

Mevcut Betonarme Binaların Dış Perde Duvar İle Güçlendirilmesinde Ankraj  
Uygulamalarının Deneysel Olarak Araştırılması

Özlem ÇALIŞKAN

**DOKTORA TEZİ**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran 2010

Experimental Study of Anchor Application on the Existing Reinforced Concrete  
Structures Strengthened with External Shear Walls

Özlem Çalışkan

**DOCTORAL DISSERTATION**

Civil Engineering Department

June 2010

Mevcut Betonarme Binaların Dış Perde Duvar İle Güçlendirilmesinde Ankraj  
Uygulamalarının Deneysel Olarak Araştırılması

Özlem Çalışkan

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yapı Bilim Dalında  
DOKTORA TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Hasan KAPLAN

Haziran 2010

## ONAY

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora öğrencisi Özlem ÇALIŞKAN'ın DOKTORA tezi olarak hazırladığı “Mevcut Betonarme Binaların Dış Perde Duvar İle Güçlendirilmesinde Ankraj Uygulamalarının Deneysel Olarak Araştırılması” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. Hasan KAPLAN

### **Doktora Tez Savunma Jürisi:**

**Üye** : Prof. Dr. Hasan KAPLAN

**Üye** : Prof. Dr. Hasan GÖNEN

**Üye** : Doç. Dr. Nevzat KIRAÇ

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Yavuz Selim TAMA

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Salih YILMAZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun .....tarih ve.....  
sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

## ÖZET

Deprem bakımından yetersiz mevcut betonarme binaların güçlendirilmesinde, pratik ve ekonomik bir şekilde uygulanmakta olan “dış perde duvar metodu” ile ilgili olan bu çalışma iki aşamadan oluşmaktadır.

Çalışmanın birinci aşamasında düşük ve normal beton dayanımına sahip betonarme elemanlara ekilen ankrajların kesme davranışı incelenmiştir. İnceleme için beton basınç dayanımı 5-25 MPa, ankraj çapı 12-20 mm ve ankraj derinliği 10Φ - 20Φ aralığında değişken tutulmuştur. Bu kapsamda 48 adet ankraj deneyi tekrarlı-tersinir kesme yükleri altında yapılarak davranış incelenmiştir. Deney elemanlarının tümünde ankraj donatısı hasarı oluşturacak şekilde ankrajlar serbest kenardan yeterince uzağa ekilmiştir. Bu sebeple beton basınç dayanımı ve gömülme derinliğinin dayanım üzerinde anlamlı bir etkisi görülmemiştir. Ankraj çapları dikkate alındığında ise, çap artışı ile birlikte kesme kuvvetinin arttığı görülmüştür. Ancak, büyük çaplı ankrajların ulaşabildiği nihai gerilme değerleri küçük çaplı ankrajlara göre oldukça düşük düzeydedir. Bu sebeple, ankraj kesme dayanımının belirlenmesi için sürtünme kesmesi yönteminin kullanılması durumunda ankraj çapına bağlı dayanım azaltma katsayılarının kullanılması önerilmiştir. DBYBHY’de ankraj çapı için verilen 16 mm alt sınırı yerine bir üst sınır konulmasının daha uygun olacağı belirlenmiştir.

Çalışmanın ikinci kısmında ise ilk aşamada elde edilen sonuçlardan faydalanılarak düşük ve normal beton dayanımına sahip çerçevelere güçlendirme perdeleri farklı ankraj yerleşimi ile bağlanmıştır. Ankrajlar çerçevenin kolon ve kirişlerine gerekli ankraj miktarları farklı oranlarda azaltılarak ekilmiştir. Bu deney elemanları da tekrarlı-tersinir yatay yükler altında test edilmiştir. Deneyler sonucunda ankraj kesme kapasitelerinin doğru bir şekilde hesaplanması koşulu ile kolonlara yapılan ankrajların gereken ankraj miktarının %70’ine kadar azaltılabileceği ancak bu durumda üst kat kirişine ek ankraj yapılması gerektiği ortaya çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Dış perde duvarlar, Kimyasal ankrajlar, Kesme dayanımı.

## SUMMARY

In the seismic retrofit of existing reinforced concrete structures which are inadequate in terms of seismic behaviour, a practical and economical applicable method "external shear wall method" which is related to this study consists of two phases.

In the first phase of this study, anchors shear behavior on reinforced concrete members with low and normal strength concrete were examined. For the analysis, concrete compressive strength of 5-25 MPa, anchor diameter of 12-20 mm and anchor depth of  $10\Phi$  -  $20\Phi$  are taken as variables. In this scope, 48 anchoring experiment were performed under repeated-reversed shear forces and the behavior of anchors was investigated. Anchors are far enough from the free edge so that anchorage reinforcement damage in all experimental elements are created. For this reason, the concrete compressive strength and depth of anchors do not have any significant effect on the strength. When anchor diameter is taken into account, the increase in diameter was observed with increasing shear forces. However, large-scale anchors could reach the ultimate stress level which is lower than the value of small-scale anchors. Therefore, in case of using the shear friction method to determine the shear strength of anchorage it has been recommended to use the strength reduction coefficients which are related to the diameter of the anchors. 16 mm diameter for anchoring is given in the DBYBHY as a lower limit but it is determined that it will be more appropriate to give an upper limit instead of a lower limit.

In the second part of this study, by making use of the results obtained in the first step, the external strengthening shear walls with different anchor spacings are connected to the frames with low and normal strength concrete. The necessary anchors for columns and beams of a frame are placed by reducing the amount of anchors at different rates. Also these experimental members are tested under repeated- reversed lateral load. As a result of the experiments, it has been found out that the necessary anchor amount for the columns can be reduced by the amount of 70 % in case of accurately calculated shear capacity but in this case the upper floor beams should be furnished with extra anchors.

Keywords: External shear walls, Chemical anchors, Shear strength.

## TEŞEKKÜR

“Mevcut Betonarme Binaların Dış Perde Duvar İle Güçlendirilmesinde Ankraj Uygulamalarının Deneysel Olarak Araştırılması” konulu bu tez çalışması Prof. Dr. Hasan KAPLAN yönetiminde yapılmıştır. Gösterdiği ilgi, anlayış ve yardımlarından dolayı sayın hocama teşekkür ederim.

Bu tez çalışması 200815012 kodlu Eskişehir Osmangazi Üniversitesi BAP ve 107M572 kodlu TÜBİTAK projeleri tarafından desteklenmiştir.

Tez çalışmasının deneysel kısmı Pamukkale Üniversitesi Deprem ve Yapı Teknolojileri Araştırma Laboratuvarı’nda yapılmıştır. Bu fırsatı veren başta sayın hocam Prof. Dr. Hasan KAPLAN’a ve Yrd. Doç. Dr. Salih YILMAZ’a teşekkür ederim. Hocalarım Doç. Dr. Nevzat KIRAÇ ve Yrd. Doç. Dr. Yavuz Selim TAMA’ya, projede birlikte çalıştığımız İnş. Müh. Dr. Nihat ÇETİNKAYA, İnş. Müh. Dr. Halil NOHUTCU ve İnş. Müh. Ahmet SARIŞIN’a teşekkür ederim.

Deneysel çalışmaları sürdürdüğümüz Deprem ve Yapı Teknolojileri Araştırma Laboratuvarı’nda deney düzeneklerini hazırlamada yardımcı olan Mevlüt SUNGU, Adnan HAFIZOĞLU, Mehmet GÜNGÖR, Süleyman BEYTEMİR ve Mustafa GÜDÜCÜ’ye, deney elemanlarının üretilmesindeki desteklerinden dolayı OK-SU Yapı Kimyasalları, Bilgi Zemin ve Yapı Laboratuvarı, Modern Beton, Ölçek Yapı Denetim ve Hadid Makina çalışanlarına, Yrd. Doç. Dr. Hayri ÜN, İnş. Müh. Nagihan HALDENBİLEN ve İdare Amiri Nihat ÇATAK’a teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde büyük katkıları olan aileme gösterdikleri sevgi, saygı ve anlayıştan dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	<b>v</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>vi</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>vii</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>xi</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>xv</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>xvi</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Konu .....	1
1.2. Amaç .....	2
1.3. Kapsam.....	3
<b>2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR</b> .....	<b>5</b>
2.1. Güçlendirme Yöntemlerine Genel Bakış .....	5
2.2. Betonarme Yapıların Güçlendirilmesi ile İlgili Çalışmalar .....	7
2.3. Ankrajlar ile İlgili Genel Bilgiler.....	16
2.4. Ankrajlar ile İlgili Yapılmış Çalışmalar.....	18
2.5. Literatür Değerlendirmesi .....	33
<b>3. ANKRAJ DENEYLERİ</b> .....	<b>35</b>
3.1. Deney Elemanları.....	35
3.1.1. Geometrik özellikler.....	35
3.1.2. Deney Parametreleri.....	37
3.2. Malzeme Özellikleri.....	40
3.2.1. S420a çubuklar .....	40
3.2.2. S420b çubuklar.....	41
3.2.3. Kimyasal yapıştırıcı.....	42
3.2.4. Beton .....	44
3.3. Numunelerin Üretimi .....	46



## İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.4. Deney Düzeneği .....	48
3.4.1. Veri toplama sistemi .....	48
3.4.2. Yükleme düzeneği.....	49
3.5. Ankraj Kesme Kapasiteleri .....	52
3.5.1. ACI 318'e göre kesme kuvveti.....	52
3.5.2. TS500'e göre kesme kuvveti.....	54
3.6. Beklenen Ankraj Kapasiteleri .....	55
<b>4. ANKRAJ DENEY SONUÇLARI .....</b>	<b>58</b>
4.1. Deney Sonuçları .....	58
4.2. Yük-Deplasman Davranışı .....	60
4.3. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	68
4.3.1. Derinlik-Beton Sınıfı.....	68
4.3.2. Ankraj Çapı – Beton Sınıfı.....	70
4.4. Deney Sonuçları ve Beklenen Ankraj Kapasiteleri.....	74
<b>5. DIŞ-PERDELİ ÇERÇEVE DENEYLERİ.....</b>	<b>83</b>
5.1. Genel Bilgiler .....	83
5.2. Deney Serisi .....	84
5.3. Numunelerin Üretimi .....	90
5.4. Malzeme Kalitesi .....	92
5.4.1. S420b ankraj çubukları.....	92
5.4.2. Kimyasal Yapıştırıcı.....	93
5.4.3. Beton .....	94
5.5. Ankraj Yerleşim Planı.....	94
5.6. Deney Düzeneği .....	97
5.6.1. Veri Toplama Sistemi.....	100
5.6.2. Yükleme Düzeneği.....	102

**İÇİNDEKİLER (devam)**

	<b><u>Sayfa</u></b>
<b>6. DIŞ-PERDELİ ÇERÇEVE DENEYLERİNİN SONUÇLARI .....</b>	<b>104</b>
6.1. Deney Sonuçları .....	104
6.2. Deneysel Kapasitelerin Karşılaştırılması .....	117
<b>7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>122</b>
<b>8. KAYNAKLAR.....</b>	<b>127</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>135</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u> .....	<u>Sayfa</u>
2.1. Eleman iyileştirmesi ile güçlendirme (Moehle, 2000).....	5
2.2. Sistem iyileştirmesi ile güçlendirme (Moehle, 2000) .....	6
2.3. Ankraj tipleri .....	17
3.1. 350*150*40 cm boyutlarında mevcut betonarme elemanı temsil eden temel .....	36
3.2. Temelin üzerinde ankrajla bağlanan betonarme bloklar .....	36
3.3 Deney elemanı ölçüleri .....	36
3.4. Deney elemanı kesiti .....	37
3.5. 1.grup ankraj deneyleri yerleşim planı.....	38
3.6. 2.grup ankraj deneyleri yerleşim planı.....	39
3.7. S420a çubukları çekme deneyi.....	40
3.8. S420b çubukları çekme deneyi .....	41
3.9. Uygulanan epoksi esaslı kimyasal yapıştırıcı .....	42
3.10. Epoksi basınç deneyi.....	43
3.11. Epoksi eğilme deneyi .....	44
3.12. Alınan küp numuneler ve beton basınç deneyi .....	45
3.13. Temellerin donatıları ve beton dökümü .....	46
3.14. Ankraj deliklerinin temizlenmesi.....	47
3.15. Ankrajların ekilmesi.....	47
3.16. Beton blokların donatıları ve beton dökümü.....	48
3.17. Ölçüm sistemi.....	49
3.18. Ölçüm sisteminin şematik görünümü.....	49
3.19. Deney düzeneği yan görünüş .....	50
3.20. Deney düzeneğinin perspektif görünümü .....	50
3.21. Deney düzeneğinin kurulumu .....	51
3.22. Deplasman yüklemesi .....	51
3.23. Ankraj göçme modları.....	53
4.1. Piston deplasman kapasitesinin sonu .....	58
4.2. Deney resimleri .....	59

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<b><u>Sekil</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
4.3. Numunelerin çıkarılmasında oluşan hasar .....	60
4.4. Deney sırasında oluşan hasarlar .....	60
4.5. C5 temeline ait yük – deplasman eğrileri.....	61
4.6. C10 temeline ait yük – deplasman eğrileri.....	62
4.7. C16 temeline ait yük – deplasman eğrileri.....	63
4.8. C20 temeline ait yük – deplasman eğrileri.....	64
4.9. C25 temeline ait yük – deplasman eğrileri.....	65
4.10. S420b ankraj elemanlarına ait yük-deplasman eğrileri.....	67
4.11. 10Φ derinlikte beton sınıfı-ortalama ankraj gerilmesi .....	68
4.12. 15Φ derinlikte beton sınıfı-ortalama ankraj gerilmesi .....	69
4.13. 20Φ derinlikte beton sınıfı-ortalama ankraj gerilmesi .....	69
4.14. Φ12 çapta beton sınıfı-ortalama ankraj gerilmesi .....	70
4.15. Φ16 çapta beton sınıfı-ortalama ankraj gerilmesi .....	71
4.16. Φ20 çapta beton sınıfı-ortalama ankraj gerilmesi .....	71
4.17. Deney serisinin maksimum ankraj kesme kuvveti değerleri.....	72
4.18. Deney serisinin minimum ankraj kesme kuvveti değerleri.....	73
4.19. Deney serisinin ortalama ankraj gerilmesi değerleri.....	73
4.20. Deneysel kesme kuvveti – TS500 tasarım kesme kuvveti .....	75
4.21. Deneysel kesme kuvveti – ACI318 tasarım kesme kuvveti.....	76
4.22. C5 temeline ait deney sonuçları ve beklenen kapasiteler.....	77
4.23. C10 temeline ait deney sonuçları ve beklenen kapasiteler.....	78
4.24. C16 temeline ait deney sonuçları ve beklenen kapasiteler.....	79
4.25. C20 temeline ait deney sonuçları ve beklenen kapasiteler.....	80
4.26. C25 temeline ait deney sonuçları ve beklenen kapasiteler.....	81
4.27. S420b çubuklara ait deney sonuçları ve beklenen kapasiteler .....	82
5.1 Güçlendirilmemiş çerçeve.....	83
5.2 Dış perde ile güçlendirilmiş çerçeve.....	83
5.3 2B çerçeve ölçüleri.....	85
5.4. Çerçeveadaki giriş kesit özellikleri.....	86

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<b><u>Sekil</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
5.5. Çerçevelerin kolon kalıp ve donatı detayı.....	87
5.6. Güçlendirme perdesi donatı detayı.....	88
5.7. Çerçeve kalıbı.....	90
5.8. Çerçevelerin beton dökümünden görüntü .....	91
5.9. Perde kalıbı.....	91
5.10. Perdelerin beton dökümü .....	92
5.11. Perde – çerçeve bağlantı ankrajlarının ekimi .....	92
5.12. S420b ankraj çubukları çekme testinden görüntüler .....	93
5.13. Çerçevelerde ankraj yerleşim planı – 1 .....	95
5.14. Çerçevelerde ankraj yerleşim planı – 2.....	96
5.15. 2B çerçeve yatay yükleme sistemi .....	97
5.16. Çerçeve - piston bağlantısı üst görünüş .....	98
5.17. Çerçeve ile piston bağlantısından bir görünüm.....	98
5.18. Veren-veren mesnedi ve veren-çerçeve bağlantıları .....	99
5.19. Perde ve çerçevedeki kılavuz sistemi.....	100
5.20. Veri toplama yazılımı.....	101
5.21. Deplasman ölçer yerleşim planı .....	102
5.22. Çerçeveye uygulanan aksenal yük düzeneği.....	103
5.23. Deplasman yüklemesi .....	103
6.1. C1DE ve C2ED çerçevelerine ait kesme kuvveti-deplasman eğrileri .....	104
6.2. Perdenin çerçeveden ayrılmaya başlaması.....	105
6.3. Düşük dayanımlı – düşük ankraj oranlı çerçevelerde perde tabanı.....	105
6.4. C2 çerçevelerine ait kesme kuvveti-deplasman eğrileri.....	106
6.5. Çerçeve ve perdenin birlikte çalışması .....	107
6.6. Ankraj oranı yüksek C2 elemanlarda görülen perde eğilme çatlakları .....	107
6.7. C3 çerçevelerine ait kesme kuvveti-deplasman eğrileri – 1.....	108
6.8. Kiriş ankraj oranı %0 olan çerçevelerin dış perdeden ayrışması .....	109
6.9. Kolonda konik kopma .....	109
6.10. Kirişte konik kopma.....	110

**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**

<b><u>Sekil</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
6.11. C3 çerçevelerine ait kesme kuvveti-deplasman eğrileri – 2.....	111
6.12. %70 ve üstü ankraj oranları olan C3 çerçeveler.....	112
6.13. C3 çerçevelerde konik kopmalar.....	113
6.14. C3BB elemanında perde tabanında eğilme çatlağı .....	114
6.15. C3BB elemanında tabanda kayma .....	114
6.16. C3DA+ elemanında eğilme çatlakları .....	115
6.17. C3DA+ elemanında basınç bölgesinde ezilme başlangıcı .....	115
6.18. C3DD elemanında perde ve çerçeve konik kopmaları.....	116
6.19. C3DD elemanında kolon ankrajının kopması .....	116
6.20. C1 ve C2 çerçevelerine ait zarf eğrileri.....	117
6.21. C2 çerçevelerine ait zarf eğrileri .....	118
6.22. C3 çerçevelerine ait zarf eğrileri - 1.....	119
6.23. C3 çerçevelerine ait zarf eğrileri – 2 .....	120

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b><u>Çizelge</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
3.1. Ankraj deneylerindeki parametreler.....	37
3.2. 1.grup ankraj deneylerine ait detaylar .....	38
3.3. 2.grup ankraj deneylerine ait detaylar .....	39
3.4. Tekrar edilen deneylere ait detaylar .....	39
3.5. S420a çubukların mekanik özellikleri.....	40
3.6. S420b çubukların mekanik özellikleri .....	41
3.7. Kullanılan kimyasal yapıştırıcının teknik özellikleri .....	43
3.8. Kullanılan kimyasal yapıştırıcının mekanik özellikleri .....	43
3.9. Epoksi deney sonuçları .....	44
3.10. Ağırlıkça beton karışım oranları .....	45
3.11. Beton basınç dayanımları (MPa).....	45
3.12. C5 temelinde beklenen ankraj kapasiteleri (kN).....	55
3.13. C10 temelinde beklenen ankraj kapasiteleri (kN).....	56
3.14. C16 temelinde beklenen ankraj kapasiteleri (kN).....	56
3.15. C20 temelinde beklenen ankraj kapasiteleri (kN).....	56
3.16. C25 temelinde beklenen ankraj kapasiteleri (kN).....	57
3.17. S420b ankrajlarda beklenen ankraj kapasiteleri (kN) .....	57
5.1. C1 ve C2 çerçevelerinde kullanılan ankraj alanının gerekli ankraj alanına oranı....	89
5.2. C3 çerçevelerinde kullanılan ankraj alanının gerekli ankraj alanına oranı .....	89
5.3. Ankraj donatılarının mekanik özellikleri .....	93
5.4. Çerçeve deneylerinde kullanılan betonların küp basınç dayanımları (MPa) .....	94

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b><u>Simgeler</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
$A_s, A_{se}$	Ankrajın kesit alanı ( $\text{mm}^2$ )
$c_1, c_{a1}$	Serbest kenar mesafesi
$D, d_o$	Ankraj çapı
$f_c', f_c$	Beton basınç dayanımı
$f_{ua}$	Çelik çekme dayanımı ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )
$f_{yd}$	Donatıların akma dayanımı ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )
$k_{cp}$	Ara bölgede beton kırılma dayanımı için katsayı
$L, l, l_e$	Ankraj gömme derinliği
$n$	Gruptaki ankraj sayısı
$N_{cb}, N_{cbg}$	Eksenel yük için verilen betonun konik kopma kapasitesi
S420a	Çelik çubuk (sünek)
S420b	Çelik çubuk (gevrek)
$V_b$	ACI318'e göre kenarda beton kırılması durumu için ankraj kesme dayanımı
$V_{cp}$	ACI318'e göre ara bölgede beton kırılması için tekil ankrajın kesme dayanımı
$V_{cpg}$	ACI318'e göre ara bölgede beton kırılması için ankraj grubunun kesme dayanımı
$V_r$	TS500'e göre ankraj kesme kuvveti
$V_{sa}$	ACI318'e göre çeliğin göçmesi durumu için ankraj kesme dayanımı
$\mu$	Pürüzlülük durumuna göre değişen bir katsayı
$V_{bt}$	Perde eğilme kapasitesinden hesaplanan teorik kesme kapasitesi



**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)**

<b><u>Kısaltmalar</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
ba	Betonarme
BÇ	Betonarme çeliği
C	Beton sınıfı
CC, CCD	Beton kapasitesi metodu
DBYBHY	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
LC	Load cell (yük hücresi)
PC	Potansiyometrik cetvel
TS	Türk Standardı
TUDAP	Türkiye Ulusal Deprem Araştırmaları Programı

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

#### 1.1. Konu

Ülkemizde yerleşim alanlarının büyük bir çoğunluğu deprem riski altındadır. Yapılan istatistiksel analizler her 8 ayda bir ülkemizde hasar yapıcı deprem meydana geldiğini göstermektedir. Birçoğu orta büyüklükteki bu depremler kırsal-kentsel, gelişmiş-gelişmemiş bölge farkı olmaksızın ağır hasarlara ve ekonomik kayıplara sebep olmuştur (TUDAP, 2005). Ülkemizin öncelikli konularından birisi de depremde ağır hasar görme/yıkılma riski taşıyan yapı stokunun hızlı bir şekilde azaltılmasıdır (Kaplan, vd., 2006a).

Yıkıcı depremler sonrasında yapılan incelemelerde, betonarme perdeli yapıların göçmediği veya hafif hasarlarla depremleri atlatabildiği görülmüştür (Kaplan, vd., 2005). Bundan dolayı, taşıyıcı sistemin güçlendirilerek güvenlik düzeyinin yükseltilmesi çalışmalarında etkinliği deneysel çalışmalarla da kanıtlanan betonarme dolgu perde ilavesi güçlendirme uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak yöntemin yapı kullanımını engellemesi ve zorlukları karşısında pek çok kişi/kurum yapılarını güçlendirmekten kaçınmaktadır. Bu yapıların hızlı bir şekilde ve kullanımını aksatmadan güçlendirilebilmesi deprem riski altındaki ülkeler için hayati bir konudur. Bu konuda yapılan çalışmalarda prefabrik dolgu panel ilavesi ve dış perde uygulaması güçlendirme için uygun yöntemler olarak önerilmiştir (Kaplan, vd., 2006c).

Yeni bir teknik olan dıştan perde güçlendirmesi yöntemiyle binanın işlevini hiç aksatmadan bina depreme dayanıklı hale getirilmektedir. Pamukkale Üniversitesi'nde yürütülen dış-perde uygulaması ile güçlendirme deneylerinde dış perde uygulamasının başarılı olabileceği kavramsal olarak kanıtlanmıştır (Kaplan, vd., 2006c). Ancak, dış-perdenin alternatifi olan dolgu perde yönteminden önemli bir farkı mevcuttur. Dolgu perde uygulamasında mevcut elemanlara yapılan ankrajların kalitesi düşük de olsa

dolgu perdenin yapının dayanımına azımsanmayacak bir katkı sağlaması mümkündür. Hâlbuki dış-perde uygulamasında güçlendirme uygulamasının yeterliliği tamamen yapılacak ankrajlara bağlıdır. Bu sebeple bu ankrajların tasarımına yönelik olarak yapılacak çalışmalar büyük öneme sahiptir. Nitekim 2007 yılında yürürlüğe giren Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY, 2007)'te de dış-perde uygulaması için verilen detaylar bu konudaki çalışmalar henüz tamamlanmadığı için oldukça yüzeyseldir.

Günümüzde mevcut şartnameye göre yapılmayan ve yeterli güvenliğini sağlamayan birçok yapı mevcuttur. Herhangi bir yıkıcı depremde bu yapıların hasar görmesi veya yıkılması söz konusudur (Kaplan, vd., 2003a-b; Aslankara, vd.; 2005, Özmen, 2002). Bu binalara güçlendirme uygulanması bir zorunluluktur. Güçlendirme yapılacak binanın hizmet dışı kalmaması için önümüzdeki yıllarda sıklıkla tercih edileceği düşünülen dış-perde ile güçlendirme tekniği ile ilgili detayların bilinmesi ve doğru şekilde uygulanması gereklidir.

## 1.2. Amaç

Geçerliliği yapılan deneysel çalışmalarla kanıtlanan dış-perde yöntemin en önemli detayı mevcut yapı ile güçlendirilmiş yapıyı bağlayan ankrajlardır. Bu çalışmanın temel olarak iki amacı bulunmaktadır: Düşük dayanımlı betonlarda kimyasal ankrajların kesme performanslarının değerlendirilmesi ve dış perde duvar ankrajlarının tasarımına yönelik öneriler getirilmesi.

Bilindiği gibi, yeni DBYBHY 2007 yılı Mart ayı itibariyle yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelikte onarım ve güçlendirme uygulamaları ile ilgili olarak sınırlı da olsa bir bölüme de yer verilmiştir. Ancak pek çok güçlendirme yönteminde kullanımı gereken ankrajlar konusunda DBYBHY sadece TS500'de verilen sürtünme kesmesi formülüne atıf yapmaktadır. Ayrıca, literatürde düşük dayanımlı betonlara yapılan ankrajlarla ilgili çalışmalar da oldukça sınırlı düzeydedir. Dolayısıyla, çalışmanın birinci amacını güçlendirme yapılan binalarda sıklıkla karşılaşılan düşük dayanımlı betonlara yapılan

kimyasal ankrajların kesme performanslarının araştırılması oluşturmaktadır. Özellikle TS500 sürtünme kesmesi formülünün ankraj kesme dayanımının belirlenmesi açısından yeterliliğinin araştırılması temel bir amaçtır.

Bilindiği gibi gerek dolgu perde, gerekse dış perde duvarlar için DBYBHY bilinen mekanik prensiplere göre tasarım yapılacağını belirtmekte, kullanılacak güvenlik katsayılarının ne olması gerektiği, hesaplanan ankrajların belli şartlarda azaltılacağı veya artırılacağına yönelik hiçbir hüküm içermemektedir. Dolgu perde yaklaşımında, ankraj tasarımının veya uygulamasının yetersiz olması durumunda bile dolgu perdenin dayanıma sağlayabileceği bir katkıdan söz etmek mümkündür. Halbuki, dış perde duvarların dayanıma istenen katkıyı sağlaması tamamen ankrajların doğru tasarım ve uygulanmasına bağlıdır. Bu sebeple, dış perde ankrajlarının tasarımına yönelik kuralların ortaya koyulması çalışmanın bir diğer amacını oluşturmaktadır.

### **1.3. Kapsam**

Bu çalışma kapsamında düşük dayanımlı betonlarda ankrajların kesme performansı incelenmiş ve mevcut betonarme binaların dış perde duvar ile güçlendirilmesinde ankraj uygulamalarına ait deneysel araştırmalar gerçekleştirilmiştir.

Birinci aşamada ankrajların kesme davranışlarını incelemek üzere düşük dayanımlı betonarme elemanlarda ankraj deneyleri yapılmıştır. Ankraj derinliği, beton dayanımının ve ankraj çapının etkisi ile tersinir-tekrarlı yüklemenin ankraj dayanımına etkisi araştırılmıştır. Elde edilen ankraj deneylerinden faydalanılarak dış perde ile güçlendirilmiş düzlem çerçevelerde deneyler yapılmıştır.

Buna göre çalışmanın ikinci aşamasında 2 boyutlu çerçeve dış perde duvarla güçlendirilerek denenmiştir. Dıştan güçlendirme çerçevelere dışarıdan perde ilavesi ile yapılmıştır. Uygulama mevcut çerçevenin kolon ve kirişlerinden ankrajlar yapılarak gerçekleştirilmiştir. Ankraj miktarı değiştirilerek davranış incelenmiştir. Çerçeveye

depremi benzeştiren, artımlı, tekrarlı statik yatay yükleme yapılarak deney gerçekleştirilmiş, çerçevenin dayanımı ve davranışı gözlemlenmiştir.

Çalışma kapsamında, dıştan betonarme perdelerle güçlendirmede ankraj uygulamalarının tersinir tekrarlı kesme yüklemesi altındaki davranışları incelenmiştir. Laboratuarda ankraj deneyi olarak 42 si S420a, 6 sı S420b elik çubuklardan olacak şekilde 48 adet ankraj kesme deneyi yapılmıştır. 2 boyutlu dış-perde deneylerinde de kolon-kiriş ankraj oranları değişken 16 adet dış perde ile güçlendirilmiş ereve deneyleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda, dıştan betonarme perde ile güçlendirmede ankraj uygulamaları ile ilgili elde edilen sonuçlar verilmiştir.

## BÖLÜM 2

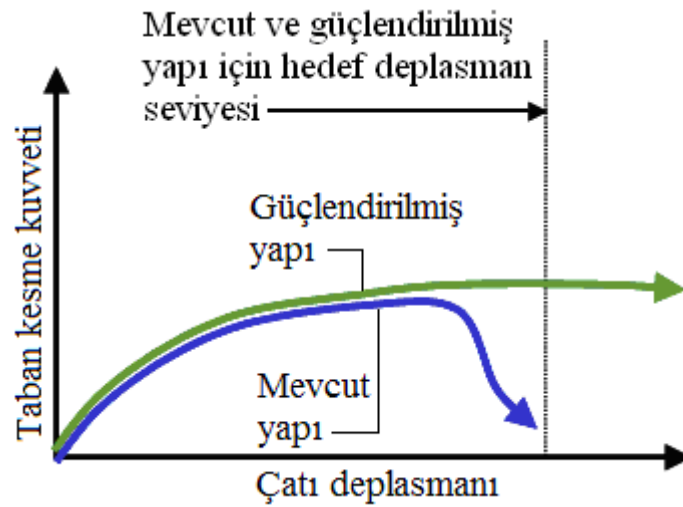
### ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

#### 2.1. Güçlendirme Yöntemlerine Genel Bakış

Literatürde betonarme yapıların güçlendirilmesi ile ilgili yapılmış pek çok çalışmaya rastlamak mümkündür. Bu çalışmalar temelde iki gruba ayrılırlar:

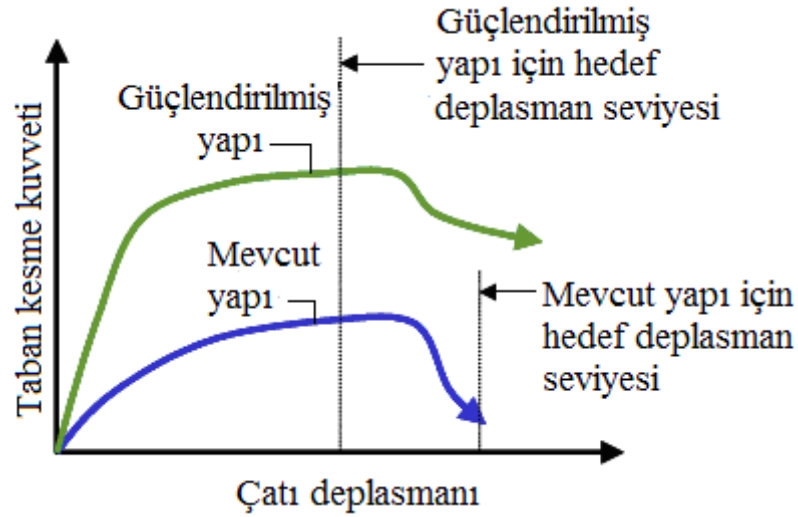
- Eleman iyileştirilmesi ile güçlendirme
- Sistem iyileştirilmesi ile güçlendirme (Moehle, 2000)

Eleman iyileştirmesinde kapasitesi yetersiz elemanların kapasiteleri veya süneklikleri artırılarak eleman bazında hasar oluşumu geciktirilir. Eleman iyileştirmesinde elemanın sünek davranışı ile yapı sünekliği artırılır, yapının yatay yük taşıma kapasitesinde ciddi bir değişim olmaz. Güçlendirme ile yapının hedef deplasmana ulaşması sağlanır. Şekil 2.1'de eleman iyileştirmesi ile yapılan güçlendirmenin yapı kapasitesine ve performansına etkisi gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Eleman iyileştirmesi ile güçlendirme (Moehle, 2000)

Sistem iyileştirmesi mevcut dolgunun dayanım ve sünekliğinin artırılması veya dolgunun kaldırılarak yerine dayanımı ve sünekliği daha yüksek bir dolgu yapılması prensibine dayanmaktadır. Yapının rijitliği artırılarak deplasman talebi düşürülür. Sistem iyileştirmesinde eleman iyileştirmesinin tersine süneklikte ciddi bir değişim olmaz. Sisteme yeni elemanların eklenmesi ile yapının yatay yük taşıma kapasitesi artırılır. Yapının rijitliği arttığı için deplasman talebi azalmaktadır. Eleman iyileştirmesinin tersine hedef deplasmana ulaşmak yerine hedef deplasmanın küçültülmesi sağlanır (Şekil 2.2). Türkiye’de yaygın olarak kullanılan güçlendirme yöntemi, sistem güçlendirmesidir.



Şekil 2.2. Sistem iyileştirmesi ile güçlendirme (Moehle, 2000)

Deprem dayanımı oldukça yetersiz yapılarda genelde uygulanan güçlendirme yöntemi, sistem iyileştirilmesidir. Eleman iyileştirmesi ise genellikle, az sayıdaki elemanın gevrek kırılması ile yapının hedef deplasman seviyesine ulaşamadığı durumlarda ekonomik olarak uygulanabilen bir yöntemdir.

Son zamanlarda sistem iyileştirmesi için pratik ve ekonomik bir uygulama olan yapı dışından perde duvar ilave edilmesi yöntemi geliştirilmiştir. Bu uygulama başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Literatür taramasında sistem iyileştirmesine yönelik

çalışmalara yer verilmiştir. Güçlendirmede sıkça kullanılan ve bu çalışmanın da bir konusu olan ankrajlarla ilgili yapılmış çalışmalara da değinilmiştir.

## **2.2. Betonarme Yapıların Güçlendirilmesi ile İlgili Çalışmalar**

Sistem güçlendirmesinin temelleri dolgu duvar ile güçlendirmeye başlar. Bu çalışmalar 1950'li yıllara dayanmaktadır.

Whitney, et al., (1955), yapıların patlama yükleri altındaki dayanımlarını araştırmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda dolgu ile güçlendirilmiş çerçevelerin dayanımı ve rijitliklerinin arttığını gözlemlemişlerdir.

Benjamin and Williams, (1958), patlama yüklerine karşı dizayn edilen yapılarda boşluklu çerçevelerin davranışlarını araştırmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda boşluklu dolgulu çerçevelerin davranışının tahmin edilebileceğini, eğilme, kesme ve aksel yüklerden oluşan tüm deformasyonların göz önünde bulundurulması gerektiğini ifade etmişlerdir.

Ersoy ve Uzsoy, (1971) yaptıkları çalışmada, 9 adet tek katlı tek açıklıklı betonarme dolgu çerçeveler üzerinde deneyler yapmışlardır. Yaptıkları deneylerin sonucunda dolgulu çerçevelerde yatay yük kapasitesinin 7 katına ve çerçeve rijitliğinin de yaklaşık 5 katına çıktığını gözlemlemişlerdir.

Yüzügüllü, (1979), tek katlı, tek açıklıklı yapının betonarme prefabrik panellerle güçlendirmesine yönelik deneysel bir çalışma yapmıştır. Çalışma sonucunda rijitliğin 1.3~2.9 kat, yatay yük taşıma kapasitesinin ise 7~9 kat arttığını gözlemlemiştir.

Govindan, et al., (1986), yaptıkları çalışmada, yatay yük etkisinde 7 katlı dolgulu betonarme çerçeveler ile dolgusuz betonarme çerçevelerin deneysel karşılaştırmalarını sunmuşlardır. Dolgulu çerçevelerin tekrarlı tersinir yüklerde dayanım, süneklik ve enerji tüketim kapasitelerini değerlendirmişlerdir. Deneysel



çalışmaların sonucunda dolgulu çerçevelerin dayanımının 2 kat, rijitliklerinin de 5 kat arttığını gözlemlemişlerdir.

Phan, et al., (1995), betonarme çerçevelerin dolgu duvarlarla güçlendirilmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Daha önce yapılmış çok sayıdaki deneysel çalışmaların sonuçlarını bir araya getirmişlerdir. Değerlendirmeler ile parametrik çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalar sonrasında tasarımcılara tavsiyelerde bulunmuşlardır. Tavsiyelerden bazıları şunlardır: dolgu betonu normal dayanımlı beton (14-50 MPa) olmalı, yerinde dökme dolgular için mekanik veya epoksi ankraj kullanılması, kullanılan ankrajların ankraj aralıklarının çapının 7 katından az ve 30 cm'den fazla olmaması, ankraj derinliğinin ankraj çapının 5 katından ve beton kabuk kalınlığından az olmaması gerektiğini ifade etmişlerdir.

Özcebe, vd., (2003), betonarme tuğla dolgulu çerçevelerin karbon fiber takviyeli polimer ile güçlendirilmesi üzerine deneysel ve analitik bir çalışma yapmışlardır. 7 adet, 1/3 ölçekli, 2 katlı, tek açıklıklı çerçeveler üzerinde çalışmışlardır. Çalışma sonucunda, karbon fiber takviyeli polimer ile güçlendirmenin betonarme perde dolgusu kadar etkili olmadığını ifade etmişlerdir.

Türk, vd., (2003), yaptıkları çalışmada tek açıklıklı, iki katlı 1/3 ölçekli çeşitli yetersizliklere sahip 10 adet çerçevenin, boş halde ve sonra dolgu duvarlar eklenerek depremi benzeştiren yanal yükler altında davranışlarını incelemişlerdir. Deney sonuçlarında, hasarlı ve hasarsız betonarme çerçevelerin betonarme dolgu duvarlar ile rehabilitasyonu, yanal rijitlik ve yanal dayanımda çok önemli artışlar sağlandığını gözlemlemişlerdir. Yaptıkları deneysel çalışmaların sonuçları şöyledir: Hasarlı boş çerçevelere betonarme dolgular eklenmesiyle oluşturulan dolgulu çerçevelerin yanal dayanımı, boş çerçeveye göre 9 ile 14 kat arasında artmıştır. Dolgu duvar eklenmesi, dolgulu çerçeve yanal rijitliğinde, boş çerçeveye oranla 13 ile 24 kat arasında artış sağlamıştır. Kolon boyuna donatı oranının, dolgulu çerçevenin eğilme kapasitesi üzerinde önemli katkısı vardır. Beton kalitesi çerçeveye ekilen donatı filizlerinin performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Özellikle kat seviyelerinde oluşturulan ve yetersiz bindirme boyuna sahip kolon boyuna donatıları, artan moment ve tersinir-

tekrarlanır yük etkisi ile fonksiyonlarını gereği gibi yerine getirememekte ve bunun sonucu çerçeveyi dolgu duvarına bağlayan ankraj donatıları akma kapasitesine erişmeden betondan sıyrılmaktadır. Çerçeve elemanlarına ekilen donatı filizlerinin performansı, işçilik ve malzeme kalitesi ile doğrudan ilgilidir.

Canbay, et al., (2003), yapısal sistemlerin sismik davranışına betonarme dolguların etkisini incelemişlerdir. Çalışmada 1/3 ölçekli, iki katlı, üç açıklıklı çerçeve üzerinde deneyler yapmışlardır. İlk önce boş çerçeve test edilmiş, daha sonra %1.6 görelî ötelenme seviyesine itilen çerçeve hasarlı iken orta açıklığına betonarme dolgu perde yapılarak güçlendirilmiştir. Çalışma sonucunda güçlendirilen çerçevenin rijitliğinin, boş çerçeveye göre 15 kat arttığını ve yatay yük taşıma kapasitesinin 14 kN'dan 53 kN'a çıktığını gözlemlemişlerdir. Göçmeden önce, dolgu duvarların yatay yükün %90'ını taşıdığını belirtmişlerdir.

Körlü, vd., (2004), yaptıkları çalışmada betonarme yapıların güçlendirilmesi için perde duvar ile takviye yöntemini kullanmışlardır. Bu yöntemde yapının ölü duvarları yerine perde duvar takviyesi ile yeni elemanlar oluşturmuşlardır. Bu amaçla yapıda bulunan hasarlı ve kesitleri yetersiz olan kolonlar, kirişler, perdeler ve temel sistemi lokal veya genel olarak güçlendirilebilir. Yaptıkları çalışmanın sonucunda; perde takviyesi ile yapının rijitliği artırılarak, yapı periyotlarının azaldığını, görelî kat deplasmanlarının perde takviyesi sonucunda azaldığını gözlemlemişlerdir. Elemanların ayrı ayrı takviyesi yerine, mimari olarak kötü duvarların betonarme perdelerle dönüştürülmesi ile yapı kullanımının kısıtlanmamasının bir avantaj olarak değerlendirebileceğini ifade etmişlerdir.

Sonuvar, et al., (2004), betonarme binaların dolgu ile güçlendirilmesi üzerine deneysel bir çalışma yapmışlardır. 5 adet, 1/3 ölçekli, tek açıklıklı çerçeveleri kullanmışlardır. Yaptıkları çalışmanın sonucunda yük taşıma kapasitesinin 10~24 katına çıktığını gözlemlemişlerdir.

Tama vd. (2005), yaptıkları çalışmada, Denizli'de kullanılmakta olan bir kreş yapısına dıştan çelik perde duvarlar ile güçlendirme uygulamışlardır. Yapının mevcut

hali, betonarme perde ilavesiyle ve dış çelik perde uygulaması ile güçlendirilmiş durumlarının deprem performansı incelenmiştir. İki farklı güçlendirme yönteminin karşılaştırılması yapılmıştır.

