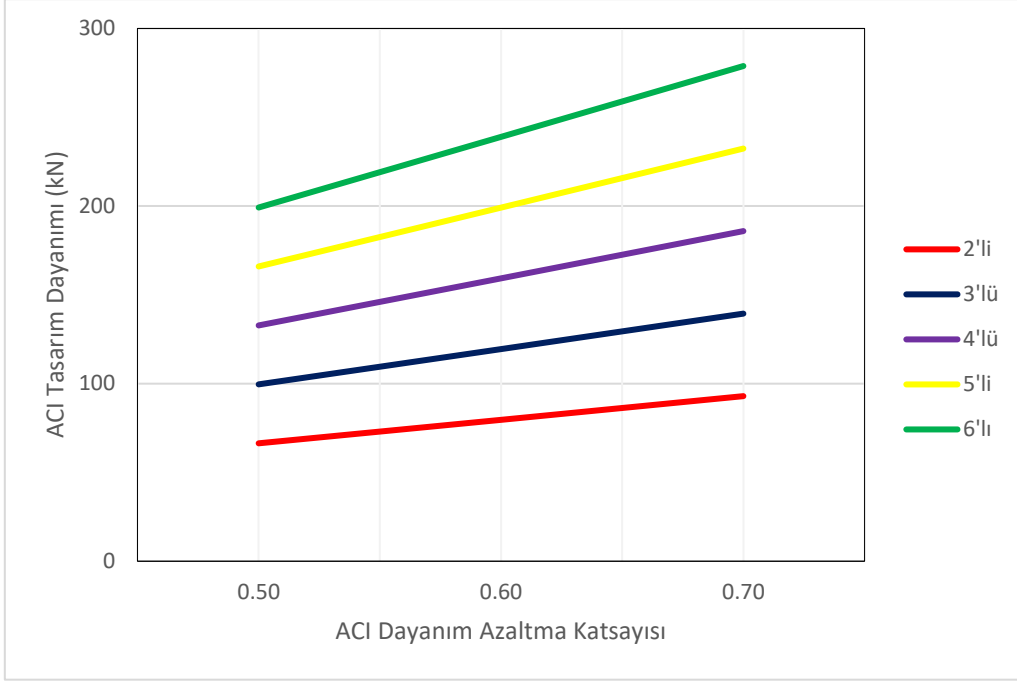
D12L15				Ekilme Derinliği (mm)		180
Çap (mm)	Ankraj Grubu Çubuk Sayısı	Donatı Kapasitesi (kN)	Koni Kapasitesi (kN)	ACI Kapasite Dayanımı (kN)	Dayanım Azaltma Katsayısı	ACI Tasarım Dayanımı (kN)
12	2	132.79	383.59	132.79	0.50	66.39
					0.60	79.67
					0.70	92.95
	3	199.18	554.08	199.18	0.50	99.59
					0.60	119.51
					0.70	139.43
	4	265.57	724.56	265.57	0.50	132.79
					0.60	159.34
					0.70	185.90
	5	331.97	895.05	331.97	0.50	165.98
					0.60	199.18
					0.70	232.38
6	398.36	1065.53	398.36	0.50	199.18	
				0.60	239.02	
				0.70	278.85	

12 mm çapında ve 180 mm ankraj derinliğindeki ankraj gruplarında, her ankraj grubu için donatı kapasite değerleri daha küçük çıkmıştır. Ankrajın dayanımını belirleyen faktör donatı olmuştur. Bu derinlikte ankraj grubundaki tasarım dayanımlarına bakarsak; çubuk sayısı 2'den 3'e çıktığında %50, 3'den 4'e çıktığında %34, 4'ten 5'e çıktığında %25, 5'ten 6'ya çıktığında ise %20 oranında artışlar meydana gelmiştir. 180 mm derinliğinde tasarım dayanımları ile 120 mm derinliğindeki tasarım dayanımı değerlerinin aynı olduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeni tasarım dayanımını belirleyen faktörün donatı kapasitesi olması ve ankraj derinliğinden etkilenmemesidir.

**Çizelge 4.13.** D12L20 için ACI 318 tasarım dayanımları.

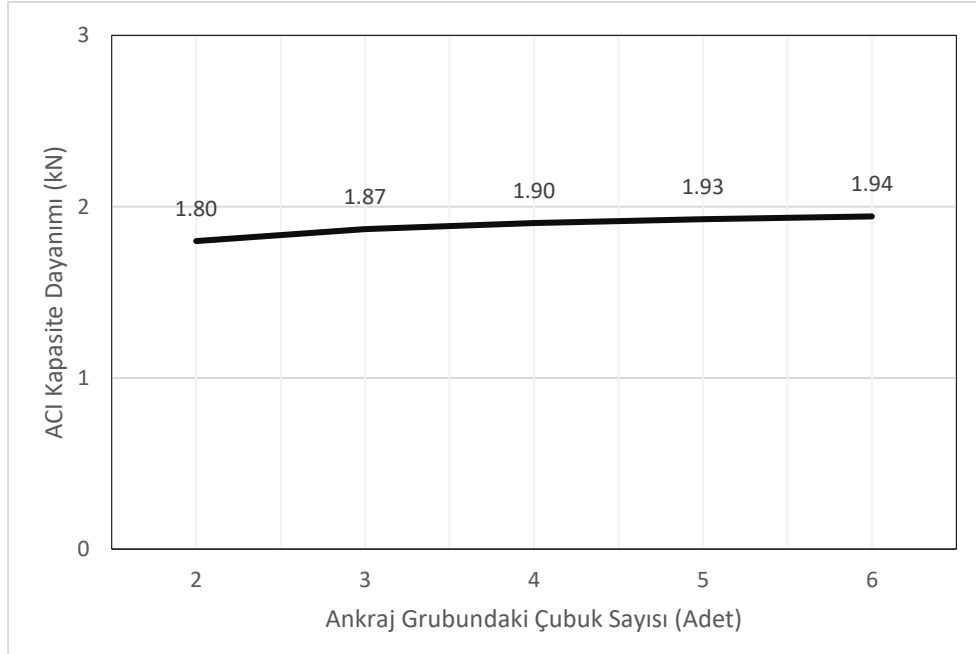
D12L20				Ekilme Derinliği (mm)	240	
Çap (mm)	Ankraj Grubu Çubuk Sayısı	Donatı Kapasitesi (kN)	Koni Kapasitesi (kN)	ACI Kapasite Dayanımı (kN)	Dayanım Azaltma Katsayısı	ACI Tasarım Dayanımı (kN)
12	2	132.79	590.58	132.79	0.50	66.39
					0.60	79.67
					0.70	92.95
	3	199.18	853.06	199.18	0.50	99.59
					0.60	119.51
					0.70	139.43
	4	265.57	1115.54	265.57	0.50	132.79
					0.60	159.34
					0.70	185.90
	5	331.97	1378.02	331.97	0.50	165.98
					0.60	199.18
					0.70	232.38
6	398.36	1640.50	398.36	0.50	199.18	
				0.60	239.02	
				0.70	278.85	

12 mm çapında ve 240 mm ankraj derinliğindeki ankraj gruplarında, her ankraj grubu için donatı kapasite değerleri daha küçük çıkmıştır. Ankrajın dayanımını belirleyen faktör donatı olmuştur. Bu derinlikte ankraj grubundaki tasarım dayanımlarına bakarsak; çubuk sayısı 2'den 3'e çıktığında %50, 3'den 4'e çıktığında %34, 4'ten 5'e çıktığında %25, 5'ten 6'ya çıktığında ise %20 oranında artışlar meydana gelmiştir. 240 mm derinliğinde tasarım dayanımları ile 120 ve 180 mm derinliğindeki tasarım dayanımı değerlerinin aynı olduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeni tasarım dayanımını belirleyen faktörün donatı kapasitesi olması ve ankraj derinliğinden etkilenmemesidir. 12 mm çapında, 120, 180 ve 240 mm ankraj derinliğindeki ankraj gruplarının ACI 318 tasarım dayanımı değerleri aynı hesaplandığı için, ACI 318 tasarım dayanımı ve ACI 318 dayanım azaltma katsayısı ilişkileri tek grafikte, Şekil 4.8'de gösterilmektedir.



**Şekil 4.8.** D12L10, D12L15, D12L20 için ACI 318 tasarım dayanımı.

12 mm çapındaki ve aynı sayıdaki ankraj gruplarında, ankraj derinliğinin 5Ø'den 10Ø çıkarılmasıyla ACI 318 tasarım dayanımlarının ortalama olarak 1.89 kat arttığı, ancak 10Ø, 15Ø ve 20Ø derinliklerin ACI 318 tasarım dayanımlarının aynı hesaplandığı görülmüştür. ACI 318 kapasite dayanımlarının, ankraj derinliğiyle olan ilişki Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



**Şekil 4.9.** 12 mm için ACI 318 kapasite dayanımı artış oranları grafiği.

#### 4.4. 14 mm Çapındaki Ankraj Grupları İçin ACI 318 Tasarım Değerleri

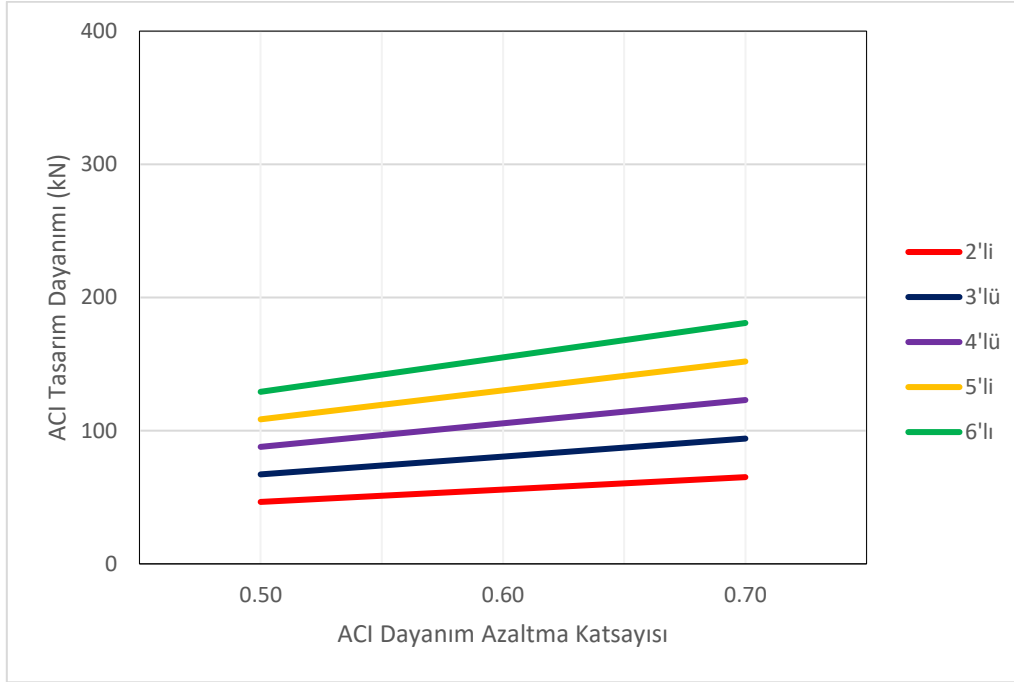
14 mm çapında B420C sınıfı inşaat çeliği için dört farklı derinlikte, 5 farklı ankraj grubu için ACI 318'e göre tasarım dayanımı değerleri hesaplanmıştır. ACI 318 tasarım dayanımı hesabında üç farklı dayanım azaltma katsayısı kullanılmıştır. Dolayısıyla her ankraj grubu için, her farklı ankraj çubuğu değeri ve her farklı ankraj derinliği için üç farklı ACI 318 tasarım dayanımı hesabı oluşturulmuştur. Bulunan ACI 318 tasarım dayanımı değerleri; 5Ø ankraj derinliği için Çizelge 4.14'te, 10Ø ankraj derinliği için Çizelge 4.15'te, 15Ø ankraj derinliği için Çizelge 4.16'da, 20Ø ankraj derinliği için ise Çizelge 4.17'de gösterilmiştir. Bu çizelgeler esas alınarak ACI 318 tasarım dayanımı-dayanım azaltma katsayısı grafikleri oluşturulmuştur.

Çizelge 4.14. D14L5 için ACI 318 tasarım dayanımları.

D14L5				Ekilme Derinliği (mm)		70
Çap (mm)	Ankraj Grubu Çubuk Sayısı	Donatı Kapasitesi (kN)	Koni Kapasitesi (kN)	ACI Kapasite Dayanımı (kN)	Dayanım Azaltma Katsayısı	ACI Tasarım Dayanımı (kN)
14	2	181.96	93.03	93.03	0.50	46.51
					0.60	55.82
					0.70	65.12
	3	272.94	134.37	134.37	0.50	67.19
					0.60	80.62
					0.70	94.06
	4	363.92	175.72	175.72	0.50	87.86
					0.60	105.43
					0.70	123.00
	5	454.90	217.06	217.06	0.50	108.53
					0.60	130.24
					0.70	151.94
	6	545.88	258.41	258.41	0.50	129.20
					0.60	155.04
					0.70	180.89

14 mm çapında, 70 mm derinliğinde ankraj gruplarının ACI 318 tasarım dayanımını belirleyen faktör, Çizelge 4.14'ten de görüleceği gibi beton koni kapasitedir. Etkin olan parametre betondur. Ankraj ekilme derinliği düşük olduğu için beton koni kapasitesi, donatı

kapasitesine göre daha düşük hesaplanmıştır. Ankraj grubundaki çubuk sayısının artışı hem donatı kapasitesini hem de beton koni kapasitesini artırdığı tespit edilmiştir. Ankraj grubundaki çubuk sayısının artışıyla, ACI tasarım dayanımı arasındaki ilişki Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



**Şekil 4.10.** D14L5 için ACI 318 tasarım dayanımı.

14 mm çapında, 70 mm ankraj derinliğindeki ankraj gruplarında ACI 318 tasarım dayanımı; çubuk sayısı 2'den 3'e çıktığında %44, 3'ten 4'e çıktığında %31, 4'ten 5'e çıktığında %24, 5'ten 6'ya çıktığında ise %19 artış göstermiştir.

14 mm çapında, 10Ø derinliğindeki ankraj gruplarında ACI 318 tasarım dayanımı hesabında, hesaplanan donatı kapasitesi ve beton koni kapasitesi değerleri Çizelge 4.11'de gösterilmiştir. Donatı kapasite değerleri ve beton koni kapasite değerleri, ankraj grubundaki çubuk sayısı arttıkça artmıştır. Donatı kapasite değerleri, beton koni kapasite değerlerine göre daha küçük hesaplanmıştır. Bu durumda ACI 318 kapasite dayanımı olarak, küçük olan değer, donatı kapasitesi kullanılmıştır. ACI 318 tasarım dayanımını belirleyen faktör donatı olmuştur. D14L10 ankraj grupları için ACI 318 tasarım dayanımları Çizelge 4.11'de gösterilmektedir.

**Çizelge 4.15.** D14L10 için ACI 318 tasarım dayanımları.

D14L10				Ekilme Derinliği (mm)	140	
Çap (mm)	Ankraj Grubu Çubuk Sayısı	Donatı Kapasitesi (kN)	Koni Kapasitesi (kN)	ACI Kapasite Dayanımı (kN)	Dayanım Azaltma Katsayısı	ACI Tasarım Dayanımı (kN)
14	2	181.96	263.12	181.96	0.50	90.98
					0.60	109.18
					0.70	127.37
	3	272.94	380.06	272.94	0.50	136.47
					0.60	163.76
					0.70	191.06
	4	363.92	497.00	363.92	0.50	181.96
					0.60	218.35
					0.70	254.74
	5	454.90	613.95	454.90	0.50	227.45
					0.60	272.94
					0.70	318.43
6	545.88	730.89	545.88	0.50	272.94	
				0.60	327.53	
				0.70	382.12	

14 mm çapında ve 140 mm ankraj derinliğindeki ankraj gruplarında, her ankraj grubu için donatı kapasite değerleri daha küçük çıkmıştır. Ankrajın dayanımını belirleyen faktör donatı olmuştur. Bu derinlikte ankraj grubundaki tasarım dayanımlarına bakarsak; çubuk sayısı 2'den 3'e çıktığında %50, 3'den 4'e çıktığında %34, 4'ten 5'e çıktığında %25, 5'ten 6'ya çıktığında ise %20 oranında artışlar meydana gelmiştir.

**Çizelge 4.16.** D14L15 için ACI 318 tasarım dayanımları.

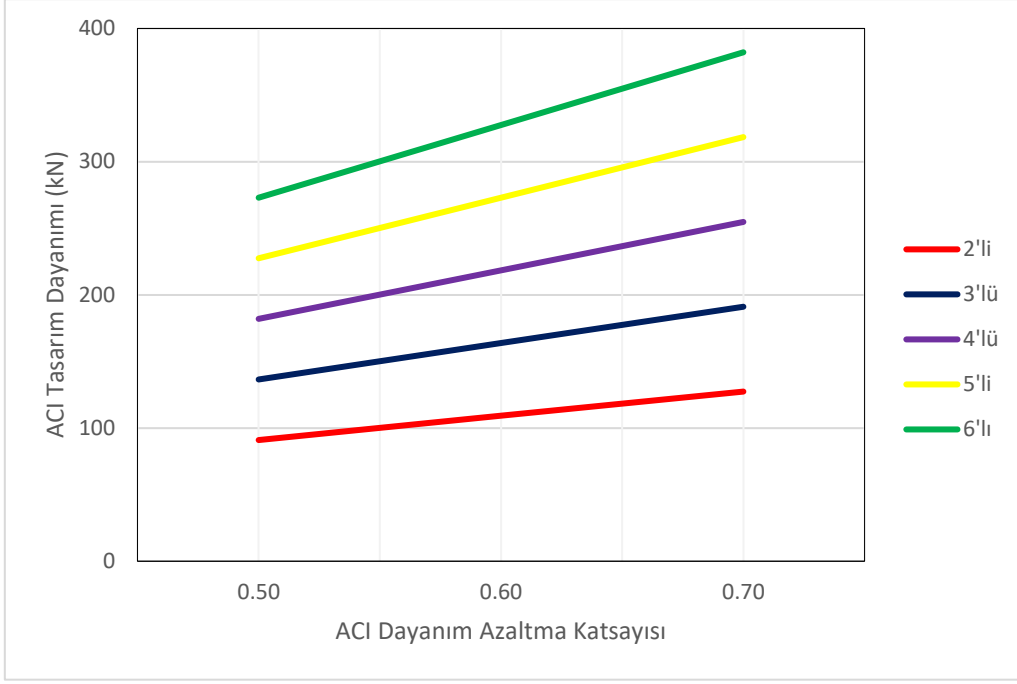
D14L15				Ekilme Derinliği (mm)	210	
Çap (mm)	Ankraj Grubu Çubuk Sayısı	Donatı Kapasitesi (kN)	Koni Kapasitesi (kN)	ACI Kapasite Dayanımı (kN)	Dayanım Azaltma Katsayısı	ACI Tasarım Dayanımı (kN)
14	2	181.96	483.38	181.96	0.50	90.98
					0.60	109.18
					0.70	127.37
	3	272.94	698.22	272.94	0.50	136.47
					0.60	163.76
					0.70	191.06
	4	363.92	913.05	363.92	0.50	181.96
					0.60	218.35
					0.70	254.74
	5	454.90	1127.89	454.90	0.50	227.45
					0.60	272.94
					0.70	318.43
6	545.88	1342.73	545.88	0.50	272.94	
				0.60	327.53	
				0.70	382.12	

14 mm çapında ve 210 mm ankraj derinliğindeki ankraj gruplarında, her ankraj grubu için donatı kapasite değerleri daha küçük çıkmıştır. Ankrajın dayanımını belirleyen faktör donatı olmuştur. Bu derinlikte ankraj grubundaki tasarım dayanımlarına bakarsak; çubuk sayısı 2'den 3'e çıktığında %50, 3'den 4'e çıktığında %34, 4'ten 5'e çıktığında %25, 5'ten 6'ya çıktığında ise %20 oranında artışlar meydana gelmiştir. 180 mm derinliğinde tasarım dayanımları ile 120 mm derinliğindeki tasarım dayanımı değerlerinin aynı olduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeni tasarım dayanımını belirleyen faktörün donatı kapasitesi olması ve ankraj derinliğinden etkilenmemesidir.

**Çizelge 4.17.** D14L20 için ACI 318 tasarım dayanımları.

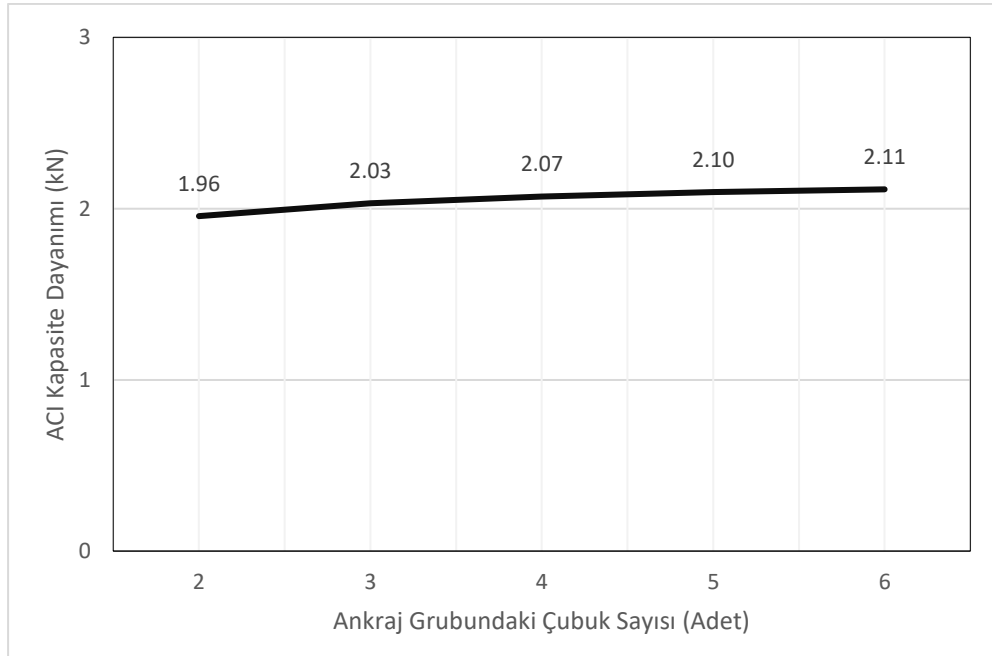
D14L20				Ekilme Derinliği (mm)	280	
Çap (mm)	Ankraj Grubu Çubuk Sayısı	Donatı Kapasitesi (kN)	Koni Kapasitesi (kN)	ACI Kapasite Dayanımı (kN)	Dayanım Azaltma Katsayısı	ACI Tasarım Dayanımı (kN)
14	2	181.96	744.21	181.96	0.50	90.98
					0.60	109.18
					0.70	127.37
	3	272.94	1074.98	272.94	0.50	136.47
					0.60	163.76
					0.70	191.06
	4	363.92	1405.74	363.92	0.50	181.96
					0.60	218.35
					0.70	254.74
	5	454.90	1736.50	454.90	0.50	227.45
					0.60	272.94
					0.70	318.43
6	545.88	2067.26	545.88	0.50	272.94	
				0.60	327.53	
				0.70	382.12	

14 mm çapında ve 280 mm ankraj derinliğindeki ankraj gruplarında, her ankraj grubu için donatı kapasite değerleri daha küçük çıkmıştır. Ankrajın dayanımını belirleyen faktör donatı olmuştur. Bu derinlikte ankraj grubundaki tasarım dayanımlarına bakarsak; çubuk sayısı 2'den 3'e çıktığında %50, 3'den 4'e çıktığında %34, 4'ten 5'e çıktığında %25, 5'ten 6'ya çıktığında ise %20 oranında artışlar meydana gelmiştir. 280 mm derinliğinde tasarım dayanımları ile 140 ve 210 mm derinliğindeki tasarım dayanımı değerlerinin aynı olduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeni tasarım dayanımını belirleyen faktörün donatı kapasitesi olması ve ankraj derinliğinden etkilenmemesidir. 14 mm çapında, 140, 210 ve 280 mm ankraj derinliğindeki ankraj gruplarının ACI 318 tasarım dayanımı değerleri aynı hesaplandığı için, ACI 318 tasarım dayanımı ve ACI 318 dayanım azaltma katsayısı ilişkileri tek grafikte, Şekil 4.11'de gösterilmektedir.



**Şekil 4.11.** D14L10, D14L15, D14L20 için ACI 318 tasarım dayanımı.

Şekil 4.12’de 14 mm çapındaki çubuklarla oluşturulan ankraj gruplarında çubuk sayısı sabit tutulduğunda, ACI 318 kapasite dayanımlarının derinlik artırıldığında kaç kat artığı gösterilmiştir. Derinlik 70 mm’den 140 mm’ye çıkarıldığında ortalama 2.05 kat artış olduğu, 140 mm’den 210 mm’ye ve 210 mm’den 280 mm çıkarıldığında ise artış olmadığı görülmüştür.



