

**Dış Perde Duvar İle Güçlendirme Yönteminde Ankraj  
Uygulamalarının Deneysel Olarak Araştırılması**

**Proje No: 107M572**

Yrd. Doç. Dr. Salih YILMAZ

Dr. Nihat ÇETİNKAYA

Dr. Halil NOHUTCU

Arş. Gör. Özlem ÇALIŞKAN

Arş. Gör. İffet Feyza ÇIRAK

MAYIS 2010

DENİZLİ

## ÖNSÖZ

Afet Risklerinin azaltılması insan yaşamı ve sürdürülebilir kalkınma için büyük önem taşımaktadır. Türkiye’de, 1992 Erzincan depremi ile başlayan süreçte neredeyse her 2 yılda bir yıkıcı deprem yaşanmıştır. Birçoğu orta büyüklükteki bu depremler kırsal-kentsel, gelişmiş-gelişmemiş bölge farkı olmaksızın ağır hasarlara ve ekonomik kayıplara sebep olmuştur.

Geçmiş tecrübeler, Türkiye’deki bina stokunun güçlendirilmesine yönelik çalışmaların önemini ve ülkemizin araştırma öncelikleri arasındaki yerini ortaya koymuştur. TÜBİTAK tarafından desteklenen bu araştırma projesi kapsamında hem dış perde duvarların tasarımına yönelik çalışmalar, hem de bu tasarımın önemli bir kısmını oluşturan düşük dayanımlı betonlara yapılacak ankraj elemanlarının davranışına yönelik çalışmalar yürütülmüştür.

Pamukkale Üniversitesi Deprem ve Yapı Teknolojileri Laboratuvarı bünyesinde bu güne değin 200’den fazla kamu yapısının deprem dayanımlarının belirlenmesi ve 100’den fazlasının güçlendirme projelerinin uygulanması işleri tamamlanmıştır. Bu projelerin hazırlanması sürecinde ekibimizin ortak kanaati hep düşük çaplı ankrajların kullanılması yönünde olmuştur. 2007 Deprem Yönetmeliği sonrasında da yaygın uygulamanın aksine yaptığımız bütün çalışmalarda minimum ankraj çapının kullanılmasına dikkat edilmiştir. Proje sonuçlarının uygulama şeklimizin haklılığını da ortaya koyması bizim açımızdan sevindiricidir.

Projenin sonuçları ülkemizde özellikle düşük dayanımlı betonlarda ankraj tasarımına yönelik ciddi sorunların bulunduğunu ortaya koymuştur. Çalışmanın sonuçlarının uygulamaya bir an evvel aktarılması ile daha sağlıklı güçlendirme uygulamalarının ortaya çıkacağını proje ekibi olarak ümit ediyoruz.

Yrd. Doç. Dr. Salih YILMAZ

## TEŞEKKÜR

Proje ekibimize manevi desteklerini ve teşviklerini esirgemeyen, doktora öğrencilerinin proje kapsamında yapılan çalışmalarda görev almasına izin veren Prof. Dr. Hasan KAPLAN'a teşekkürü borç biliriz.

Proje ekibi olarak, laboratuvar çalışmalarında emeği geçen PAÜ Deprem ve Yapı Teknolojileri Laboratuvarı personeli Mevlüt SUNGU, Adnan HAFIZOĞLU ve Süleyman BEYTEMİR'e özellikle teşekkür ederiz.

Düşük dayanımlı betonların üretilmesi için yaptıkları katkılardan dolayı Yrd. Doç. Dr. Hayri ÜN ve İnş. Müh. Nagihan HALDENBİLEN'e ve sayısal analizler konusunda değerli görüşlerini bizimle paylaşan Doç. Dr. Fuat DEMİR'e de şükran borçluyuz.

Ayrıca, projenin çeşitli aşamalarında deney elemanlarının üretiminde gösterdikleri yardımlar dolayısıyla Burç İnşaat, OK-SU Yapı Kimyasalları, Bilgi Zemin ve Yapı Laboratuvarı, Modern Beton, Ölçek Yapı Denetim ve Hadid Makina çalışanlarına da teşekkür ederiz.

Projeye destek sağlayarak laboratuvarımızın faaliyetlerinin sürekliliğine katkı sağlayan TÜBİTAK'a teşekkür eder, projenin izleme sürecinde değerli katkılarını esirmeyen proje hakemine de şükranlarımızı sunarız.

## ÖZET

Deprem bakımından yetersiz binaların güçlendirilmesinde kimyasal ankrajlar sıklıkla kullanılmaktadır. Bu ankrajların kesme performansları diğer güçlendirme yöntemlerinin yanında, özellikle pratik ve ekonomik bir şekilde uygulanabilen dış perde duvar yönteminin başarısı için büyük önem taşımaktadır. Dolayısıyla bu çalışma kimyasal ankrajların çevrimsel kesme dayanımlarının araştırılması, dış-perde duvarların kayma ankrajlarının tasarımı ve ankraj kayma modellerinin geliştirilmesi olmak üzere üç ana bölüme sahiptir.

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  $10\Phi - 20\Phi$  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. Deprem Yönetmeliğinde 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.

Çalışmanın son ayağını ise ankraj kesme kapasitesinin tahmini ve doğrusal olmayan modellenmesi için kullanılmak üzere bir model geliştirilmesi oluşturmaktadır. Elde edilen ankraj kesme deneyi çevrimlerinden zarf eğrileri oluşturularak, ankraj özellikleri ve kayma deplasmanı değerini dikkate alan bir kayma modeli ortaya konulmuştur. Modelin doğrusal olmayan analizler için kullanılabileceği gösterilmiştir.

Bu çalışmanın kapsamı haricinde, hem dış perde hem de ankraj davranışına yönelik çalışmalar PAÜ Deprem ve Yapı Teknolojileri Laboratuvarında devam etmektedir. Çalışmanın devamı niteliğinde eğilmeye çalışan dış perdelere yönelik bir çalışma yapılması faydalı olacaktır. Ayrıca, ankraj kesme kapasitesinde büyük çaplı donatılarda görülen düşüşlerin  $\Phi 20$ 'de büyük donatılar için de çalışılması gereklidir.

**Anahtar Kelimeler:** Dış Perde Duvarlar, Kimyasal Ankrajlar, Kesme Dayanımı, Düşük Dayanımlı Beton, Ankraj Kesme Modeli

## ABSTRACT

Chemical anchors are widely used for seismic strengthening of vulnerable buildings. Shear performance of these anchors are critically important for the success of strengthening works, especially external shear wall strengthening, which offers ease of application and economy. Therefore, these study mainly focused on three areas: investigation of cyclic shear performance of chemical anchors, design of anchors which are used to bond external shear walls and development of a nonlinear anchor shear model.

Firstly, shear behavior of anchors installed into low and normal strength reinforced concrete. The scope of the experiments is ranging between 5 to 25 MPa concrete strength, 12 to 20 mm bar diameter and  $10\Phi$  to  $20\Phi$  embedment depth. 48 reversed cyclic shear tests were performed. All the specimens have anchors located far from free edge to allow steel failure instead of concrete. For this reason, no significant effect of compressive strength of concrete and embedment depth was observed on anchor shear capacity. In view of bar diameter, ultimate shear capacity increases while bar diameter is increased. However, ultimate stress measured was quite lower for larger bar sizes than that of small bar sizes. Consequently, it is suggested to introduce, strength reduction factors for sliding shear method depending on the bar size. In addition, it is recommended to introduce an upper limit for anchor bar size instead of lower limit of 16mm diameter given in Turkish Earthquake Code.

Benefiting from the results of anchor shear tests, the second phase of the study, in which external shear walls connected to frames from low to normal strength concrete with different anchor configurations, was conducted. Anchor configurations were arranged by reducing the anchor amount in each specimen with respect to required anchor amount. These specimens were tested under reversed-cyclic lateral loading. If the anchor capacities were calculated convincingly, amount of anchors embedded to columns can be reduced to 70% of the required amount. In this case, some additional amount of anchors to beam at the top floor level is necessary.

Lastly, an anchor shear model for the estimation of anchor capacity was developed. The model was aimed to be used for nonlinear analysis of buildings with anchor connections. Force-displacement envelopes were obtained form the hysteretic curves of anchor shear tests.

A new anchor shear model, which has inputs of anchor properties and shear displacement, was developed. It is shown that the model can be used for nonlinear analysis.

New research activities are also carried out on both external shear walls and anchor behavior at PAÛ Earthquake and Structural Technologies Laboratory extending the scope of this study. Additionally, it will be valuable to study on flexural external shear walls. Besides, it is necessary to study on reductions of shear capacity for large diameter bars, which have greater diameters than 20 mm.

**Keywords:** External Shear Walls, Chemical Anchors, Shear Strength, Low Strength Concrete, Anchor Shear Model

## İÇİNDEKİLER

1	GİRİŞ .....	2
1.1	Konu .....	2
1.2	Amaç .....	3
1.3	Kapsam .....	4
2	ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	6
2.1	Güçlendirme Yöntemlerine Genel Bakış .....	6
2.2	Betonarme Yapıların Güçlendirilmesi ile İlgili Çalışmalar .....	8
2.3	Ankrajlar ile İlgili Genel Bilgiler .....	16
2.4	Ankrajlar ile İlgili Yapılmış Çalışmalar .....	18
2.5	Ankraj kesme davranışına yönelik sayısal çalışmalar .....	30
2.6	Literatür değerlendirmesi .....	32
3	ÜLKEMİZDE GÜÇLENDİRME ÇALIŞMALARINDA KULLANILAN ANKRAJLAR VE STANDARTLAR .....	35
3.1	Ülkemizdeki Güçlendirme Çalışmaları .....	35
3.2	Ülkemizdeki Ankraj Uygulamaları ile İlgili Gözlemler .....	37
3.3	Standartlar .....	41
3.3.1	Ankraj Kesme Kapasitesi .....	41
3.3.2	ACI 318'e göre kesme kuvveti .....	41
3.3.3	TS500'e göre kesme kuvveti .....	43
3.3.4	ACI318 ve TS500 Kesme Kapasitelerinin Karşılaştırılması .....	43
3.3.5	Ankraj Çekme Kapasiteleri .....	48
4	ANKRAJ KESME DENEY SERİSİ .....	51
4.1	Deney Elemanları .....	51
4.1.1	Geometrik Özellikler .....	51
4.1.2	Deney Parametreleri .....	53
4.2	Malzeme Özellikleri .....	55
4.2.1	Ankraj çubukları (S420b) .....	55
4.2.2	Ankraj çubukları (S420a) .....	56
4.2.3	Kimyasal yapıştırıcı .....	57
4.2.4	Beton .....	60
4.3	Numunelerin Üretimi .....	61



4.4	Deney Düzenegi	63
4.4.1	Yükleme sistemi	64
4.4.2	Veri Toplama	65
4.5	Beklenen Ankraj Kapasiteleri	66
5	ANKRAJ KESME DENEYİ SONUÇLARI	70
5.1	Deney Sonuçları	70
5.2	Yük-Deplasman Davranışı	72
5.3	Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	79
5.3.1	Ankraj Derinliği-Beton Sınıfı Etkisi	79
5.3.2	Ankraj Çapı – Beton Sınıfı Etkisi	80
5.4	Deney Sonuçları ve Beklenen Ankraj Kapasiteleri	83
6	DIŞ-PERDE DENEY SERİSİ	93
6.1	Genel Bilgiler	93
6.2	Deney Serisi	94
6.3	Numunelerin Üretimi	99
6.4	Malzeme Kalitesi	102
6.4.1	S420a ankraj çubukları	102
6.4.2	Kimyasal Yapıştırıcı	103
6.4.3	Beton	104
6.5	Ankraj Yerleşim Planı	104
6.6	Deney Sistemi	107
6.7	Veri Toplama Sistemi	111
7	DIŞ-PERDE DENEY SONUÇLARI	113
7.1	Deney Sonuçları	113
7.2	Deney Kapasitelerin Karşılaştırılması	126
8	ANKRAJ KESME MODELİ GELİŞTİRİLMESİ	131
8.1	ANSYS Modelleri	131
8.1.1	Malzeme Modelleri	132
8.1.2	Model Bilgileri	134
8.2	Regresyon Analizi	140
8.3	Ankraj Kesme Modelinin Dış Perde Modellerinde Kullanılması	142
8.3.1	Yapısal Model Bilgileri	142
8.3.2	Statik İtme Analizi	145

9	ANKRAJ KESME MODELİNİN PERFORMANSI.....	147
9.1	Geliştirilen Kesme Modelleri .....	147
9.2	Model 2 ve Model 8'in Deney Sonuçları ile Karşılaştırılması.....	150
9.3	Geliştirilen Model ile Dış-Perdeli Çerçevelerde Ankraj Davranışının Modellenmesi .....	159
9.4	Dış Perdeli Çerçevelere Ait SAP2000 modellerinin performansı.....	163
10	SONUÇLAR .....	168
11	ÖNERİLER.....	171
12	KAYNAKLAR.....	174

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Eleman iyileştirmesi ile güçlendirme (MOEHLE, 2000) .....	6
Şekil 2.2. Sistem iyileştirmesi ile güçlendirme (MOEHLE, 2000).....	7
Şekil 2.3. Ankraj tipleri .....	17
Şekil 3.1 Tipik bir güçlendirme perdesi boy ve en kesiti.....	36
Şekil 3.2 Kötü yapılmış ankraj örnekleri (A,B: Bozuk yüzeylere yapılmış ankrajlar; .....	38
Şekil 3.3 Epoksi doldurulmamış deliğe yapılan ankrajda kenetlenme yüzeyi.....	39
Şekil 3.4 İskelesiz açılmış ters yönde açılmış delikler.....	40
Şekil 3.5 Paslı donatı ile ekilen ankrajda epoksi ile donatının yapışmaması.....	40
Şekil 3.6 Ankraj göçme modları .....	41
Şekil 3.7 ACI 318 – TS 500 kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması .....	44
Şekil 3.8 Değişen kenar mesafeleri için ACI 318 – TS500 kesme kuvvetleri .....	46
Şekil 3.9 Değişen beton basınç dayanımlarında ACI 318 – TS500 kesme kuvvetleri.....	47
Şekil 4.1. 350x150x40 cm betonarme temel.....	51
Şekil 4.2. Temelin üzerinde ankrajla bağlanan betonarme bloklar .....	52
Şekil 4.3 Deney elemanı ölçüleri .....	52
Şekil 4.4 Deney elemanı kesiti.....	52
Şekil 4.5. 1. grup ankraj deneyleri yerleşim planı.....	53
Şekil 4.6. 2. grup ankraj deneyleri yerleşim planı.....	54
Şekil 4.7. Ankraj çubukları çekme deneyinden görüntüler .....	56
Şekil 4.8. S420a çubuklar için yapılan çekme deneyinden görüntüler .....	57
Şekil 4.9. Uygulanan epoksi esaslı kimyasal yapıştırıcı .....	58
Şekil 4.10 Epoksi basınç deneyi.....	59
Şekil 4.11 Epoksi eğilme deneyinden görüntüler.....	59
Şekil 4.12. Numune alımı ve beton basınç deneyi .....	60
Şekil 4.13. Betonarme temellerin donatıları ve beton dökümü.....	62
Şekil 4.14. Ankraj deliklerinin temizlenmesi .....	62
Şekil 4.15. Ankrajların ekilmesi.....	63
Şekil 4.16. Betonarme blokların donatıları ve beton dökümü.....	63
Şekil 4.17. Deney düzeneğinin kurulumu .....	64
Şekil 4.18 Deney düzeneği yan görünüş .....	64

Şekil 4.19. Deney düzeneğinin perspektif görünümü .....	65
Şekil 4.20 Deplasman yüklemesi .....	65
Şekil 4.21. Ölçüm sisteminden görüntüler .....	66
Şekil 4.22 Ölçüm sisteminin şematik görünümü .....	66
Şekil 5.1 Piston deplasman kapasitesinin sonu .....	70
Şekil 5.2 Deney sırasında alınan bazı görüntüler .....	71
Şekil 5.3 Numunelerin çıkarılmasında oluşan hasar .....	72
Şekil 5.4 Deney sırasında oluşan hasarlar .....	72
Şekil 5.5. C5 temeline ait yük – deplasman eğrileri.....	73
Şekil 5.6. C10 temeline ait yük – deplasman eğrileri.....	74
Şekil 5.7. C16 temeline ait yük – deplasman eğrileri.....	75
Şekil 5.8. C20 temeline ait yük – deplasman eğrileri.....	76
Şekil 5.9 C25 temeline ait yük – deplasman eğrileri.....	77
Şekil 5.10. S420a ankraj elemanlarına ait yük-deplasman eğrileri .....	78
Şekil 5.11 10Φ derinlikte beton sınıfı-ortalama ankraj gerilmesi .....	79
Şekil 5.12 15Φ derinlikte beton sınıfı-ortalama ankraj gerilmesi .....	80
Şekil 5.13 20Φ derinlikte beton sınıfı-ortalama ankraj gerilmesi .....	80
Şekil 5.14 Φ12 çapta beton sınıfı-ortalama ankraj gerilmesi .....	81
Şekil 5.15 Φ16 çapta beton sınıfı-ortalama ankraj gerilmesi .....	81
Şekil 5.16 Φ20 çapta beton sınıfı-ortalama ankraj gerilmesi .....	82
Şekil 5.17 Deney serisinin maksimum ankraj kesme kuvveti değerleri .....	82
Şekil 5.18 Deney serisinin minumum ankraj kesme kuvveti değerleri.....	83
Şekil 5.19 Deney serisinin ortalama ankraj gerilmesi değerleri.....	83
Şekil 5.20 Deneysel kesme kuvveti – TS500 tasarım kesme kuvveti .....	84
Şekil 5.21 Deneysel kesme kuvveti – ACI318 tasarım kesme kuvveti.....	85
Şekil 5.22 C5 temeline ait deney sonuçları ve beklenen kapasiteler .....	86
Şekil 5.23 C10 temeline ait deney sonuçları ve beklenen kapasiteler .....	87
Şekil 5.24 C16 temeline ait deney sonuçları ve beklenen kapasiteler .....	88
Şekil 5.25 C20 temeline ait deney sonuçları ve beklenen kapasiteler .....	89
Şekil 5.26 C25 temeline ait deney sonuçları ve beklenen kapasiteler .....	90
Şekil 5.27 S420a çubuklara ait deney sonuçları ve beklenen kapasiteler .....	91
Şekil 6.1 Güçlendirilmemiş çerçeve.....	93
Şekil 6.2 Güçlendirilmiş çerçeve .....	94

Şekil 6.3 2B çerçeve ölçüleri.....	95
Şekil 6.4 Kiriş ve kolon planı.....	96
Şekil 6.5 Çerçevelerin kolon ve kalıp planları .....	97
Şekil 6.6 Güçlendirme perdelerinin detayı.....	98
Şekil 6.7 Çerçeve kalıbı .....	100
Şekil 6.8 Çerçevelerin beton dökümünden görüntü .....	100
Şekil 6.9 Perde kalıbı .....	101
Şekil 6.10 Perdelerin beton dökümü .....	101
Şekil 6.11 Çerçevelere perdelerin tutturulması .....	102
Şekil 6.12 S420a ankraj çubukları çekme testinden görüntüler .....	103
Şekil 6.13 Çerçevelerde ankraj yerleşim planı – 1 .....	105
Şekil 6.14 Çerçevelerde ankraj yerleşim planı – 2.....	106
Şekil 6.15 2B çerçeve yatay yükleme sistemi .....	107
Şekil 6.16 Çerçeve – piston bağlantısı üst görünüş.....	107
Şekil 6.17 Çerçeve ile piston bağlantısından bir görünüm.....	108
Şekil 6.18 Veren-veren mesnedi ve veren-çerçeve bağlantıları.....	109
Şekil 6.19 Çerçeveye uygulanan aksenal yük düzeneği.....	109
Şekil 6.20 Deplasman yüklemesi .....	110
Şekil 6.21 Perde ve çerçevedeki kılavuz sistemi.....	110
Şekil 6.22 Veri toplama yazılımının çalışması.....	111
Şekil 6.23 Deplasman ölçer yerleşim planı.....	112
Şekil 7.1 C1DE ve C2ED çerçevelerine ait kesme kuvveti-deplasman eğrileri .....	113
Şekil 7.2 Perdenin çerçeveden ayrılmaya başlaması.....	114
Şekil 7.3 Düşük dayanımlı – düşük ankraj oranlı çerçevelerde perde tabanı .....	114
Şekil 7.4 C2 çerçevelerine ait kesme kuvveti-deplasman eğrileri .....	115
Şekil 7.5 Çerçeve ve perdenin birlikte çalışması .....	115
Şekil 7.6 Ankraj oranı yüksek C2 elemanlarda görülen perde eğilme çatlakları.....	116
Şekil 7.7 C3 çerçevelerine ait kesme kuvveti-deplasman eğrileri – 1 .....	117
Şekil 7.8 Kiriş ankraj oranı %0 olan çerçevelerin dış-perdeden ayrışması.....	118
Şekil 7.9 Kolonda konik kopma .....	118
Şekil 7.10 Kirişte konik kopma.....	119
Şekil 7.11 Perdede oluşan konik kopmalar .....	119
Şekil 7.12 C3 çerçevelerine ait kesme kuvveti-deplasman eğrileri - 2 .....	120

Şekil 7.13 %70 ve üstü ankraj oranları olan C3 çerçeveler .....	121
Şekil 7.14 C3 çerçevelerde konik kopmalar.....	122
Şekil 7.15 C3BB elemanında perde tabanında eğilme çatlağı .....	123
Şekil 7.16 C3BB elemanında tabanda kayma .....	123
Şekil 7.17 C3DA+ elemanında eğilme kırılması .....	124
Şekil 7.18 C3DA+ elemanında basınç bölgesinde ezilme başlangıcı .....	124
Şekil 7.19 C3DD elemanında perde ve çerçeve konik kopmaları.....	125
Şekil 7.20 C3DD elemanında kolon ankrajının kopması.....	125
Şekil 7.21 C1 ve C2 çerçevelerine ait zarf eğrileri .....	126
Şekil 7.22 C2 çerçevelerine ait zarf eğrileri .....	127
Şekil 7.23 C3 çerçevelerine ait zarf eğrileri - 1.....	128
Şekil 7.24 C3 çerçevelerine ait zarf eğrileri – 2.....	129
Şekil 8.1. C10 Temel Beton Modeline ait gerilme-şekil değiştirme diyagramı.....	132
Şekil 8.2. C25 Blok Beton Modeline ait gerilme-şekil değiştirme diyagramı .....	133
Şekil 8.3. Ankraj donatısının gerilme-şekil değiştirme grafiği .....	133
Şekil 8.4. Solid 65'e ait sonlu eleman özellikleri.....	134
Şekil 8.5. Solid 45'e ait sonlu eleman özellikleri.....	135
Şekil 8.6. Yüklerin ve mesnetlerin model üzerinde görünümü.....	136
Şekil 8.7. Analiz sonucunda elde edilen ilk ve son adımlardaki çatlak dağılımı .....	138
Şekil 8.8. C10D12L12 Analiz ve deney sonucu elde edilen kapasite eğrileri .....	139
Şekil 8.9. Sap 2000 ile oluşturulan modellerde mafsal ve doğrusal olmayan yayların görünüşü .....	143
Şekil 8.10. Perde eleman için hesaplanan moment-dönme ilişkisi .....	145
Şekil 8.11 İtme şekli ve çatı deplasmanı - taban kesme kuvveti.....	146
Şekil 9.1. Model 2 için eğitim ve test verileri saçılma diyagramları .....	150
Şekil 9.2. Model 8 için eğitim ve test verileri saçılma diyagramları .....	150
Şekil 9.3. C5 beton kalitesi için Model 2, Model 8 ve deney sonucunun karşılaştırılması ...	151
Şekil 9.4. C10 beton kalitesi için Model 2, Model 8 ve deney sonucunun karşılaştırılması .	152
Şekil 9.5. C16 beton kalitesi için Model 2, Model 8 ve deney sonucunun karşılaştırılması .	153
Şekil 9.6. C20 beton kalitesi için Model 2, Model 8 ve deney sonucunun karşılaştırılması .	154
Şekil 9.7. C25 beton kalitesi için Model 2, Model 8 ve deney sonucunun Karşılaştırılması. 155	
Şekil 9.8. Çeşitli beton sınıfları ve S420a donatılar için Model 2, Model 8 ve deney sonucunun karşılaştırılması .....	156

Şekil 9.9. C5 ve C10 için farklı ankraj derinliklerinde Model 2, Model 8 ve deney sonucunun karşılaştırılması .....	157
Şekil 9.10. C16 ve C20 için farklı ankraj derinliklerinde Model 2, Model 8 ve deney sonucunun karşılaştırılması .....	158
Şekil 9.11. C1 ve C2 Modellerinde Ankrajları Modelleyen NLLink Elemanlarının Özellikleri .....	161
Şekil 9.12. C3 Modellerinde Ankrajları Modelleyen NLLink Elemanlarının Özellikleri-1 ..	162
Şekil 9.13. C3 Modellerinde Ankrajları Modelleyen NLLink Elemanlarının Özellikleri-2..	163
Şekil 9.14. C1 ve C2 Deney Elemanlarının Deneysel Zarf Eğrileri ve SAP2000 Kapasite Eğrisi .....	164
Şekil 9.15. C3 Deney Elemanlarının Deneysel Zarf Eğrileri ve SAP2000 Kapasite Eğrisi-1165	
Şekil 9.16. C3 Deney Elemanlarının Deneysel Zarf Eğrileri ve SAP2000 Kapasite Eğrisi-2166	

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Ankraj deneylerinde kullanılan parametreler.....	53
Çizelge 4.2. 1. grup ankraj deneylerine ait detaylar.....	54
Çizelge 4.3. 2. grup ankraj deneylerine ait detaylar.....	55
Çizelge 4.4. Tekrar edilen deneylere ait detaylar.....	55
Çizelge 4.5. Ankraj çubuklarının mekanik özellikleri .....	56
Çizelge 4.6. S420a çubukların mekanik özellikleri.....	57
Çizelge 4.7. Kullanılan kimyasal yapıştırıcının teknik özellikleri.....	58
Çizelge 4.8. Kullanılan kimyasal yapıştırıcının mekanik özellikleri .....	58
Çizelge 4.9. Epoksi deney sonuçları .....	59
Çizelge 4.10. Çalışmada kullanılan beton karışımları (Ağırlıkça).....	60
Çizelge 4.11. Beton basınç dayanımları.....	61
Çizelge 4.12 C5 temelinde beklenen ankraj kapasiteleri (kN).....	67
Çizelge 4.13 C10 temelinde beklenen ankraj kapasiteleri (kN).....	67
Çizelge 4.14 C16 temelinde beklenen ankraj kapasiteleri (kN).....	68
Çizelge 4.15 C20 temelinde beklenen ankraj kapasiteleri (kN).....	68
Çizelge 4.16 C25 temelinde beklenen ankraj kapasiteleri (kN).....	69
Çizelge 4.17 S420a ankrajlarda beklenen ankraj kapasiteleri (kN) .....	69
Çizelge 6.1 C1 ve C2 çerçevelerindeki ankraj alanının gereken ankraj alanına oranı.....	99
Çizelge 6.2 C3 çerçevelerindeki ankraj oranları .....	99
Çizelge 6.3 Ankraj donatılarının mekanik özellikleri .....	103
Çizelge 6.4 Çerçeve deneylerinde kullanılan betonların basınç dayanımları (MPa).....	104
Çizelge 8.1. ANSYS modellerinde değiştirilen parametreler .....	137
Çizelge 8.2. Regresyon yönteminde kullanılan modeller .....	141
Çizelge 9.1. Tek bir ankraj için parametrik modellerin katsayıları ile birlikte gösterimi .....	147
Çizelge 9.2. Eğitim verilerinin performans değerlendirmesi .....	148
Çizelge 9.3. Test verilerinin performans değerlerini gösteren istatistiksel parametreler.....	149
Çizelge 9.4. Önerilen modelin S420a donatıları için ve farklı beton sınıflarında dayanımı..	160



**BİRİNCİ BÖLÜM**  
**GİRİŞ VE GENEL BİLGİLER**

# 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 tüm ülkede 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 çalışma konusudur. 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. Bir ayağı da 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 Yönetmeliğinde 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. 2003, ASLANKARA, vd., 2005, ÖZMEN, 2002). Bu binalara güçlendirme uygulanması kaçınılmaz 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 amaçları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Düşük dayanımlı betonlarda kimyasal ankrajların kesme performanslarının değerlendirilmesi
- Türkiye’de yürürlükte bulunan standart ve yönetmeliklerin kimyasal ankrajlar bakımından değerlendirilmesi
- Ankraj kesme davranışını temsil eden sayısal modellerin geliştirilmesi
- Dış perde duvar ankrajlarının tasarımına yönelik öneriler getirilmesi

Bilindiği gibi, yeni Deprem Yönetmeliği 2007 yılı Mart ayı itibariyle resmi gazetede yayınlanarak 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 Deprem Yönetmeliği sadece TS500’de verilen sürtünme kesmesi formülüne atıf yapmaktadır. Ayrıca, literatürde düşük dayanımlı betonlara yapılan ankrajlarla ilgili çalışmalar da oldukça sınırlı düzeydedir. Dolayısıyla, çalışmanın amaçlarından birisini güçlendirme yapılan binalarda sıklıkla karşılaşılan düşük dayanımlı betonlara yapılan kimyasal ankrajların kesme performanslarının araştırılması

oluşturmaktadır. Özellikle TS500 (2000) sürtünme kesmesi formülünün ankraj kesme dayanımının belirlenmesi açısından kullanılabilirliğinin irdelenmesi çalışmanın temel bir amaçtır. Elde edilen deney verileri ile ankraj kesme davranışına yönelik sayısal modeller geliştirilmesi de hedeflenmiştir.