Baran (2005), betonarme yapıların öndökümlü panellerle güçlendirilmesi üzerine bir tez çalışması yapmıştır. 14 adet deney numunesinin ikisi referans olmak üzere 12 tanesi güçlendirilmiştir. Çalışmada değişken geometrili öndökümlü paneller kullanılmıştır. Panel-çerçeve bağlantısı epoksi ankrajı ile yapılmıştır. Deneyler sonucunda yatay yük kapasitesinin 2.24~2.27 kat, rijitliğin ise 1.72~3.07 kat arttığını gözlemlemiştir.

Kaplan, vd., (2006a) yaptıkları çalışmada yapıların bina dışından yapılacak betonarme perde duvarlarla güçlendirilmesi için yapılan deneysel çalışmalara yer vermişlerdir. Önerilen dış perde duvar uygulaması yöntemi, halen uygulanan “dolgu çerçeve” yaklaşımının bir alternatifidir. Dolgu çerçevenin depreme karşı etkin olarak çalıştığı deneylerle kanıtlanmıştır. Çalışma kapsamında, dış perde duvarlarla da yapıların deprem dayanımının artırılabilirdiği deneysel olarak kanıtlanmıştır. Çalışma kapsamında 2 adet model yapı deneyi yapılmış, bir numune güçlendirilmemiş, diğeri güçlendirilmiş olarak denenmiştir. Deneyler sonucunda güçlendirilmemiş yapı kapasitesi 64 kN olarak bulunurken, güçlendirilmiş modellerin kapasitesi bir itme doğrultusunda 187, diğere itme doğrultusunda 217 kN olarak tespit edilmiştir. Tasarımcılara güçlendirme perdeleri tasarlarlarken perde kapasitesini bir azaltma katsayısı ile düşürmeleri önerilmektedir. Azaltma için %90 gibi bir oranın kullanılması yazarlar tarafından gözlemlere dayalı olarak önerilmektedir. Perde ve bağlandığı kolonların birlikte çalıştığı deneysel olarak gözlenmiştir. Bu elemanların kolonların perde elemanlarla bağlanarak modellenmesi yerine, tek eleman olarak modellenmesi önerilmektedir.

Kaplan, vd., (2006b), dış çelik perdelerle betonarme yapıların kapasitesinin artırılmasının mümkün olduğunu gösteren deneysel bir çalışma yapmışlardır. Çalışma kapsamında 2 adet üç boyutlu model yapı deneyi yapılmış, bir numune güçlendirilmemiş, diğeri güçlendirilmiş olarak denenmiştir. Güçlendirme için yapı

dışından uygulanan çelik perdeler kullanmışlardır. Deneyler sonucunda güçlendirilmemiş yapı kapasitesi 60 kN olarak bulunurken, güçlendirilmiş modellerin kapasitesi 163 kN olarak tespit edilmiştir. Yapıda yatay yük kapasitesi artışı yanında, ilave edilen perde ile yapı rijitliğinin yaklaşık 8 katına çıktığını gözlemlemişlerdir. Yaptıkları çalışmada uygulanan sistemin başarılı sonuç verdiğini ifade etmişlerdir.

Kaplan vd. (2005, 2006c) etkinliği deneysel olarak kanıtlanmış bulunan dış perde duvar uygulamasının örnek bir yapı için uygulanması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Dış perde duvar ile güçlendirmeye yönelik uygulanan detaylara da yer vermişlerdir. Dış perdelerle yapının rijitliği oldukça arttırılmış deplasman talebi azaltılmıştır. Kay deplasmanları mevcut duruma kıyasla %90 oranında azaltılmıştır. Yapıda kat kesme kuvvetlerinin büyük bölümünün ilave edilen perde duvarlarla karşılandığını ifade etmişlerdir. Mevcut olan yapı elemanlarının yetersiz olan kapasitesi, tasarım momentlerinin azaltılmasıyla yeterli hale getirilmiştir.

Kuyucular (2006), etkinliği ve avantajları olan havuz dış perdeler üzerine bir çalışma yapmıştır. Yazar, kolayca ve hesaplı şekilde, dış perde ile güçlendirme yapılabilecek betonarme yapılarımızın sayısının çok fazla olduğuna dikkat çekerek özellikle kırsal kesimdeki, ekonomik değeri düşük düz cepheli az katlı yapılarımızın bu yaklaşımla hızla güçlendirilebileceğini ifade etmiştir.

Kaltakçı ve Yavuz (2006), deprem davranışı zayıf, yetersiz sismik donatı detaylarına sahip 3 adet 2 katlı ve 2 açıklıklı, 1/3 ölçekli, kolonları yaklaşık  $0.10Acfc$  büyüklüğünde aksenal yükle yüklenmiş betonarme çerçeveye orta kolonun iki yanına yapılan kısmi betonarme perde duvar ilavesiyle güçlendirme uygulamışlardır. Boş çerçeve numunesi ve güçlendirilmiş çerçeveleri, depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yükleme etkisi altında denemişlerdir. Bu çerçevelerden 1 adedi kısmi betonarme perde duvarsız, 1 adedi çerçeve orta kolonunun iki yanına ilave yapılarak oluşturulmuş 600 mm perde duvar ilaveli ve 1 adedi de çerçeve orta kolonunun iki yanına ilave yapılarak oluşturulmuş 900 mm perde duvar ilaveli çerçevedir. Yaptıkları çalışmanın sonucunda, referans olan boş çerçeve sistemi baz alındığında, taşınan yatay yükteki maksimum artışın 600 mm uzunluğunda perde duvarlı sistemde %178, 900 mm

uzunluğunda perde duvarlı sistemde %316 olduğunu görmüşlerdir. Maksimum yerdeğiştirmenin deney sonunda; boş çerçevede yaklaşık 100 mm, 600 ve 900 mm perdeli çerçevelerde ise yaklaşık 50 mm olarak ölçmüşlerdir. Kısmi betonarme perde duvar ilavesiyle deprem davranışı zayıf olan boş betonarme çerçeve sisteminin yatay yük taşıma kapasitesini önemli ölçüde arttırdığını ve güçlendirme/sistem iyileştirmesi görevini yerine getirdiğini ifade etmişlerdir.

Kaltakçı, vd., (2006), yaptıkları çalışmada iki katlı, iki açıklıklı olarak 1/3 geometrik ölçekle modellenen ve ülkemizdeki binalarda oldukça sık rastlanan tasarım ve yapım kusurlarını içeren toplam 4 adet özdeş betonarme çerçeve üretmişlerdir. Bu çerçevelerin 2 adedi boş, 2 adedi ise betonarme dış perde duvar uygulaması ile güçlendirilerek, deprem yüklerini benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yük altında test etmişlerdir. Çerçeve ile bu çerçevenin güçlendirilmesinde kullanılan perde duvarın birlikte çalışmasını sağlamak amacıyla, ankraj için  $\Phi 8$  mm çapında nervürlü donatı kullanmışlardır. Ankrajların ara mesafesi 150 mm'dir. Kimyasal yapıştırıcı kullanılarak ankrajlar ekilmiştir. Betonarme çerçeve türü yapıların dış perde duvar ile dıştan ve tek taraftan güçlendirilmesi ile oluşan karma sistemin mevcut zayıf sistemin yatay yük dayanımını ve rijitliğini önemli oranlarda arttırdığını gözlemlemişlerdir. Dış betonarme perde ile güçlendirilmiş çerçevelerin dayanımı, normal kuvvet seviyesi düşük olan numuneler için 3.78, normal kuvvet seviyesi yüksek olan numuneler için ise, 4.04 kat artmıştır. Güçlendirilmiş çerçeveler, zayıf çerçevelerin yatay yük taşıma kapasitelerinin yaklaşık iki katı yük seviyesinde dahi elastik sınırın içinde kaldığını ve sistemde herhangi bir hasar oluşmadığını ifade etmişlerdir.

Kara and Altın (2006), kısmi betonarme dolgu perdelerle güçlendirme yapılan çerçevelerin kapasitelerini belirlemek için tersinir-tekrarlı yükleme ile deneyler yapmışlardır. Çalışma kapsamında 7 adet, 2 katlı, tek açıklıklı, 1/3 ölçekli çerçeveler üretmişlerdir. Deneylerde dolgu yüksekliğinin genişliğine oranı ve dolgu yerleşimi değişken parametrelerdir. Aynı en/boy oranına sahip olmasına rağmen, dolgu duvarın hem kolon hem de kirişe bağlanması durumundaki rijitliği, sadece kirişe bağlanan dolgu duvardan %45 daha büyüktür. Çerçevelerdeki boşluk miktarının artmasıyla dayanımın azaldığını gözlemlemişlerdir.

Sucuoğlu, et al., (2006), yaptıkları çalışmada İstanbul’da yüksek deprem riski taşıyan seçilmiş orta büyüklükteki yapılar için uygun güçlendirme yöntemleri geliştirmişlerdir. Dıştan güçlendirmenin bir çok yapıda daha uygun çözüm olduğunu gözlemlemişlerdir. İnceledikleri örnek çalışmada içeriden güçlendirme maliyetinin yeniden yapım maliyetinin %39’u kadar, dışarıdan güçlendirmenin ise, %19’u kadar ek maliyet getirdiğini tespit etmişlerdir.

Öztürk (2006), yayınladığı bildiri de deprem perdelerinin davranışı ve yerleşimi ile ilgili bilgiler verilmiş, yapıların güçlendirilmesinde kullanılan betonarme perdelerin ön boyutlandırılmasında kullanılacak diyagramlar ve bunların kullanımı ile yapılan sayısal uygulamaları sunmuştur. Deprem etkilerine dayanımı yeterli ve yapımı hızlı olan, yalnız perdeler ve perde-çerçevelerden oluşan taşıyıcı sistemlerde, perde boylarının tayini için bir yöntemin verildiği bu çalışmada; perdelerin yerleşimi için bilgiler verilmiş, deprem perdelerinin boyutlandırılmaları için esas olmaları istenen kriterler önerilmiş, çeşitli durumlar için hesaplanmış olan perde özellikleri diyagramlar halinde verilmiş ve değişik durumlarda hesabın nasıl yapılacağı belirtilmiş, verilen diyagramlar ile bir yapıda önerilen kriterlere uygun perde boylarının önceden yaklaşık olarak belirlenebileceği, ancak kesin bir hesabın yapılacağı vurgulanmış, mimari plana göre bir doğrultudaki perde boylarının önceden belirlenmesi halinde nasıl hareket edileceği açıklanmış, mevcut yapıların güçlendirilmesi amacıyla kullanılacak perde boy ve adetlerinin belirlenmesi, seçilen perdelerin mimari plana göre yerleştirilmesi tartışılmış, perdelerin alabileceği kesme kuvvetleri irdelenmiş, belirlenen perde boylarının çok uzun olması ve mimari planı olumsuz etkilemesi durumunda alınabilecek önlemler belirtilmiş ve profil kesitli perdelerin kullanımı da öngörölmüştür.

Çetinkaya (2007), prefabrik betonarme sanayi yapılarının deprem davranışının deneysel olarak incelenmesi üzerine deneysel bir tez çalışması yapmıştır. DPT tarafından desteklenen “Deprem Hasarlı Binaların Onarımı ve Mevcut Binaların Güçlendirilmesi: Dış Perde Duvar Uygulaması” adlı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında eleman, ereve ve 3 boyutlu yapı deneyleri yapmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar ile teorik hesapları karşılaştırmıştır. Yük-

deplasman ve moment-eğrilik özelliklerini elde etmiştir. Yaptığı çalışmanın sonucunda mevcut yapıların güçlendirilmesinde dış perde uygulaması yöntemini önermiştir.

Anıl and Altın (2007), betonarme çerçevelerin kısmi betonarme perdelerle güçlendirilmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Tek açıklıklı, tek katlı, 1/3 ölçekli üretilen dokuz numuneyi tersinir-tekrarlı yük altında test etmişlerdir. Üretilen bu dokuz numunenin biri boş, ikisi tam dolgulu, beşi farklı kısmi dolgulardadır. Deneylerde dolgu yüksekliğinin genişliğine oranı ve dolgu yerleşimi değişken parametrelerdir. Duvarlar kanat ile güçlendirildiğinde boş çerçevenin dayanımından 3.73 ile 7.37 kat daha fazladır. Pencere boşluklu örnekte kısa kolon davranışı gözlenmiştir. Boşluksuz dolgulu sistemin dayanımı, pencere boşluklu sisteme göre %28 daha fazladır. Tam dolgulu çerçevelerde rijitlik artışı kısmi dolgulu çerçevelere göre 1.5 ile 2.6 kat artmıştır. Kısmi perdeli sistemlerde genelde gevrek hasarlar oluşmasına rağmen, kısmi perdenin hem kolon hem de kirişe bağlanması durumunda dayanım ve rijitlikte olumlu değişimler gözlenmiştir.

Nohutcu (2007), prefabrik betonarme endüstri yapılarının dış perde duvar uygulaması ile güçlendirilmesi üzerine deneysel bir tez çalışması yapmıştır. Çalışmada eleman deneyleri ve prefabrik yapı deneyleri yapmıştır. Güçlendirilmiş çerçeve deneyi yapmış ve güçlendirmenin etkisini göstermiştir. Deneysel sonuçları kuramsal hesaplar ile karşılaştırmış ve birbirine oldukça yakın olduğunu görmüştür.

Yılmaz (2007), yaptığı tez çalışmasında Türkiye yapı stoğunun önemli kısmını oluşturan betonarme binaların yapı dışarısından betonarme perdelerle güçlendirilmesini sağlayacak bir yöntem geliştirmiştir. Çalışmada üç boyutlu üç adet yapı numunesi tersinir-tekrarlı yükler altında denenmiştir. Deney serisi, referans yapı ile hasarlı ve hasarsız iken güçlendirilen yapılardan oluşmaktadır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda dış perde duvarlarla güçlendirme yönteminin yapıya dayanım ve rijitlik kazandırdığı görülmüştür. Maksimum yatay yük taşıma kapasitesi referans yapıya kıyasla ortalama olarak onarılarak güçlendirilen yapıda 2.27 katına, hasarsızken güçlendirilen yapıda ise 3.06 katına çıktığını görmüştür. Yapılan çalışmalar sonucunda dış perdelerin hem hasarlı hem de hasarsız yapılarda başarıları sonuçlar verdiğini ve dış

perde uygulaması ile yapı kapasitesi ve rijitliğinin arttırabildiğini göstermiştir. Yapıya sonradan ilave edilen dış perde ile dış perdenin bağladığı mevcut yapı elemanlarının tek elemanmış gibi çalışabildiğini deneysel olarak gözlemlemiştir.

Kaltakçı, et al., (2007), dış perde uygulamalarına yönelik deneysel bir çalışma yapmışlardır. Deney kapsamında 4 betonarme test numunesi üretilmiştir. Yaptıkları deneylerde güçlendirme be sistem iyileştirmesinin başarılı olduğunu gözlemlemiştir. Betonarme binalara dış perde duvar eklenmesinin sistemin rijitliğini arttırdığını ayrıca düşük maliyet, uygulama ve yapım kolaylığı sağladığını ifade etmişlerdir. Güçlendirilen çerçeveler 13-16 MPa dayanımlarındadır. Güçlendirilmemiş çerçevelerde maksimum yük 45.88 ve 50.57 kN iken, güçlendirilmiş çerçevelerde maksimum yükün 172.42 ve 211.89 kN seviyelerine ulaştığını gözlemlemiştir.

Görgülü (2008), yaptığı tez çalışmasında mevcut betonarme yapıların boşaltılmasına gerek kalmadan yapı dışından çelik konstrüksiyon perdeler ile güçlendirilmesine imkan sağlayacak bir tekniği deneysel olarak test etmiştir. Çalışmalar sonucunda, geliştirilen güçlendirme yöntemi ile deprem bakımından yetersiz mevcut betonarme yapıların hızlı bir şekilde güçlendirilebileceği, kapasitelerinin ve rijitliklerinin önemli miktarda arttırılabileceğini gözlemlemiştir. Çelik konstrüksiyon perde ile dışından güçlendirilmiş olan hasarsız betonarme yapı modelinin kapasitesi referans yapı modeli kapasitesinin 2.48 katına çıkarak 67.35 kN'dan 167.24 kN'a ulaşmıştır. Güçlendirme sonunda yapının ilk çevrim rijitliği referans yapı rijitliğinin 1.60 katına çıkmıştır. Çelik konstrüksiyon perde ile dışından güçlendirilmiş olan hasar gördükten sonra onarılmış betonarme yapı modelinin kapasitesi referans yapı modeli kapasitesinin 2.65 katına çıkarak 67.35 kN'dan 178.26 kN'a ulaşmıştır. Güçlendirme sonunda yapının ilk çevrim rijitliği referans yapı rijitliğinin 3.15 katına çıkmıştır. İkinci kat beton mukavemet değeri yüksek olan, hasar gördükten sonra epoksi enjeksiyonu ile onarılmış olan yapı modeli, hasarsız halde iken güçlendirilmiş olmasına rağmen ikinci kat beton mukavemeti çok düşük olan (9.60 MPa) yapı modelinden daha iyi bir performans göstermiş ve daha yüksek kapasiteye ulaşmıştır. Dış çelik konstrüksiyon perde ilavesinin, hasar görmüş yapılar ile hiç hasar görmemiş yapılar üzerindeki güçlendirme etkilerinin yaklaşık aynı derecelerde olduğu görülmüştür. Bu çalışma ile



yatay yük taşıma kapasiteleri yetersiz olan hasarsız veya hasar görmüş mevcut betonarme yapıların, dış çelik konstrüksiyon perde sistemi ile hızlı bir şekilde kapasite ve rijitlik açısından yeterli hale getirilebileceği ortaya konulmuştur.

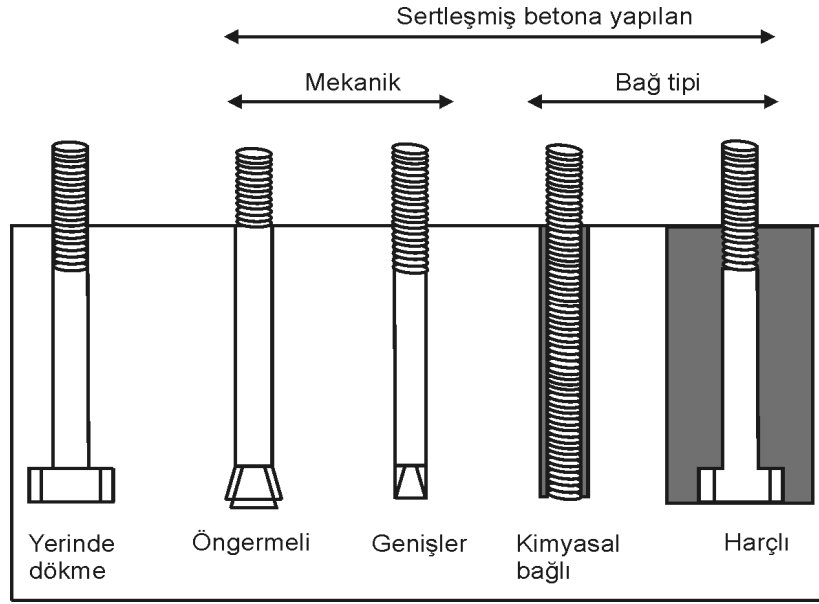
Kaplan et al. (2009), dış perde duvar ve diyaframlarla güçlendirilmiş prefabrik yapıların sismik dayanımlarını ölçmek için bir çalışma yapmışlardır. Perde duvarların ilavesi ile yatay yük kapasitesinde 6.6 kat bir artış gözlemlemişlerdir. Deney sonuçları dış perde duvarlarla güçlendirmenin hem dayanımı hem de rijitliği arttırdığını göstermiştir. Nümerik modellerde de sistemin yatay yük kapasitesinin tahmininde iyi sonuçlar almışlardır.

### **2.3. Ankrajlar ile İlgili Genel Bilgiler**

Betona yapılan ankrajlar yerleştirilme zamanı ve şekilleri açısından genel olarak iki ana gruba ayrılmaktadır (Şekil 2.3):

- Betonlama esnasında yerleştirilen ankrajlar (cast-in-place anchors),
- Betona sonradan yapılan ankrajlar (post-installed anchors)

Betona sonradan yapılan ankraj elemanları daha çok onarım ve güçlendirme işlerinde kullanılmakta ve mevcut taşıyıcı sisteme yeni betonarme elemanlar eklenmesine fırsat vererek yapıcılara geniş kullanım alanları sağlamaktadır. Bu tür ankrajlar; betona açılan silindirik şeklindeki deliğe yerleştirilen ve genişleyerek betona sürtünme kuvvetleri yolu ile yük aktaran elemanlar, betona açılan deliğe yerleştirildikten sonra delik cidarı ile arasındaki boşluk bağlayıcı bir malzeme ile doldurulan elemanlar olmak üzere ikiye ayrılır. Bağlayıcı malzeme açısından da bağlayıcısı polimer esaslı olanlar ve çimento esaslı döküm harçlı olanlar olmak üzere farklı ankraj türlerine rastlanılabilir (Özkul, vd., 2001)



Şekil 2.3. Ankraj tipleri

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

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

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

Ankrajlar üzerlerindeki çekme yüklerini monte edildikleri betona ankrajın bağlı derinliği boyunca oluşan aderans gerilmeleri vasıtasıyla aktarırlar. Kimyasal ankrajlarda aderansın beş bileşeni:

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

Kimyasal ankrajların dayanımı ile ilgili çalışmalar çoğunlukla ankrajların çekme dayanımlarının belirlenmesi üzerine yoğunlaşmış olup kesme dayanımının belirlenmesine yönelik çalışmalar sınırlı sayıdadır.

#### **2.4. Ankrajlar ile İlgili Yapılmış Çalışmalar**

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

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

Ueda, et al., (1990), donatısız betona gömülü tek ve çift bulonlu ankrajların kesme direncini araştırmışlardır. Ankraj bulonları, min. bulon çekme mukavemetini oluşturacak kadar betona gömülmüşlerdir. Çalışmada kullanılan betonların basınç dayanımları 18.36 ile 25.75 MPa aralığındadır. Kenar mesafesi değerleri de 50, 100, 150 ve 200 mm dir. Çift ankraj bulonları, değişen aralık ve kenar mesafeleri ile kesme yüklemesi ile yüklenmiştir. Tek bulon ankrajları da değişen kenar uzaklıkları ile kesmede test edilmiş ve çift bulon ankraj testlerinin sonuçları ile kıyaslanmıştır. Birçok durumda betonun koni göçmesini gözlemlemişlerdir. Çalışmada kenar mesafesi ve bulon aralığının kesme dayanımına etkisi araştırılmıştır. ACI Committee 349 kesme direnci formülünün tek bulonlu ankraj testleri için olumlu sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir. Yaptıkları çalışmanın sonucunda tek bulon ankrajlarının kesme direncinin kenar mesafesi ile arttığını görmüşlerdir. Ankraj bulonları için beton çekme mukavemetine dayandırılan ACI Committee 349 kesme direnci formülü, yazarların test sonuçları için kabul edilebilir alt sınır tahmini vermektedir. Çift bulon ankrajı için de kesme direncinin kenar uç mesafesi ve bulon arası mesafenin artmasıyla arttığını gözlemlemişlerdir. Kesme direncindeki artış aynı kenar mesafesindeki tek bulon ankrajından daha azdır. Beton test bloklarının mesnet şartlarının ankraj bulonlarının kesme direncini etkilediğini ifade etmişlerdir.

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

Cook (1993), kimyasal ankrajların davranışları üzerine bir çalışma yapmıştır. Çalışma bağlı ankrajların çekme dayanımını belirlemek için oransal tasarım önerileri sunar. Tasarım önerileri dayanım testlerinde gözlenen her türlü göçme modları için (beton koni göçmesi, bağ göçmesi ve koni-bağ göçme modları kombinasyonu) için değerlendirmeyi kapsar. Dizayn önerileri Teksas Üniversitesi’nde 113 test, Florida Üniversitesi’nde 167 test olmak üzere toplam 280 test sonuçları ile kurulmuştur. Farklı

yapıştırma kimyasalları, farklı dayanım ve rijitlik özelliklerine bağlıdır. Ürünlerin temel yapışma özelliklerini belirlemek için test edilmeleri gerektiğini ifade etmiştir. Sunulan dizayn önerilerini test sonuçları ve gözlenen göçme modlarının bağdaşması ile oransal analize dayandırmıştır.

Cook, et al., (1993), kimyasal ankrajların dizaynı için bağ gerilme modeli üzerine bir çalışma yapmışlardır. Yaptıkları çalışma, 16 mm çaplı dişli ankraj kullanarak 6 farklı yapıştırıcı ürünün 97 adet çekme testini kapsar. Ankrajlar; tamamı bağlı tekil ankrajlar, kısmi bağlı tekil ankrajlar ve tamamı bağlı ankraj çiftleri şeklinde tasarlanmıştır. Elastik formülasyonu temel alan bir davranış modeli geliştirilmiştir. Tekil ve çoklu kimyasal bağlı ankrajlar için tasarım tavsiyeleri sunmuşlardır. Deneysel çalışma kapsamında: - 100 mm ve 150 mm derinliklerde tamamı bağlı tekil ankrajlar (25 test), - 100 mm, 150 mm ve 200 mm derinliklerde kısmi bağlı tekil ankrajlar, 50 mm serbest derinlik, (36 test), - 200 mm gömme derinliğinde 100 mm, 150 mm ve 200 mm aralıklarında ankraj çiftleri (36 test) testlerini yapmışlardır. Kullanılan betonun dayanımı 24.8 MPa'dır. Tamamı bağlı ankrajların sık kullanımının etkisinin çok olmadığını gözlemlemişlerdir. Test edilen bir çift ankrajın, aralarında boşluk gömülü boyun yarısı olmak üzere elde edilen taşıyabildiği nihai yükler, ayrı iki tek ankraj yükünün %94 ü kadardır. Kimyasal ankrajlar, gömülü oldukları boy kadar boşluk bırakarak kullanıldığında, tek ankrajın mukavemetine erişebildiğini bildirmişlerdir.

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

gözlemlemişlerdir. Yazarlar, birçok ankraj uygulaması için ACI 349'un kullanımının uygun olmadığını ifade etmişlerdir.

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

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

Primavera, et al., (1997), taze betona ekilen ve öngermeli ankrajların yüksek dayanımlı betondaki çekme davranışını incelemişlerdir. Beton basınç dayanımı 51.7 MPa ve 82.7 MPa olan yüksek dayanımlı betonlarda önceden ekilen ve sonradan ekilen

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

Cook, et al., (1998), yaptıkları çalışmada çatlamamış betonda çekme yüklemesine maruz tekil kimyasal ankrajların dizaynı için kullanışlı bir model önermişlerdir. Beton serbest kenarından uzağa yerleştirilen tekil kimyasal ankrajlar için değişik tasarım modellerini dünya çapındaki veritabanı ile karşılaştırmışlardır. Yazarlar üniform bağ modelinin kullanışlı olduğunu ifade etmişlerdir. Önerdikleri dizayn modelinin ankraj grupları için genişletilmesini ve kenar mesafe etkisini de içermesi gerektiğini bildirmişlerdir.

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

Higgins, et al., (1998), taze betona yerleştirilen ve sonradan yerleştirilen güçlendirme ankrajlarının (genişler, öngermeli ve kimyasal) çevresel etkilere maruz

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

Lotze, et al., (2001), çekme ve kesme yüklemesi kombinasyonu altında ankrajların statik davranışlarını incelemiştir. Araştırma programı çoklu çekme ankrajlarının statik ve dinamik davranışını (179 test) kapsar. Test edilen ankrajlar Amerika'daki nükleer santrallerdeki kullanım sıklığına göre seçilmişlerdir. Test değişkenleri farklı beton mukavemetlerini ve tiplerini, yükleme hızı ve mevcut çatlakları içerir.

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

Cook and Konz (2001), kimyasal ankrajların bağ dayanımına etki eden çeşitli faktörleri araştırmak için kapsamlı bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışma farklı 12 üreticiden 20 farklı ürünün toplamda 765 testini içerir. Temizlenmiş, kuru deliklere yerleştirilen ankrajların oda sıcaklığındaki performansları referans bağ dayanımı olarak alınmıştır. Kullanılan 20 farklı ürünün 14'ü epoksi, 6'sı ester esaslıdır. İki farklı



kalitede beton (17.2 MPa ve 37.9 MPa) kullanmışlardır. Sıcaklık etkisinin ankraj dayanımında oluşturduğu değişikliği incelemek için oda sıcaklığı ve 43°C olmak üzere iki farklı sıcaklıkta ankraj çekme deneyleri yapmışlardır. 20 farklı ürünün referans bağ dayanımlarının ortalaması 15.4 MPa olarak bulunmuştur. Epoksi esaslı ürünlerin ortalama dayanımları 18.4 MPa, ester esaslı ürünlerin ise 8.3 MPa'dır. Sonuçlar derlendiğinde nemli yüzeylere yapılan ankrajlarda oluşan yapışma dayanımı, kuru ve temiz yüzeylerde bulunan referans bağ dayanımlarının ortalama %77'si ve ıslak yüzeylerde oluşan bağ dayanımı ise referans dayanımın ortalama %43'ü kadar olmuştur. Tozlu yüzeylerde kimyasal yapıştırıcı-beton arayüzünde yapışmanın sürekli oluşmaması bağ kuvvetini azaltmıştır. Tozlu deliklere yapılan ankrajlarda bağ dayanımı referans bağ dayanımının %71'i kadar olmuştur. Kısa kür süresinde (24 saat) ankrajların bağ dayanımlarının ortalama %88'ini kazandığı görülmüştür. Beton dayanımındaki artışın bağ dayanımları üzerindeki etkisi çok olmasa da ufak artışlar sağlamıştır.

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

Fujikake, et al., (2003), çekme yüküne maruz kalmış kimyasal bağlı ankrajlar üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, hızlı çekme yüküne maruz kimyasal ankrajların nihai çekme direnci üzerine yüklemenin etkileri araştırılmıştır. Koni, bağ ve kombine koni ve bağ göçmesi modları altında dinamik nihai dayanımdaki yükleme

oranının etkisi araştırılmıştır. Yükleme oranının artmasıyla dinamik nihai dayanımın arttığını bulunmuştur. Kullanılan betonun silindir basınç dayanımı ortalama 32 MPa'dır. Çalışmadaki deney programı şöyledir: 1- taze betonda başlıklı ankrajların hızlı çekme yükleme testleri – nihai bağ dayanımı üzerine yükleme oranı etkisini değerlendirmek için (24 test), 2- kimyasal ankrajların hızlı çekme yükleme testleri – nihai bağ dayanımı üzerine yükleme oranı etkisini değerlendirmek için (60 test), 3- kimyasal ankrajların hızlı çekme yükleme testleri – dinamik maksimum direnci tahmin etmek için koni ve bağ göçmesi kombinasyonu altında nihai direnç üzerine yükleme oranı etkilerini araştırmak için (8 test) yapılmıştır. Denenen gömme derinlikleri 40, 65, 70, 90 ve 120 mm dir. Yapılan çalışmanın sonucunda nihai koni direnci ve nihai bağ dayanımının yükleme oranı artışı ile arttığını gözlemlemişlerdir. Dinamik koni dayanımı ve dinamik bağ dayanımını tahmin etmek için ampirik denklemler önermişlerdir. Yazarlar, statik yükleme altındaki kimyasal ankrajların davranışının fazlasıyla bağlayıcı katkı malzemesine bağlı olduğunu bildirmişler ve bunun dinamik yükleme altındaki kimyasal ankrajlar için de geçerli olabileceğini ifade etmişlerdir. Bundan dolayı kimyasal ankrajların nihai dinamik çekme direncini tahmin etmek için makul bir dizayn modeli geliştirmek için dinamik çekme yüklemesi altında bağlayıcı katkı maddelerinin farklı tiplerinin etkilerini incelemek için araştırmalar yapılmalıdır tavsiyesinde bulunmuşlardır.

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

Shirvani, et al., (2004), betondaki ankrajların çekme kapasitesini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada, çatlamış ve çatlamamış betondaki statik ve dinamik yükleme altındaki çekme ankrajlarının beton koparma kapasitelerinin tahmini için 3 farklı prosedürü değerlendirmişlerdir. Çekme ankrajlarının var olan veritabanını değerlendirmişler ve güncellemişlerdir. Beton kopmasıyla göçen çekme ankrajlarının gözlenen kapasiteleri 3 metodun tahminleri ile karşılaştırılmıştır: 45° koni metodu, beton kapasitesi (CC) metodu ve değişik varyasyonları, teorik metod. statik, çatlamamış betondaki çekme ankrajlarının veritabanının istatistiksel değerlendirmesi 6 aşamada gerçekleştirilmiştir: 1- tekil çekme ankrajları, etkili derinlik  $\leq 188$  mm, kenar etkisi yok (1130 test) 2- tekil çekme ankrajları, etkili derinlik  $> 188$  mm, kenar etkisi yok (77 test) 3- tekil çekme ankrajları, etkili derinlik  $\leq 188$  mm, kenar etkisinde (137 test) 4- tekil çekme ankrajları, etkili derinlik  $> 188$  mm, kenar etkisinde (33 test) 5- 2 li ve 4 lü çekme ankraj grupları, etkili derinlik  $\leq 188$  mm, kenar etkisi yok (170 test), 6- 4 lü çekme ankraj grupları, etkili derinlik  $> 188$  mm, kenar etkisi yok (19 test). Yapılan çalışmanın sonucunda, çekme kapasitesinin tahmininde beton kapasitesi metodu ve teorik metodun 45° koni metoduna göre daha gerçeğe yakın sonuçlar verdiğini bulmuşlardır.

Muratlı, et al., (2004), betondaki ankrajların kesme kapasitesini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada, çatlamış ve çatlamamış betondaki statik ve dinamik yükleme altındaki kesme ankrajlarının beton koparma kapasitelerinin tahmini için 3 farklı prosedürü değerlendirmişlerdir. Beton kopmasıyla göçen kesme ankrajlarının gözlenen kapasiteleri 3 metodun tahminleri ile karşılaştırılmıştır: 45° koni metodu, beton kapasitesi metodu ve regresyon analizinden elde edilen beton kapasitesi metodunun değişik varyasyonları. Yazarlar, ACI 349-90 daki düktil dizayn yaklaşımının (beton kapasitesi metodunu da içeren) betondaki kesme ankrajları için güvenilir ve etkili olduğunu bildirmişlerdir. Beton kapasitesi metodunun 45° koni metoduna göre daha güvenilir olduğunu da gözlemlemişler. 250 mm kenar mesafesine kadar yerinde döküm ve sonradan yerleştirilmiş ankrajlar için güvenle kullanılabileceğini ifade etmişlerdir. Dinamik yükleme altındaki yerinde döküm ankrajların kesme kapasitesi, statik yükler altındaki ankrajlardan %20 daha fazladır. Sonradan yerleştirilen ankrajların beton koparma kapasitesinin önceden taze betona ekilen ankrajlara göre %10 daha düşüktür.

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

Ashour and Alqedra (2005), yapay sinir ağları kullanılarak çekme etkisindeki tekil ankrajların beton koparma kapasitesini incelemişlerdir. Önceden taze betona ve sonradan sertleşmiş betona yerleştirilen mekanik ankrajların çekmede beton koparma kapasitesini değerlendirmek için ileri beslemeli yapay sinir ağı modeli sunmuşlardır. Yapay sinir ağının giriş katmanındaki düğümler, gömme derinliği, ankraj çapı, beton dayanımı ve ankraj yerleştirme sistemini temsil eder. Yapay sinir ağının çıkışı da beton ankrajların çekme kapasitesini göstermektedir. Yapay sinir ağı modeli önceki laboratuvar ankraj testlerinden elde edilen 451 deneysel test veritabanına dayandırılarak eğitilmiş ve test edilmiştir. Eğitilen yapay sinir ağı testlerinin çekmeden önceden taze betona yerleştirilen ve sonradan yerleştirilen mekanik ankrajlar için iyi tahminler verdiğini gözlemlemişlerdir. Yapılan çalışmanın sonucunda, ankraj çapının ankrajların

beton koparma dayanımı üzerine etkisinin göz ardı edilebileceğini, önceden ve sonradan yerleştirilen tekil mekanik ankrajlar için beton koparma kapasitesinin, efektif gömme derinliğinin yaklaşık 1.5 katı olduğunu bildirmişlerdir. Eğitilen yapay sinir ağı modelinden elde edilen tahminlerinde ACI 318-02 Appendix D’de verilen formülasyon ile uyumlu olduğunu gözlemlemişlerdir.

Alqedra and Ashour (2005), yapay sinir ağları kullanılarak beton kenarına yerleştirilen tekil ankrajların kesme kapasitesi tahmini için bir çalışma yapmışlardır. Beton kenarına yerleştirilen ankraj civatalarının kesme kapasitesi tayini için geri beslemeli yapay sinir ağı modeli önermişlerdir. Geliştirilen yapay sinir ağında giriş katmanındaki nöronlar; kesme kuvveti doğrultusunda ankraj civatalarının kenar mesafesini, ankraj gömme derinliğini, beton basınç dayanımını ve ankraj çapını; çıkış katmanında kullanılan bir nöron da ankraj civatalarının beton kesme kapasitesini temsil eder. Öncesinde laboratuvar ankraj testlerinden elde edilen 205 adet deney veri tabanı eğitim için kullanılmıştır. Eğitilen yapay sinir ağları kullanılarak ankrajların beton kesme kapasitesi tahminlerin deney sonuçları ve beton kapasitesi metodundan hesaplanan sonuçlar ile uyumlu olduğunu görmüşlerdir. Çalışmadaki beton sınıfı C25 – C70 aralığında, kenar mesafesi 50-200 mm aralığında, efektif gömme derinliği 60-300 mm ve kullanılan ankraj çapı 22 mm’dir. Yaptıkları çalışma sonucunda yükleme doğrultusundaki beton kenar mesafesinin ankrajların kesme dayanımı üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu gözlemlemişlerdir. Ankraj civatalarının gömme derinliği ve çapının beton kesme kapasitesine etkisinin küçük olduğunu belirtmişlerdir. Ankraj civatalarının kesme kapasitesinin beton basınç dayanımıyla arasındaki ilişkinin nonlineer olduğunu ve CCD metot kullanılarak bulunan tahminler ile eğitilen yapay sinir ağlarından elde edilen sonuçlarla benzer olduğunu gözlemlemişlerdir.

Sakla and Ashour (2005), yapay sinir ağlarını kullanarak tekil kimyasal ankrajların çekme kapasitelerinin tahmini için bir çalışma yapmışlardır. Geri yayılım algoritması ile eğitilmiş çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağını, ağ girişleri; çıkış olarak kimyasal bağlı ankrajların üniform bağ gerilmesi ve giriş olarak ta 7 tasarım değişkeni kullanarak oluşturmuşlardır. Yapay sinir ağını eğitmişler ve ACI Committee 355 tarafından gerçek testlerle oluşturulmuş internetteki kimyasal bağlı ankraj veri

tabanı kullanılarak doğrulamışlardır. Çalışmada kullanılan beton sınıfı C10-C60 aralığındadır. Gömme derinliği de 20 ile 300 mm arasında değişmektedir. Yaptıkları çalışmanın sonucunda, kimyasal ankrajların çekme kapasitesinin ankraj çapı ve gömme derinliği ile doğrusal orantılı olduğunu gözlemlemişlerdir. Kimyasal ankrajların çekme kapasitesi üzerine beton basınç dayanımının etkisinin neredeyse doğrusal olduğunu ve kimyasal reçine tipine bağlı olduğunu bildirmişlerdir. Kimyasal ankrajların çekme kapasitesinde farklı parametrelerin etkisini kestirmek için üniform bağ modelinin en uygun yöntem olduğunu ifade etmişlerdir. Yaptıkları çalışmanın sonucunda kimyasal ankrajların çekme kapasitesinin tahmini için yapay sinir ağlarının kullanışlı bir teknik olduğunu gözlemlemişlerdir.

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

Seyhan (2006), yaptığı tez çalışmasında Türkiye'de mevcut yapıları temsil etmek üzere seçilen düşük dayanımlı bir beton içerisine farklı tiplerde kimyasal yapıştırıcılar kullanıldığı, ankraj çapının, ankraj derinliğinin, donatı çapının ve ankraj deliklerinin hazırlanma yöntemlerinin değişken olarak incelendiği kimyasal ankrajlara yönelik bir dizi deney yapmıştır. Çalışmada ankrajların ekildiği beton plakların karakteristik basınç dayanımı 16 MPa,  $\Phi 16$  ve  $\Phi 20$  donatı çaplarında, 6 $\Phi$ , 8 $\Phi$ , 10 $\Phi$  ve

12 $\Phi$  derinliklerde,  $\Phi+6$  mm ve  $\Phi+8$  mm ankraj deliği çaplarında ve tam temizlenmiş, eksik temizlenmiş ve suya doygun-nemli yüzey hazırlık aşamalarından geçmiş 80 adet ankraj imalatı yapılmış ve eksenel çekme yükleri altındaki davranışları incelenmiştir. Bu çalışmada; ankraj deliği çapının artırılması derin ankrajlarda (derinlik $>10\Phi$ ) ankraj davranışı üzerinde sınırlı bir etki gösterdiği, ankraj derinliğinin artmasının ankraj dayanımını arttırdığı, ankraj imalatında kullanılan yapıştırıcı malzemenin ankraj davranışını doğrudan etkileyen en önemli etkenlerden biri olduğu sonucuna varılmıştır. Malzemenin fiziksel ve kimyasal özellikleri ankraj dayanımını ve göçme tipini belirleyen önemli etkilere sahiptir.

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

Gürbüz, vd., (2007), farklı dayanımlarda iki tip beton blok içerisine, iki farklı tipte kimyasal yapıştırıcı kullanılarak, ankre edilen donatı çubukları üzerinde, ankraj derinliğinin (6 $\Phi$ , 8 $\Phi$ , 10 $\Phi$  ve 12 $\Phi$ ) ve donatı çapının (16 $\Phi$  ve 20 $\Phi$ ) değişken olarak incelendiği 24 adet çekip çıkarma deneyleri yapmışlardır. Çalışmada numunelerin yük-yerdeğiştirme ilişkileri, eksenel yük kapasiteleri ve göçme biçimleri tespit edilmiştir. Ankraj numunelerinin uygulandığı taban bloklarında Türkiye'deki mevcut betonarme binalardaki düşük betonu temsil edecek şekilde iki farklı kalitede (12 ve 16 MPa) düşük

dayanımlı beton kullanılmıştır. Uygulamada sıkça kullanılan 10Φ ankraj derinliklerinde ankraj donatısı akma dayanımına ulaşmadan erken göçme meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Her iki kimyasal malzemede de aksenal çekme kapasitelerinde, artan derinlikle birlikte doğrusala yakın olarak artma görmüşlerdir. Eşdeğer düzgün yayılı yapışma dayanımlarında, artan derinlik ile önemli bir değişiklik görülmemiş, yapışma dayanımlarının genel olarak M1 kimyasal yapıştırıcı kullanılan ankrajlarda 9-10 MPa, M2 kimyasal yapıştırıcı kullanılan ankrajlarda ise 4-5 MPa düzeylerinde olduğu görülmüştür. Buradan ankraj uygulamalarında kullanılan kimyasal yapıştırıcıların ankraj performansında çok etkili olabileceği sonucuna varmışlardır.