**Şekil 4.12.** 14 mm için ACI 318 kapasite dayanımı artış oranları grafiği.

#### 4.5. 16 mm Çapındaki Ankraj Grupları İçin ACI 318 Tasarım Değerleri

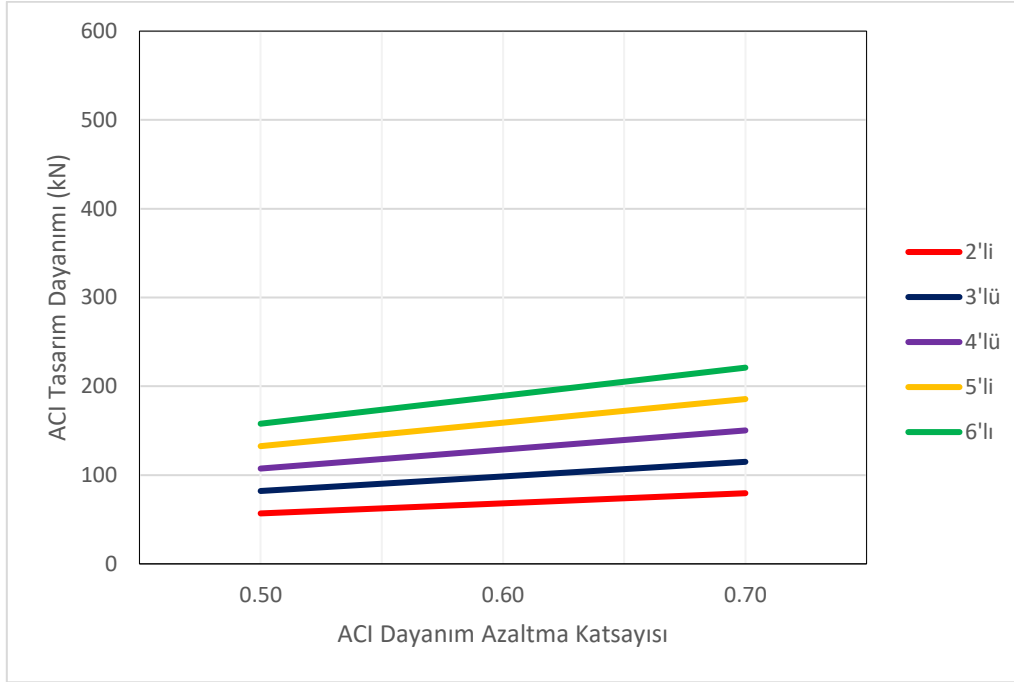
16 mm çapında B420C sınıfı inşaat çeliği için dört farklı derinlikte, 5 farklı ankraj grubu için ACI 318'e göre tasarım dayanımı değerleri hesaplanmıştır. ACI 318 tasarım dayanımı hesabında üç farklı dayanım azaltma katsayısı kullanılmıştır. Dolayısıyla her ankraj grubu için, her farklı ankraj çubuğu değeri ve her farklı ankraj derinliği için üç farklı ACI 318 tasarım dayanımı hesabı oluşturulmuştur. Bulunan ACI 318 tasarım dayanımı değerleri; 5Ø ankraj derinliği için Çizelge 4.18'de, 10Ø ankraj derinliği için Çizelge 4.19'da, 15Ø ankraj derinliği için Çizelge 4.20'de, 20Ø ankraj derinliği için ise Çizelge 4.21'de gösterilmiştir. Bu çizelgeler esas alınarak ACI 318 tasarım dayanımı-dayanım azaltma katsayısı grafikleri oluşturulmuştur.

**Çizelge 4.18.** D16L5 için ACI 318 tasarım dayanımları.

D16L5				Ekilme Derinliği (mm)		80
Çap (mm)	Ankraj Grubu Çubuk Sayısı	Donatı Kapasitesi (kN)	Koni Kapasitesi (kN)	ACI Kapasite Dayanımı (kN)	Dayanım Azaltma Katsayısı	ACI Tasarım Dayanımı (kN)
16	2	247.36	113.66	113.66	0.50	56.83
					0.60	68.19
					0.70	79.56
	3	371.05	164.17	164.17	0.50	82.09
					0.60	98.50
					0.70	114.92
	4	494.73	214.69	214.69	0.50	107.34
					0.60	128.81
					0.70	150.28
	5	618.41	265.20	265.20	0.50	132.60
					0.60	159.12
					0.70	185.64
6	742.09	315.71	315.71	0.50	157.86	
				0.60	189.43	
				0.70	221.00	

16 mm çapında, 80 mm derinliğinde ankraj gruplarının ACI 318 tasarım dayanımını belirleyen faktör, Çizelge 4.19'dan da görüleceği gibi beton koni kapasitedir. Etkin olan parametre betondur. Ankraj ekilme derinliği düşük olduğu için beton koni kapasitesi, donatı

kapasitesine göre daha düşük hesaplanmıştır. Ankraj grubundaki çubuk sayısının artışı hem donatı kapasitesini hem de beton koni kapasitesini artırdığı tespit edilmiştir. Ankraj grubundaki çubuk sayısının artışıyla, ACI tasarım dayanımı arasındaki ilişki Şekil 4.13'te gösterilmiştir.



Şekil 4.13. D16L5 için ACI 318 tasarım dayanımı.

16 mm çapında, 80 mm ankraj derinliğindeki ankraj gruplarında ACI 318 tasarım dayanımı; çubuk sayısı 2'den 3'e çıktığında %44, 3'ten 4'e çıktığında %31, 4'ten 5'e çıktığında %24, 5'ten 6'ya çıktığında ise %19 artış göstermiştir.

16 mm çapında, 10Ø derinliğindeki ankraj gruplarında ACI 318 tasarım dayanımı hesabında, hesaplanan donatı kapasitesi ve beton koni kapasitesi değerleri Çizelge 4.19'da gösterilmiştir. Donatı kapasite değerleri ve beton koni kapasite değerleri, ankraj grubundaki çubuk sayısı artıktıkça artmıştır. Donatı kapasite değerleri, beton koni kapasite değerlerine göre daha küçük hesaplanmıştır. Bu durumda ACI 318 kapasite dayanımı olarak, küçük olan değer, donatı kapasitesi kullanılmıştır. ACI 318 tasarım dayanımını belirleyen faktör donatı olmuştur. D16L10 ankraj grupları için ACI 318 tasarım dayanımları Çizelge 4.19'da gösterilmektedir.

**Çizelge 4.19.** D16L10 için ACI 318 tasarım dayanımları.

<b>D16L10</b>				<b>Ekilme Derinliği (mm)</b>		<b>160</b>
<b>Çap (mm)</b>	<b>Ankraj Grubu Çubuk Sayısı</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	2	247.36	321.47	247.36	0.50	123.68
					0.60	148.42
					0.70	173.15
	3	371.05	464.35	371.05	0.50	185.52
					0.60	222.63
					0.70	259.73
	4	494.73	607.22	494.73	0.50	247.36
					0.60	296.84
					0.70	346.31
	5	618.41	750.10	618.41	0.50	309.21
					0.60	371.05
					0.70	432.89
6	742.09	892.97	742.09	0.50	371.05	
				0.60	445.26	
				0.70	519.46	

16 mm çapında ve 160 mm ankraj derinliğindeki ankraj gruplarında, her ankraj grubu için donatı kapasite değerleri daha küçük çıkmıştır. Ankrajın dayanımını belirleyen faktör donatı olmuştur. Bu derinlikte ankraj grubundaki tasarım dayanımlarına bakarsak; çubuk sayısı 2'den 3'e çıktığında %50, 3'den 4'e çıktığında %34, 4'ten 5'e çıktığında %25, 5'ten 6'ya çıktığında ise %20 oranında artışlar meydana gelmiştir.

**Çizelge 4.20.** D16L15 için ACI 318 tasarım dayanımları.

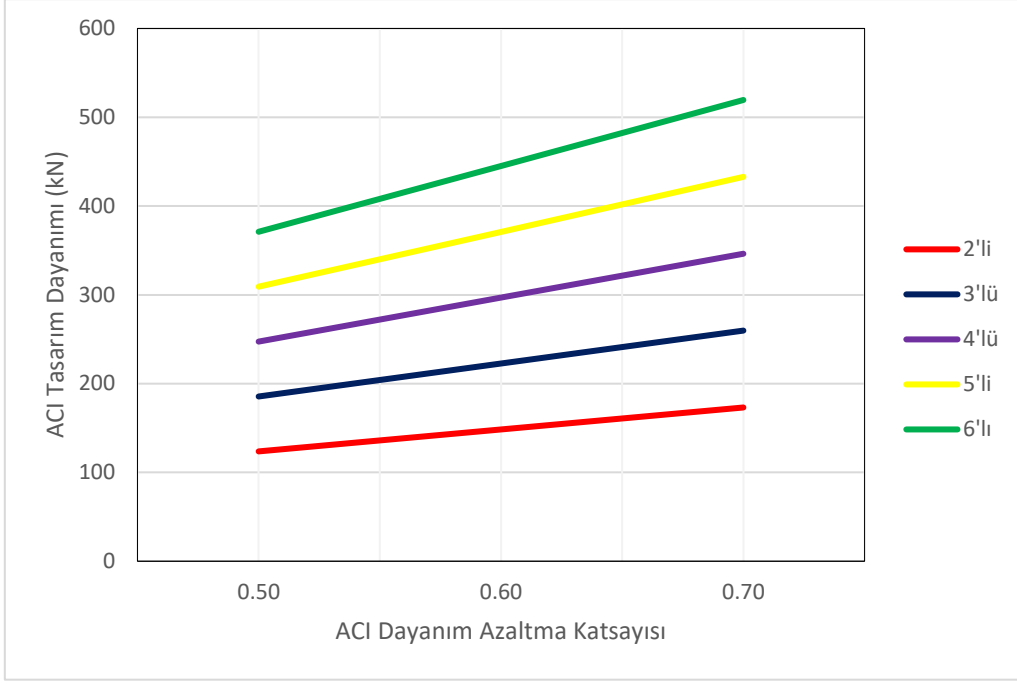
D16L15				Ekilme Derinliği (mm)	240	
Çap (mm)	Ankraj Grubu Çubuk Sayısı	Donatı Kapasitesi (kN)	Koni Kapasitesi (kN)	ACI Kapasite Dayanımı (kN)	Dayanım Azaltma Katsayısı	ACI Tasarım Dayanımı (kN)
16	2	247.36	590.58	247.36	0.50	123.68
					0.60	148.42
					0.70	173.15
	3	371.05	853.06	371.05	0.50	185.52
					0.60	222.63
					0.70	259.73
	4	494.73	1115.54	494.73	0.50	247.36
					0.60	296.84
					0.70	346.31
	5	618.41	1378.02	618.41	0.50	309.21
					0.60	371.05
					0.70	432.89
6	742.09	1640.50	742.09	0.50	371.05	
				0.60	445.26	
				0.70	519.46	

16 mm çapında ve 240 mm ankraj derinliğindeki ankraj gruplarında, her ankraj grubu için donatı kapasite değerleri daha küçük çıkmıştır. Ankrajın dayanımını belirleyen faktör donatı olmuştur. Bu derinlikte ankraj grubundaki tasarım dayanımlarına bakarsak; çubuk sayısı 2'den 3'e çıktığında %50, 3'den 4'e çıktığında %34, 4'ten 5'e çıktığında %25, 5'ten 6'ya çıktığında ise %20 oranında artışlar meydana gelmiştir. 240 mm derinliğinde tasarım dayanımları ile 160 mm derinliğindeki tasarım dayanımı değerlerinin aynı olduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeni tasarım dayanımını belirleyen faktörün donatı kapasitesi olması ve ankraj derinliğinden etkilenmemesidir.

**Çizelge 4.21.** D16L20 için ACI 318 tasarım dayanımları.

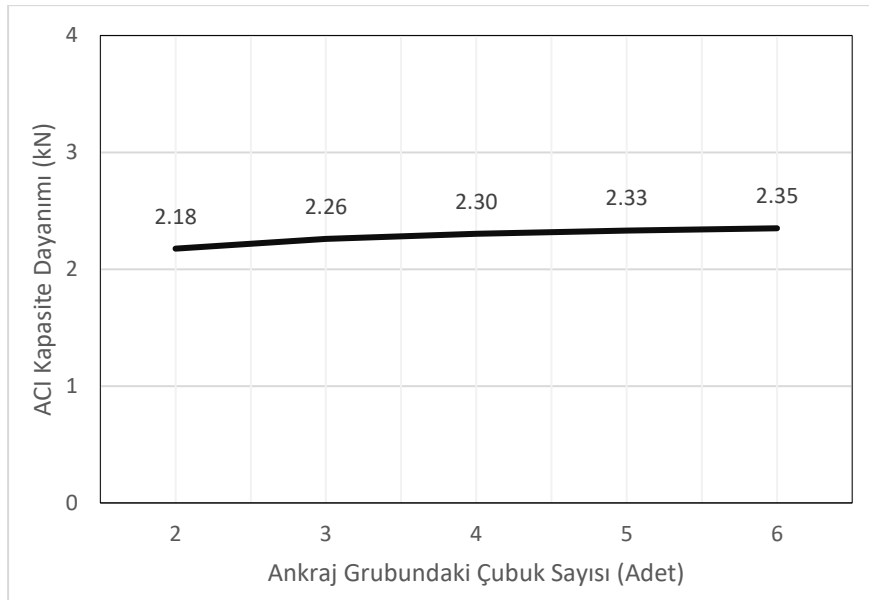
D16L20				Ekilme Derinliği (mm)		320
Çap (mm)	Ankraj Grubu Çubuk Sayısı	Donatı Kapasitesi (kN)	Koni Kapasitesi (kN)	ACI Kapasite Dayanımı (kN)	Dayanım Azaltma Katsayısı	ACI Tasarım Dayanımı (kN)
16	2	247.36	909.26	247.36	0.50	123.68
					0.60	148.42
					0.70	173.15
	3	371.05	1313.37	371.05	0.50	185.52
					0.60	222.63
					0.70	259.73
	4	494.73	1717.48	494.73	0.50	247.36
					0.60	296.84
					0.70	346.31
	5	618.41	2121.60	618.41	0.50	309.21
					0.60	371.05
					0.70	432.89
6	742.09	2525.71	742.09	0.50	371.05	
				0.60	445.26	
				0.70	519.46	

16 mm çapında ve 320 mm ankraj derinliğindeki ankraj gruplarında, her ankraj grubu için donatı kapasite değerleri daha küçük çıkmıştır. Ankrajın dayanımını belirleyen faktör donatı olmuştur. Bu derinlikte ankraj grubundaki tasarım dayanımlarına bakarsak; çubuk sayısı 2'den 3'e çıktığında %50, 3'den 4'e çıktığında %34, 4'ten 5'e çıktığında %25, 5'ten 6'ya çıktığında ise %20 oranında artışlar meydana gelmiştir. 320 mm derinliğinde tasarım dayanımları ile 160 ve 240 mm derinliğindeki tasarım dayanımı değerlerinin aynı olduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeni tasarım dayanımını belirleyen faktörün donatı kapasitesi olması ve ankraj derinliğinden etkilenmemesidir. 16 mm çapında, 160, 240 ve 320 mm ankraj derinliğindeki ankraj gruplarının ACI 318 tasarım dayanımı değerleri aynı hesaplandığı için, ACI 318 tasarım dayanımı ve ACI 318 dayanım azaltma katsayısı ilişkileri tek grafikte, Şekil 4.14'te gösterilmektedir.



**Şekil 4.14.** D16L10, D16L15, D16L20 için ACI 318 tasarım dayanımı.

Şekil 4.15'te 16 mm çapındaki çubuklarla oluşturulan ankraj gruplarında çubuk sayısı sabit tutulduğunda, ACI 318 kapasite dayanımlarının derinlik artırıldığında kaç kat artışı gösterilmiştir. Derinlik 80 mm'den 160 mm'ye çıkarıldığında ortalama 2.28 kat artış olduğu, 160 mm'den 240 mm'ye çıkarıldığında ortalama 1.05 kat artış olduğu ve 240 mm'den 320 mm çıkarıldığında ise artış olmadığı görülmüştür.



**Şekil 4.15.** 16 mm için ACI 318 kapasite dayanımı artış oranları grafiği.

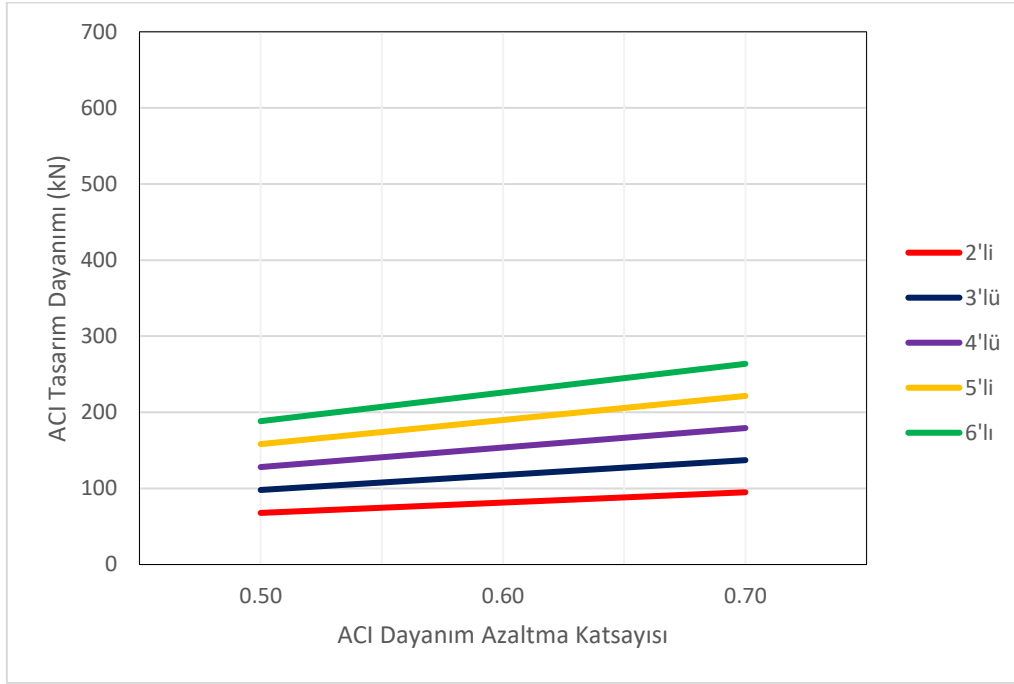
#### 4.6. 18 mm Çapındaki Ankraj Grupları İçin ACI 318 Tasarım Değerleri

18 mm çapında B420C sınıfı inşaat çeliği için dört farklı derinlikte, 5 farklı ankraj grubu için ACI 318'e göre tasarım dayanımı değerleri hesaplanmıştır. ACI 318 tasarım dayanımı hesabında üç farklı dayanım azaltma katsayısı kullanılmıştır. Dolayısıyla her ankraj grubu için, her farklı ankraj çubuğu değeri ve her farklı ankraj derinliği için üç farklı ACI 318 tasarım dayanımı hesabı oluşturulmuştur. Bulunan ACI 318 tasarım dayanımı değerleri; 5Ø ankraj derinliği için Çizelge 4.22'de, 10Ø ankraj derinliği için Çizelge 4.23'te, 15Ø ankraj derinliği için Çizelge 4.24'te, 20Ø ankraj derinliği için ise Çizelge 4.25'te gösterilmiştir. Bu çizelgeler esas alınarak ACI 318 tasarım dayanımı-dayanım azaltma katsayısı grafikleri oluşturulmuştur.

Çizelge 4.22. D18L5 için ACI 318 tasarım dayanımları.

D18L5				Ekilme Derinliği (mm)		90
Çap (mm)	Ankraj Grubu Çubuk Sayısı	Donatı Kapasitesi (kN)	Koni Kapasitesi (kN)	ACI Kapasite Dayanımı (kN)	Dayanım Azaltma Katsayısı	ACI Tasarım Dayanımı (kN)
18	2	313.07	135.62	135.62	0.50	67.81
					0.60	81.37
					0.70	94.93
	3	469.61	195.90	195.90	0.50	97.95
					0.60	117.54
					0.70	137.13
	4	626.14	256.17	256.17	0.50	128.09
					0.60	153.70
					0.70	179.32
	5	782.68	316.45	316.45	0.50	158.22
					0.60	189.87
					0.70	221.51
	6	939.21	376.72	376.72	0.50	188.36
					0.60	226.03
					0.70	263.71

18 mm çapında ve 5Ø, yani 90 mm ankraj derinliğindeki ankraj gruplarında ACI 318 tasarım dayanımı hesabında beton koni kapasite değerleri, donatı kapasite değerlerine göre daha düşük hesaplanmıştır. Bunun nedeni donatı çapının artmasından daha çok ankraj derinliğinin az olmasından kaynaklanmaktadır. 18 mm çapında, 90 mm ankraj derinliğindeki ankraj gruplarının ACI 318 tasarım dayanımlarının; ankraj grubundaki çubuk sayısı ile dayanım azaltma katsayısı arasındaki ilişki Şekil 4.16'da gösterilmiştir.



**Şekil 4.16.** D18L5 için ACI 318 tasarım dayanımı.

18 mm çapında ve 90 mm ankraj derinliğindeki ankraj gruplarını kendi içinde değerlendirdiğimizde; çubuk sayısı 2'den 3'e çıktığında %44, 3'ten 4'e çıktığında %31, 4'ten 5'e çıktığında %24, 5'ten 6'ya çıktığında ise %19 artış göstermiştir.

18 mm çapında, 10Ø derinliğindeki ankraj gruplarında ACI 318 tasarım dayanımı hesabında, hesaplanan donatı kapasitesi ve beton koni kapasitesi değerleri Çizelge 4.23'te gösterilmiştir. Donatı kapasite değerleri ve beton koni kapasite değerleri, ankraj grubundaki çubuk sayısı arttıkça artmıştır. Donatı kapasite değerleri, beton koni kapasite değerlerine göre daha küçük hesaplanmıştır. Bu durumda ACI 318 kapasite dayanımı olarak, küçük olan değer, donatı kapasitesi kullanılmıştır. ACI 318 tasarım dayanımını belirleyen faktör donatı olmuştur. D18L10 ankraj grupları için ACI 318 tasarım dayanımları Çizelge 4.23'te gösterilmektedir.

**Çizelge 4.23.** D18L10 için ACI 318 tasarım dayanımları.

D18L10				Ekilme Derinliği (mm)		180
Çap (mm)	Ankraj Grubu Çubuk Sayısı	Donatı Kapasitesi (kN)	Koni Kapasitesi (kN)	ACI Kapasite Dayanımı (kN)	Dayanım Azaltma Katsayısı	ACI Tasarım Dayanımı (kN)
18	2	313.07	383.59	313.07	0.50	156.54
					0.60	187.84
					0.70	219.15
	3	469.61	554.08	469.61	0.50	234.80
					0.60	281.76
					0.70	328.72
	4	626.14	724.56	626.14	0.50	313.07
					0.60	375.69
					0.70	438.30
	5	782.68	895.05	782.68	0.50	391.34
					0.60	469.61
					0.70	547.87
6	939.21	1065.53	939.21	0.50	469.61	
				0.60	563.53	
				0.70	657.45	

18 mm çapında ve 180 mm ankraj derinliğindeki ankraj gruplarında, her ankraj grubu için donatı kapasite değerleri daha küçük çıkmıştır. Ankrajın dayanımını belirleyen faktör donatı olmuştur. Bu derinlikte ankraj grubundaki tasarım dayanımlarına bakarsak; çubuk sayısı 2'den 3'e çıktığında %50, 3'den 4'e çıktığında %34, 4'ten 5'e çıktığında %25, 5'ten 6'ya çıktığında ise %20 oranında artışlar meydana gelmiştir.

**Çizelge 4.24.** D18L15 için ACI 318 tasarım dayanımları.

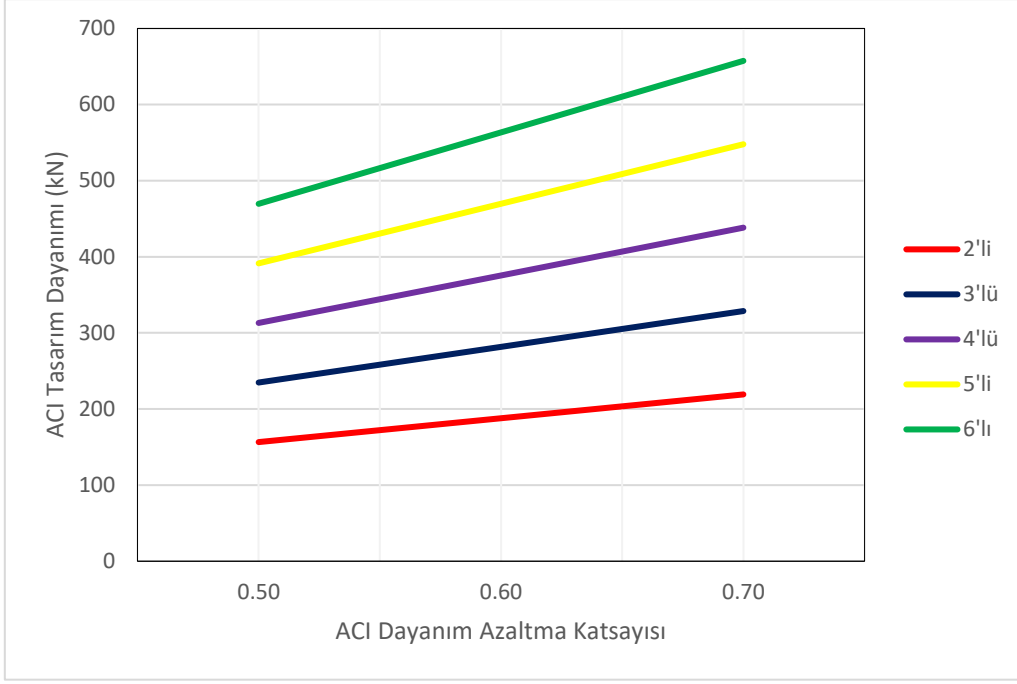
D18L15				Ekilme Derinliği (mm)	270	
Çap (mm)	Ankraj Grubu Çubuk Sayısı	Donatı Kapasitesi (kN)	Koni Kapasitesi (kN)	ACI Kapasite Dayanımı (kN)	Dayanım Azaltma Katsayısı	ACI Tasarım Dayanımı (kN)
18	2	313.07	704.70	313.07	0.50	156.54
					0.60	187.84
					0.70	219.15
	3	469.61	1017.91	469.61	0.50	234.80
					0.60	281.76
					0.70	328.72
	4	626.14	1331.11	626.14	0.50	313.07
					0.60	375.69
					0.70	438.30
	5	782.68	1644.31	782.68	0.50	391.34
					0.60	469.61
					0.70	547.87
6	939.21	1957.51	939.21	0.50	469.61	
				0.60	563.53	
				0.70	657.45	

18 mm çapında ve 270 mm ankraj derinliğindeki ankraj gruplarında, her ankraj grubu için donatı kapasite değerleri daha küçük çıkmıştır. Ankrajın dayanımını belirleyen faktör donatı olmuştur. Bu derinlikte ankraj grubundaki tasarım dayanımlarına bakarsak; çubuk sayısı 2'den 3'e çıktığında %50, 3'den 4'e çıktığında %34, 4'ten 5'e çıktığında %25, 5'ten 6'ya çıktığında ise %20 oranında artışlar meydana gelmiştir. 270 mm derinliğinde tasarım dayanımları ile 180 mm derinliğindeki tasarım dayanımı değerlerinin aynı olduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeni tasarım dayanımını belirleyen faktörün donatı kapasitesi olması ve ankraj derinliğinden etkilenmemesidir.