Bilindiği gibi gerek dolgu perde, gerekse dış perde duvarlar için Türk Deprem Yönetmeliği (2007) 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. Hâlbuki 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 kolon ve kirişin dış yüzeylerine belirli aralıklarla belirli derinlikte, donatı çapında, mesafede, ankraj ekilerek

gerçekleştirilmiştir. 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 S420b betonarme çeliğinden, 6 sı S420a çelik 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 çerçeve deneyleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda, dıştan betonarme perde ile güçlendirmede ankraj uygulamaları ile ilgili önemli bilgilere ulaşılmıştır.

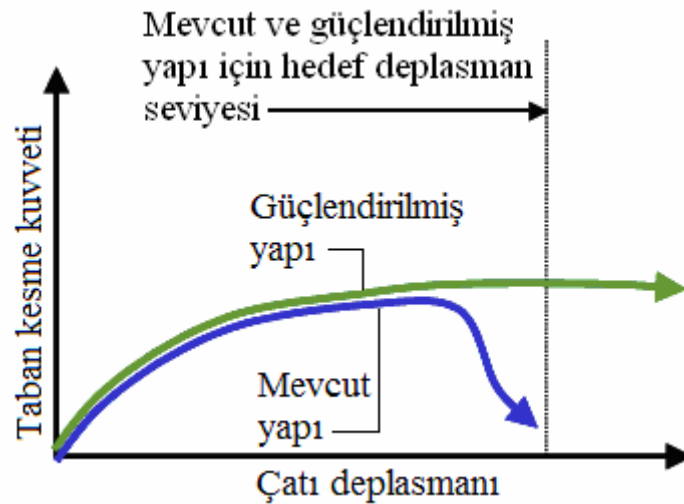
## 2 ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

### 2.1 Güçlendirme Yöntemlerine Genel Bakış

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

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

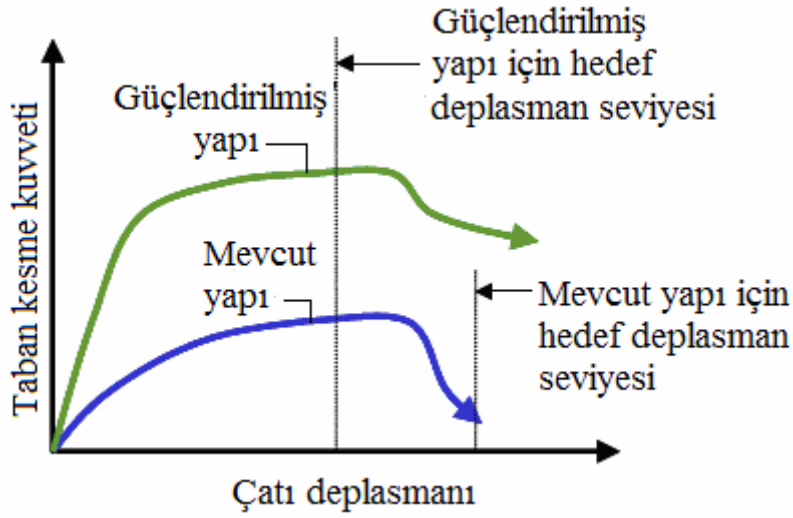
Eleman iyileştirmesinde kapasitesi yetersiz elemanların kapasiteleri veya süneklikleri arttırılarak eleman bazında hasar oluşumu geciktirilir. Eleman iyileştirmesinde elemanın sünek davranışı ile yapı sünekliği arttırılır, yapının yatay yük taşıma kapasitesinde ciddi bir değişim olmaz. Güçlendirme ile 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 arttırılması veya dolgunun kaldırılarak yerine dayanımı ve sünekliği daha yüksek bir dolgu yapılması prensibine

dayanmaktadır. Yapının rijitliđi artırılarak deplasman talebi dűşürűlűr. Sistem iyileűtirmesinde eleman iyileűtirmesinin tersine sűneklikte ciddi bir deđiűim olmaz. Sisteme yeni elemanların eklenmesi ile yapının yatay yűk taűıma kapasitesi arttırılır. Yapının rijitliđi arttıđı iin deplasman talebi azalmaktadır. Eleman iyileűtirmesinin tersine hedef deplasmana ulaűmak yerine hedef deplasmanın kűűltűlmesi sađlanır (űekil 2.2). Tűrkiye’de yaygın olarak kullanılan gűlendirme yűntemi, sistem gűlendirmesidir.



űekil 2.2. Sistem iyileűtirmesi ile gűlendirme (MOEHLE, 2000)

Deprem dayanımı olduka yetersiz yapılarda genelde uygulanan gűlendirme yűntemi, sistem iyileűtirilmesidir. Eleman iyileűtirmesi ise genellikle, az sayıdaki elemanın gevrek kırılması ile yapının hedef deplasman seviyesine ulaűamadıđı durumlarda ekonomik olarak uygulanabilen bir yűntemdir.

Bu alıűmada ortaya konulan dıű perde duvar ile gűlendirme yűntemi bir sistem iyileűtirilmesidir. Literatűr taramasında sistem iyileűtirmesine yűnelik alıűmalara yer verilmiűtir. Gűlendirmede sıklıca kullanılan ve bu alıűmanın da bir konusu olan ankrajlarla ilgili yapılmıű alıűmalara da deđinilmiűtir.

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

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

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

BENJAMIN ve Williams (1958), patlama yüklerine karşı dizayn edilen yapılarda boşluklu çerçevelerin davranışlarını araştırmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda boşluklu dolgulu çerçevelerin davranışının tahmin edilebileceğini, eğilme, kesme ve eksenel 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 vd. (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 vd. (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 vd. (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 arttırılarak, 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 vd. (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 "dolgulu çerçeve" yaklaşımının bir alternatifidir. Dolgulu çerçevenin depreme karşı etkin olarak çalıştığı deneylerle

kanıtlanmıştır. Çalışma kapsamında, dış perde duvarlarla da yapıların deprem dayanımının arttırılabildiği 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, diğeri itme doğrultusunda 217 kN olarak tespit edilmiştir. Tasarımcılara güçlendirme perdeleri tasarlarırken 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 arttırılmasının 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. Yeni inşa maliyeti 300.000 YTL olan bir yurt yapısının, 80.000 YTL harcanarak nasıl güçlendirildiği de çalışmada örneklendirilmiştir.

KALTAKÇI ve Yavuz (2006), deprem davranışı zayıf, yetersiz sismik donatı detaylarına sahip 3 adet 2 katlı ve 2 açıklıklı, 1/3 ölçekli, kolonları yaklaşık  $0.10A_c f_c$  büyüklüğünde aksel yüklerle 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.

KALTAKÇI vd. (2006), yaptıkları çalışmada iki katlı, iki açıklıklı olarak 1/3 geometrik ölçekle modellenen ve ülkemizdeki binalarda oldukça sık rastlanan tasarım ve yapı 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 arası 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 ve 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 vd. (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 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 öngörülmüştür.

ÇETİNKAYA (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, çerçeve 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.

ANIL ve 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.

YILMAZ (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 başarılı 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.

KALTAKCI vd. (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 vd. (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 gözlemlenmiştir. 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**

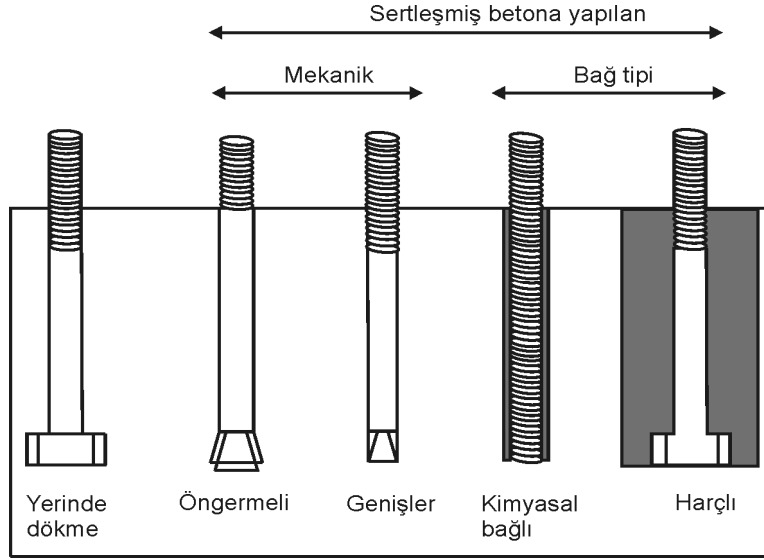
Betona yapılan ankrajlar yerleştirilme zamanı ve şekilleri açısından genel olarak iki ana gruba ayrılmaktadır (Şekil 2.3):

- 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).



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).



Şekil 2.3. Ankraj tipleri

Sonradan yerleştirilen ankrajlarda beton çekip çıkarma kapasitesi, önceden taze betona yerleştirilen ankrajlardan %10 daha düşüktür (MURATLI vd., 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 diş 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 vd. 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 vd. (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 vd. (1992), taze betona ve güçlendirme betonuna yapılan ankrajların yük-deplasman davranışını incelemişlerdir. Çalışmada taze betona ve güçlendirme betonuna yapılan tekil ankrajların statik, yorulma ve darbe çekme yükleri altındaki davranışlarını ve dizaynını araştırmışlardır. Kimyasal (epoksi, poliester ve vinilester), harçlı, genişler ve öngermeli ankraj tiplerinde çalışmışlardır. Çalışma 24 ürünün 178 testini içerir. Kullanılan çap 16 mm, beton basınç dayanımı da 34,5 MPa 'dır.

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

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

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

MCVAY vd. (1996) kimyasal bağlı ankrajların sayısal ve deneysel çalışmalarını yapmışlardır. Deneysel çalışma,  $\Phi 16$  vidalı çubuk ve epoksi amin esaslı bağlayıcı kullanılarak 4 farklı derinlikte (76, 102, 127 ve 152 mm) serbest çekme testini içerir. Kullanılan betonların

basınç dayanımları 39 ile 43,4 MPa aralığındadır. Sayısal çalışma; beton çökme konisinin beton-yapıştırıcı bağ yüzeyinde başladığını ve olası göçme alanlarının aralıklarıyla bölgesel göçme olarak yüzeye doğru yayıldığını göstermiştir. Test edilen derinliklerin her biri için gözlenen göçme konilerinin sayısal tahminlerle oldukça uyumlu olduğunu görmüşlerdir. Kimyasal bağlı ankrajlar için beton-yapıştırıcı bağ arayüzey dayanımı direk kesme testinden yeterli derecede tahmin edilemeyeceğini ve gömme derinliği arttığında beton-yapıştırıcı bağ arayüzündeki kesme gerilmesinin daha çok üniform hale geleceğini ifade etmişlerdir.

PRIMAVERA vd. (1997), taze betona ekilen ve öngermeli ankrajların yüksek dayanımlı betondaki çekme davranışını incelemişlerdir. Beton basınç dayanımı 51,7 MPa ve 82,7 MPa olan yüksek dayanımlı betonlarda önceden ekilen ve sonradan ekilen öngermeli ankrajlar için yük-deformasyon davranışı, göçme koni geometrisi ve çekme kapasitesi üzerine çalışmalar yapmışlardır. Taze betona ekilen ankrajlarda kullanılan 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 açı 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 vd. (1998), yaptıkları çalışmada çatlamamış betonda çekme yüklemesine maruz tekil kimyasal ankrajların dizaynı için kullanışlı bir model önermişlerdir. Beton serbest kenarından uzağa yerleştirilen tekil kimyasal ankrajlar için değişik tasarım modellerini dünya çapındaki veritabanı ile karşılaştırmışlardır. Yazarlar üniform bağ modelinin kullanışlı olduğunu ifade etmişlerdir. Önerdikleri dizayn modelinin ankraj grupları için genişletilmesini ve kenar mesafe etkisini de içermesi gerektiğini bildirmişlerdir.

OBATA vd. (1998), serbest kenara yakın bağ tipi ankrajların çekme dayanımı ve göçme mekanizması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada sonradan yerleştirilen ankraj tipi olan bağ tipi ankrajlar kullanmışlardır. Kullanılan beton basınç dayanımı 24,6 – 28,9 MPa'dır. Kullanılan ankraj civatasının çapı 35 mm dir. Serbest kenar etkisindeki bağ tipi ankrajların davranışını hem analitik hem de deneysel olarak incelemişlerdir. Koni göçme

dayanımını tahmin etmek için yeni bir metot önermişlerdir. Gerilme konisinin dayanımını hesaplamak için iki farklı varsayım kullanmışlardır. Biri ACI 349-85 (1985)'e göre beton göçme yüzeyinde üniform gerilme dağılımı ve diğeri de kritik yükteki kararsız çatlak büyümesidir. Doğrusal göçme mekanizmasının derinliğin 1,5 katı ile orantılı olduğunu göstermişlerdir.

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

LOTZE vd. (2001), çekme ve kesme yüklemesi kombinasyonu altında ankrajların statik davranışlarını incelemişlerdir. 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 vd. (2001), kenara yakın tekil ve çift ankrajların statik ve dinamik davranışı (150 test) üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışma kapsamında kullanılan beton basınç dayanımı 32,4 MPa'dır. Tekil ankrajların kenar mesafesi 100 mm, çift ankrajların kenar mesafeleri 100 ve 300 mm, ankrajlar arası mesafe ise 200 mm'dir. Çatlak betondaki kapasitenin çatlamamış beton durumları ile karşılaştırıldığında %18 daha düşük olduğunu gözlemlemişlerdir.

COOK ve Konz (2001), kimyasal ankrajların bağ dayanımına etki eden çeşitli faktörleri araştırmak için kapsamlı bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışma farklı 12 üreticiden 20 farklı ürünün toplamda 765 testini içerir. Temizlenmiş, kuru deliklere yerleştirilen ankrajların oda sıcaklığındaki performansları referans bağ dayanımı olarak alınmıştır. Kullanılan 20 farklı ürünün 14'ü epoksi, 6'sı ester esaslıdır. İki farklı kalitede beton (17,2 MPa ve 37,9 MPa) kullanmışlardır. Sıcaklık etkisinin ankraj dayanımında oluşturduğu değişikliği incelemek için oda sıcaklığı ve 43°C olmak üzere iki farklı sıcaklıkta ankraj çekme deneyleri yapmışlardır. 20 farklı ürünün referans bağ dayanımlarının ortalaması 15,4 MPa olarak bulunmuştur. Epoksi esaslı ürünlerin ortalama dayanımları 18,4 MPa, ester esaslı ürünlerin ise 8,3 MPa'dır. Sonuçlar derlendiğinde nemli yüzeylere yapılan ankrajlarda oluşan yapışma dayanımı, kuru ve temiz yüzeylerde bulunan referans bağ dayanımlarının ortalama %77'si ve ıslak yüzeylerde oluşan bağ dayanımı ise referans dayanımının 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 oluştuğu, 22 mm çaplı donatıların bunu izlediğini ve en küçük aderans gerilmesinin 18 mm'lik donatılarda oluştuğunu gözlemlemişlerdir.

FUJIKAKE vd. (2003), çekme yüküne maruz kalmış kimyasal bağlı ankrajlar üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, hızlı çekme yüküne maruz kimyasal ankrajların nihai çekme direnci üzerine yüklemenin etkileri araştırılmıştır. 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 vd. (2003), tekil, başlıklı ve başlıksız harçlı ankrajların çekme yükü altında dizaynı ve davranışı üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmanın amacı harçlı ankraj tipleri için makul bir dizayn geliştirmek ve çekme yüklerindeki davranışlarını belirlemektir. Çalışmada 3 polimer harcı ve 6 çimento harcı kullanılarak yerleştirilen başlıklı başlıksız ankrajlarda 237 adet çekme testini kapsar. Kullanılan betonun basınç dayanımı 30 ile 64 MPa aralığında, çaplar ise 15,9-19,1 ve 25,4 mm'dir. Efektif gömme derinliği de 76 ile 178 mm aralığında değişmektedir. Başlıksız harçlı ankrajlarının davranışının kimyasal ankrajlara, başlıklı harçlı ankrajlarında yerinde dökülmüş başlıklı ankrajlara benzediğini gözlemlemişlerdir. Bazı ürünler için harç-beton arayüzünde bağ göçmesinin olası olduğunu ve göz önünde bulundurulması gerektiğini ifade etmişlerdir.

SHIRVANI vd. (2004), betondaki ankrajların çekme kapasitesini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada, çatlamış ve çatlamamış betondaki statik ve dinamik 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 metot. 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.

MURATLI vd. (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.

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

SEYHAN (2006) yaptığı tez çalışmasında Türkiye'de mevcut yapıları temsil etmek üzere seçilen düşük dayanımlı bir beton içerisine 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 vd. (2006), kimyasal bağlı ankrajların dizaynını içeren bir davranış modeli kurmak için kapsamlı nümerik ve deneysel bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada, davranış modelini kimyasal ankraj gruplarının 415 testini ve serbest kenara yerleştirilen kimyasal ankrajların 133 testini içeren dünya çapındaki veritabanı ile karşılaştırmışlardır. Ankraj gruplarında 16 MPa, kenara yakın tekil ankrajlarda ise 21,8 MPa basınç dayanımındaki betonlarda deneyler yapmışlardır. Kullanılan ankraj çapı 8 ile 24 mm aralığındadır. Karşılaştırma sonucunda davranış modelinin grupların deneysel sonuçları ile uyumlu olduğunu gözlemlemişlerdir. 415 test için %15,4 lük varyasyon katsayısı ile test/tahmin ortalama değerini 0,99 bulmuşlardır. Kimyasal ankrajların kritik aralık ve kritik kenar mesafesinin ankraj gömme derinliğine değil, ankraj çapına ve bağ dayanımına bağlı olduğunu ifade etmişlerdir. Kenara yakın tekil ankrajların 133 testi ile karşılaştırıldığında da önerilen davranış modelinin tutucu olduğunu gözlemlemişlerdir.

GÜRBÜZ vd. (2007), farklı dayanımlarda iki tip beton blok içerisine, iki farklı tipte kimyasal yapıştırıcı kullanılarak, ankre edilen donatı çubukları üzerinde, ankraj derinliğinin (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 10 $\Phi$  ankraj derinliklerinde ankraj donatısı akma dayanımına ulaşmadan erken göçme meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Her iki kimyasal malzemede

de aksel 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 vd. (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, aksel 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 aksel çekme deneylerinde göçme donatı akma gerilmesine ulaşmadan gerçekleşmiştir. Ankraj derinliğinin üst bölümünde bağız bırakılan serbest bölge beton konisi oluşumunu engellemiştir. Temizlenmemiş numunelerde ankrajın aksel yük kapasitesi temizlenmiş ankrajlara oranla % 40’lara varan düşüş, nemli yüzeylere uygulanan ankrajlarda da % 30 oranında azaldığını gözlemlemiştir. Deneylerdeki 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 bağı 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 bağı derinliği bulunan kısmi bağı 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 bağı numunelerde 9 MPa dolayında bulunmuştur. Kısmi bağı olarak tasarlanan ankraj numunelerinin sıyrılma ile göçtüğü görülmüştür. Kısmi bağı ankrajların aynı bağı derinlikte; tam bağı ankrajlara oranla çok yüksek göçme dayanımlara ulaştığını gözlemlemiştir. Aynı tasarım yükleri için tam bağı yerine kısmi bağı üretilecek ankrajlar, ankraj yapısının en pahalı elemanı olan kimyasal yapıştırıcının sarfiyatında önemli tasarruf sağlayacaktır. Ancak kısmi bağı 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 yarılmaması 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 ve 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 bağı 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 Ankraj kesme davranışına yönelik sayısal çalışmalar**

FABBROCINO vd. (2005) betonarme binaların büyük bir kısmının 40 yıllık ve hatta daha eski olduğunu dikkate alarak, belirli sismik kurallar dışında tasarlanmış olan mevcut betonarme çerçevelerin doğrusal olmayan analizleri için kancalı uçlara sahip düz boyuna donatıların sıyrılma davranışlarının modellenmesi konusunda çalışmışlardır. Bu amaçla kancalı şekilde kenetlenen donatılar üzerinde çekme deneyleri gerçekleştirilerek kanca bölgesi için bir gerilme şekil değiştirme bağıntısı, bunun yanında düze kenetlenen kısım için de bir kayma modeli oluşturmuşlardır. Araştırmacılar, kancanın yerleşim şeklinin sıyrılma davranışına etkisini tartışmışlar, aynı zamanda donatının akması sonrasında pekleşme başlangıcında kadar plastik sıyrılma davranışının gözlenmediğini belirtmişlerdir. Önerilen modelin 180 derece kancalarla kenetlenen donatıların sıyrılma davranışının modellenmesi için kullanılabileceği iddia edilmiştir.

SAKLA ve 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, ađ 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.

ASHOUR ve Alqedra (2005), yapay sinir ağları kullanılarak çekme etkisindeki tekil ankrajların beton koparma kapasitesini incelemişlerdir. Önceden taze betona ve sonradan sertleşmiş betona yerleştirilen mekanik ankrajların çekmede beton koparma kapasitesini değerlendirmek için ileri beslemeli yapay sinir ağı modeli sunmuşlardır. Yapay sinir 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 formulasyon ile uyumlu olduğunu gözlemlemişlerdir.

ALQEDRA ve 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.

MALLÉE ve Pusill-Wachtsmuth (2007), modern ankrajları yüksek performansla kullanabilmek için, yüklerin çeşidini (kesme, kayma, birleşik kesme ve kayma) dikkate almak gerektiğini savunmuşlardır. Kayma yükleri altında üç ayrı hasar şekli tespit edilmiştir. Bunlar, donatı hasarı, yükten uzak bölgede oluşan beton hasarı ve kenar bölgede oluşan beton hasarıdır. Bu çalışmada yüklemeler farklı açılarla delik bölgesinin temizlendiği ve temizlenmediği durumlar da dikkate alınarak uygulanmış ve ankrajın kenarlara olan mesafesinin ne kadar etkili olduğu ve iyi sonuçlar elde etmek için ne gibi yöntemler kullanılabileceğinden söz edilmiştir. Tasarım aşamasının ilk adımında, statik kurallar dahilinde kayma yüklerinin ve burulma momentlerinin grup şeklindeki ankrajlardan yalnızca bir tanesinin üzerindeki dağılımı belirlenmiştir. İkinci adımda ankrajın üzerine gelen kayma yükleri deliğe paralel ve dik olarak ayrılmış, deliğe paralel yükler delik yönünde davranış gösteren yüklerle değiştirilerek ve ayrıca bu yükler yönleri de dikkate alınarak deliğe dik yöndeki bileşene de eklenmiştir. Bütün bu çalışmalar sonucu elde edilen tasarım metodu, literatürde bulunan diğer sonuçlar ile karşılaştırılmış ve uyum içerisinde olduğu gözlenmiştir.

YILMAZ (2007) mevcut yapıların dış-perde duvarlarla güçlendirilmesi konusunda yaptığı tez çalışmasında perde tabanına kimyasal ankraj olarak ekilen donatıların sürtünme kesmesi davranışını modellemek üzere ACI318 (1981) ve TS500 (1984, 2000) sürtünme kesmesi kapasitesini esas alan bir yöntem önermiştir. Üç boyutlu iki adet dış perde ile güçlendirilmiş yapı numunesi tersinir-tekrarlı yükler altında denenmiştir. Yapılan deneylerde perde tabanında ortaya çıkan sürtünme kesmesi davranışın önerilen yöntemle modellenebileceği iddia edilmiştir.