Lee, et al., (2007), geniş çaplı ve betona derin gömülü başlıklı ankrajların çekme kapasiteleri üzerine bir çalışma yapmışlardır. ACI 318 Appendix D ve ACI 349 Appendix B’de yer almayan 50 mm den daha büyük çap ve 635 mm den daha fazla gömme derinliğindeki testleri geniş ankrajların çekme performansını değerlendirmek için yapmışlardır. Gömme derinliğinin artışı ile test/hesap oranının azaldığını ve beton konisinin eğiminin de 45°’nin altında kaldığını gözlemlemişlerdir. Bunlardan dolayı da ankraj grupları ve kenardaki ankrajlar için göçme yükünün tahmininin daha büyük olacağını ve ACI 349-97’deki formülün dizayn için kullanılmaması gerektiğini ifade etmişlerdir.

Gürbüz (2007), yaptığı tez çalışmasında, tam ve kısmi bağlı kimyasal ankrajların farklı ankraj derinlikleri (6Φ , 8Φ, 10Φ ve 12Φ) ve farklı ankraj delik yüzey koşulları altında (iyi temizlenmiş, tozu atılmış, tozlu, nemli ve ıslak) 85 adet ankraj numunesinin çekip çıkarma deneyleri yapılmış, yük-yerdeğiştirme ilişkileri, aksenal yük kapasiteleri ve göçme modları tespit edilmiştir. Ankraj numuneleri standart silindir dayanımı yaklaşık 12.7 MPa olan düşük dayanımlı beton bloklar üzerine yerleştirilmiştir. Ankraj çubuk çapı ise Φ16 seçilmiştir. Kısmi bağlı ankrajlar ile tam bağlı ankrajların göçme tiplerinin birbirinden farklı olduğu gözlenmiştir. Kısmi bağlı ankraj numunelerinin tümünde sıyrılma ile göçme gerçekleşmiştir. Tam bağlı ankraj numunelerinin tümünde aksenal çekme deneylerinde göçme donatı akma gerilmesine ulaşmadan gerçekleşmiştir. Ankraj derinliğinin üst bölümünde bağısız bırakılan serbest bölge beton konisi



oluşumunu engellemiştir. Temizlenmemiş numunelerde ankrajın aksenal yük kapasitesi temizlenmiş ankrajlara oranla % 40'lara varan düşüş, nemli yüzeylere uygulanan ankrajlarda da % 30 oranında azaldığını gözlemlemiştir. Deneyledeki farklı özelliklere sahip ankrajlardan elde edilen düzgün yayılı yapışma dayanımı kullanılan kimyasal yapıştırıcı için 15-23 MPa değerleri arasında bulunmuştur. Bulunan bu değerlerin üretici firmanın verdiği yapışma dayanımı değeri olan 3 MPa değerinin çok üstünde çıktığı gözlemlenmiştir. Düşük dayanımlı betonda kısmi ankrajlar için elde edilen ortalama yapışma dayanımı değerlerinin, tam bağlı ankrajların ortalama yapışma dayanım değerlerinden çok farklı çıktığını belirtmiştir.

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

Bouazaoui and Li (2008), çelik çubukların betona bağlandığı yüzeyi ve çelik çubuk yüzeyi arasındaki arayüz kesme dayanımının tahmini ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Çekme testlerini, çelik-beton numunelerde kesme gerilmesi ve nihai gücü belirlemek için kullanmışlardır. Kullanılan betonun basınç dayanımı 40 MPa'dır. 12, 16 ve 20 mm çaplarda çalışmışlardır. Gömme derinliği de 100 ile 300 mm arasında değişmektedir. Nihai güç ile betona gömme derinliği ve çapı arasındaki ilişkiyi deneysel olarak araştırmışlardır. Bazı teorik modelleri tartıştıktan sonra çelik-beton yapının nihai kırılmasını ve ilk çatlağın oluştuğu kritik kesme gerilmesi ve kesme dağılımını tahmin etmek için bir teorik model sunmuşlardır. Test ve teorik sonuçlar arasında karşılaştırma sunulmuştur. Nihai kuvvetin doğrusal olarak çelik çubuğun gömülme derinliğine ve çapına bağlı olduğunu diğer taraftan nihai kuvvetin bağ yüzeyine göre parabolik arttığını gözlemlemişlerdir. Bu çalışmada önerilen model ilk çatlakların yaklaşık 4.5-6.1 MPa'da ortaya çıktığını ve 12 mm çaplı çelik çubuklar için maksimum kesme gerilmesi ve uygulanan çekme gerilmesi arasındaki oranın yaklaşık 0.05 olduğunu göstermiştir.

## 2.5. Literatür Değerlendirmesi

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, birçok güçlendirme yöntemi olduğu görülmektedir. Binanın güçlendirme işlemleri sırasında binanın boşaltılması, bina içinde yıkım ve betonlama, inşaat temizliği ve kullanıma açılması gibi süreçler söz konusudur. Bu süreçte bina kullanılamaz, işlevi aksar. Bu sorunlara çözüm önerisi olarak dış perde önerilmektedir. Dış perde duvar ile güçlendirme yönteminde binanın işlevi aksamaz.

Tahribatsız, hızlı ve ekonomik güçlendirme arayışı dıştan güçlendirme düşüncesini gündeme getirmiştir. Bu yöntem ile okullar eğitime ara vermeden, hastaneler, devlet daireleri ve fabrikalar hizmete ve üretime ara vermeden faaliyetlerini sürdürebilmektedir. Yıkıntı ve tamirat olmayacağı için güçlendirme ekonomik olacaktır. Mevcut yapıya sadece dışarıdan müdahale edildiği için yapıya minimum zarar verilir. 1999 yılında Japonya'da bir okul yaz tatili değerlendirilerek 40 günde

güçlendirilmiştir. İçeriden binaya hiç dokunulmadan dışarıdan güçlendirme yapılmıştır (Tamatsukuri, 1999).

Bina içinde güçlendirme yapılması zorunluluğuna son verebilecek bir yöntem olan dış perde uygulaması 2003 yılında Devlet Planlama Teşkilatına proje olarak sunulmuş ve kabul görmüştür. Yürütücülüğünü ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerinden Prof. Dr. Ergin ATIMTAY'ın yaptığı "Depremde Hasar Görmüş Yapıların Onarımı ve Hasarsız Mevcut Yapıların Güçlendirilmesi:Dış Perde Duvar Uygulaması" isimli proje ile ilerinde Pamukkale Üniversitesi'nin de bulunduğ u 6 üniversitenin ortaklığında deneysel ve analitik çalışmalar yapılmıştır (Atımtay, vd., 2003-2007; Kaplan, vd., 2006d). Bu konudaki çalışmalar Pamukkale Üniversitesi Deprem ve Yapı Teknolojileri Laboratuvarında devam etmektedir (Yılmaz, vd., 2010).

Mevcut yapıların onarım ve güçlendirilmesinde; yüksek yapışma dayanımları, düşük maliyetleri kolay ve hızlı uygulanabilir olmaları sebebiyle kimyasal ankrajlar sıklıkla kullanılmaktadır. Son yıllarda olan depremlerden sonra onarım ve güçlendirme uygulamalarının son derece ciddi olduğu daha iyi kavranmış ve yeni yönetmelik çalışmalarında da bu kısma ayrıca bir bölüm ayrılmıştır. Yeni DBYBHY 2007 yılı Mart ayı itibariyle resmi gazetede yayınlanarak yürürlüğe girmiştir. Yeni yönetmelikte daha önceleri hiçbir yönetmeliğe bağlı kalınmadan tamamen uygulayıcıların inisiyatifinde yapılan onarım ve güçlendirme uygulamalarını belirli standartlara göre tarif edilen yeni bir bölüm yer almaktadır. Ancak betonarme sargı ile güçlendirme uygulamalarındaki en kritik noktayı oluşturan ankrajlar konusunda Türk yönetmeliklerinde herhangi bir standart verilmemektedir. Bu konu üzerinde detaylı çalışmalar yapıлып uygulayıcılara optimum çözümler sunulmalıdır.

## **BÖLÜM 3**

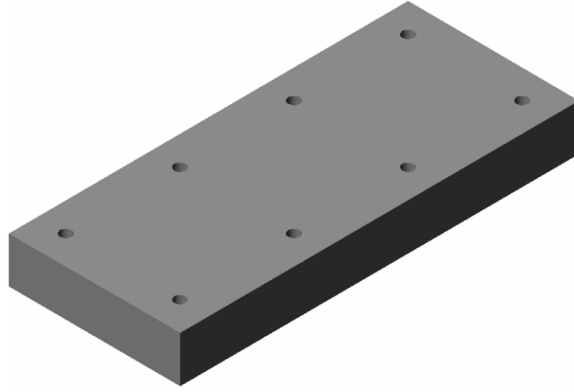
### **ANKRAJ DENEYLERİ**

Deneysel çalışmalar iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada eleman bazında ankraj deneyleri yapılmış, ikinci aşamada ise dış perde ile güçlendirilmiş çerçevelerde ankraj miktarının performansa etkisi araştırılmıştır. Birinci aşama ankraj deneyleri de iki grupta yapılmıştır.

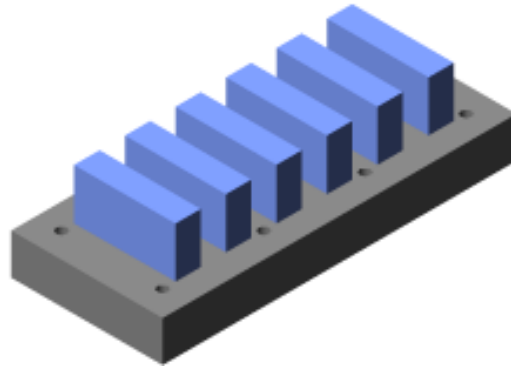
#### **3.1. Deney Elemanları**

##### **3.1.1. Geometrik özellikler**

Bu bölümdeki deneysel çalışmalarda, değişken beton kalitesine sahip 350\*150 cm boyutlarında ve 40 cm yüksekliğinde 9 adet özel temel üretilmiştir (Şekil 3.1). Bu çalışmada mevcut betonarme elemanı temsil etmek üzere değişik beton sınıflarında hazırlanan betonarme bloklar temel eleman olarak adlandırılmıştır. Bu temeller üzerine farklı parametrelerde ankrajlar ekilerek bu ankrajların üzeri yüksek dayanımlı hazır betonla betonlanmıştır (Şekil 3.2). Bu bloklarda kesme yükleri altında ankrajların dayanımları araştırılmıştır. Her bir deney numunesi üç adet ankraj ile oluşturularak ortalama bir dayanım elde edilmiştir. Epoksi ankrajlarının ekiminin yapıldığı delikler donatı çapından 4 mm daha büyük açılmış ve epoksi uygulaması yapılmadan kuru ve yağsız basınçlı hava ile temizlenerek uygulamaya hazır hale getirilmiştir. Tüm ekim işlemleri laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiş ve üretilen numuneler laboratuvar ortamında bekletilmiştir (25-35°C).

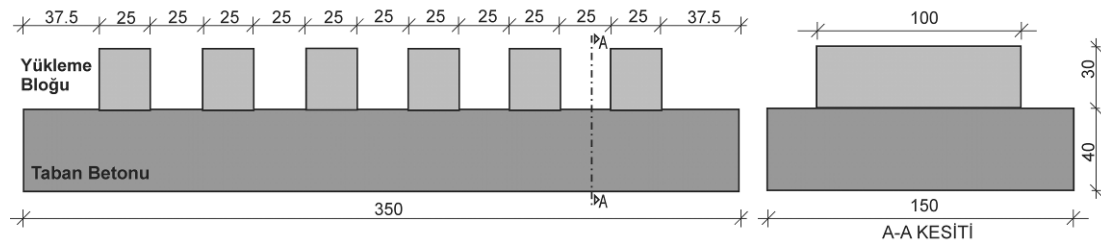


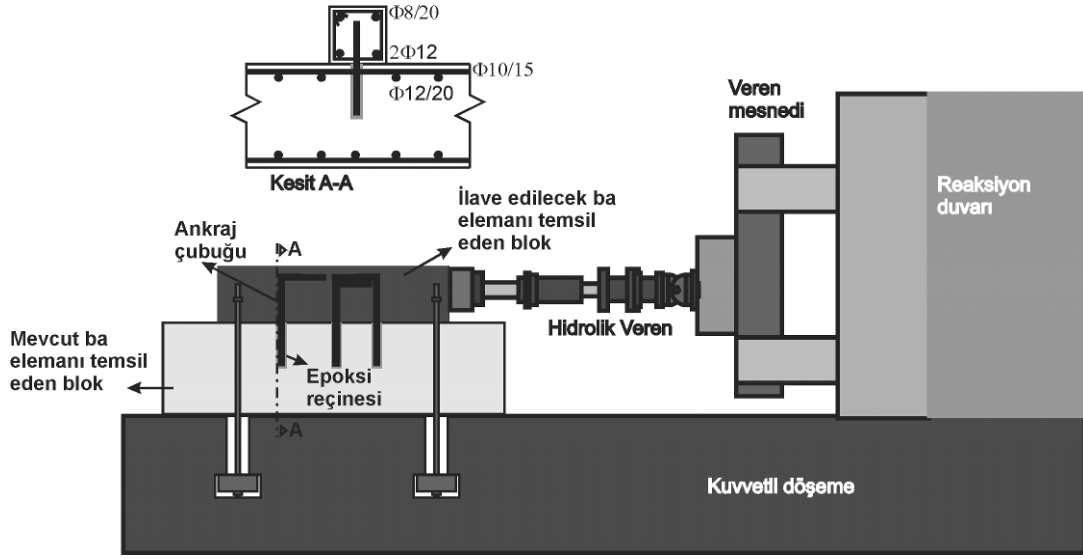
Şekil 3.1. 350\*150\*40 cm boyutlarında mevcut betonarme elemanı temsil eden temel



Şekil 3.2. Temelin üzerinde ankrajla bağlanan betonarme bloklar

Ankraj deneylerinin yapılacağı elemanın ölçüleri Şekil 3.3'te, kesiti Şekil 3.4'te verilmiştir.





Şekil 3.4. Deney elemanı kesiti

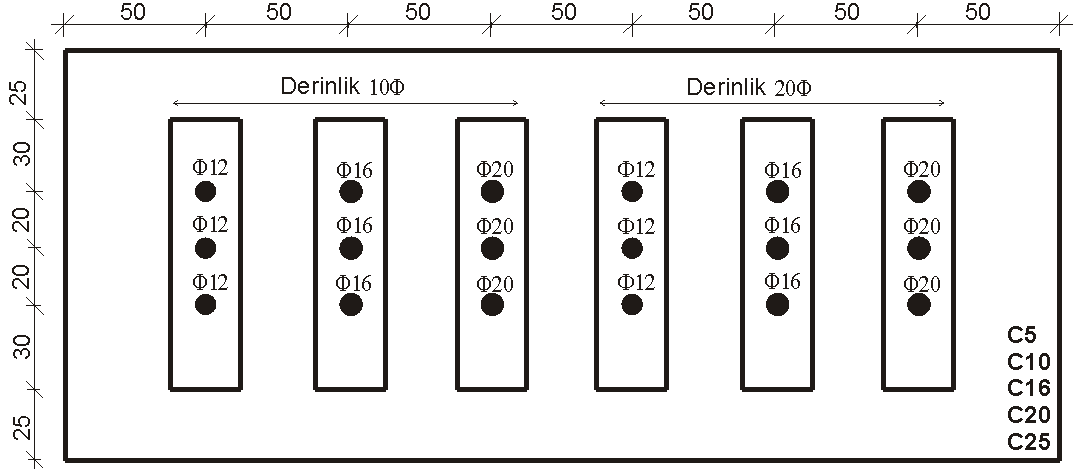
### 3.1.2. Deney Parametreleri

C5, C10, C16, C20 ve C25 temellerinde yapılacak ankrajlarda parametreler Çizelge 3.1'deki gibidir. C5, C10, C16 ve C20 beton sınıfındaki temellerden ikişer tane, C25 beton sınıfından ise bir adet temel üretilmiştir. İlk olarak her beton sınıfındaki bir adet temellere ankraj ekimi yapılmıştır (1. grup ankraj deneyleri). Buradan elde edilen sonuçlara göre kalan temellerde bazı parametreler değiştirilmiştir.

Çizelge 3.1. Ankraj deneylerindeki parametreler

	1. grup ankraj deneyleri değişkenler	2. grup ankraj deneyleri değişkenler
Temel beton sınıfı (C)	C5, C10, C16, C20, C25	C5, C10, C16, C20
Blok beton sınıfı	C25	C25
Ankrajlar arası mesafe	20 cm	20 cm
Ankraj çapı (D)	Φ12, Φ16, Φ20 (S420a)	Φ12, Φ16, Φ20 (S420a) Φ8, Φ16 (S420b)
Ankraj derinliği (L)	10Φ, 20Φ	15Φ (S420a) 10Φ (S420b)

1. grup ankraj deneylerine ilişkin ankraj yerleşim planı Şekil 3.5'te, ekilen ankrajların detayları da Çizelge 3.2'de verilmiştir.

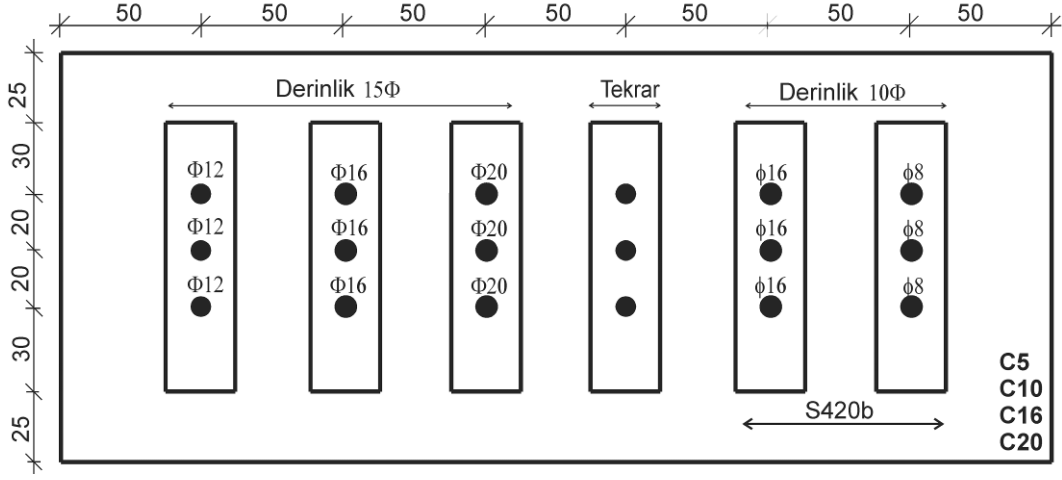


Şekil 3.5. 1. grup ankraj deneyleri yerleşim planı

Çizelge 3.2. 1. grup ankraj deneylerine ait detaylar

Beton Sınıfı	Donatı Çapı D (mm)	Ankraj Derinliği L (cm)	Ankraj Mesafesi (cm)
<b>C5</b> <b>C10</b> <b>C16</b> <b>C20</b> <b>C25</b>	Φ 12	10 Φ = 12	20
	Φ 16	10 Φ = 16	20
	Φ 20	10 Φ = 20	20
	Φ 12	20 Φ = 24	20
	Φ 16	20 Φ = 32	20
	Φ 20	20 Φ = 40	20

1. grup ankraj deneyleri tamamlandıktan sonra ortaya çıkan sonuçlara göre kalan 4 temelde derinlik değiştirilmiş ve S420a çubuklar yanında S420b çubuklarla da deneyler yapılmıştır (2. grup ankraj deneyleri). 2. grup ankraj deneylerine ait yerleşim planı Şekil 3.6'da, detaylarda Çizelge 3.3'te verilmiştir. Bu deney serisinde C5, C10, C16 ve C20 temellerinde daha önce yapılan deneylerden birer tanesi tekrar yapılmıştır.



Şekil 3.6. 2.grup ankraj deneyleri yerleşim planı

Çizelge 3.3. 2.grup ankraj deneylerine ait detaylar

Beton Sınıfı	Donatı Çapı D (mm)	Ankraj Derinliği L (cm)	Ankraj Mesafesi (cm)
<b>C5</b> <b>C16</b> <b>C20</b> <b>C20</b>	Φ 12	15 Φ = 18	20
	Φ 16	15 Φ = 24	20
	Φ 20	15 Φ = 30	20
	Tekrar deneyi		20
	Φ 16 B	10 Φ = 16	20
	Φ 8 B	10 Φ = 8	20

C5, C10, C16 ve C20 temellerinde tekrar edilen deneylerin detayları Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Tekrar edilen deneylere ait detaylar

Beton Sınıfı	Donatı Çapı D (mm)	Ankraj Derinliği L (cm)	Ankraj Mesafesi (cm)
C5	Φ 12	10 Φ = 12	20
C10	Φ 16	10 Φ = 16	20
C16	Φ 20	10 Φ = 20	20
C20	Φ 12	20 Φ = 24	20



### 3.2. Malzeme Özellikleri

#### 3.2.1. S420a çubuklar

Deney elemanlarının üretiminde kullanılan S420a çubuklara çekme testi uygulanmıştır. Şekil 3.7’de deney sırasında alınan fotoğraflar görülmektedir. Kullanılan ankraj çubuklarının mekanik özellikleri ise Çizelge 3.5’te gösterilmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen dayanım değerleri TS708 (1996)’de S420 betonarme donatı çubukları için verilen karakteristik dayanım değerlerinin üzerindedir.



Şekil 3.7. S420a çubukları çekme deneyi

Çizelge 3.5. S420a çubukların mekanik özellikleri

Çap (mm)	Akma Day. (N/mm <sup>2</sup> )	Ortalama Akma Day. (N/mm <sup>2</sup> )	Çekme Day. (N/mm <sup>2</sup> )	Ortalama Çekme Day. (N/mm <sup>2</sup> )	Kopma Uzaması (%)
12	532	543	615	628	25
12	554		640		23
16	536	534	635	633	28
16	531		630		22
20	534	536	655	657	20
20	538		658		15

### 3.2.2. S420b çubuklar

Ankraj deneylerinin ikinci kısmında S420a çubuklar dışında  $\Phi 8$  ve  $\Phi 16$ 'lık S420b çubuklar kullanılmıştır. S420b çubuklar  $10\Phi$  derinliğe ekilmiştir. Kullanılan çubuklara çekme testi yapılmıştır. Çekme testinden görüntüler Şekil 3.8'de, çekme testi sonuçları da Çizelge 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.8. S420b çubukları çekme deneyi

Çizelge 3.6. S420b çubukların mekanik özellikleri

Çap (mm)	Akma Day. (N/mm <sup>2</sup> )	Ortalama Akma Day. (N/mm <sup>2</sup> )	Çekme Day. (N/mm <sup>2</sup> )	Ortalama Çekme Day. (N/mm <sup>2</sup> )
8	444	447	456	458
8	449		459	
16	412	414	443	441
16	416		439	

### 3.2.3. Kimyasal yapıştırıcı

Kimyasal yapıştırıcının mekanik özellikleri ankrajın kapasitesini ve göçme tipini doğrudan etkilemektedir. Ankrajların üretiminde Duratek firmasının 3 bileşenli, solventsiz epoksi esaslı kimyasal dübel ve ankraj macunu (GSM509) kullanılmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Uygulanan epoksi esaslı kimyasal yapıştırıcı

GSM 509 uygulamasında bileşenler ağırlıkça %30A (epoksi reçine) + %20B (sertleştirici) + %50C (kuars kumu) oranında karıştırılarak homojen bir karışım haline getirilir. Karışım ömrü 50-70 dk'dır. Üretici firma tarafından malzemeye ait verilen özelliklerin başında, kısa sürede sertleşmesi, beton, sac, taş granit gibi yüzeylere uygulanabilme, suyun ve tozun uzaklaştırıldığı nemli yüzeylere rahatlıkla tatbik edilmesi yer almaktadır. Beton üzerine gelecek yeni kolon, kiriş veya perde gibi yapı elemanı donatılarının filiz ekiminde kullanılmaktadır. Üretici firmanın verdiği teknik özellikler Çizelge 3.7'de, mekanik özellikleri de Çizelge 3.8'de verilmiştir (Duratek, GSM 509).

Çizelge 3.7. Kullanılan kimyasal yapıştırıcının teknik özellikleri

Bileşen Sayısı	3
Karışım Oranı Ağırlıkça Hacimsel	A/B/C 30/20/50 40/25/35
Karışım Yoğunluğu ( $\text{g/cm}^3$ , 20 °C'de)	1.70 – 1.90
Karışım Ömrü (dak., 23 °C)	50 -70
Renk	Gri
Tam Sertleşme (gün)	7

Çizelge 3.8. Kullanılan kimyasal yapıştırıcının mekanik özellikleri

Çekme Mukavemeti ( $\text{N/mm}^2$ ) (TS 1967, DIN 53504)	$\approx 20$
Çekme Uzaması (%) (TS 1967, DIN 53504)	$\approx 0.7$
Elastisite Modülü ( $\text{N/mm}^2$ ) (DIN 52371, TS 985)	$\approx 4500$
Eğilme Mukavemeti ( $\text{N/mm}^2$ ) (DIN 52371, TS 985)	$\approx 44$

Kullanılan epoksi malzemesine çekme ve basınç deneyleri yapılmıştır (Şekil 3.10 ve Şekil 3.11). Çekme ve basınç deneyinin sonuçları Çizelge 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.10. Epoksi basınç deneyi



Şekil 3.11. Epoksi eğilme deneyi

Çizelge 3.9. Epoksi deney sonuçları

Numune No	Çekme Dayanımı (MPa)	Ort. Çekme Dayanımı (MPa)	Basınç Dayanımı (MPa)	Ort. Basınç Dayanımı (MPa)
1	19.0	16.9	70.1	69.5
2	14.9		70.5	
3	19.3		70.3	
4	15.2		69.7	
5	14.6		70.1	
6	18.5		66.5	

### 3.2.4. Beton

Betonarme temel elemanların üretiminde C5, C10, C16, C20 ve C25 hazır betonu kullanılmıştır. Yeni betonarme elemanı temsil eden ve mevcut elemana ankrajla bağlanacak bloğun beton sınıfı ise C25'tir. Üretimde kullanılan beton karışımları Çizelge 3.10'da ki gibidir. Elemanların üretimi sırasında küp numune alınmıştır. 2, 7 ve 28 günlük olmak üzere alınan numunelere basınç deneyi yapılmıştır (Şekil 3.12). Alınan numunelerin 2, 7 ve 28 günlük dayanımları Çizelge 3.11'de verilmiştir.



Şekil 3.12. Alınan küp numuneler ve beton basınç deneyi

Çizelge 3.10. Ağırlıkça beton karışım oranları

Malzeme (kg/m <sup>3</sup> )	C5	C10	C16	C20	C25
0-5 mm	1300	1235	1152	1115	1065
5-15 mm	390	400	417	300	295
15-22 mm	390	427	430	540	560
CEM I 42,5	100	185	210	260	310
Su	175	150	173	170	168
Katkı	0.8	1.5	2.1	3.2	4.5

Çizelge 3.11. Beton basınç dayanımları (MPa)

Beton Yaşı	C5	C10	C16	C20	C25
2 Günlük	1.50	5.22	4.11	12.13	16.70
	1.48	5.16	4.20	10.87	17.64
	1.25	5.16	3.94	11.37	15.81
7 Günlük	4.06	8.22	11.17	19.24	27.00
	3.93	9.14	10.56	18.28	24.69
	4.18	8.92	11.29	18.43	24.79
28 Günlük	6.12	11.22	17.14	24.61	35.82
	5.94	11.02	17.04	25.38	36.58
	5.74	10.57	16.96	24.98	34.31
Ortalama f <sub>c28</sub>	5.93	10.94	17.05	24.99	35.57

### 3.3. Numunelerin Üretimi

Deney modellerinin üretimi üç aşamada gerçekleştirilmiştir: Bunlar öncelik sırasına göre; betonarme temellerin yapılması, ankrajların ekilmesi ve ankrajların üstünün betonlanması. Betonarme temeller daha önce ifade edildiği gibi beş farklı beton dayanımında olacak şekilde üretilmiştir. 350\*150\*40 cm ölçülerindeki temelin donatıları, kalıbı ve beton dökümü Şekil 3.13'te görülmektedir.



Şekil 3.13. Temellerin donatıları ve beton dökümü

Betonarme temeller dayanım kazanmaları için 28 gün bekletilmiştir. Daha sonra bu temeller üzerine ankraj delikleri açılmıştır. Ankraj çapları  $\Phi 12$ ,  $\Phi 16$ ,  $\Phi 20$  dir. Bu çaplar yeni DBYBHY'de verilen en küçük ankraj çapı olan 16 mm ve bu sınırın altından (12mm) ve üstünden (20mm) bir çap olacak şekilde belirlenmiştir. 14 ve 18 mm'lik ankrajlar 16 mm'ye çok yakın olması ve benzer davranış gösterebilecekleri düşünüldükçe tercih edilmemiştir. Ankraj delikleri;  $\Phi 12$  donatı için 16 mm,  $\Phi 16$  donatı için 20 mm,  $\Phi 20$  donatı için 24 mm olarak açılmıştır. Açılan delikler basınçlı hava kullanılarak kuru-yağsız kompresör ile temizlenmiştir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Ankraj deliklerinin temizlenmesi

Açılan deliklere kimyasal yapıştırıcı (epoksi) doldurularak ankraj çubukları usulüne uygun bir şekilde ekilmiştir (Şekil 3.15). Ankraj ekimi düşey pozisyonda gerçekleştirilmiştir. Böylece ideal bir ankraj ekimi yapılmıştır.



Şekil 3.15. Ankrajların ekilmesi



Epoksi malzeme yeterli dayanım kazandıktan sonra yükleme bloklarının donatıları bağlanarak, betonları dökülmüştür (Şekil 3.16). Mevcut betonarme elemanı temsil eden ankraj bloğu ile yükleme bloğu arasındaki yüzey pürüzsüzdür ve bu yüzeyde yapışma sağlayacak herhangi bir kimyasal kullanılmamıştır.



Şekil 3.16. Beton blokların donatıları ve beton dökümü

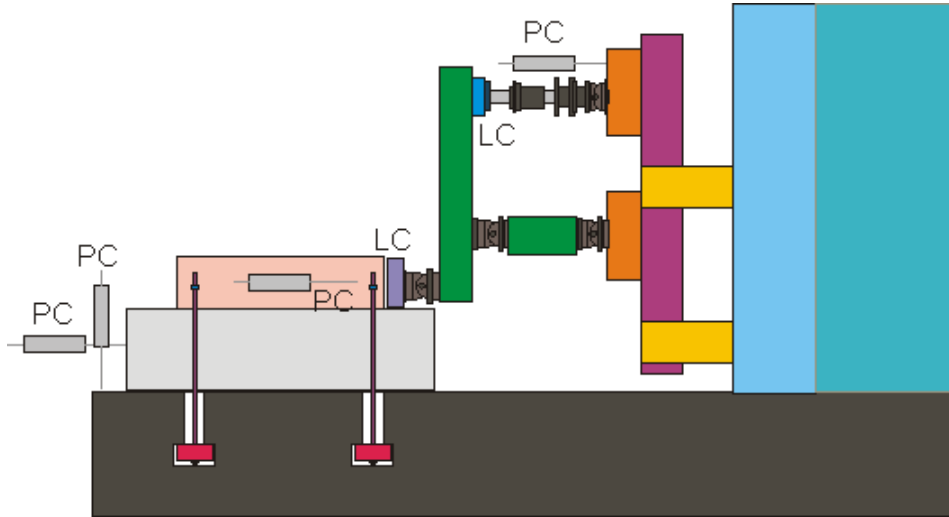
### 3.4. Deney Düzenegi

#### 3.4.1. Veri toplama sistemi

Deneylerde kullanılan ölçüm sisteminin görünümü Şekil 3.17’de verilmiştir. Deneylerde numune deplasmanları ve uygulanan yük ölçülerek kaydedilmiştir. Yük ölçümünde hem piston hem de deney elemanına monte edilen load celldeki yük ölçülmüştür (Şekil 3.18).



Şekil 3.17. Ölçüm sistemi

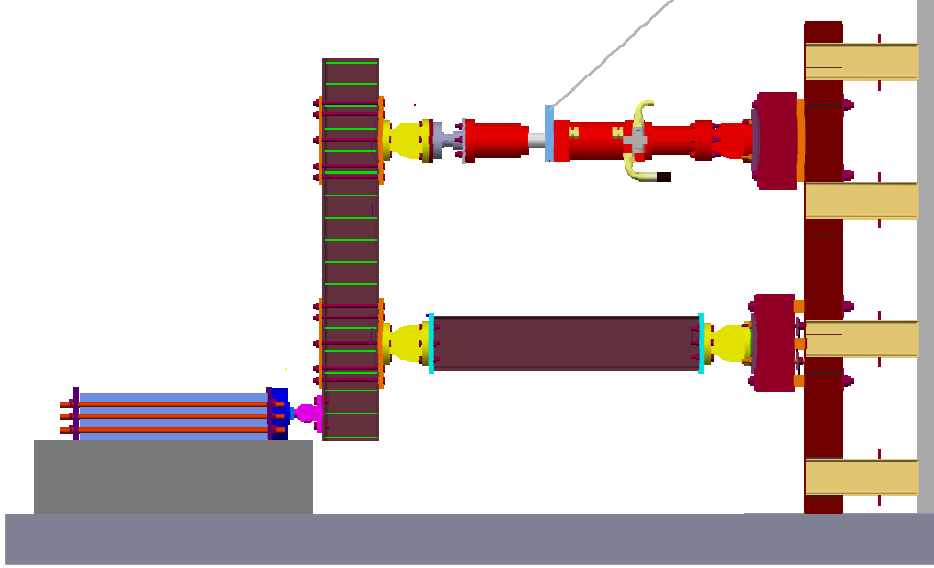


Şekil 3.18. Ölçüm sisteminin şematik görünümü

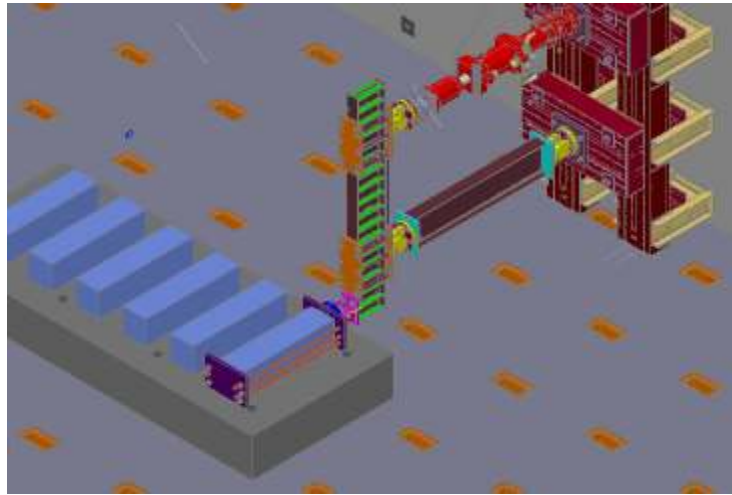
### 3.4.2. Yükleme düzeneği

Ekilen ankrajlara kesme yüklemesi yapabilmek için Şekil 3.19 ve Şekil 3.20’de görüldüğü gibi bir deney düzeneği tasarlanmıştır. Mevcut pistonun kapasitesinin üzerinde kullanılabilmesi için bir düzenek geliştirilmiştir. Geliştirilen düzenekte temel mühendislik yaklaşımı olan manivela kolu yaklaşımından yararlanılmıştır. Tasarlanan

sistem ile pistonun yük kapasitesinden optimum şekilde faydalanılabilmektedir. Deney numunesine piston yükünün üç katı kadar bir yük etki etmektedir.



Şekil 3.19. Deney düzeneği yan görünüş



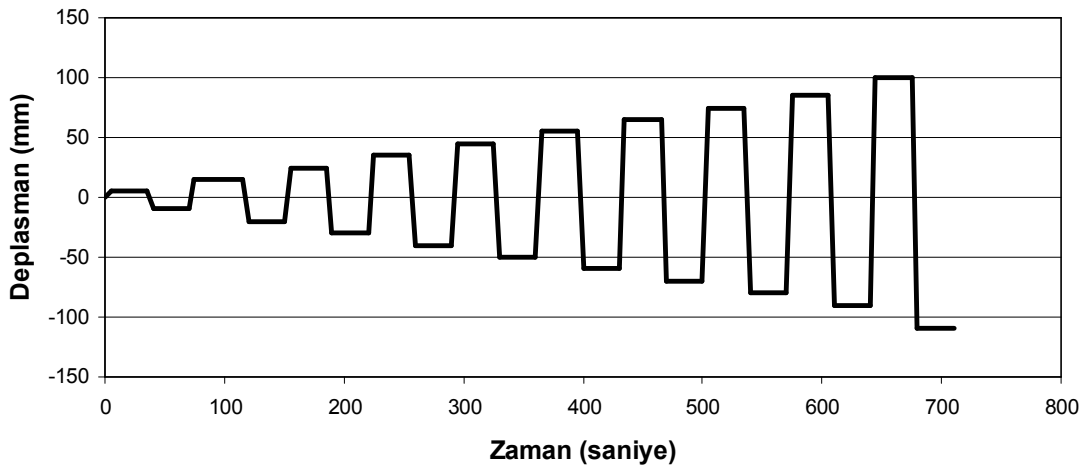
Şekil 3.20. Deney düzeneğinin perspektif görünümü

Deney düzeneğinin kurulumu esnasında alınan bazı görüntüler Şekil 3.21’de verilmiştir.



Şekil 3.21. Deney düzeneğinin kurulumu

Deneylerde kesme yüklemesi tersinir tekrarlı yük olarak uygulanmıştır. Bu yüklemelerde piston deplasman kontrollü olarak çalıştırılmıştır. Piston hareket hızı 1 mm/s, numunenin yükleme hızı 0.33 mm/s'dir. Deneylerde kullanılan piston deplasman profili Şekil 3.22'de örnek olarak verilmiştir.



Şekil 3.22. Deplasman yüklemesi

### 3.5. Ankraj Kesme Kapasiteleri

Ankrajların kesme dayanımı ile ilgili literatürde yer alan formüller Denklem 1-3'te verilmiştir.

- Beton Kapasitesi Metodu (CC Metot)

$$V_{no} = 1,0(d_0 f_c)^{0,5} \left(\frac{l}{d_0}\right)^{0,2} c_1^{1,5} \quad (N) \quad (\text{Fuchs, et al., 1995}) \quad (1)$$

- 45 ° Koni Metodu

$$V_{no} = 0,48 \sqrt{f_c} c_1^2 \quad (\text{Muratli, et al., 2004}) \quad (2)$$

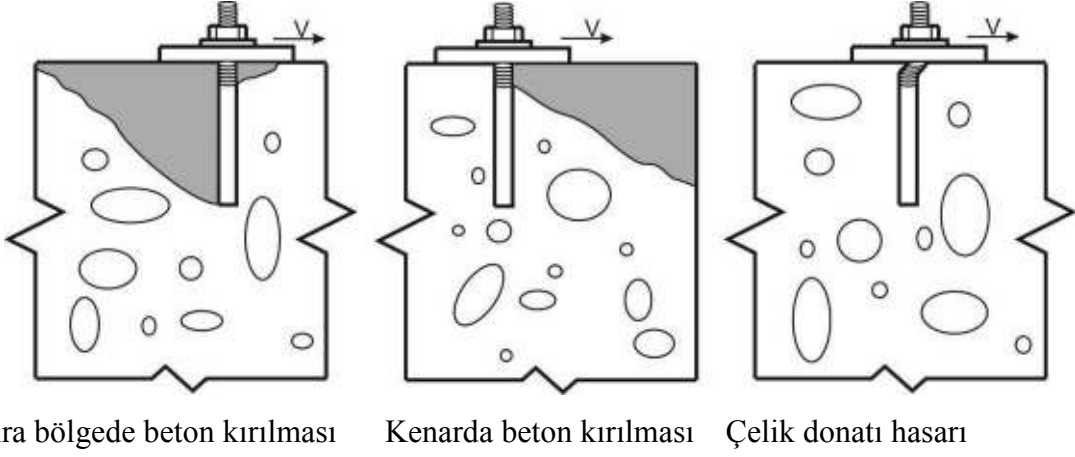
- Muratlı (1998)

$$V_{no} = 2,7l^{0,1} \cdot d^{0,3} \cdot f_{cc}^{0,5} \cdot c_1^{1,4} \quad (\text{Muratli, et al., 2004}) \quad (3)$$

Ankrajların kesme dayanımı ile ilgili ACI318 (2005) ve TS500 (2000)'de yer alan formüller aşağıda açıklanmıştır.

#### 3.5.1. ACI 318'e göre kesme kuvveti

ACI 318 (2005), ankraj kesme kapasitesine erişildiği nihai durum için 3 farklı göçme modu tanımlamaktadır: kenar bölgede beton kırılması, ara bölgelerde beton kırılması ve çelik hasarı şeklinde. Bu göçme modları Şekil 3.23'te gösterilmiştir. Ankraj donatısının kenara yakın olduğu durumlarda veya beton dayanımının düşük ve ankraj çapının büyük olduğu durumlarda, beton kırılmasına ait kapasitelerin ankraj dayanımını belirlediği, kenara uzak ankrajlarda ise donatının dayanım üzerinde etkili olduğu genel olarak ifade edilebilir.