**Çizelge 4.25.** D18L20 için ACI 318 tasarım dayanımları.

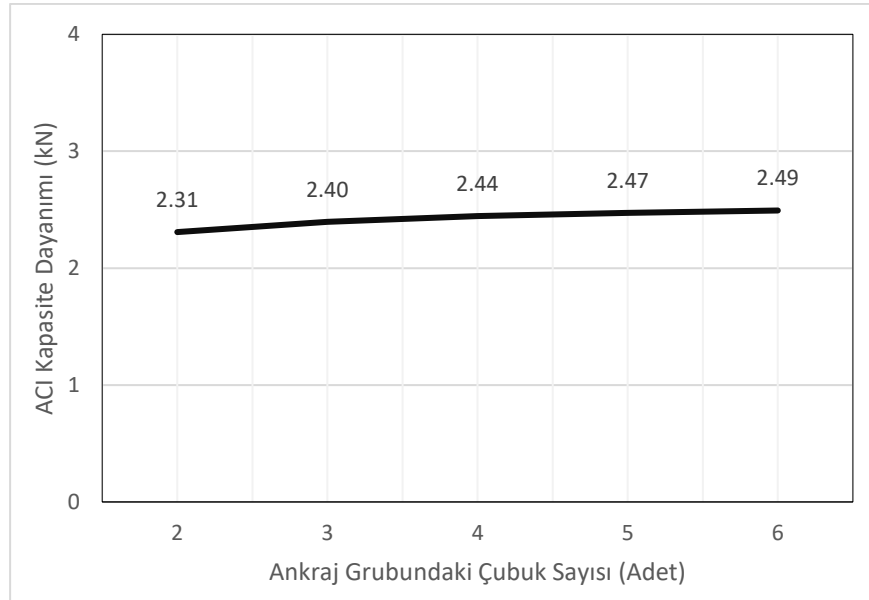
D18L20				Ekilme Derinliği (mm)		360
Çap (mm)	Ankraj Grubu Çubuk Sayısı	Donatı Kapasitesi (kN)	Koni Kapasitesi (kN)	ACI Kapasite Dayanımı (kN)	Dayanım Azaltma Katsayısı	ACI Tasarım Dayanımı (kN)
18	2	313.07	1084.96	313.07	0.50	156.54
					0.60	187.84
					0.70	219.15
	3	469.61	1567.17	469.61	0.50	234.80
					0.60	281.76
					0.70	328.72
	4	626.14	2049.38	626.14	0.50	313.07
					0.60	375.69
					0.70	438.30
	5	782.68	2531.58	782.68	0.50	391.34
					0.60	469.61
					0.70	547.87
6	939.21	3013.79	939.21	0.50	469.61	
				0.60	563.53	
				0.70	657.45	

18 mm çapında ve 360 mm ankraj derinliğindeki ankraj gruplarında, her ankraj grubu için donatı kapasite değerleri daha küçük çıkmıştır. Ankrajın dayanımını belirleyen faktör donatı olmuştur. Bu derinlikte ankraj grubundaki tasarım dayanımlarına bakarsak; çubuk sayısı 2'den 3'e çıktığında %50, 3'den 4'e çıktığında %34, 4'ten 5'e çıktığında %25, 5'ten 6'ya çıktığında ise %20 oranında artışlar meydana gelmiştir. 360 mm derinliğinde tasarım dayanımları ile 180 ve 270 mm derinliğindeki tasarım dayanımı değerlerinin aynı olduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeni tasarım dayanımını belirleyen faktörün donatı kapasitesi olması ve ankraj derinliğinden etkilenmemesidir. 18 mm çapında, 180, 270 ve 360 mm ankraj derinliğindeki ankraj gruplarının ACI 318 tasarım dayanımı değerleri aynı hesaplandığı için, ACI 318 tasarım dayanımı ve ACI 318 dayanım azaltma katsayısı ilişkileri tek grafikte, Şekil 4.17'de gösterilmektedir.



Şekil 4.17. D18L10, D18L15, D18L20 için ACI 318 tasarım dayanımı.

Şekil 4.18’de 18 mm çapındaki çubuklarla oluşturulan ankraj gruplarında çubuk sayısı sabit tutulduğunda, ACI 318 kapasite dayanımlarının derinlik artırıldığında kaç kat artığı gösterilmiştir. Derinlik 90 mm’den 180 mm’ye çıkarıldığında ortalama 2.42 kat artış olduğu, 180 mm’den 270 mm’ye ve 270 mm’den 360 mm çıkarıldığında ise artış olmadığı görülmüştür.



Şekil 4.18. 18 mm için ACI 318 kapasite dayanımı artış oranları grafiği.

#### 4.7. 20 mm Çapındaki Ankraj Grupları İçin ACI 318 Tasarım Değerleri

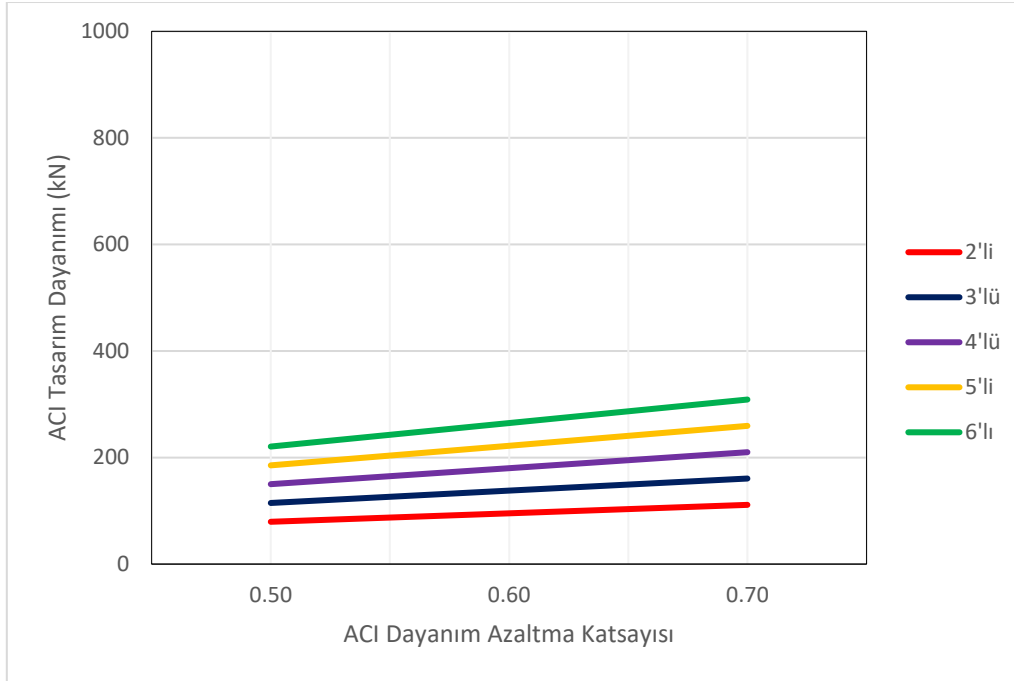
20 mm çapında B420C sınıfı inşaat çeliği için dört farklı derinlikte, 5 farklı ankraj grubu için ACI 318'e göre tasarım dayanımı değerleri hesaplanmıştır. ACI 318 tasarım dayanımı hesabında üç farklı dayanım azaltma katsayısı kullanılmıştır. Dolayısıyla her ankraj grubu için, her farklı ankraj çubuğu değeri ve her farklı ankraj derinliği için üç farklı ACI 318 tasarım dayanımı hesabı oluşturulmuştur. Bulunan ACI 318 tasarım dayanımı değerleri; 5Ø ankraj derinliği için Çizelge 4.26'da, 10Ø ankraj derinliği için Çizelge 4.27'de, 15Ø ankraj derinliği için Çizelge 4.28'de, 20Ø ankraj derinliği için ise Çizelge 4.29'da gösterilmiştir. Bu çizelgeler esas alınarak ACI 318 tasarım dayanımı-dayanım azaltma katsayısı grafikleri oluşturulmuştur.

Çizelge 4.26. D20L5 için ACI 318 tasarım dayanımları.

D20L5				Ekilme Derinliği (mm)		100
Çap (mm)	Ankraj Grubu Çubuk Sayısı	Donatı Kapasitesi (kN)	Koni Kapasitesi (kN)	ACI Kapasite Dayanımı (kN)	Dayanım Azaltma Katsayısı	ACI Tasarım Dayanımı (kN)
20	2	386.50	158.84	158.84	0.50	79.42
					0.60	95.30
					0.70	111.19
	3	579.75	229.44	229.44	0.50	114.72
					0.60	137.66
					0.70	160.61
	4	773.01	300.03	300.03	0.50	150.02
					0.60	180.02
					0.70	210.02
	5	966.26	370.63	370.63	0.50	185.31
					0.60	222.38
					0.70	259.44
	6	1159.51	441.22	441.22	0.50	220.61
					0.60	264.73
					0.70	308.86

20 mm çapında ve 5Ø ankraj derinliğindeki ankraj gruplarında ACI 318 tasarım dayanımı hesabında beton koni kapasite değerleri, donatı kapasite değerlerine göre daha düşük hesaplanmıştır. Bunun nedeni donatı çapının artmasından daha çok ankraj derinliğinin az

olmasından kaynaklanmaktadır. 20 mm çapında, 100 mm ankraj derinliğindeki ankraj gruplarının ACI 318 tasarım dayanımlarının; ankraj grubundaki çubuk sayısı ile dayanım azaltma katsayısı arasındaki ilişki Şekil 4.22’de gösterilmiştir.



**Şekil 4.19.** D20L5 için ACI 318 tasarım dayanımı.

20 mm çapında ve 100 mm ankraj derinliğindeki ankraj gruplarını kendi içinde değerlendirdiğimizde; çubuk sayısı 2’den 3’e çıktığında %44, 3’ten 4’e çıktığında %31, 4’ten 5’e çıktığında %24, 5’ten 6’ya çıktığında ise %19 artış göstermiştir.

20 mm çapında, 100 derinliğindeki ankraj gruplarında ACI 318 tasarım dayanımı hesabında, hesaplanan donatı kapasitesi ve beton koni kapasitesi değerleri Çizelge 4.27’de gösterilmiştir. Donatı kapasite değerleri ve beton koni kapasite değerleri, ankraj grubundaki çubuk sayısı artıkça artmıştır. Donatı kapasite değerleri, beton koni kapasite değerlerine göre daha küçük hesaplanmıştır. Bu durumda ACI 318 kapasite dayanımı olarak, küçük olan değer, donatı kapasitesi kullanılmıştır. ACI 318 tasarım dayanımını belirleyen faktör donatı olmuştur. D20L10 ankraj grupları için ACI 318 tasarım dayanımları Çizelge 4.27’de gösterilmektedir.

**Çizelge 4.27. D20L10 için ACI 318 tasarım dayanımları.**

<b>D20L10</b>				<b>Ekilme Derinliği (mm)</b>	<b>200</b>	
<b>Çap (mm)</b>	<b>Ankraj Grubu Çubuk Sayısı</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	2	386.50	449.27	386.50	0.50	193.25
					0.60	231.90
					0.70	270.55
	3	579.75	648.94	579.75	0.50	289.88
					0.60	347.85
					0.70	405.83
	4	773.01	848.62	773.01	0.50	386.50
					0.60	463.80
					0.70	541.10
	5	966.26	1048.29	966.26	0.50	483.13
					0.60	579.75
					0.70	676.38
6	1159.51	1247.97	1159.51	0.50	579.75	
				0.60	695.71	
				0.70	811.66	

20 mm çapında ve 200 mm ankraj derinliğindeki ankraj gruplarında, her ankraj grubu için donatı kapasite değerleri daha küçük çıkmıştır. Ankrajın dayanımını belirleyen faktör donatı olmuştur. Bu derinlikte ankraj grubundaki tasarım dayanımlarına bakarsak; çubuk sayısı 2'den 3'e çıktığında %50, 3'den 4'e çıktığında %34, 4'ten 5'e çıktığında %25, 5'ten 6'ya çıktığında ise %20 oranında artışlar meydana gelmiştir.

**Çizelge 4.28.** D20L15 için ACI 318 tasarım dayanımları.

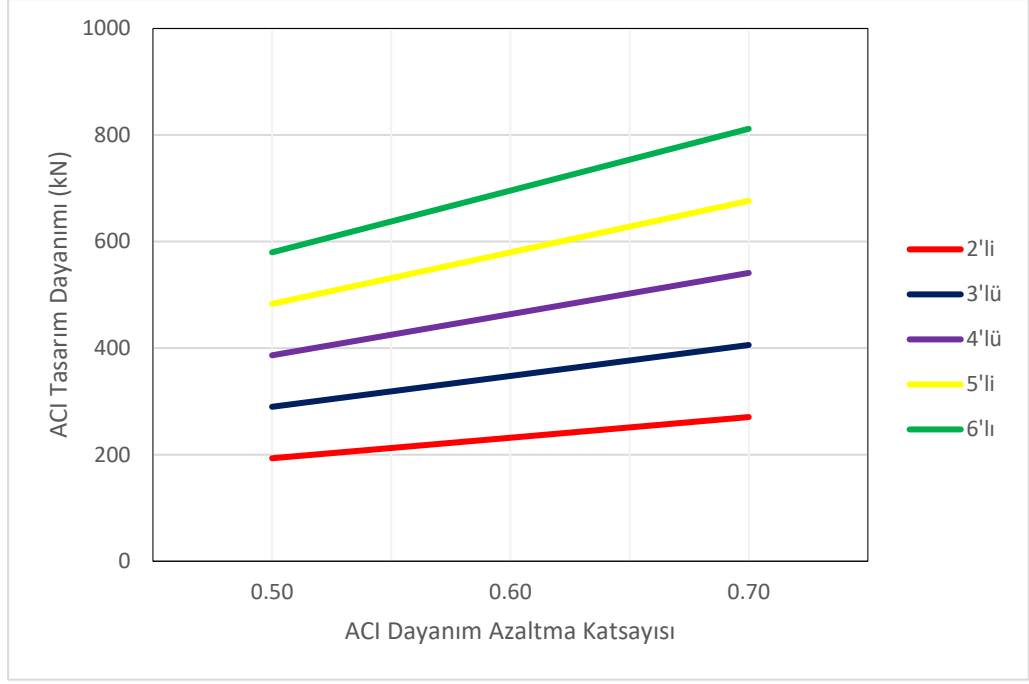
D20L15				Ekilme Derinliği (mm)	300	
Çap (mm)	Ankraj Grubu Çubuk Sayısı	Donatı Kapasitesi (kN)	Koni Kapasitesi (kN)	ACI Kapasite Dayanımı (kN)	Dayanım Azaltma Katsayısı	ACI Tasarım Dayanımı (kN)
20	2	386.50	825.36	386.50	0.50	193.25
					0.60	231.90
					0.70	270.55
	3	579.75	1192.19	579.75	0.50	289.88
					0.60	347.85
					0.70	405.83
	4	773.01	1559.01	773.01	0.50	386.50
					0.60	463.80
					0.70	541.10
	5	966.26	1925.84	966.26	0.50	483.13
					0.60	579.75
					0.70	676.38
6	1159.51	2292.67	1159.51	0.50	579.75	
				0.60	695.71	
				0.70	811.66	

20 mm çapında ve 300 mm ankraj derinliğindeki ankraj gruplarında, her ankraj grubu için donatı kapasite değerleri daha küçük çıkmıştır. Ankrajın dayanımını belirleyen faktör donatı olmuştur. Bu derinlikte ankraj grubundaki tasarım dayanımlarına bakarsak; çubuk sayısı 2'den 3'e çıktığında %50, 3'den 4'e çıktığında %34, 4'ten 5'e çıktığında %25, 5'ten 6'ya çıktığında ise %20 oranında artışlar meydana gelmiştir. 300 mm derinliğinde tasarım dayanımları ile 200 mm derinliğindeki tasarım dayanımı değerlerinin aynı olduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeni tasarım dayanımını belirleyen faktörün donatı kapasitesi olması ve ankraj derinliğinden etkilenmemesidir.

**Çizelge 4.29.** D20L20 için ACI 318 tasarım dayanımları.

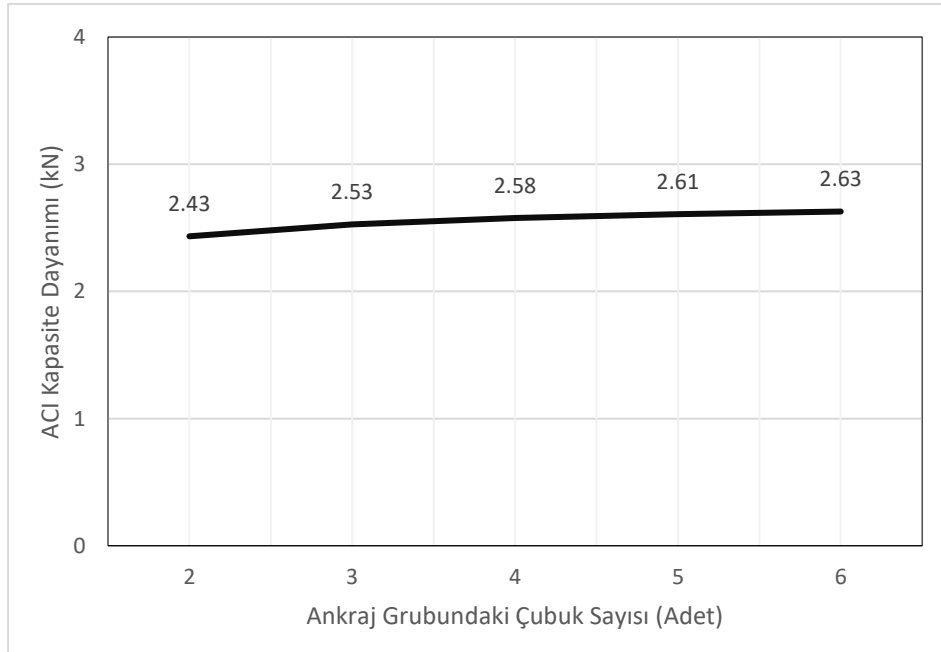
D20L20				Ekilme Derinliği (mm)	400	
Çap (mm)	Ankraj Grubu Çubuk Sayısı	Donatı Kapasitesi (kN)	Koni Kapasitesi (kN)	ACI Kapasite Dayanımı (kN)	Dayanım Azaltma Katsayısı	ACI Tasarım Dayanımı (kN)
20	2	386.50	1270.72	386.50	0.50	193.25
					0.60	231.90
					0.70	270.55
	3	579.75	1835.49	579.75	0.50	289.88
					0.60	347.85
					0.70	405.83
	4	773.01	2400.26	773.01	0.50	386.50
					0.60	463.80
					0.70	541.10
	5	966.26	2965.02	966.26	0.50	483.13
					0.60	579.75
					0.70	676.38
6	1159.51	3529.79	1159.51	0.50	579.75	
				0.60	695.71	
				0.70	811.66	

20 mm çapında ve 400 mm ankraj derinliğindeki ankraj gruplarında, her ankraj grubu için donatı kapasite değerleri daha küçük çıkmıştır. Ankrajın dayanımını belirleyen faktör donatı olmuştur. Bu derinlikte ankraj grubundaki tasarım dayanımlarına bakarsak; çubuk sayısı 2'den 3'e çıktığında %50, 3'den 4'e çıktığında %34, 4'ten 5'e çıktığında %25, 5'ten 6'ya çıktığında ise %20 oranında artışlar meydana gelmiştir. 400 mm derinliğinde tasarım dayanımları ile 200 ve 300 mm derinliğindeki tasarım dayanımı değerlerinin aynı olduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeni tasarım dayanımını belirleyen faktörün donatı kapasitesi olması ve ankraj derinliğinden etkilenmemesidir. 20 mm çapında, 200, 300 ve 400 mm ankraj derinliğindeki ankraj gruplarının ACI 318 tasarım dayanımı değerleri aynı hesaplandığı için, ACI 318 tasarım dayanımı ve ACI 318 dayanım azaltma katsayısı ilişkileri tek grafikte, Şekil 4.20'de gösterilmektedir.



**Şekil 4.20.** D20L10, D20L15, D20L20 için ACI 318 tasarım dayanımı.

Şekil 4.21’de 20 mm çapındaki çubuklarla oluşturulan ankraj gruplarında çubuk sayısı sabit tutulduğunda, ACI 318 kapasite dayanımlarının derinlik artırıldığında kaç kat artığı gösterilmiştir. Derinlik 100 mm’den 200 mm’ye çıkarıldığında ortalama 2.55 kat artış olduğu, 200 mm’den 300 mm’ye ve 300 mm’den 400 mm çıkarıldığında ise artış olmadığı görülmüştür.



**Şekil 4.21.** 20 mm için ACI 318 kapasite dayanımı artış oranları grafiği.

#### 4.8. 24 mm Çapındaki Ankraj Grupları İçin ACI 318 Tasarım Değerleri

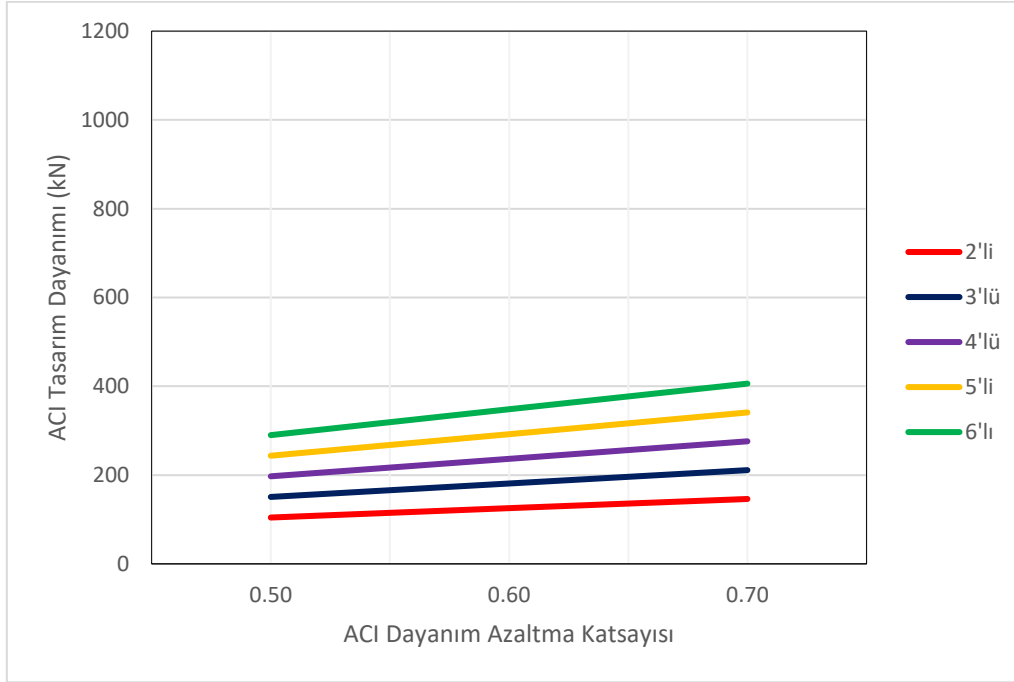
24 mm çapında B420C sınıfı inşaat çeliği için dört farklı derinlikte, 5 farklı ankraj grubu için ACI 318'e göre tasarım dayanımı değerleri hesaplanmıştır. ACI 318 tasarım dayanımı hesabında üç farklı dayanım azaltma katsayısı kullanılmıştır. Dolayısıyla her ankraj grubu için, her farklı ankraj çubuğu değeri ve her farklı ankraj derinliği için üç farklı ACI 318 tasarım dayanımı hesabı oluşturulmuştur. Bulunan ACI 318 tasarım dayanımı değerleri; 5Ø ankraj derinliği için Çizelge 4.30'da, 10Ø ankraj derinliği için Çizelge 4.31'de, 15Ø ankraj derinliği için Çizelge 4.32'de, 20Ø ankraj derinliği için ise Çizelge 4.33'te gösterilmiştir. Bu çizelgeler esas alınarak ACI 318 tasarım dayanımı-dayanım azaltma katsayısı grafikleri oluşturulmuştur.

Çizelge 4.30. D24L5 için ACI 318 tasarım dayanımları.

D24L5				Ekilme Derinliği (mm)		120
Çap (mm)	Ankraj Grubu Çubuk Sayısı	Donatı Kapasitesi (kN)	Koni Kapasitesi (kN)	ACI Kapasite Dayanımı (kN)	Dayanım Azaltma Katsayısı	ACI Tasarım Dayanımı (kN)
24	2	556.57	208.80	208.80	0.50	104.40
					0.60	125.28
					0.70	146.16
	3	834.86	301.60	301.60	0.50	150.80
					0.60	180.96
					0.70	211.12
	4	1113.15	394.40	394.40	0.50	197.20
					0.60	236.64
					0.70	276.08
	5	1391.43	487.20	487.20	0.50	243.60
					0.60	292.32
					0.70	341.04
	6	1669.72	580.00	580.00	0.50	290.00
					0.60	348.00
					0.70	406.00

24 mm çapında ve 5Ø ankraj derinliğindeki ankraj gruplarında ACI 318 tasarım dayanımı hesabında beton koni kapasite değerleri, donatı kapasite değerlerine göre daha düşük hesaplanmıştır. Bunun nedeni donatı çapının artmasından daha çok ankraj derinliğinin az

olmasından kaynaklanmaktadır. 20 mm çapında, 100 mm ankraj derinliğindeki ankraj gruplarının ACI 318 tasarım dayanımlarının; ankraj grubundaki çubuk sayısı ile dayanım azaltma katsayısı arasındaki ilişki Şekil 4.22’de gösterilmiştir.