## **2.6 Literatür değerlendirmesi**

Literatürdeki yapılmış 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 kullanılmaz, işlevi aksar. 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). Benzer uygulamalar ülkemizde de yaygınlaşmakta olup, Denizli Devlet Hastanesi İdari binası 2008 yılında kullanımı devam ederken dış prefabrik perdelerle güçlendirilmiştir (KAPLAN vd., 2008).

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 içlerinde Pamukkale Üniversitesi’nin de bulunduğu 6 üniversitenin ortaklığında deneysel ve analitik çalışmalar yapılmıştır (ATIMTAY vd 2003-2007, KAPLAN vd 2006d, KAPLAN vd., 2009). Dış perde duvarlar konusunda Pamukkale Üniversitesi Deprem ve Yapı Teknolojileri Laboratuvarındaki çalışmalara bu TÜBİTAK projesi kapsamında devam edilmiştir.

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 önemi bire kez daha ortaya çıkmış ve yeni yönetmelik çalışmalarında mevcut yapıların incelenmesi ve güçlendirilmesi için ayrıca bir bölüm ayrılmıştır. Yeni Deprem Yönetmeliği 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 pek çok güçlendirme

yönteminde kullanımı gereken ankrajlar konusunda Deprem Yönetmeliği sadece TS500'de verilen sürtünme kesmesi formülüne atıf yapmaktadır. Bu durum literatürde düşük dayanımlı beton elemanlara yapılan ankrajlar konusundaki çalışmaların istenen düzeyde bulunmamasından kaynaklanmaktadır. Düşük dayanımlı betonlara yapılacak kimyasal ankrajların davranışı ve tasarımı konusunda uygulamacılara daha kapsamlı veri sunulması kaçınılmazdır.

Bilindiği gibi çerçeve elemanları arasına yapılan dolgu perdeler, ankrajlar yetersiz bile olsa çerçevenin ötelenmesini engelleyecek bir çaprazlama etkisi oluşturabilirler. Halbuki, dış perde gibi yöntemlerde, yöntemin başarısı tamamen ankrajların doğru bir şekilde tasarlanarak uygulanmasına bağlıdır. Bu tür yöntemlerin hayata geçmesi ile birlikte düşük dayanımlı betonlara ekilen kimyasal ankrajların davranışı daha da önemli hale gelmiştir. Ayrıca, tekil bir ankraj davranışının yanında dış perdenin bütünü için ankraj tasarımına yönelik bir çalışma gerekliliği de ortaya çıkmıştır.

Bu çalışma ile hem düşük dayanımlı betonlarda kimyasal ankrajlarının kesme davranışlarının ortaya koyulması hem de dış-perde ankrajlarının tasarım yöntemine ilişkin öneriler getirilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca, deneyler sonunda elde edilen verilerle doğrusal olmayan yapısal analizlerde kullanılmak üzere bir ankraj kayma modeli de geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu model ile de literatürdeki önemli bir eksikliğin tamamlanması hedeflenmiştir.

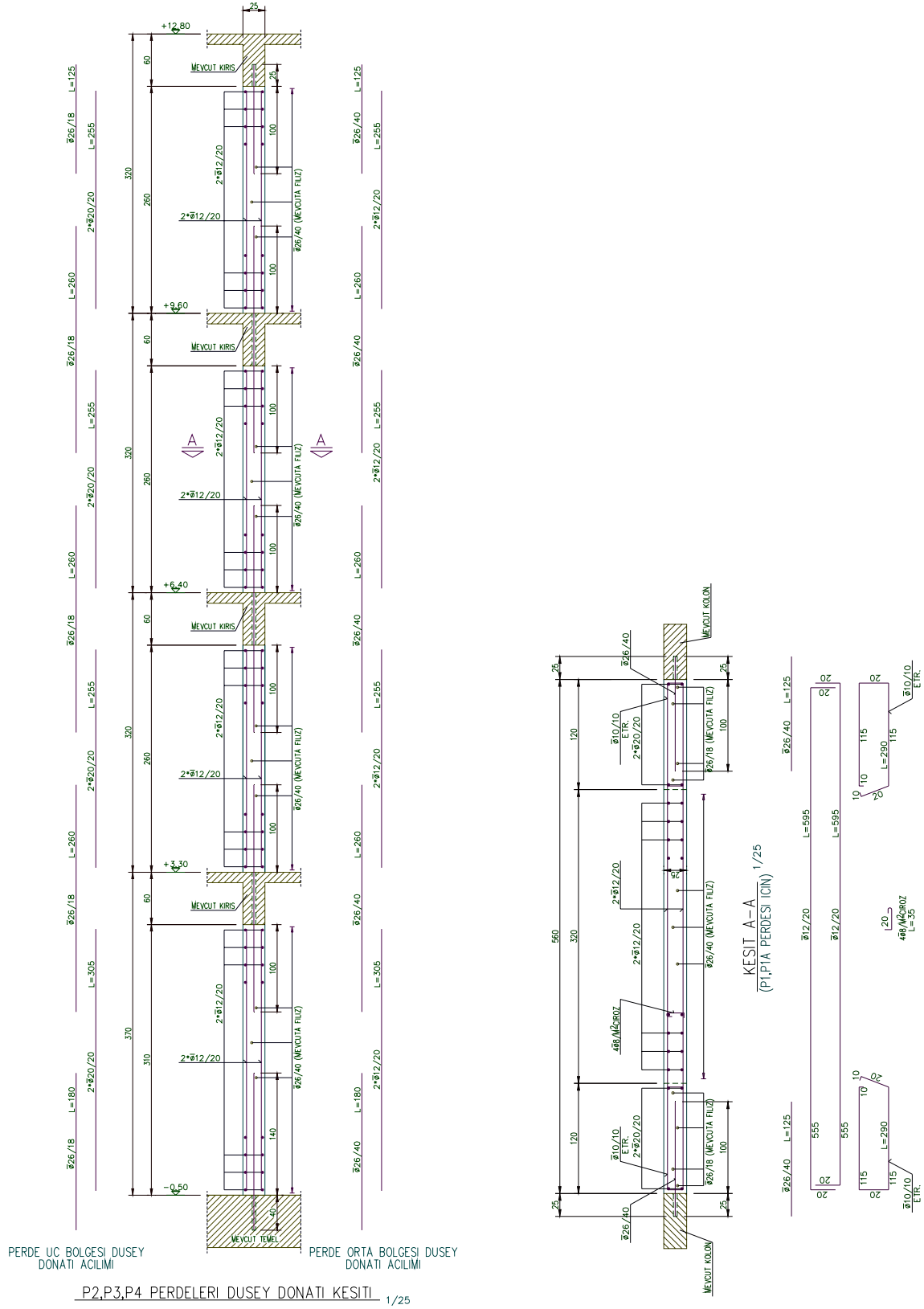
### 3 ÜLKEMİZDE GÜÇLENDİRME ÇALIŞMALARINDA KULLANILAN ANKRAJLAR VE STANDARTLAR

#### 3.1 Ülkemizdeki Güçlendirme Çalışmaları

Bilindiği gibi mevcut binaların deprem bakımından incelenmesi ve gerekli ise güçlendirme projelerinin hazırlanması, titiz bir çalışma ve deneyim gerektirmektedir. Aynı proje ile inşa edilmiş olsa bile her bina ayrı bir vakadır. Çünkü binanın daha yapımında başlayan projeden farklılıklar, kullanım ömrü boyunca maruz kaldığı dış etkilerle birlikte her yapıyı farklı bir hale getirmektedir. Bu sebeple, yapıdan yetersiz bilgi toplanarak, detaylı analiz ve değerlendirmeler yapılmadan ortaya konulan güçlendirme projeleri faydadan çok zarar da getirebilir. Diğer yandan ülkemizde bu konuda gerek şantiyedeki uygulamacıların gerekse tasarım mühendislerinin yeterli bilgi ve donanıma henüz kazanmadıkları görülmektedir.

Deprem davranışı hakkında yeterli bilgi ve tecrübeye sahip olmadan hazırlanan bu tür projelerde mühendis adeta tasarım programının esiri haline gelmekte, programın her türlü hatasını sorgulamadan kabul etmek zorunda kalmaktadırlar.

Bilindiği gibi ülkemizde en sık kullanılan güçlendirme yöntemleri betonarme dolgu perde uygulaması ve betonarme mantodur. Güçlendirme projelerinde sıklıkla karşılaşılan tipik bir perde detayı Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi perdede başlık bölgesi teşkil edilmiştir. Başlık bölgesinde  $\Phi 20/20$  boyuna donatı ve  $\Phi 10/10$  etriye kullanılmıştır. Perdenin gövdesinde ise hem yatay hem düşey donatı olarak  $\Phi 12/20$  donatı kullanılmıştır. Perde ile mevcut çerçeve bağlantısı  $\Phi 26$  çaplı ankrajlarla sağlanmıştır. Kolonlarda  $\Phi 26/35$  veya  $\Phi 26/40$  ankrajlar kullanılmıştır. Kirişlerde ise, gövdede  $\Phi 26/35$  veya  $\Phi 26/40$  ankrajlar, başlık bölgesinde  $\Phi 26/18$  ankrajlar tek sıra olarak kullanılmıştır. Projede öngörülen ankrajlar yönetmelikte dolgu perde ile güçlendirme için verilen “başlık bölgesindeki boyuna donatıların sürekliliği her durumda sağlanacaktır” hükmüne açıkça aykırıdır.



Şekil 3.1 Tipik bir güçlendirme perdesi boy ve en kesiti

Ayrıca, boyuna donatı ile yeterli kenetlenmeyi sağlaması mümkün olmayacak şekilde perde ortasında yerleştirilen ankrajlar boyuna donatı sürekliliği için değil, sadece sürtünme kesmesinin engellenmesi için projelendirilmiş gibidir. Donatı sürekliliği sağlanmayan bu perdeler en fazla çerçeve arasına yerleştirilmiş kuvvetli diyagonal basınç çubukları gibi çalışabilecek, sünek eğilme davranışı gösteremeyeceklerdir.

Detayı örneklenen perdenin boyuna donatıları temele kenetlenmediği için ve katlar arasında süreklilik sağlanamadığı için perdenin projelendirme aşamasında dikkate alınan moment kapasitesine ulaşabilmesi mümkün değildir. Bu detay hatalarının sonucunda güçlendirilmiş yapının taşıyabileceği deprem kuvveti projelendirmede dikkate alınandan çok daha düşük olacaktır. Tasarım depreminin gerçekleşmesi durumunda bu detaylarla üretilen perdelerde olması istenenden daha fazla hasar oluşması beklenebilir.

### **3.2 Ülkemizdeki Ankraj Uygulamaları ile İlgili Gözlemler**

Betona sonradan ekilen ankrajlar özellikle ülkemizdeki güçlendirme uygulamalarındaki artışa bağlı olarak son yıllarda sıklıkla kullanılmakta ancak, uygulama şeklinin bilinmemesinden ve ayrıca, betonarme davranış bilgisinin eksikliğinden kaynaklanan uygulama hataları ile de sıklıkla karşılaşılmaktadır.

Ülkemizde yapılan kimyasal ankraj uygulamalarında genellikle maliyeti düşürmek üzere büyük çaplı donatıların tercih edildiği görülmektedir. Ayrıca, ankraj uygulanan pek çok betonarme elemanın beton kalitesi çok düşüktür ve bu elemanlardan bir bölümü de yapının servis ömrü boyunca ciddi hasarlar görmüştür. Ancak ankraj ekimi esnasında bu elemanlardaki hasar durumları dikkate alınmadığı gibi ankraj ekimi için yanlış açılan deliklerle de bu elemanlara ciddi hasarlar verilebilmektedir. Şekil 3.2’de dayanımı düşük betonlara yapılmış bazı yanlış uygulamalar verilmiştir. Buralarda ankrajların bozuk yüzeylere ekilebildiği ve kenar mesafeleri az ankrajların ekimi esnasında eleman serbest kenarında hasarların oluşabildiği görülmektedir.



Şekil 3.2 Kötü yapılmış ankraj örnekleri (A,B: Bozuk yüzeylere yapılmış ankrajlar; C: Çatlağa yakın yapılmış ankraj; D: Çekme deneyinde betonu çatlatan ankraj ( $\Phi 26$ ))

Doğru bir uygulamada kuru-yağsız kompresör ile deliklerin temizlenmesinden sonra tekrar içine su, toz, vb. almaması için delik ağzı filiz ekimine kadar geçici olarak kapatılır. Donatının deliğe yerleştirilmesi öncesinde delik içerisine kimyasal yapıştırıcı yarıya kadar doldurulur. Donatı çubuğu üzerine de yapıştırıcı malzeme sürülerek delik içerisine üzerindeki dişlerin yönüne uygun şekilde döndürülerek yerleştirilir. Uygulama sonunda delikteki

kimyasal yapıştırıcının delikten taşıdığı görülmelidir. Deliğe yerleştirilen ankraj donatısı delikten tekrar çıkarıp, sokulmamalı, uygulama tek seferde tamamlanmalıdır.

Pek çok uygulamada deliklerin epoksi ile yeterince doldurulmadan sadece donatı etrafına epoksi sürülerek ankraj ekimlerinin yapıldığı da bilinen bir gerçektir. Bu şekilde ekilmiş bir ankraj donatısının çekilmiş hali Şekil 3.3'te görülmektedir. Donatı yüzeyindeki epoksinin deliğin çok büyük bir kısmına temas etmediği görülmektedir.



Şekil 3.3 Epoksi doldurulmamış deliğe yapılan ankrajda kenetlenme yüzeyi

Bazı uygulamalarda delik içerisindeki yapıştırıcının dışarı akmasına sebep olabilecek, Şekil 3.4'te gösterildiği gibi ters eğimli deliklerle de karşılaşılabilir. Ankraj ekimi esnasında iskele kullanılmasından kaçınılması uygulamayı zorlaştırmakta ve kaliteyi düşürmektedir. Ayrıca, kullanılan donatının paslanmış olması gibi etkenlerle de ankraj

dayanımı azalabilmektedir. Şekil 3.5'te gösterilen ankraj donatısının ekim sonrasında kırılması sonucunda epoksi ile yapışmadığı ortaya çıkmıştır.



Şekil 3.4 İskelesiz açılmış ters yönde açılmış delikler



Şekil 3.5 Paslı donatı ile ekilen ankrajda epoksi ile donatının yapışmaması



### 3.3 Standartlar

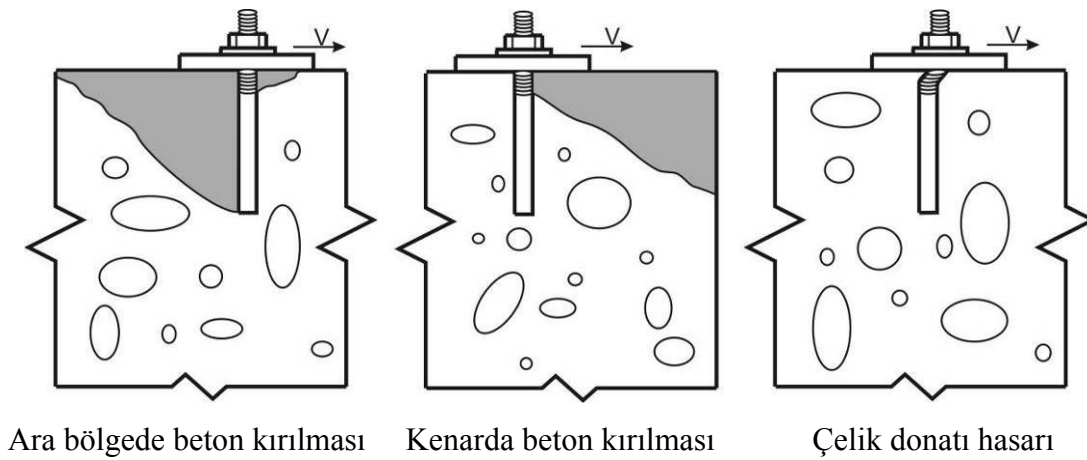
#### 3.3.1 Ankraj Kesme Kapasitesi

Literatürde ankrajların kesme dayanımı ile ilgili çalışmalar beklenen hasar türüne göre farklı değerler verebilmektedir. Beton hasarını ön plana alan yöntemler CCD Metodu (FUCHS vd., 1995), 45 ° Koni Metodu (MURATLI vd., 2004) ve Muratlı vd. (2004) yöntemleri olarak sıralanabilir.

Modern betonarme standartlarında ankraj dayanımları beton ve çelik hasar türlerinin tümünü birden içine alan yaklaşımlarla belirlenmektedir. ACI ve Eurocode'da kullanılan yöntemler CCD Yöntemini esas almaktadır.

#### 3.3.2 ACI 318'e göre kesme kuvveti

ACI 318 ankraj kesme kapasitesine erişildiği nihai durum için 3 farklı göçme modu tanımlamaktadır: kenar ve ara bölgelerde beton kırılması ile çelik hasarı. Bu göçme modları Şekil 3.6'da 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 dayanımı belirlediği genel olarak ifade edilebilir.



Şekil 3.6 Ankraj göçme modları

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

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

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

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  $k_{cp}=1.0$  for  $h_{ef}<65$  mm  
 $k_{cp}=2.0$  for  $h_{ef}\geq 65$  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 yukarıda verilen ankraj

kapasiteleri S420b (sünek) betonarme çeliğinden olan çubuklar için 0.65, S420a (gevrek) çelik çubuklar için ise 0.75 düzeltme katsayısı ile çarpılır.

### 3.3.3 TS500'e göre kesme kuvveti

Yukarıda verilen ACI 318 yöntemi ile TS500 sürtünme kesmesi formülünün ankraj kesme kapasitesinin belirlenmesi için kullanılması karşılaştırıldığında, TS500'e göre ankraj kesme dayanımının belirlenmesi durumunda sadece donatının göçme şeklini dikkate alan bir formülasyon kullanılmaktadır. Tekil ankrajın kesme kapasitesinin ( $V_r$ ) belirlenmesi için TS500 formülü Denklem 9'da verilmiştir.

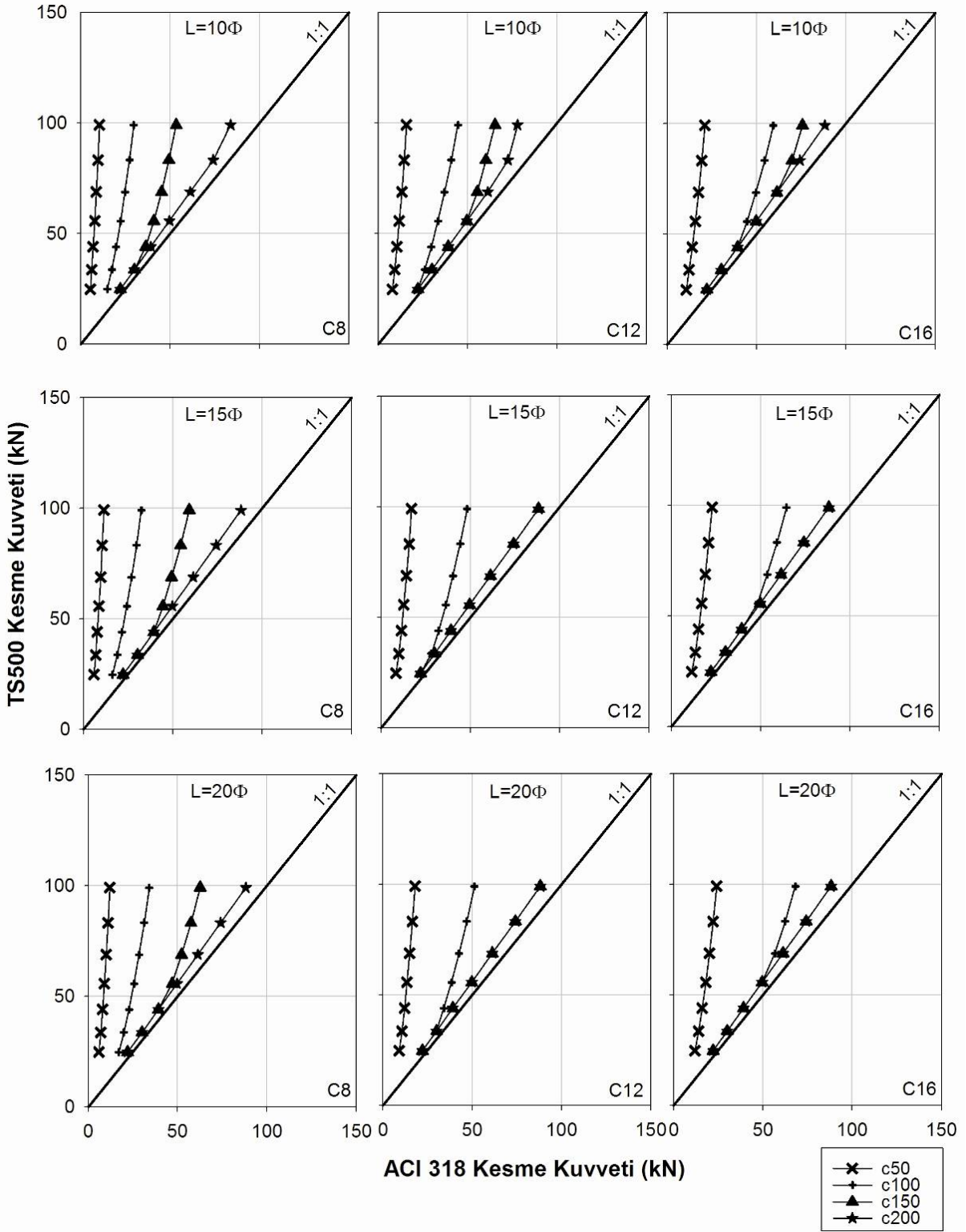
$$V_r = \mu \cdot A_s \cdot f_{yd} \quad (9)$$

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

Burada sürtünme katsayısının alabileceği en küçük değer 0.6 olarak verilmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada  $\mu=0.6$  kullanılarak TS500 ankraj kapasiteleri belirlenmiştir. Malzeme katsayıları kullanılarak belirlenen bu dayanım değeri tasarım dayanımına karşılık gelmektedir.

### 3.3.4 ACI318 ve TS500 Kesme Kapasitelerinin Karşılaştırılması

Ankraj hasarının beton kaynaklı olması durumu bu proje kapsamının dışında olmasına rağmen, Türk Deprem Yönetmeliği (2007) yaklaşımı ile ACI318 yönteminin farklarının ortaya koyulması da önem arz etmektedir. Bu amaçla farklı çap, derinlik ve kenar mesafesine sahip ankrajların tasarım kesme kapasiteleri C8, C12 ve C16 dayanım düzeyindeki betonlara ekildiği durumlar için TS500 sürtünme kesmesi yöntemi ve ACI318'e göre hesaplanarak Şekil 3.7'de kıyaslanmıştır. Verilen grafiklerde eğriler üzerindeki her bir nokta farklı çapta bir donatıyı göstermektedir. Ankraj çapları aşağıdan yukarıya doğru sırası ile 12, 14, 16, 18, 20, 22 ve 24 mm'dir.



Şekil 3.7 ACI 318 – TS 500 kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması

Grafikte de görüldüğü gibi ACI318 dayanımı her durumda TS500 sürtünme kesmesi ile bulunan dayanım değerinden daha küçüktür. Dayanım grubu C8 olan betonlara ekilen ve

kenar mesafesi 200 mm olan ankrajlar için TS 500 tasarım dayanımı ile ACI318 yöntemine göre belirlenen dayanım değerleri birbirine oldukça yakındır. C12 ve C16 beton sınıfı için değerlendirdiğimizde kenar mesafesi 150 mm ve üzerindeki ankrajlar için TS500 dayanımları ile ACI318 dayanımları birbirine oldukça yakındır. Ancak, bu değerlerde bile büyük çaplı ankrajların dayanımının ACI318'e göre azaldığı görülmektedir.

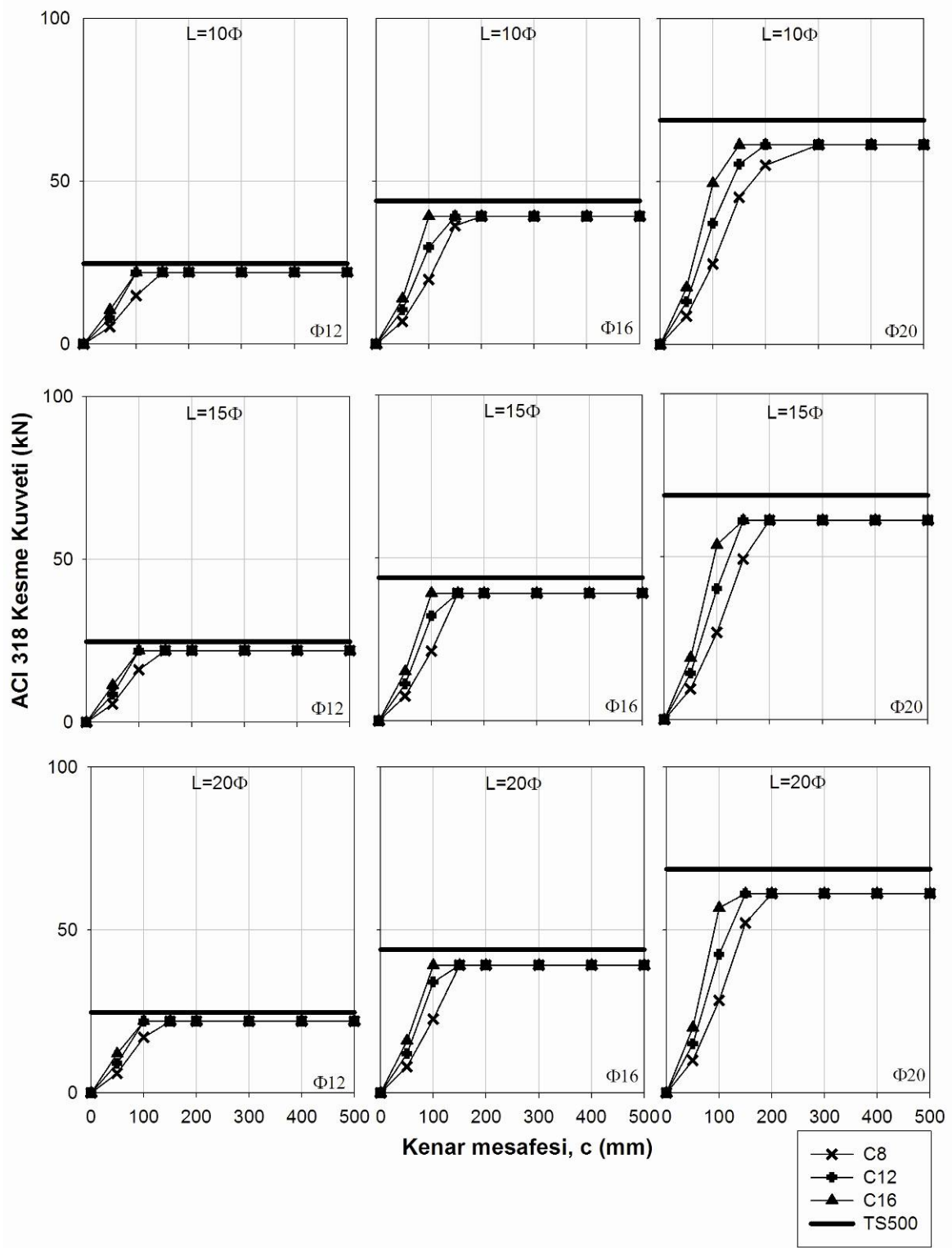
Şekil 3.8'de değişen kenar mesafelerinde ACI 318 ve TS 500 değerleri verilmiştir. Bu grafikler üç farklı gömülme derinliği (10Φ, 15Φ ve 20Φ) ve üç farklı donatı çapı (12, 16 ve 20 mm) için verilmiştir. TS 500 için ankraj çapı değişmediği sürece kesme dayanımı sabit kalmaktadır. Diğer yandan ACI318 yöntemi ile serbest kenara olan uzaklık, beton dayanımı, donatı çapı ve gömülme derinlikleri kesme dayanımını doğrudan etkilemektedir. Ankrajın kenara yakın olduğu durumda, beton kaynaklı göçme şekilleri dayanımı belirlemektedir. Genel itibariyle 200 mm ve üzerinde serbest kenar mesafesine sahip ankrajların kapasitesini donatının belirlediği, 100 mm ve altında serbest kenar mesafeleri için beton kapasitesinin etkili olduğu görülmektedir. Bu aralıktaki değerler için beton dayanımı, çap ve derinliğe bağlı olarak bazen donatı bazen de beton hasarı kapasiteyi belirlemektedir.