Şekil 3.23. Ankraj göçme modları

Çeliğin göçmesi durumu dikkate alındığında ankraj dayanımı Denklem 4'e göre hesaplanabilir.

$$V_{sa} = 0,6n \cdot A_{se} \cdot f_{uta} \quad (4)$$

Burada n gruptaki ankrajların sayısı,  $A_{se}$  ankrajın kesit alanı ( $\text{mm}^2$ ),  $f_{uta}$  çelik çekme dayanımı ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )

Kenarda beton kırılması durumunda tekil ankraj için Denklem 5, grup ankraj için Denklem 6 ile ilgili kapasite değeri bulunabilmektedir.

$$V_b = 0,6 \left( \frac{l_e}{d_0} \right)^{0,2} \sqrt{d_0} \sqrt{f'_c} (c_{a1})^{1,5} \quad (5)$$

$$V_b = 0,7 \left( \frac{l_e}{d_0} \right)^{0,2} \sqrt{d_0} \sqrt{f'_c} (c_{a1})^{1,5} \quad (6)$$

Ara bölgede beton kırılması durumu için ACI318'in getirdiği formül tekil ankrajlar için Denklem 7'de, grup ankrajları için de Denklem 8'te gösterilmiştir.

$$V_{cp} = k_{cp} N_{cb} \quad (\text{tekil ankrajlar için}) \quad (7)$$

$$V_{cpg} = k_{cp} N_{cbg} \quad (\text{grup ankrajlar için}) \quad (8)$$

Burada  $k_{cp}$ , ara bölgede beton kırılma dayanımı için katsayı  $k_{cp}=1.0$   $h_{ef}<65$  mm  
 $k_{cp}=2.0$   $h_{ef}\geq 65$  mm

$V_{cp}$  tekil ankraj için,  $V_{cpg}$  grup ankrajlar için ara bölgede beton kırılması moduna ait dayanımı temsil etmektedir. Bu dayanım değerleri çekme durumu için verilen koni dayanımlarına ( $N_{cb}$ ,  $N_{cbg}$ ) bağlı olarak hesaplanmaktadır.

Üç farklı göçme şekli için yapılan hesaplara göre en düşük dayanıma sahip göçme şekli kapasiteyi belirlemektedir. Tasarım dayanımını belirlemek için de denklemlerde verilen ankraj kapasiteleri S420a çelik çubuklar için 0.65, S420b çelik çubuklar için ise 0.75 düzeltme katsayısı ile çarpılır.

### 3.5.2. TS500'e göre kesme kuvveti

TS500'e göre ankraj kesme dayanımının belirlenmesi durumunda sadece donatının göçme şeklini dikkate alan bir formülasyon görülmektedir. Tekil ankrajın kesme kapasitesinin ( $V_r$ ) belirlenmesi için TS500 formülü Denklem 9'da verilmiştir.

$$V_r = \mu \cdot A_s \cdot f_{yd} \quad (9)$$

$\mu$  değeri sürtünme yüzeyinin pürüzlülük durumuna göre değişen bir katsayı,  $A_s$  kesmeye çalışan donatı alanı ( $\text{mm}^2$ ),  $f_{yd}$  donatıların akma dayanımı ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ) ifade etmektedir.

Burada sürtünme katsayısının alabileceği en küçük değer 0.6 olarak verilmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada  $\mu=0.6$  kullanılarak TS500'e göre ankraj kapasiteleri

belirlenmiştir. Malzeme katsayıları kullanılarak belirlenen bu dayanım değeri tasarım dayanımına karşılık gelmektedir.

### 3.6. Beklenen Ankraj Kapasiteleri

Deneyi yapılan elemanlardaki değişkenler dikkate alınarak, numunelerde beklenen ankraj kapasiteleri TS500 ve ACI318 formüllerine göre hesaplanmıştır. Bu değerler deney elemanlarında yer alan üç ankrajın toplam dayanımıdır. Değerler bütün göçme şekilleri için hesaplanmıştır. Beklenen kapasiteler C5, C10, C16, C20 ve C25 sınıfı temeller için Çizelge 3.12-16'da, S420b ankraj çubukları için ise Çizelge 3.17'de verilmiştir.

Ankraj elemanlarının serbest kenara olan uzaklıklarının fazla olması dolayısıyla tüm ankraj elemanlarında ACI318'e göre yapılan hesap sonucunda kesme dayanımını donatının belirlediği görülmektedir. ACI318'de betona sonradan ekilen ankrajlar için ayrı bir azaltma katsayısı da kullanıldığı için ACI318 tasarım kuvvetleri TS500 tasarım kuvvetlerine oranla daha küçük kalmaktadır.

Çizelge 3.12. C5 temelinde beklenen ankraj kapasiteleri (kN)

Numune ismi	ACI318 $V_{sa}$	ACI318 $V_b$	ACI318 $V_{cpq}$	ACI318 Dayanım	<b>ACI318 Tasarım</b>	<b>TS500 Tasarım</b>
C5D12L12	101.8	826.1	292.5	101.8	<b>66.2</b>	<b>74.3</b>
C5D12L18		895.9	396.3			
C5D12L24		948.9	501.6			
C5D16L16	181	1101.5	361.7	181	<b>117.6</b>	<b>132.1</b>
C5D16L24		1194.5	501.6			
C5D16L32		1265.2	646.9			
C5D20L20	282.7	1376.8	431.2	282.7	<b>183.8</b>	<b>206.4</b>
C5D20L30		1493.1	610.0			
C5D20L40		1581.5	799.0			



Çizelge 3.13. C10 temelinde beklenen ankraj kapasiteleri (kN)

Numune ismi	ACI318 $V_{sa}$	ACI318 $V_b$	ACI318 $V_{cpq}$	ACI318 Dayanım	ACI318 Tasarım	TS500 Tasarım
C10D12L12	101.8	1719.2	422.0	101.8	<b>66.2</b>	<b>74.3</b>
C10D12L18		1864.4	571.8			
C10D12L24		1974.8	723.6			
C10D16L16	181	2292.2	521.8	181	<b>117.6</b>	<b>132.1</b>
C10D16L24		2485.8	723.6			
C10D16L32		2633.1	933.3			
C10D20L20	282.7	2865.3	622.0	282.7	<b>183.8</b>	<b>206.4</b>
C10D20L30		3107.3	880.0			
C10D20L40		3291.3	1152.6			

Çizelge 3.14. C16 temelinde beklenen ankraj kapasiteleri (kN)

Numune ismi	ACI318 $V_{sa}$	ACI318 $V_b$	ACI318 $V_{cpq}$	ACI318 Dayanım	ACI318 Tasarım	TS500 Tasarım
C16D12L12	101.8	2199.2	477.3	101.8	<b>66.2</b>	<b>74.3</b>
C16D12L18		2385.0	646.7			
C16D12L24		2526.2	818.5			
C16D16L16	181	2932.2	590.2	181	<b>117.6</b>	<b>132.1</b>
C16D16L24		3179.9	818.5			
C16D16L32		3368.3	1055.5			
C16D20L20	282.7	3665.3	703.5	282.7	<b>183.8</b>	<b>206.4</b>
C16D20L30		3974.9	995.3			
C16D20L40		4210.3	1303.6			

Çizelge 3.15. C20 temelinde beklenen ankraj kapasiteleri (kN)

Numune ismi	ACI318 $V_{sa}$	ACI318 $V_b$	ACI318 $V_{cpq}$	ACI318 Dayanım	ACI318 Tasarım	TS500 Tasarım
C20D12L12	101.8	3036.4	560.8	101.8	<b>66.2</b>	<b>74.3</b>
C20D12L18		3292.9	759.9			
C20D12L24		3488.0	961.7			
C20D16L16	181	4048.6	693.5	181	<b>117.6</b>	<b>132.1</b>
C20D16L24		4390.6	961.7			
C20D16L32		4650.6	1240.3			
C20D20L20	282.7	5060.7	826.6	282.7	<b>183.8</b>	<b>206.4</b>
C20D20L30		5488.2	1169.5			
C20D20L40		5813.3	1531.8			

Çizelge 3.16. C25 temelinde beklenen ankraj kapasiteleri (kN)

Numune ismi	ACI318 $V_{sa}$	ACI318 $V_b$	ACI318 $V_{cpg}$	ACI318 Dayanım	<b>ACI318 Tasarım</b>	<b>TS500 Tasarım</b>
C25D12L12	101.8	4152.8	655.9	101.8	<b>66.2</b>	<b>74.3</b>
C25D12L24		4770.3	1124,7			
C25D16L16	181	5537.0	811.0	181	<b>117.6</b>	<b>132.1</b>
C25D16L32		6360.4	1450.5			
C25D20L20	282.7	6921.3	966.7	282.7	<b>183.8</b>	<b>206.4</b>
C25D20L40		7950.5	1791.4			

Çizelge 3.17. S420b ankrajlarda beklenen ankraj kapasiteleri (kN)

Numune ismi	ACI318 $V_{sa}$	ACI318 $V_b$	ACI318 $V_{cpg}$	ACI318 Dayanım	<b>ACI318 Tasarım</b>	<b>TS500 Tasarım</b>
C5D8L8-B	45.2	550.7	221.9	45.2	33.9	33.0
C5D16L16-B	181.0	1101.5	361.7	181.0	135.7	132.1
C10D8L8-B	45.2	1146.1	320.1	45.2	33.9	33.0
C16D8L8-B	45.2	1466.1	362.1	45.2	33.9	33.0
C20D8L8-B	45.2	2024.3	425.5	45.2	33.9	33.0
C20D16L16-B	181.0	4048.6	693.5	181.0	135.7	132.1

## BÖLÜM 4

### ANKRAJ DENEY SONUÇLARI

#### 4.1. Deney Sonuçları

Kurulan deney düzeneğinde ankraj kesme deneyleri tersinir tekrarlı yükler altında tamamlanmıştır. Yapılan deneylerde eksenel yük etkisinde kalacak yükleme blokları yüksek dayanımlı betondan üretildiği için herhangi bir hasara maruz kalmamışlardır. Ankraj elemanları üzerinde yükleme blokları bulunması dolayısıyla, oluşan hasarlar deney esnasında gözlenememiştir. Bu sebeple, deneyler, yükleme pistonu maksimum deplasman kapasitesine ulaşıncaya kadar devam ettirilmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Piston deplasman kapasitesinin sonu

C5, C10, C16, C20 ve C25 temellere ekilen ankrajlara ait deneylerden bazı görüntüler Şekil 4.2’de verilmiştir.

Bazı deneylerde yük taşıma kapasitesinin azaldığı bölgenin görülmesi mümkün olmamıştır. Hem yüksek dayanımlı hem de düşük dayanımlı temele sahip numunelerde beklendiği şekilde kayma davranışı ortaya çıkmıştır.

Düşük dayanımlı betona sahip bazı deney elemanlarında yükleme bloğunun dışından görülebilen betonda koni hasarları ortaya çıkmıştır.

Deneylerin tamamlanması sonrasında yükleme blokları, ankraj donatıları kesilerek temel betonu üzerinden kaldırılmıştır. Bazı numunelerin üzerindeki yükleme blokları uygun şekilde kaldırılamadığından deney sonrası hasarlar da ortaya çıkmıştır (Şekil 4.3). Bu hasarlar dikkate alınmaksızın sadece deney hasarları gözlenebilen yükleme bloğun uygun şekilde kaldırılan elemanların pek çoğunda paspayı bölgesi dışında ezilme sonucu küçük konilerin oluştuğu görülmüştür. Bu tür davranış özellikle büyük çaplı donatılar ve/veya düşük dayanımlı betona ekilmiş ankrajlarda ortaya çıkmıştır (Şekil 4.4). Özellikle küçük çaplı donatıların C20-C25 gibi normal dayanımlı betonlara ekildiği durumlarda bu tür hasarlara da rastlanılmamıştır.



Şekil 4.2. Deney resimleri



Şekil 4.3. Numunelerin çıkarılmasında oluşan hasar

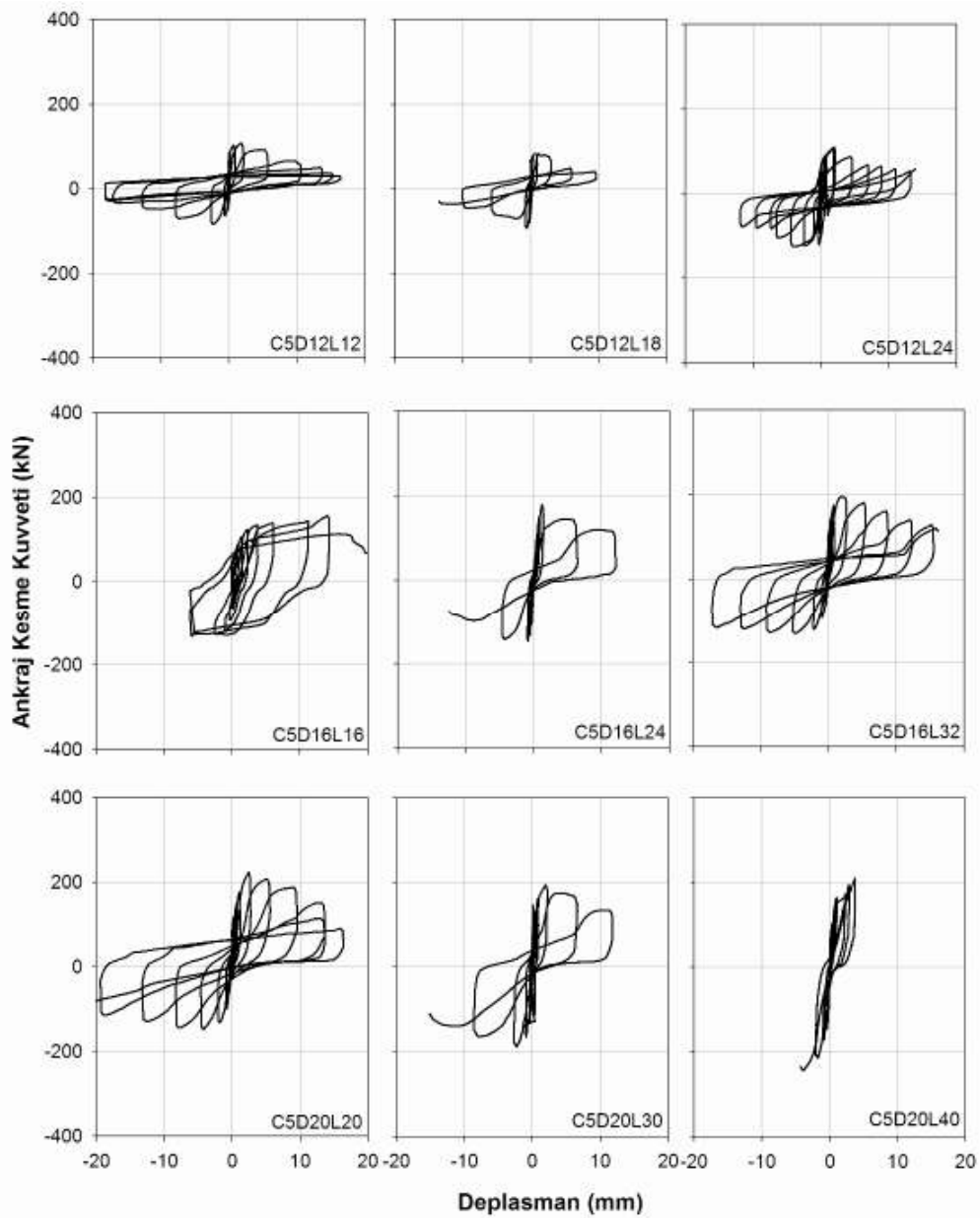


Şekil 4.4. Deney sırasında oluşan hasarlar

#### 4.2. Yük-Deplasman Davranışı

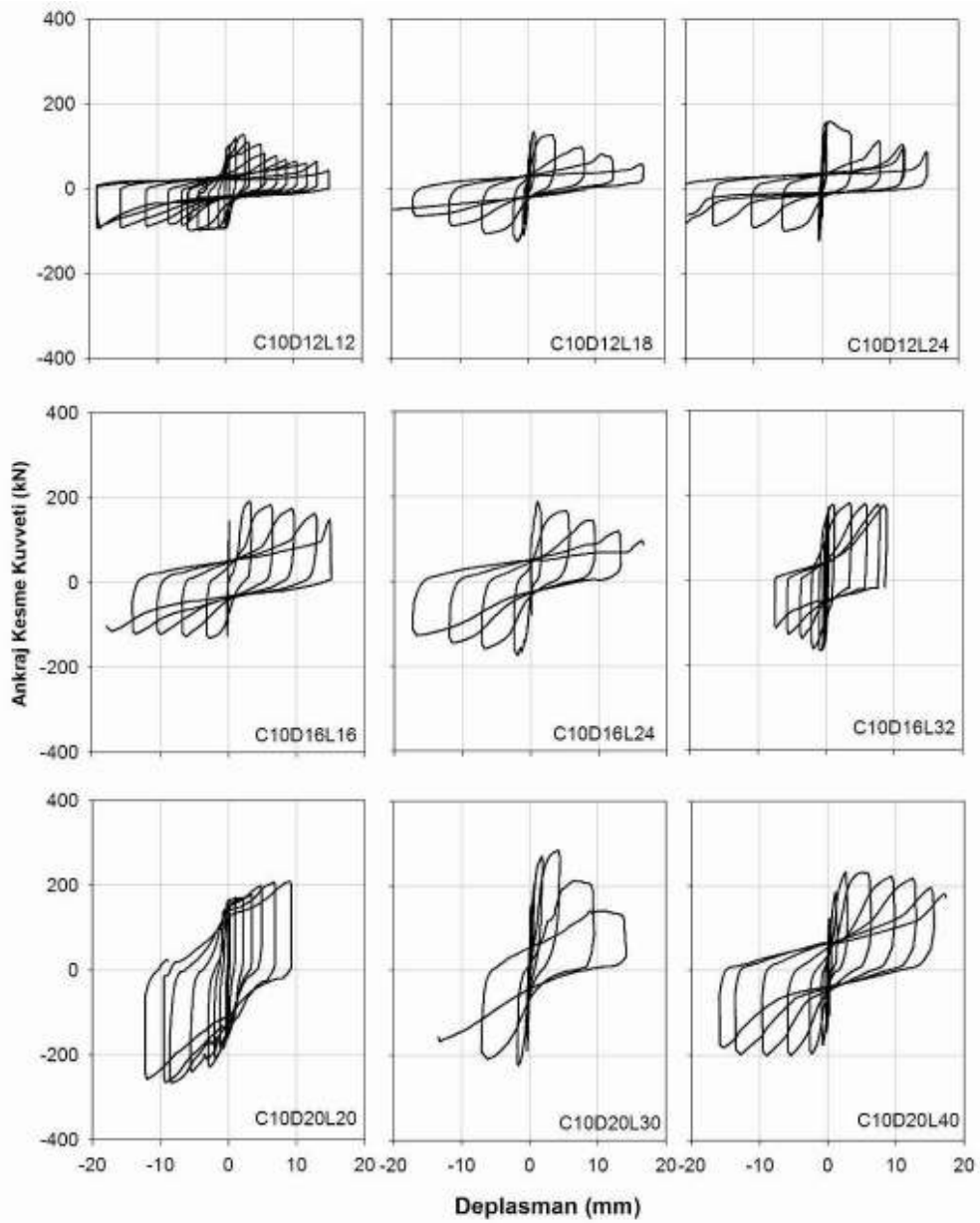
Tekrarlı tersinir yükler altında deneyleri tamamlanan ankraj elemanlarının yük-deplasman çevrimleri çizilmiştir. Elde edilen kesme dayanımlarının donatı çapındaki artışla değiştiği görülmektedir. Ankraj derinliğinin ve beton basınç dayanımının artması ile kapasitede bazen düşüş bazen artış olduğu görülmüştür. Bu durum kenardan uzak ankrajlarda beton dayanımı ve derinliğin belirleyici olmadığını göstermektedir.

C5 temeline ekilen 12 mm çaplı ankrajların ortalama olarak minimum kesme kuvveti değeri 98 kN, 16 mm ve 20 mm ankrajlar için ise 136 ve 182 kN, ortalama maksimum değerleri ise 12, 16 ve 20 mm çaplar için sırasıyla 117, 177 ve 220 kN'dur. C5 temelinde 10 $\Phi$  derinlikte ekilen ankrajların ortalama olarak minimum kesme kuvveti değeri 120 kN, 15 $\Phi$  ve 20 $\Phi$  derinlikte ekilen ankrajların ortalama min. kesme değerleri ise 140 ve 156 kN'dur (Şekil 4.5).



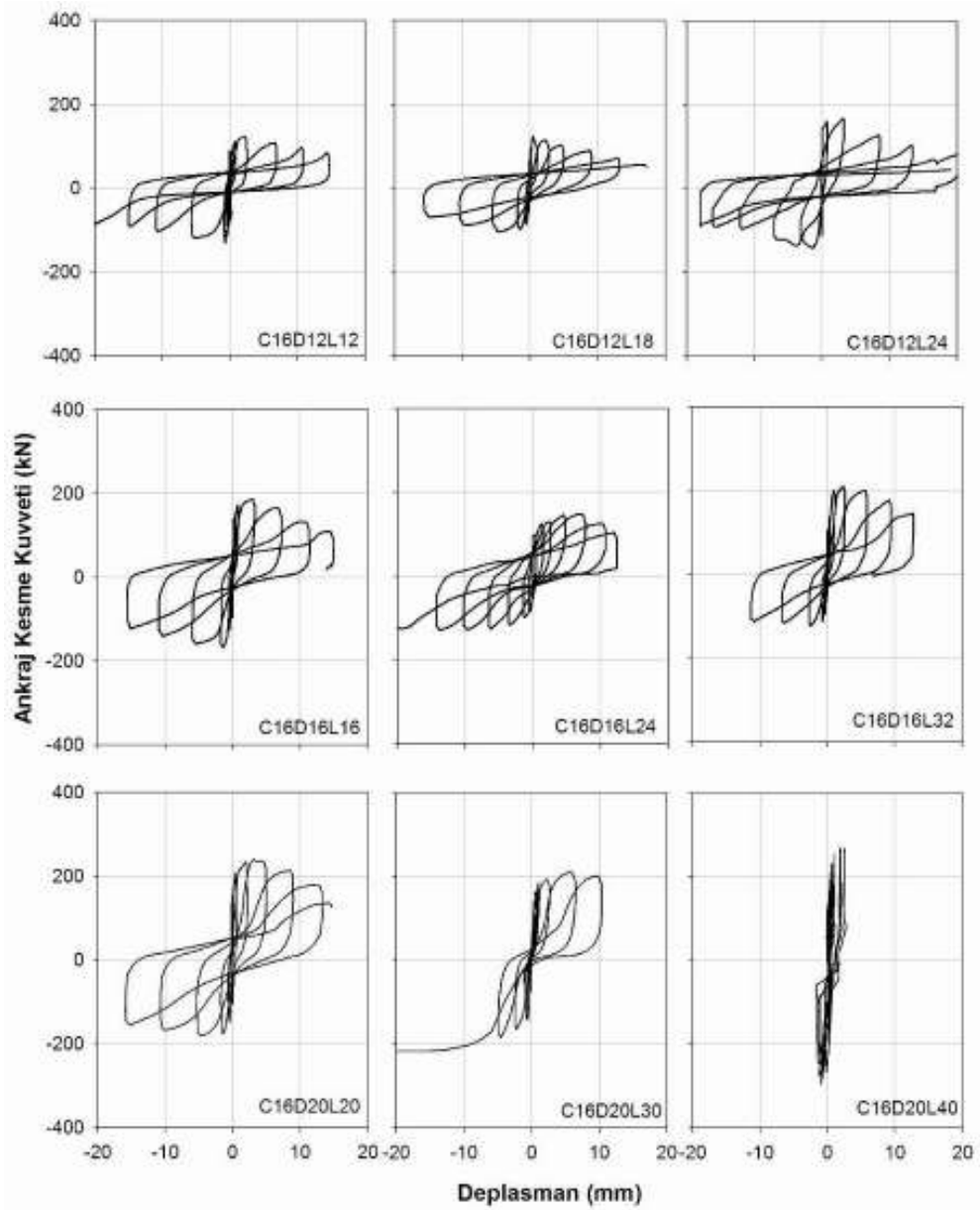
Şekil 4.5. C5 temelinde ait yük – deplasman eğrileri

C10 temeline ekilen 12 mm çaplı ankrajların ortalama olarak minimum kesme kuvveti değeri 115 kN, 16 mm ve 20 mm ankrajlar için ise 157 ve 212 kN, ortalama maksimum değerleri ise 12, 16 ve 20 mm çaplar için sırasıyla 140, 187 ve 212 kN'dur. C10 temeline 10 $\Phi$  derinlikte ekilen ankrajların ortalama olarak minimum kesme kuvveti değeri 147 kN, 15 $\Phi$  ve 20 $\Phi$  derinlikte ekilen ankrajların ortalama min. kesme değerleri ise 174 ve 163 kN'dur (Şekil 4.6)



Şekil 4.6. C10 temeline ait yük – deplasman eğrileri

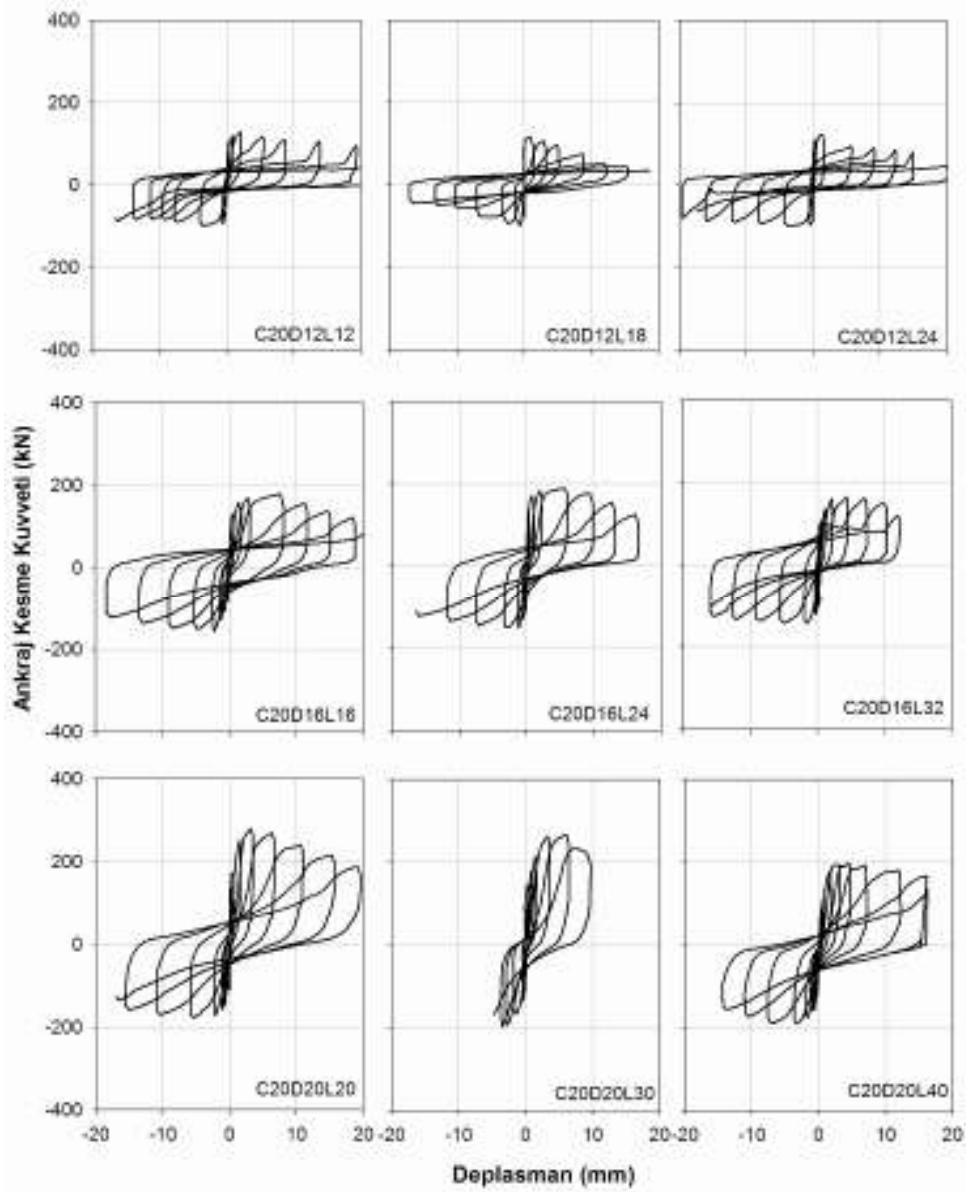
C16 temeline ekilen 12 mm çaplı ankrajların ortalama olarak minimum kesme kuvveti değeri 123 kN, 16 mm ve 20 mm ankrajlar için ise 140 ve 220 kN, ortalama maksimum değerleri ise 12, 16 ve 20 mm çaplar için sırasıyla 140, 181 ve 250 kN'dur. C16 temeline 10 $\Phi$  derinlikte ekilen ankrajların ortalama olarak minimum kesme kuvveti değeri 157 kN, 15 $\Phi$  ve 20 $\Phi$  derinlikte ekilen ankrajların ortalama min. kesme değerleri ise 149 ve 177 kN'dur (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. C16 temeline ait yük – deplasman eğrileri

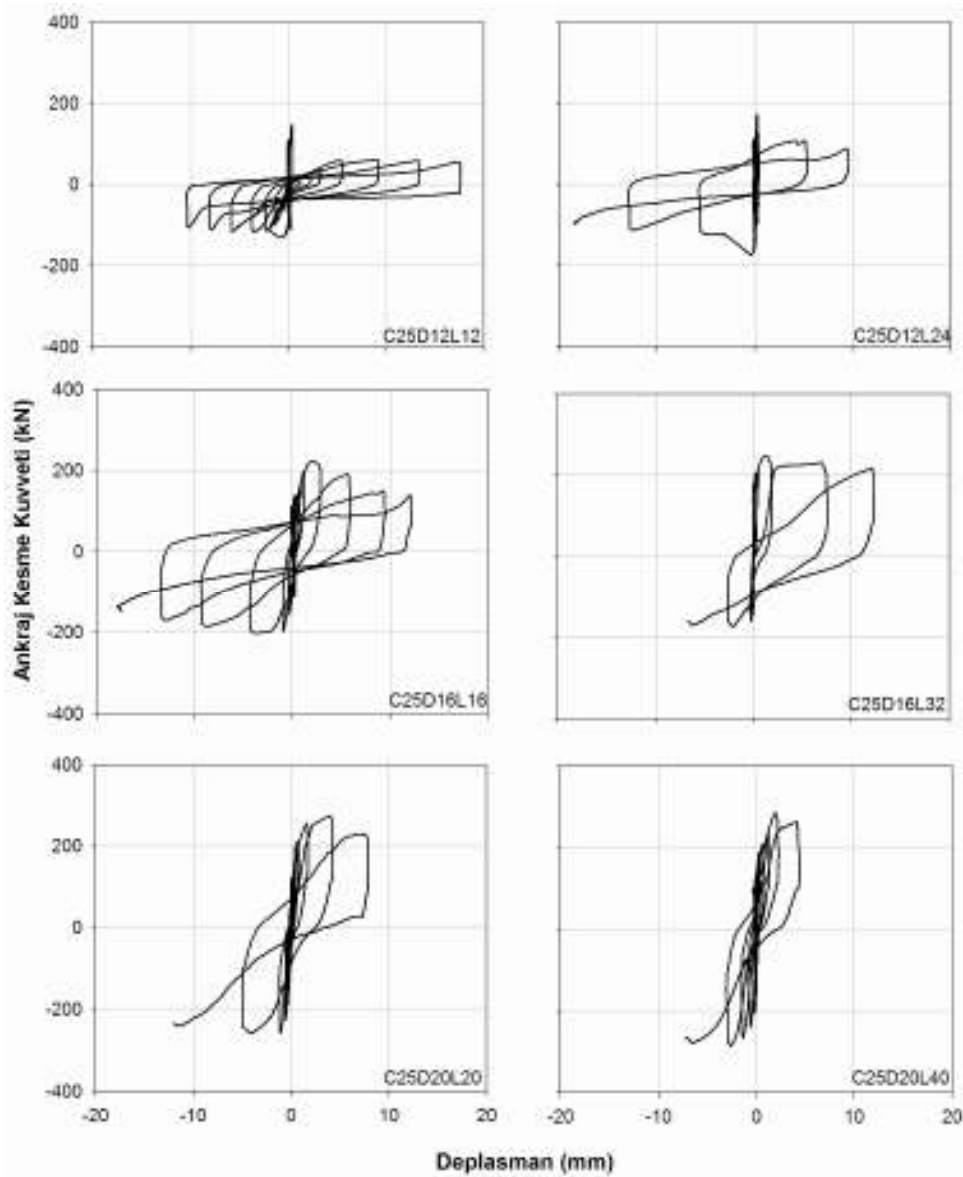


C20 temeline ekilen 12 mm çaplı ankrajların ortalama olarak minimum kesme kuvveti değeri 99 kN, 16 mm ve 20 mm ankrajlar için ise 150 ve 188 kN, ortalama maksimum değerleri ise 12, 16 ve 20 mm çaplar için sırasıyla 123, 177 ve 247 kN'dur. C20 temeline 10 $\Phi$  derinlikte ekilen ankrajların ortalama olarak minimum kesme kuvveti değeri 143 kN, 15 $\Phi$  ve 20 $\Phi$  derinlikte ekilen ankrajların ortalama min. kesme değerleri ise 149 ve 144 kN'dur (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. C20 temeline ait yük – deplasman eğrileri

C25 temeline ekilen 12 mm  $\Phi$  çaplı ankrajların ortalama olarak minimum kesme kuvveti değeri 150 kN, 16 mm ve 20 mm ankrajlar için ise 188 ve 270 kN, ortalama maksimum değerleri ise 12, 16 ve 20 mm  $\Phi$  çaplar için sırasıyla 160, 234 ve 278 kN'dur. C25 temeline 10 $\Phi$  derinlikte ekilen ankrajların ortalama olarak minimum kesme kuvveti değeri 196 kN, ve 20 $\Phi$  derinlikte ekilen ankrajların ortalama min. kesme değeri ise 209 kN'dur (Şekil 4.9).



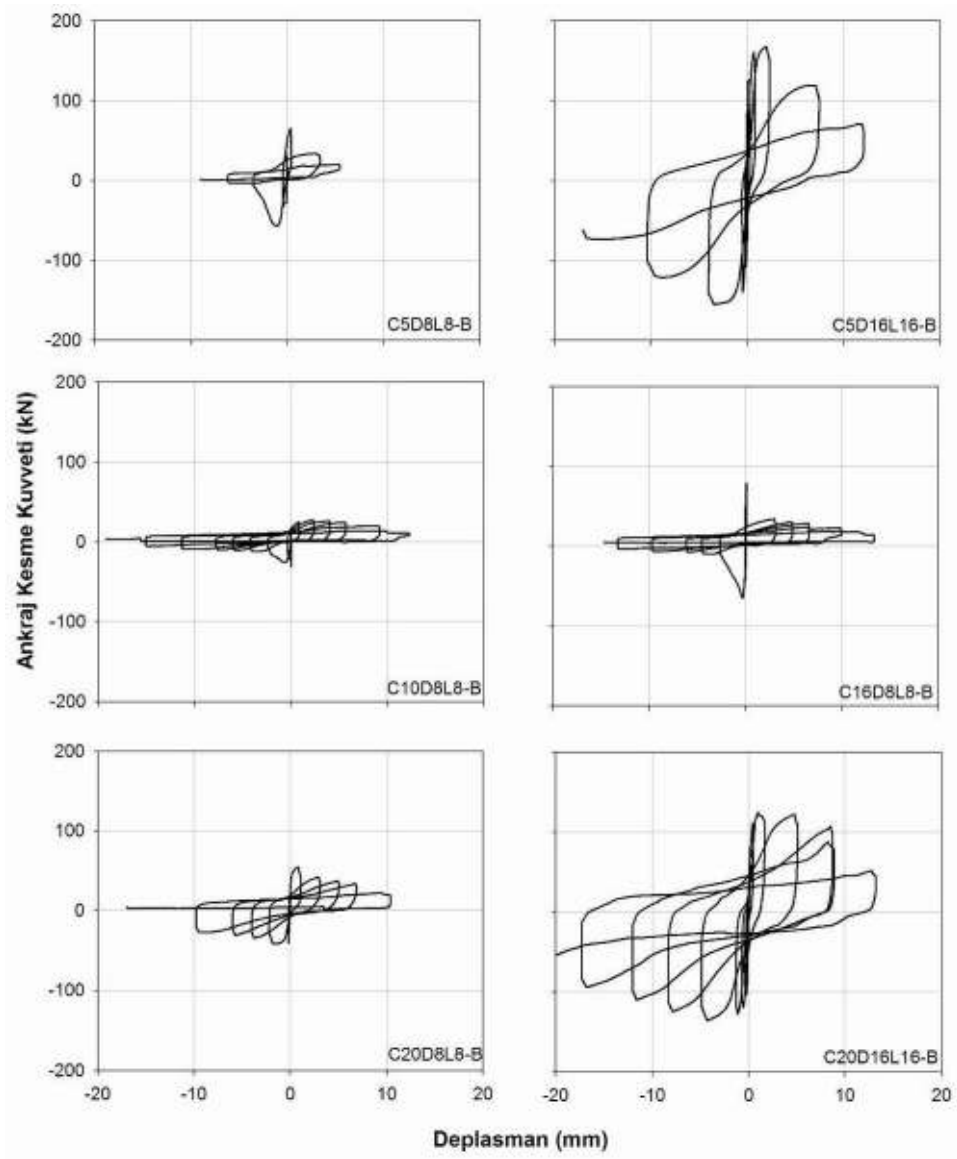
Şekil 4.9. C25 temeline ait yük – deplasman eğrileri

Deneysel olarak elde edilen sonuçlardan itme ve çekme yönlerinden minimum dayanımı veren doğrultudaki değerler dikkate alındığında, 12 mm çaplı ankrajlar için ortalama kesme kuvveti değerleri C5, C10, C16, C20 ve C25 temelleri için sırasıyla 98, 115, 123, 99 ve 150 kN, 16 mm çaplı ankrajlar için 136, 157, 140, 150 ve 188 kN ve 20 mm çaplı ankrajlar için ise sırasıyla, 182, 212, 220, 188 ve 270 kN olarak bulunmuştur.

Deney sonuçları gömülme derinliği açısından değerlendirildiğinde, itme ve çekme yönlerinden minimum dayanımı veren doğrultudaki değerler dikkate alındığında, 10Φ derinlikteki ankrajların ortalama kesme kuvveti değerleri C5, C10, C16, C20 ve C25 temelleri için sırasıyla 120, 147, 157, 143 ve 196 kN, 20Φ derinlikteki ankrajlar için 156, 163, 177, 144 ve 209 kN'dur. 15Φ derinlikteki ankrajlar için ise C5, C10, C16 ve C20 temelleri için sırasıyla 156, 163, 148 ve 149 kN'dur. C25 temeline 15Φ derinliğinde ankraj ekilmemiştir.

Deney sonuçları ankraj donatılarına göre değerlendirildiğinde ise Φ12 donatı ile ekilen ankrajlarda ortalama dayanım 366 MPa düzeyinde iken Φ16 donatılarda 282 MPa, Φ20 donatılarda ise 244 MPa düzeyine inmiştir. Bu durum donatı çapının artması ile birlikte ortaya çıkan gerilme yoğunlaşmasının açık bir sonucudur. DBYBHY'de güçlendirme amacıyla ekilen ankraj çubukları için TS500 sürtünme kesmesi formülünün kullanımı istenmektedir. Buna göre tüm çaplar için S420a ankraj donatılarının taşıyabileceği kayma gerilmesi 219 MPa (0.6x365 MPa) olarak hesaplanabilir. Özellikle Φ20 çapa sahip donatılarla üretilen deney numunelerinin de dayanımı dikkate alındığında sürtünme kesmesi formülünün güvenli sonuçlar vermeyebileceği görülmektedir.

Uygulamada kullanılan S420a donatılarının yanında bu çalışmanın ikinci bölümünde dış perde-çerçeve bağlantısı için kullanılan S420b donatılarla da deneyler gerçekleştirilmiştir. Tekrarlı tersinir yükler altında deneyleri tamamlanan S420b ankraj elemanlarının yük-deplasman çevrimleri Şekil 4.10'da tüm beton sınıfları için verilmiştir.

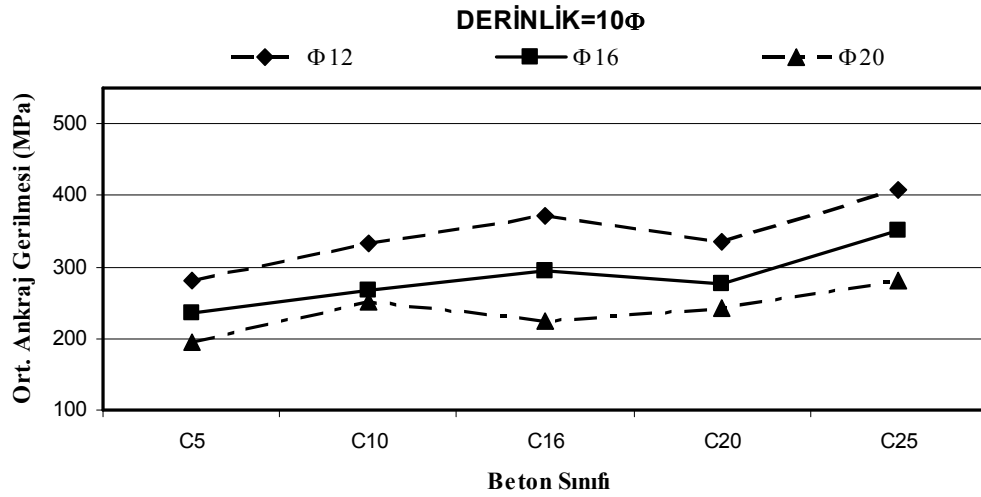


Şekil 4.10. S420b ankraj elemanlarına ait yük-deplasman eğrileri

### 4.3. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

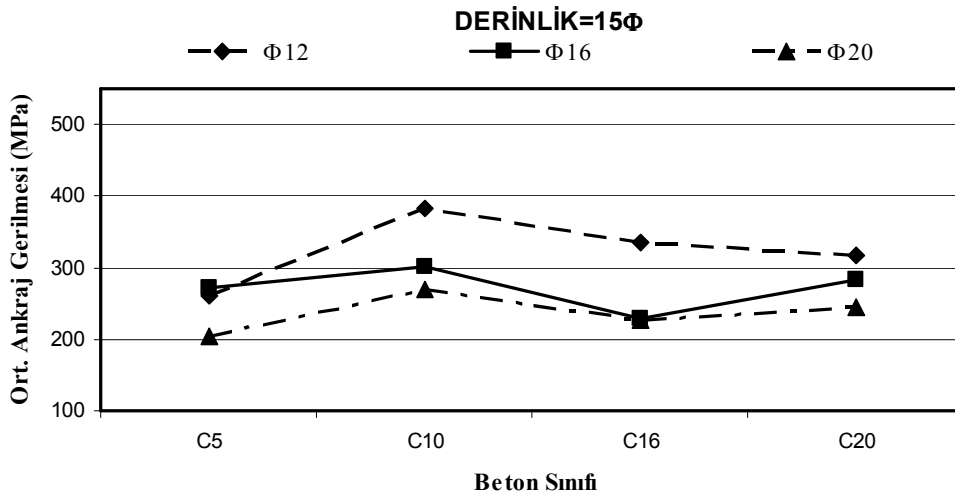
#### 4.3.1. Derinlik-Beton Sınıfı

Deney sonuçlarını derinlik-beton sınıfı açısından incelersek; 10 $\Phi$  derinlikteki ankrajların ortalama gerilmeleri C5, C10, C16, C20 ve C25 temelleri sırasıyla 238, 284, 296, 284 ve 347 MPa'dır (Şekil 4.11).