**Şekil 4.22.** D24L5 için ACI 318 tasarım dayanımı.

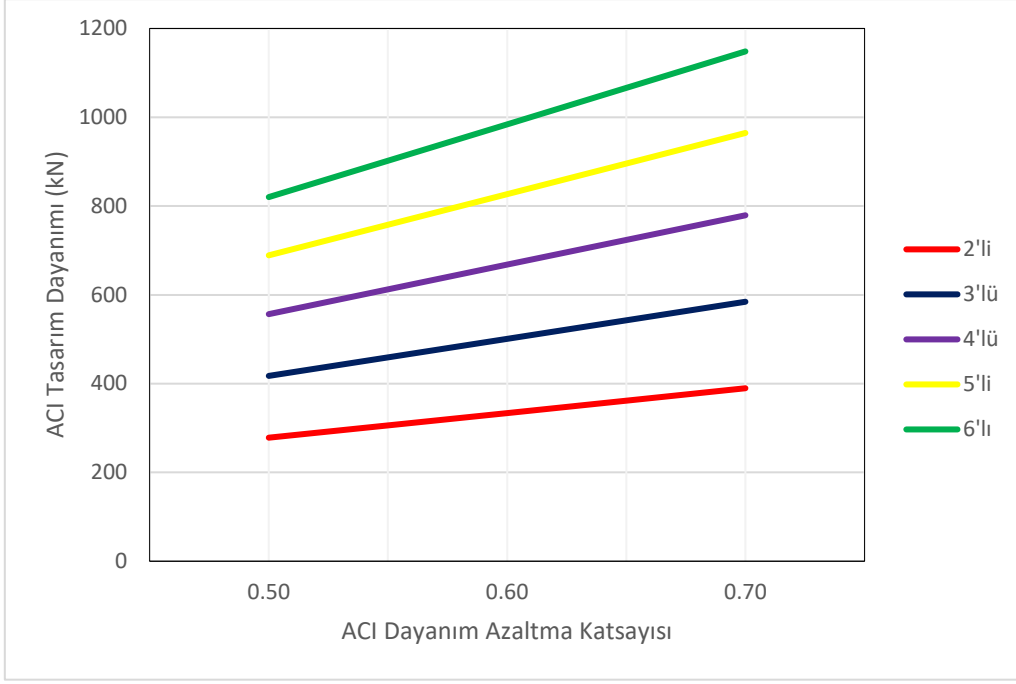
24 mm çapında ve 120 mm ankraj derinliğindeki ankraj gruplarını kendi içinde değerlendirdiğimizde; çubuk sayısı 2’den 3’e çıktığında %44, 3’ten 4’e çıktığında %31, 4’ten 5’e çıktığında %24, 5’ten 6’ya çıktığında ise %19 artış göstermiştir.

24 mm çapında, 100 mm derinliğindeki ankraj gruplarında ACI 318 tasarım dayanımı hesabında, hesaplanan donatı kapasitesi ve beton koni kapasitesi değerleri Çizelge 4.31’de gösterilmiştir. Donatı kapasite değerleri ve beton koni kapasite değerleri, ankraj grubundaki çubuk sayısı arttıkça artmıştır. 2’li, 3’lü ve 4’lü ankraj gruplarında donatı kapasite değerleri, beton koni kapasite değerlerine göre daha küçük hesaplanmıştır. 5’li ve 6’lı ankraj gruplarında tam tersi bir durum gözlemlenmiştir. Bunun nedeni 5’li ve 6’lı ankraj gruplarında donatı sayısının artışı donatıyı, betona oranla daha fazla güçlendirmesidir. D24L10 ankraj grupları için ACI 318 tasarım dayanımları Çizelge 4.31’de gösterilmektedir.

**Çizelge 4.31.** D24L10 için ACI 318 tasarım dayanımları.

D24L10				Ekilme Derinliği (mm)	240	
Çap (mm)	Ankraj Grubu Çubuk Sayısı	Donatı Kapasitesi (kN)	Koni Kapasitesi (kN)	ACI Kapasite Dayanımı (kN)	Dayanım Azaltma Katsayısı	ACI Tasarım Dayanımı (kN)
24	2	556.57	590.58	556.57	0.50	278.29
					0.60	333.94
					0.70	389.60
	3	834.86	853.06	834.86	0.50	417.43
					0.60	500.92
					0.70	584.40
	4	1113.15	1115.54	1113.15	0.50	556.57
					0.60	667.89
					0.70	779.20
	5	1391.43	1378.02	1378.02	0.50	689.01
					0.60	826.81
					0.70	964.61
6	1669.72	1640.50	1640.50	0.50	820.25	
				0.60	984.30	
				0.70	1148.35	

24 mm çapında ve 240 mm ankraj derinliğindeki ankraj gruplarında, her ankraj grubu için donatı kapasite değerleri daha küçük çıkmıştır. Ankrajın dayanımını belirleyen faktör donatı olmuştur. Bu derinlikte ankraj grubundaki tasarım dayanımlarına bakarsak; çubuk sayısı 2'den 3'e çıktığında %50, 3'den 4'e çıktığında %34, 4'ten 5'e çıktığında %24, 5'ten 6'ya çıktığında ise %19 oranında artışlar meydana gelmiştir. D24L10 ankraj grubu ACI 318 tasarım dayanımlarının; ankraj grubundaki çubuk sayısı ile dayanım azaltma katsayısı arasındaki ilişki Şekil 4.23'te gösterilmiştir.



**Şekil 4.23.** D24L10 için ACI 318 tasarım dayanımı.

24 mm çapında ve 360 mm ankraj derinliğindeki ankraj gruplarında, her ankraj grubu için donatı kapasite değerleri daha küçük çıkmıştır. Ankrajın dayanımını belirleyen faktör donatı olmuştur. Bu derinlikte ankraj grubundaki tasarım dayanımlarına bakarsak; çubuk sayısı 2'den 3'e çıktığında %50, 3'den 4'e çıktığında %34, 4'ten 5'e çıktığında %25, 5'ten 6'ya çıktığında ise %20 oranında artışlar meydana gelmiştir. 360 mm derinliğinde tasarım dayanımları ile 240 mm derinliğindeki tasarım dayanımı değerlerinin aynı olduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeni tasarım dayanımını belirleyen faktörün donatı kapasitesi olması ve ankraj derinliğinden etkilenmemesidir.

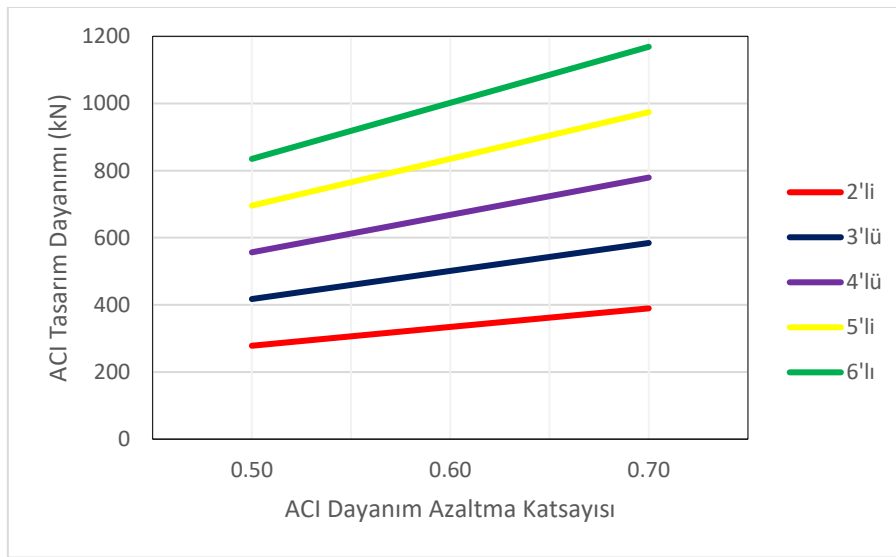
**Çizelge 4.32.** D24L15 için ACI 318 tasarım dayanımları.

D24L15				Ekilme Derinliği (mm)		360
Çap (mm)	Ankraj Grubu Çubuk Sayısı	Donatı Kapasitesi (kN)	Koni Kapasitesi (kN)	ACI Kapasite Dayanımı (kN)	Dayanım Azaltma Katsayısı	ACI Tasarım Dayanımı (kN)
24	2	556.57	1084.96	556.57	0.50	278.29
					0.60	333.94
					0.70	389.60
	3	834.86	1567.17	834.86	0.50	417.43
					0.60	500.92
					0.70	584.40
	4	1113.15	2049.38	1113.15	0.50	556.57
					0.60	667.89
					0.70	779.20
	5	1391.43	2531.58	1391.43	0.50	695.72
					0.60	834.86
					0.70	974.00
6	1669.72	3013.79	1669.72	0.50	834.86	
				0.60	1001.83	
				0.70	1168.80	

24 mm çapında ve 480 mm ankraj derinliğindeki ankraj gruplarında, her ankraj grubu için donatı kapasite değerleri daha küçük çıkmıştır. Ankrajın dayanımını belirleyen faktör donatı olmuştur. Bu derinlikte ankraj grubundaki tasarım dayanımlarına bakarsak; çubuk sayısı 2'den 3'e çıktığında %50, 3'den 4'e çıktığında %34, 4'ten 5'e çıktığında %25, 5'ten 6'ya çıktığında ise %20 oranında artışlar meydana gelmiştir. 480 mm derinliğinde tasarım dayanımları ile 360 mm derinliğindeki tasarım dayanımı değerlerinin aynı olduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeni tasarım dayanımını belirleyen faktörün donatı kapasitesi olması ve ankraj derinliğinden etkilenmemesidir. 24 mm çapında, 360 ve 480 mm ankraj derinliğindeki ankraj gruplarının ACI 318 tasarım dayanımı değerleri aynı hesaplandığı için, ACI 318 tasarım dayanımı ve ACI 318 dayanım azaltma katsayısı ilişkileri tek grafikte, Şekil 4.24'te gösterilmektedir.

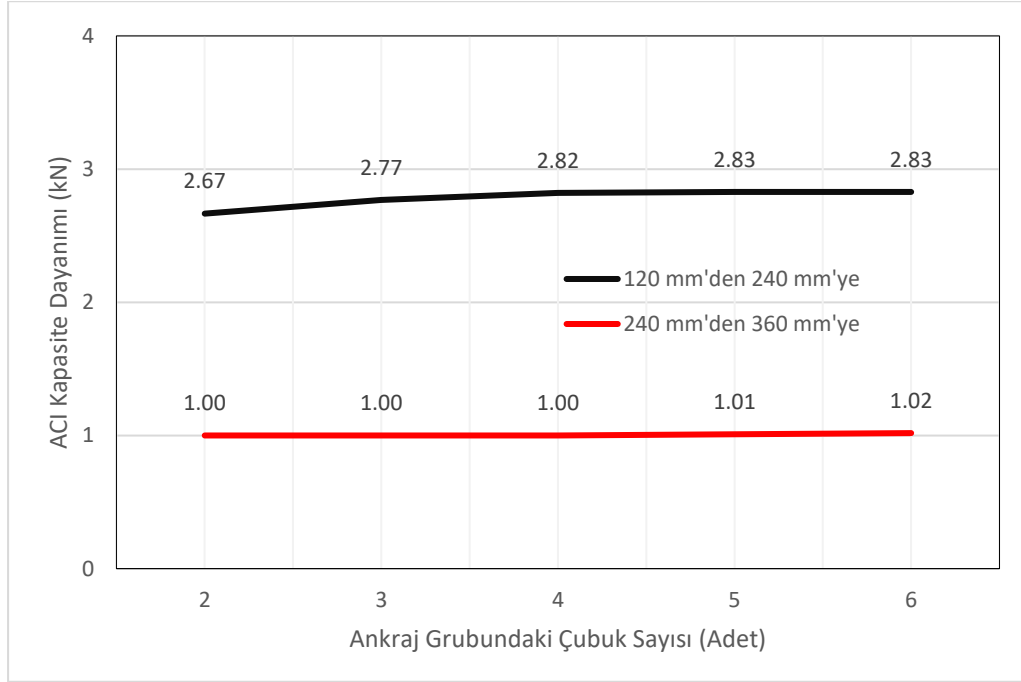
**Çizelge 4.33.** D24L20 için ACI 318 tasarım dayanımları.

D24L20				Ekilme Derinliği (mm)	480	
Çap (mm)	Ankraj Grubu Çubuk Sayısı	Donatı Kapasitesi (kN)	Koni Kapasitesi (kN)	ACI Kapasite Dayanımı (kN)	Dayanım Azaltma Katsayısı	ACI Tasarım Dayanımı (kN)
24	2	556.57	1670.41	556.57	0.50	278.29
					0.60	333.94
					0.70	389.60
	3	834.86	2412.82	834.86	0.50	417.43
					0.60	500.92
					0.70	584.40
	4	1113.15	3155.22	1113.15	0.50	556.57
					0.60	667.89
					0.70	779.20
	5	1391.43	3897.62	1391.43	0.50	695.72
					0.60	834.86
					0.70	974.00
6	1669.72	4640.03	1669.72	0.50	834.86	
				0.60	1001.83	
				0.70	1168.80	



**Şekil 4.24.** D24L15, D24L20 için ACI 318 tasarım dayanımı.

Şekil 4.25'te 24 mm çapındaki çubuklarla oluşturulan ankraj gruplarında çubuk sayısı sabit tutulduğunda, ACI 318 kapasite dayanımlarının derinlik artırıldığında kaç kat artışı gösterilmiştir. Derinlik 120 mm'den 240 mm'ye çıkarıldığında ortalama 2.78 kat artış olduğu, 240 mm'den 360 mm'ye çıkarıldığında 1.01 kat ve 360 mm'den 480 mm çıkarıldığında ise artış olmadığı görülmüştür.



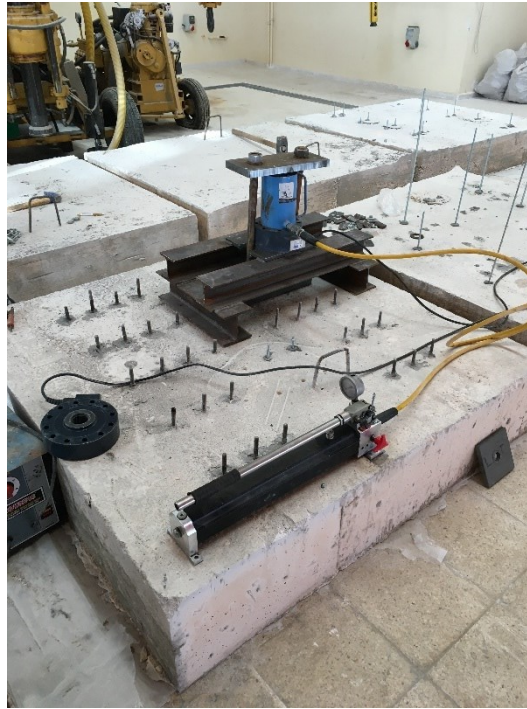
Şekil 4.25. 24 mm için ACI 318 kapasite dayanımı artış oranları grafiği.

## 5. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu tez çalışmasında ikili grup kimyasal ankrajların çekme davranışlarını etkileyen faktörler incelenmiştir. Değişken olarak ankraj çubuğu türü, ankraj çubuğu çapı, ankraj gömülme derinliği seçilmiştir. Çubuk türü olarak B420C sınıfı nervürlü çelik ve 4.6 kalitesinde sonsuz dişli çelik kullanılmıştır. Çubuk çapı olarak 8, 10, 12 ve 14 mm tercih edilmiştir. Gömme derinlikleri 40, 80 ve 120 mm olarak belirlenmiştir. Bu ankrajlara aksenal çekme kuvveti etki ettirilmiştir. Elde edilen yük-deplasman grafiklerinden; başlangıç rijitlikleri, deplasman süneklik oranları, enerji yutma kapasiteleri ve göçme modları tespit edilmiştir. Sonucunda ACI 318 (2008)'e göre kapasite ve dayanımları hesaplanmış, deney sonuçları ile karşılaştırılıp, güvenlik katsayıları bulunmuştur.

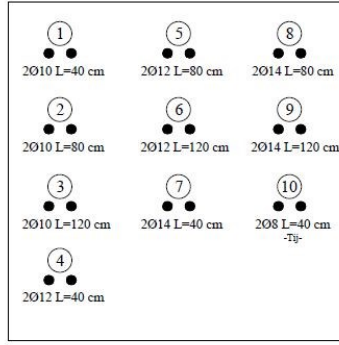
### 5.1. Ankrajların Ekilme Geometrisi

Farklı çap ve derinlikteki 23 adet ikili ankraj grubu, donatısız beton bloklara ekilmiştir. Çekme testi uygulanmıştır. Deneysel çalışma anından bir görüntü Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Delikler uygulanacak donatı çapından 4 mm fazla olarak açılmışlardır. Ankraj ekim planı Şekil 5.2'de gösterilmektedir.

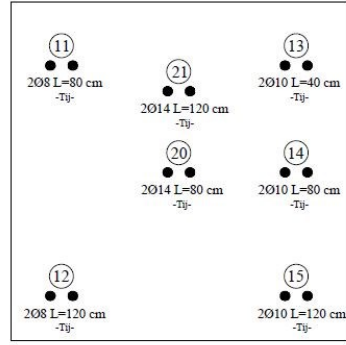


Şekil 5.1. Çekme deneyi uygulanan ankraj gruplarının genel gösterimi.

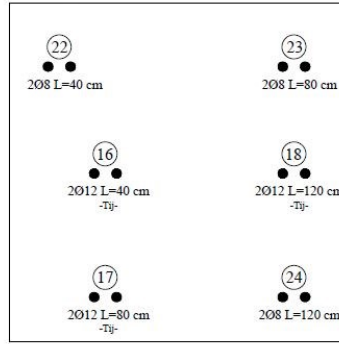
## 1. BLOK



## 2. BLOK



## 3. BLOK



**Şekil 5.2.** Ankraj ekim planı.

Ankraj gruplarında iki ankraj arası mesafe 125 mm olarak sabit tutulmuştur. Çizelge 3.1’de verilen ASTM E 488 ankraj ekme aralıkları ve kenar uzunlukları tablosuna göre olması gereken ankraj arası mesafe ve kenar uzunluk değerleri Çizelge 5.1’de verilmiştir.

**Çizelge 5.1.** ASTM E 488’e göre olması gereken sınır değerler.

Çap (mm)	40 mm Ankraj Derinliği		80 mm Ankraj Derinliği		120 mm Ankraj Derinliği	
	Ara Mesafe (mm)	Kenar Mesafesi (mm)	Ara Mesafe (mm)	Kenar Mesafesi (mm)	Ara Mesafe (mm)	Kenar Mesafesi (mm)
8	80	40	80	60	120	90
10			120	80		
12			160			
14						

Çizelge 5.1 incelendiğinde 125 mm'lik ankrajlar arası mesafe 14 mm çapındaki ankraj çubuğunun 80 mm derinliğinde, olması gereken 160 mm ölçüsünden küçük kalmıştır. Diğer ankraj gruplarında gerekli ara mesafe ve kenar mesafe şartları sağlanmıştır.

## 5.2.Malzeme

### 5.2.1.Beton

Ankrajların ekildiği betonlar donatısız ve C20/25 sınıfındadır. Kullanılan betonların ağırlıkça karışım oranları Çizelge 5.2'de verilmiştir. Beton dökümü sırasında alınan numunelerin 28 günlük dayanım sonuçları ise Çizelge 5.3'te verilmiştir.

**Çizelge 5.2.** 1 m<sup>3</sup> betonun ağırlıkça karışım reçetesi

Malzeme (kg/m <sup>3</sup> )	Miktar (kg)
0-5 mm taş tozu	1170
5-12 mm kırmataş	350
12-22 mm kırmataş	450
CEM I 42.5	220
Su	175
Kimyasal katkı	2.5

**Çizelge 5.3.** 28 günlük beton basınç dayanımları

I	II	Ortalama
24.17 MPa	24.71 MPa	24.44 MPa

### 5.2.2.Kimyasal yapıştırıcı

Ankrajların ekilmesi için iki bileşenli, kartuşlu olarak ifade edilen yapıştırıcı kullanılmıştır. Hızlı kür alan bir ürün olup, yüksek performanslıdır. Uygulamada yaygın olarak filiz ekme işlerinde kullanılmaktadır. Kullanılan malzemenin yoğunluğu 1.70 kg/lt'dir. Basınç dayanımı 85 N/mm<sup>2</sup>'dir.

### 5.2.3.Ankraj donatıları

B420C sınıfı nervürlü çelik ve 4.6 kalitesinde sonsuz dişli çelik kullanılmıştır. Her iki sınıf çeliğin karakteristik özellikleri aynıdır. Sadece karbon içerikleri farklıdır. Her iki tipte de 8, 10, 12 ve 14 mm çapında çubuklar tercih edilmiştir.



**Şekil 5.3.** B420C sınıfı nervürlü çelik ve 4.6 kalitesinde sonsuz dişli çelik gösterimi.

### 5.3. Ankraj Ekilmesi

ASTM E-488 yönetmeliğinde belirtilen kenar ve ara mesafelere dikkat edilerek açılan ankraj delikleri basınçlı hava yardımıyla temizlenerek, tozdan arındırılmıştır. Delik çapları, çubuk çaplarından 4 mm geniş olacak şekilde açılmıştır. Açılan deliklere, kimyasal yapıştırıcı yardımıyla çubuklar ekilmiştir. Ekim sırasında delik içinde hava kabarcığı kalmamasına ve çubukların dik bir şekilde ekilmesine dikkat edilmiştir.

### 5.4. Parametreler

Bu çalışmada B420C sınıfı nervürlü çelik ve 4.6 kalitesinde sonsuz dişli tij çelikleri olmak üzere iki farklı ankraj çubuğu kullanılmıştır. 8, 10, 12 ve 14 mm olmak üzere dört farklı çubuk çapı kullanılmıştır. 40, 80 ve 120 mm olmak üzere üç farklı ankraj derinliği belirlenmiştir. Numune isimlendirme tablosu Çizelge 5.3'te verilmiştir.

**Çizelge 5.4.** Numune isimlendirme tablosu

İsmlendirme	Çelik Sınıfı	Çap (mm)	Derinlik (mm)	İsmlendirme	Çelik Sınıfı	Çap (mm)	Derinlik (mm)
N8L40	B420C	8	40	T8L40	4.6 kalitesinde sonsuz dişli tij çelikleri	8	40
N8L80			80	T8L80			80
N8L120			120	T8L120			120
N10L40		10	40	T10L40		10	40
N10L80			80	T10L80			80
N10L120			120	T10L120			120
N12L40		12	40	T12L40		12	40
N12L80			80	T12L80			80
N12L120			120	T12L120			120
N14L40		14	40	T14L80		14	80
N14L80			80	T14L120			120
N14L120			120				

### 5.5. Ankraj Çekme Deneyi

Ekilen ankraj çubuklarına çekip çıkarma deneyi uygulanarak, çekme altındaki dayanımlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Deney düzeneği; hidrolik piston, kuvveti ölçmek için yük hücresi, deplasman ölçer, göçme tipinin tespiti için çelik blok, veri toplama cihazı ve ankraj çubuğunu tutmak için dişli çene kullanılmıştır. Deney düzeneği Şekil 5.4'te gösterilmiştir. Deney düzeneğinde yükleri eşit olarak bölebilmek için kullanılan plaka, rijit olması amacıyla 2 cm kalınlıkta kullanılmıştır.



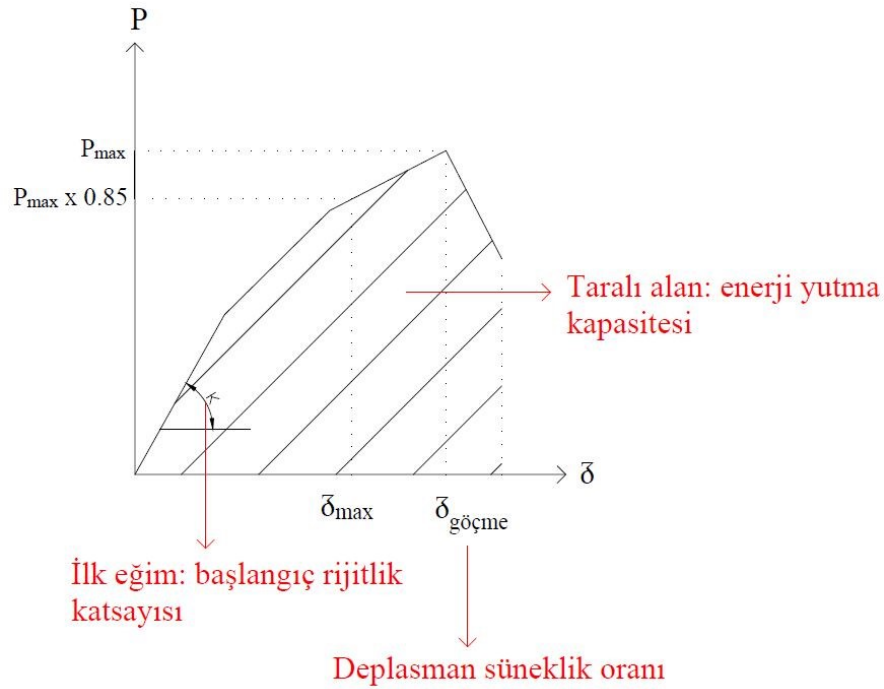
Şekil 5.4. Deney düzeneğinin gösterimi.

### 5.6. Yük-Deplasman Eğrisinden Hesaplamalar

Başlangıç rijitliği: Kimyasal ankraji oluşturan beton, kimyasal yapıştırıcı ve donatı birleşiminin rijitliği yük-deplasman eğrisinin eğimidir (Şekil 5.5).

Deplasman süneklik oranı: Kimyasal ankrajlarda göçme tiplerine göre tespit edilmektedir. Dayanım kaybı olan donatılarda ve dayanım artışı olan numunelerde farklı belirlenmektedir. Dayanım kaybı olan sistemlerde, maksimum yükün yüzde 85'ine denk gelen değer göçme donatı oranıdır. Dayanım artışı olan sistemlerde donatı göçme oranı ise kopma donatısındaki deplasman değeridir. Maksimum yüke karşılık gelen deplasman değeri ise akma donatı oranını vermektedir. Göçme deplasman oranının, akma deplasman değerine oranlanması ile de deplasman süneklik oranı belirlenmiştir (Şekil 5.5).