Şekil 3.9'da 25 MPa'dan küçük beton basınç dayanımlarında ACI 318 ve TS 500 için tasarım ankraj kesme kapasiteleri verilmiştir. Bu grafikler üç farklı gömülme derinliği (10Φ, 15Φ ve 20Φ) ve üç farklı donatı çapı (12, 16 ve 20 mm) için verilmiştir. Kenar mesafesinin 50 mm olduğu durumda beton kalitesi artsa bile TS500 sürtünme kesmesi ile bulunan ankraj kapasiteleri ACI318 kesme kapasitelerinin oldukça altında kalmaktadır.

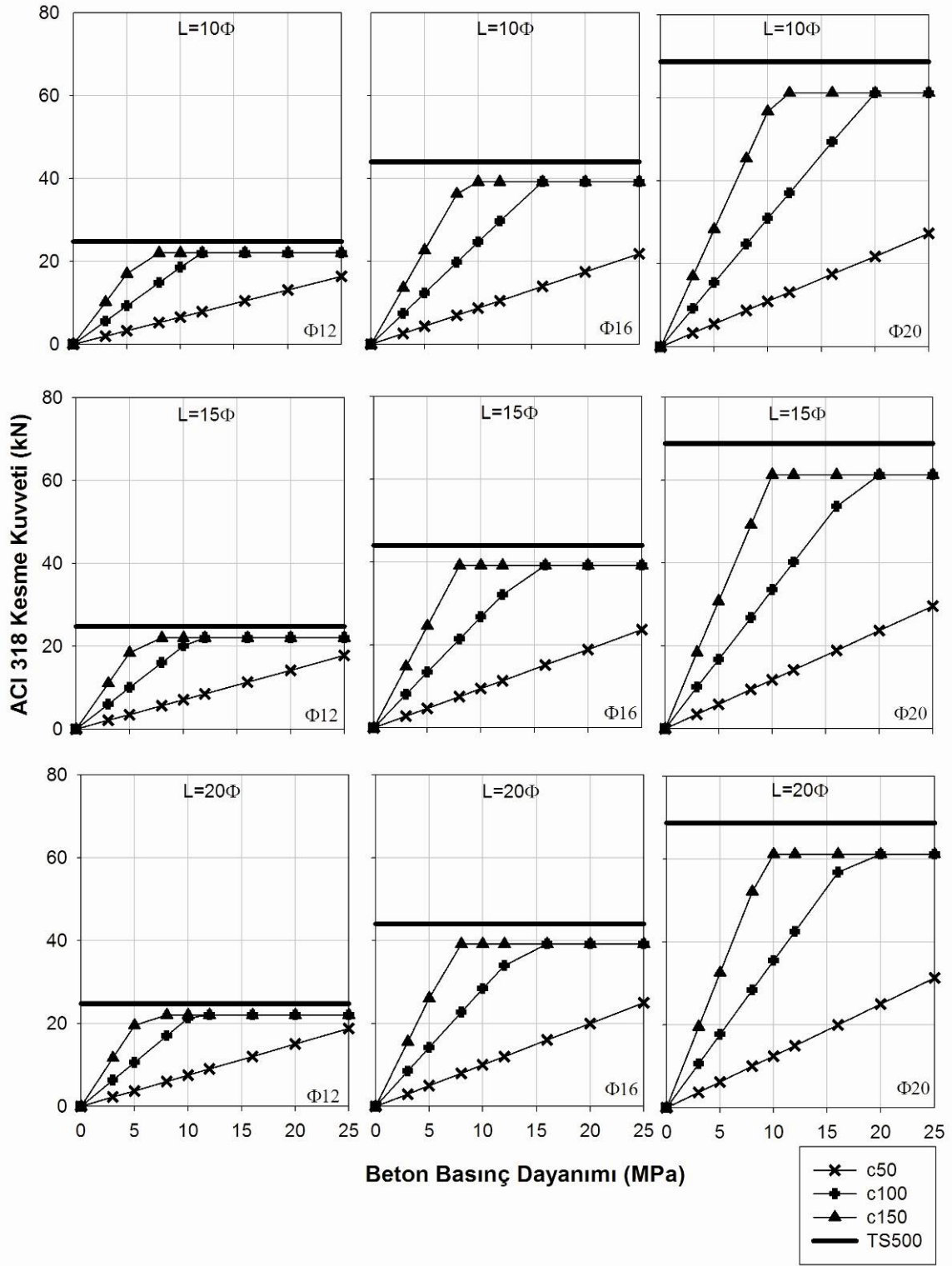
Kenar mesafesinin 50 mm olduğu durumda beton dayanımı ne olursa olsun, kapasiteyi beton hasarı belirlemektedir. Kenar mesafesinin 100 mm'ye çıkması durumunda Φ12, Φ16 ve Φ20 donatılar için sırasıyla 10 MPa, 16 MPa ve 20 MPa üzerindeki betonlarda donatı dayanımı belirleyicidir. Serbest kenar mesafesinin 150 mm olması durumunda 10 MPa ve üzerindeki betonlarda ankraj kapasitesi donatının kapasitesi ile belirlenmektedir.

ACI318 ve TS500 donatı kapasiteleri arasındaki fark düşük düzeyde olsa da hasarın beton kaynaklı olması durumunda büyük kapasite kayıplarının yaşanabileceği görülmektedir. TS500 sürtünme kesmesinin küçük çaplı, kenardan uzak ve C10 üstü betonlarda kullanılması

ACI318'e göre kabul edilebilir sonuçlar vermekte, bunun dışında kapasitenin oldukça üzerinde dayanım değerleri ortaya çıkmaktadır.



Şekil 3.8 Değişen kenar mesafeleri için ACI 318 – TS500 kesme kuvvetleri



Şekil 3.9 Değişen beton basınç dayanımlarında ACI 318 – TS500 kesme kuvvetleri

ACI318 yönteminde beton göçme şekillerinin de dikkate alınması dolayısıyla, kenara yakın ve sığ ankrajların dayanımı özellikle düşük beton kalitesi mevcutsa ciddi oranda

azalmaktadır. Ancak, TS500 her durumda sadece donatı göçmesini dikkate aldığından aynı çaptaki donatılar için sabit bir tasarım kesme kuvveti verilebilmektedir.

Uygulamada sıklıkla kullanılan  $\Phi 20$  mm çaplı donatıların beton sınıfına ve gömülme derinliğine bağlı olarak 300 mm'den daha küçük kenar mesafelerinde beton hasarı ile kapasitelerine erişmeleri olasıdır.

Türkiye'de kullanılan ankraj çapları ve mevcut yapıların beton dayanımları dikkate alındığında, Türk Deprem Yönetmeliğinde ankraj kesme kuvveti ile ilgili olarak TS500'e verilen atfın gözden geçirilmesinde ve/veya TS500'de sonradan betona ekilen anrajlarla ilgili hesap ilkeleri konusunda gerekli revizyonların yapılması önem taşımaktadır.

### **3.3.5 Ankraj Çekme Kapasiteleri**

Ankraj çekme dayanımı ile ilgili konular bu çalışmanın kapsamı dışında olmakla birlikte özetle şu bilgilerin verilmesinde fayda görülmektedir:

ACI318 kesme kuvveti için verdiği yaklaşıma benzer olarak ankraj çekme kapasitelerinin belirlenmesi için de tüm olası hasar şekillerini içine alan bir yaklaşım sunmaktadır. Ülkemizdeki yönetmelik (DBYBHY, 2007) ve standartlarda ise ankraj çekme dayanımına ilişkin her hangi bir kayıt bulunmamaktadır. Bu konu daha çok projeci, uygulamacı ve kontrol mühendislerinin inisiyatiflerine bırakılmış gibidir.

Uygulama ankraj çekme deneyleri yapılmakta, ancak bu deneyler sadece çeliğin sıyrılması veya kopmasına izin verecek şekilde yapıldığı için beton kaynaklı hasarlar gözlenememektedir.

Yapılan pek çok uygulamada teknik şartnameler de Deprem Yönetmeliğinin sürtünme kesmesi formülüne atfı yanlış yorumlanarak çekme dayanımı için de kullanılmaktadırlar. Yapılacak çekme deneylerinde  $0.7f_{yd}A_s$  kuvvetine kadar yükleme yapılması yeterli görülmektedir. Bu değer S420b betonarme donatısı ile yapılan bir ankrajın 256 MPa düzeyine kadar çekilmesinin yeterli görüldüğü anlamına gelmektedir. Halbuki karakteristik dayanımı 420 MPa olan S420b donatıların piyasada 550 MPa düzeylerine kadar akma dayanımı



sağlayabildikleri görülmektedir. Bu şekilde bir deneyle yeterli görülen ankrajda daha yüksek bir gerilme düzeyinde sıyrılma veya beton konisi gibi hasarlar da ortaya çıkabilir.

**İKİNCİ BÖLÜM**  
**ANKRAJ KESME DENEYLERİ**

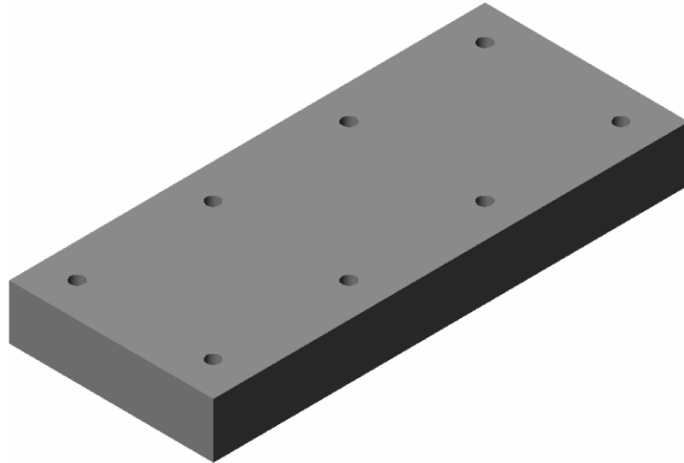
## 4 ANKRAJ KESME DENEY SERİSİ

### 4.1 Deney Elemanları

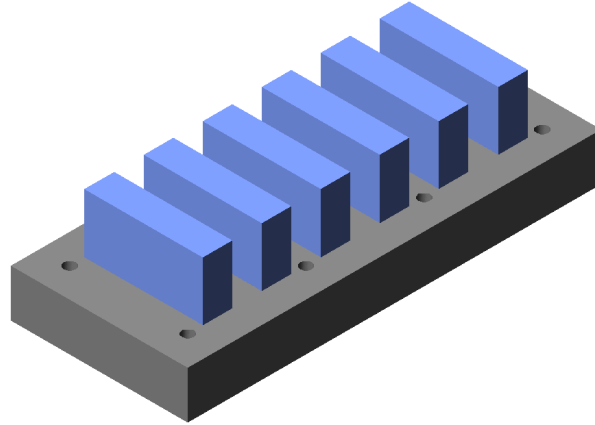
#### 4.1.1 Geometrik Özellikler

Deneyisel 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.

Yapılan deneylerde Şekil 4.1’de görülen değişken beton kalitesine sahip temellerden üretilerek üzerine farklı parametrelerde ankrajlar ekilmiş ve Şekil 4.2’de görülen kaliteli hazır betonla üretilen küçük bloklar ile ankrajların üzerleri kapatılmıştır. 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 ankraj çapından 4 mm büyük açılmış ve kimyasal uygulaması öncesinde kuru ve yağsız basınçlı hava ile temizlenerek uygulama yapılmıştır. Tüm ekim işlemleri laboratuvar ortamında tamamlanmış ve numuneler laboratuvar ortamında bekletilmiştir (25-35°C). Ankrajların ekilmesinden sonra deneyler için en az 60-90 gün beklenmiştir.

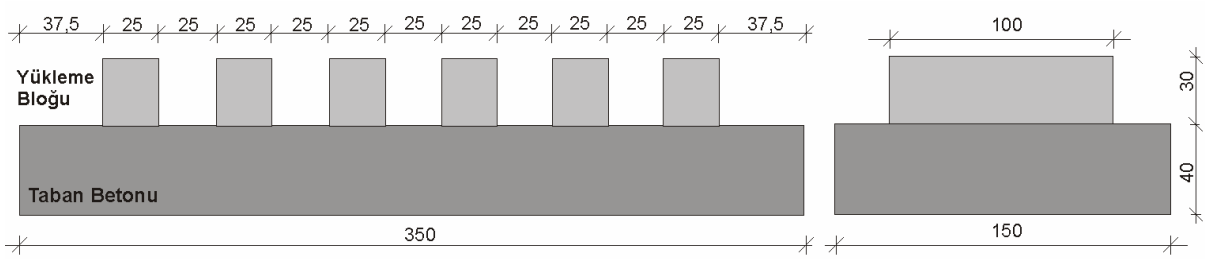


Şekil 4.1. 350x150x40 cm betonarme temel

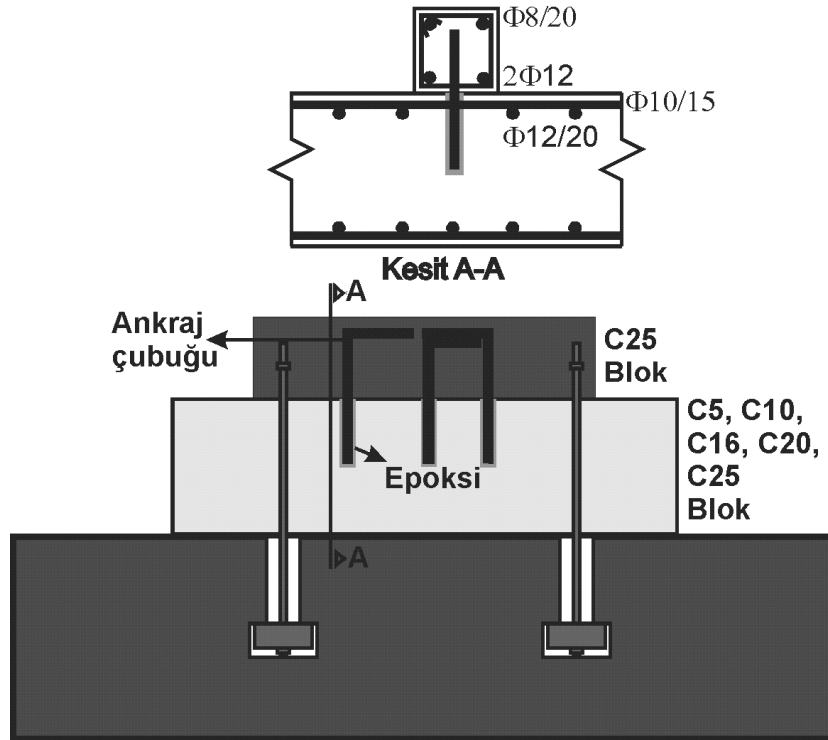


Şekil 4.2. Temelin üzerinde ankrajla bağlanan betonarme bloklar

Ankraj deneylerinin yapılacağı elemanın ölçüleri Şekil 4.3'te, kesiti Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.3 Deney elemanı ölçüleri



Şekil 4.4 Deney elemanı kesiti

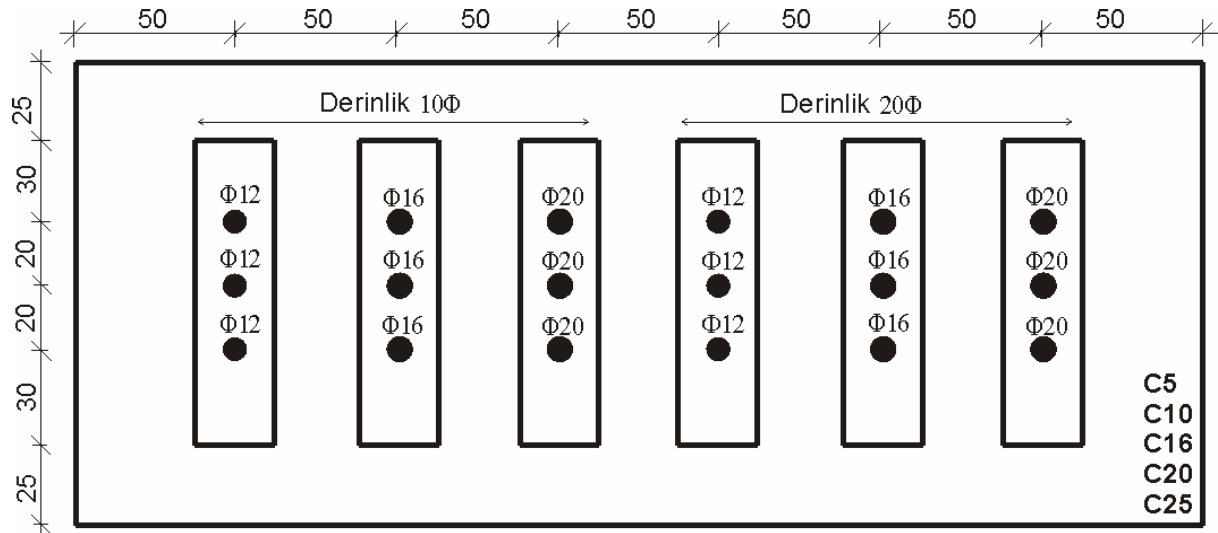
#### 4.1.2 Deney Parametreleri

C5, C10, C16, C20 ve C25 temellerinde yapılacak ankrajlarda parametreler Çizelge 4.1'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 4.1. Ankraj deneylerinde kullanılan parametreler

Parametre	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, mm)	12, 16, 20 (S420b)	12, 16, 20 (S420b) 8, 16 (S420a)
Ankraj derinliği (L)	10Φ, 20Φ	15Φ (S420b) 10Φ (S420a)

1. grup ankraj deneylerine ilişkin ankraj yerleşim planı Şekil 4.5'te, ekilen ankrajların detayları da Çizelge 4.2'de verilmiştir.

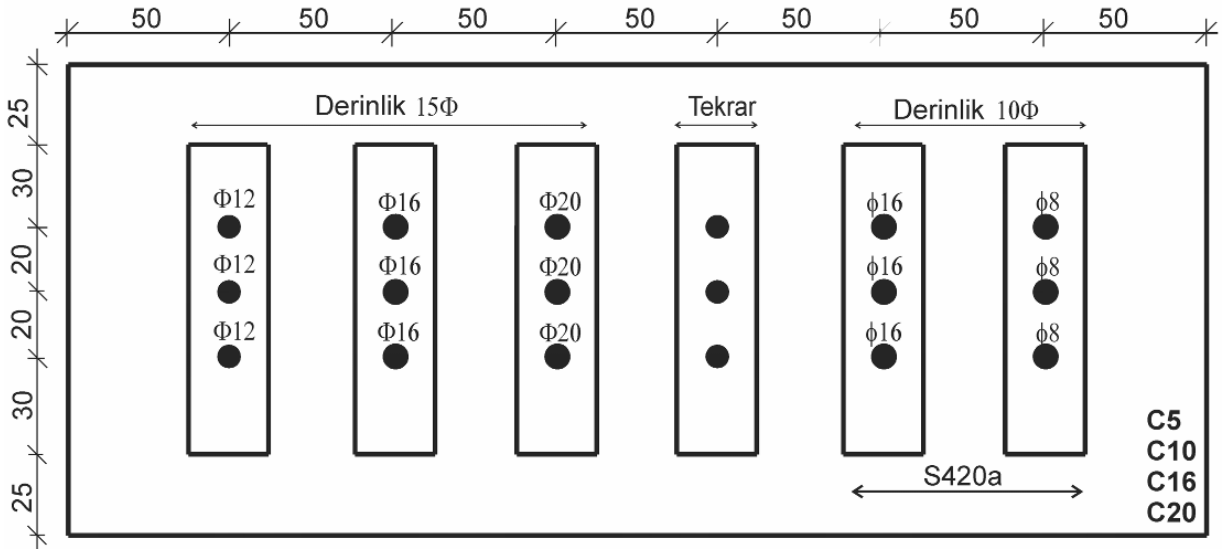


Şekil 4.5. 1. grup ankraj deneyleri yerleşim planı

Çizelge 4.2. 1. grup ankraj deneylerine ait detaylar

Beton Sınıfı	Donatı Çapı D (mm)	Ankraj Derinliği L (cm)	Ankraj Mesafesi (cm)
C5	12	12	20
C10	16	16	20
C16	20	20	20
C20	12	24	20
C25	16	32	20
C25	20	40	20

1. grup ankraj deneyleri tamamlandıktan sonra ortaya çıkan sonuçlara göre kalan 4 temelde bazı parametreler değiştirilmiştir (2. grup ankraj deneyleri). 2. grup ankraj deneylerine ait yerleşim planı Şekil 4.6'da, detaylar da Çizelge 4.3'te verilmiştir. Bu deney serisinde daha önce yapılan 4 deney tekrar edilmiştir. Bu amaçla C5, C10, C16 ve C20 temellerinde daha önce yapılan sıra dışı sonuçlar veren deneylerden birer tanesi tekrar yapılmıştır. Çizelge 4.4'de tekrar edilen deneylerin detayları verilmiştir.



Şekil 4.6. 2. grup ankraj deneyleri yerleşim planı

Sıra dışı sonuçlar veren C5, C10, C16 ve C20 temellerinde daha önce yapılan deneylerden birer tanesi daha tekrar yapılmıştır. Çizelge 4.4'te tekrar edilen deneylerin detayları verilmiştir.

Çizelge 4.3. 2. grup ankraj deneylerine ait detaylar

Beton Sınıfı	Donatı Çapı D (mm)	Ankraj Derinliği L (cm)	Ankraj Mesafesi (cm)
C5 C16 C20 C20	12	18	20
	16	24	20
	20	30	20
	Tekrar deneyi		20
	16 B	16	20
	8 B	8	20

Çizelge 4.4. Tekrar edilen deneylere ait detaylar

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

## 4.2 Malzeme Özellikleri

### 4.2.1 Ankraj çubukları (S420b)

Deney elemanlarının üretiminde kullanılan ankraj çubuklarına çekme testi uygulanmıştır. Şekil 4.7’de deney sırasında alınan fotoğraflar görülmektedir. Kullanılan ankraj çubuklarının mekanik özellikleri ise Çizelge 4.5’te gösterilmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen dayanım değerleri TS708’de S420 betonarme donatı çubukları için verilen karakteristik dayanım değerlerinin üzerindedir.



Şekil 4.7. Ankraj çubukları çekme deneyinden görüntüler

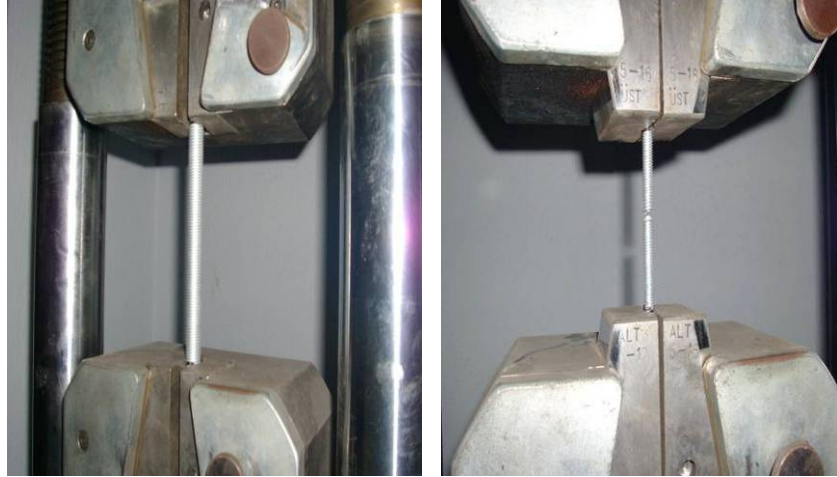
Çizelge 4.5. Ankraj çubuklarının mekanik özellikleri

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> )
12	532	543	615	628
12	554		640	
16	536	534	635	633
16	531		630	
20	534	536	655	657
20	538		658	

#### 4.2.2 Ankraj çubukları (S420a)

Ankraj deneylerinin ikinci kısmında betonarme çelik çubuklarının yanında 8 ve 16 mm çapında S420a çubuklar kullanılmıştır. S420a çubuklar 10Φ derinliğe ekilmiştir. Kullanılan çubuklara çekme testi yapılmıştır. Çekme testinden görüntüler Şekil 4.8’de, çekme testi sonuçları da Çizelge 4.6’da verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre 8 mm çaplı donatıların dayanımları TS708’de verilen karakteristik dayanım değerlerinin hemen altındadır. Ancak, 16 mm çaplı donatılarda karakteristik dayanım değerinin aşıldığı görülmektedir.





Şekil 4.8. S420a çubuklar için yapılan çekme deneyinden görüntüler

Çizelge 4.6. 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> )
8	444	447	456	458
8	449		459	
16	412	414	443	441
16	416		439	

### 4.2.3 Kimyasal yapıştırıcı

Ankrajların üretiminde kullanılan ve ankrajın performansını doğrudan etkileyen malzemelerden biri de kullanılan kimyasal yapıştırıcıdır. Bu çalışmada deneyleri yapılan ankrajların üretiminde Duratek firmasının 3 bileşenli, solventsiz epoksi esaslı kimyasal dübel ve ankraj macunu (GSM509) kullanılmıştır (Şekil 4.9).