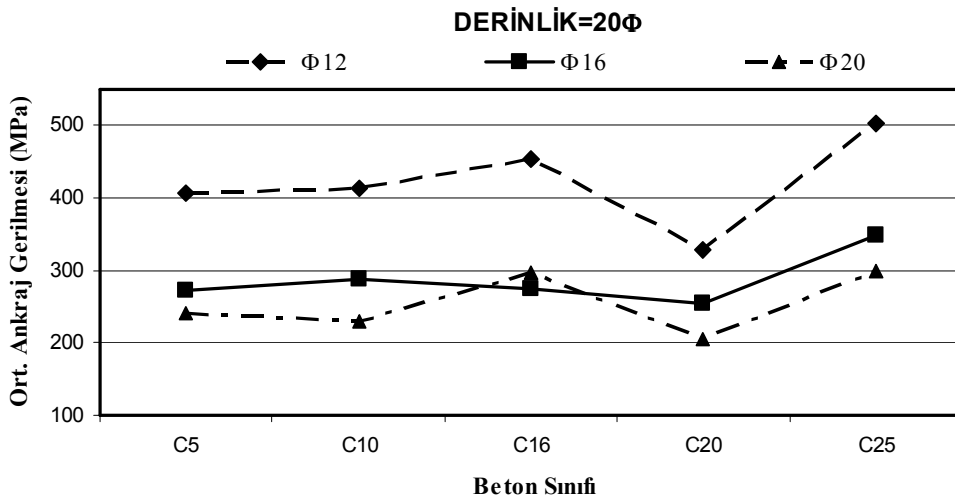


Şekil 4.11. 10 $\Phi$  derinlikte beton sınıfı-ortalama ankraj gerilmesi

15 $\Phi$  derinlikteki ankraj numunelerini incelediğimizde ortalama ankraj gerilmeleri C5, C10, C16 ve C20 temelleri için sırasıyla 245, 317, 264 ve 281 MPa'dır (Şekil 4.12). Ankraj derinliğinin 20 $\Phi$  olması durumunda ortalama ankraj gerilmeleri C5, C10, C16, C20 ve C25 temelleri için sırasıyla 306, 311, 343, 263 ve 384 MPa'dır (Şekil 4.13).



Şekil 4.12. 15Φ derinlikte beton sınıfı-ortalama ankraj gerilmesi



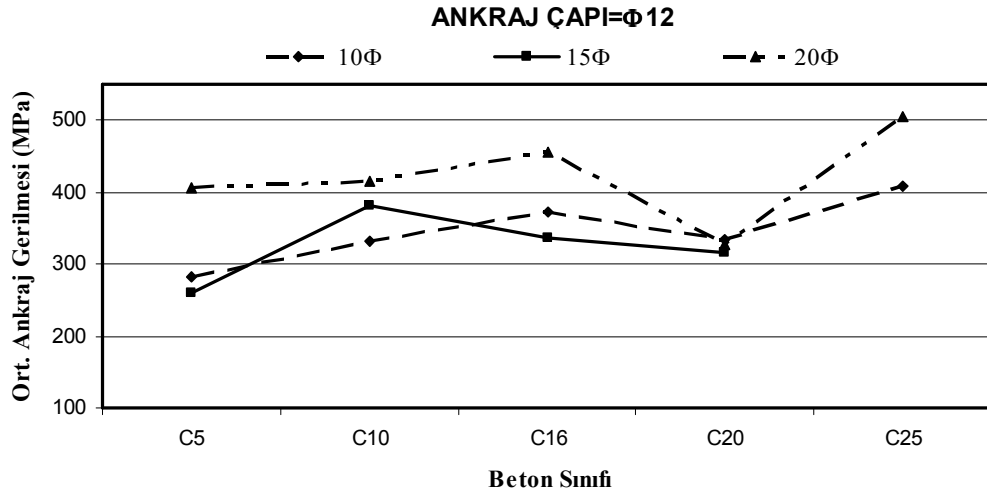
Şekil 4.13. 20Φ derinlikte beton sınıfı-ortalama ankraj gerilmesi

Dayanım değerleri beton sınıfı dikkate alınarak değerlendirildiğinde 10Φ derinlikte ekilen ankrajların ortalama dayanımı 290 MPa, 15Φ derinlikteki ankrajların 277 MPa ve 20Φ derinlikteki ankrajların ise 321 MPa olduğu belirlenmiştir. 10Φ derinlikteki ankrajlar baz alındığında 15Φ derinlikteki ankrajlarda ortalama olarak dayanımda %7 azalma olduğu, ancak 20Φ derinlikteki ankrajlarda dayanım artışının %11 mertebelerinde olduğu görülmektedir. Kesme dayanımı bakımından

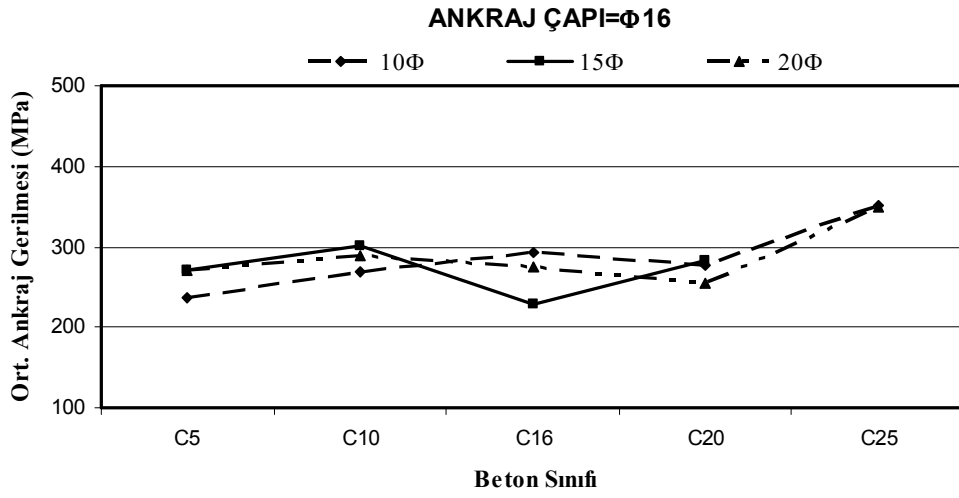
değerlendirildiğinde  $10\Phi$  ve daha derine ekilmiş ankrajlarda derinlik artışı ile dayanımda anlamlı bir artış bulunmadığı görülmektedir. Bu sebeple,  $10\Phi$  ankraj derinliğinin serbest kenara uzak ankrajlarda yeterli olduğu değerlendirilmektedir.

#### 4.3.2. Ankraj Çapı – Beton Sınıfı

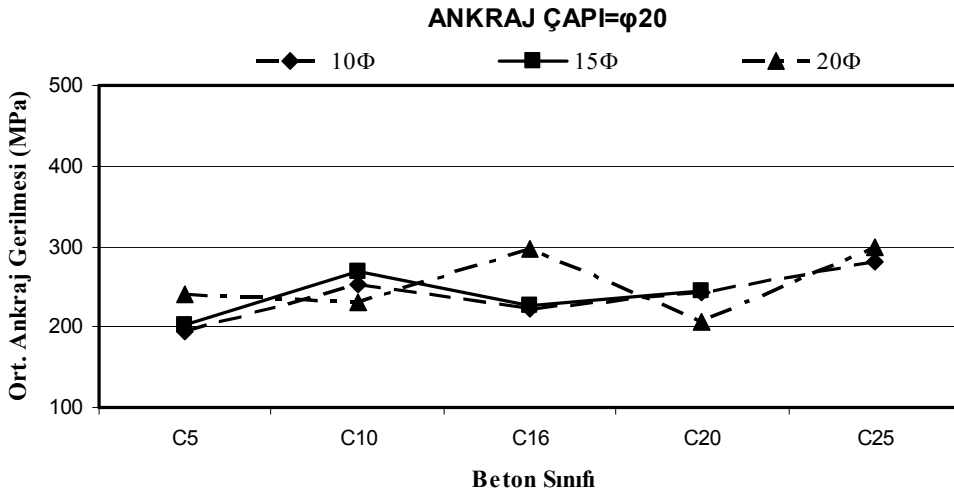
Şekil 4.14 -16’da deney sonuçları ankraj çapına göre gruplanarak verilmiştir. Bu şekilde yapılan değerlendirmede; ankraj donatısını 12 mm çapa sahip olduğu C5, C10, C16, C20 ve C25 deney elemanlarında ortalama ankraj gerilmeleri sırasıyla 316, 376, 388, 326, 456 MPa olarak belirlenmiştir (Şekil 4.14). Donatı çapının 16 mm olması durumunda ise bu değerler sırası ile 260, 286, 266, 271 ve 350 MPa düzeylerine düşmüştür (Şekil 4.15). Donatı çapı 20 mm olduğunda ise ortalama ankraj gerilmeleri C5, C10, C16, C20 ve C25 temellerinde sırası ile 213, 250, 249, 231 ve 291 MPa olarak bulunmuştur (Şekil 4.16).



Şekil 4.14.  $\Phi 12$  çapta beton sınıfı-ortalama ankraj gerilmesi



Şekil 4.15. Φ16 çapta beton sınıfı-ortalama ankraj gerilmesi



Şekil 4.16. Φ20 çapta beton sınıfı-ortalama ankraj gerilmesi

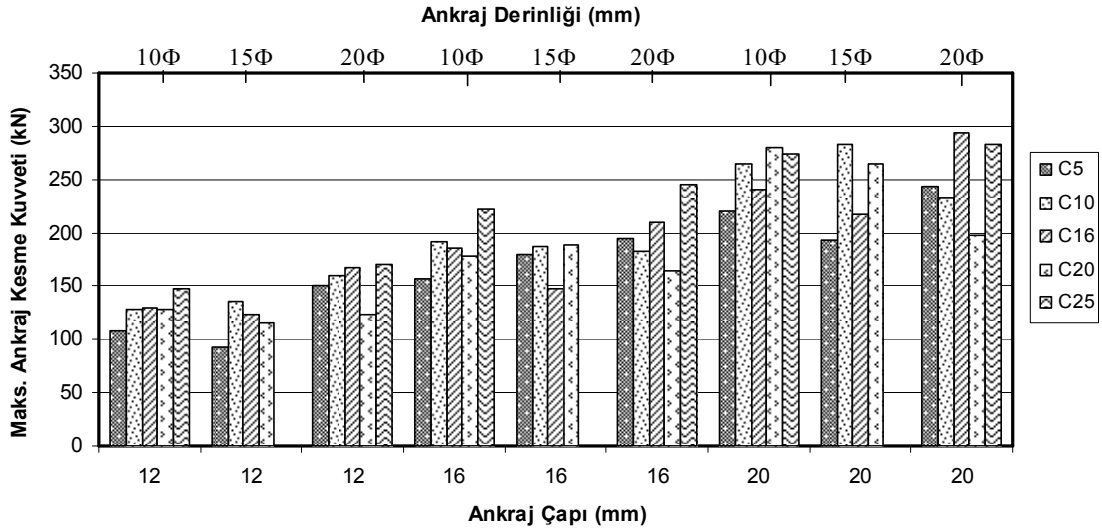
Beton dayanımına bağlı değişimler oldukça sınırlı ve çok da anlamlı değilken, donatı çapının artması ile ankrajların taşıdığı nihai gerilme değerlerinin tüm beton sınıflarında azaldığı görülmektedir.

Dayanım değerleri donatı çapı dikkate alınarak değerlendirildiğinde ise ortalama kayma dayanımı Φ12, Φ16 ve Φ20 çaplı donatılarda 367 MPa, 282 MPa ve 244 MPa

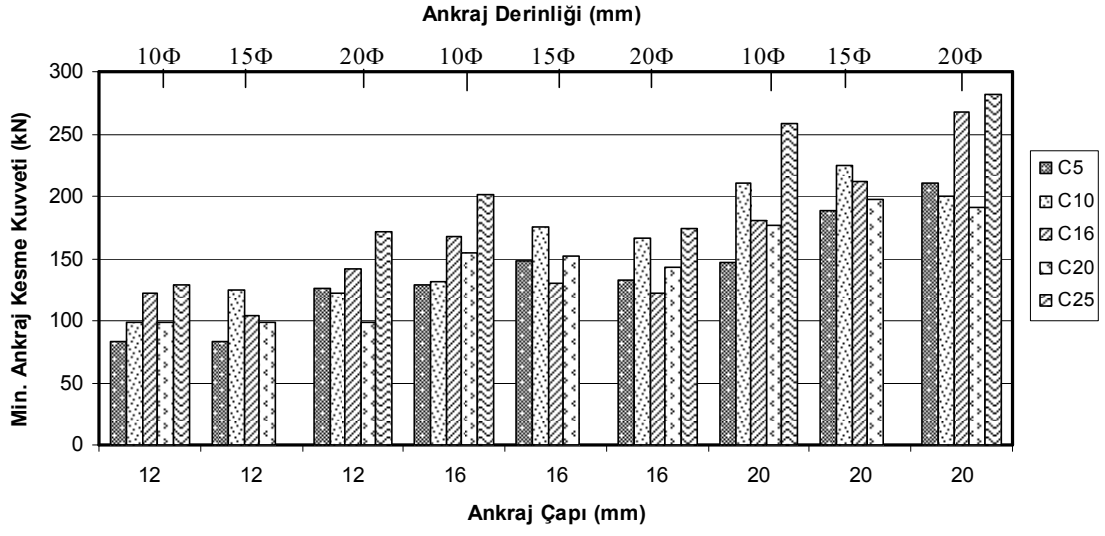


olarak bulunmuştur. Görüldüğü gibi donatı alanının artması ile kesme kuvvetinde bir artış olsa bile büyük çaplı donatılarda kayma dayanımı daha düşük seviyelerde olmaktadır. Bu durum betona ankrajla aktarılacak kuvvetlerin yayılı olarak dağıtılması yerine noktasal olarak toplanmasının bir sonucudur.  $\Phi 20$  baz alındığında  $\Phi 16$  ve  $\Phi 12$  donatılardaki dayanım artışı %16 ve %50 mertebelerindedir. Bu değerler azımsanmayacak boyutlardadır. Ayrıca,  $\Phi 20$  ankrajların dayanımlarının derinlik değişimi ile ciddi bir farklılık oluşmadığı, ancak  $\Phi 12$  ankrajların derinliklerinin artırılması durumunda kesme dayanımlarının da arttığı grafiklerde görülmektedir.

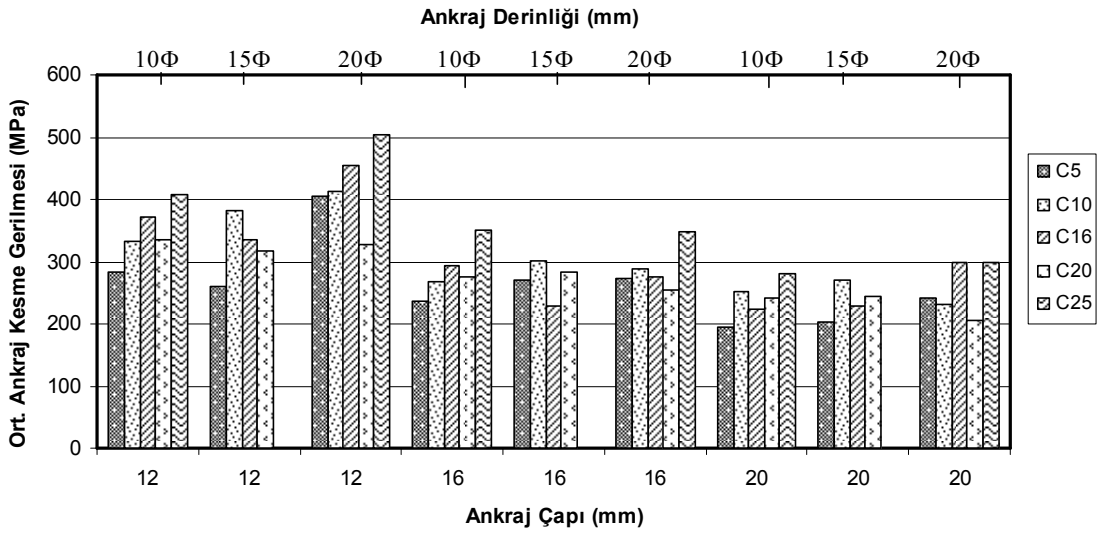
S420a betonarme çeliklerinden oluşan 42 adet deney sonucunun maksimum ankraj kesme kuvveti değerleri Şekil 4.17’de, minimum değerleri Şekil 4.18’de ve ortalama ankraj gerilmeleri Şekil 4.19’da verilmiştir. Bu grafiklerde de beton dayanımı ve derinlik etkisinin sınırlı düzeyde olduğu ancak, donatı çapındaki azalmanın dayanımı ciddi miktarda iyileştirdiği görülebilmektedir.



Şekil 4.17. Deney serisinin maksimum ankraj kesme kuvveti değerleri



Şekil 4.18. Deney serisinin minimum ankraj kesme kuvveti değerleri



Şekil 4.19. Deney serisinin ortalama ankraj gerilimesi değerleri

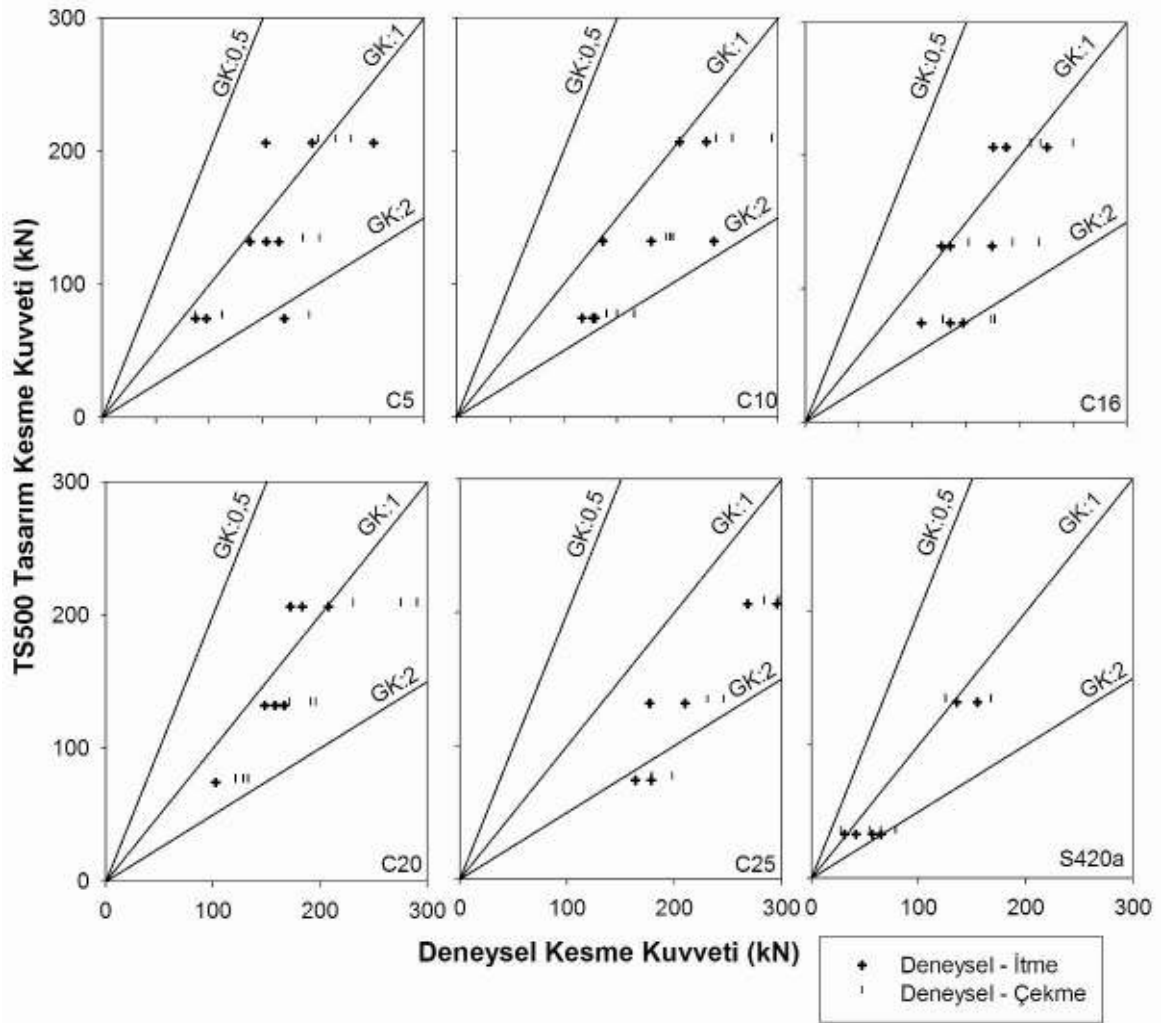
#### 4.4. Deney Sonuçları ve Beklenen Ankraj Kapasiteleri

Elde edilen deney sonuçları TS500 sürtünme kesmesi formülü (Şekil 4.20) ve ACI318 ek-D’de (Şekil 4.21) verilen yöntemlerle bulunan ve 3. bölümde verilen ankraj tasarım kapasiteleri ile karşılaştırılmıştır. Grafikler üzerinde güvenlik katsayısının 0.5, 1 ve 2 olduğu durumları gösteren doğrular da çizilmiştir. Her deneyde elde edilen itme ve çekme yönündeki kapasiteler ayrı ayrı gösterilmiştir. Grafiklerde dayanımların 3 yatay sıra oluşturduğu görülmektedir. Bu durum aynı çapa sahip donatıların dayanımlarının aynı olmasından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla grafikteki noktalar aşağıdan yukarıya doğru 12, 16 ve 20 mm çapa sahip ankraj elemanlarını temsil etmektedir.

Şekil 4.20’de TS500 için verilen karşılaştırmada görüleceği gibi 12 mm çaplı S420a donatılarla ekilen tüm ankrajların güvenlik katsayısı 1’den büyüktür. Bu çapta C25 beton için güvenlik katsayısı tüm deneylerde 2’den büyüktür. Ankraj çapının 16 mm olduğu sadece 1 deneyde TS500 dayanımının altında kapasite bulunmuştur. Ankraj donatı çapı 20 mm’ye yükseldiğinde ise, pek çok durumda güvenlik katsayısının 1’in altına düştüğü, yani TS500 tasarım dayanımına ulaşmadan ankrajın kesme kapasitesine ulaşıldığı gözlenmektedir.

Diğer taraftan, S420b çelik çubuklarla yapılan deneylerden 8mm çapa sahip çubukların 1’den daha düşük güvenlik katsayı değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Yükleme bloğuna etkiyen kesme yükleri dolayısıyla ankraj ve yükleme bloklarının arayüzeyinde eğilme momentleri oluşmaktadır. Bu moment dolayısıyla ankraj çubuklarında bir miktar çekme kuvvetleri ortaya çıkmaktadır. Bu çekme kuvvetleri özellikle çok küçük çapa sahip olan 8 mm çapındaki donatılarda eksenel yük kapasitesinin önemli bir yüzdesine ulaşabilmektedir. Bu sebeple 8 mm çaplı donatılarda ortaya çıkan kesme-eksenel kuvvet etkileşimi dolayısıyla kesme dayanımlarında bir azalma görülmektedir. Bu çubukların gevrek olması da dayanımı düşüren bir başka faktördür. Benzer şekilde donatıların gevrek olması dolayısıyla 16 mm çapındaki S420b ankrajların ortalama güvenlik katsayısı S420a çubuklara göre %20 daha düşüktür.

TS500'e göre deney sonuçlarını karşılaştırdığımızda itme ve çekme yönleri birlikte değerlendirildiğinde C5 temeli için ortalama güvenlik katsayısı 1.3, C10, C16, C20 ve C25 temelleri için de sırasıyla 1.5, 1.4, 1.3 ve 1.8 olarak bulunmuştur. Tüm deneylerin ortalaması dikkate alındığında 12, 16 ve 20 mm çaplı donatılar için TS500 sürtünme kesmesi formülü ile bulunan dayanım değerlerinin güvenlik katsayısı sırası ile 1.7, 1.3 ve 1.1 olarak belirlenmiştir.

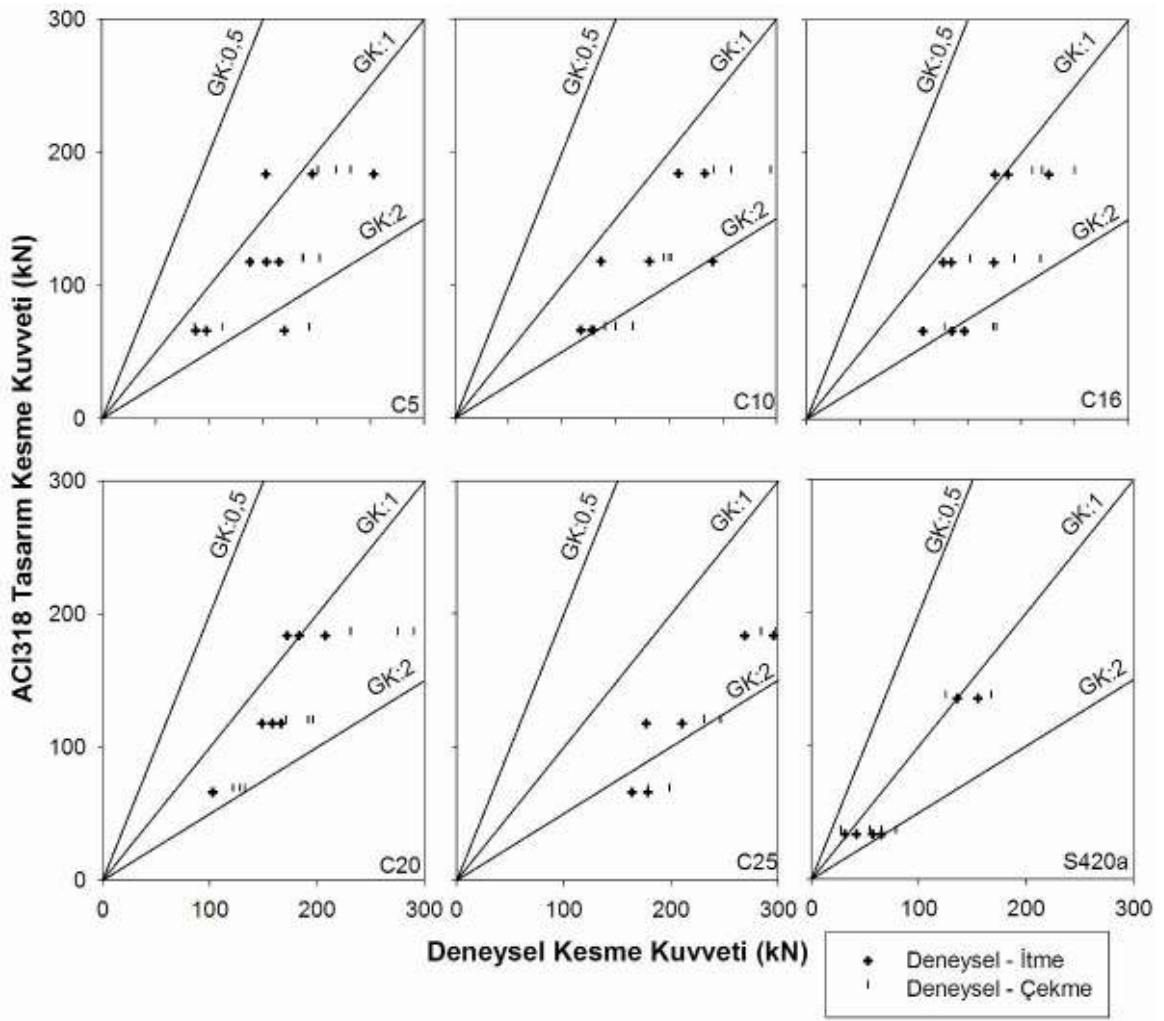


Şekil 4.20. Deneyel kesme kuvveti – TS500 tasarım kesme kuvveti

ACI318 tasarım dayanımları ile deney sonuçlarının karşılaştırması Şekil 4.21'de gösterilmiştir. Arada küçük bir fark da olsa ACI318 formüllerinin TS500 sürtünme kesmesi dayanımına göre %15 daha büyük güvenlik katsayısına sahip değerler

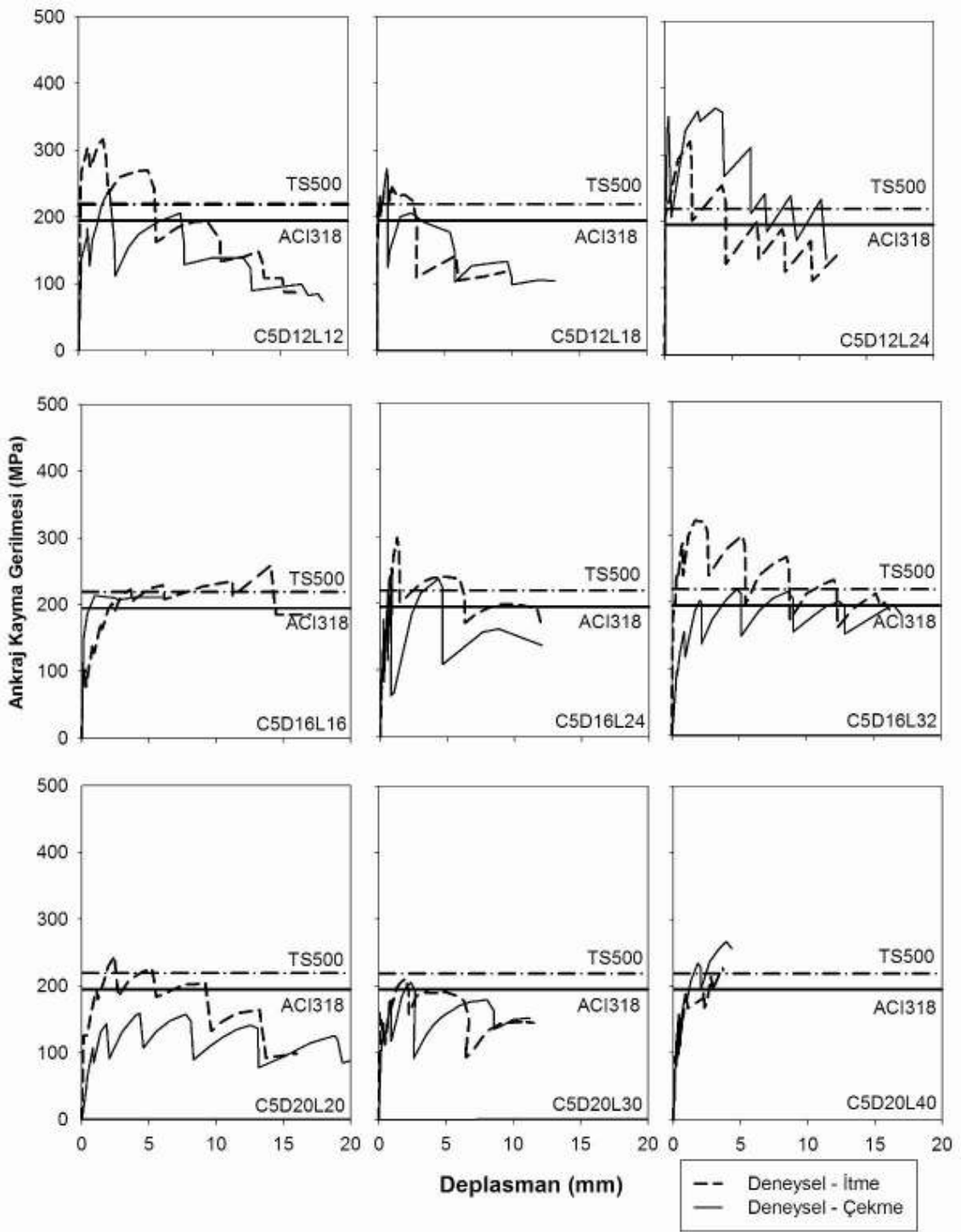
vermektedir. Ancak donatı çapının büyümesi durumunda güvenlik katsayılarının azaldığı görülmektedir.

ACI318'e göre deney sonuçlarını karşılaştırdığımızda itme ve çekme yönleri birlikte değerlendirildiğinde C5 temeli için ortalama güvenlik katsayısı 1.5, C10, C16, C20 ve C25 temelleri için de sırasıyla 1.7, 1.6, 1.5 ve 2.0 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.21. Deneyel kesme kuvveti – ACI318 tasarım kesme kuvveti

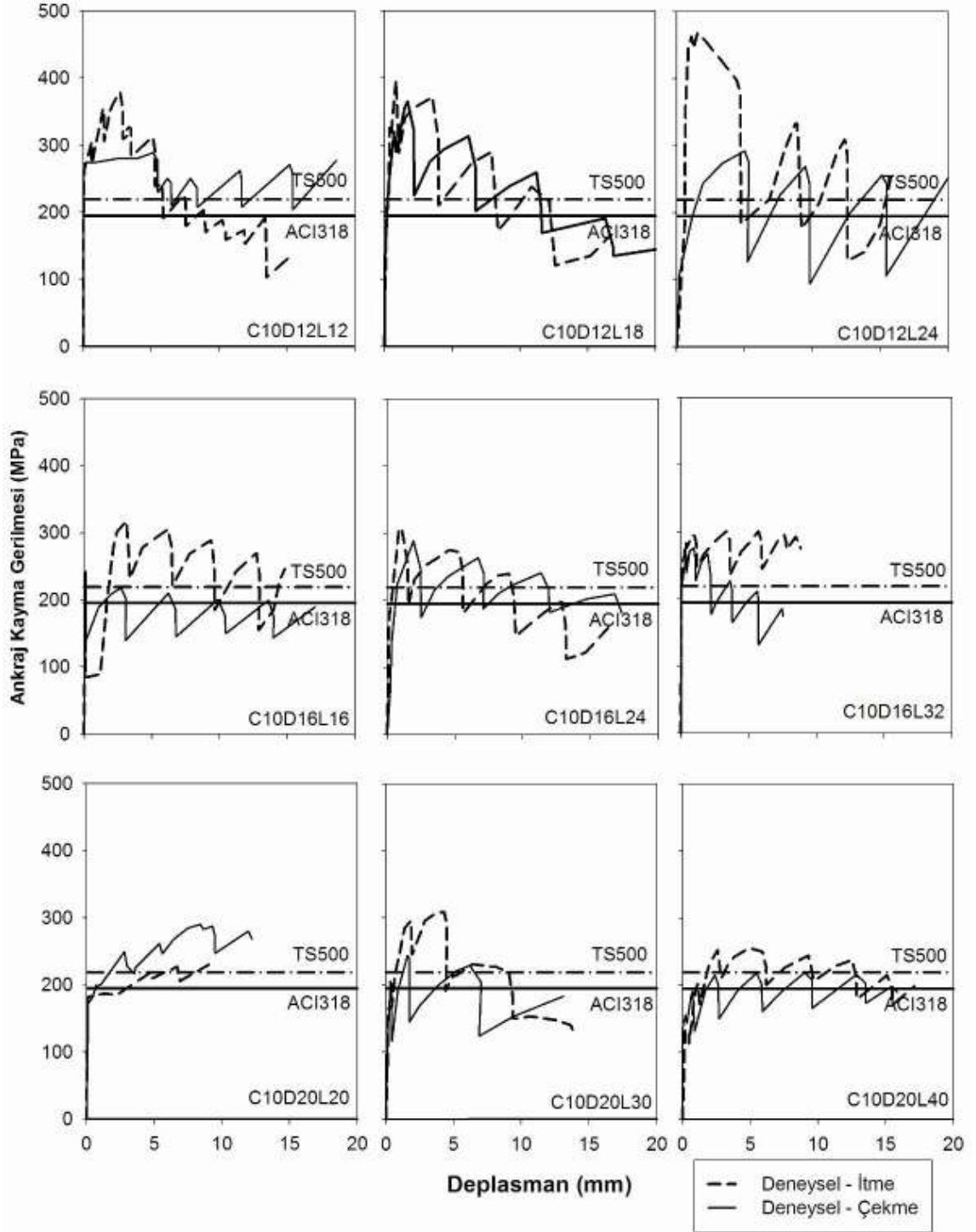
Şekil 4.22 - 27'de tüm deneylerin itme ve çekme yönü zarf eğrileri ile TS500 ve ACI318 dayanım değerlerini gösteren limit gerilme değerleri bir arada görülmektedir.



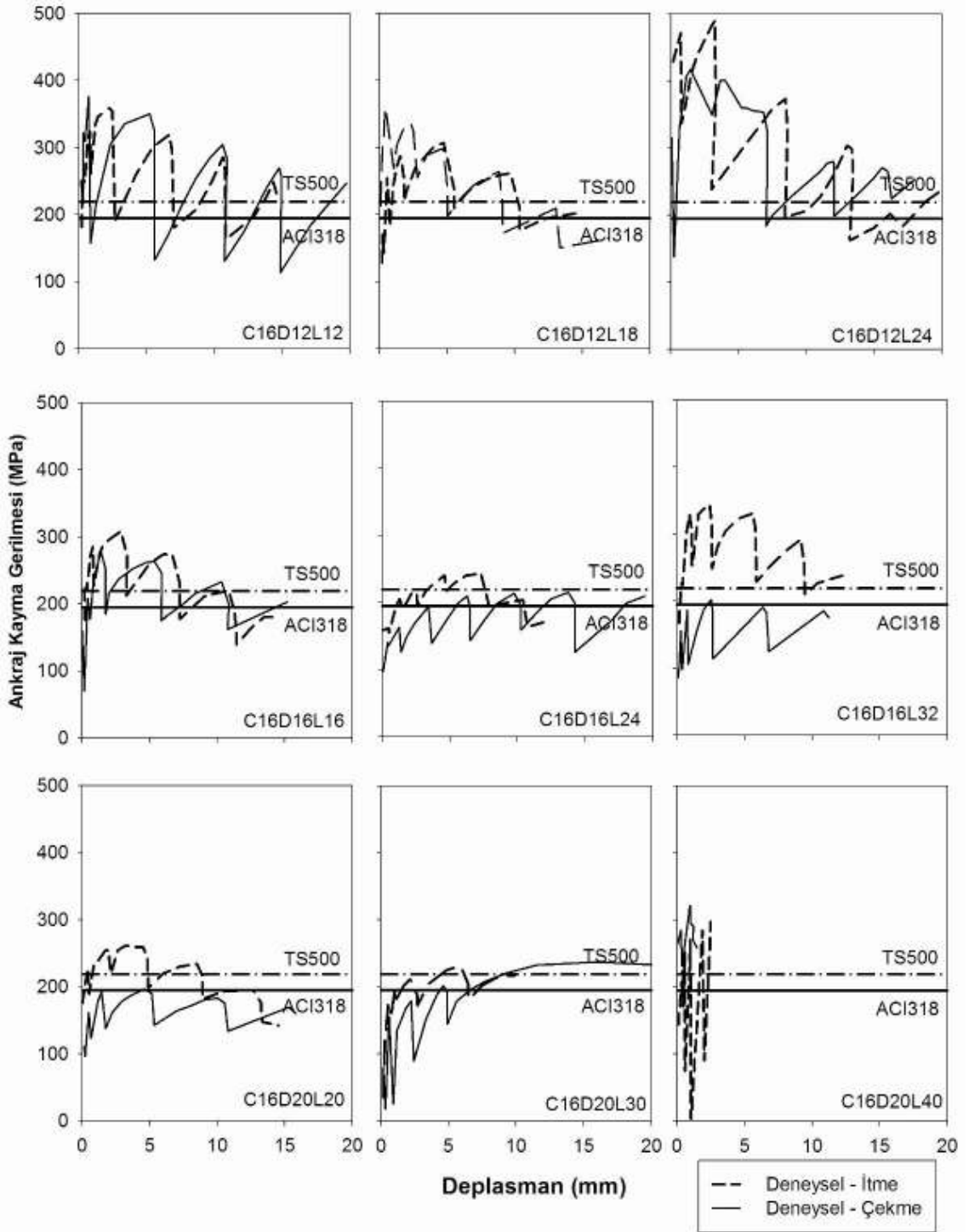
Şekil 4.22. C5 temeline ait deney sonuçları ve beklenen kapasiteler

Bu sonuçlara göre ankraj kapasitesine, arayüzeydeki kayma deplasmanı 0-5 mm aralığında iken ulaşılmaktadır. Bu deplasman değeri sonrasında ise ankrajlar dayanım

kaybederek çevrimsel davranış göstermektedir. Az sayıdaki ankrajda pekleşme de görülmektedir.