Enerji yutma kapasitesi: Elde edilen grafikteki yük-deplasman eğrisinin altındaki alanın bulunmasıyla belirlenmiştir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5. Yük-deplasman eğrisinden ilgili değerlerin hesaplanması.

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

ACI 318 Ek-D'de ankrajların çekme dayanım hesabıyla ilgili olarak; donatı kapasitesi, beton koni kapasitesi ve sıyrılma kapasitesi olmak üzere üç farklı dayanım hesabı belirtilmiştir. Bu üç dayanım standartta verilen formülasyona göre hesaplanmaktadır. En küçüğü ankraj kapasite dayanımını ve göçme modunu belirlemektedir. Sonrasında ortamın durumuna bağlı olarak ve işçilik kalitesine göre bir azaltma katsayısı ile çarpılarak ankraj dayanımı belirlenmektedir. Bu çalışmada işçilik kalitesi ve ortam koşullarından orta derecede etkilenen, güvenilirliği orta dayanım azaltma katsayısı seçilmiştir. Çizelge 3.2'de verilen ACI 318 dayanım azaltma katsayıları tablosundan, donatısız beton için verilen C2 sınıfı değerleri 0.55 ile 0.65'in ortalaması alınarak 0.60 değeri ile çarpılmıştır. Deneysel çalışma için kullanılan ankraj gruplarına ait tasarım dayanım değerleri Çizelge 5.4'te gösterilmiştir. Deneysel çalışmada sıyrılma kapasite değerleri çok düşük çıktığı için tasarım dayanımı hesabında dikkate alınmamıştır.

**Çizelge 5.5.** Ankraj çubukları için ACI dayanım değerleri

Numune	Çap (mm)	Derinlik (mm)	Donatı Kapasitesi (kN)	Koni Kapasitesi (kN)	Sıyırılma Kapasitesi (kN)	ACI Kapasite Dayanımı (kN)	Dayanım Azaltma Katsayısı	ACI Tasarım Dayanımı (kN)
N8L40	8	40	53.56	95.50	0.18	53.56	0.60	32.14
N8L80		80	53.56	156.10		53.56		32.14
N8L120		120	53.56	216.96		53.56		32.14
N10L40	10	40	91.34	95.50	0.22	91.34		54.80
N10L80		80	91.34	156.10		91.34		54.80
N10L120		120	91.34	216.96		91.34		54.80
N12L40	12	40	132.79	95.50	0.26	95.50		57.30
N12L80		80	132.79	156.10		132.79		79.67
N12L120		120	132.79	216.96		132.79		79.67
N14L40	14	40	181.96	95.50	0.31	95.50		57.30
N14L80		80	181.96	156.10		156.10		93.66
N14L120		120	181.96	216.96		181.96		109.18
T8L40	8	40	53.56	95.50	0.18	53.56		32.14
T8L80		80	53.56	156.10		53.56		32.14
T8L120		120	53.56	216.96		53.56		32.14
T10L40	10	40	91.34	95.50	0.22	91.34		54.80
T10L80		80	91.34	156.10		91.34		54.80
T10L120		120	91.34	216.96		91.34		54.80
T12L40	12	40	132.79	95.50	0.26	95.50		57.30
T12L80		80	132.79	156.10		132.79		79.67
T12L120		120	132.79	216.96		132.79		79.67
T14L80	14	80	181.96	156.10	0.31	156.10		93.66
T14L120		120	181.96	216.96		181.96		109.18

B420C sınıfı, 8 ve 10 mm çapındaki ankraj gruplarının, bütün derinliklerinde tasarım dayanımını belirleyen faktör ankraj çubuğu olmuştur. Çünkü ankraj donatı kapasitesi ve beton koni kapasitesi hesaplandığında, donatı kapasitesi daha küçük çıkmıştır. Bu yüzden donatı kapasitesi ACI 318 kapasite dayanımı olmuştur. B420C sınıfı, 12 mm çapında, 40 mm derinlikteki ankraj gruplarında donatı daha güçlü tespit edilmiştir. Bu yüzden tasarım dayanımını belirleyen faktör beton olmuştur. Ancak 80 ve 120 mm derinlikte tam tersi bir durum olmuş ve kapasite dayanımı donatı kapasitesi olmuştur. Bunun nedeni de derinliğin artmasıdır. B420C sınıfı, 14 mm çapında, 40 ve 80 mm derinliğindeki ankraj gruplarının kapasite hesaplarında beton koni kapasitesi daha düşük çıkmıştır. Kapasite dayanımını belirleyen faktör beton olmuştur. 120 mm derinliğinde ise tam tersi bir durum gözlemlenmiştir.

Tij elikleri, 8 ve 10 mm çapındaki ankraj gruplarının, bütün derinliklerinde tasarım dayanımını belirleyen faktör ankraj çubuğu olmuştur. Çünkü ankraj donatı kapasitesi ve beton koni kapasitesi hesaplandığında, donatı kapasitesi daha küçük çıkmıştır. Bu yüzden donatı kapasitesi ACI 318 kapasite dayanımı olmuştur. Tij elik sınıfı 12 mm çapında, 40 mm derinlikteki ankraj gruplarında donatı daha güçlü tespit edilmiştir. Bu yüzden tasarım dayanımını belirleyen faktör beton olmuştur. Ancak 80 ve 120 mm derinlikte tam tersi bir durum olmuş ve kapasite dayanımı donatı kapasitesi olmuştur. Bunun nedeni de derinliğin artmasıdır. Tij elik sınıfı 14 mm çapında, 80 ve 120 mm derinliğindeki ankraj grupları kapasite hesaplarında donatı kapasite değeri, beton koni kapasite değerine göre daha küçük çıkmıştır. Ankraj dayanımını belirleyen faktör donatı olmuştur.

## 6.DENEY SONUÇLARI

Çalışmanın bu kısmında; farklı çap, farklı gömme derinlikleri ve farklı çubuk türleriyle ekimi yapılan ankrajlarda çekip çıkarma deneyleri sonucunda elde edilen yük-deplasman eğrileri, başlangıç rijitlikleri, deplasman süneklik oranları, enerji yutma kapasiteleri, göçme tipleri tespit edilip, açıklanmıştır. B420C sınıfı çubuklar için deney, hesaplama sonuçları ve göçme modları Çizelge 6.1’de ve Tij çelik çubuklar için de Çizelge 6.2’de verilmiştir.

**Çizelge 6.1.** B420C sınıfı çubuklar için deney ve hesaplama sonuçları

Ankraj Grubu	Çekme Dayanımı (kN)	Rijitlik Katsayısı (kN/mm)	Deplasman Süneklik Oranı (mm)	Enerji Yutma Kapasitesi (kN*mm)	Göçme Modları
N8L40	21.87	62.00	1.32	1.160	Koni+sıyrılma
N8L80	14.59	17.00	8.06	22.050	Koni
N8L120	8.56	45.00	0.80	0.310	Koni
N10L40	9.39	75.00	0.63	0.490	Koni+sıyrılma
N10L80	17.56	44.00	5.88	20.030	Koni
N10L120	13.18	77.00	4.14	11.850	Koni
N12L40	1.06	87.00	5.45	20.460	Koni+sıyrılma
N12L80	15.97	78.00	9.90	39.890	Koni
N12L120	31.34	58.00	9.39	34.960	Koni
N14L40	13.13	75.00	1.05	3.170	Koni+sıyrılma
N14L80	65.91	48.00	5.72	13.950	Koni
N14L120	26.86	72.00	6.76	30.420	Koni

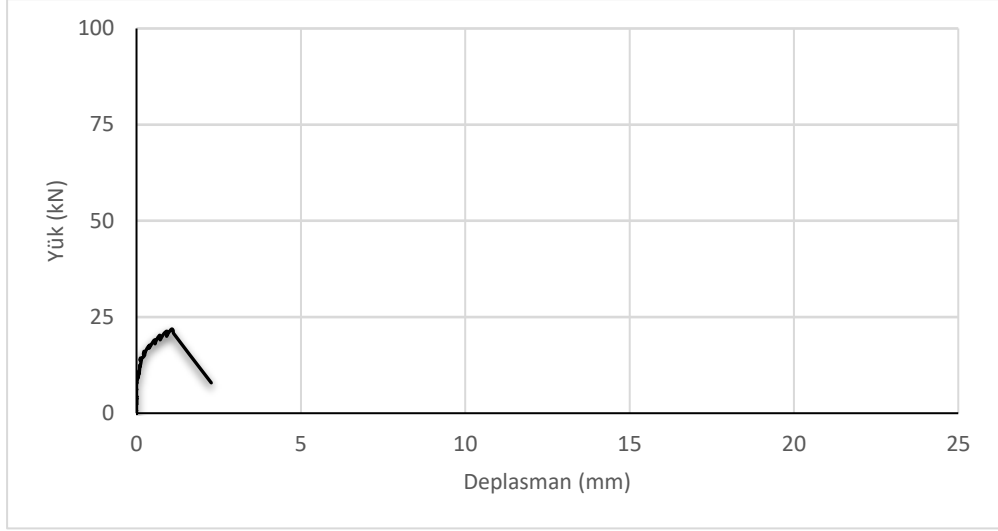
**Çizelge 6.2.** Tij çelikleri için deney ve hesaplama sonuçları

Ankraj Grubu	Çekme Dayanımı (kN)	Rijitlik Katsayısı (kN/mm)	Deplasman Süneklik Oranı (mm)	Enerji Yutma Kapasitesi (kN*mm)	Göçme Modları
T8L40	4.45	85.00	4.91	20.970	Koni+sıyrılma
T8L80	12.42	73.00	3.78	17.480	Koni
T8L120	6.22	81.00	20.48	125.500	Koni
T10L40	23.99	49.00	2.78	2.020	Koni+sıyrılma
T10L80	24.91	70.00	17.81	108.610	Koni
T10L120	22.87	77.00	6.80	35.210	Koni
T12L40	8.48	66.00	3.69	7.120	Koni
T12L80	40.03	55.00	7.16	26.350	Yarılma
T12L120	49.99	45.00	6.74	14.650	Koni
T14L80	52.22	33.00	5.98	12.400	Koni
T14L120	60.95	67.00	14.77	84.560	Koni

Göçme modları incelendiğinde hem B420C sınıfı hem de tij çubukları için genellikle koni şeklinde gerçekleşmiştir. Çekme dayanımları, yük hücresi ile belirlenmiştir. Veri toplama sistemi elde edilen verilerden yük-deplasman grafikleri oluşturulmuştur. Oluşturulan yük-deplasman eğrilerinden başlangıç rijitliği, deplasman süneklik oranı ve enerji yutma kapasiteleri elde edilmiştir.

#### **6.1. N8L40 numunesine ait deney sonuçları**

Bu kısımda 8 mm çapında, 40 mm derinliğine sahip B420C sınıfı ankraj grubuna uygulanan çekme kuvveti neticesinde ortaya çıkan sonuçlar açıklanmıştır. Şekil 6.1'de bu ankraj grubuna ait yük-deplasman eğrisi gösterilmiştir.

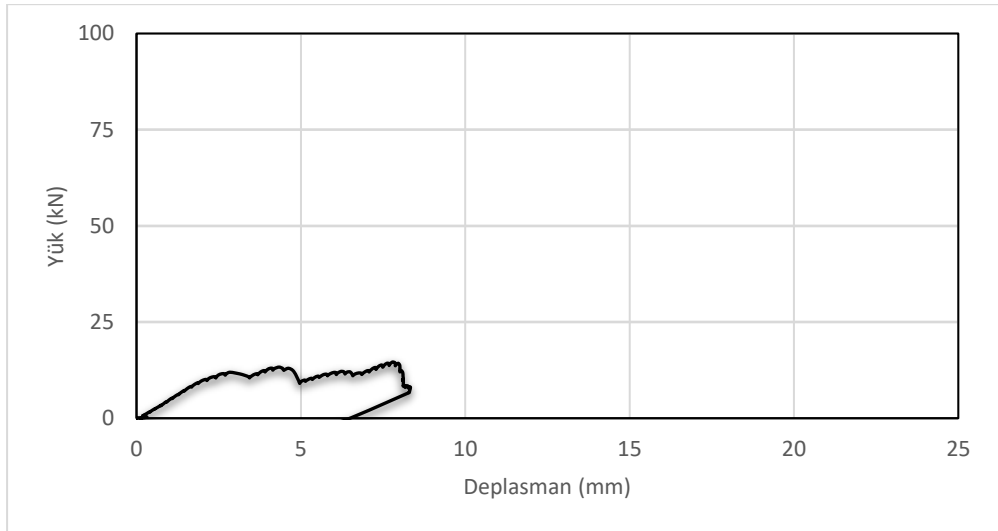


**Şekil 6.1.** N8L40 numunesine ait yük-deplasman eğrisi

8 mm çapında, nervürlü inşaat demiri, 40 mm ekilme derinliğindeki ikili ankraj grubuna uygulanan çekme kuvveti neticesinde, ankraj grubu 21.87 kN çekme dayanımı göstermiştir. 40 mm derinliğindeki 8 mm çapındaki ankraj çubuğunun ACI 318 tasarım dayanımı, Çizelge 5.4'te görüldüğü üzere 32.14 kN hesaplanmıştır. Çekme dayanımı, tasarım dayanımı değerinin altında kalmıştır. Yükleme sonucunda göçme modu, betonun koni kopması ile sıyrılma birlikte şeklinde gözlemlenmiştir.

## 6.2. N8L80 numunesine ait deney sonuçları

Bu kısımda 8 mm çapında, 80 mm derinliğine sahip ikili nervürlü inşaat demiri ankraj grubuna uygulanan çekme kuvveti neticesinde ortaya çıkan sonuçlar açıklanmıştır. Şekil 6.2'de bu ankraj grubuna ait yük-deplasman eğrisi gösterilmiştir.

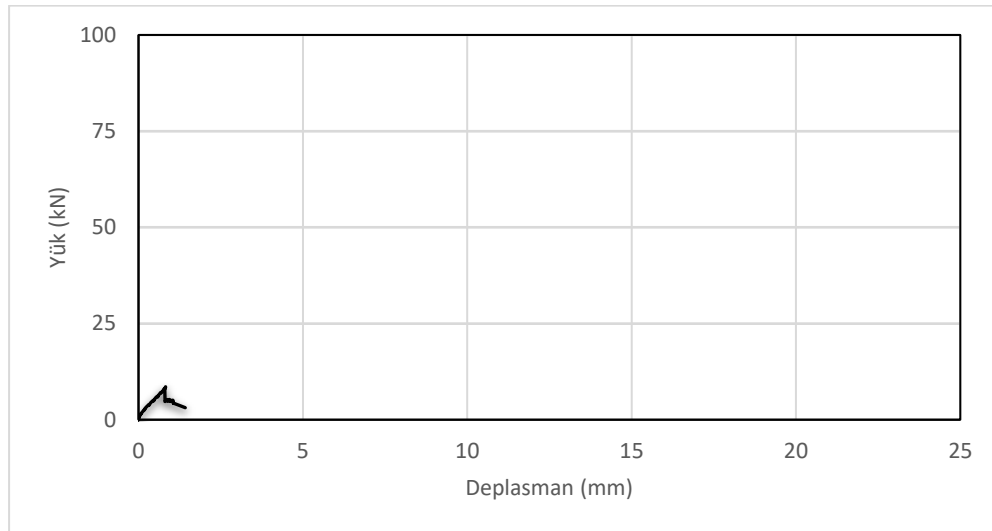


**Şekil 6.2.** N8L80 numunesine ait yük-deplasman eğrisi

8 mm çapında, 80 mm derinliğe ekilen ankraj çubuğunun ACI 318 tasarım dayanımı 32.14 kN hesaplanmıştır (Çizelge 5.4.) İkili ankraj grubuna uygulanan çekme kuvveti neticesinde, çekme dayanımı dalgalanmalar göstermiştir. Test sonucunda çekme dayanımı 14.59 kN olarak ölçülmüştür. Ankraj grubu, ancak tasarım dayanımına ulaşmadan, beton konik olarak kopmuştur. Ankraj derinliği N8L40 ankraj grubunda göre artığı için, ankraj kapasitesinin artması beklenmiştir. Ancak burada ankraj kapasitesi, N8L40'a göre daha düşük çıkmıştır. Ankraj derinliğinin artması, ankraj grubundaki çubukların konik göçme alanlarının kesişmesine yol açmıştır. Derinlik artığı için kesişme alanı büyümüştür ve göçmenin daha kolay olmasına yol açmıştır. Ankrajın donatı kapasitesi, beton koni kapasitesine göre daha düşük hesaplanmıştır. Ancak ankrajın göçmesi, betonun konik olarak göçmesinden dolayı olduğu için, göçme nedeni beton olmuştur. Grafik çekme dayanımının dalgası olması, ankraj grubundan çubukların eşit olarak yük almadığı, farklı zamanlarda farklı yükler çektiği görülmektedir.

### 6.3. N8L120 numunesine ait deney sonuçları

Bu kısımda 8 mm çapında, 120 mm derinliğine sahip ikili nervürlü inşaat demiri ankraj grubuna uygulanan çekme kuvveti neticesinde ortaya çıkan yük-deplasman eğrisi Şekil 6.3'te gösterilmiştir.



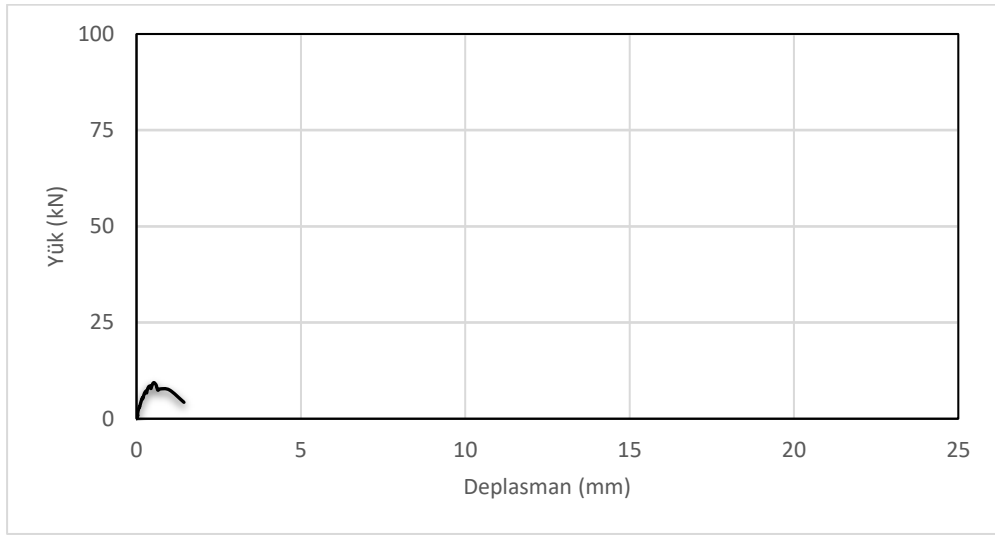
Şekil 6.3. N8L120 numunesine ait yük-deplasman eğrisi

8 mm çapında, 120 mm derinliğe ekilen ankraj çubuğunun ACI 318 tasarım dayanımı 32.14 kN hesaplanmıştır (Çizelge 5.4.). İkili ankraj grubuna uygulanan çekme kuvveti neticesinde, çekme dayanımı dalgalanmalar göstermiştir. Test sonucunda çekme dayanımı 8.56 kN olarak ölçülmüştür. Ankraj grubu, ancak tasarım dayanımına ulaşmadan, beton konik olarak kopmuştur. Yani ankraj çubuğu zorlanmadan, göçme betonda yaşanmıştır. Burada ankraj

kapasitesi, N8L80'e göre daha düşük çıkmıştır. Ankraj derinliğinin artması, ankraj grubundaki çubukların konik göçme alanlarının kesişmesine yol açmıştır. Derinlik artışı için kesişme alanı büyümüşür ve betondaki göçmenin daha kolay olmasına yol açmıştır.

#### 6.4. N10L40 numunesine ait deney sonuçları

Bu kısımda 10 mm çapında, 40 mm derinliğine sahip ikili nervürlü inşaat demiri ankraj grubuna uygulanan çekme kuvveti neticesinde ortaya çıkan yük-deplasman eğrisi Şekil 6.4'te gösterilmiştir.

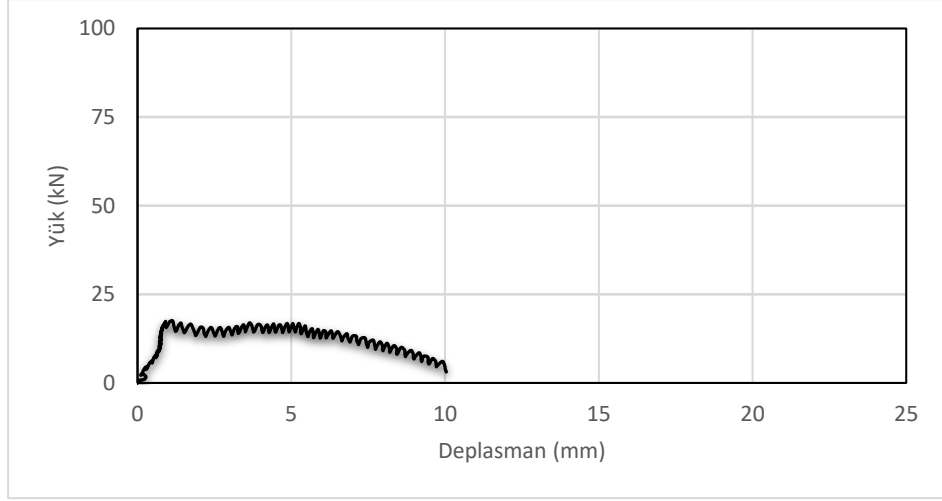


Şekil 6.4. N10L40 numunesine ait yük-deplasman eğrisi

10 mm çapında, 40 mm derinliğe ekilen ankraj çubuğunun ACI 318 tasarım dayanımı 54.80 kN hesaplanmıştır (Çizelge 5.4.). Test sonucunda çekme dayanımı 9.39 kN olarak ölçülmüştür. Betonun konik kopması ve sıyrıma göçme modları birlikte gözlemlenmiştir. Ankraj grubu beklenen kapasite değerinin oldukça altında kalmıştır.

#### 6.5. N10L80 numunesine ait deney sonuçları

Bu kısımda 10 mm çapında, 80 mm derinliğine sahip ikili nervürlü inşaat demiri ankraj grubuna uygulanan çekme kuvveti neticesinde ortaya çıkan sonuçlar açıklanmıştır. Şekil 6.5'te bu ankraj grubuna ait yük-deplasman eğrisi gösterilmiştir.

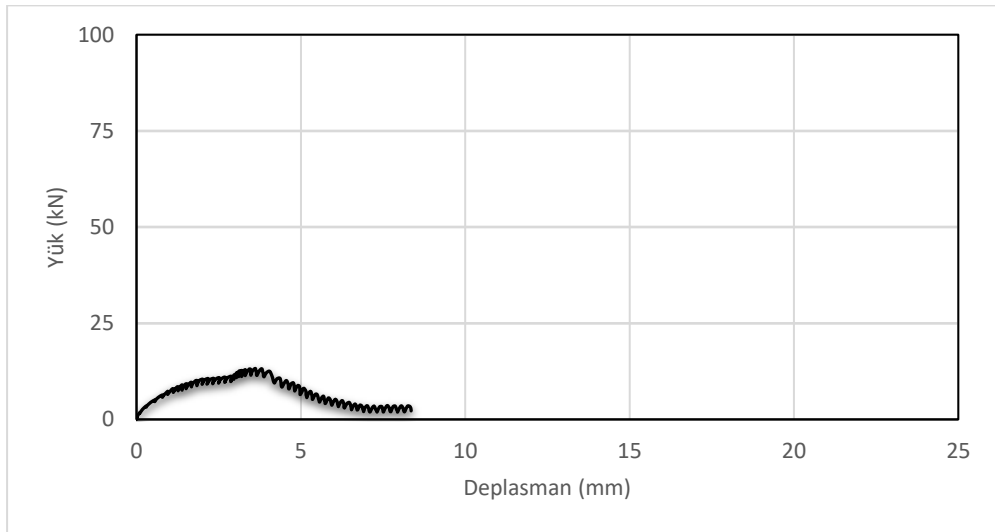


**Şekil 6.5.** N10L80 numunesine ait yük-deplasman eğrisi

10 mm çapında, 80 mm derinliğe ekilen ankraj çubuğunun ACI 318 tasarım dayanımı 54.80 kN hesaplanmıştır (Çizelge 5.4.). Test sonucunda çekme dayanımı 17.56 kN olarak ölçülmüştür. Beklendiği üzere, çekme dayanımı 10 mm çapında, 40 mm derinliğe ekilen ankraj grubundan yüksek çıkmıştır. Ancak tasarım dayanımını karşılayamamıştır. Göçme modu betonun konik kopması olarak gözlemlenmiştir. Deney düzeneğinde ankraj çubukları arası sabit ve 12.5 cm olarak belirtilmişti. Derinlik 80 mm'ye çıktığında, ankraj grubundaki iki çubuğun göçme alanları kesişmiştir. Bu kesişme betonun beklenenden önce göçmesine yol açmıştır.

#### **6.6. N10L120 numunesine ait deney sonuçları**

Bu kısımda 10 mm çapında, 120 mm derinliğine sahip ikili nervürlü inşaat demiri ankraj grubuna uygulanan çekme kuvveti neticesinde ortaya çıkan sonuçlar açıklanmıştır. Şekil 6.6'da bu ankraj grubuna ait yük-deplasman eğrisi gösterilmiştir.