GSM 509 uygulamasında bileşenler ağırlıkça %30A + %20B + %50C 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 mükemmel bir yapışma, suyun ve tozun uzaklaştırıldığı nemli yüzeylere rahatlıkla tatbik edilmesi yer almaktadır. Kullanım alanı olarak da beton üzerine gelecek yeni kolon, kiriş veya perde gibi yapı elemanı donatılarının filiz ekiminde kullanılır. GSM 509,

mükemmel bir yapışma ve korozyon direncine sahiptir. Üretici firmanın verdiği teknik özellikler Çizelge 4.7.'de, mekanik özellikleri de Çizelge 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.9. Uygulanan epoksi esaslı kimyasal yapıştırıcı

Çizelge 4.7. Kullanılan kimyasal yapıştırıcının teknik özellikleri

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

Çizelge 4.8. Kullanılan kimyasal yapıştırıcının mekanik özellikleri

Çekme Mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> ) (TS 1967, DIN 53504)	≈ 20
Çekme Uzaması (%) (TS 1967, DIN 53504)	≈ 0,7
Elastisite Modülü (N/mm <sup>2</sup> ) (DIN 52371, TS 985)	≈ 4500
Eğilme Mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> ) (DIN 52371, TS 985)	≈ 44

Ayrıca, kullanılan epoksi malzemesine çekme ve basınç deneyleri yapılmıştır (Şekil 4.10 ve Şekil 4.11). Çekme ve basınç deneyinin sonuçları Çizelge 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.10 Epoksi basınç deneyi



Şekil 4.11 Epoksi eğilme deneyinden görüntüler

Çizelge 4.9. 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	

#### 4.2.4 Beton

Beton temeller C5, C10, C16, C20 ve C25 beton sınıflarından hazır beton olarak üretilmiştir. Ankrajların üzerinin kapatıldığı beton blokların beton sınıfı ise C25'tir. Elemanların üretimi sırasında numune alınmıştır. 2, 7, 28 günlük ve deney günü olmak üzere alınan numunelere basınç deneyi yapılmıştır (Şekil 4.12). Üretimde kullanılan beton karışımları Çizelge 4.10'daki gibidir. Alınan numunelerin 2, 7 ve 28 günlük dayanımları Çizelge 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.12. Numune alımı ve beton basınç deneyi

Çizelge 4.10. Çalışmada kullanılan beton karışımları (Ağırlıkça)

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 4.11. Beton basınç dayanımları

Beton Yaşı	C5 (kgf/cm <sup>2</sup> )	C10 (kgf/cm <sup>2</sup> )	C16 (kgf/cm <sup>2</sup> )	C20 (kgf/cm <sup>2</sup> )	C25 (kgf/cm <sup>2</sup> )
2 Günlük	15.02	52.22	41.11	121.33	167.02
	14.84	51.56	42.04	108.67	176.44
	12.53	51.60	39.42	113.69	158.13
7 Günlük	40.62	82.22	111.69	192.44	270.00
	39.33	91.42	105.60	182.76	246.93
	41.78	89.16	112.89	184.27	247.91
28 Günlük	61.16	112.22	171.38	246.13	358.22
	59.38	110.22	170.36	253.78	365.78
	57.42	105.69	169.56	249.78	343.11
Ortalama f <sub>c28</sub>	59.32	109.38	170.43	249.90	355.70

### 4.3 Numunelerin Üretimi

Modellerin üretimi üç aşamada gerçekleşmektedir: Beton temellerin yapılması, ankrajların ekilmesi ve ankrajların üstünün beton blokla kapatılması. Beton temeller beş farklı beton dayanımında olacak şekilde üretilmiştir. 350×150×40 cm ölçülerindeki beton temelin donatıları, kalıbı ve beton dökümü Şekil 4.13’de görülmektedir.

Beton temeller dökülüp dayanım kazanmaları için 28 gün beklendikten sonra temeller üzerine ankraj delikleri açılmıştır. Ankraj çapları  $\Phi 12$ ,  $\Phi 16$ ,  $\Phi 20$  dir. Bu çaplar yeni Deprem Yönetmeliğinde 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 düşünülerek tercih edilmemiştir. Delikler;  $\Phi 12$  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. Açılan deliklerin temizlenmesi Şekil 4.14’de görülmektedir.



Şekil 4.13. Betonarme temellerin donatıları ve beton dökümü



Şekil 4.14. Ankraj deliklerinin temizlenmesi

Açılan deliklere kimyasal yapıştırıcı (epoksi) doldurularak ankraj çubukları usulüne uygun bir şekilde ekilmiştir (Şekil 4.15). Ankraj ekimi düşey deliklere gerçekleştirilmiştir. Böylece ideal bir ankraj ekimi gerçekleştirilebilmiştir. Ankraj ekimi sonrası donatıların kırıdamaması için çevre güvenliği sağlanmıştır.



Şekil 4.15. Ankrajların ekilmesi

Ankraj çubuklar yeterli dayanımı kazandıktan sonra yükleme bloklarının donatıları bağlanarak, betonları dökülmüştür (Şekil 4.16). Ankraj bloğu ile yükleme bloğu arasındaki yüzey pürüzsüzdür ve bu yüzeyde yapışma sağlayacak herhangi bir kimyasal kullanılmamıştır.



Şekil 4.16. Betonarme blokların donatıları ve beton dökümü

#### **4.4 Deney Düzenegi**

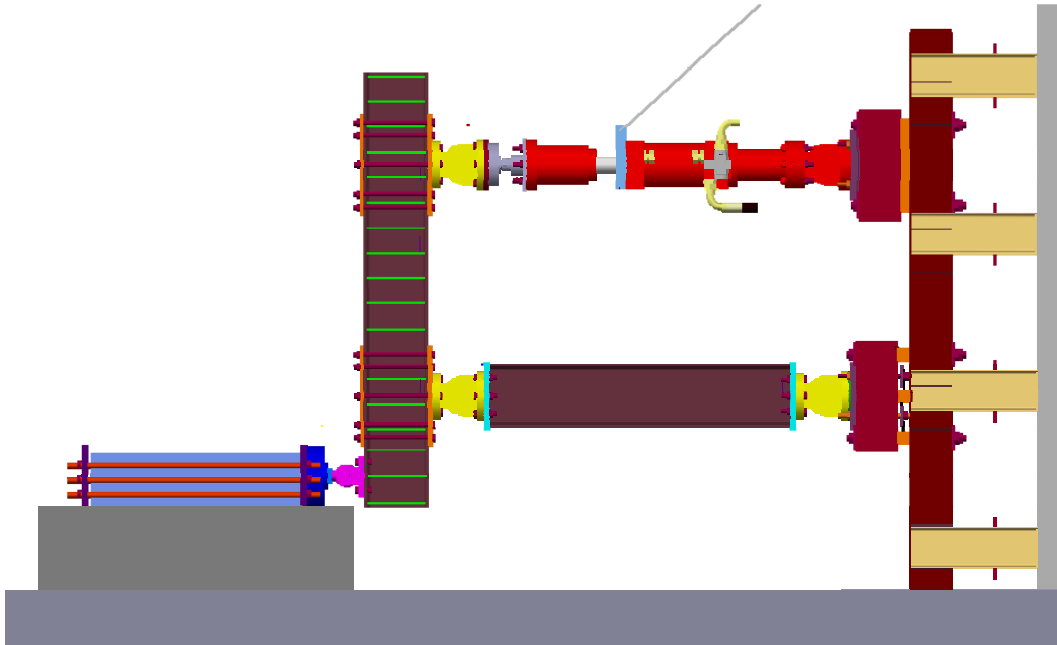
Deney sistemi yükleme ve veri toplama sistemlerinde oluşmaktadır. Bazı deney elemanlarının kapasitelerinin piston kapasitesini aşması dolayısıyla piston kapasitesinden daha büyük kuvvetleri deney elemanlarına uygulayabilecek bir manivela kolu tasarlanmıştır. Deney düzeneginin kurulumu esnasında alınan bazı görüntüler Şekil 4.17'de verilmiştir. Yükleme ve veri toplama sistemi ile ilgili bilgilere aşağıda yer verilmiştir.



Şekil 4.17. Deney düzeneğinin kurulumu

#### 4.4.1 Yükleme sistemi

Ekilen ankrajlara kesme yüklemesi yapabilmek için Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’da görüldüğü gibi bir deney düzeneği tasarlanmıştır. Tasarlanan sistem ile pistonun yük kapasitesinden optimum şekilde faydalanılabilmektedir. Deney numunesine piston yükünün üç katı kadar bir yük etki etmektedir.

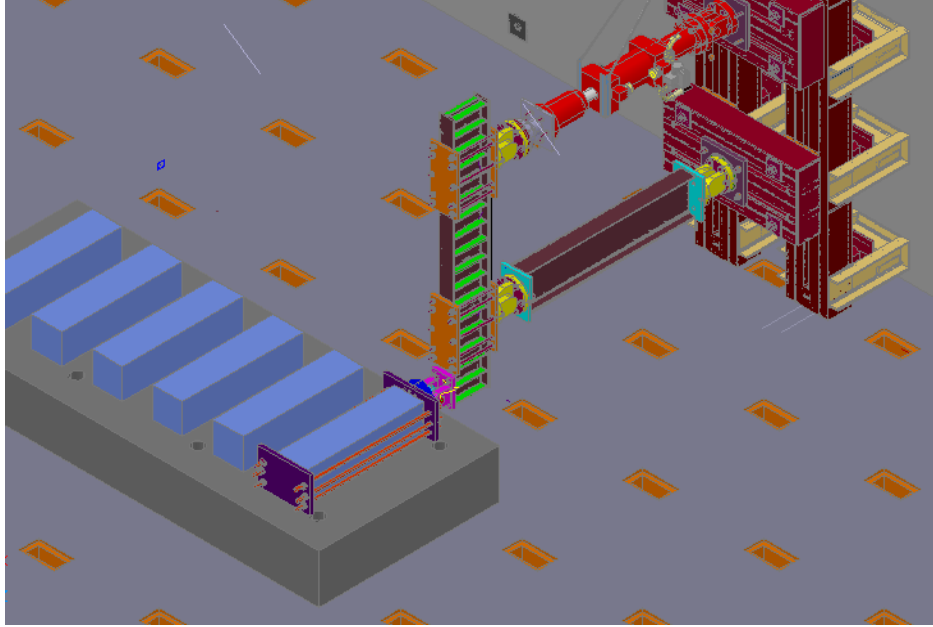


Şekil 4.18 Deney düzeneği yan görünüş

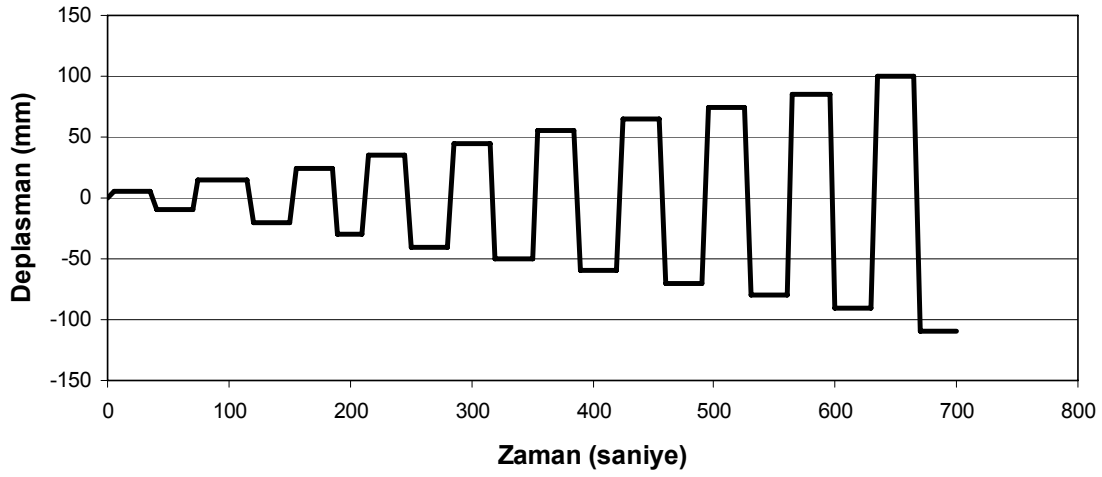
Deneylerde kesme yüklemesi tersinir tekrarlı yük olarak sisteme etkilmiştir. Bu yüklemelerde piston deplasman kontrollü olarak çalıştırılmıştır. Piston hareket hızı 1 mm/s,



numunenin yükleme hızı 0.33 mm/s'dir. Deneyleerde kullanılan piston deplasman profili Şekil 4.20'de örnek olarak verilmiştir.



Şekil 4.19. Deneyle düzeneyinin perspektif görünümü



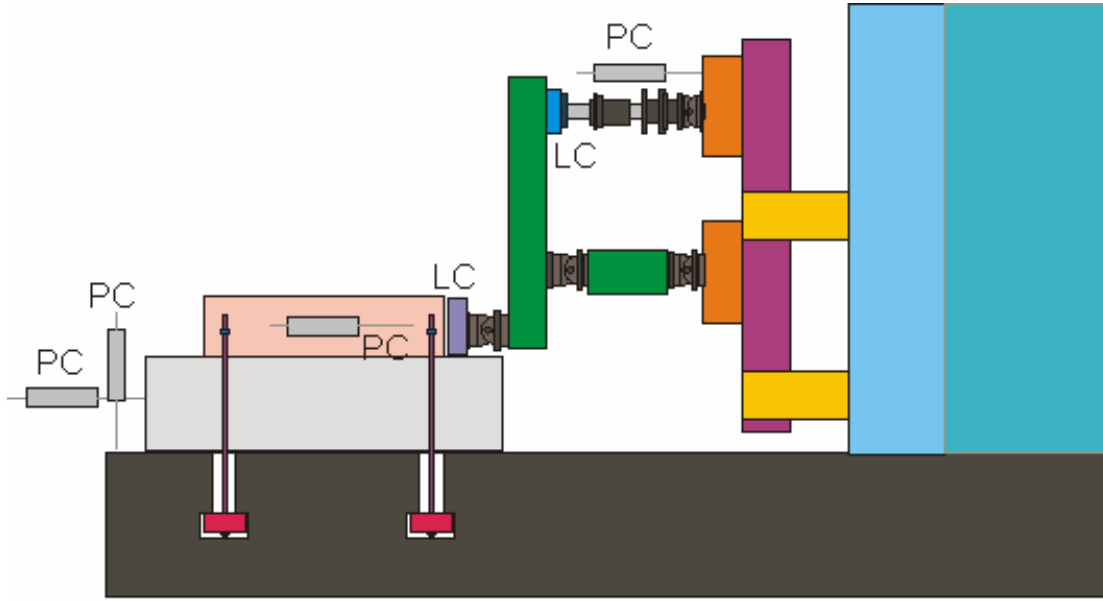
Şekil 4.20 Deplasman yüklemesi

#### 4.4.2 Veri Toplama

Deneyleerde kullanılan ölçüm sisteminin görünümleri Şekil 4.21'de verilmiştir. Ölçülen numune deplasmanları yanında hem numuneye etkiyen yük hem de piston yükü ayrıca ölçülmüştür (Şekil 4.22).



Şekil 4.21. Ölçüm sisteminden görüntüler



Şekil 4.22 Ölçüm sisteminin şematik görünümü

#### 4.5 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 temeli için Çizelge 4.12’de, C10 temeli için Çizelge 4.13’te, C16 temeli için Çizelge 4.14’te, C20 temeli için Çizelge 4.15’te, C25 temeli için Çizelge 4.16’da ve S420a ankraj çubukları için ise Çizelge 4.17’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 4.12 C5 temelinde beklenen ankraj kapasiteleri (kN)

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

Çizelge 4.13 C10 temelinde beklenen ankraj kapasiteleri (kN)

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

Çizelge 4.14 C16 temelinde beklenen ankraj kapasiteleri (kN)

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

Çizelge 4.15 C20 temelinde beklenen ankraj kapasiteleri (kN)

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

Ancak gevrek kopma davranışı gösteren S420a donatıları için ACI318 tarafından önerilen dayanım azaltma katsayısı daha büyüktür. Bu sebeple S420b donatıların aksine S420a donatılarında TS500 dayanımı ACI318 dayanımından daha küçük kalmıştır.

Çizelge 4.16 C25 temelinde beklenen ankraj kapasiteleri (kN)

Numune ismi	ACI318 $V_{sa}$	ACI318 $V_b$	ACI318 $V_{cpg}$	ACI318 Dayanım	ACI318 Tasarım	TS500 Tasarım
C25D12L12	101.8	4152.8	655.9	101.8	66.2	74.3
C25D12L24		4770.3	1124.7			
C25D16L16	181	5537.0	811.0	181	117.6	132.1
C25D16L32		6360.4	1450.5			
C25D20L20	282.7	6921.3	966.7	282.7	183.8	206.4
C25D20L40		7950.5	1791.4			

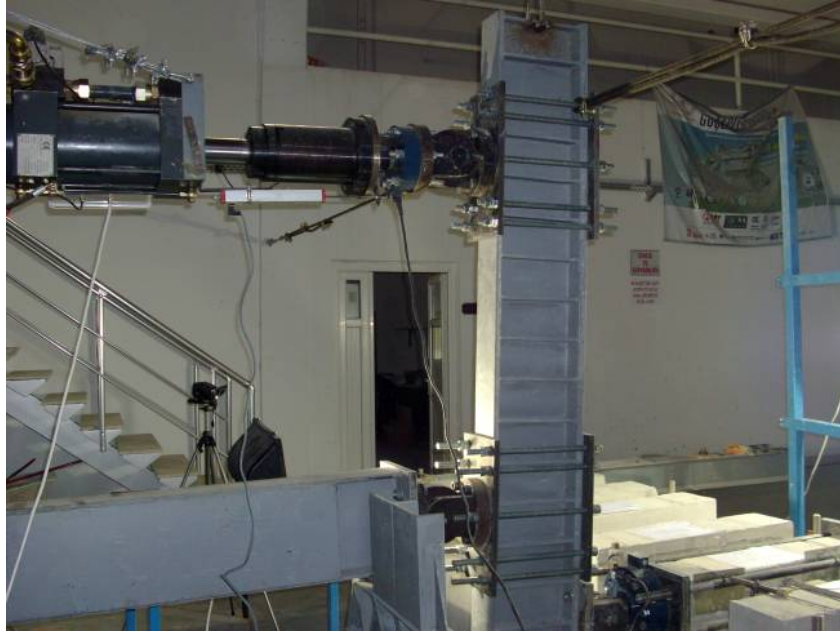
Çizelge 4.17 S420a ankrajlarda beklenen ankraj kapasiteleri (kN)

Numune ismi	ACI318 $V_{sa}$	ACI318 $V_b$	ACI318 $V_{cpg}$	ACI318 Dayanım	ACI318 Tasarım	TS500 Tasarım
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

## 5 ANKRAJ KESME DENEYİ SONUÇLARI

### 5.1 Deney Sonuçları

Kurulan deney düzeneğinde ankraj kesme deneyleri tersinir tekrarlı yükler altında tamamlanmıştır. Yapılan deneylerde aksenal 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 piston deplasman kapasitesinin sonuna kadar devam ettirilmiştir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 Piston deplasman kapasitesinin sonu

C5, C10, C16, C20 ve C25 temellere ekilen ankraj numunelerine ait deneylerden bazı görüntüler Şekil 5.2’de verilmiştir.

Bazı deneylerde yük taşıma kapasitesinin azaldığı bölgenin görülmesi mümkün olmamıştır. Hem yüksek dayanıma sahip temeli olan modeller 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 5.3). 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 5.4). Özellikle küçük çaplı donatıların C20-C25 gibi normal dayanımlı betonlara ekildiği durumlarda bu tür hasarlara da rastlanılmamıştır.



Şekil 5.2 Deney sırasında alınan bazı görüntüler



Şekil 5.3 Numunelerin çıkarılmasında oluşan hasar

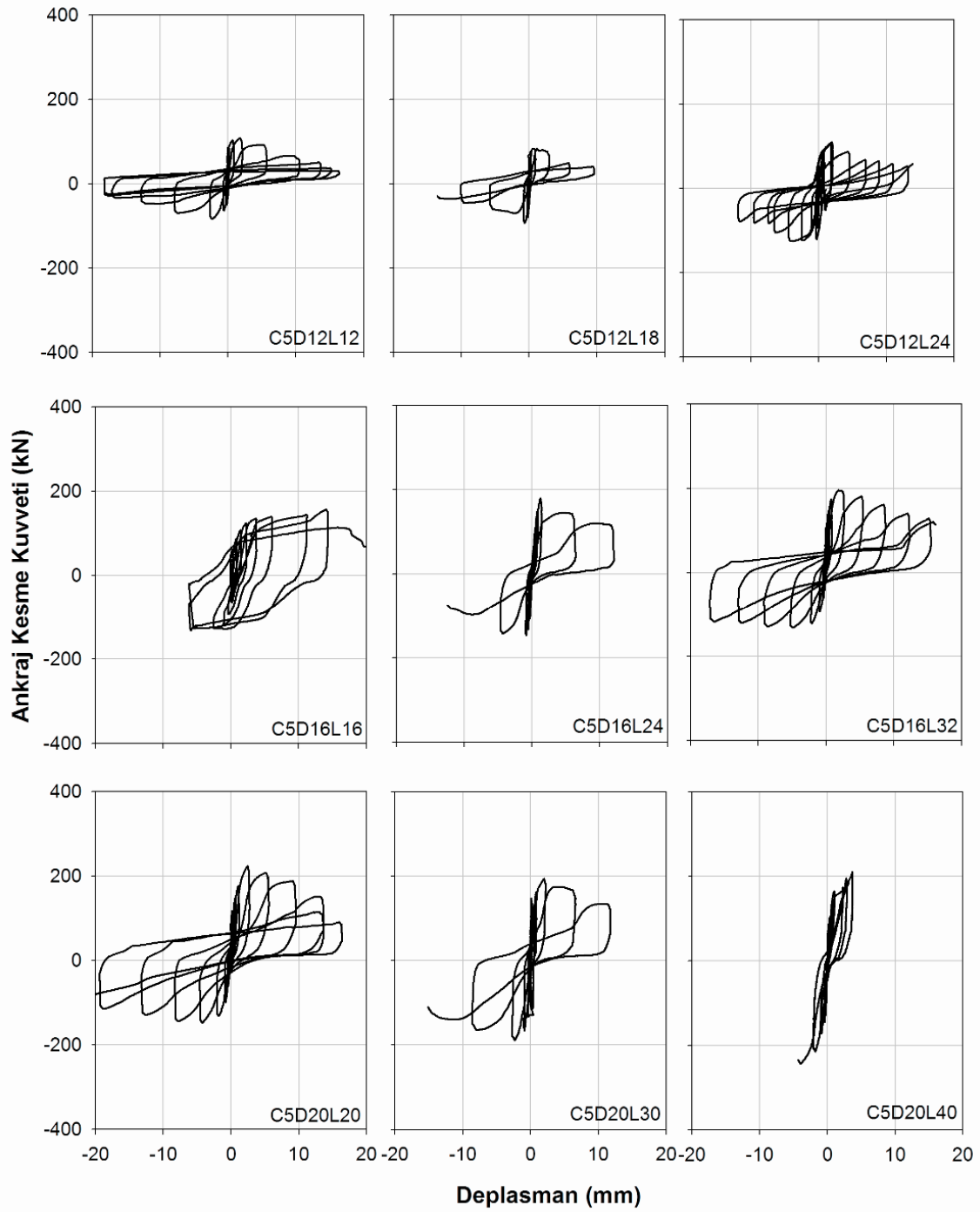


Şekil 5.4 Deney sırasında oluşan hasarlar

## 5.2 Yük-Deplasman Davranışı

Tekrarlı tersinir yükler altında deneyleri tamamlanan ankraj elemanlarının yük-deplasman çevrimleri Şekil 5.5-11’de tüm beton dayanımları için verilmiştir. Elde edilen kesme dayanımlarının donatı çapındaki artışla değiştiği görülmektedir. Ankraj derinliğinin ve beton basınç dayanımının artması ile kapasitede bazen düşüş bazen artış olduğu görülmüştür.