Şekil 4.23. C10 temeline ait deney sonuçları ve beklenen kapasiteler

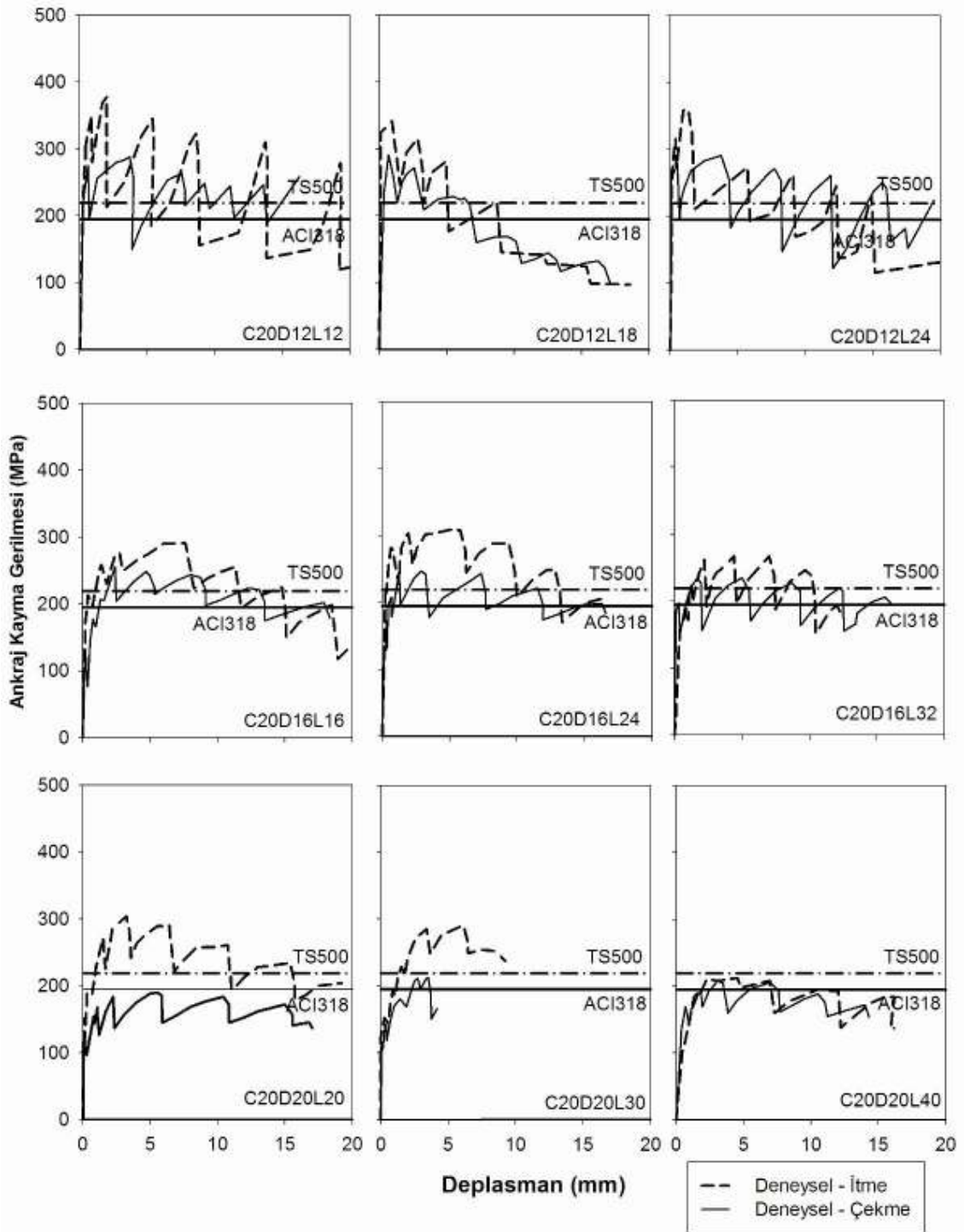


Şekil 4.24. C16 temeline ait deney sonuçları ve beklenen kapasiteler

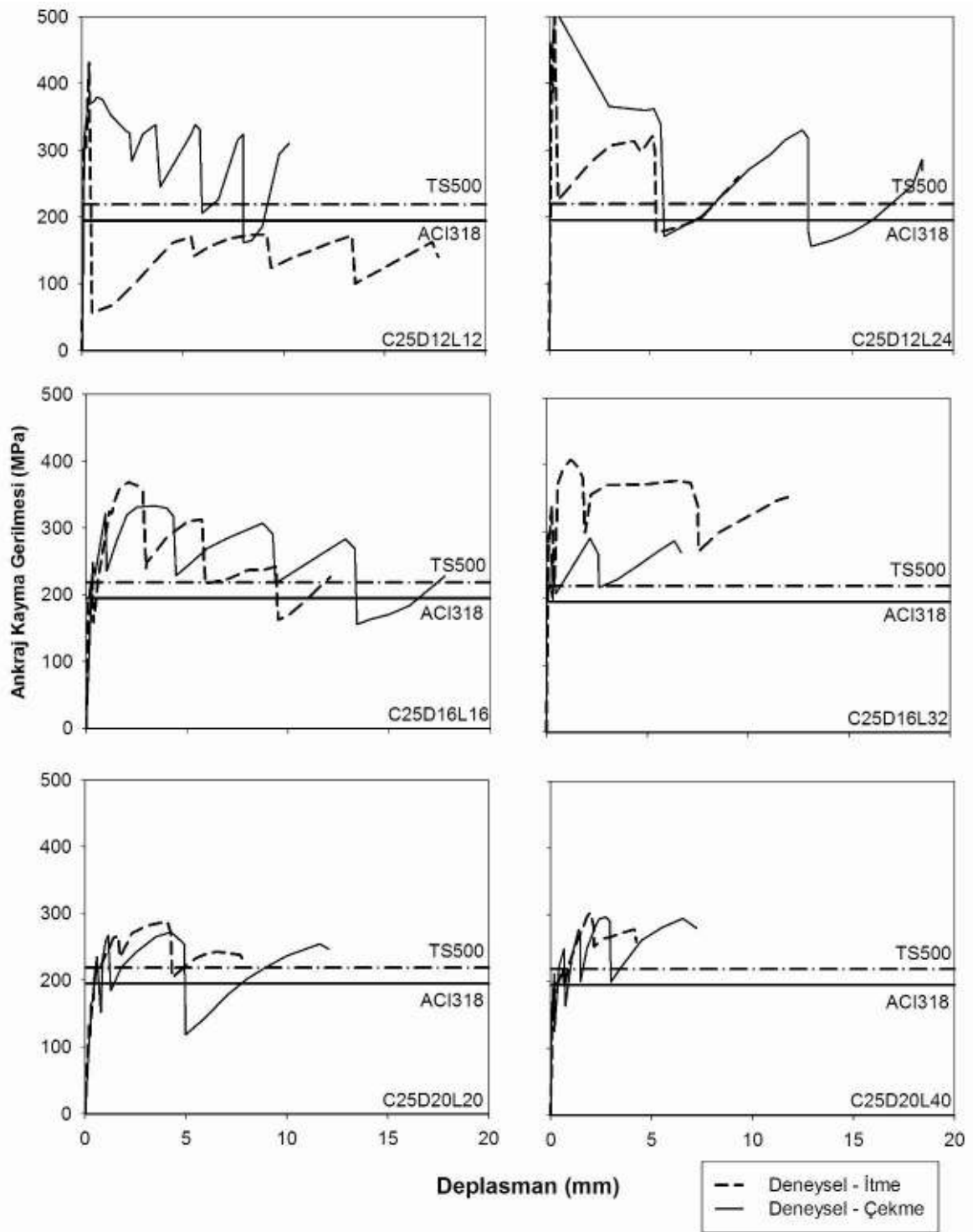
Ankraj çapı düşük elemanlarda dayanım kaybının daha hızlı gerçekleştiği ancak 20 mm çaplı ankrajlarda ise dayanım kaybı daha yavaş olmaktadır. Ancak, 12 ve 16



mm çaplı ankrajların dayanımının 20 mm çaplı donatılara göre daha yüksek olması dolayısıyla daha hızlı dayanım düşüşüne rağmen genel olarak 12 mm çaplı donatılar 10 mm kayma deplasmanına kadar ACI318 limitinin altına inmemektedirler.

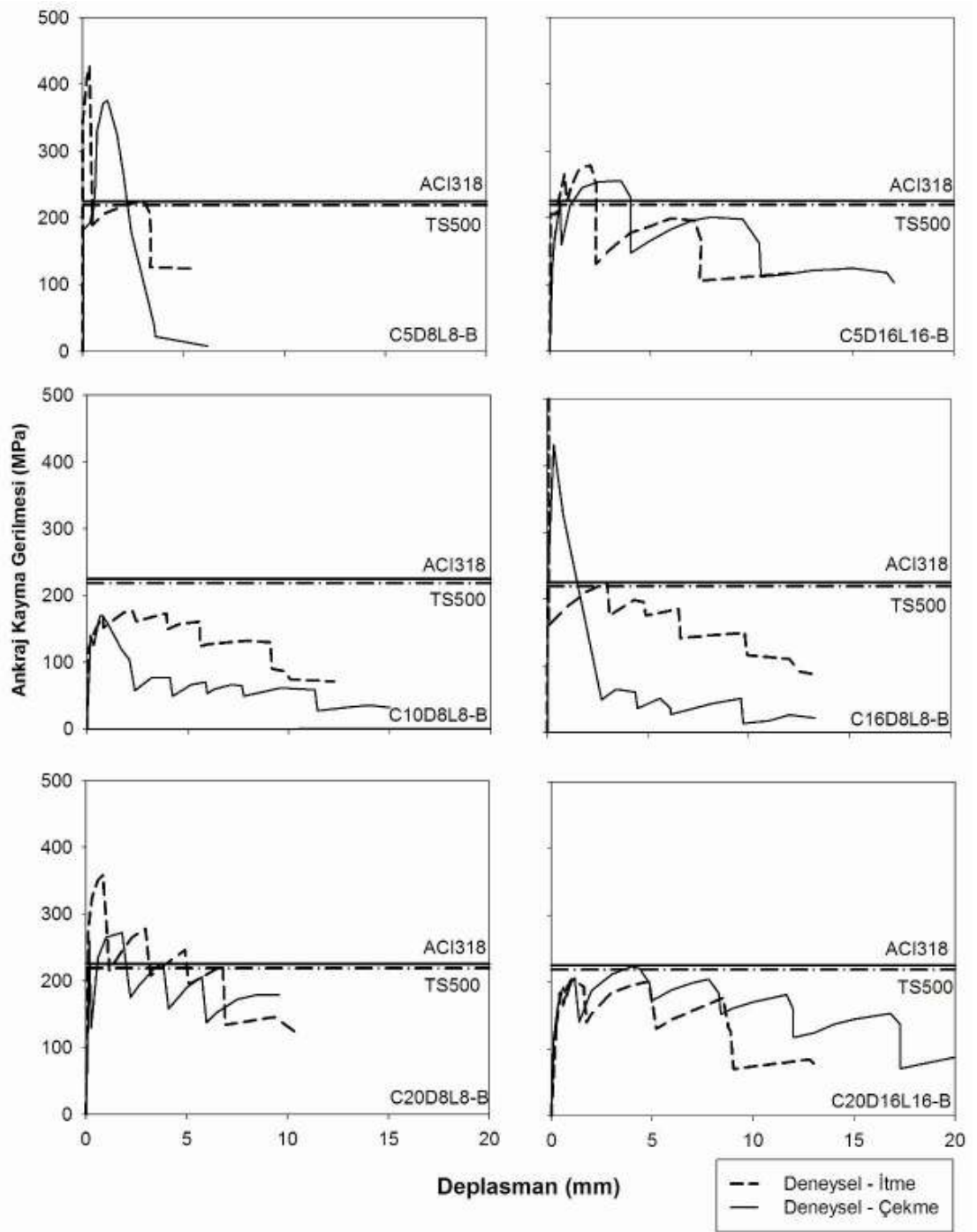


Şekil 4.25. C20 temeline ait deney sonuçları ve beklenen kapasiteler



Şekil 4.26. C25 temeline ait deney sonuçları ve beklenen kapasiteler

S420a donatılara benzer şekilde S420b donatılarda da 8 mm çaplı ankrajlarda 16 mm çaplı olanlara göre daha hızlı bir dayanım kaybı yaşandığı Şekil 4.27’de görülmektedir.



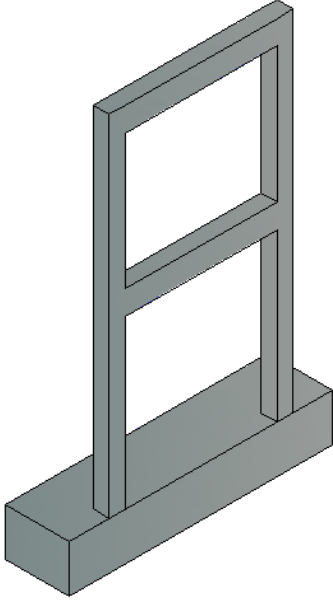
Şekil 4.27. S420b çubuklara ait deney sonuçları ve beklenen kapasiteler

## BÖLÜM 5

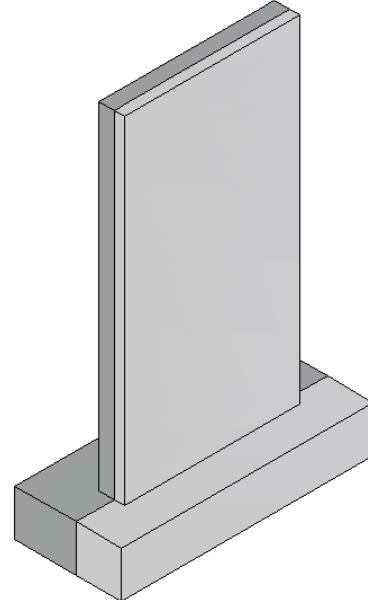
### DIŞ-PERDELİ ÇERÇEVE DENEYLERİ

#### 5.1. Genel Bilgiler

Eleman bazında tamamlanan ankraj deneyleri sonunda küçük çaplı ankraj elemanlarında TS500 formülünün belli bir güvenlik katsayısı sağlayabileceği görülmüştür. Bu şekilde belirlenen ankraj kesme kuvvetleri kullanılarak 16 adet düzlem çerçeve elemanı dış-perdelerle güçlendirilmiş ve iki boyutlu dış perde ile güçlendirilmiş çerçeve deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerde iki katlı, tek açıklıklı, C1, C2 ve C3 şeklinde isimlendirilen üç farklı beton sınıfında çerçeve dış perde ile güçlendirilerek tekrarlı-tersinir yükler altında test edilmiştir. Deneylerde, kolon ve kirişlerle dış-perde bağlantısındaki ankraj oranları deney serisinin değişken parametresidir. Şekil 5.1-2’de güçlendirilmemiş çerçeve ve dış perde ile güçlendirilmiş çerçeve gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Güçlendirilmemiş çerçeve



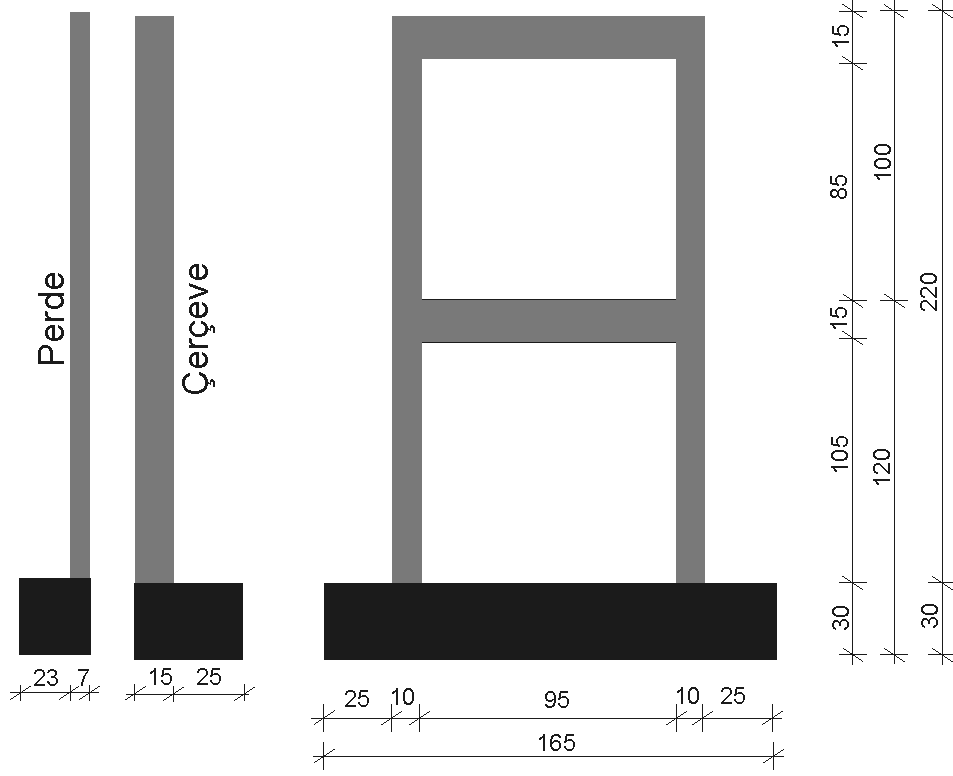
Şekil 5.2 Dış perde ile güçlendirilmiş çerçeve

## 5.2. Deney Serisi

Geometrik özellikleri Şekil 5.3'te verilen, 16 adet 2 katlı, tek açıklıklı betonarme düzlem çerçeveye kolon ve kirişlerine ekilen kimyasal ankrajlar ile dış perde bağlantısı sağlanmıştır. Bu şekilde güçlendirilen elemanların tekrarlı tersinir yükler altında deneyleri yapılmıştır. Bu deney elemanlarında, çerçeve beton sınıfı ve kolon-kiriş ankraj oranları değişken tutulmuştur. Türkiye'deki mevcut durumu temsil edebilmesi açısından çerçeve elemanları düşük dayanımlı betondan üretilmiştir. Numuneler, çerçevenin beton dayanımı ve kolon-kiriş ankraj oranlarına göre isimlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan beton elemanlar dayanımlarına göre C1, C2 ve C3 olarak isimlendirilmiştir. Deneyler için 1 adet C1, 5 adet C2 ve 10 adet C3 çerçeve üretilmiştir. Yapı dışından güçlendirmeyi temsil edecek şekilde çerçeveler C30 beton sınıfına sahip perde duvarlarla güçlendirilmiştir.

Çerçeve elemanlarının kiriş, kolon ve kalıp planları Şekil 5.4 - 5'te verilmiştir. Deney elemanında kiriş kolon birleşimleri bina dış cephelerindeki kaçık bağlantıyı yansıtacak şekilde yapılmıştır. Bu şekilde dış perdeler çerçevenin bir yüzüne bağlanabilmiştir.

Çerçeve elemanlarının üretiminde uygulamadaki aksaklıklar yansıtılmıştır. Donatı kenetlenme ve bindirme boyları  $40\Phi$  olarak kullanılmış, etriyeler eleman uç bölgelerinde sıklaştırılmamıştır. Boyuna donatılar S220, etriyeler S500 betonarme çeliğinden imal edilmiştir.

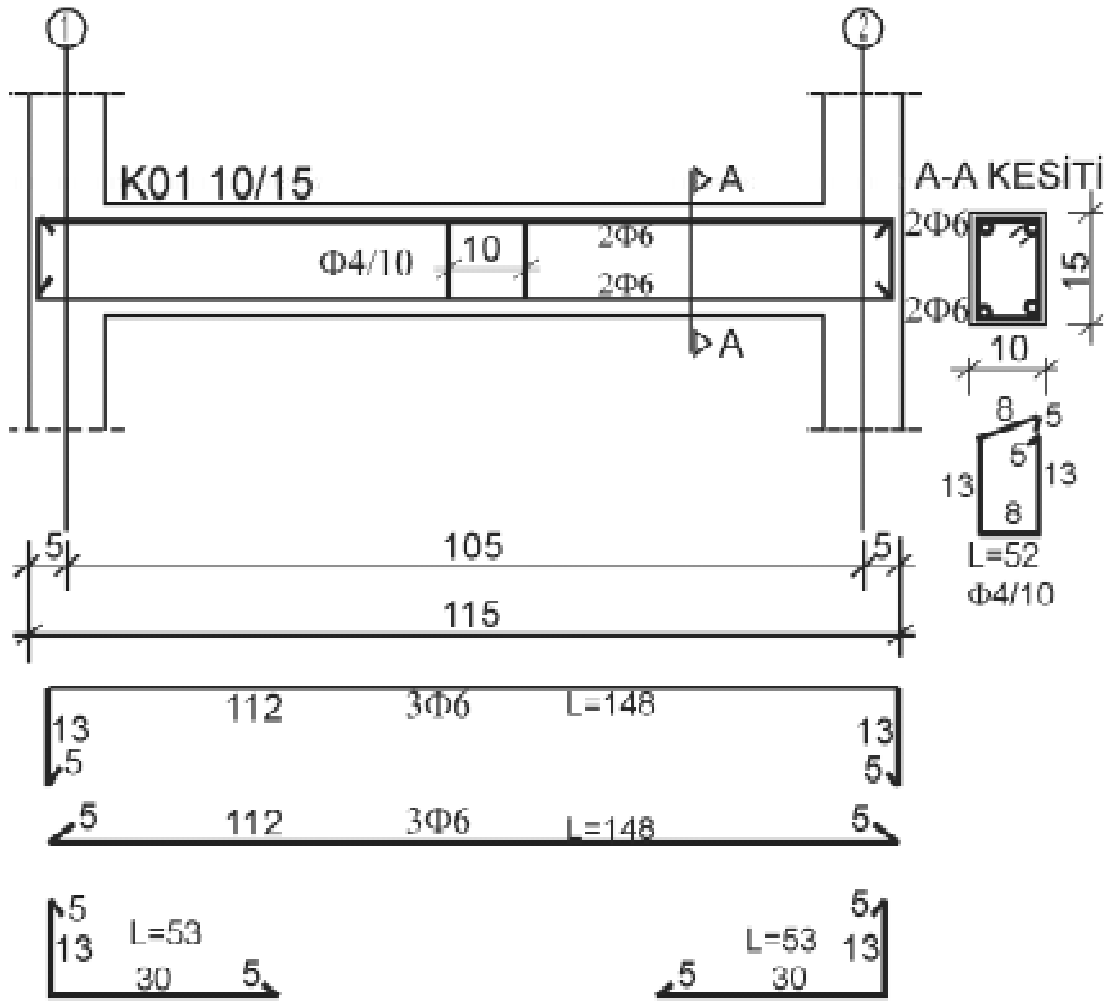


Şekil 5.3 2B çerçeve ölçüleri

Dış perde elemanlarının detayları da Şekil 5.6'da verilmiştir. Dış perde elamanlar yükseklik/boy oranı 2'den küçük olduğu için perdelerde başlık bölgesi oluşturulmamıştır.

Dış perde ile çerçeveler arasındaki bağlantıyı sağlayacak ankraj miktarının hesabı için kapasite tasarımı prensiplerinden faydalanılmıştır. Öncelikle, sadece dış perde duvarın moment kapasitesi hesaplanmıştır. Kat kesme kuvvetlerinin 1. ve 2. kat seviyelerinde sırasıyla 1 birim ve 2 birim (üçgen dağılım) olacağı kabul edilerek, her katta perde eğilme kapasitesiyle uyumlu kat kesme kuvvetleri hesaplanmıştır. Bu kesme kuvvetlerini karşılayabilecek kadar bir ankrajın kiriş yüzeylerine yapılması gereklidir. Ancak perdenin ötelenmesi durumunda bu kesme kuvvetleri altında kirişe ekilen ankrajlar sadece yatay kesme kuvvetine maruz kalmayacaktır. Perdede oluşan eğilme etkileri ve düzlem kesitler düzlem kalır prensibince kiriş ankrajları düşey yönde ek bir kesme kuvvetine de maruz kalacaklardır. Bu durumun engellenebilmesi için

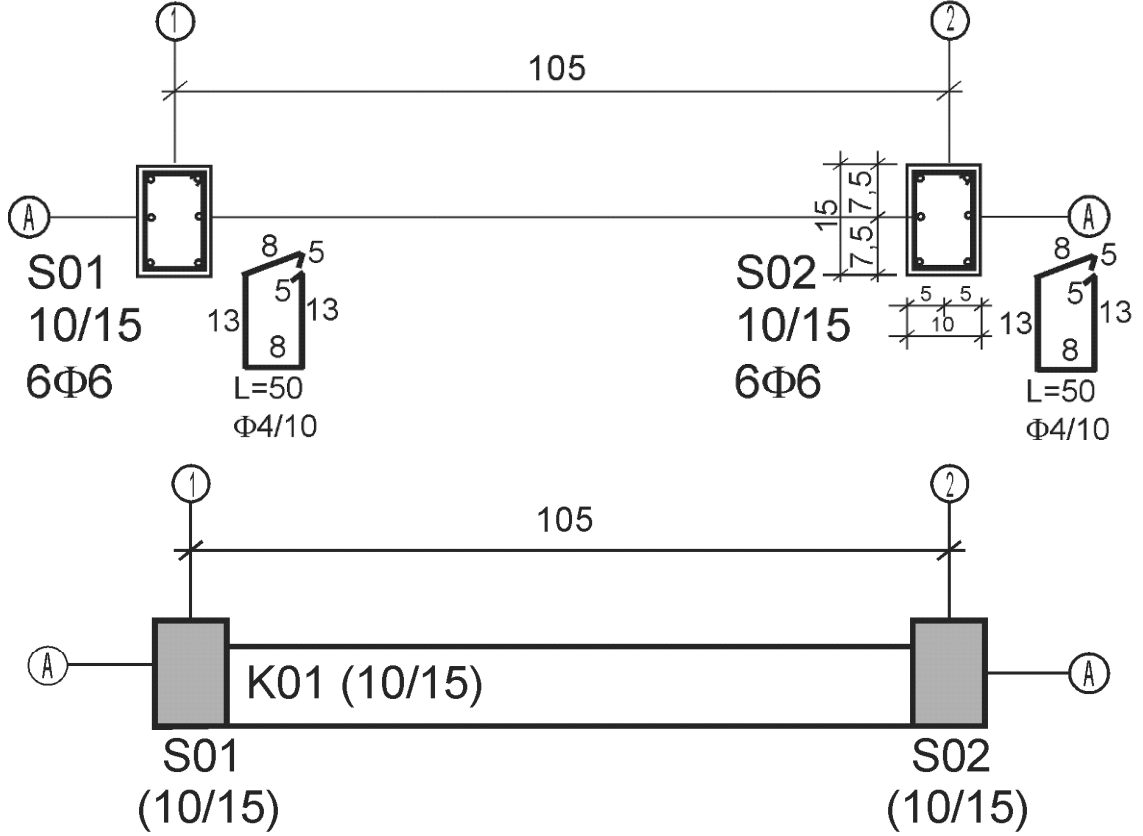
kolon yüzeylerine de ankrajların ekilmesi gereklidir. Dış perdenin iki ucundaki kolonlara ekilen bu ankrajlarda oluşan düşey yönlü kesme kuvvetleri ile oluşan kuvvet çifti de perde moment kapasitesinden fazla olmalıdır.



Şekil 5.4. Çerçevedeki kiriş kesit özellikleri

Dış-perde tabanında moment kapasitesini sağlayacak kadar kolon ankrajı ve bu moment kapasitesi için perdeye her katta aktarılması gerekli olan kesme kuvvetini aktarabilecek kadar kiriş ankrajı gerekli ankraj miktarı olarak değerlendirilmiştir. Deney elemanlarında gerekli ankraj miktarı değiştirilerek farklı ankraj tasarımına sahip elemanlar üretilmiştir. Gereken kolon/kiriş ankraj miktarı A ile isimlendirilmiş olup, B, C, D,... miktarındaki ankrajlar gerekli ankrajdan daha az miktarda ankraj ekilmiş

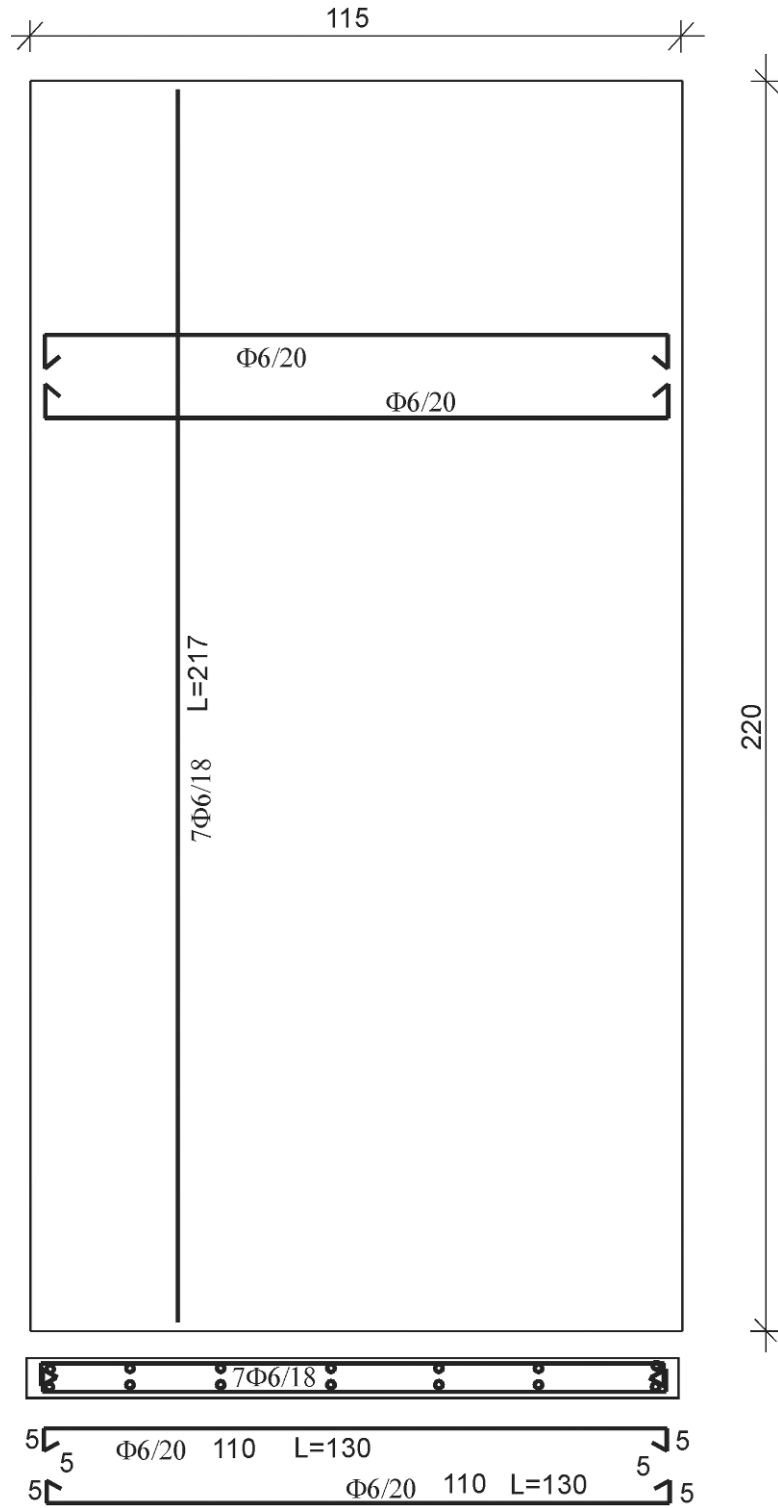
numuneleri ifade etmektedir. Deney elemanlarının bazılarındaki +, simgesi son kat kirişinde gerekli ankraj miktarından %30 daha fazla ankraj kullanılması durumunu ifade etmek için kullanılmıştır.



Şekil 5.5. Çerçeveselerin kolon kalıp ve donatı detayı

İki katlı tek açıklıklı üretilen 16 adet çerçevenin perdelerle bağlantısını sağlayan, kolon ve kirişlere ekilmiş ankraj oranları C1 ve C2 betonuna sahip çerçeveler için Çizelge 5.1’de, C3 betonuna sahip çerçeveler için ise Çizelge 5.2’de verilmiştir. Deney elemanlarının isimlendirmesi beton sınıfına ve kolon-kiriş ankraj oranlarına göre yapılmıştır. C1XY olarak isimlendirilen bir numune C1 betona sahip çerçeveye, dış perdenin kolonlara X, kirişlere Y ile temsil edilen oranda ankrajla bağlandığı belirtilmektedir.





Şekil 5.6. Güçlendirme perdesi donatı detayı

Çizelge 5.1. C1 ve C2 çerçevelerinde kullanılan ankraj alanının gerekli ankraj alanına oranı

Numune Adı	Kolon Ankraj Oranı		Kiriş Ankraj Oranı	
	1. Kat	2. Kat	1. Kat	2. Kat
C1DE	38.0%	41.7%	28.7%	24.1%
C2ED	26.4%	27.4%	32.2%	36.8%
C2AA	102.5%	99.7%	102.3%	100.6%
C2BA	70.2%	74.3%	93.1%	108.6%
C2BB	69.0%	74.3%	73.6%	75.3%
C2DA+	36.8%	32.6%	105.7%	126.4%

Çizelge 5.2. C3 çerçevelerinde kullanılan ankraj alanının gerekli ankraj alanına oranı

Numune Adı	Kolon Ankraj Oranı		Kiriş Ankraj Oranı	
	1. Kat	2. Kat	1. Kat	2. Kat
C3HD	0.0%	0.0%	32.2%	36.8%
C3DH	38.0%	41.7%	0.0%	0.0%
C3DG	38.0%	41.7%	16.1%	14.4%
C3DD	38.0%	41.7%	32.2%	36.8%
C3EE	26.4%	27.4%	28.7%	24.1%
C3AA	102.5%	90.6%	102.3%	99.4%
C3BB	79.3%	69.1%	77.0%	73.6%
C3BA	69.0%	69.1%	102.3%	99.4%
C3BB+	70.2%	74.3%	73.6%	126.4%
C3DA+	33.5%	34.5%	105.7%	126.4%

### 5.3. Numunelerin Üretimi

Üç farklı beton dayanımında (C1-C2-C3), 16 adet 2 boyutlu çerçeve üretilmiş ve C30 sınıfı beton ile üretilen perde duvarlarla çerçevenin kolon ve kirişlerinden ankrajlanmıştır. Şekil 5.7’de donatıları yerleştirilmiş örnek çerçeve kalıbı, Şekil 5.8’de ise beton döküm işi tamamlanmış çerçeve görüntüleri verilmiştir. Çerçeve elemanlardan ayrı olarak üretilen perdelerin kalıp ve beton dökümü görüntüleri de Şekil 5.9 ve Şekil 5.10’da verilmiştir.



Şekil 5.7. Çerçeve kalıbı

Güçlendirme perdeleri çerçevelerin kiriş, kolon ve temellerinden ankrajlanarak çerçeveye bağlanmıştır (Şekil 5.11). Çerçeve üzerindeki ankraj delikleri;  $\Phi 6$  donatı için 10 mm,  $\Phi 8$  donatı için 12 mm,  $\Phi 10$  donatı için 14 mm olarak açılmıştır. Açılan delikler basınçlı hava kullanılarak kuru-yağsız kompresör ile temizlenmiştir. Açılan deliklere kimyasal yapıştırıcı (epoksi) doldurularak ankraj çubukları usulüne uygun bir şekilde ekilmiştir. Ankraj ekimi düşey deliklere gerçekleştirilmiştir. Böylece ideal bir

ankraj ekimi gerçekleştirilebilmiştir. Ankraj ekimi sonrası, ekilen ankrajların hareket etmemesi için gerekli önlemler alınmıştır.



şekil 5.8. revelerin beton dökümünden görüntü



şekil 5.9. Perde kalıbı



Şekil 5.10. Perdelerin beton dökümü



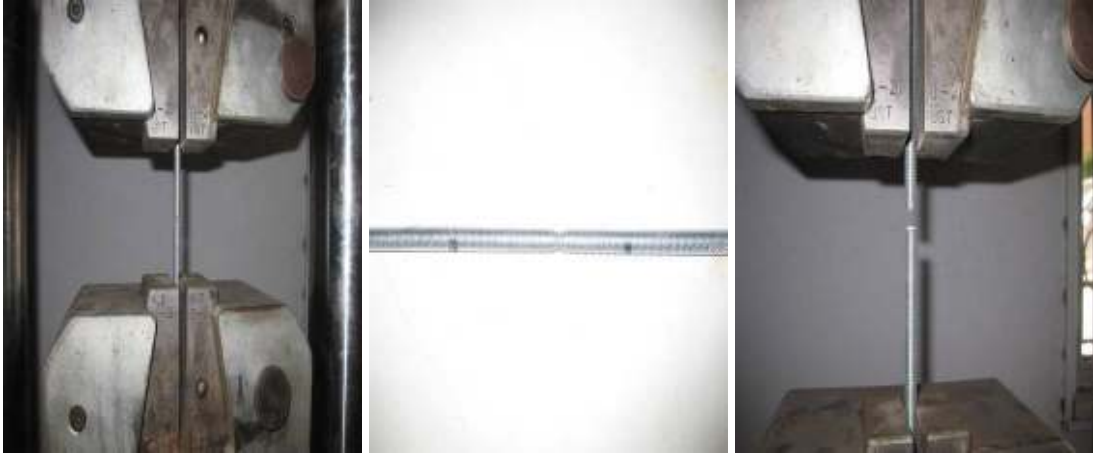
Şekil 5.11. Perde – çerçeve bağlantı ankrajlarının ekimi

## 5.4. Malzeme Kalitesi

### 5.4.1. S420b ankraj çubukları

Dış perde ile güçlendirilmiş çerçeve deneylerinde perdelerin, çerçeveye bağlantısı için gömülme derinliği sınırı nedeniyle küçük çaplı  $\Phi 6$ ,  $\Phi 8$  ve  $\Phi 10$  mm

çapında S420b çelik çubuklar kullanılmıştır. Ankraj donatısı olarak kullanılacak olan  $\Phi 6$ ,  $\Phi 8$  ve  $\Phi 10$  S420b çubukların mekanik özelliklerinin tespiti için çekme testleri yapılmıştır (Şekil 5.12). Çekme testi sonuçları Çizelge 5.3'te verilmiştir.



Şekil 5.12. S420b ankraj çubukları çekme testinden görüntüler

Çizelge 5.3. Ankraj donatılarının mekanik özellikleri

Çap (mm)	Akma Day. (MPa)	Ortalama Akma Day. (MPa)	Çekme Day. (MPa)	Ortalama Çekme Day. (MPa)	Kopma Uzaması (%)
6	446	448	487	471	12
6	450		455		13
8	420	422	434	434	16
8	424		433		17
10	400	440	408	450	7
10	480		491		7

#### 5.4.2. Kimyasal Yapıştırıcı

Çerçeve deneylerinde de kimyasal yapıştırıcı olarak, ankraj deneylerinde kullanılan Duratek firmasının 3 bileşenli, solventsiz epoksi esaslı kimyasal dübel ve

ankraj macunu (GSM509) kullanılmıştır. Malzeme ile ilgili detaylar Bölüm 3'te verilmiştir.

### 5.4.3. Beton

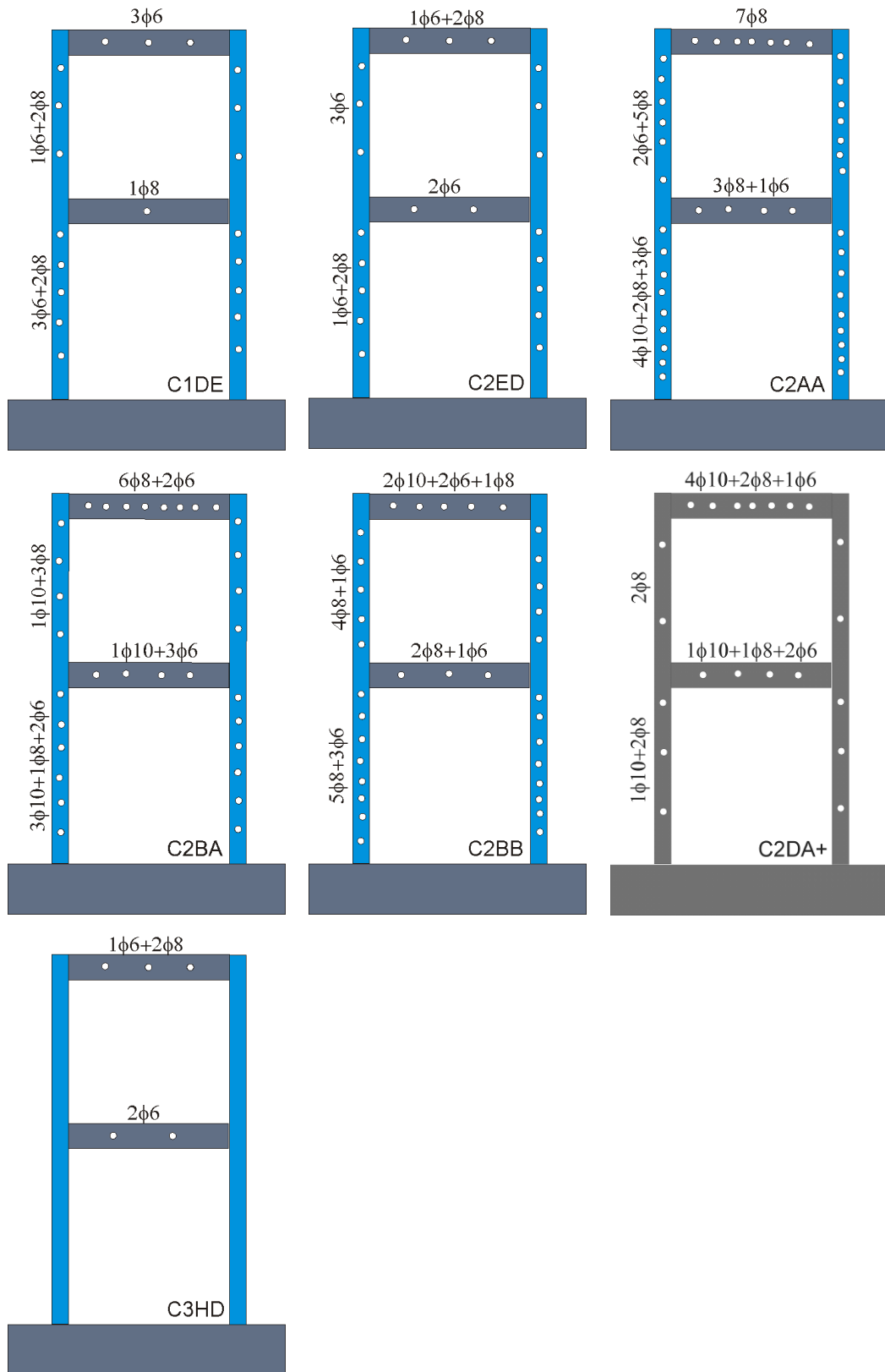
Çerçeveler üç farklı beton dayanımına sahip olacak şekilde üretilmiştir. Bunlar C1, C2 ve C3 olarak isimlendirilmiş ve deney elemanlarının isimlendirilmesinde de çerçeve beton dayanımını temsil etmek üzere bu şekilde kullanılmıştır. Güçlendirme perdelerinde ise C30 beton sınıfı kullanılmıştır. Bu betonların dökümlerinde numuneler alınmış ve 2, 7, 28 ve deney günü olmak üzere basınç deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları Çizelge 5.4'te görülmektedir.