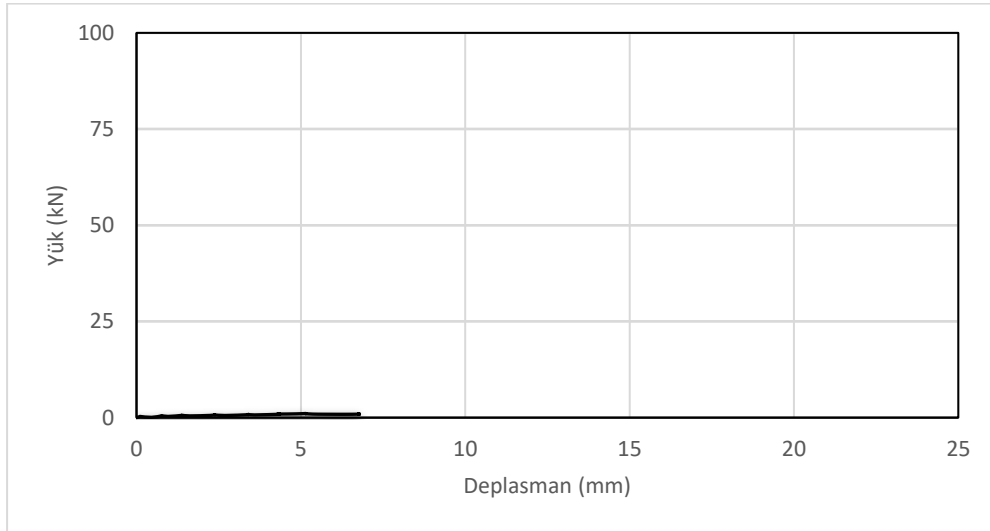


**Şekil 6.6.** N10L120 numunesine ait yük-deplasman eğrisi

10 mm çapında, 120 mm derinliğe ekilen ankraj çubuğunun ACI 318 tasarım dayanımı 54.80 kN hesaplanmıştır (Çizelge 5.4.). Test sonucunda çekme dayanımı 13.18 kN olarak ölçülmüştür. Çekme dayanımı 10 mm çapında, 80 mm derinliğe ekilen ankraj grubuna göre düşük çıkmıştır. Bu durum beklenen bir durum değildir. Ankraj çubuklarının göçme alanlarının daha derinde genişleşerek, N10L80'e göre daha erken göçmesine yol açmıştır. Tasarım dayanımını karşılayamamıştır. Göçme modu betonun konik kopması olarak gözlemlenmiştir.

### 6.7. N12L40 numunesine ait deney sonuçları

Bu kısımda 12 mm çapında, 40 mm derinliğine sahip ikili nervürlü inşaat demiri ankraj grubuna uygulanan çekme kuvveti neticesinde ortaya çıkan sonuçlar açıklanmıştır. Şekil 6.7'de bu ankraj grubuna ait yük-deplasman eğrisi gösterilmiştir.

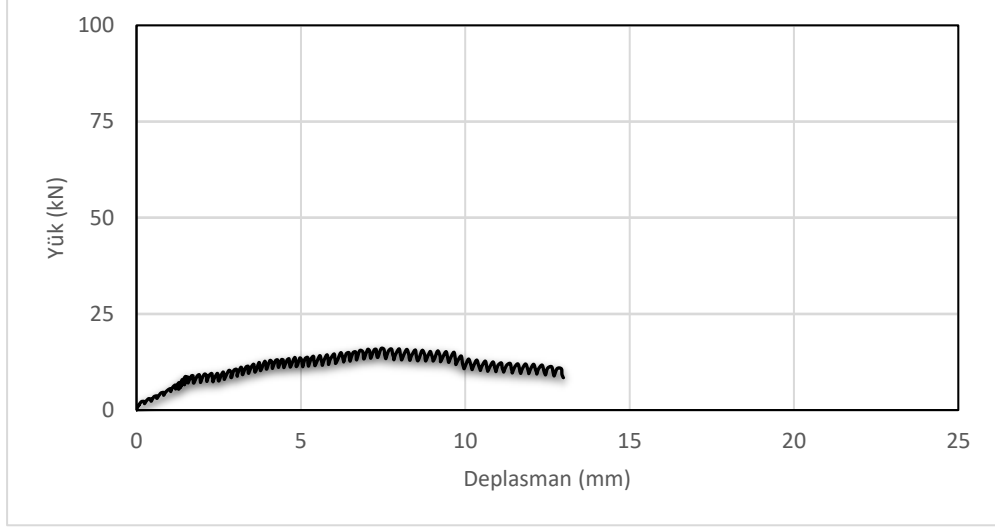


Şekil 6.7. N12L40 numunesine ait yük-deplasman eğrisi

12 mm çapında, 40 mm derinliğe ekilen ankraj çubuğunun ACI 318 tasarım dayanımı 57.30 kN hesaplanmıştır (Çizelge 5.4.). Test sonucunda çekme dayanımı 1.06 kN olarak ölçülmüştür. Tasarım dayanımını karşılayamamıştır. Göçme modu betonun konik kopması ve donatının sıyrılması birlikte olarak gözlemlenmiştir. Ankraj çubuğunun alt kısmının sıyrıldığı, üst kısmında ise betonun konik koptuğu görülmüştür. Beton istenilen tasarım dayanımına ulaşmadan, ankraj çubuğunun alt kısmı sıyrılmıştır. Bunun nedeninin, ankraj ekimi sırasındaki epoksi uygulamasındaki muhtemel bir hata olduğu düşünülmüştür.

### 6.8. N12L80 numunesine ait deney sonuçları

Bu kısımda 12 mm çapında, 80 mm derinliğine sahip ikili nervürlü inşaat demiri ankraj grubuna uygulanan çekme kuvveti neticesinde ortaya çıkan sonuçlar açıklanmıştır. Şekil 6.8’de bu ankraj grubuna ait yük-deplasman eğrisi gösterilmiştir.

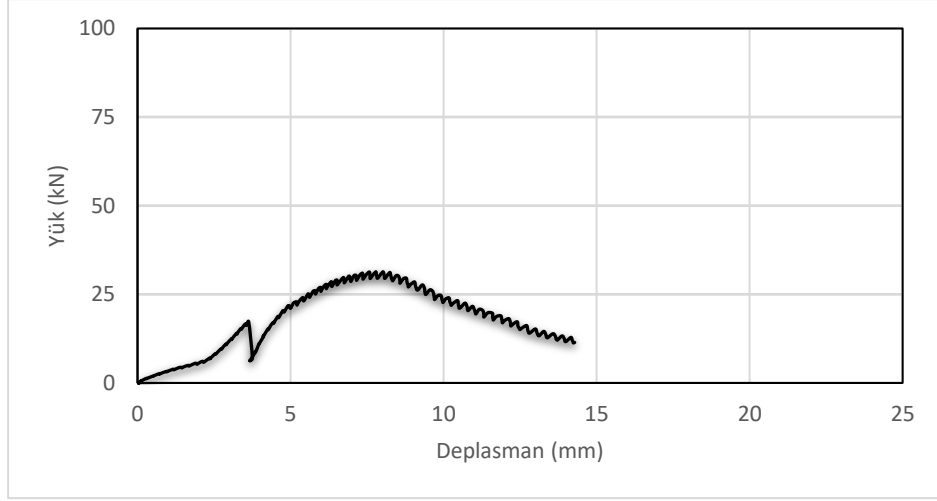


Şekil 6.8. N12L80 numunesine ait yük-deplasman eğrisi

12 mm çapında, 80 mm derinliğe ekilen ankraj çubuğunun ACI 318 tasarım dayanımı 79.67 kN hesaplanmıştır (Çizelge 5.4.). Test sonucunda çekme dayanımı 15.97 kN olarak ölçülmüştür. Tasarım dayanımını karşılayamamıştır. Göçme modu betonun konik kopması olarak gözlemlenmiştir. Derinlik artışı için çekme dayanımı, N12L40 ankraj grubu çekme dayanımına göre artmıştır. Ancak yine de ankraj kapasitesi, ACI 318 tasarım dayanımı altında kalmıştır. Ankraj çubuklarının beton konik göçme alanları, kesiştiği için göçmeye neden olan kuvvet etkisini artırmıştır.

### 6.9. N12L120 numunesine ait deney sonuçları

Bu kısımda 12 mm çapında, 120 mm derinliğine sahip ikili nervürlü inşaat demiri ankraj grubuna uygulanan çekme kuvveti neticesinde ortaya çıkan sonuçlar açıklanmıştır. Şekil 6.9’da bu ankraj grubuna ait yük-deplasman eğrisi gösterilmiştir.

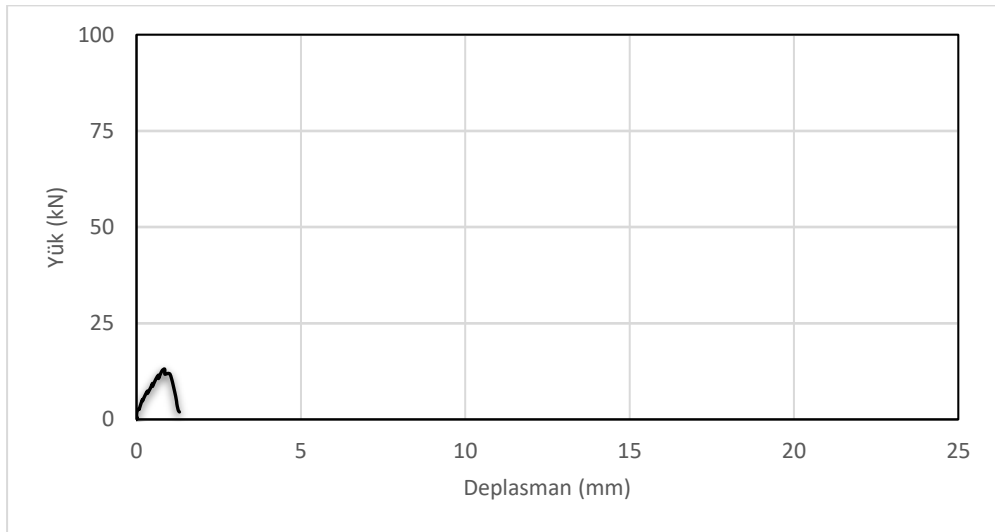


**Şekil 6.9.** N12L120 numunesine ait yük-deplasman eğrisi

12 mm çapında, 120 mm derinliğe ekilen ankraj çubuğunun tasarım dayanımı 79.67 kN hesaplanmıştır (Çizelge 5.4.). İkili ankraj grubuna uygulanan çekme kuvveti neticesinde, çekme dayanımı dalgalanmalar göstermiştir. Test sonucunda çekme dayanımı 31.34 kN olarak ölçülmüştür. Tasarım dayanımını karşılayamamıştır. Göçme modu betonun konik kopması olarak gözlemlenmiştir. Çekme dayanımı önce artmış, sonra ani bir düşüş yaşamış, sonra tekrar artmıştır. Devamında göçme meydana gelmiştir. Bunun nedeninin önce bir ankraj çubuğunun yük alması, sonrasında ise diğer ankraj çubuğunun da yük alması olarak düşünülmektedir.

#### **6.10. N14L40 numunesine ait deney sonuçları**

Bu kısımda 14 mm çapında, 40 mm derinliğine sahip ikili nervürlü inşaat demiri ankraj grubuna uygulanan çekme kuvveti neticesinde ortaya çıkan sonuçlar açıklanmıştır. Şekil 6.10'da bu ankraj grubuna ait yük-deplasman eğrisi gösterilmiştir.

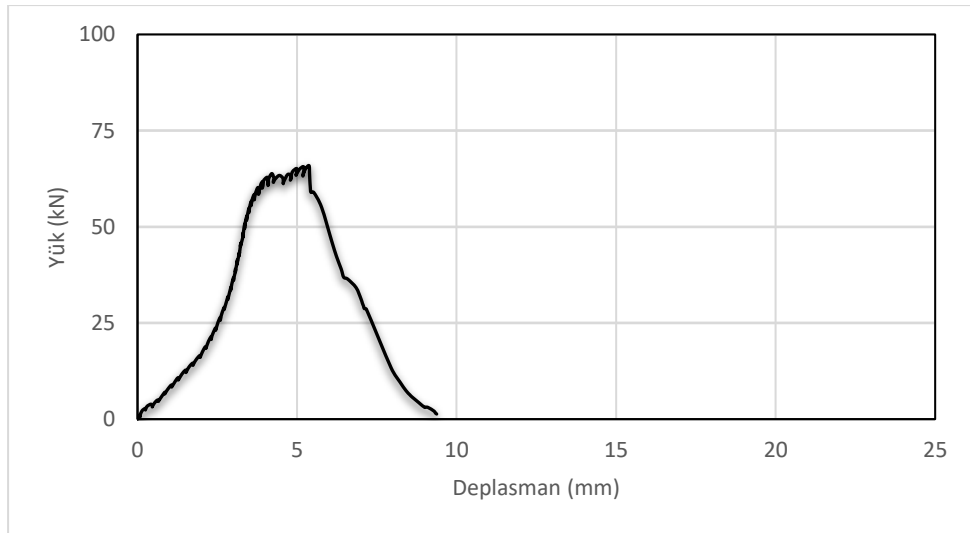


**Şekil 6.10.** N14L40 numunesine ait yük-deplasman eğrisi

14 mm çapında, 40 mm derinliğe ekilen ankraj çubuğunun ACI 318 tasarım dayanımı Çizelge 5.4'te görüleceği üzere 101.95 kN hesaplanmıştır. Çubuk çapı artışı için önce betonun göçmesi öngörülmüştür. Test sonucunda çekme dayanımı 13.13 kN olarak ölçülmüştür. Tasarım dayanımını karşılayamamıştır. Göçme modu betonun konik kopması ve çubuğun sıyrılması olarak gözlemlenmiştir.

#### 6.11. N14L80 numunesine ait deney sonuçları

Bu kısımda 14 mm çapında, 80 mm derinliğine sahip ikili nervürlü inşaat demiri ankraj grubuna uygulanan çekme kuvveti neticesinde ortaya çıkan sonuçlar açıklanmıştır. Şekil 6.11'de bu ankraj grubuna ait yük-deplasman eğrisi gösterilmiştir.

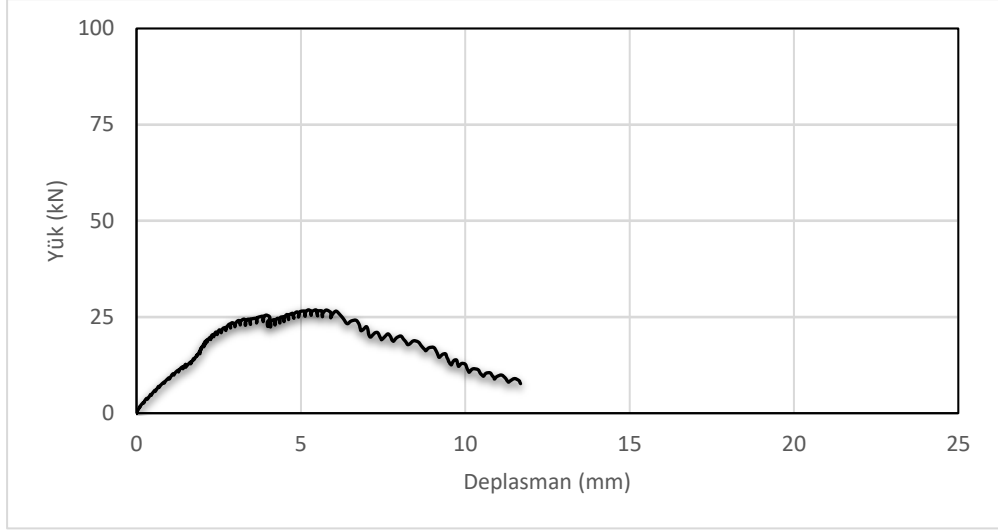


Şekil 6.11. N14L80 numunesine ait yük-deplasman eğrisi

14 mm çapında, 80 mm derinliğe ekilen ankraj çubuğunun ACI 318 tasarım dayanımı Çizelge 5.4'te görüleceği üzere 93.66 kN hesaplanmıştır. Test sonucunda çekme dayanımı 65.91 kN olarak ölçülmüştür. Tasarım dayanımını karşılayamamıştır. Göçme modu betonun konik kopması olarak gözlemlenmiştir.

#### 6.12. N14L120 numunesine ait deney sonuçları

Bu kısımda 14 mm çapında, 120 mm derinliğine sahip ikili nervürlü inşaat demiri ankraj grubuna uygulanan çekme kuvveti neticesinde ortaya çıkan sonuçlar açıklanmıştır. Şekil 6.12'de bu ankraj grubuna ait yük-deplasman eğrisi gösterilmiştir.

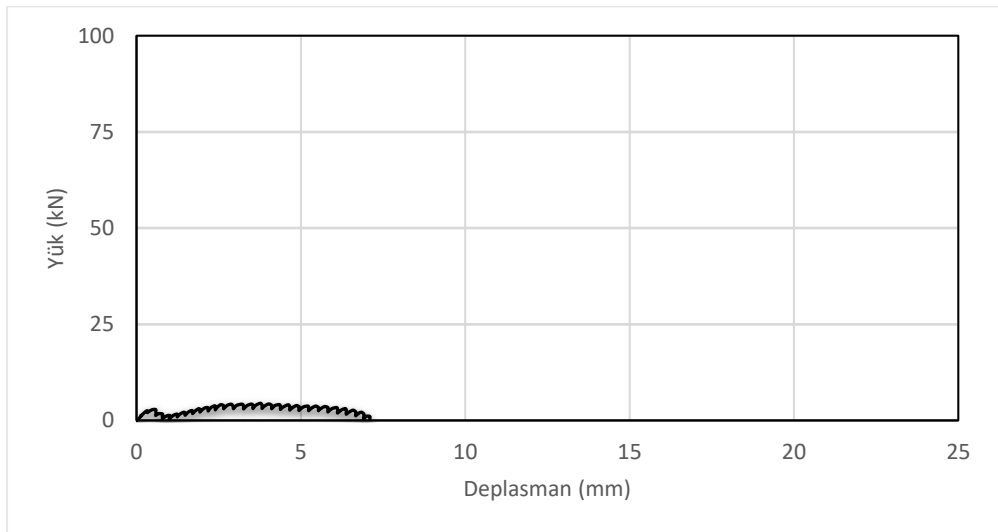


**Şekil 6.12.** N14L120 numunesine ait yük-deplasman eğrisi

14 mm çapında, 120 mm derinliğe ekilen ankraj çubuğunun ACI 318 tasarım dayanımı Çizelge 5.4'te görüleceği üzere 109.18 kN hesaplanmıştır. Test sonucunda çekme dayanımı 26.86 kN olarak ölçülmüştür. Tasarım dayanımını karşılayamamıştır. Göçme modu betonun konik kopması olarak gözlemlenmiştir. Çekme dayanımını N14L80 ankraj grubunda göre daha az çıkmıştır. Normalde derinlik artışı için çekme dayanımının da artması beklenmektedir. Ancak ankraj çubuklarının konik göçme alanları daha derinde kesiştiği ve göçme kapasitesini düşürdüğü düşünülmektedir.

### 6.13. T8L40 numunesine ait deney sonuçları

Bu kısımda 8 mm çapında, 40 mm derinliğine sahip ikili M8 tij çeliği ankraj grubuna uygulanan çekme kuvveti neticesinde ortaya çıkan sonuçlar açıklanmıştır. Şekil 6.13'te bu ankraj grubuna ait yük-deplasman eğrisi gösterilmiştir.

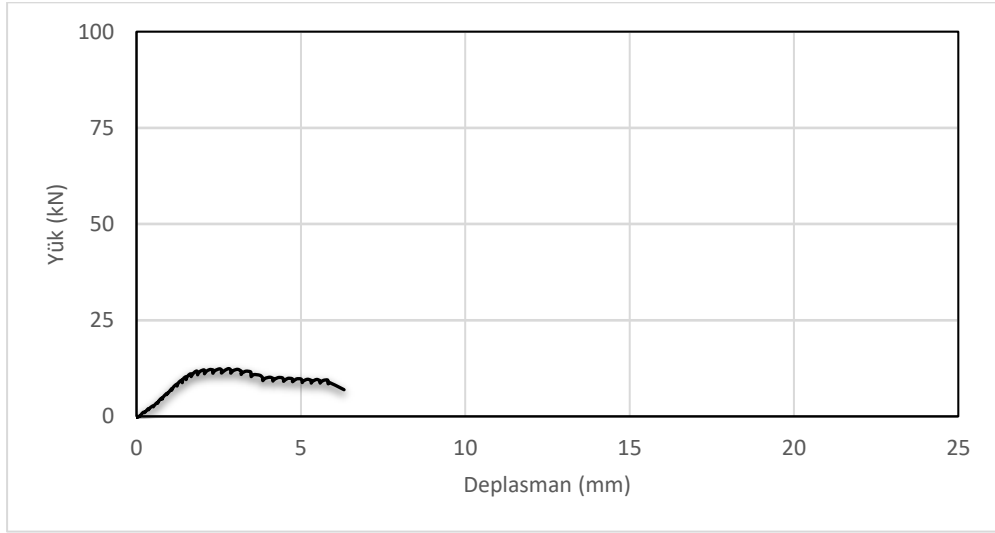


### Şekil 6.13. T8L40 numunesine ait yük-deplasman eğrisi

8 mm çapında, 40 mm derinliğe ekilen ankraj çubuğunun tasarım dayanımı Çizelge 5.4'te görüleceği üzere 32.14 kN hesaplanmıştır. İkili ankraj grubuna uygulanan çekme kuvveti neticesinde, çekme dayanımı dalgalanmalar göstermiştir. Test sonucunda çekme dayanımı 4.45 kN olarak ölçülmüştür. Tasarım dayanımını karşılayamamıştır. Ankraj derinliği az olduğu için göçme modu betonun konik kopması ve çubuğun sıyrılması birlikte olarak gözlemlenmiştir.

### 6.14. T8L80 numunesine ait deney sonuçları

Bu kısımda 8 mm çapında, 80 mm derinliğine sahip ikili tij çeliği ankraj grubuna uygulanan çekme kuvveti neticesinde ortaya çıkan sonuçlar açıklanmıştır. Şekil 6.14'te bu ankraj grubuna ait yük-deplasman eğrisi gösterilmiştir.

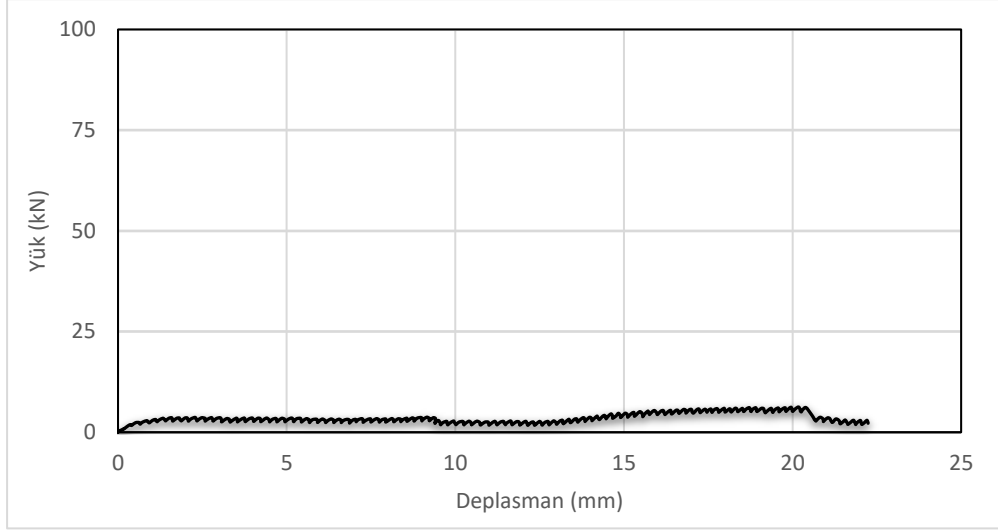


### Şekil 6.14. T8L80 numunesine ait yük-deplasman eğrisi

8 mm çapında, 80 mm derinliğe ekilen ankraj çubuğunun tasarım dayanımı Çizelge 5.4'te görüleceği üzere 32.14 kN hesaplanmıştır. İkili ankraj grubuna uygulanan çekme kuvveti neticesinde, çekme dayanımı 12.42 kN olarak ölçülmüştür. Ankraj grubunun donatı nedeniyle göçmesi beklenirken, tasarım dayanım değerini karşılayamadan betonun konik göçmesi gözlemlenmiştir.

### 6.15. T8L120 numunesine ait deney sonuçları

Bu kısımda 8 mm çapında, 120 mm derinliğine sahip ikili tij çeliği ankraj grubuna uygulanan çekme kuvveti neticesinde ortaya çıkan sonuçlar açıklanmıştır. Şekil 6.15'te bu ankraj grubuna ait yük-deplasman eğrisi gösterilmiştir.

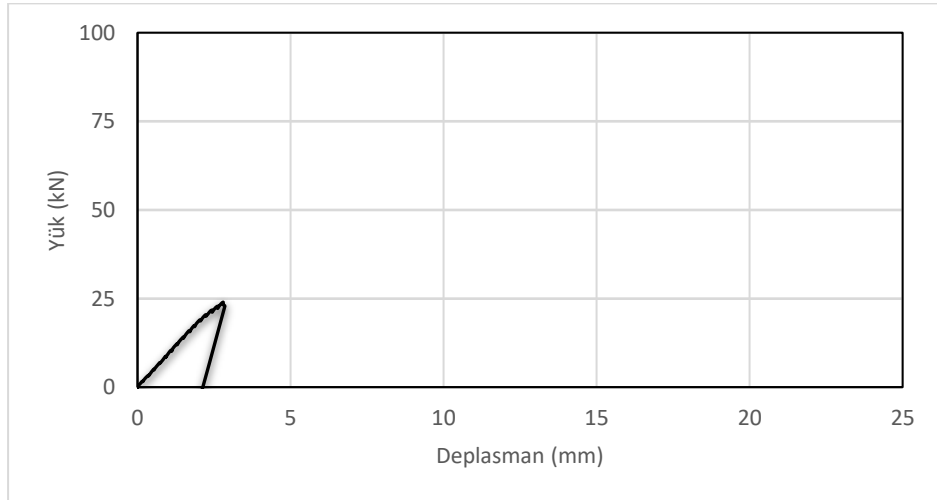


**Şekil 6.15.** T8L120 numunesine ait yük-deplasman eğrisi

8 mm çapında, 120 mm derinliğe ekilen ankraj çubuğunun tasarım dayanımı Çizelge 5.4'te görüleceği üzere 32.14 kN hesaplanmıştır. İkili ankraj grubuna uygulanan çekme kuvveti neticesinde, çekme dayanımı dalgalanmalar göstermiştir. Test sonucunda çekme dayanımı 6.22 kN olarak ölçülmüştür. Tasarım dayanımını karşılayamamıştır. Göçme modu betonun konik kopması olarak gözlemlenmiştir. Normalde derinlik artışı için çekme dayanımının da artması beklenmektedir. Ancak ankraj çubuklarının konik göçme alanları daha derinde kesiştiği ve göçme kapasitesini düşürdüğü düşünülmektedir.