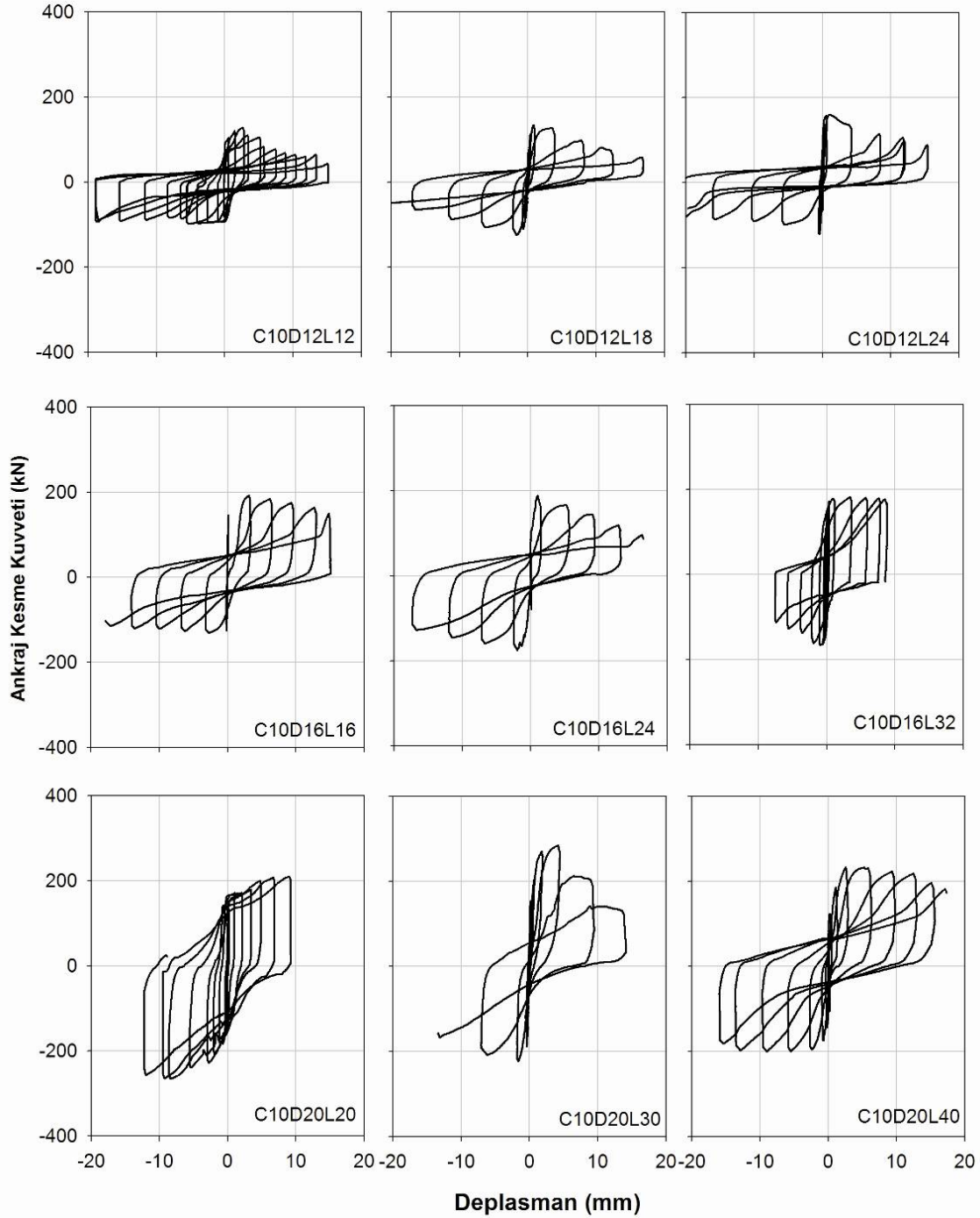




Şekil 5.5. C5 temeline ait yük – deplasman eğrileri

Deneyssel olarak elde edilen çevrim eğrilerinden itme ve çekme yönlerinden minimum dayanımı veren doğrultuda elde edilen dayanım değerleri kullanıldığında C5 temeline yapılan ankrajların nihai dayanıma ulaştıklarında taşıdıkları gerilme 276 MPa düzeyindedir. Bu değer C10, C16 ve C20 temelleri için sırasıyla 296 MPa, 281 MPa ve 250 MPa olarak bulunmuştur. Buna göre beton dayanımının ankraj kesme kapasitesine ciddi bir etkisi olmadığı

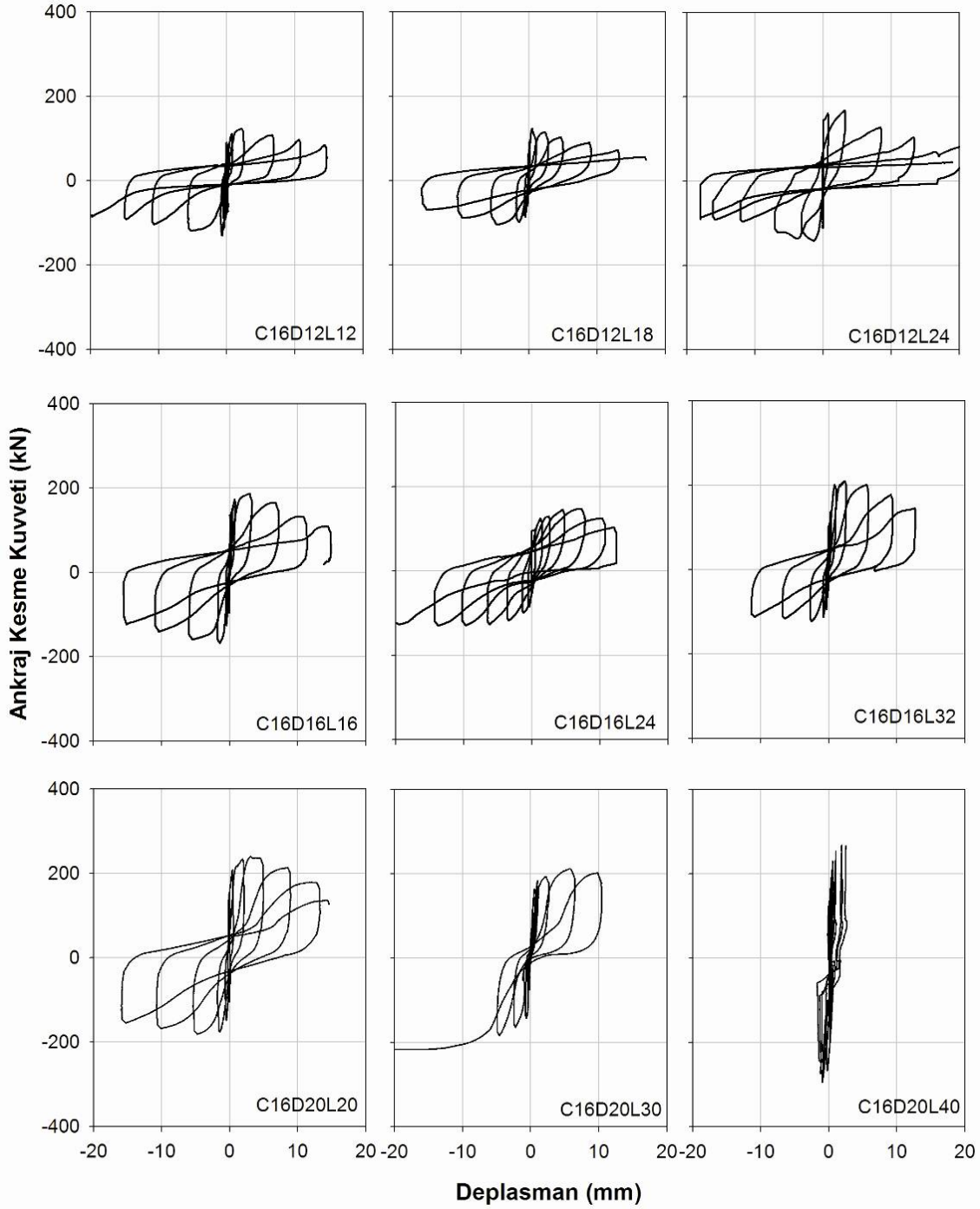
gözlenmiştir. Bu durum esasen deney numunelerinin beton kırılması durumları için tasarlanmamasının doğal bir sonucudur.



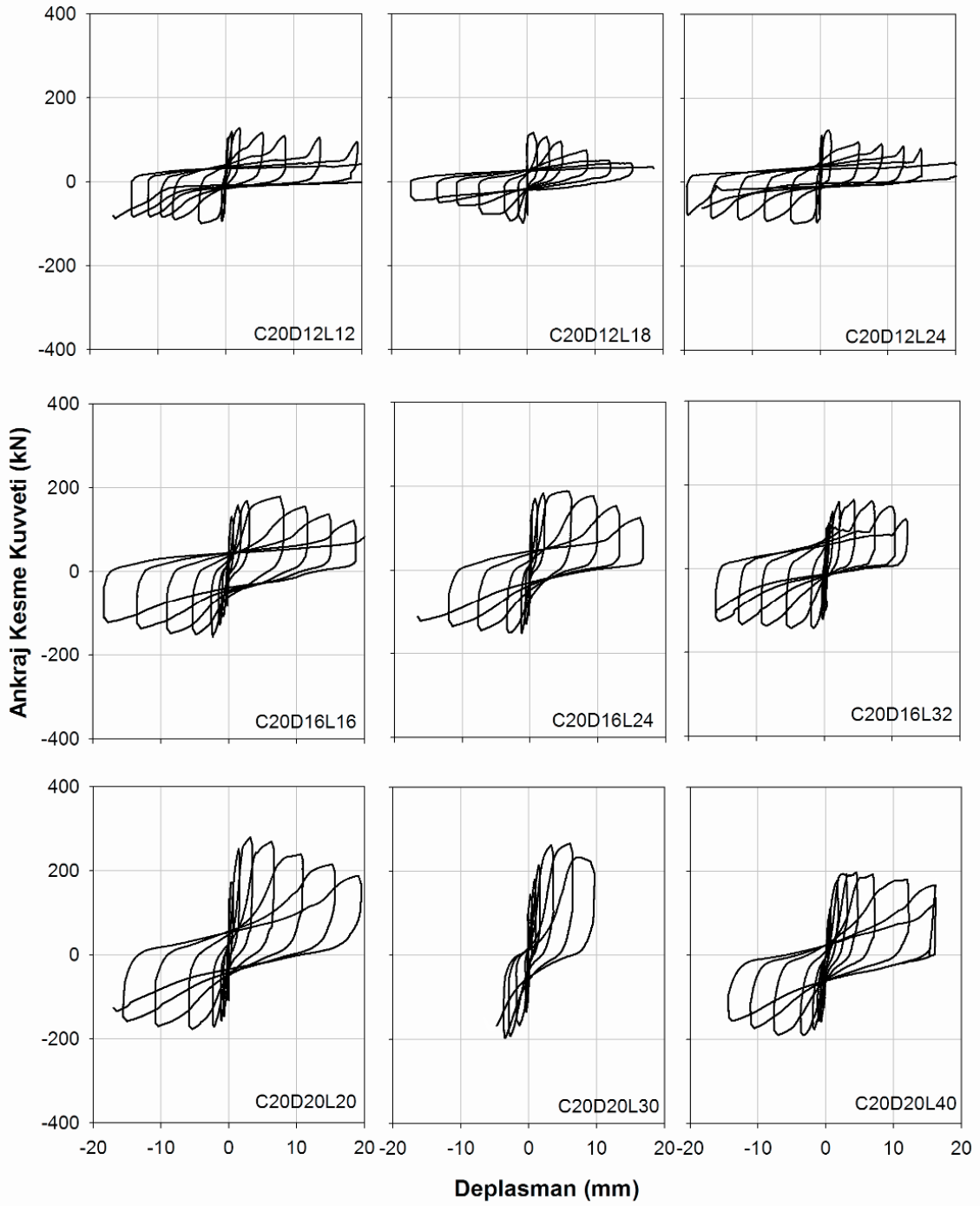
Şekil 5.6. C10 temeline ait yük – deplasman eğrileri

Modeller 10 $\Phi$ , 15 $\Phi$  ve 20 $\Phi$  ankraj derinliklere göre değerlendirildiğinde 10 $\Phi$  derinlikteki ankrajlarda elde edilen nihai kayma gerilmelerinin ortalaması 290 MPa'dır. Bu değer 15 $\Phi$  ve

20Φ derinlikteki ankrajlarda 277 MPa ve 321 MPa olarak bulunmuştur. Bu da ortalama kesme dayanımında derinlik artışı ile yaklaşık olarak %11'lik bir artış sağlanabildiğini göstermektedir.



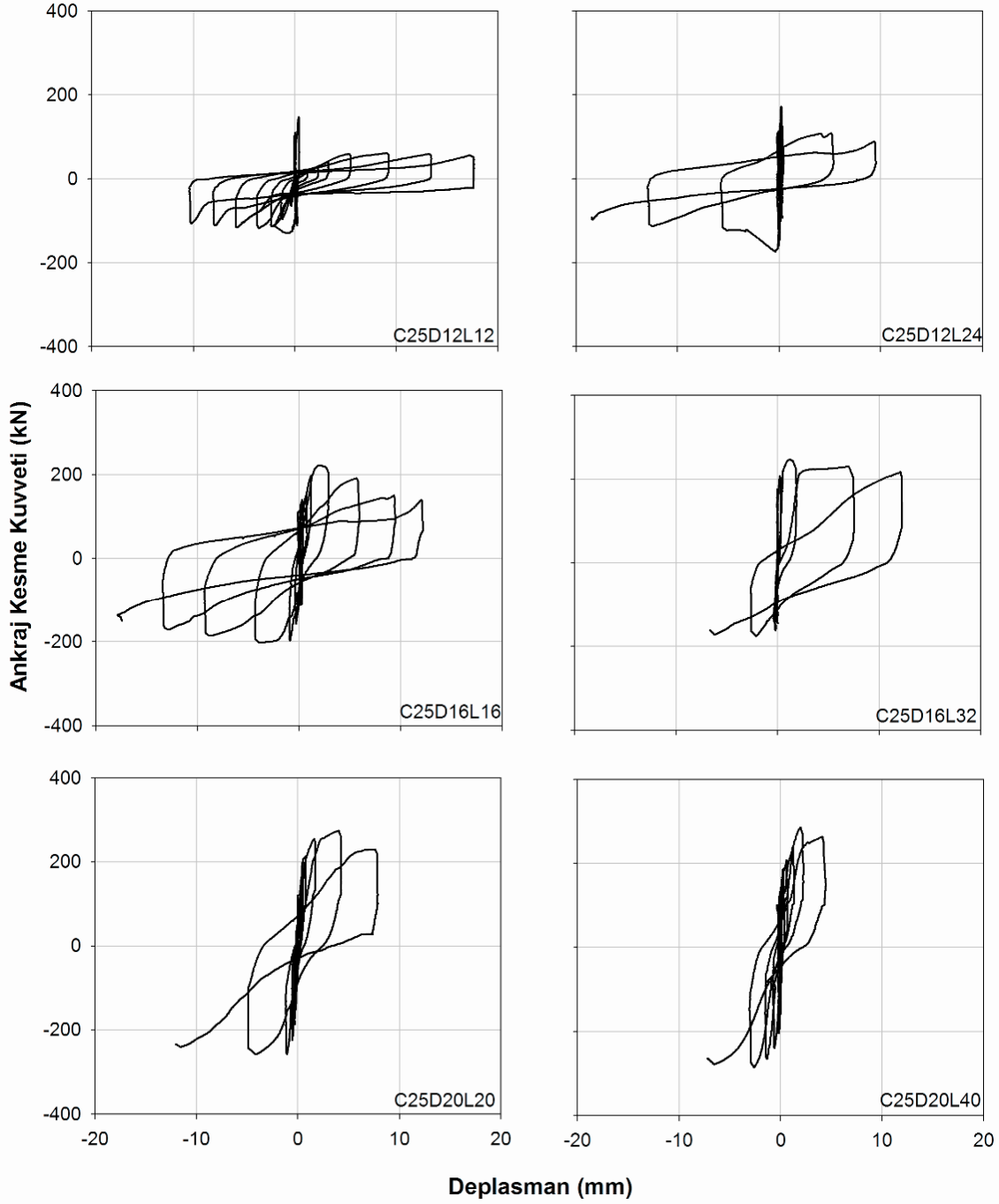
Şekil 5.7. C16 temeline ait yük – deplasman eğrileri



Şekil 5.8. C20 temeline ait yük – deplasman eğrileri

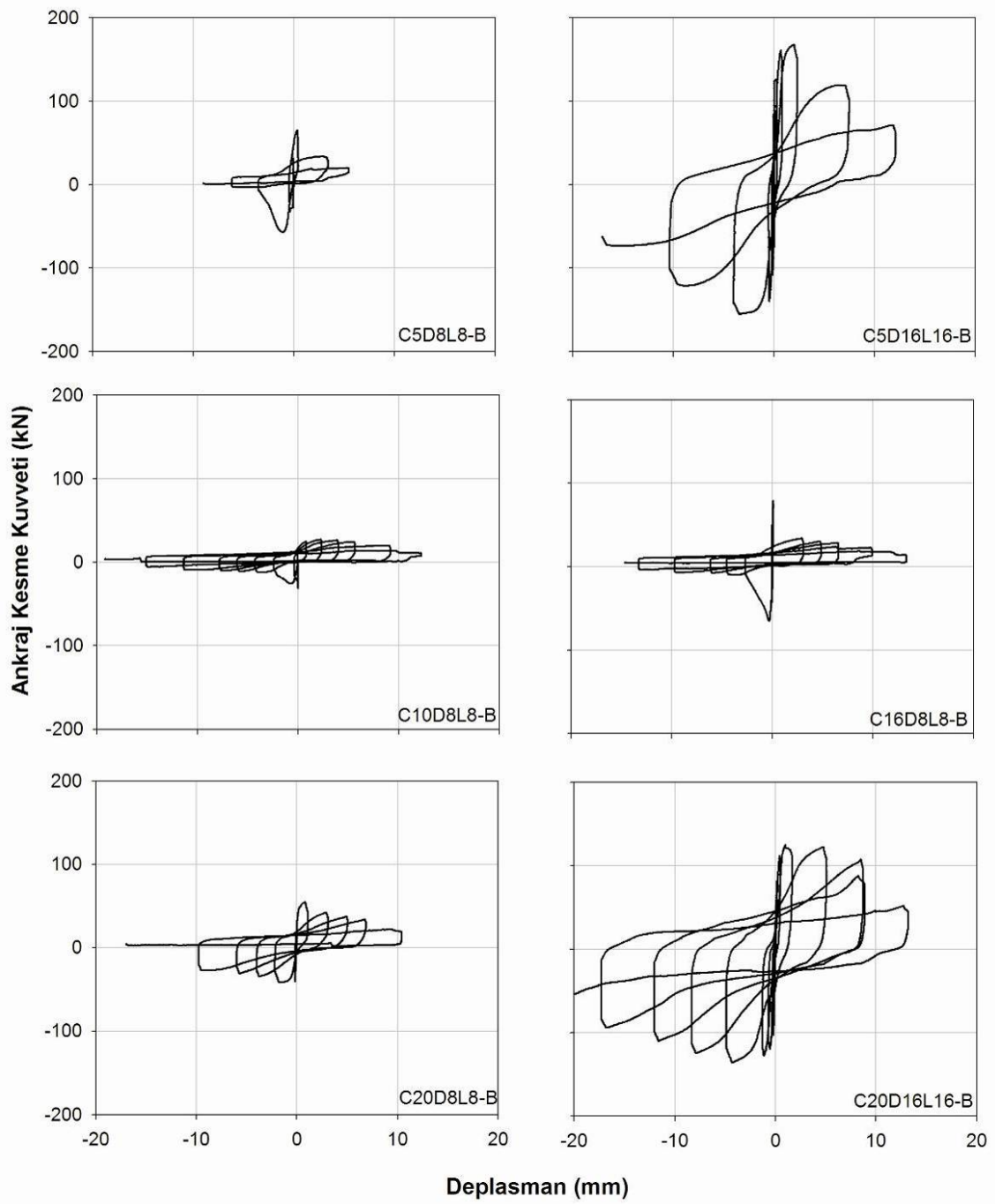
Deney sonuçları ankraj donatılarına göre değerlendirildiğinde ise  $\Phi 12$  donatı ile ekilen ankrajlarda ortalama dayanım 366 MPa düzeyinde iken  $\Phi 16$  donatılarda 282 MPa,  $\Phi 20$  donatılarda ise 244 MPa düzeyine inmiştir. Bu durum donatı çapının artması ile birlikte ortaya çıkan gerilme yoğunlaşmasının açık bir sonucudur. Deprem Yönetmeliğinde güçlendirme amacıyla ekilen ankraj çubukları için TS500 sürtünme kesmesi formülünün kullanımı

istenmektedir. Buna göre S420b ankraj donatılarının taşıyabileceği kayma gerilmesi 219 MPa (0.6x365 MPa) olarak hesaplanabilir. Özellikle  $\Phi 20$  çapa sahip donatılarla üretilen deney numunelerinin de dayanımı dikkate alındığında sürtünme kesmesi formülünün yeterince güvenli sonuçlar vermediği görülmektedir.



Şekil 5.9 C25 temeline ait yük – deplasman eğrileri

Uygulamada kullanılan S420b donatılarının yanında bu çalışmanın ikinci bölümünde dış perde-çerçeve bağlantısı için kullanılan S420a donatılarla da deneyler gerçekleştirilmiştir. Tekrarlı tersinir yükler altında deneyleri tamamlanan S420a ankraj elemanlarının yük-deplasman çevrimleri Şekil 5.10'de tüm beton sınıfları için verilmiştir.

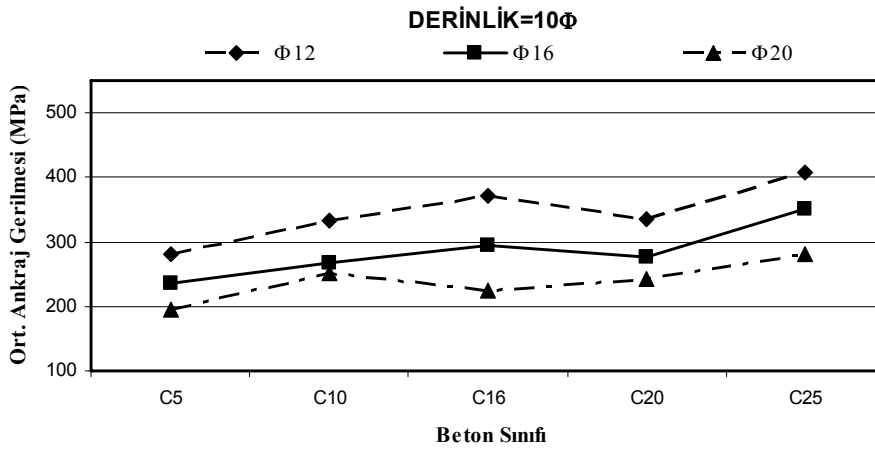


Şekil 5.10. S420a ankraj elemanlarına ait yük-deplasman eğrileri

### 5.3 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

#### 5.3.1 Ankraj Derinliği-Beton Sınıfı Etkisi

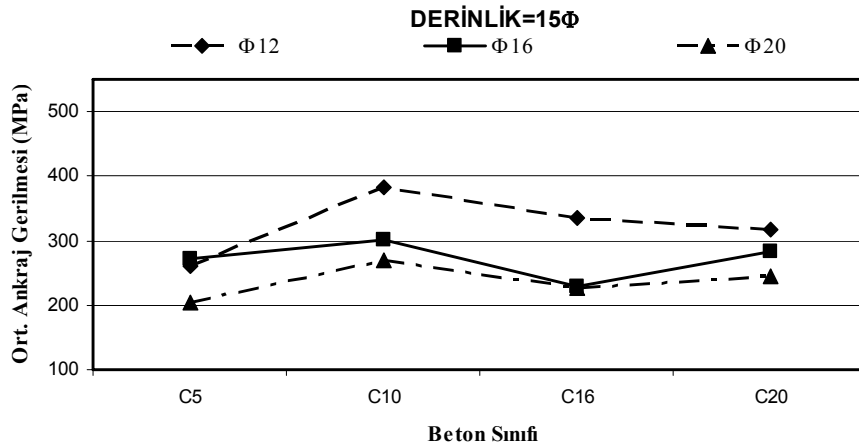
Deney sonuçlarını derinlik ve beton sınıfı açısından incelersek; 10 $\Phi$  derinlikteki ankrajların ortalama gerilmeleri C5, C10, C16, C20 ve C25 temelleri sırasıyla 238, 284, 296, 284 ve 347 MPa'dır (Şekil 5.11).



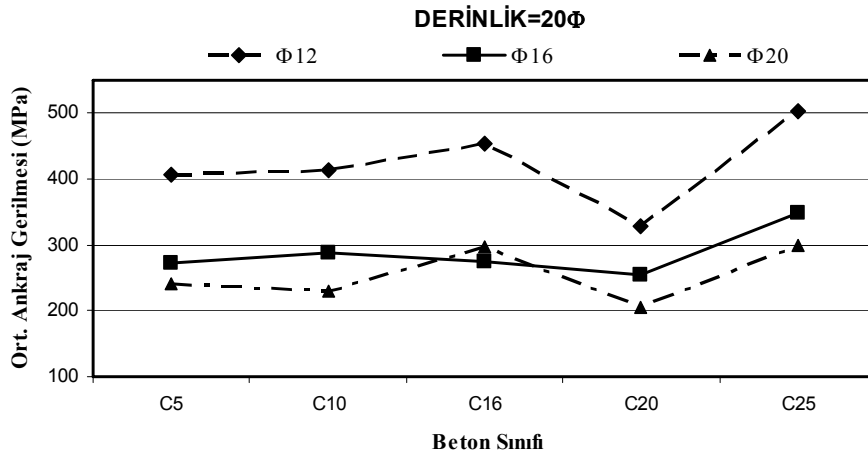
Şekil 5.11 10 $\Phi$  derinlikte beton sınıfı-ortalama ankraj gerilmesi

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 5.12). 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 5.13).

Dayanım değerleri beton sınıfı dikkate alınarak değerlendirildiğinde 10 $\Phi$  derinlikte ekilen ankrajların ortalama dayanımı 172 MPa, 15 $\Phi$  derinlikteki ankrajların 165 MPa ve 20 $\Phi$  derinlikteki ankrajların ise 186 MPa olduğu belirlenmiştir. 10 $\Phi$  derinlikteki ankrajlar baz alındığında 15 $\Phi$  derinlikteki ankrajlarda ortalama olarak dayanımda %4 azalma olduğu, ancak 20 $\Phi$  derinlikteki ankrajlarda dayanım artışının %8 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.



Şekil 5.12 15Φ derinlikte beton sınıfı-ortalama ankraj gerilmesi



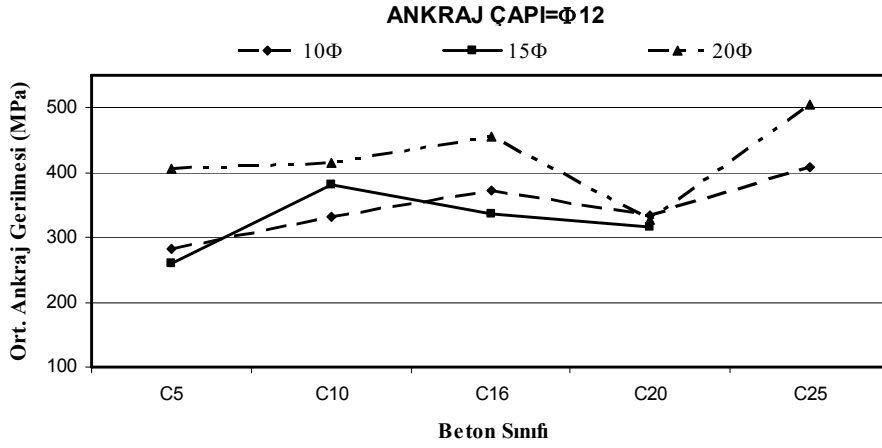
Şekil 5.13 20Φ derinlikte beton sınıfı-ortalama ankraj gerilmesi

### 5.3.2 Ankraj Çapı – Beton Sınıfı Etkisi

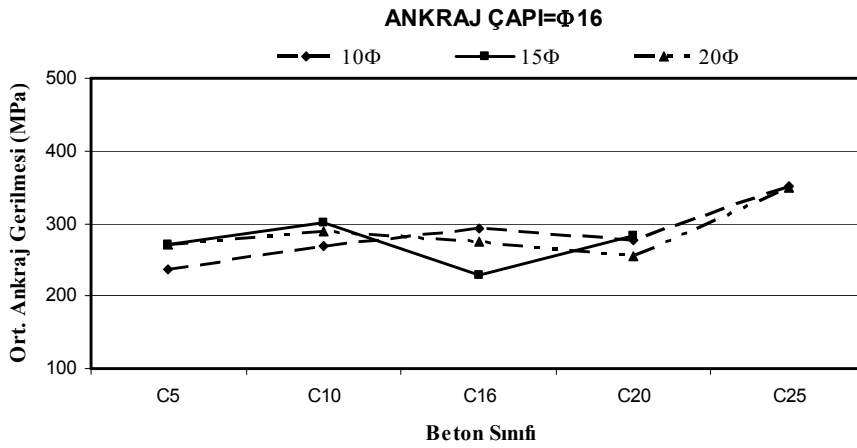
Şekil 5.14-18’de deney sonuçları ankraj çapına göre gruplanarak verilmiştir. Bu şekilde yapılan değerlendirmede; ankraj donatısını 12 mm çapa sahip olduğu C5, C10, C16, C20 ve C25 deney elemanlarında ortalama ankraj gerilmeleri sırasıyla 316, 376, 388, 326, 456 MPa olarak belirlenmiştir. Donatı çapının 16 mm olması durumunda ise bu değerler sırası ile 260, 286, 266, 271 ve 350 MPa düzeylerine düşmüştür. 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.