Çizelge 5.4. Çerçeve deneylerinde kullanılan betonların küp basınç dayanımları (MPa)

Beton Yaşı	C1 (MPa)	C2 (MPa)	C3 (MPa)	C30 (MPa)
2 Günlük	0.9	4.0	4.5	18.3
	0.7	4.1	4.5	17.6
	0.7	3.8	4.2	18.1
7 Günlük	2.3	5.8	10.9	27.5
	2.3	5.7	11.0	30.7
	2.0	5.5	11.3	29.4
28 Günlük	4.0	7.2	14.5	41.3
	4.1	7.0	14.8	40.9
	3.7	6.6	16.8	39.0
Deney günü	5.6	9.1	18.3	48.4
	5.5	8.8	19.0	46.9
	5.6	9.0	19.3	46.3

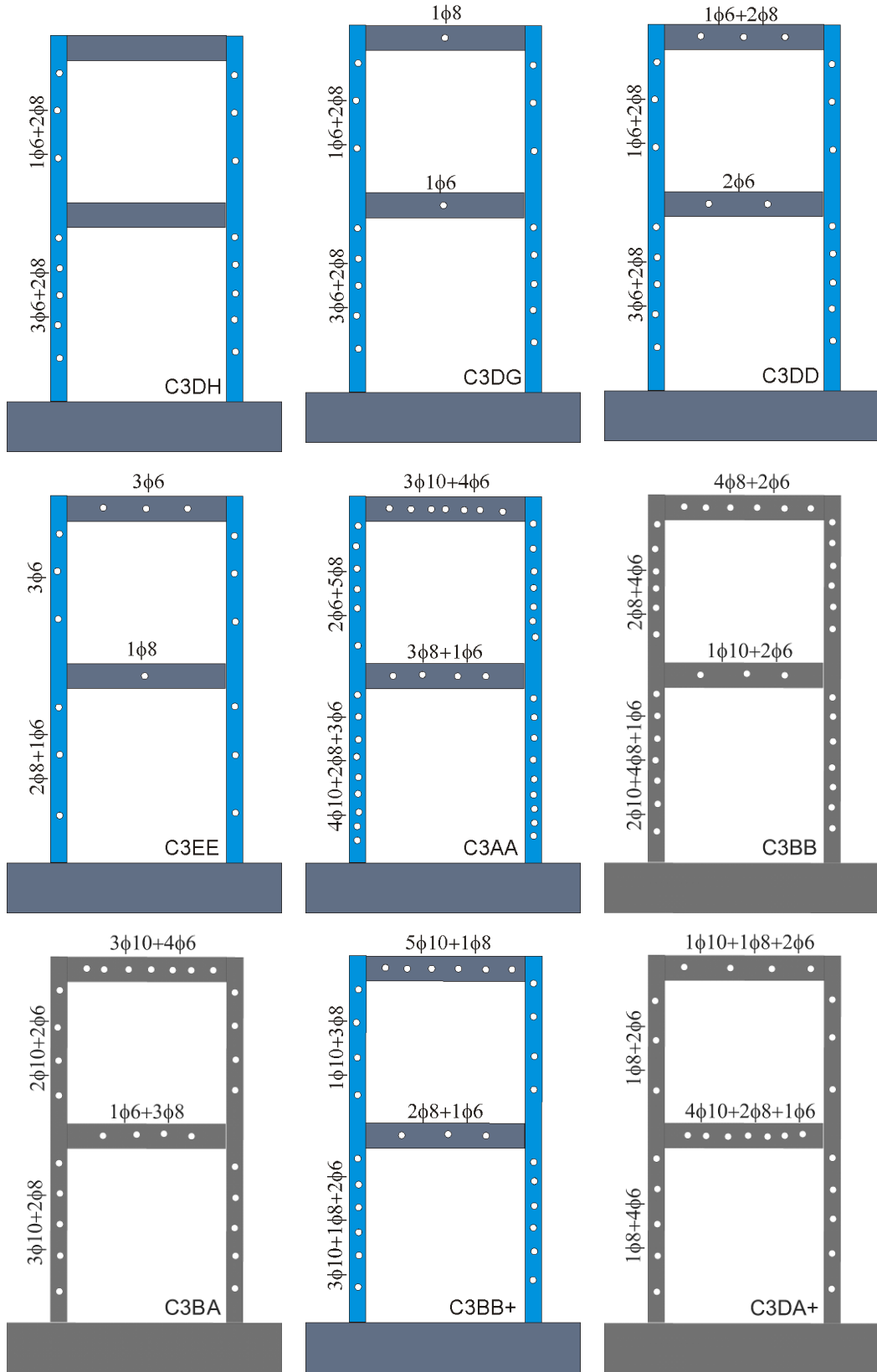
### 5.5. Ankraj Yerleşim Planı

Gereken ankraj donatılarının hesaplanması sonucunda belli oranlarda azaltmalar yapılarak deney elemanlarının ankrajları hesaplanmıştır. Tüm deney elemanlarında kolon ve kirişlerde kullanılan ankrajların yerleşim şeması, miktar ve çapları Şekil 5.13 - 14'te verilmiştir.



Şekil 5.13. Çerçeveselerde ankraj yerleşim planı – 1

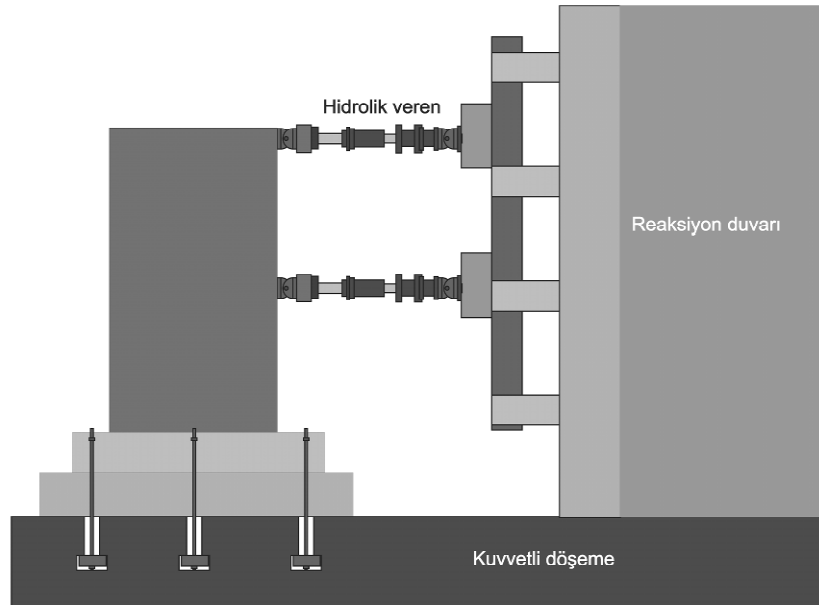




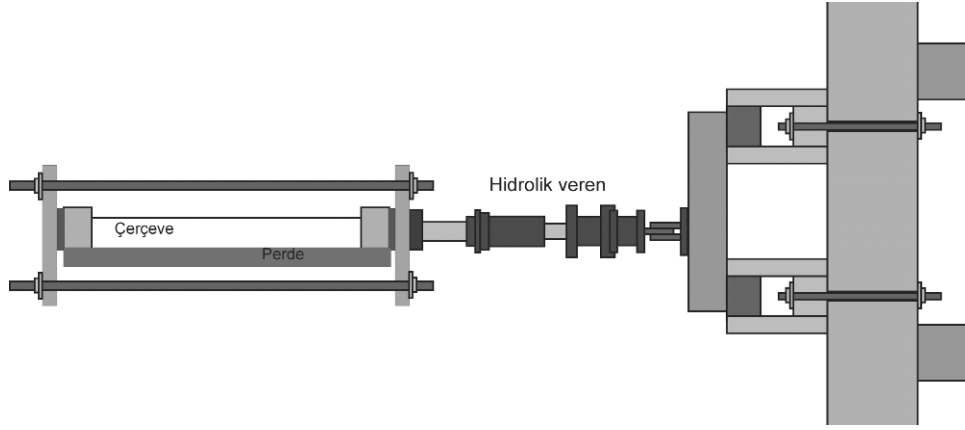
Şekil 5.14. Çerçevelerde ankraj yerleşim planı – 2

## 5.6. Deney Düzeneği

Şekil 5.15'te deney düzeneğinin görünüşü verilmiştir. Deney yapısı rijit döşemeye 6 noktadan bağlanmıştır. Deneyde çerçeve elemanı kat seviyelerinden tekil yükleme ile itme/çekme yapılarak test edilmiştir. Piston kuvvetinin tümü çerçeveye etkililmiş, perde ile piston arasında bir bağlantı veya temas oluşması engellenmiştir. Böylece, perde ile çerçeve arasındaki ankrajların yük aktarımındaki performansları denenmiştir. Şekil 5.16'da çerçeve piston bağlantısının üst görünüşü, Şekil 5.17'de de çerçeve piston bağlantısından bir görünüm verilmiştir.



Şekil 5.15. 2B çerçeve yatay yükleme sistemi



Şekil 5.16. Çerçeve - piston bağlantısı üst görünüş



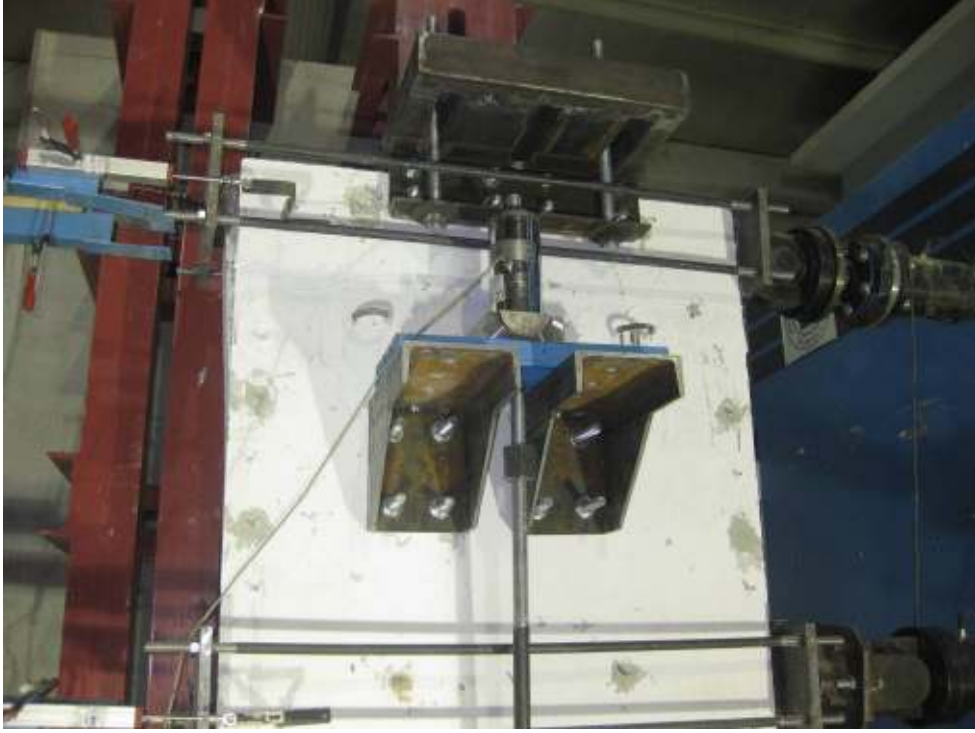
Şekil 5.17. Çerçeve ile piston bağlantısından bir görünüm

Pistonun yapı sistemine sadece yatay yük (piston için aksel kuvvet) aktarabilmesi için iki ucunda moment aktarmayan mafsal bağlantılar kullanılmıştır. Daha az mafsal bulunması durumunda, deney elemanına düşey kuvvet ve momentler aktarılabilir, fazla mafsal durumunda ise pistonun basınca çalıştığı durumda piston aksında burkulma meydana gelebilir. Bu sebeple veren-veren mesnedi ve veren-çerçeve bağlantıları mafsalı olarak oluşturulmuştur. (Şekil 5.18).



Şekil 5.18. Veren-veren mesnedi ve veren-çerçeve bağlantıları

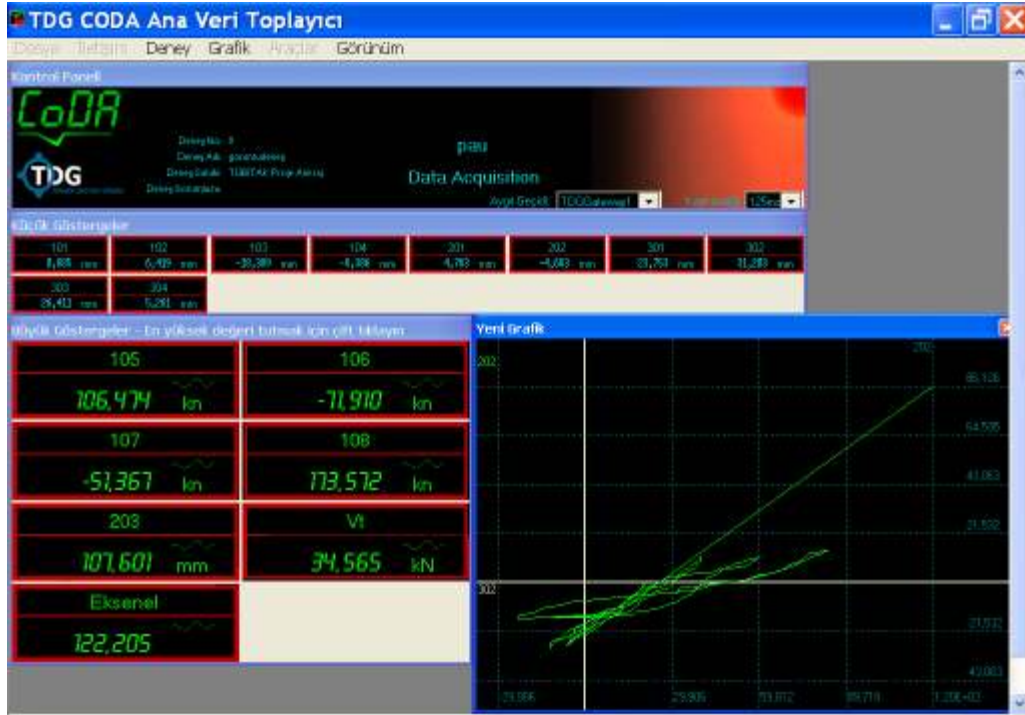
Ayrıca, perdenin düzlem dışı hareketini engellemek üzere üst kat seviyesinde bir kılavuz sistemi kurulmuştur. Kılavuz sistemi perde ve çerçeve ile 4 adet küresel rulman ile temas etmektedir. Bu şekilde perdenin düzlem dışı hareketi engellenmiştir (Şekil 5.19).



Şekil 5.19. Perde ve çerçevdeki kılavuz sistemi

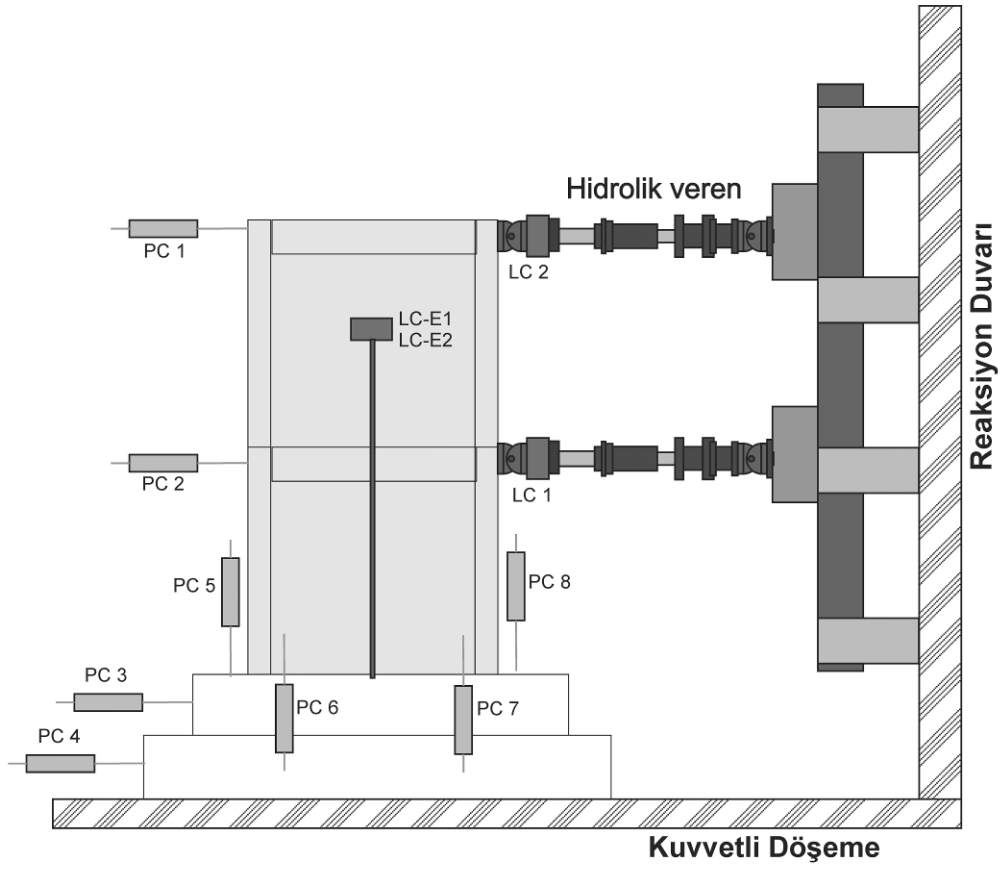
### 5.6.1. Veri Toplama Sistemi

Deneylerde kat deplasmanları, kolon ve perde uç liflerinin şekil değıştirme değeri ile katlara etkitilen yatay yük değeri ölçülmüştür. Veri toplama sisteminin yük hücresi, deplasman ölçer gibi elemanlardan okuduğu verilerin bilgisayara aktarılması için sistemle tam uyumlu CODA veri toplama sistemi kullanılmıştır. CODA yazılımı 6 alt programdan oluşmaktadır. Deney esnasında veri toplama yazılımının çalışmasına ilişkin bir görüntü Şekil 5.20’de verilmiştir.



Şekil 5.20. Veri toplama yazılımı

Deneylerde deplasmanların ölçümü için doğrusal potansiyometrik cetveller (Şekil 5.21) kullanılmıştır. Deplasman ölçerlerin kalibrasyonları çok noktalı kalibrasyonla CODA veri toplama yazılımı ile yapılmıştır. Deplasman ölçümleri kat seviyelerinde belli noktalardaki deplasman değerlerinin belirlenmesi veya belirli elemanlardaki eğrilik değişimlerinin incelenmesi amacıyla alınmıştır.



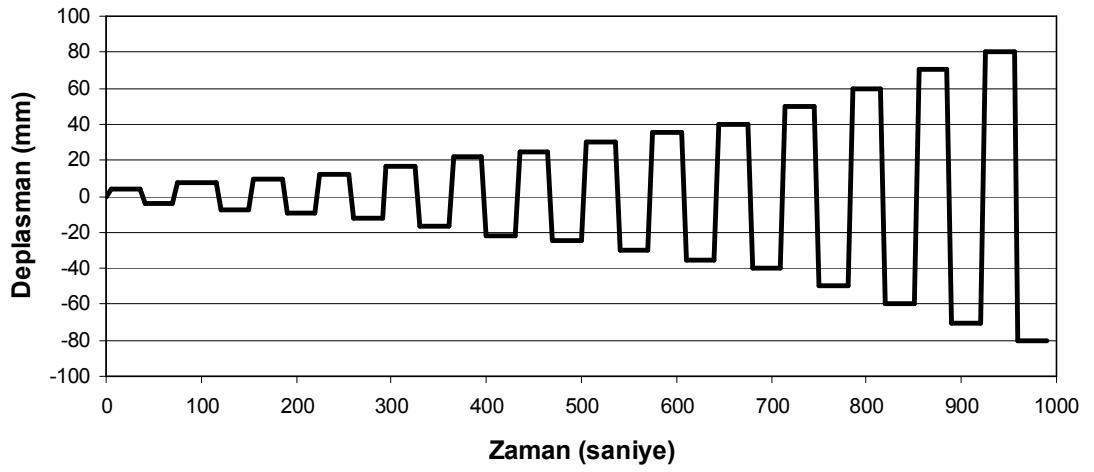
Şekil 5.21. Deplasman ölçer yerleşim planı

### 5.6.2. Yükleme Düzenegi

Perde üzerine aksenal yük el kontrollü hidrolik silindirlerle uygulanmıştır. Tüm elemanlar deney boyunca sabit 160 kN aksenal basınç altında tutulmuşlardır (Şekil 5.22). Bu aksenal yük düzeyi, güçlendirme öncesi kolon aksenal yük düzeyinin 5 MPa seviyesinde olduğu durumu temsil etmektedir. Yatay yük uygulamak üzere 1. ve 2. kat seviyesine bağlanan pistonlardan üst katta bulunan piston istenen deplasman profiline uygun olarak hareket ettirilmiştir (Şekil 5.23). 1. Kat seviyesine bağlanan piston ise 2. kattaki pistonu 1:2 kuvvet ölçeği ile takip etmiştir. Bu şekilde deney elemanına üçgen yayılı yük deseni uygulanmıştır.



Şekil 5.22. Çerçeveye uygulanan aksel yük düzeneği



Şekil 5.23. Deplasman yüklemesi

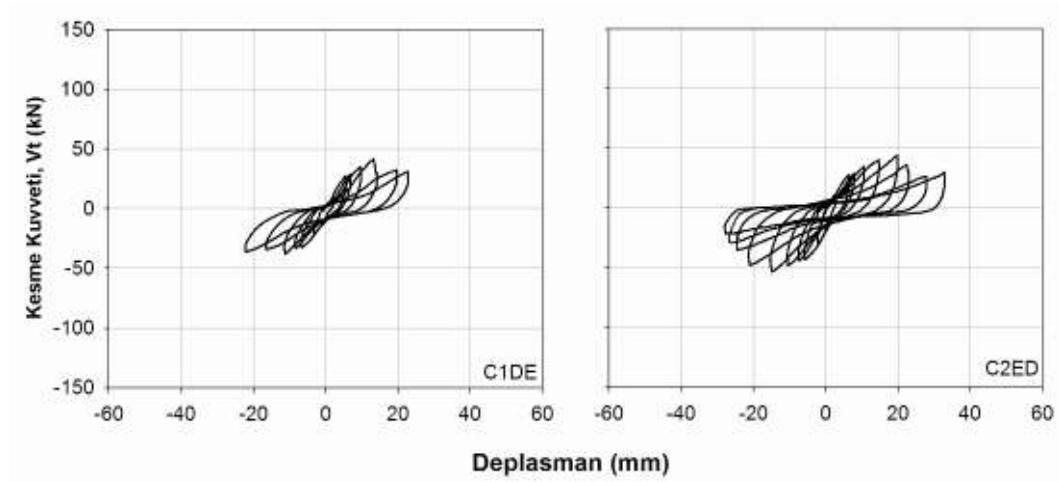


## BÖLÜM 6

### DIŞ-PERDELİ ÇERÇEVE DENEYLERİNİN SONUÇLARI

#### 6.1. Deney Sonuçları

İki boyutlu dış perdeli çerçeve deneylerinde her bir çerçevenin davranışı ve kapasitesi 160 kN sabit eksenel kuvvet altında belirlenmiştir. Ankraj miktarı düşük olan elemanların dayanımlarının düşük seviyelerde olduğu görülmektedir. Bu elemanların tamamında yatay yük kapasitesi 40-80 kN aralığında gerçekleşmiştir. Bu elemanların ikisinde (C1DE ve C2ED) %1 görelî ötelenme öncesinde taşıma gücünün azaldığı görülmüştür. Düşük beton dayanımlı çerçevelerde (C1 ve C2) perde-çerçeve bağlantısı, gerekli ankraj miktarının %35'inden az ankrajla sağlanan numunelere ait çevrim eğrileri Şekil 6.1'de verilmiştir.



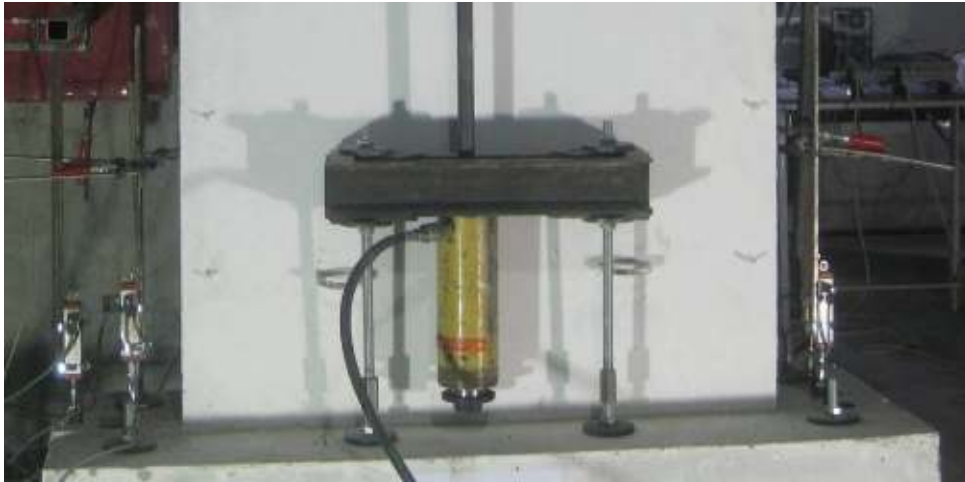
Şekil 6.1. C1DE ve C2ED çerçevelerine ait kesme kuvveti-deplasman eğrileri

Kolon ve kirişlerdeki ankraj oranları %35 ve daha düşük olan çerçevelerde, daha deneyin ilk adımlarında üst kat kiriş ankrajlarının kopmasıyla perde ile çerçeve birbirinden ayrılmaya başlamıştır (Şekil 6.2). C1DE'de kiriş ankrajları 13 mm, C2ED'de ise 20 mm tepe deplasmanı seviyesinde kopmaya başlamıştır. Bu deplasman

değerlerinden sonra deney elemanlarının kapasitesi her çevrimde azalmıştır. Deney esnasında perde tabanında her hangi bir hasar oluşmamıştır (Şekil 6.3).

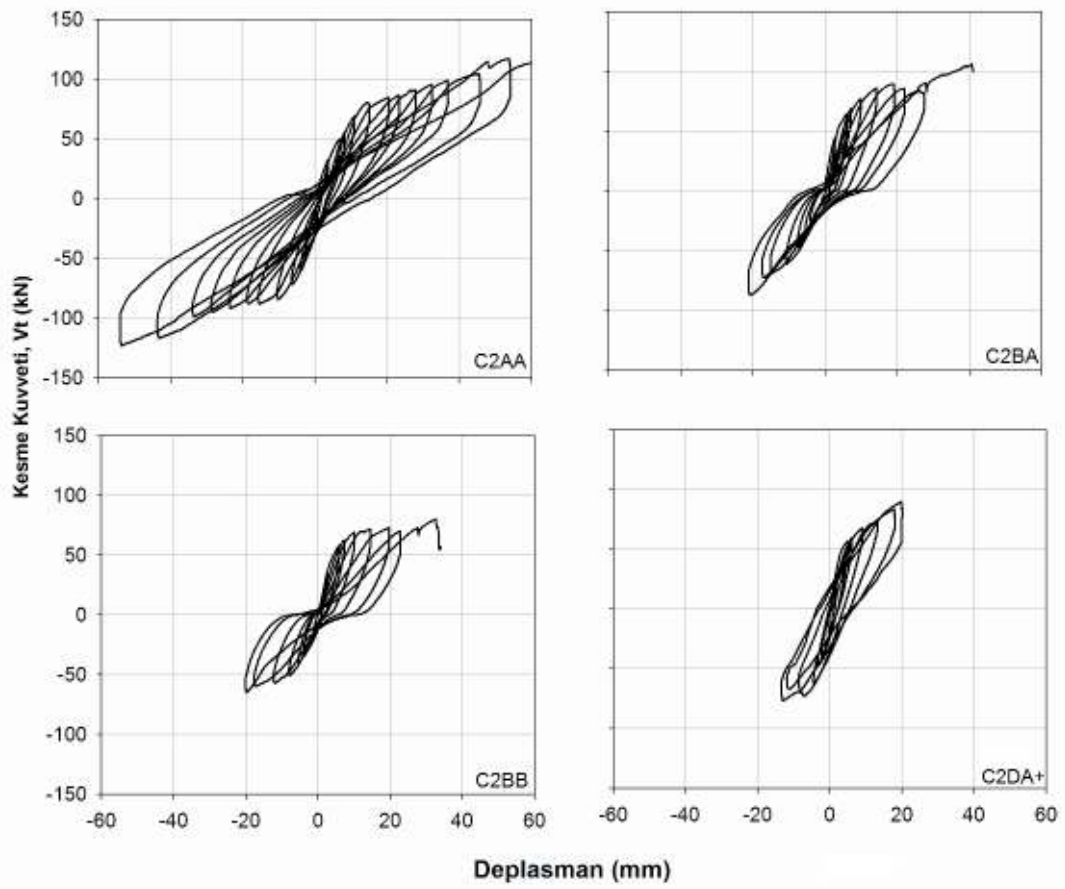


Şekil 6.2. Perdenin çerçeveden ayrılmaya başlaması



Şekil 6.3. Düşük dayanımlı – düşük ankraj oranlı çerçevelerde perde tabanı

Şekil 6.4'te düşük beton dayanımlı çerçevelere ankraj miktarı gerekli ankrajın %70'inden fazla ankraj ekilen deney elemanlarına ait çevrim eğrileri verilmiştir. Bu elemanlar içerisinde en düşük dayanım veren eleman (C2BB) aynı zamanda kiriş ankraji en az olan elemandır. Bu elemanların hiçbirisinde perde ile çerçeve arasında belirgin bir ayrışma gözlenmemiştir. Çerçeve ve perde birlikte çalışmıştır (Şekil 6.5). Bu numunelerde perde tabanında eğilme çatlakları görülmüştür (Şekil 6.6).



Şekil 6.4. C2 çerçevelerine ait kesme kuvveti-deplasman eğrileri



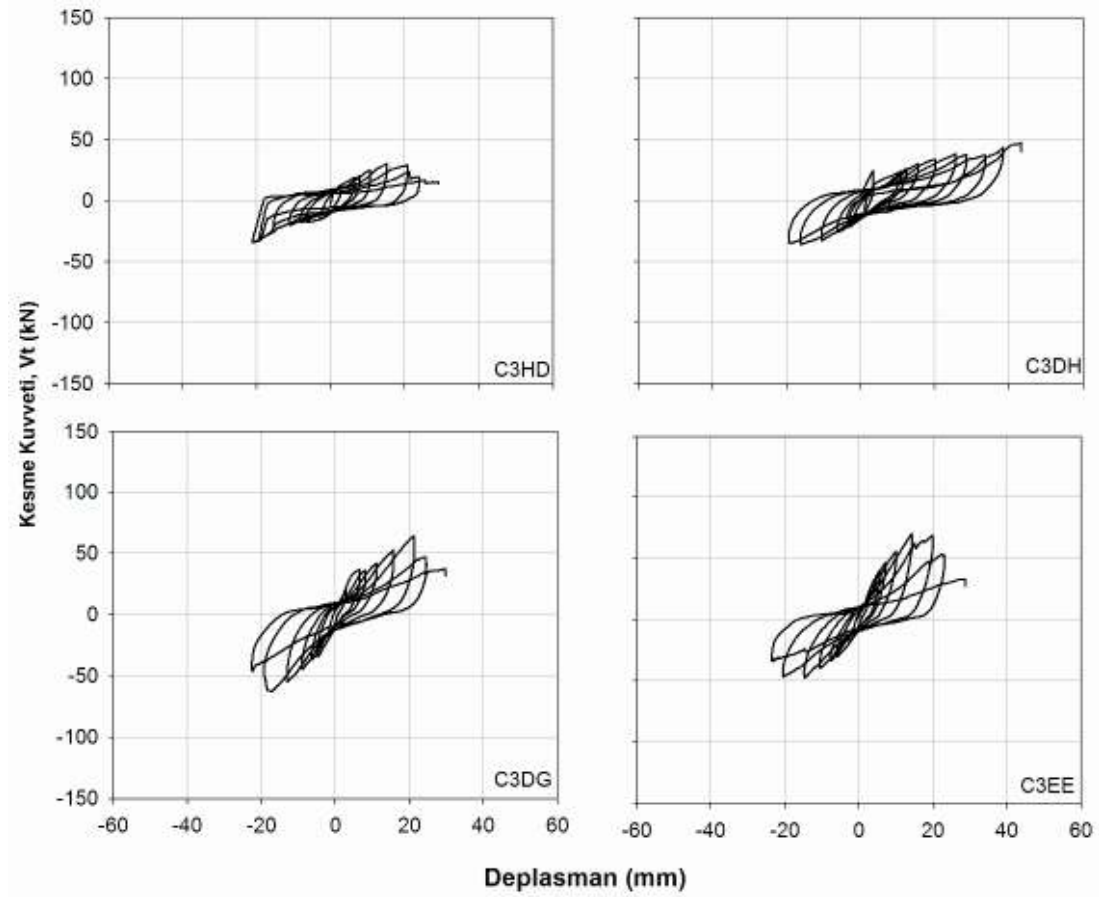
Şekil 6.5. Çerçeve ve perdenin birlikte çalışması



Şekil 6.6. Ankraj oranı yüksek C2 elemanlarda görülen perde eğilme çatlakları

Şekil 6.7’de ankraj miktarı azaltılmış C3 çerçevelerine ait deneysel çevrim eğrileri görülmektedir. C1 ve C2 çerçevelerinde görüldüğü gibi ankraj miktarı düşük olan çerçevelerde hem yatay yük kapasitesi hem de süneklik oldukça sınırlı düzeyde

kalmıştır. Diğer yandan kirişlerde gerekli ankraj miktarının sağlandığı deney elemanlarında hem 100 kN yatay kuvvet kapasitesinin hem de %1.5 deplasman düzeyinin aşıldığı görülmektedir.



Şekil 6.7. C3 çerçevelerine ait kesme kuvveti-deplasman eğrileri – 1

Kirişlerdeki ankraj oranı %0 olan numunelerde (C3HD ve C3DH) çerçeve ve perde arasında belirgin bir ayrışma görülmüştür (Şekil 6.8). C3DH elemanında yatay yükleri perdeye aktaracak kiriş ankrajları bulunmadığından, kolonlardaki ankrajlar da yatay kesme etkisine maruz kalmışlardır. Bu sebeple, kolonlarda ankrajların bulunduğu seviyelerde yatay kesme kuvveti dolayısıyla konik hasarlar oluşmuştur. Kolonlara ekilen ankrajlar çerçeveyi patlatmıştır (Şekil 6.9).



Şekil 6.8. Kiriş ankraj oranı %0 olan çerçevelerin dış perdeden ayrışması



Şekil 6.9. Kolonda konik kopma

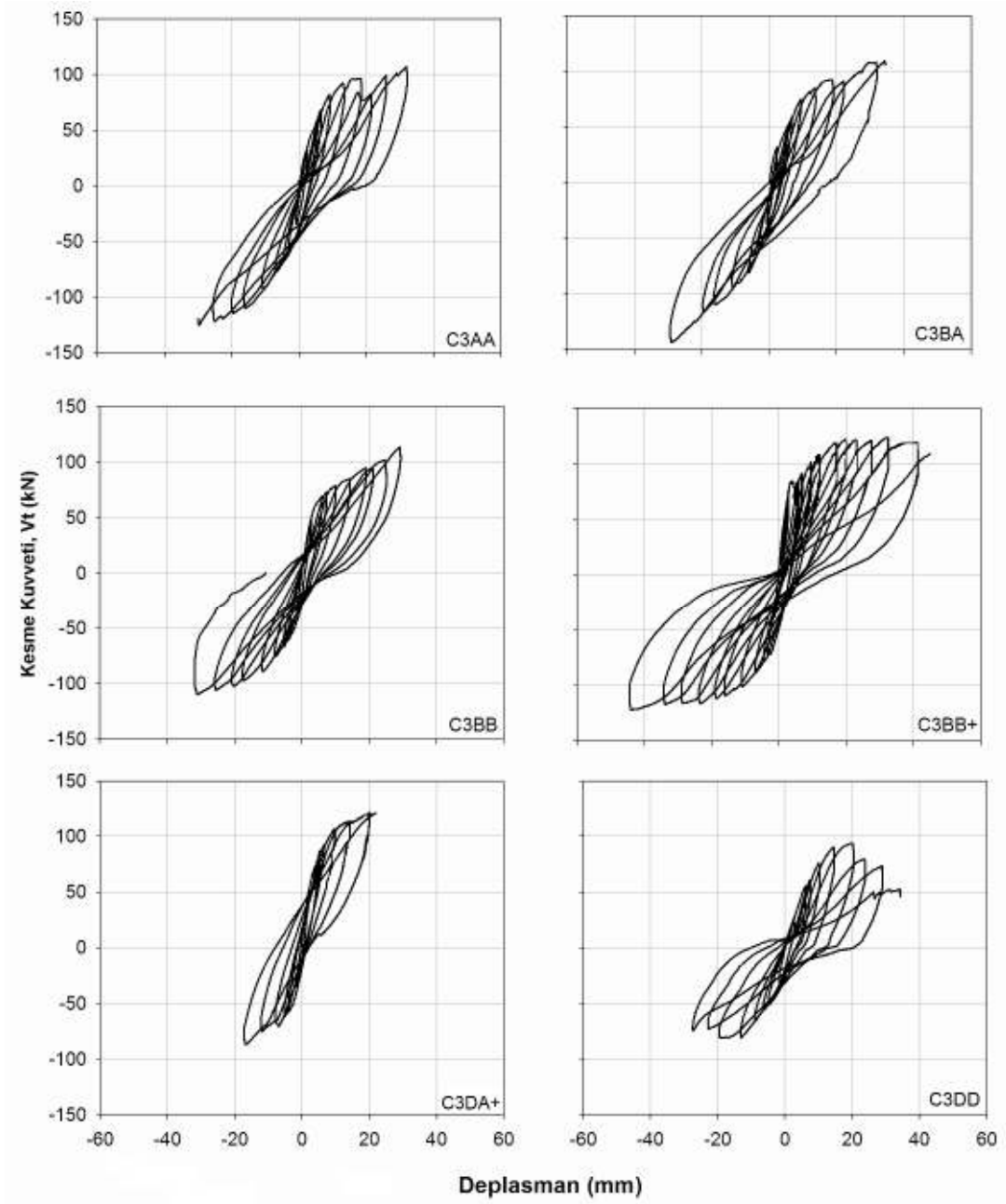
Perde tabanında moment etkisini oluşturan kolon ankrajlarının sağladığı kuvvet çiftidir. Bu ankrajların bulunmadığı durumda kirişe ekilen ankrajlarda düşey yönlü büyük kesme kuvvetleri ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple kolon ankrajları yetersiz olan deney elemanlarında ankrajlar kiriş üst bölgelerinde konik kopmalara da yol açmışlardır (Şekil 6.10).

C3DG’de kiriş ankrajları 21 mm, C3EE’de ise 14 mm tepe deplasmanı seviyesinde kopmaya başlamışlardır. Bu deplasman değerlerinden sonra deney elemanlarının kapasitesi her çevrimde azalmıştır. Deney esnasında perde tabanında herhangi bir hasar oluşmamıştır. Kiriş ankraj oranı %15 olan C3DG çerçevesinde kolon ankrajları perde de konik kırılmalar oluşturmuştur.



Şekil 6.10. Kirişte konik kopma

Kolon ve kirişlerindeki ankraj oranları %70'in üstünde olan C3 dayanımındaki çerçevelerin çevrim eğrileri Şekil 6.11'de verilmiştir. Kolon ankraj oranı ortalama %40, kiriş ankraj oranı da ortalama %35 olan C3DD elemanı da 100 kN yatay kuvvet kapasitesine yakın olduğu için bu grupta verilmiştir.



Şekil 6.11. C3 çerçevelerine ait kesme kuvveti-deplasman eğrileri – 2



Kolon ve kiriş ankraj oranları %70 ve üzerinde olan C3 beton dayanımındaki bu grupta genelde çerçeve ve perdeler birlikte çalışmıştır (Şekil 6.12). Kolon veya kirişinde az donatı bulunan bazı elemanlarda da kolon veya perdelerde konik kopmaların olduğu görülmüştür (Şekil 6.13).



Şekil 6.12. %70 ve üstü ankraj oranları olan C3 çerçeveler



Şekil 6.13. C3 çerçevelerde konik kopmalar

Kolon – kiriş ankraj oranları %70 olan C3BB elemanında ilk önce perde tabanında eğilme kırılması (Şekil 6.14) daha sonrasında ise basınç bölgesinde ezilme (Şekil 6.15) görülmüştür. Bu davranış şekli perde ile çerçevenin birlikte çalıştığını göstermektedir.



Şekil 6.14. C3BB elemanında perde tabanında eğilme çatlağı



Şekil 6.15. C3BB elemanında tabanda kayma

Kolon ankraj oranı ortalama %35, kiriş ankraj oranı %100'ün üzerinde olan C3DA+ elemanında yükleme tarafında eğilme çatlakları oluşmuş (Şekil 6.16), daha sonra da basınç bölgesinde ezilmeler başlamıştır (Şekil 6.17). Bu davranış şekli ideale oldukça yakındır. Bu durum üst katta kirişe ekilen ilave ankrajların davranışına olumlu katkısını açıkça ortaya koymaktadır.



Şekil 6.16. C3DA+ elemanında eğilme çatlakları



Şekil 6.17. C3DA+ elemanında basınç bölgesinde ezilme başlangıcı

C3DD’de kiriş ankrajları 14 mm tepe deplasmanı seviyesinde kopmaya başlamıştır. Bu deplasman değerinden sonra deney elemanının kapasitesi her çevrimde azalmıştır. Bu elemanda kolona ekilen ankrajlar hem çerçevede hem de perde de konik kopmalar oluşturmuştur (Şekil 6.18). Kirişlerdeki ankraj kopmalarına ilave olarak etrafında perdenin donatısı olmasına rağmen kolondaki ankrajlar da kopmuştur (Şekil 6.19). Bu ankrajların yatay yönde aktardıkları kuvvetler perde boyunca donatılarının burkulmasını da kolaylaştırmaktadır.