#### **6.16. T10L40 numunesine ait deney sonuçları**

Bu kısımda 10 mm çapında, 40 mm derinliğine sahip ikili tij çeliği ankraj grubuna uygulanan çekme kuvveti neticesinde ortaya çıkan sonuçlar açıklanmıştır. Şekil 6.16'da bu ankraj grubuna ait yük-deplasman eğrisi gösterilmiştir.

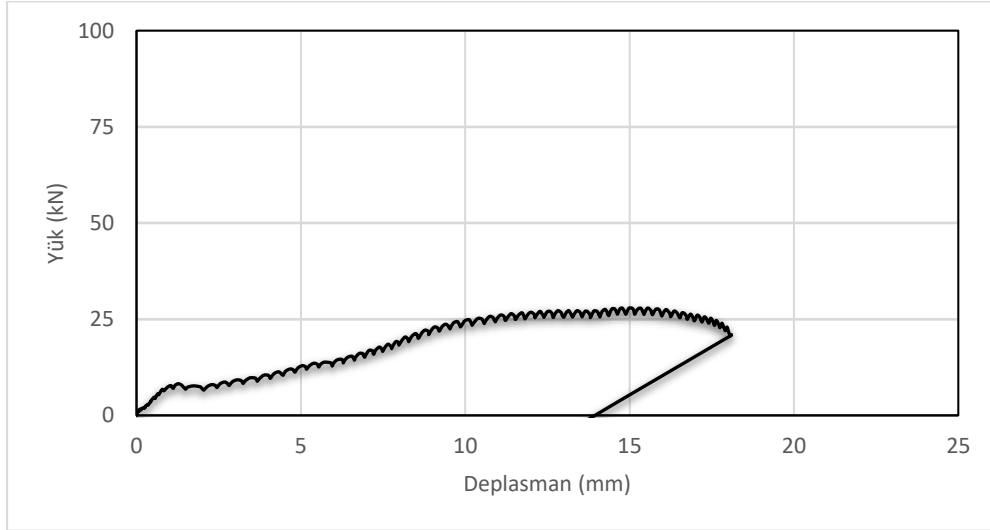


**Şekil 6.16.** T10L40 numunesine ait yük-deplasman eğrisi

10 mm çapında, 40 mm derinliğe ekilen ankraj çubuğunun tasarım dayanımı Çizelge 5.4'te görüleceği üzere 54.80 kN hesaplanmıştır. Test sonucunda çekme dayanımı 23.99 kN olarak ölçülmüştür. Tasarım dayanımını karşılayamamıştır. Göçme modu betonun konik kopması ve çubuğun sıyrılması birlikte olarak gözlemlenmiştir. Ankraj derinliğinin az olması nedeniyle sıyrılıp, konik kopmuştur. T8L40 ankraj grubuna göre, çapın artması nedeniyle, çekme kapasitesi daha yüksek ölçülmüştür.

#### 6.17. T10L80 numunesine ait deney sonuçları

Bu kısımda 10 mm çapında, 80 mm derinliğine sahip ikili M8 tij çeliği ankraj grubuna uygulanan çekme kuvveti neticesinde ortaya çıkan sonuçlar açıklanmıştır. Şekil 6.17'de bu ankraj grubuna ait yük-deplasman eğrisi gösterilmiştir.

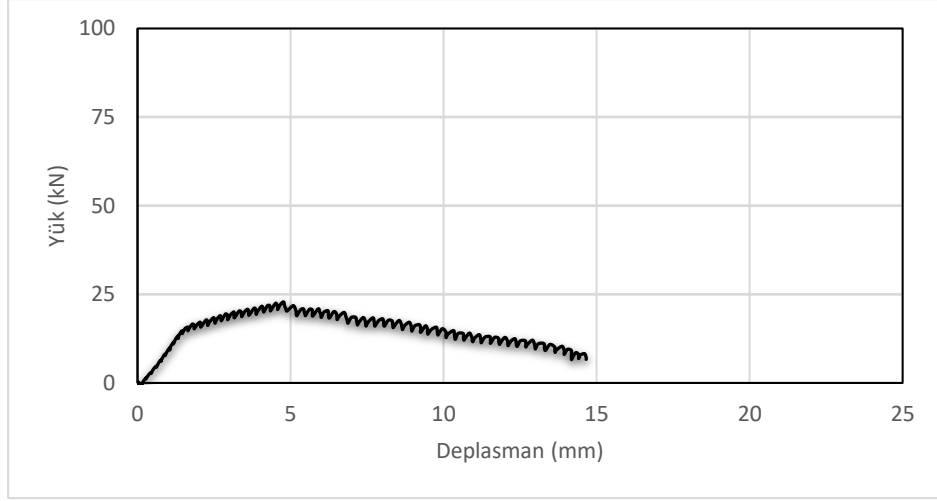


Şekil 6.17. T10L80 numunesine ait yük-deplasman eğrisi

10 mm çapında, 80 mm derinliğe ekilen ankraj çubuğunun ACI 318 tasarım dayanımı Çizelge 5.4'te görüleceği üzere 54.80 kN hesaplanmıştır. Test sonucunda çekme dayanımı 24.91 kN olarak ölçülmüştür. Tasarım dayanımını karşılayamamıştır. Göçme modu betonun konik kopması olarak gözlemlenmiştir. T10L40 ankraj grubuna göre çekme dayanımı daha yüksek ölçülmüştür. Ancak derinliğin artması beklenen dayanım artışı olmamıştır. Bunda da betonun konik kopma alanların kesişme alanının ortaya çıkmasının payının büyük olduğu düşünülmektedir.

#### 6.18. T10L120 numunesine ait deney sonuçları

Bu kısımda 10 mm çapında, 120 mm derinliğine sahip ikili M10 tij çeliği ankraj grubuna uygulanan çekme kuvveti neticesinde ortaya çıkan sonuçlar açıklanmıştır. Şekil 6.18'de bu ankraj grubuna ait yük-deplasman eğrisi gösterilmiştir.

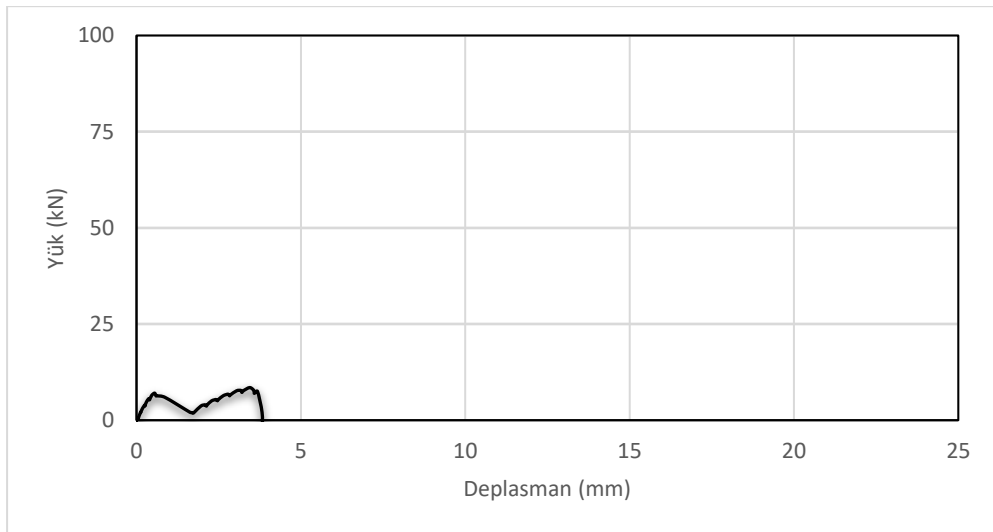


**Şekil 6.18.** T10L120 numunesine ait yük-deplasman eğrisi

10 mm çapında, 120 mm derinliğe ekilen ankraj çubuğunun ACI 318 tasarım dayanımı Çizelge 5.4'te görüleceği üzere 54.80 kN hesaplanmıştır. İkili ankraj grubuna uygulanan çekme kuvveti neticesinde çekme dayanımı 22.87 kN olarak ölçülmüştür. Tasarım dayanımını karşılayamamıştır. Göçme modu betonun konik kopması olarak gözlemlenmiştir. T10L40 ve T10L80 ankraj gruplarına oranla, çekme kapasitelerinin artması beklenirken, betonun konik kopma alanlarının kesişmeleri daha derinde olduğu için, dayanım düşmüştür.

#### 6.19. T12L40 numunesine ait deney sonuçları

Bu kısımda 12 mm çapında, 40 mm derinliğine sahip ikili M12 tij çeliği ankraj grubuna uygulanan çekme kuvveti neticesinde ortaya çıkan sonuçlar açıklanmıştır. Şekil 6.19'da bu ankraj grubuna ait yük-deplasman eğrisi gösterilmiştir.

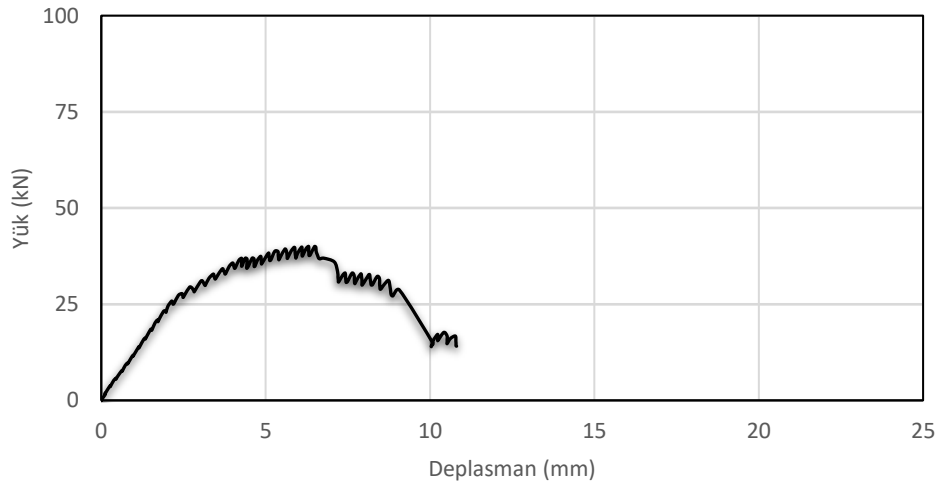


**Şekil 6.19.** T12L40 numunesine ait yük-deplasman eğrisi

12 mm çapında, 40 mm derinliğe ekilen ankraj çubuğunun ACI 318 tasarım dayanımı Çizelge 5.4'te görüleceği üzere 72.18 kN hesaplanmıştır. İkili ankraj grubuna uygulanan çekme kuvveti neticesinde çekme dayanımı 8.48 kN olarak ölçülmüştür. Tasarım dayanımını karşılayamamıştır. Göçme modu betonun konik kopması olarak gözlemlenmiştir. Çekme testi sırasında ankraj grubundaki çubukların eşit bir şekilde yük almadığı, bu nedenle ACI 318 tasarım dayanımı değerinin altında kaldığı düşünülmektedir.

### 6.20. T12L80 numunesine ait deney sonuçları

Bu kısımda 12 mm çapında, 80 mm derinliğine sahip ikili M12 tij çeliği ankraj grubuna uygulanan çekme kuvveti neticesinde ortaya çıkan sonuçlar açıklanmıştır. Şekil 6.20'de bu ankraj grubuna ait yük-deplasman eğrisi gösterilmiştir.

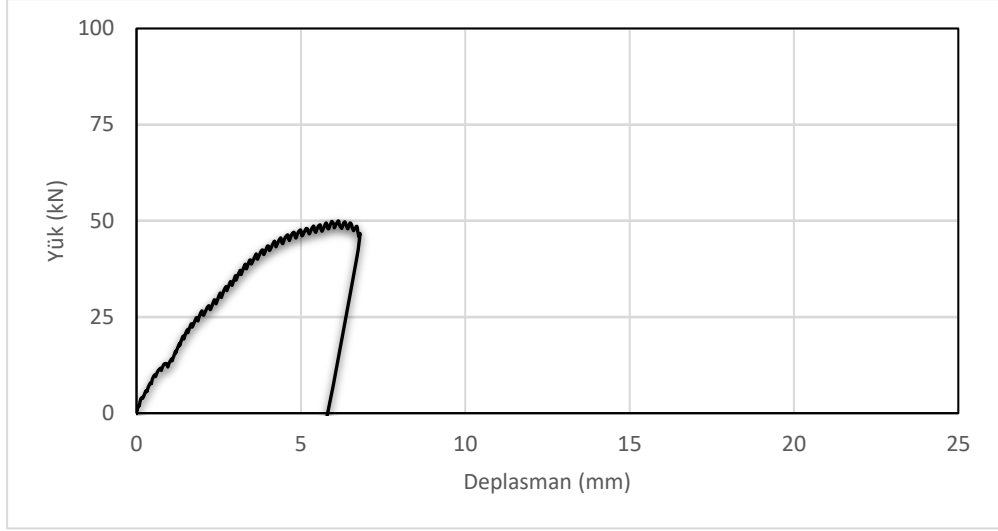


Şekil 6.20. T12L80 numunesine ait yük-deplasman eğrisi

12 mm çapında, 80 mm derinliğe ekilen ankraj çubuğunun tasarım dayanımı Çizelge 5.4'te görüleceği üzere 79.67 kN hesaplanmıştır. İkili ankraj grubuna uygulanan çekme kuvveti neticesinde çekme dayanımı 40.03 kN olarak ölçülmüştür. Tasarım dayanımını karşılayamamıştır. Göçme modu betonun çatlaması olarak gözlemlenmiştir. Betonun konik kopmasına neden olacak kuvvete ulaşmadan göçme gerçekleşmiştir. T12L40 ankraj grubuna oranla çekme dayanımı artış göstermiştir.

### 6.21. T12L120 numunesine ait deney sonuçları

Bu kısımda 12 mm çapında, 120 mm derinliğine sahip ikili M12 tij çeliği ankraj grubuna uygulanan çekme kuvveti neticesinde ortaya çıkan sonuçlar açıklanmıştır. Şekil 6.21'de bu ankraj grubuna ait yük-deplasman eğrisi gösterilmiştir.

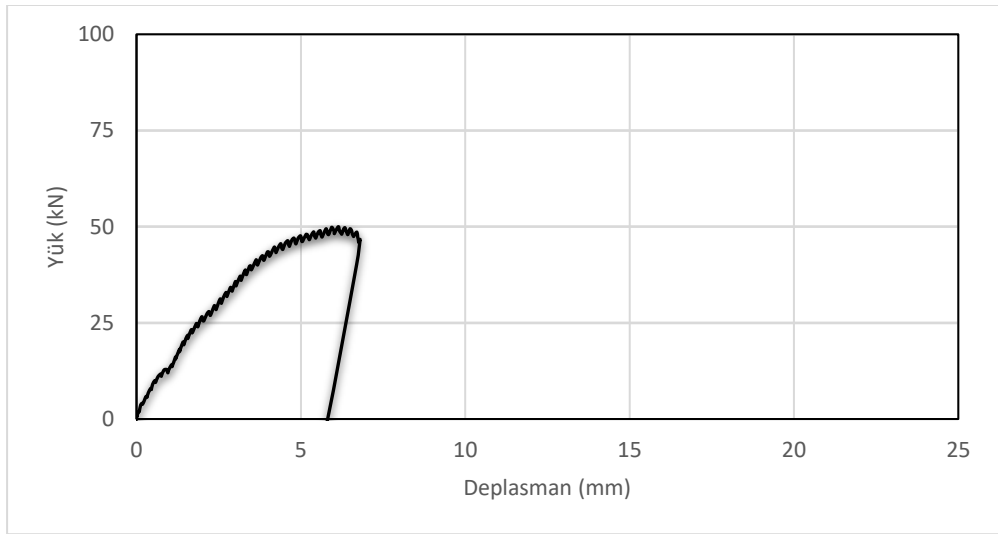


**Şekil 6.21.** T12L120 numunesine ait yük-deplasman eğrisi

12 mm çapında, 120 mm derinliğe ekilen ankraj çubuğunun ACI 318 tasarım dayanımı Çizelge 5.4'te görüleceği üzere 79.67 kN hesaplanmıştır. İkili ankraj grubuna uygulanan çekme kuvveti neticesinde çekme dayanımı 49.99 kN olarak ölçülmüştür. Tasarım dayanımını karşılayamamıştır. Göçme modu betonun konik kopması olarak gözlemlenmiştir. T12L80 ankraj grubunda göre çekme kapasitesi artış göstermiştir.

#### 6.22. T14L80 numunesine ait deney sonuçları

Bu kısımda 14 mm çapında, 80 mm derinliğine sahip ikili M14 tij çeliği ankraj grubuna uygulanan çekme kuvveti neticesinde ortaya çıkan sonuçlar açıklanmıştır. Şekil 6.22'de bu ankraj grubuna ait yük-deplasman eğrisi gösterilmiştir.

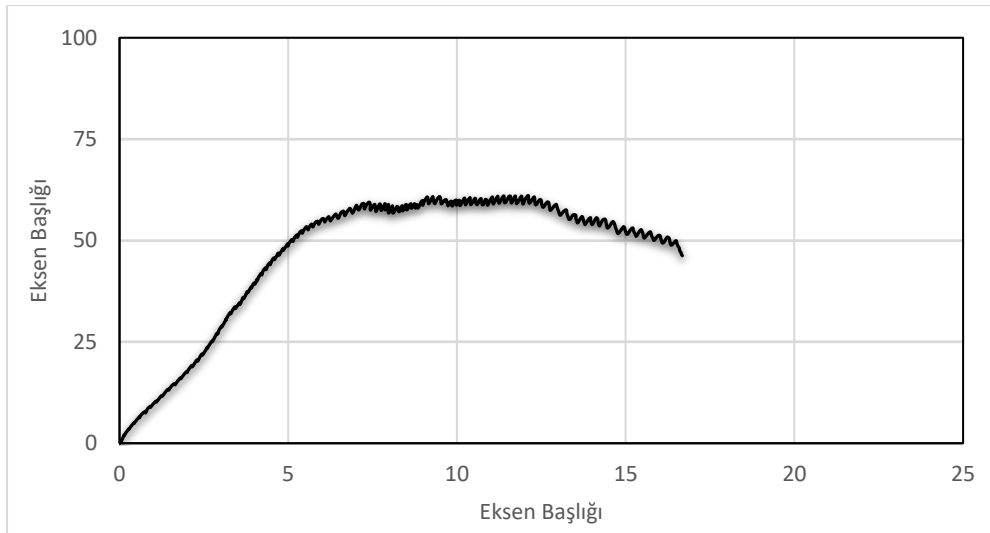


**Şekil 6.22.** T14L80 numunesine ait yük-deplasman eğrisi

14 mm çapında, 80 mm derinliğe ekilen ankraj çubuğunun ACI 318 tasarım dayanımı Çizelge 5.4'te görüleceği üzere 109.18 kN hesaplanmıştır. İkili ankraj grubuna uygulanan çekme kuvveti neticesinde çekme dayanımı 52.22 kN olarak ölçülmüştür. Deney düzeneğindeki cıvatanın kopması sonucu deney sonlanmıştır. T12L80 ankraj grubunda göre çekme kapasitesi artış göstermiştir. Ankraj çubuk çapının artması, etkili olmuştur.

### 6.23. T14L120 numunesine ait deney sonuçları

Bu kısımda 14 mm çapında, 120 mm derinliğine sahip ikili M14 tij çeliği ankraj grubuna uygulanan çekme kuvveti neticesinde ortaya çıkan sonuçlar açıklanmıştır. Şekil 6.23'te bu ankraj grubuna ait yük-deplasman eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 6.23. T14L120 numunesine ait yük-deplasman eğrisi

14 mm çapında, 120 mm derinliğe ekilen ankraj çubuğunun ACI 318 tasarım dayanımı Çizelge 5.4'te görüleceği üzere 109.18 kN hesaplanmıştır. İkili ankraj grubuna uygulanan çekme kuvveti neticesinde çekme dayanımı 60.95 kN olarak ölçülmüştür. Tasarım dayanımını karşılayamamıştır. Göçme modu betonun konik kopması olarak gözlemlenmiştir. T14L80 ve T12L120 ankraj gruplarına göre çekme kapasitesi artış göstermiştir. Ankraj derinliğinin artması ve ankraj çubuk çapının artması etkili olmuştur.

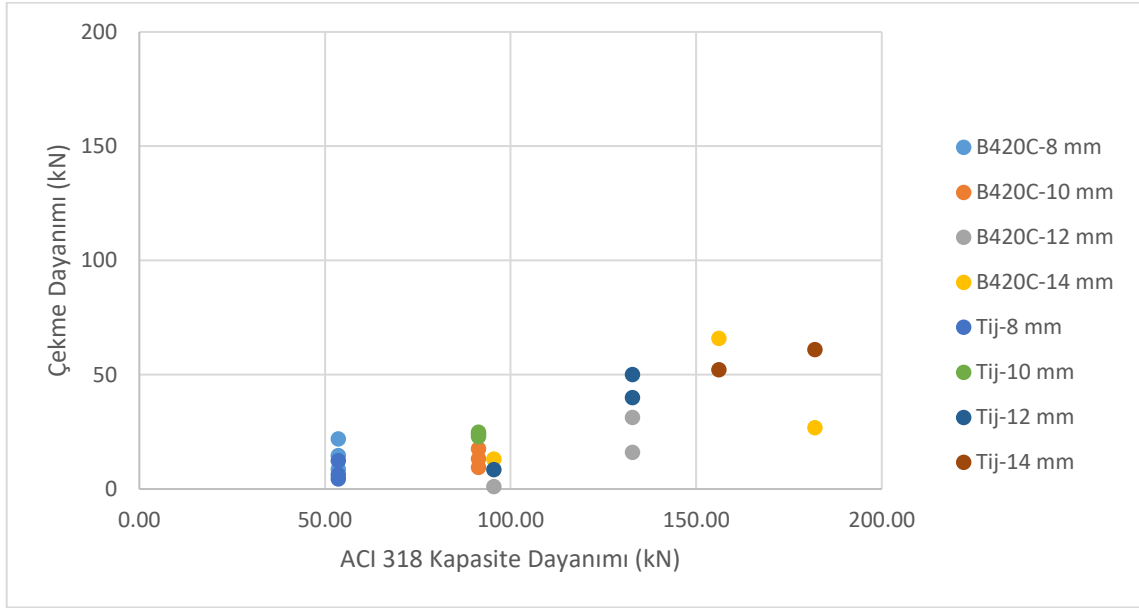
DeneySEL çalışmalar sonucu 23 adet ikili ankraj grubunun çekme dayanımları ölçülmüştür. Bütün ankraj grupları için ACI 318'e göre kapasite dayanımları ve tasarım dayanımları hesaplanmıştır. Çekme dayanımını kapasite dayanımına oranlayarak kapasite güvenlik katsayısı ve çekme dayanımını tasarım dayanımına oranlayarak tasarım güvenlik katsayısı değerleri elde edilmiştir. DeneySEL çalışmadaki ankraj grupları için hesaplanan güvenlik katsayıları Çizelge 6.3'te gösterilmektedir.

B420C sınıfı ankraj çubuklarında kapasite güvenlik katsayısı ortalama değeri 0.20, tasarım güvenlik katsayısı ortalama değeri 0.33 olarak hesaplanmıştır. Sonsuz dişli tij çelikleri ile ekilen ankraj çubuklarında kapasite güvenlik katsayısı ortalama değeri 0.24, tasarım güvenlik katsayısı ortalama değeri 0.40 olarak hesaplanmıştır. ACI 318 ankraj nominal kapasitesi hedeflenen %95 güvenlik durumunun altında kalmıştır.