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.



Şekil 5.14 Φ12 çapta beton sınıfı-ortalama ankraj gerilmesi

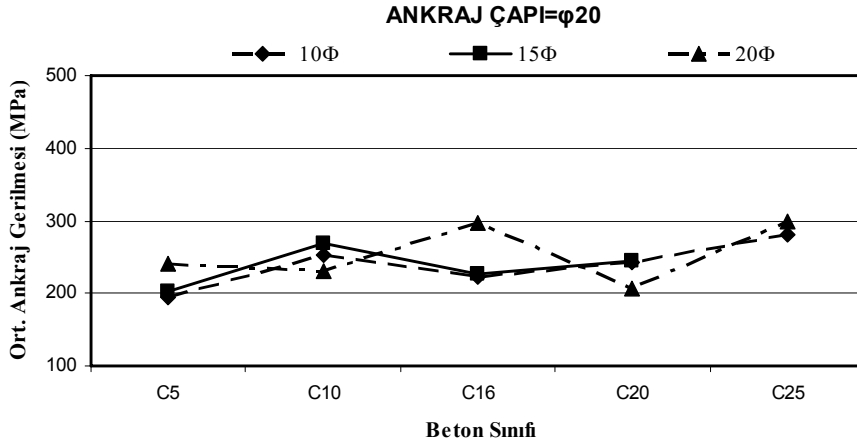


Şekil 5.15 Φ16 çapta beton sınıfı-ortalama ankraj gerilmesi

Ankraj çapının Φ20 mm olduğu durumda ortalama ankraj gerilmeleri C5, C10, C16, C20 ve C25 temellerinde sırası ile 213, 250, 249, 231 ve 291 MPa'dır (Şekil 5.16).

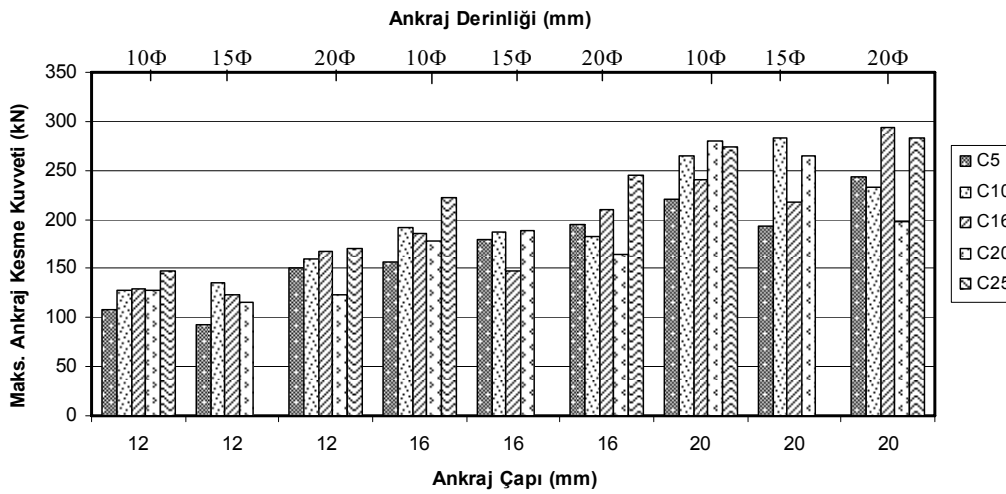
Dayanım değerleri donatı çapı dikkate alınarak değerlendirildiğinde ise ortalama kayma dayanımı Φ12, Φ16 ve Φ20 çaplı donatılarda 372 MPa, 287 MPa ve 247 MPa olarak bulunmuştur. Görüldüğü gibi donatı alanının artması ile kesme kuvvetinde bir artış olsa bile büyük çaplı donatılarda kayma dayanımı daha 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.

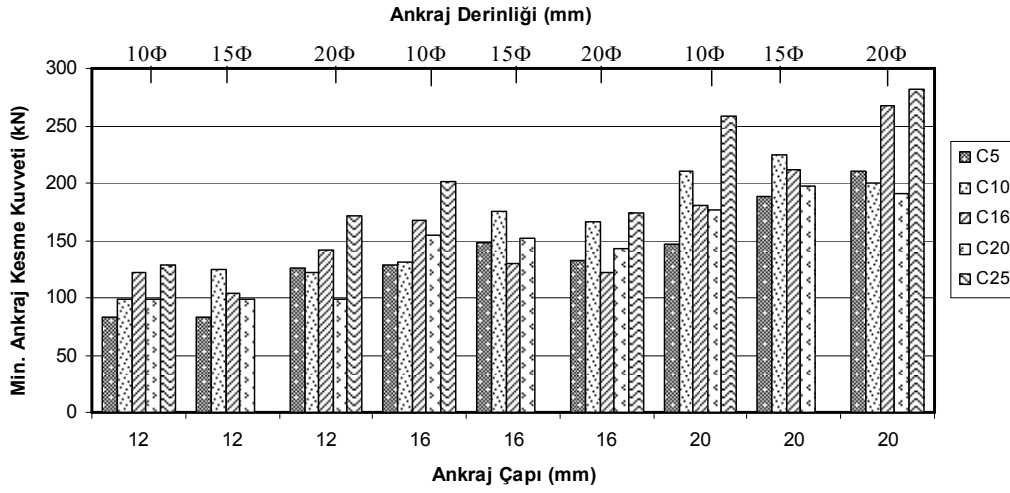


Şekil 5.16  $\Phi 20$  çapta beton sınıfı-ortalama ankraj gerilmesi

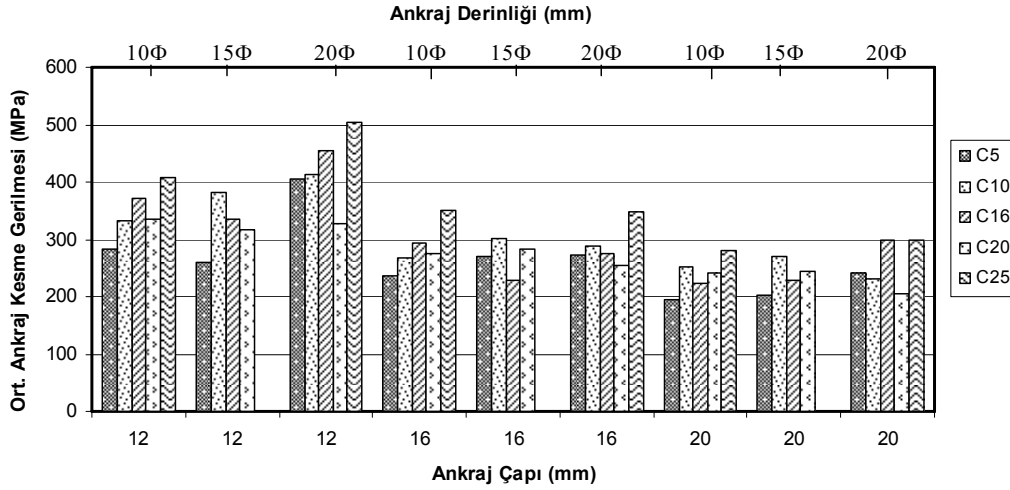
S420b betonarme çeliklerinden oluşan 42 adet deney sonucunun maksimum ankraj kesme kuvveti değerleri Şekil 5.17’de, minimum değerleri Şekil 5.18’de ve ortalama ankraj gerilmeleri Şekil 5.19’da verilmiştir. Bu grafiklerde de beton dayanımı ve derinlik etkisinin sınırlı düzeyde olduğu ancak, donatı çapındaki azalmanın dayanımı ciddi miktarda iyileştirdiği görülebilmektedir.



Şekil 5.17 Deney serisinin maksimum ankraj kesme kuvveti değerleri



Şekil 5.18 Deney serisinin minimum ankraj kesme kuvveti değerleri



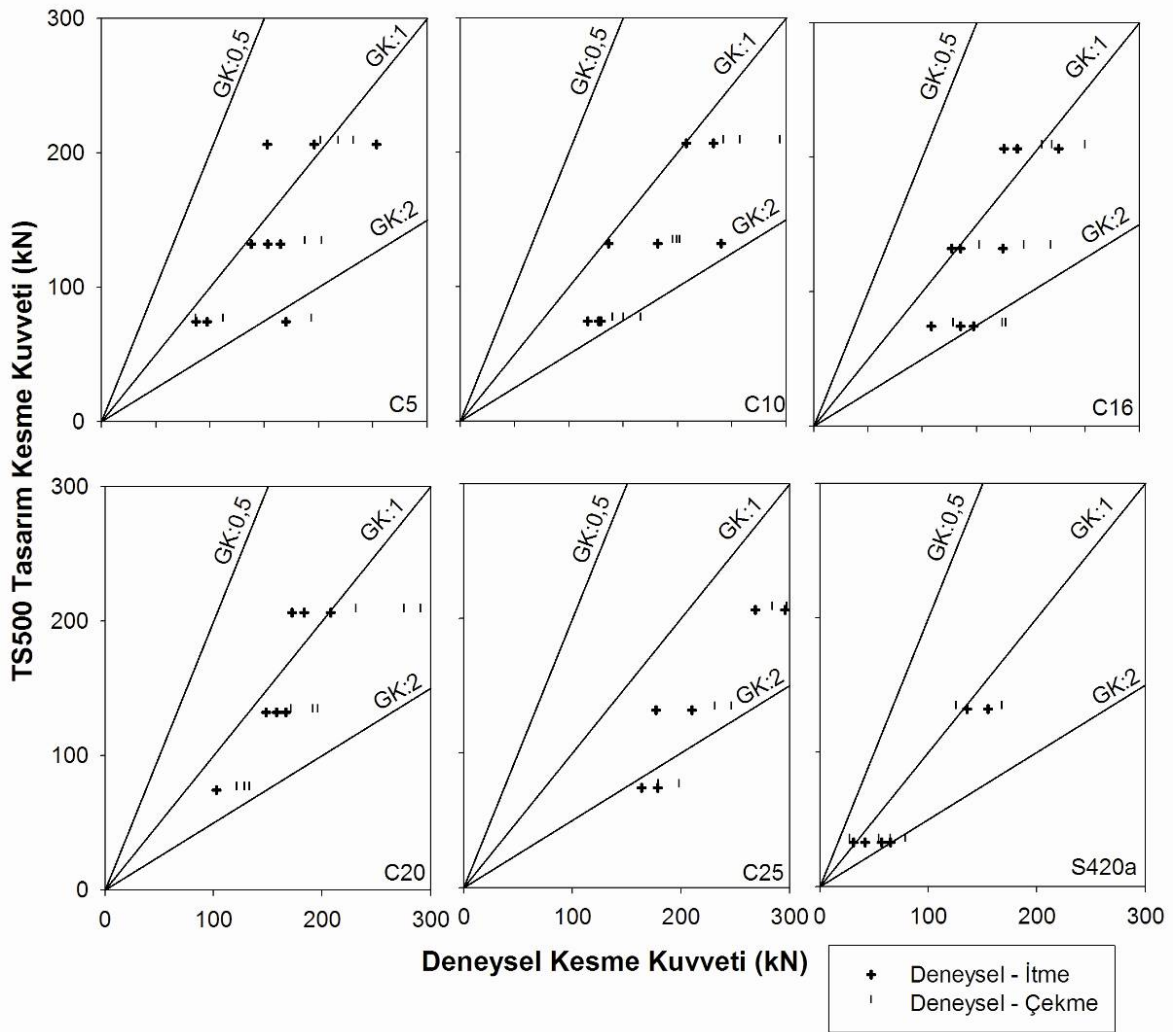
Şekil 5.19 Deney serisinin ortalama ankraj gerilmesi değerleri

#### 5.4 Deney Sonuçları ve Beklenen Ankraj Kapasiteleri

Elde edilen deney sonuçları TS500 sürtünme kesmesi formülü (Şekil 5.20) ve ACI318 ek-D'de (Şekil 5.21) 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 TS500'e göre kesme dayanımlarının

aynı olmasından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla grafikteki noktalar aşağıdan yukarıya doğru 12, 16 ve 20 mm çapa sahip ankraj elemanlarını temsil etmektedir.

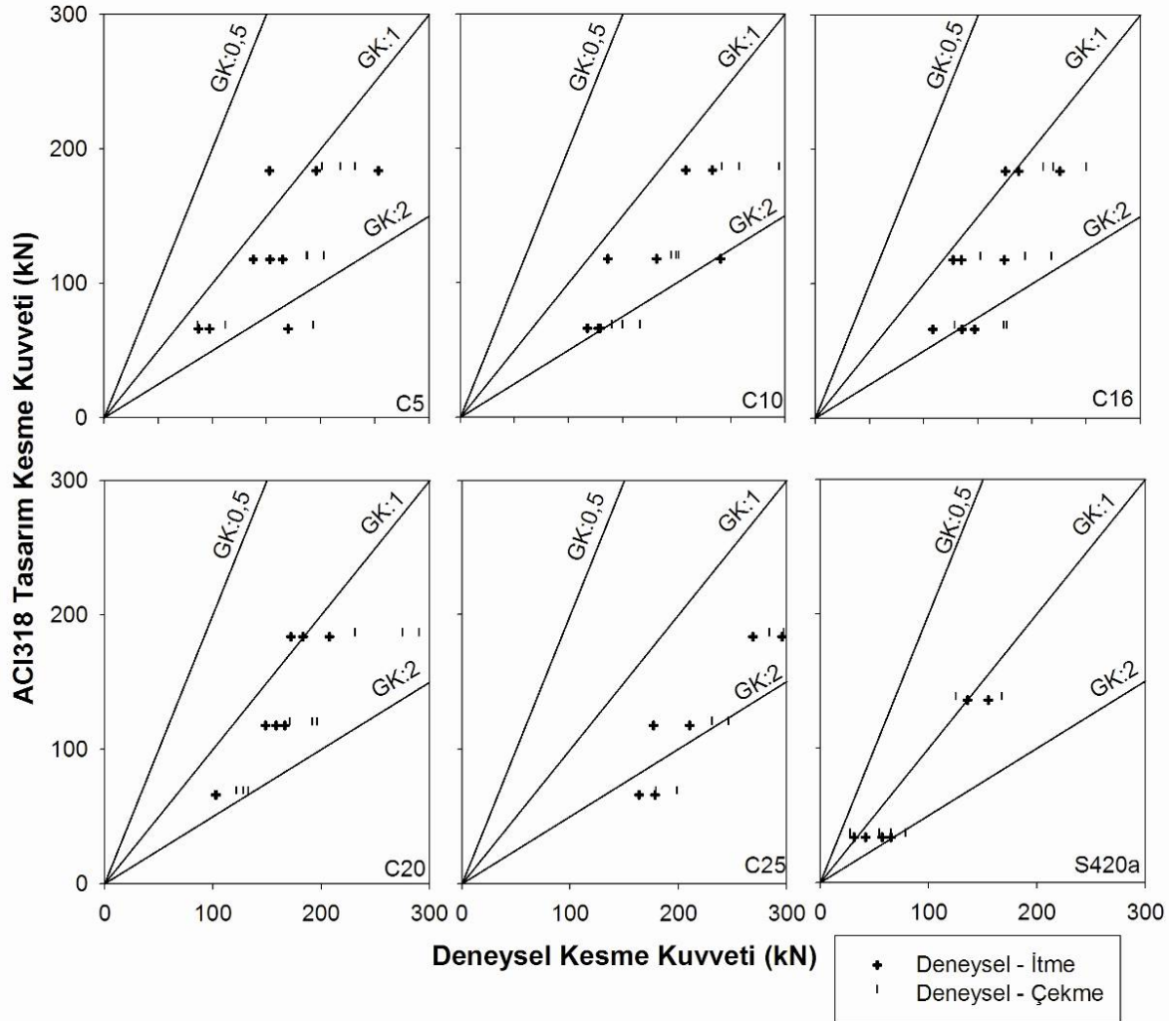
Şekil 5.20’de TS500 için verilen karşılaştırmada görüleceği gibi 12 mm çaplı donatılarla ekilen tüm ankrajların güvenlik katsayısı 1’den büyüktür. Bu çapta C25 beton için güvenlik katsayısı tüm deneylerde 2’den büyüktür. Ankraj çapının 16 mm olduğu sadece 1 deneyde TS500 dayanımının altında kapasite bulunmuştur. Ankraj donatı çapı 20 mm’ye yükseldiğinde ise, pek çok durumda güvenlik katsayısının 1’in altına düştüğü, yani TS500 tasarım dayanımına ulaşılamadan ankrajın kapasitesine ulaşıldığı gözlenmektedir.



Şekil 5.20 Deneysel kesme kuvveti – TS500 tasarım kesme kuvveti

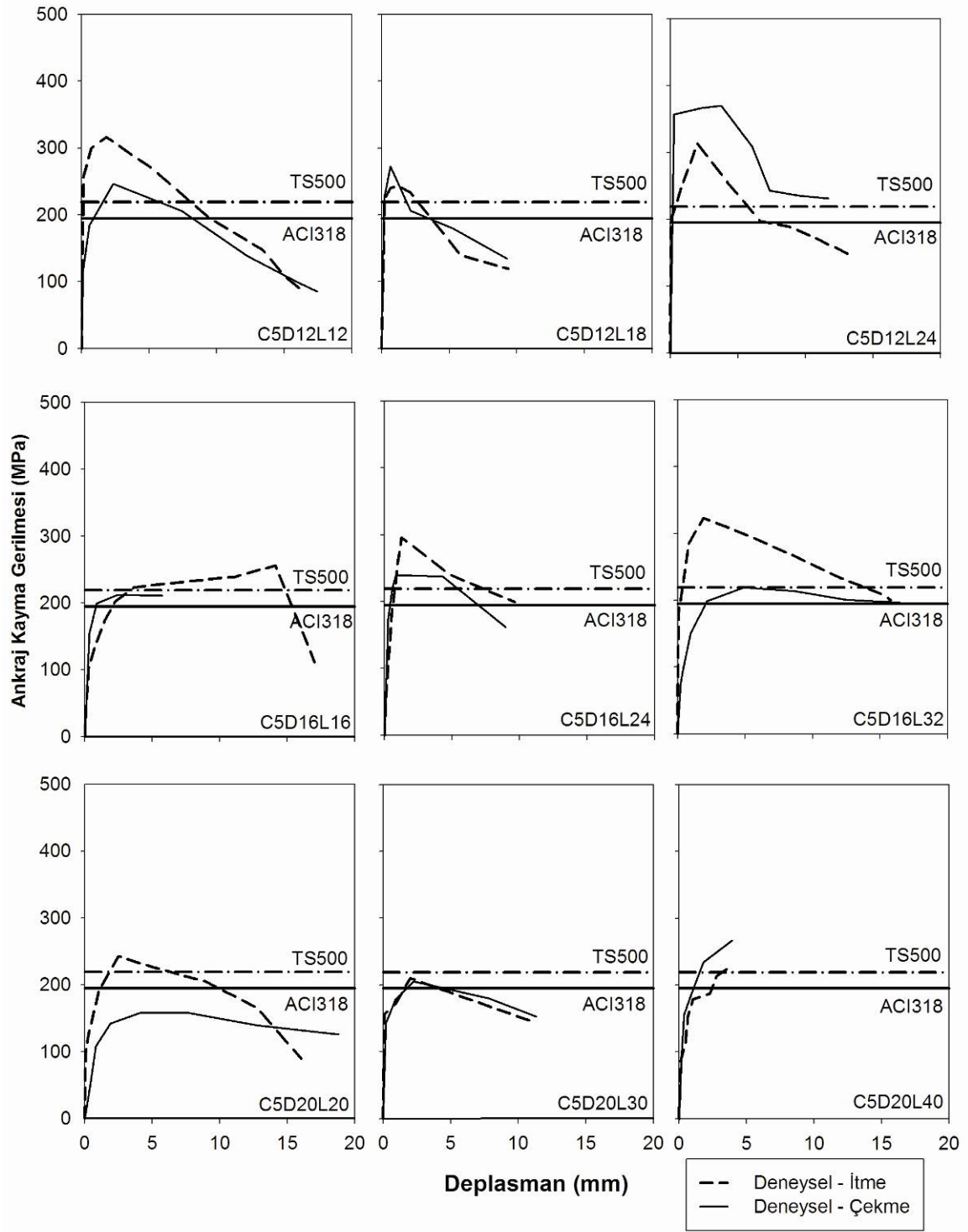
ACI318 tasarım dayanımları ile deney sonuçlarının karşılaştırması Şekil 5.21’de gösterilmiştir. Arada küçük bir fark da olsa ACI318 formüllerinin TS500 sürtünme kesmesi

dayanımına göre daha büyük güvenlik katsayısına sahip değerler vermektedir. Ancak yine de donatı çapının büyümesi durumunda güvenlik katsayılarının azaldığı görülmektedir.

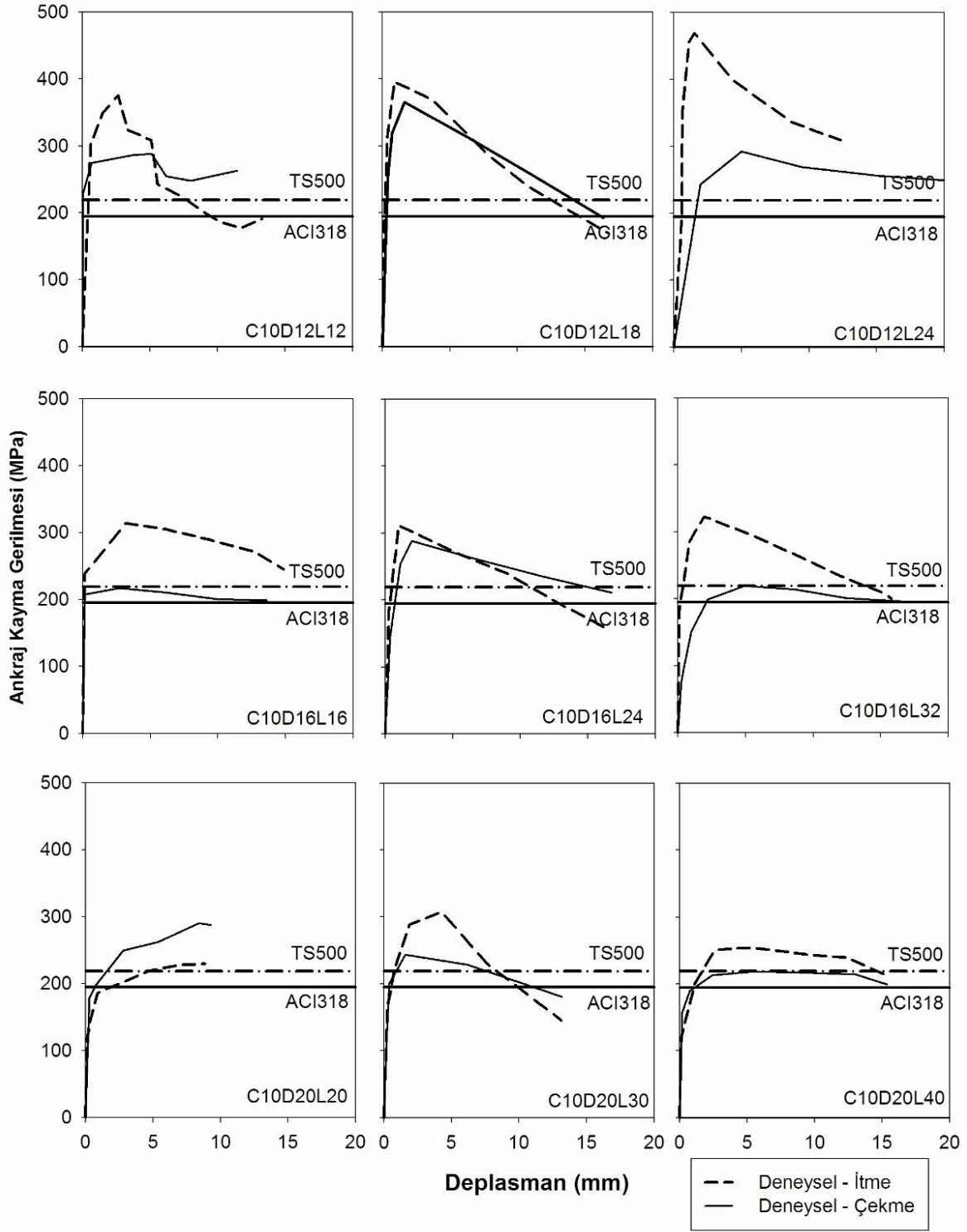


Şekil 5.21 Deneysel kesme kuvveti – ACI318 tasarım kesme kuvveti

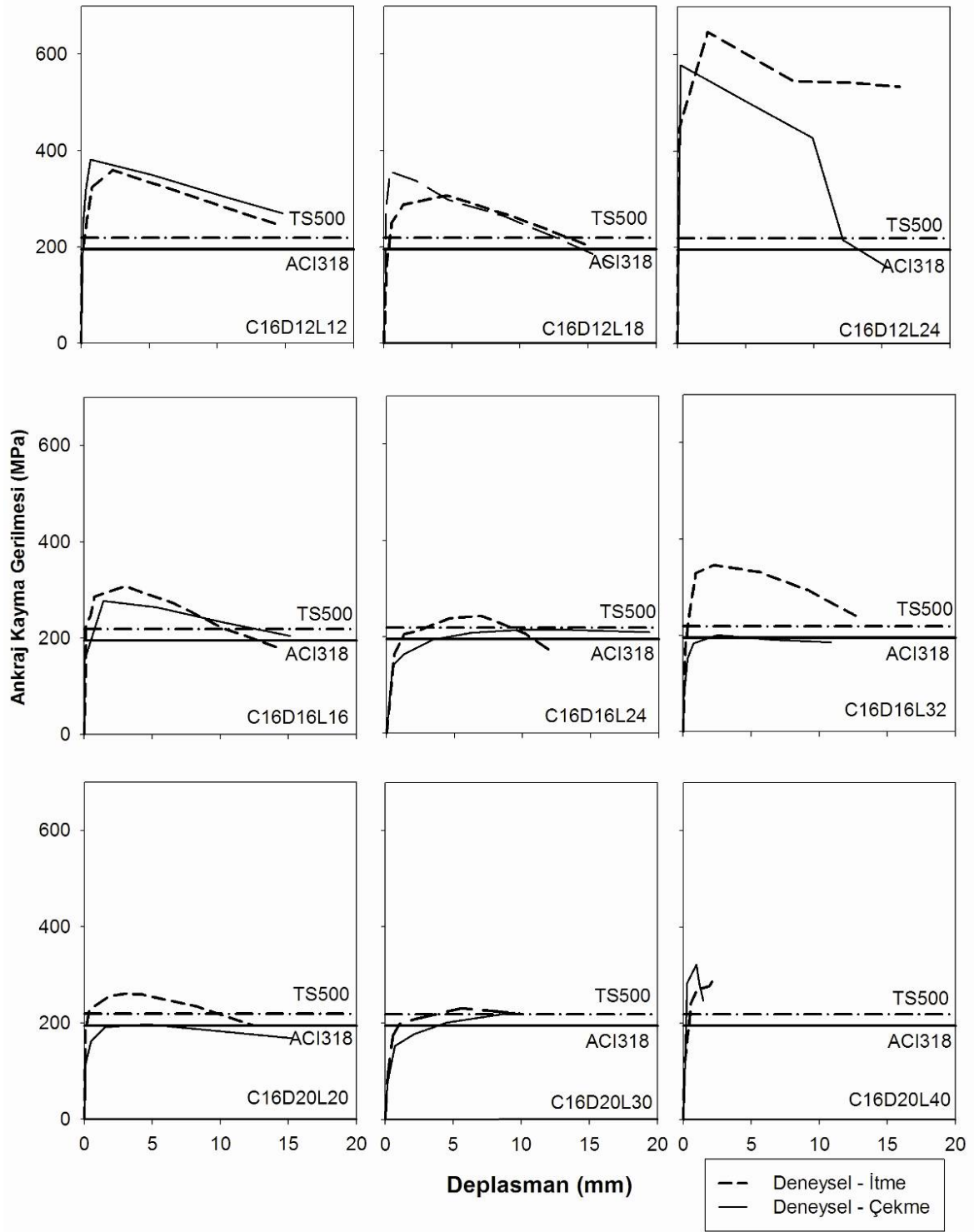
Şekil 5.22-29'da tüm deneylerin itme ve çekme yönü zarf eğrileri ile TS500 ve ACI318 güvenlik katsayılarının uygulandığı tasarım dayanımları bir arada görülmektedir.