Şekil 6.18. C3DD elemanında perde ve çerçeve konik kopmaları

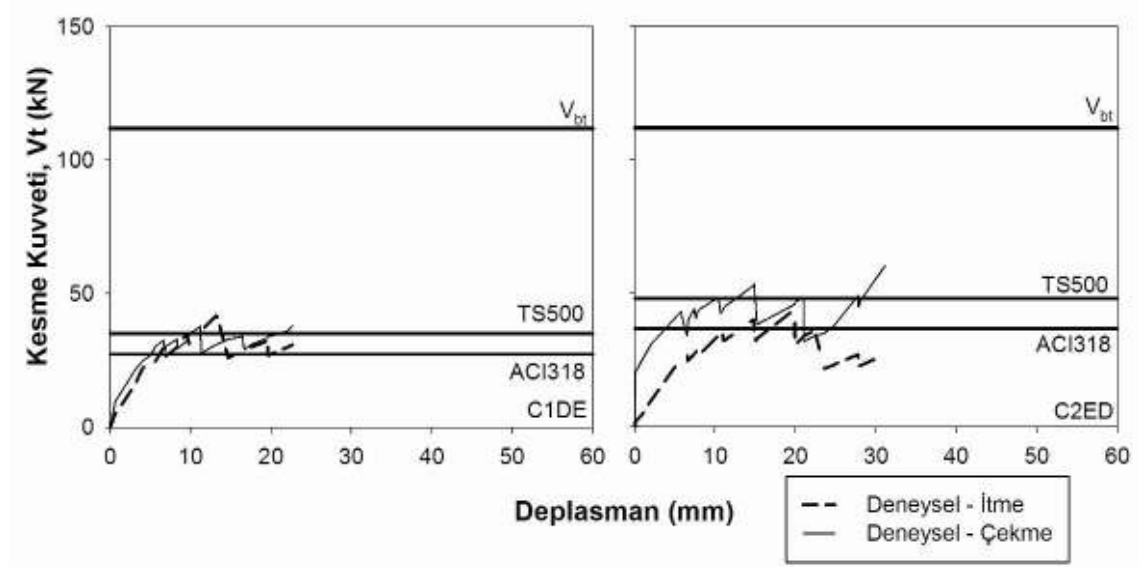


Şekil 6.19. C3DD elemanında kolon ankrajının kopması

## 6.2. Deneyel Kapasitelerin Karşılaştırılması

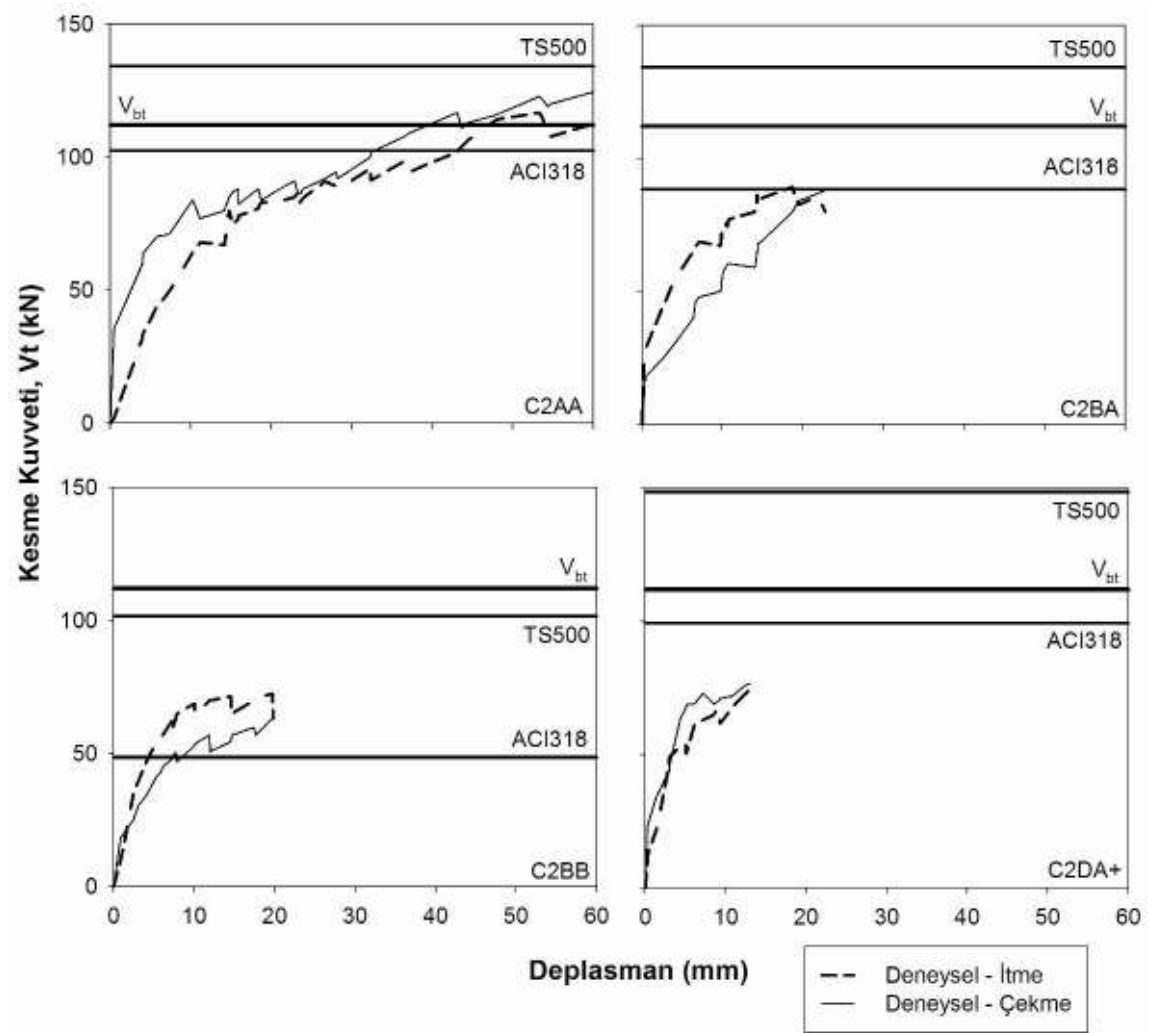
Şekil 6.20-23'te deneyel zarf eğrileri gösterilmiştir. C1 ve C2 çerçevelerin azaltılmış miktarda ankrajlarla güçlendirildiği duruma ait zarf eğrileri Şekil 6.20'de görülmektedir. Perde elemanının bir döküm olduğu ideal durum için bulunan moment kapasitesinden faydalanılarak uygulanan yükleme şekli için perdenin yatay yük taşıma kapasitesi 123 kN olarak belirlenmiştir. Bu yatay kuvvet sınırı ile birinci ve ikinci katlarda kirişlere ekilen ankrajların kesme kapasiteleri toplamı ACI318 ve TS500'e göre belirlenerek zarf eğrileri ile birlikte gösterilmiştir.

Şekil 6.20'de gösterilen zarf eğrilerinde belirlenen deneyel kapasitenin hem ACI hem de TS500 sürtünme kesmesi ile hesaplanan kirişlere ekilmiş ankrajların kesme kapasitelerini aştığı görülmektedir. Ancak, bu elemanların tümünde kesme kapasiteleri  $V_{bt}$ 'yi sağlayamayacak derecede düşüktür ve perde kapasiteleri tam ankraj ekilmesi durumundaki kapasitenin oldukça altında kalmıştır.



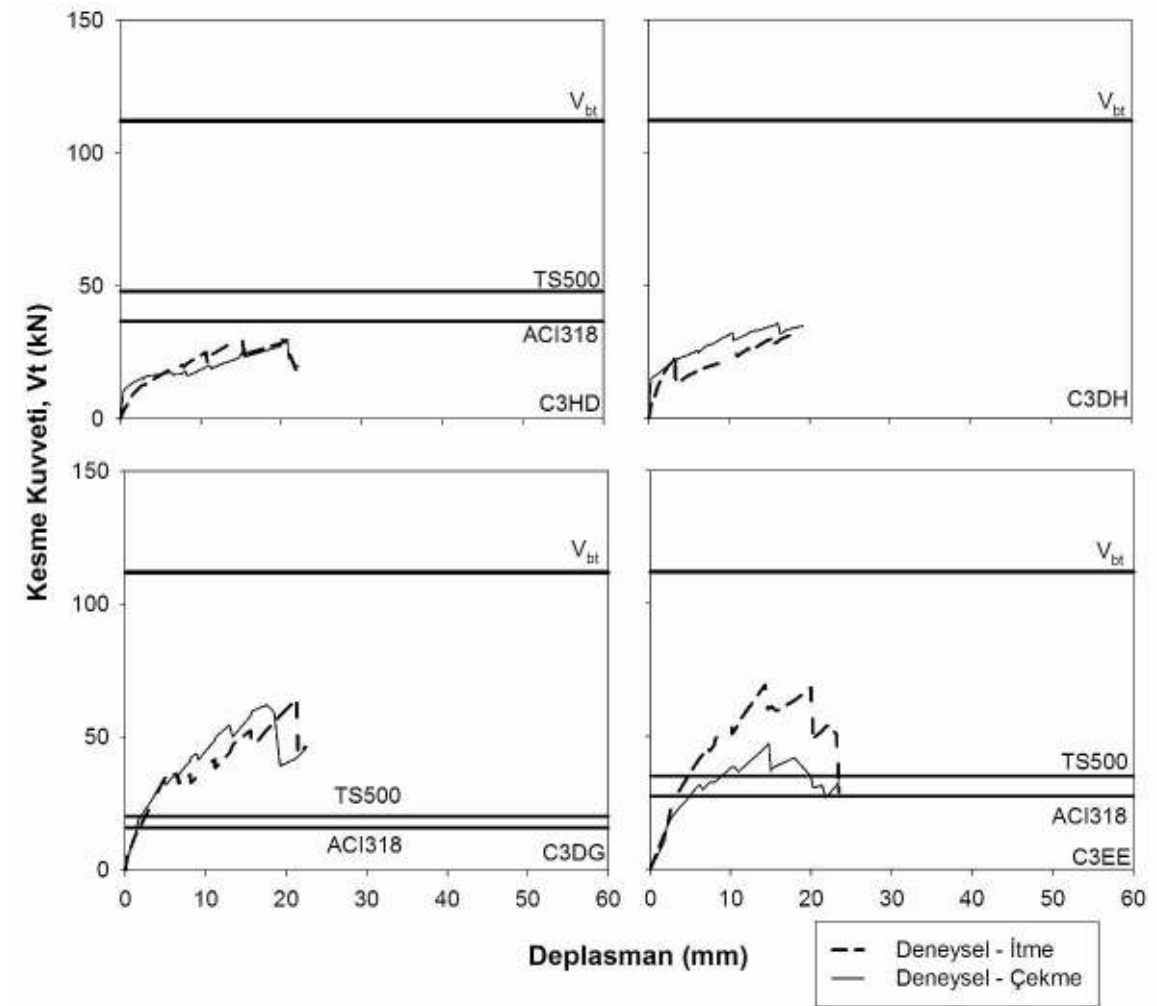
Şekil 6.20. C1 ve C2 çerçevelerine ait zarf eğrileri

Şekil 6.21’de verilen zarf eğrilerinden C2AA, C2BA ve C2BB’ye ait olanlarda taban kesme kuvveti kiriş ankraj kapasitesine erişebilmiştir. Ancak, C2DA+ elemanında kirişlere ekilen ankraj miktarı bu grafikteki diğer tüm elemanlardan fazla olduğu halde ancak C2BB’nin kapasitesine erişilebildiği görülmektedir. Şekil 6.21’de taban kesme kuvveti kiriş ankraj kapasitesine erişemeyen tek eleman da budur. Perdenin hesapla belirlenen ideal dayanımını yakalayabilen tek eleman C2AA olarak görülmektedir.



Şekil 6.21. C2 çerçevelerine ait zarf eğrileri

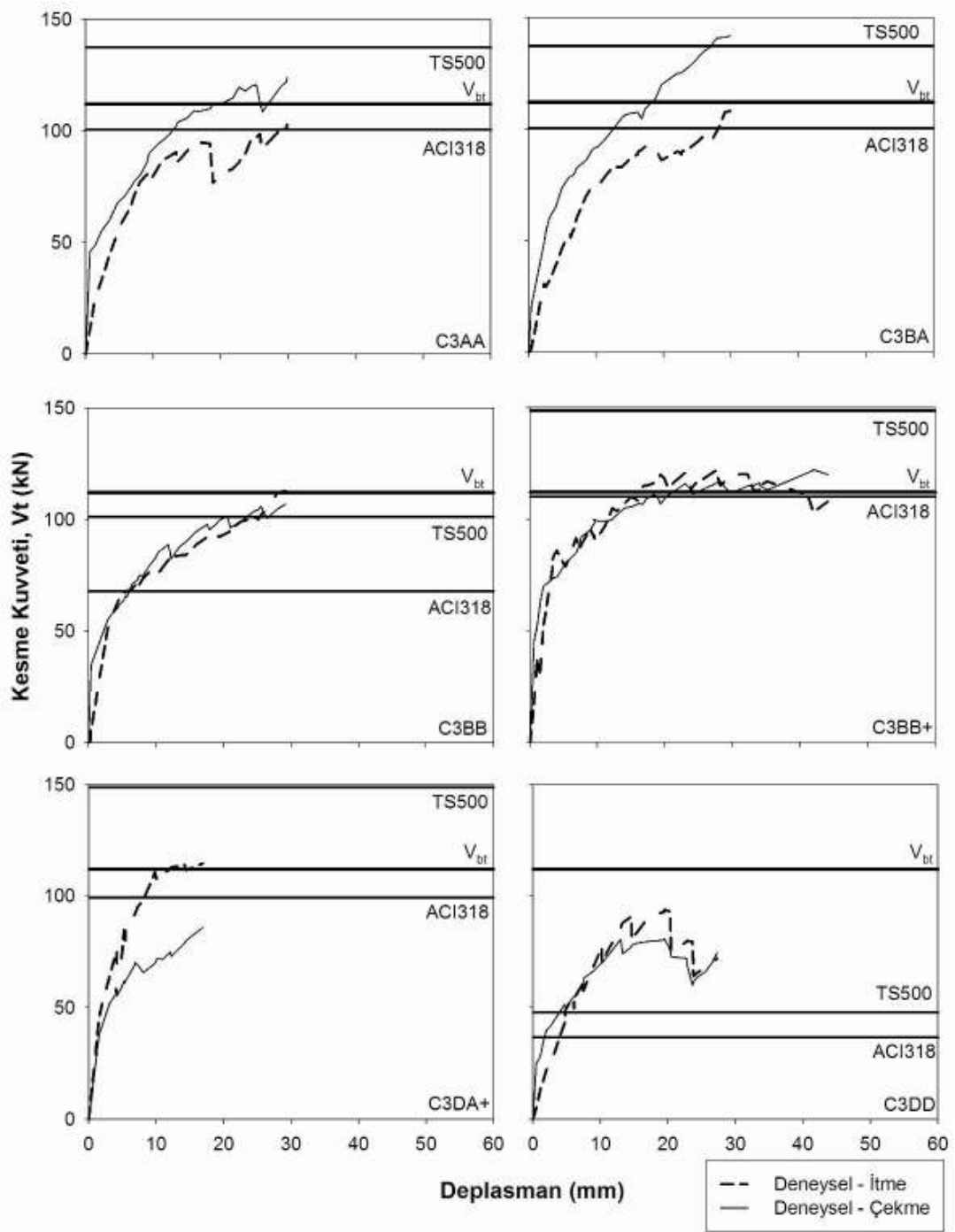
Şekil 6.22’de C3 deney elemanlarının az ankrajlı olanları görülmektedir. Burada da C1 ve C2’ye benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Kolonlarında ankraj bulunmayan C3HD elemanında taban kesme kuvveti kiriş ankraj kapasitesinin altında kalmıştır. Bu deney elemanının kapasitesi ile kirişlerinde ankraj bulunmayan C3DH elemanının kapasiteleri benzer seviyelerdir. Kolon ve kirişlerdeki ankrajların uyumlu şekilde azaltıldığı C3DG ve C3EE elemanlarında kapasitenin, ideale göre oldukça düşük olmasına rağmen kiriş kapasitelerinin (ACI ve TS500) üzerine çıkabildiği görülmektedir.



Şekil 6.22. C3 çerçevelerine ait zarf eğrileri - 1



C3 deney elemanlarında ankraj miktarındaki azaltmanın daha sınırlı olduğu, yani hesaplanan ankraj miktarına yakın ve bazen de üzerinde ankrajların ekildiği elemanlar ise Şekil 6.23'te verilmiştir.



Şekil 6.23. C3 çerçevelerine ait zarf eğrileri – 2

C3DA+ haricindeki tüm elemanlarda ACI318 kiriş kesme kapasitesinin yakalanabildiği görülmektedir. Pozitif ve negatif yöndeki yüklemelerin ortalamalarını göz önüne aldığımızda C3AA, C3BA, C3BB+ numunelerinin ideal kesme kapasitesine ulaşabildikleri görülmüştür. C3BB numunesi ise bu sınırın hemen altında kalmıştır. C3DA+ ise bir yükleme doğrultusunda bu kapasiteyi yakalarken, diğer doğrultuda  $V_{bt}$  değerinin %30 altında kaldığı görülmüştür. C3DD numunesi ise kiriş ankraj kesme kapasitesinin üzerine çıkmış ancak, C1 ve C2’de ankraj miktarı azaltılmış elemanlarda olduğu gibi düşük dayanım değerlerinde kalmıştır. Dikkati çeken bir başka nokta ise C3CA+ elemanının kapasitesi ile C3DD’nin kapasitesinin birbirine çok yakın olmasıdır. Şekil 6.21’de verilen C2DA+ numunesinin de davranışı C3DA+’ya benzemektedir. Ankraj hasarı ile gevrek hasar oluşan bu elemanlar kiriş ankrajları çok iyi düzeyde bile olsa, kolona ankraj ekilmemesi veya az ekilmesi durumunda sünek davranış elde edilemeyeceğini ve perde moment kapasitesine ulaşamayacağını göstermektedir.

## BÖLÜM 7

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İki aşamada gerçekleştirilen bu çalışma kapsamında ilk olarak düşük dayanımlı betonlara ekilmiş ankrajların kesme kapasiteleri incelenmiştir. Bu amaçla 48 adet ankraj numunesi üretilmiş ve tersinir tekrarlı yükler altında denenmiştir. Elde edilen deney sonuçları ile ACI318 Ek D ve TS500 sürtünme kesmesi ile elde edilen kesme kapasiteleri karşılaştırılmıştır. Bu çalışmalar sonunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Yapılan ankraj deneylerinin tamamı ACI318 Ek D'ye göre donatının dayanımı belirleyeceği şekilde üretilen elemanlarda gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda da beton basınç dayanımının ankraj kesme kapasitesi üzerinde anlamlı bir etkisine rastlanmamıştır.
- Deneylerin önemli bir kısmını 12, 16 ve 20 mm çapında S420a donatılarla ekilen ankrajlar oluşturmaktadır. Bu ankraj elemanları 10Φ, 15Φ ve 20Φ olmak üzere 3 farklı derinlikte gömülmüştür. Ortalama dayanımlar dikkate alındığında en düşük kapasitenin 15 Φ derinlik için elde edildiği görülmüştür. Önceki çalışmalarla birlikte değerlendirildiğinde bu durum, 10 Φ ve daha derin ankrajlarda, gömülme derinliğinin kesme kapasitesine anlamlı bir etkisi olmadığını göstermektedir.
- Ankraj çapları dikkate alınarak bir değerlendirme yapıldığında ise, çap artışı ile birlikte ankraj kesme kuvvetinin doğrusal bir şekilde arttığı gözlenmiştir. Ancak, donatı alanının artışı donatı çapının karesi ile orantılıdır. Bu sebeple, ankrajların taşıyabildikleri nihai kesme gerilmeleri ankraj çapındaki artışa bağlı olarak azalmıştır. TS500 sürtünme kesmesi formülü ve ACI318 yöntemi ile bulunan ankraj dayanımları 12 ve 16 mm çaplı donatılar için güvenli iken, 20 mm çaplı donatılarda yapılan deneylerin bir kısmında güvensiz oldukları görülmüştür. Tüm deneylerin ortalaması dikkate alındığında 12, 16 ve 20 mm

çaplı donatılar için TS500 sürtünme kesmesi formülü ile bulunan dayanım değerlerinin güvenlik katsayısı sırası ile 1.7, 1.3 ve 1.1 olarak belirlenmiştir.

Çalışmanın bir başka önemli aşamasını ise dış-perde ankrajlarının tasarımına yönelik çalışmalar oluşturmuştur. Bu amaçla düşük dayanımlı betonlardan üretilen çerçevelere dış perde elemanları kimyasal ankrajlarla bağlanarak 16 farklı deney elemanı üretilmiş ve tersinir tekrarlı yatay yükler altında test edilmiştir. Deney elemanları farklı beton dayanımına sahip çerçeveler ve gerekli ankraj miktarından azaltmalar yapılarak farklı miktarda ankraj kullanılarak oluşturulmuştur. Bu deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanabilir:

- Kolon ve kirişlerindeki ankraj oranı %40'ın altındaki numunelerde hem ACI318 hem de TS500 sürtünme kesmesi ile hesaplanan kirişlere ekilmiş ankrajların kesme kapasitelerini aştığı ancak birdöküm perdenin kesme kapasitesine ulaşamadıkları görülmüştür.
- Ankraj oranı %70'in üzerindeki C3 elemanlarda C3DA+ elemanı hariç birdöküm perdenin kesme kapasitesine ulaşılmıştır. C3DA+ elemanı ise bir yükleme doğrultusunda bu kapasiteyi yakalarken diğer doğrultuda bu kapasitenin %30 altında kalmıştır. Bu davranış C2DA+ elemanında gözlenen davranışı da doğrulamaktadır.
- Gevrek ankraj hasarı ile kapasitesini kaybetmeye başlayan C2DA+ ve C3DA+ elemanlarda kiriş ankrajları çok iyi düzeyde bile olsa, kolona ankraj ekilmemesi veya az ekilmesi durumunda sünek davranış elde edilemeyeceği ve perde moment kapasitesine ulaşamayacağı görülmüştür.
- Kolon ve kirişlerindeki ankraj miktarları benzer oranda azaltılan elemanlarda ACI318 ve TS500 kapasiteleri aşılmış, ankraj miktarı yeterli olan elemanlarda ise birdöküm dayanımı da sağlanabilmiştir.

- Üst kat kiriş ankrajlarının %25 seviyesinde artırıldığı elemanlarda kolon ankrajları gerekenin %70'ine düşürülmesi durumunda bile yeterli dayanıma ulaşılabildiği görülmüştür.
- Kolonlarında ankraj bulunmayan elemanlarda kiriş ankrajlarının da düşey yönde kesme taşıması sebebiyle kiriş üstlerinde konik beton hasarına yol açtıkları görülmüştür.
- Kiriş ankrajlarının bulunmadığı veya az olduğu durumlarda ise, kolon ankrajları yatay doğrultuda etkiyen kesme kuvvetleri nedeniyle kolon ve perde kenarlarında konik beton hasarları oluşturmuştur.
- Çalışmanın bu aşamasında ankraj elemanlarının çaplarının küçük seçilmesi nedeniyle ilk aşamada büyük çaplı ankrajlar için tespit edilen kapasite yetersizlikleri elimine edilmiştir. Dolayısıyla bu aşamada elde edilen sonuçlar TS500 ve ACI 318 formüllerinin her durumda doğru sonuç vereceği kabulüne dayalıdır.

Çoğunlukla kimyasal ankrajlarla yapılan güçlendirme uygulamalarının daha sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için aşağıdaki önerilerde bulunulmasının gerekliliği ortaya çıkmıştır:

- DBYBHY'nin güçlendirme ile ilgili hükümlerini içeren 7. bölümünde ankraj kesme kuvveti için TS500 sürtünme kesmesi formülü referans verilmektedir. Bu formülün serbest kenardan uzak ankrajlarda ACI318'e benzer sonuçlar verebildiği görülmüştür. Beton hasarı ile göçme oluşması durumunda kapasitedeki kayıpları dikkate alacak bir yöntemin benimsenmesi yerinde olacaktır.
- Ankraj serbest kenardan uzak bile olsa büyük çaplı donatılarda hem TS500 hem de ACI318'in güvenlik katsayılarının düşük olduğu görülmüştür. Özellikle

düşük beton sınıfları için ankraj çapına bir üst sınır getirilmesi ve büyük çaplı ankrajlar için kapasite azaltma katsayıları kullanılması uygun olacaktır. 12 mm çaplı ankrajlar için TS500 sürtünme kesmesi formülü ile sağlanan ortalama güvenlik katsayısı 1.7'dir. Aynı güvenlik düzeyine ulaşılması için 16 mm çaplı ankrajlar için bu azaltma katsayısı 0.8, 20 mm çaplı ankrajlar için ise 0.65 olarak kullanılabilir.

- Mevcut beton yüzeylerinde ankrajların kenardan mümkün olduğunca uzağa ekilmesi önem arz etmektedir. Özellikle ACI318 yaklaşımı kenara yakın ankrajların kapasitesinin çok düşük olabileceğini göstermektedir. Bu tür ankrajların kapasitelerinin TS500 veya DBYBHY'de bir düzenleme yapıncaya kadar ACI318 formülü ile belirlenmesi yerinde olacaktır.
- Ankrajların kenara yakın yapıldığı durumlarda mevcut beton veya dış perdelerde konik beton hasarı oluşturması engellenmelidir. Bunun için dış perdelerdeki ankraj delikleri etrafına U şeklinde donatılar yerleştirilmesi gerekir. Mevcut betondaki hasarları azaltmak üzere donatı çaplarının mümkün olduğunca küçük seçilmesi, kolon ve kirişlerde ankraj miktarında mümkünse azaltma yapılmaması, üst kat kirişlerindeki ankraj miktarının artırılması alternatif çözümlerdir.
- Uygulamada yüzey temizliği, uygulama şekli gibi konuların kontrolü oldukça zor olmakla birlikte, yaygın uygulama çekme deneyleri ile kontrolün sağlanması şeklindedir. Ancak, bu deney için de verilen bir standart olmayıp, deney şekli kontrol biriminin isteklerine göre uyarlanabilmektedir. Yapılacak bir düzenleme ile kontrol için de standart bir prosedür ortaya koyulması yerinde olacaktır.
- Önceki çalışmalar ve deney elemanlarının üretimi öncesindeki ön çalışmalar kimyasal yapııştırıcı türünün ve mekanik özelliklerinin ankraj dayanımını önemli oranda etkilediğini ortaya koymuştur. Bu sebeple, güçlendirme ankrajlarında

kullanılacak kimyasal yapıştırıcıdan istenen asgari mekanik özellikler de belirlenmelidir.

- Bu çalışmada elde edilen sonuçları tamamlamak üzere düşük dayanımlı betonlarda kenara yakın ankrajların kesme dayanımları konusunda da çalışmalar yapılması önerilmektedir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen 2 boyutlu deneylerde küt perdeler kullanılmıştır. Bu çalışmanın eğilmeye çalışan perdeler için de yapılması faydalı olacaktır.

## KAYNAKLAR

- ACI318 2005, Building Code Requirements for Reinforced Concrete, American Concrete Institute, Detroit, USA.
- Alqedra M. A., Ashour A. F., 2005, Prediction of shear capacity of single anchors located near a concrete edge using neural networks, *Computers & Structures* 83, 2495-2502.
- Anil, Ö. ve Altin, S., 2007, An experimental study on reinforced concrete partially infilled frames, *Engineering Structures*, 29(3), 12 p.
- Aslankara Y., İnel M. ve Toprak, S., 2005, Kent ölçeğinde senaryo depremde oluşacak bina hasarlarının tahmini, *Kocaeli Deprem Sempozyumu*, 1434-1443.
- Ashour A. F., Alqedra M. A., 2005, Concrete breakout strength of single anchors in tension using neural Networks, *Advances in Engineering Software* 36, 87-97.
- Atımtay, E, Kaplan, H., Haktanır, T., Kaltakçı, M. Y., Yılmaz, Ç., Kanit, R., Altun, F., Türkmen, M., Demir, F., Tama, Y. S., Şenel, Y. S., İnel, M., Toprak, S., İlgün, A., Yılmaz, S., Çetinkaya, N., Nohutcu, H., Yılmaz, Ü. S., Arslan, M. H., Tekeli, H., Çırak, İ. F., Erdal, M., Can, Ö., Kayhan, A. H., ve Arı, K. (2003-2007) Depremde Hasar Görmüş Yapıların Onarımı” ve Hasarsız Mevcut Yapıların Güçlendirilmesi: Dış Perde Duvar Uygulaması. DPT-YUUP projesi. Proje kodu: BAP-08-11-DPT.2004K120760.
- Baran, M., 2005, Precast concrete panel infill walls for seismic strengthening of reinforced concrete framed structures, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Ankara, 265 s.
- Benjamin, J. R. and Williams, H. A., 1958, Blast and earthquake resistant design data: behavior of one-story reinforced concrete shear walls containing openings, *Journal of the American Concrete Institute*, Vol.30, No.5, 605-618.
- Bouazaoui L. and Li A., 2008, Analysis of steel/concrete interfacial shear stress by means of pull out test, *International Journal of Adhesion & Adhesives* 28, 101-108.
- Canbay, E., Ersoy, U. and Ozcebe, G., 2003, Contribution of reinforced concrete infills to seismic behavior of structural systems, *ACI Structural Journal*, V.100, No.5, 637-643.



**KAYNAKLAR (Devam)**

- Çetinkaya, N., 2007, Prefabrik betonarme sanayi yapılarının deprem davranışının deneysel olarak incelenmesi, Pamukkale Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 150 s.
- Cook R. A., Collins D. M.i., Klingner R. E. and Polyzois D., 1992, Load-deflection behavior of cast-in-place and retrofit concrete anchors, *ACI Structural Journal*, V. 89, No.6, 639-649.
- Cook R.A., 1993, Behavior of chemically bonded anchors, *ASCE Journal of Structural Engineering*, Vol. 119, No. 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*, Vol. 90, No. 5, 514-524.
- Cook R. A. and Konz R. C., 2001, Factors influencing bond strength of adhesive anchors, *ACI Structural Journal*, V.98, No.1, 76-86.
- Cook R. A., Kunz J., Fuchs W. and Konz R. C., 1998, Behavior and design of single adhesive anchors under tensile load in uncracked concrete, *ACI Structural Journal*, V.95, No.1, 9-26.
- Darwin D. and Zavairegh S. S., 1996, Bond strength of grouted reinforcing bars, *ACI Structural Journal*, Vol.93, No.4, 486-495.
- DBYBHY, 2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- Duratek, 2008, GSM 509 Ankraj macunu teknik föyü.
- Eligehausen R., Cook R. A. and Appl J., 2006, Behavior and design adhesive bonded anchors, *ACI Structural Journal*, V.103, No.6, 822-831.
- Ersoy, U. ve Uzsoy, Ş., 1971, The behavior and strength of infilled frames, TÜBİTAK Araştırma Projesi Raporu, Proje No: MAG-205, Ankara, Türkiye.

**KAYNAKLAR (Devam)**

- Fuchs W., Eligehausen R. and Breen J.E., 1995, Concrete capacity design (CCD) approach for fastening to concrete, ACI Structural Journal, Vol. 92, No. 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, V.100, No.3, 246-252.
- Gesoğlu M., Özturan T., Özel M. and Güneyisi E., 2005, Tensile behavior of post-installed anchors in plain and steel fiber-reinforced normal- and high strength concretes, ACI Structural Journal, V.102, No.2, 224-231.
- Govindan, P., Lakshmiathy, M. and Santhakumar, A. R., 1986, Ductility of infilled frames, ACI Structural Journal, July-August, 567-576.
- Görgülü, T., 2008, Mevcut yapıların güçlendirilmesinde dış çelik konstrüksiyon perde uygulaması, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi.
- Gross J. H., Klingner R. E. and Graves H. L., 2001, Dynamic behavior of single and double near-edge anchors loaded in shear, ACI Structural Journal, V.98, No.5, 665-676.
- Gürbüz T., 2007, Yapıların güçlendirilmesinde kullanılan kimyasal ankrajların aksel çekme etkisi altındaki davranışlarının incelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Haziran, 226 s.
- Gürbüz T., Seyhan E., İlki A. ve Kumbasar N., 2007, Güçlendirme çalışmalarında kullanılan kimyasal ankrajların aksel çekme etkisi altında davranışları, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 16-20 Ekim İstanbul, 649-659.
- Higgins C. C. and Klingner R. E., 1998, Effects of environmental exposure on the performance of cast-in-place and retrofit anchors in concrete, ACI Structural Journal, V.95, No.5, 506-517.
- Kara, M. E. and Altin, S., 2006, Behavior of reinforced concrete frames with reinforced concrete partial infills, ACI Structural Journal, V.103, No.5, 701-709.

### KAYNAKLAR (Devam)

- Kaltakçı, M. Y. ve Yavuz, G., 2006, Kısmi betonarme perde duvar ile güçlendirilmiş sismik detayları yetersiz betonarme çerçevelerin tersinir-tekrarlanır yatay yük etkisindeki davranışı, Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu, 7-8 Aralık Pamukkale, Denizli, 368-374.
- Kaltakçı, M. Y., Arslan M. H. ve Yılmaz Ü. S., 2006, Dış perde duvar ile güçlendirilmiş yatay yük kapasitesi düşük olan betonarme çerçevelerin davranışının incelenmesi, Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu, 7-8 Aralık Pamukkale, Denizli, 375-383.
- Kaplan, H., Yılmaz, S., Binici, H., Yazar, E. ve Çetinkaya, N., 2003a, 1 Mayıs 2003 Bingöl Depremi Mühendislik Raporu, Yapısal Hasarlar ve Değerlendirmesi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli, 59 s.
- Kaplan, H., İnel, M., Şenel, Ş. M., Toprak, S., Tama, Y. S., Kayhan, A. H., Özsoy, İ., Yazar, E. ve Yılmaz, S., 2003b, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli, 25 s.
- Kaplan, H., Akyol, E., Yılmaz, S., Şen, G. ve Dayanır, N., 2005a, Denizli Deprem Senaryosu, Pamukkale Üniversitesi İnşaat ve Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Denizli, 105 s.
- Kaplan, H., Tama, Y. S., Yılmaz, S. ve Akyol, E., 2005b, Buldan Devlet Hastanesi depremsellik inceleme ve güçlendirme raporu, Teknik Rapor, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 73 s.
- Kaplan, H., Yılmaz, S., Çetinkaya, N., Nohutcu, H., Atımtay, E. ve Sarışın, A., 2006a, Mevcut betonarme yapıların dış perde duvar uygulaması ile güçlendirilmesi:deneysel çalışma, Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu, 7-8 Aralık Pamukkale, Denizli, 354-360.
- Kaplan, H., Yılmaz, S., Tama, Y. S., Görgülü, T., Nohutcu, H. ve Atımtay, E., 2006b, Betonarme yapıların dış çelik perde ile güçlendirilmesi:deneysel çalışma, Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu, 7-8 Aralık Pamukkale, Denizli, 361-367.
- Kaplan, H., Yılmaz, S. ve Tama, Y. S., 2006c, Dış-perde duvar uygulaması ile yapıların güçlendirilmesi:Buldan Devlet Hastanesi örneği, Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu, 7-8 Aralık Pamukkale, Denizli, 406-411.

**KAYNAKLAR (Devam)**

- Kaplan, H., Çetinkaya, N., Nohutcu, H., Yılmaz, S. ve Sarışın, A., 2006d, Deprem ve Yapı Teknolojileri Laboratuvarının geliştirilmesi, Teknik Rapor, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 77 s.
- Kaplan, H., Nohutcu, H., Çetinkaya, N., Yılmaz, S., Gönen H. and Atımtay, E., 2009, Seismic strengthening of pin-connected precast concrete structures with external shear walls and diaphragms, PCI Journal, Vol.54, No.1, 88-99.
- Kaya Y., 2007, Yapıların güçlendirilmesi uygulamalarında kullanılabilir kısımlı bağlı ankraj detayı ve yüzey temizliği koşulları altında ankrajların aksel çekme davranışlarının incelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 185 s.
- Körlü, S., Deneme, İ. Ö. ve Yerli H. R., 2004, Betonarme yapıların perde takviyesi ile güçlendirilmesi, Çukurova Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt 19, Sayı 1, Haziran, 149-157.
- Kuyucular, A., 2006, Onarım güçlendirme dış perdelerinin temeli olarak havuz dış perde, Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu, 7-8 Aralık Pamukkale, Denizli, 412-421.
- Lee N. H., Kim K. S., Bang C. J. and Park K. R., 2007, Tensile-headed anchors with large diameter and deep embedment in concrete, ACI Structural Journal, V.104, No.4, 479-486.
- Lotze D., Klingner R. E. and Graves H. L, 2001, Static behavior of anchors under combinations of tension and shear loading, ACI Structural Journal, V.98, No.4, 525-536.
- McVay, M., Cook, R. A. and Krishnamurthy, K., 1996, Pullout simulation of postinstalled chemically bonded anchors, Journal of Structural Engineering, V.122, No.9, 1016-1024.
- Moehle, J. P., 2000, State of research on seismic retrofit of concrete building structures in the US, US-Japan Symposium and Workshop on Seismic Retrofit of Concrete Structures-State of Research and Practice, USA.

**KAYNAKLAR (Devam)**

- Muratlı H., Klingner R. E. and Graves H. L., 2004, Breakout capacity of anchors in concrete-part 2:shear, ACI Structural Journal, V.101, No.6, 821-829.
- Nohutcu, H., 2007, Prefabrik betonarme endüstri yapılarının dış perde duvar uygulaması ile güçlendirilmesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 216 s.
- 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.
- Özcebe, G., Ersoy, U., Tankut, T., Erduran, E., Keskin, R. S. O. and Mertol, C., 2003, Strengthening of brick-infilled RC frames with CFRP, Teknik Rapor, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 69s.
- Özkul H., Mutlu M. ve Sağlam A. R., 2001, Beton ankrajları, Sika Teknik Bülten Sayı 4.
- Özmen, B., (2002), İstanbul ili için deprem senaryosu, Türkiye Mühendislik Haberleri, Yıl:47/2002-1, Sayı:417, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası.
- Özturan T., Gesoğlu M., Özel M. ve Güneyisi E., 2004, Kimyasal, harçlı ve mekanik ankrajların çekme ve kesme yükleri altındaki davranışları, İMO Teknik Dergi, Yazı 208, 3105-3124.
- Öztürk, T., 2006, Betonarme güçlendirme perdelerinin ön boyutlandırılması için bir yaklaşım, Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu, 7-8 Aralık Pamukkale, Denizli, 21-30.
- Peier W. H., 1983, Model for pullout strength of anchors in concrete, Journal of Structural Engineering, American Society of Civil Engineers ASCE, V.109, No.5, 1155-1173.
- Phan, L. T., Cheok, G. S. and Todd, D. R., 1995, Strengthening methodology for lightly reinforced concrete frames: recommended design guidelines for strengthening with infill walls, Technical Report, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD.

**KAYNAKLAR (Devam)**

- Primavera E. J., Pinelli J. P. and Kalajian E. H., 1997, Tensile behavior of cast-in-place and undercut anchors in high-strength concrete, ACI Structural Journal, V.94, No.5, 583-594.
- Sakla S.S.S. and Ashour A. F., 2005, Prediction of tensile capacity of single adhesive anchors using neural networks, Computers & Structures 83, 1792-1803.
- Seyhan E. C., 2006, Kimyasal ankrajların davranışlarının incelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Haziran, 191 s.
- Shirvani M., Klingner R. E. and Graves H. L., 2004, Breakout capacity of anchors in concrete-part 1:tension, ACI Structural Journal, V.101, No.6, 813-820.
- Sonuvar, M. O., Ozcebe, G. and Ersoy, U., 2004, Rehabilitation of reinforced concrete frames with reinforced concrete infills, ACI Structural Journal, Vol. 101, No.4, 494-500.
- Sucuoglu, H., Jury, R., Ozmen, A., Hopkins, D. and Ozcebe, G., 2006, Developing retrofit solutions for the residential building stocks in İstanbul, 100th Anniversary Earthquake Conference, California, USA.
- Tama, Y. S., Yılmaz, S., Kaplan, H. ve Görgülü, T., 2005, Mevcut betonarme yapıların dış çelik perde ile güçlendirilmesi:uygulama çalışması, Dördüncü Uluslar Arası İleri Teknolojiler Sempozyumu, 28-30 Eylül Konya, Türkiye, 1194-1197.
- Tamatsukuri, Chuoku, 1999, Outer shell precast RC frame strengthening method, developed &put to practical use, Takenaka Cooperation, Osaka, Japan.
- TS500, 2000, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 708, 1996, Betonarme Çelik Çubukları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TUDAP, 2005, Türkiye Ulusal Deprem Araştırmaları Programı 2005 – 2014.

**KAYNAKLAR (Devam)**

- Türk M., Ersoy U. ve Özcebe G., 2003, Betonarme çerçevelerin betonarme dolgu duvarlarla depreme karşı onarımı ve güçlendirilmesi, Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 26-30 Mayıs İstanbul, Bildiri No: AT-045.
- Ueda T., Kitipornchai S. and Ling K., 1990, Experimental investigation of anchor bolts under shear, ASCE Journal of Structural Engineering, Vol. 116, No. 4, 910-924.
- Whitney, C. S., Anderson, B. G. and Cohen, E., 1955, Design of blast resistant construction for atomic explosions, Journal of the American Concrete Institute, Vol.26, No.7, 589-683.
- Yılmaz, S., 2007, Betonarme binaların yapı dışarısından perde duvarlarla güçlendirilmesi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Mart, 165 s.
- Yılmaz S., Çetinkaya, N., Çalışkan, Ö. ve Çırak, İ. F., 2010, Dış perde duvar ile güçlendirme yönteminde ankraj uygulamalarının deneysel olarak araştırılması, TUBİTAK Araştırma Projesi, Proje No: 107M572, Denizli.
- Yüzügüllü, Ö., 1979, Strengthening of reinforced concrete frames damaged by earthquake using precast panel elements, TUBİTAK Araştırma Projesi Raporu, Proje No: MAG-494, Ankara, Türkiye.
- 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, V.100, No.2, 222-230.

## ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Eskişehir’de doğdu. İlk ve orta öğretimini Yavuz Selim İlkokulu, Mustafa Kemal Lisesi ve Yunus Emre Teknik Lisesi’nde tamamladı. Lisans öğrenimini Osmangazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde 2000 yılında tamamladı. 2000-2003 yılları arasında Anadolu Üniversitesi İnşaat Mühendisliği A.B.D. Yapı Bilim Dalında yüksek lisans eğitimi aldı. 2003 yılında Osmangazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği A.B.D. Yapı Bilim Dalında doktora öğrenimine başladı. 2000 yılından bu yana Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.