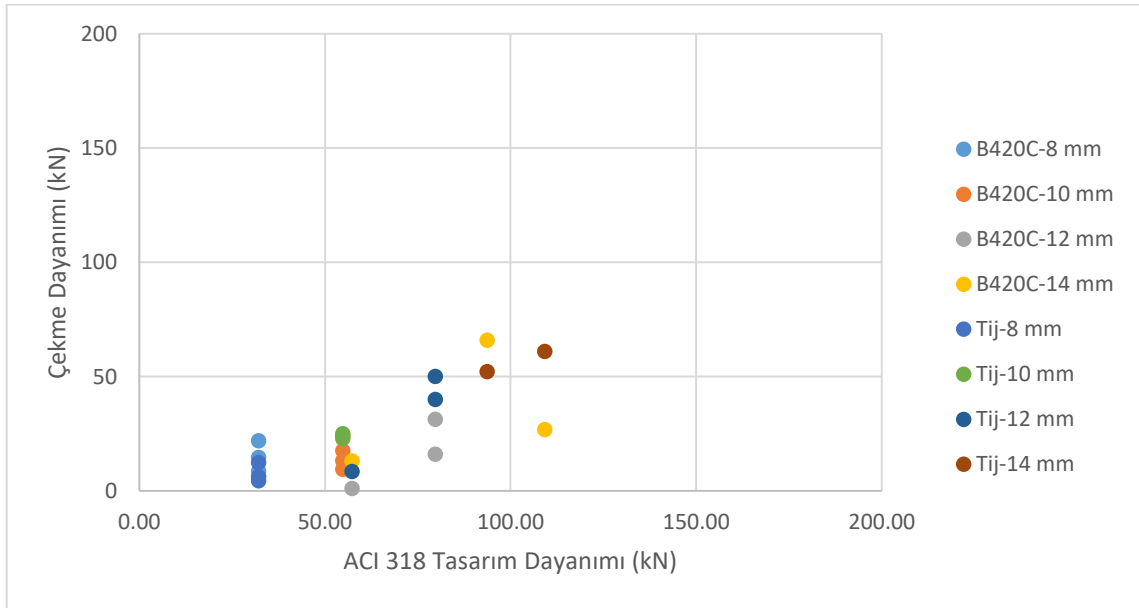
**Çizelge 6.3.** Ankraj çubukları için güvenlik katsayıları

<b>Ankraj Grubu</b>	<b>Çekme Dayanımı (kN)</b>	<b>ACI Kapasite Dayanımı (kN)</b>	<b>ACI Tasarım Dayanımı (kN)</b>	<b>Kapasite Güvenlik Katsayısı</b>	<b>Tasarım Güvenlik Katsayısı</b>
N8L40	21.87	53.56	32.14	0.41	0.68
N8L80	14.59	53.56	32.14	0.27	0.45
N8L120	8.56	53.56	32.14	0.16	0.27
N10L40	9.39	91.34	54.80	0.10	0.17
N10L80	17.56	91.34	54.80	0.19	0.32
N10L120	13.18	91.34	54.80	0.14	0.24
N12L40	1.06	95.50	57.30	0.01	0.02
N12L80	15.97	132.79	79.67	0.12	0.20
N12L120	31.34	132.79	79.67	0.24	0.39
N14L40	13.13	95.50	57.30	0.14	0.23
N14L80	65.91	156.10	93.66	0.42	0.70
N14L120	26.86	181.96	109.18	0.15	0.25
T8L40	4.45	53.56	32.14	0.08	0.14
T8L80	12.42	53.56	32.14	0.23	0.39
T8L120	6.22	53.56	32.14	0.12	0.19
T10L40	23.99	91.34	54.80	0.26	0.44
T10L80	24.91	91.34	54.80	0.27	0.45
T10L120	22.87	91.34	54.80	0.25	0.42
T12L40	8.48	95.50	57.30	0.09	0.15
T12L80	40.03	132.79	79.67	0.30	0.50
T12L120	49.99	132.79	79.67	0.38	0.63
T14L80	52.22	156.10	93.66	0.33	0.56
T14L120	60.95	181.96	109.18	0.33	0.56

Deneyel çalışma neticesinde elde edilen kapasite güvenlik katsayıları Şekil 6.24'te ve tasarım güvenlik katsayıları Şekil 6.25'te gösterilmektedir.



Şekil 6.24. Kapasite güvenlik katsayıları



Şekil 6.25. Tasarım güvenlik katsayıları

## 7.SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında grup ankrajlar nümerik ve deneysel olarak ele alınmıştır. Nümerik çalışmada ankraj çubuk çapı, ankraj grubundaki çubuk sayısı ve ankraj derinliği parametreleri kullanılarak ankraj grupları için donatı kapasite ve beton konik kopma kapasite değerleri hesaplanmıştır. Sıyırılma kapasite değeri çok küçük hesaplandığı için hesaba katılmamış olup, bu iki değerden küçük olanı ACI 318 kapasite dayanımı olarak hesaba alınmıştır. ACI 318 kapasite dayanımı üç farklı ACI 318 dayanım azaltma katsayısı ile çarpılarak ACI 318 tasarım dayanımları elde edilmiştir. Üç farklı işçilik kalitesi ve ortam güvenilirliği için ACI 318 dayanım azaltma katsayısı belirlenmiştir. Böylece ACI 318 tasarım dayanımı hesabında işçilik kalitesi ve ortam koşullarının etkisi araştırılmıştır.

Nümerik çalışmada 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20 ve 24 mm olmak üzere sekiz farklı çubuk çapı seçilmiştir. Ankraj grupları ikili, üçlü, dördü, beşli ve altılı olarak oluşturulmuştur. Her çubuk için 5Ø, 10Ø, 15Ø ve 20Ø ankraj derinlikleri seçilmiştir. Ankraj grubundaki çubukların ara mesafeleri  $2h_{ef}$  ve kenar mesafeleri de  $h_{ef}$  olarak belirlenmiştir.

Hesaplamalar sonucunda 5Ø ankraj derinliğine ekilen bütün ankraj gruplarında beton konik kopma kapasiteleri, donatı kapasitelerine göre daha düşük hesaplanmaktadır. ACI 318 kapasite dayanımı, beton konik kopma kapasitesi olarak belirlenmiştir. Yani ankrajın dayanımını beton belirlemektedir. Bunun nedeni ankraj derinliğinin az olmasıdır. Her çap için ankraj grubundaki kapasite dayanımları; çubuk sayısı ikiden üçe çıkarıldığında %44, üçten dörde çıkarıldığında %31, dörtten beşe çıkarıldığında %24, beşten altıya çıkarıldığında ise %19'luk bir artış öngörülmektedir. 10Ø ankraj derinliğine ekilen ankraj gruplarında ise 24 mm çapındaki çubuk hariç diğer çaptakilerde, donatı kapasite değerleri beton konik kopma kapasitesi değerlerine göre daha düşük hesaplanmıştır. Ankraj dayanımını ankraj çubuğunun belirlemesi öngörülmektedir. Ankraj derinliğinin artması bu durumda etken olmuştur. Her çap için ankraj grubundaki kapasite dayanımları; çubuk sayısı ikiden üçe çıkarıldığında %50, üçten dörde çıkarıldığında %33, dörtten beşe çıkarıldığında %25, beşten altıya çıkarıldığında ise %20'lik bir artış öngörülmektedir. 24 mm çapında ve 10Ø derinliğindeki ankraj gruplarında ikili, üçlü ve dördü gruplarda donatı kapasitesi daha düşük hesaplanırken, beşli ve altılı gruplarda beton konik kopma kapasitesi daha düşük hesaplanmaktadır. 24 mm'den daha düşük çaptaki ankraj gruplarının tamamında donatı kapasite değeri daha düşük hesaplanmıştır. İkili, üçlü ve dördü ankraj gruplarında derinlik fazla olduğu için beton konik kopma kapasite değerleri daha yüksek hesaplanmıştır. Ancak beşli ve altılı gruplarda derinlikteki artış, donatı kapasitesindeki artışın önüne geçememiştir. Çünkü çubuk çapı yüksektir. 24 mm çapı için

ankraj grubundaki kapasite dayanımları; çubuk sayısı ikiden üçe çıkarıldığında %50, üçten dörde çıkarıldığında %33, dörtten beşe çıkarıldığında %24, beşten altıya çıkarıldığında ise %19'lık bir artış öngörülmektedir. 20Ø ankraj derinliğine ekilen ankraj gruplarında donatı kapasite değerleri beton konik kopma kapasitesi değerlerine göre daha düşük hesaplanmıştır. Ankraj dayanımını ankraj çubuğunun belirlemesi öngörülmektedir. Ankraj derinliğinin artması bu durumda etken olmuştur. Her çap için ankraj grubundaki kapasite dayanımları; çubuk sayısı ikiden üçe çıkarıldığında %50, üçten dörde çıkarıldığında %33, dörtten beşe çıkarıldığında %25, beşten altıya çıkarıldığında ise %20'lik bir artış öngörülmektedir.

Genele bakarsak gruptaki çubuk sayısının artışı donatı kapasite değerini ve beton konik kopma kapasite değerini artırmıştır. Ankraj gruplarında, her çap için kendi içinde, ankraj derinliği 5Ø'den 10Ø'ye çıkarıldığında kapasite dayanımları; 8 mm çapındaki ankraj gruplarında ortalama %40, 10 mm çapındaki ankraj gruplarında ortalama %71, 12 mm çapındaki ankraj gruplarında ortalama %89, 14 mm çapındaki ankraj gruplarında ortalama %105, 16 mm çapındaki ankraj gruplarında ortalama %128, 18 mm çapındaki ankraj gruplarında ortalama %142, 20 mm çapındaki ankraj gruplarında ortalama %155, 24 mm çapındaki ankraj gruplarında ortalama %178'lik bir artış göstermiştir. Derinliğin 10Ø'den sonra artmasının kapasite dayanımına bir etkisi görülmemiştir. Sadece 24 mm çapındaki ankraj gruplarında 10Ø'den 15Ø'ye geçerken %1'lik bir artış görülmüştür.

DeneySEL çalışma kapsamında 8, 10, 12 ve 14 mm çaplarındaki B420C sınıfı ve 4.6 kalitesinde sonsuz dişli ankraj çubukları ile 40, 80 ve 120 mm derinliğindeki ankraj deliklerine, kimyasal yapıştırıcı kullanılarak ankraj uygulanmıştır. Ankraj çubukları ikili olarak ekilerek ankraj grubu elde edilmiştir. Elde edilen grup ankrajlara çekme kuvveti uygulanmıştır. Deneyler sonucunda yük-deplasman eğrileri oluşturulmuştur. Oluşturulan grafiklerden çekme kapasiteleri, başlangıç rijitlikleri, deplasman süneklik oranları ve enerji yutma kapasiteleri elde edilmiştir. Ayrıca ACI 318'e göre tasarım ve dayanım kapasiteleri hesaplanarak güvenlik katsayıları elde edilmiştir.

Çalışma sonucunda 40 mm derinliğindeki ankraj gruplarının genelinde konik göçme ile sıyrılma birlikte gözlemlenmiştir. Sonsuz dişli tij çelikleriyle ekilen T12L40 ve T14L40 gruplarında sadece konik göçme meydana gelmiştir. Düşük derinlikteki ankrajlarda sıyrılmanın daha kolay olduğu görülmüştür. Diğer derinliklerdeki ankraj gruplarının genelinde ise sadece betonun konik göçmesi gözlemlenmiştir. Beton ankrajın çekme kapasitesini belirlemiştir.

B420C sınıfı ankraj gruplarında çubuk çapının artışı, çekme dayanımında düzenli bir artış oluşturmamıştır. Aynı durum tij çeliği 40 mm derinlikteki ankraj gruplarında da gözlemlenmiştir. Tij çeliği 80 mm ankraj derinliğinde ankraj gruplarının çekme dayanımları; çubuk çapları 8 mm'den 10 mm'ye çıktığında %100, 10 mm'den 12 mm'ye çıktığında %61 ve 12 mm'den 14 mm'ye çıktığında ise %30 oranında artış göstermiştir. Tij çeliği 120 mm ankraj derinliğinde ise ankraj gruplarının çekme dayanımları; çubuk çapları 8 mm'den 10 mm'ye çıktığında %267, 10 mm'den 12 mm'ye çıktığında %119 ve 12 mm'den 14 mm'ye çıktığında ise %22 oranında artış göstermiştir. Çubuk çapı artıkça, çekme dayanımında artış parabolik bir davranış sergilemiştir.

Deneyisel çalışmada ankraj gruplarının ACI 318'e göre tasarım dayanımları hesaplanmıştır. 8 ve 10 mm çapındaki ankraj gruplarının donatı kapasite değerleri, beton konik kopma kapasite değerlerine göre daha düşük çıkmıştır. Çapların düşük olması etkili olmuştur. N12L40 ankraj grubunda çap yüksek, derinlik düşük olduğu için beton konik kopma kapasite değeri daha düşük hesaplanmıştır. Aynı durum N14L40 ve T12L40 ankraj gruplarında da tespit edilmiştir. N14L80 ve T14L80 ankraj gruplarında ise derinlik artmıştır, ancak çap da arttığı için yine beton konik kopma kapasite değerleri düşük çıkmıştır. Diğer ankraj gruplarında donatı kapasite değerleri daha düşük çıkmıştır. Tüm ankraj gruplarında beton konik kopma kapasite değeri ve donatı kapasitelerinden hangisi daha düşükse o ACI 318 kapasite dayanımı olmuştur. Sıyrılma kapasite değeri çok düşük olduğu için hesaba katılmamıştır. ACI kapasite dayanımı ile ACI 318 dayanım azaltma katsayısı çarpılarak ACI 318 tasarım dayanımı değerleri elde edilmiştir. Dayanım azaltma katsayısı işçilik kalitesi ve ortam güvenirliliğinin orta seviyede olduğu durum için, 0.60 olarak hesaba alınmıştır.

Elde edilen ACI 318 kapasite dayanımı ve ACI 318 tasarım dayanımları, ankraj gruplarının test sonucunda elde edilen çekme dayanımları ile oranlanarak güvenlik katsayıları elde edilmiştir. B420C sınıfı ankraj çubuklarında kapasite güvenlik katsayısı ortalama değeri 0.20, tasarım güvenlik katsayısı ortalama değeri 0.33 olarak hesaplanmıştır. Tij çeliği ankraj çubuklarında kapasite güvenlik katsayısı ortalama değeri 0.24, tasarım güvenlik katsayısı ortalama değeri 0.40 olarak hesaplanmıştır. ACI 318 ankraj nominal kapasitesi hedeflenen %95 güvenlik durumunun altında kalmıştır.

Deneyisel çalışmalar sonucunda, kullanılan deney düzeneğinin daha rijit bir sistem olarak kurulabilmesi, ankraj ekimi sırasında deliğin daha çok temizlenmesi, epoksinin ortama uygun olmasının ve doğru bir şekilde uygulanması durumlarında daha doğrusal sonuçlar elde edilebileceğini sonucuna ulaşılmıştır.

Nümerik çalışmada donatı çapının artmasıyla donatı kapasitesinin arttığı ancak beton konik kopma kapasitesine bir etkisi olmadığı belirlenmiştir. Beton dayanımının ve ankraj derinliğinin de sadece beton konik kopma kapasite değerine etki ettiği tespit edilmiştir. Ankraj grubundaki çubuk sayısının artışı hem donatı kapasitesini hem de beton konik kopma kapasiteni artırdığı görülmüştür. 5Ø derinliğindeki ankraj gruplarında, derinliğin az olması nedeniyle beton konik kopma kapasite değerlerinin, donatı kapasitesi değerine göre daha düşük çıktığı ve ACI 318 tasarım dayanımını belirleyen faktörün beton olduğu belirlenmiştir. 10Ø, 15Ø ve 20Ø ankraj derinliklerinde ise, derinliğin artması nedeniyle beton konik kopma kapasite değerlerinin arttığı, donatı kapasitesinden daha yüksek hesaplandığı görülmüştür. Yani ACI 318 tasarım dayanımını belirleyen faktörün ankraj çubuğu olduğu görülmüştür.

DeneySEL ve nümerik çalışmalar sonucunda, ankrajın çekme dayanımında, işçilik kalitesi ve ortam koşullarının çok etkili olduğu tespit edilmiştir. Ankraj yapılacak delik ne kadar iyi temizlenirse, tozdan arındırılırsa, kullanılacak epoksi maddesi ortam koşullarına ne kadar uygun olursa, ankraj ekimi sırasında çubuk ne kadar iyi ve havası alınarak yerleştirilirse, ankraj çekme dayanımı o kadar yüksek çıkmaktadır.

ACI 318 dayanım azaltma katsayıları tablosunda belirtilen işçilik ve ortam koşulları katsayılarının, tasarım dayanımı hesabında oldukça etkili olduğu belirlenmiştir. Düşük işçilik kalitesi ve ortam koşullarından, orta işçilik kalitesi ve ortam koşullarına geçerken yaklaşık olarak %17, orta işçilik kalitesi ve ortam koşullarından yüksek işçilik kalitesi ve ortam koşullarına geçerken yaklaşık olarak %20'lik bir artış meydana gelmektedir.

Ülkemizde ankrajların tasarımı için herhangi bir standart bulunmayıp, 18 Mart 2018 tarihinde yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde, ankraj tasarımında uluslararası standart ve yönetmelikler kullanılabilir ibaresi geçmektedir. Bu bağlamda yapılan deneysel çalışma sonuçları hedeflenen %95 güvenlik durumunun altında kalmasına rağmen literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde ACI CODE 318 (American Concrete Institute - Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary)'in kullanılabileceği görülmektedir.

## KAYNAKÇA

**Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı** (2018). *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*. [Erişim: 10.12.2021, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1-2.htm>]

**American Concrete Institute** (2008). “*ACI 318 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*”, Detroit, USA.

**Ağdağ, Y.** (2019). *Kimyasal Ankraj Çekme Dayanımını Etkileyen Faktörler*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik.

**Altan, F.** (2013). *Betona Sonradan Yerleştirilen Kimyasal Ankrajların Eksenel Çekme Etkileri Altında Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.

**Aras, M.** (2015). *Yapıştırıcı Türünün Ankraj Çekme Kuvvetine Etkisi ve Sonlu Elemanlar ile Modellenmesi*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik.

**Arslan, T.** (2016). *Group Effect İn Axially Loaded Chemical Anchors Embedded İn Low Strength Concrete*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İzmir Kâtip Çelebi University, Graduate School Of Natural And Applied Sciences, İzmir.

**ASTM E488–96** (2003). *Standard test methods for strength of anchors in concrete and masonry elements*.

**Aydoğan, İ.** (2015). *Kimyasal Ankrajlarda Çap, Gömme Derinliği ve Kenar Mesafesinin Çekme Kuvvetine Etkisi*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik.

**Bajer M. and Barnat J.** (2012). The Glue-Concrete İnterface Of Bonded Anchors. *Construction and Building Materials*, 34, 267-274.

**Barnat, J., Bajer, M. and Vynankova, M.** (2012). Bond Strenght Of Chemical Anchor İn High-Strenght Concrete. *Prodecia Engineering*, 40, 38-43.

**Bayazıt, V.** (2016). *Betonarme Elemanlarda Donatı Oranının Ankraj Uygulamalarına Etkisinin Araştırılması*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.

**Binici, H., Kaplan, H., Temiz, H., Zengin, H. ve Görür, E.B.** (2006). Epoksi ve Epoksinin Yapı Güçlendirilmesinde Kullanımı. *Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu*, Denizli, 147-153.

**Bozancı, S.** (2020). *Çelik Dübellerin Ankraj Dayanımlarının Deneysel Olarak Belirlenmesi*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.

**Cook R.A.** (1993). Behavior Of Chemically Bonded Anchors. *ASCE Journal of Structural Engineering*, 119(9), 2744-2762.

**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.

**Cook R. A. and Konz R. C.** (2001). Factors Influencing Bond Strength Of Adhesive Anchors. *ACI Structural Journal*, 98(1), 76-86.

**Çalışkan, Ö., Yılmaz, S. ve Kaplan, H.** (2011). Güçlendirme Ankrajlarının Kesme Dayanımının ACI318 ve TS500'e Göre Belirlenmesi. *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(3), 19-27.

**Çalışkan Değirmenci, Ö., Aydoğan, İ., Aras, M. ve Çerçevik, A.E.** (2015). Ankrajlarda Epoksi Kullanımı. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1), 69-74.

**Çalışkan Değirmenci, Ö., Yılmaz, S. ve Kaplan, H.** (2015). Kimyasal Ankraj Bulonlarının Kesme Davranışı. *2<sup>nd</sup> International Sustainable Buildings Symposium*, 28-30 Mayıs, Ankara, 104-109.

**Çalışkan, Ö.** (2020). Kimyasal Ankrajlarda Kenar Mesafesi ve Gömme Derinliğinin Etkisi. *Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(2), 303-315.

**Çelik, F.** (2018). *Mevcut Yığma Binalarda Depremsel Güçlendirme Ankrajlarının Çap ve Ankraj Derinliğine Bağlı Çekme ve Kesme Performanslarının Deneysel Olarak İncelenmesi*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.

**Çelik, F. ve Doğan, O.** (2021). Güçlendirme Ankrajlarının Kesme Performansının Mevcut Yığma Duvarlar Üzerinde Belirlenmesi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(2), 1230-1242.

- Çırak, İ.F.** (2011). *Güçlendirme Perdeleri ile Mevcut Yapı Elemanları Arasındaki Kayma Davranışının Modellenmesi*. (Yayınlanmamış Doktora Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Çırak, İ.F.** (2015). Kimyasal Ankrajların Kesme Dayanımında Etkili Parametreler. *Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3(1), 329-334.
- Çırak, İ.F., Kaplan, H. ve Yılmaz, S.** (2015). Kimyasal Ankrajların Kesme Yükleri Altında Maksimum Kapasitesini Etkileyen Parametreler. *SDU Teknik Bilimler Dergisi*, 5(2), 30-36.
- Darwin, D. and Salamizevaregh, S.** (1993). Bond Strenght Of Grouted Reinforcing Bars. *Structural Engineering and Engineering Materials SM Report No:32, University of Kansas Center For Research, Inc., Lawrence, Kansas.*
- Darwin D. and Zavaregh S. S.** (1996). Bond Strength Of Grouted Reinforcing Bars. *ACI Structural Journal*, 93(4), 486-495.
- Delhomme, F. and Brun, M.** (2018). Pullout Simulation Of Post Installed Chemically Bonded Anchors İn UHPFRC. *MATEC Web of Conferences*, 199, 11007.
- Demir, İ., Şimşek, O. ve Yaprak, H.** (2009). Ankraj Donatısı Türünün Ankraj Performansına Etkisi. *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, 13-15 Mayıs, Karabük.
- Doğan, O., Çelik, F., Erkmen, K.C., Bande, B. & Akgül, M.** (2020). Mevcut Yığma Duvarlara Yapılan Kimyasal Ankrajların Çekme Performansının Tam ve Kısmi Sıyrılmalı Yöntemlerle Deneysel Olarak Belirlenmesi. *Construction Materials Engineering and Archirecture Congress*. 12-14 Haziran, Ankara, 126.
- 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.
- Gürbüz, T.** (2007). *Yapıların Güçlendirilmesinde Kullanılan Kimyasal Ankrajların Eksenel Çekme Etkisi Altındaki Davranışlarının İncelenmesi*. (Yayınlanmamış 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 Eksenel Çekme Etkisi Altında Davranışları. *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, 16-20 Ekim 2007, İstanbul.

**Higgins C. C. and Klingner R. E.** (1998). Effects Of Environmental Exposure On The Performance Of Cast-İn-Place And Retrofit Anchors İn Concrete. *ACI Structural Journal*, 95(5), 506-517.

**Kaya, Y.** (2007). *Yapıların Güçlendirilmesi Uygulamalarında Kullanılabilecek Kısmi Bağlı Ankraj Detayı ve Yüzey Temizliği Koşulları Altında Ankrajların Eksenel Çekme Davranışlarının İncelenmesi.* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

**Kaya, O. ve Yalçın, C.** (2017). Ağır Hasarlı Kolon Kiriş Birleşim Numunesinin Kimyasal Harçlar ile Onarılarak Sismik Davranışının İncelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(3), 171-176.

**Muratlı H., Klingner R.E., Graves H.L.** (2004). Breakout Capacity Of Anchors İn Concrete-Part 2: Shear, *ACI Structural Journal, Technical Paper, V.101, No.6*, 821-829.

**Müsevitoğlu, A.** (2019). *Kimyasal Ankrajların Eksenel Çekme Etkisi Altında Davranışlarının Deneysel ve Analitik Olarak İncelenmesi.* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.

**Nilforoush, R., Nilsson, M. and Elfgren, L.** (2017). Experimental Evaluation Of Tensile Behaviour Of Single Cast-İn-Place Anchor Bolts İn Plain And Steel Fibre-Reinforced Normal And High-Strength Concrete. *Engineering Structures*, 147, 195-206.

**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.

**Özdemir, S.** (2013). *Betona Sonradan Yerleştirilen Kimyasal Ankrajların Kesme Etkileri Altında Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi.* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.

**Özen, M.A.** (2010). *Düşük ve Normal Dayanımlı Betonlarda Epoksi Ankrajların Çekme Davranışı.* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.

- 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 İn Concrete. *Journal of Structural Engineering, American Society of Civil Engineers ASCE*, V.109, No.5, 1155-1173.
- Pinoteau N., Pimienta P., Guillet T., Rivillon P. and Remond S.** (2011). Effect Of Heating Rate On Bond Failure Of Rebars İnto Concrete Using Polymer Adhesives To Simulate Exposure To Fire. *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 31: 851-861.
- Primavera E. J., Pinelli J. P. and Kalajian E. H.** (1997). Tensile Behavior Of Cast-İn-Place And Undercut Anchors İn High-Strength Concrete. *ACI Structural Journal*, 94(5), 583-594.
- Sansak, F.M.** (2019). *Ankraj Çubuklarının Çekme Davranışlarının Deneysel Olarak İncelenmesi.* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, Şanlıurfa.
- Seyhan, E.C.** (2006). *Kimyasal Ankrajların Davranışlarının İncelenmesi.* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Topçu, İ.B., Uygunoğlu, T. ve Güler, M.** (2015). Kimyasal Ankrajların Çekme Dayanımına Delik Çapı ve Derinliğinin Etkisi. *2<sup>nd</sup> International Sustainable Buildings Symposium*, 28-30 Mayıs, Ankara, 151-155.
- Türkay, N.** (2020). *Polimerik İnşaat Donatılarının Kimyasal Ankraj Performansının Araştırılması.* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Yang M., Zhao Y. and Zhang N.** (2014). Creep Behavior Of Epoxy-Bonded Anchor System. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 67, 96-103.
- Yılmaz, S., Çalışkan, Ö., Kaplan, H. ve Kıracı, N.** (2010). Kimyasal Ankrajların Dayanımını Etkileyen Faktörler. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 13(1), 123-134.
- Zamora N. A., Cook R. A., Konz R. C. and Consolazio G. R.** (2003). Behavior And Design Of Single, Headed And Unheaded, Grouted Anchors Under Tensile Load. *ACI Structural Journal*, 100(2), 222-230.

**Ek-1:** N8L40-80-120 ankraj gruplarına ait deney fotoğrafları



**Ek-2:** N10L40-80-120 ankraj grubuna ait deney fotoğrafları



**Ek3:** N12L40-80-120 ankraj grubuna ait deney fotoğrafları



**Ek-4:** N14L40-80-120 ankraj grubuna ait deney fotoğrafları



**Ek-5:** T8L40-80-120 ankraj grubuna ait deney fotoğrafları



**Ek-6:** T10L40-80-120 ankraj grubuna ait deney fotoğrafları



Ek-7: T12L40-80-120 ankraj grubuna ait deney fotoğrafları



**Ek-8:** T14L80-120 ankraj grubuna ait deney fotoğrafları