Şekil 5.22 C5 temeline ait deney sonuçları ve beklenen kapasiteler

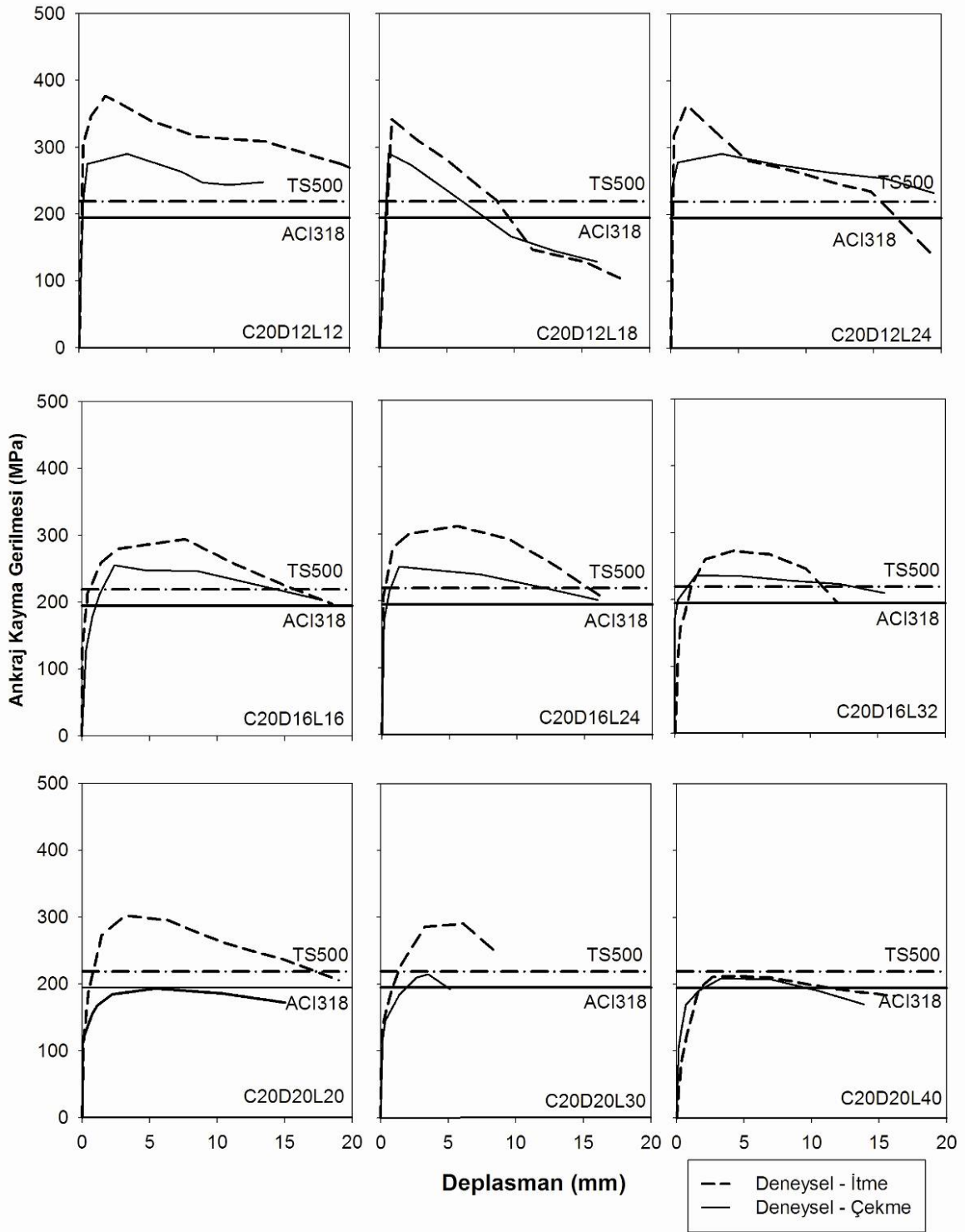


Şekil 5.23 C10 temeline ait deney sonuçları ve beklenen kapasiteler

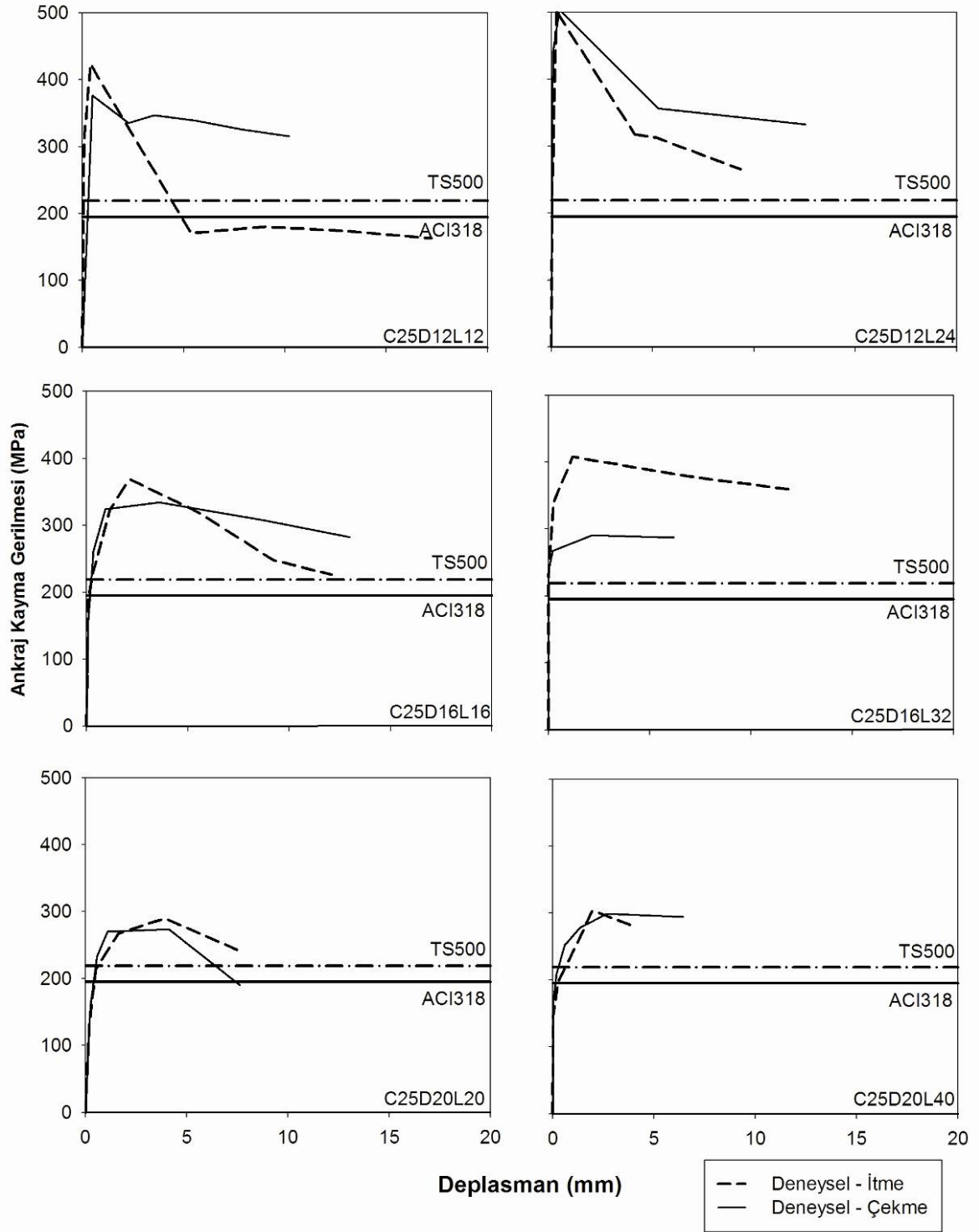


Şekil 5.24 C16 temeline ait deney sonuçları ve beklenen kapasiteler

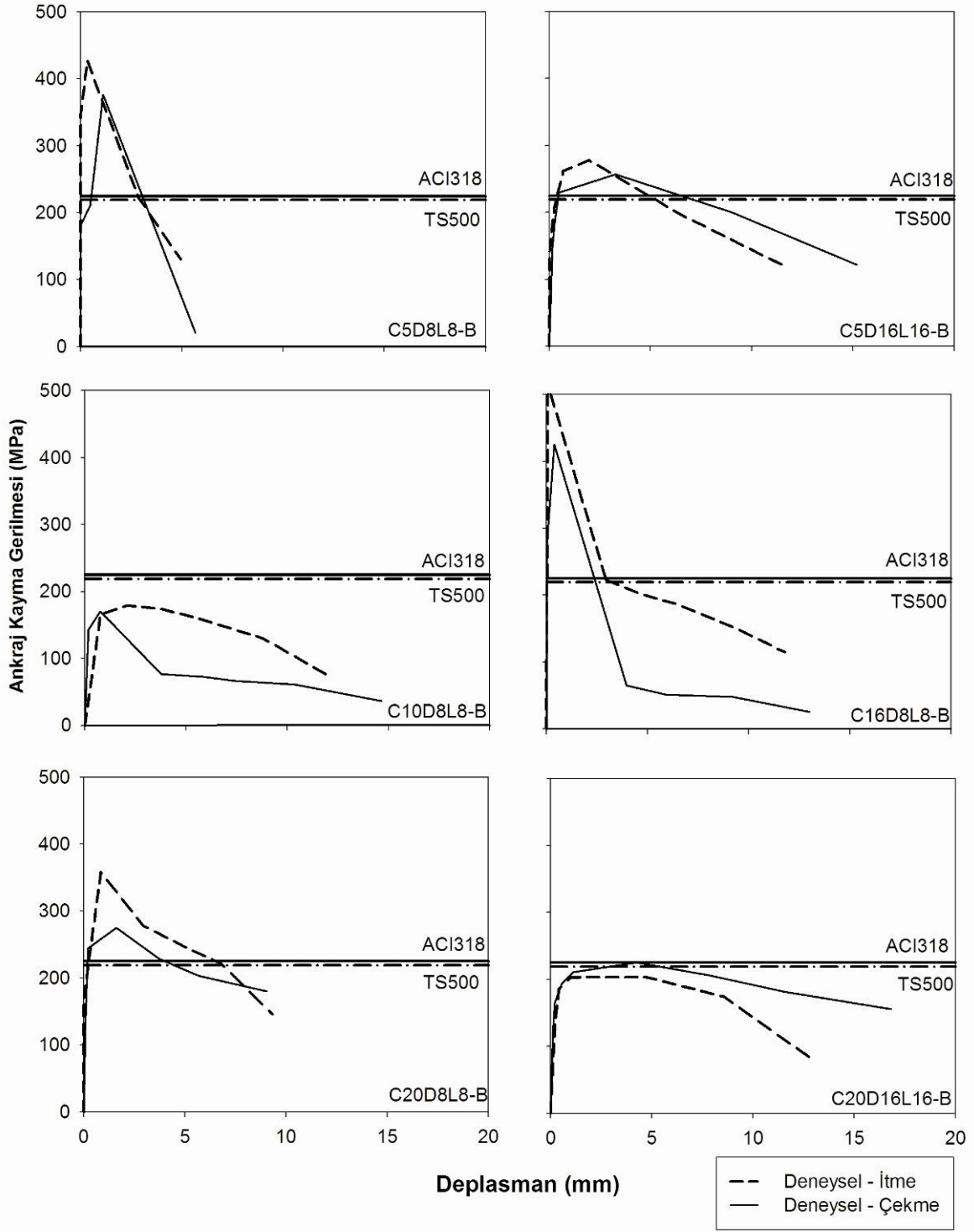




Şekil 5.25 C20 temeline ait deney sonuçları ve beklenen kapasiteler



Şekil 5.26 C25 temeline ait deney sonuçları ve beklenen kapasiteler



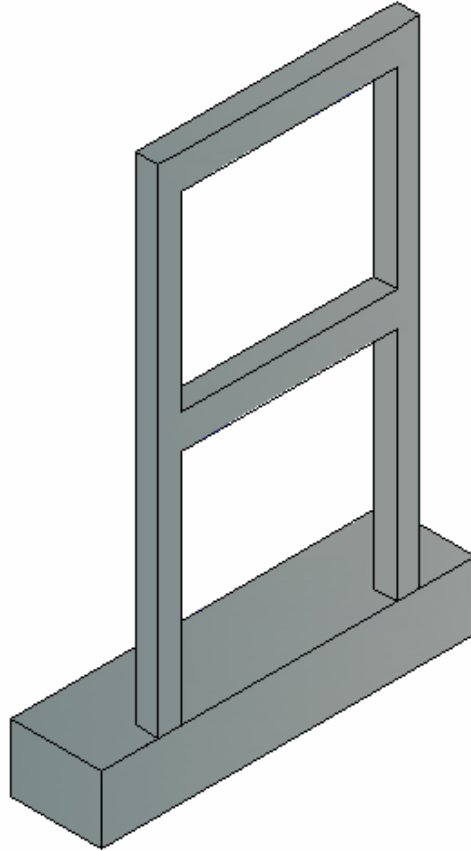
Şekil 5.27 S420a çubuklara ait deney sonuçları ve beklenen kapasiteler

**ÜÇÜNCÜ BÖLÜM**  
**DIŞ-PERDE DENEYLERİ**

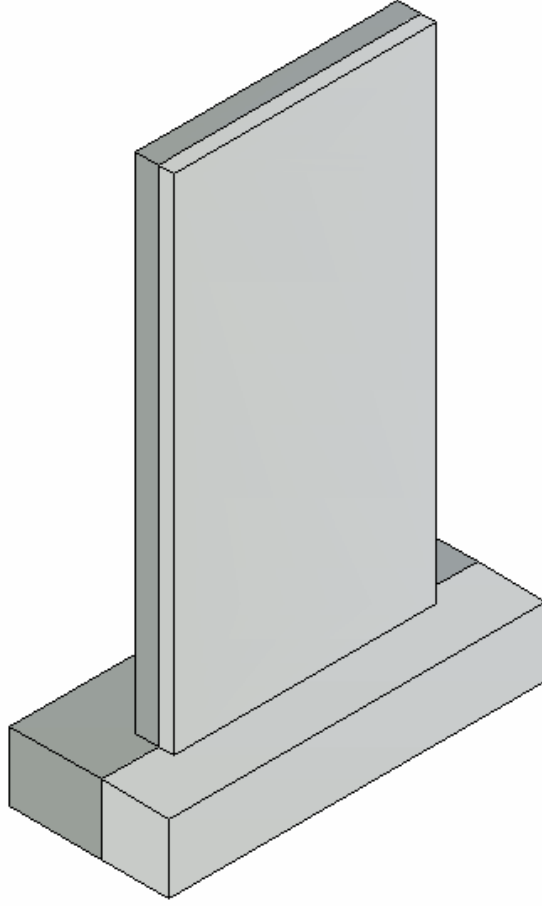
## 6 DIŞ-PERDE DENEY SERİSİ

### 6.1 Genel Bilgiler

Eleman bazında tamamlanan ankraj deneyleri sonunda küçük aplı ankraj elemanlarında TS500 formülünün belli bir güvenlik katsayısı sağlayabileceği görülmüştür. Bu Şekilde belirlenen ankraj kesme kuvvetleri kullanılarak 16 adet ereve elemanı dış-perdelerle güçlendirilmiş ve iki boyutlu dış perde ile güçlendirilmiş ereve deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerde iki katlı, tek aıklıklı,  farklı beton sınıfında ereve dış perde ile güçlendirilerek tekrarlı-tersinir yükler altında test edilmiştir. Deneylerde kolon ve kirişlerle dış-perde bağlantısındaki ankraj oranları deney serisinin değişken parametresidir. Şekil 6.1-2’de güçlendirilmemiş ereve ve dış perde ile güçlendirilmiş ereve gösterilmiştir.



Şekil 6.1 Güçlendirilmemiş ereve

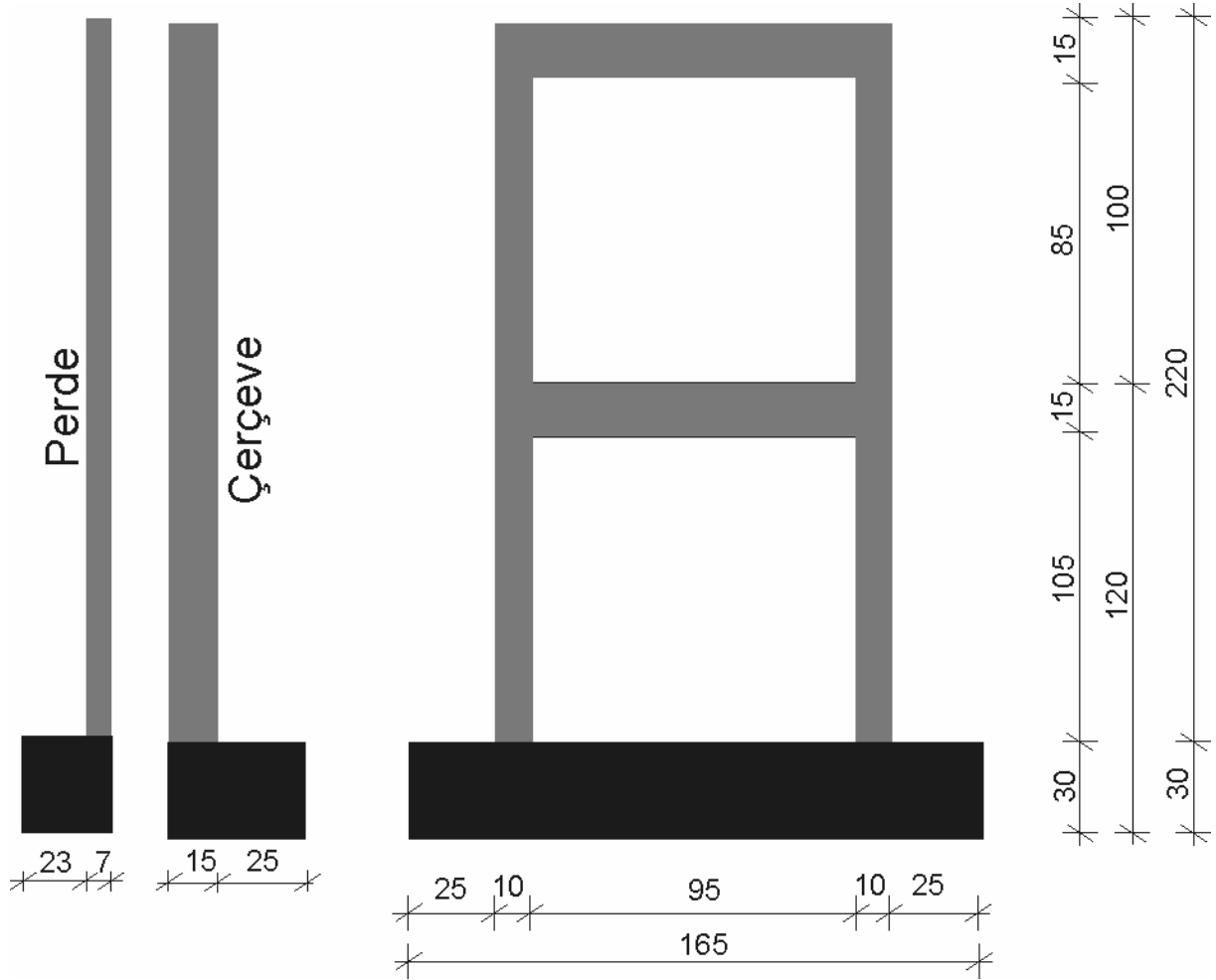


Şekil 6.2 Güçlendirilmiş çerçeve

## 6.2 Deney Serisi

Geometrik özellikleri Şekil 6.3'te verilen, 16 adet 2 boyutlu 2 katlı tek açıklıklı betonarme 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. Çerçeveler C25 beton sınıfına sahip perde duvarlarla güçlendirilmiştir.

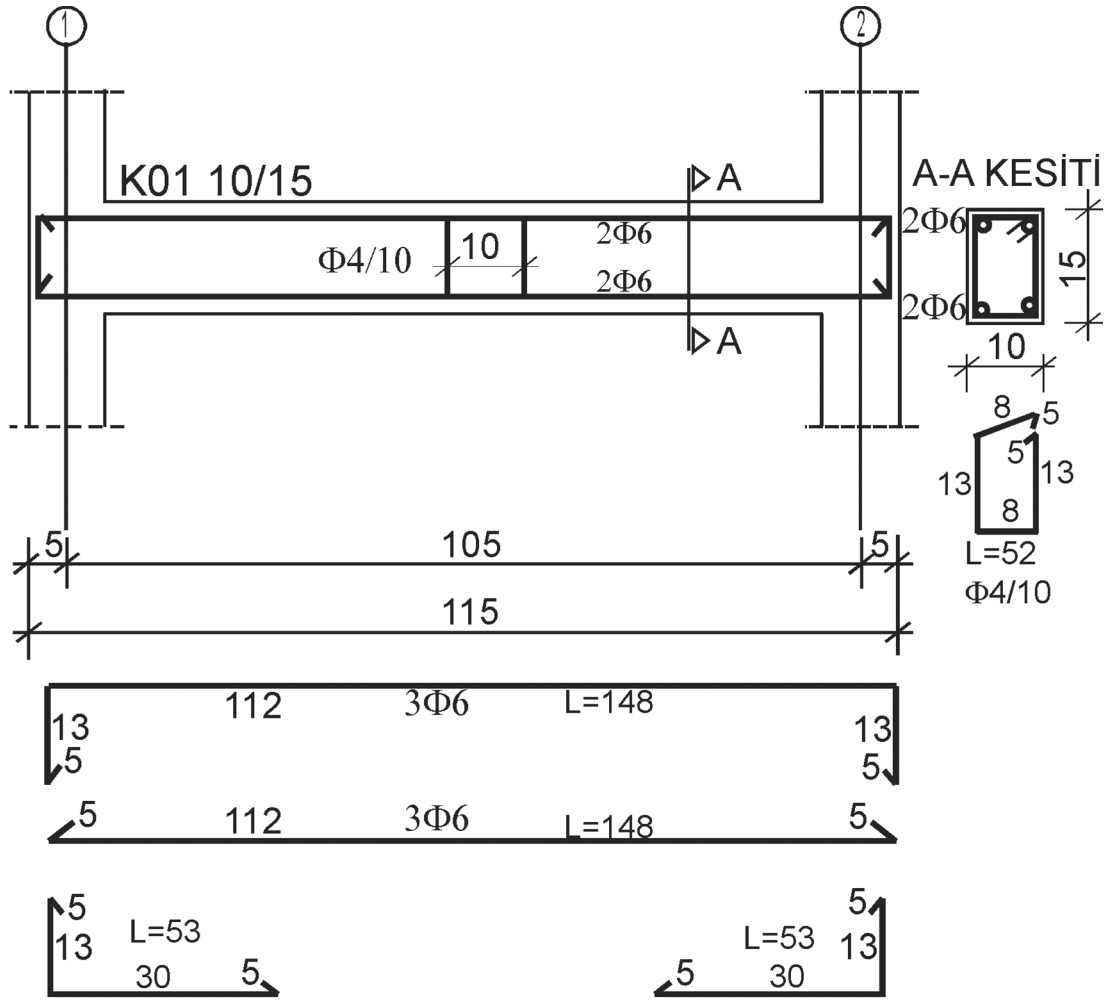
Çerçeve elemanlarının kiriş, kolon ve kalıp planları Şekil 6.4-5'te verilmiştir. Deney elemanında kirişler bina dış cephelerindeki kaçık bağlantıyı yansıtacak şekilde kolonlara bağlanmıştır. Bu şekilde dış perdeler çerçevenin bir yüzüne bağlanabilmektedir.



Şekil 6.3 2B çerçeve ölçüleri

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.

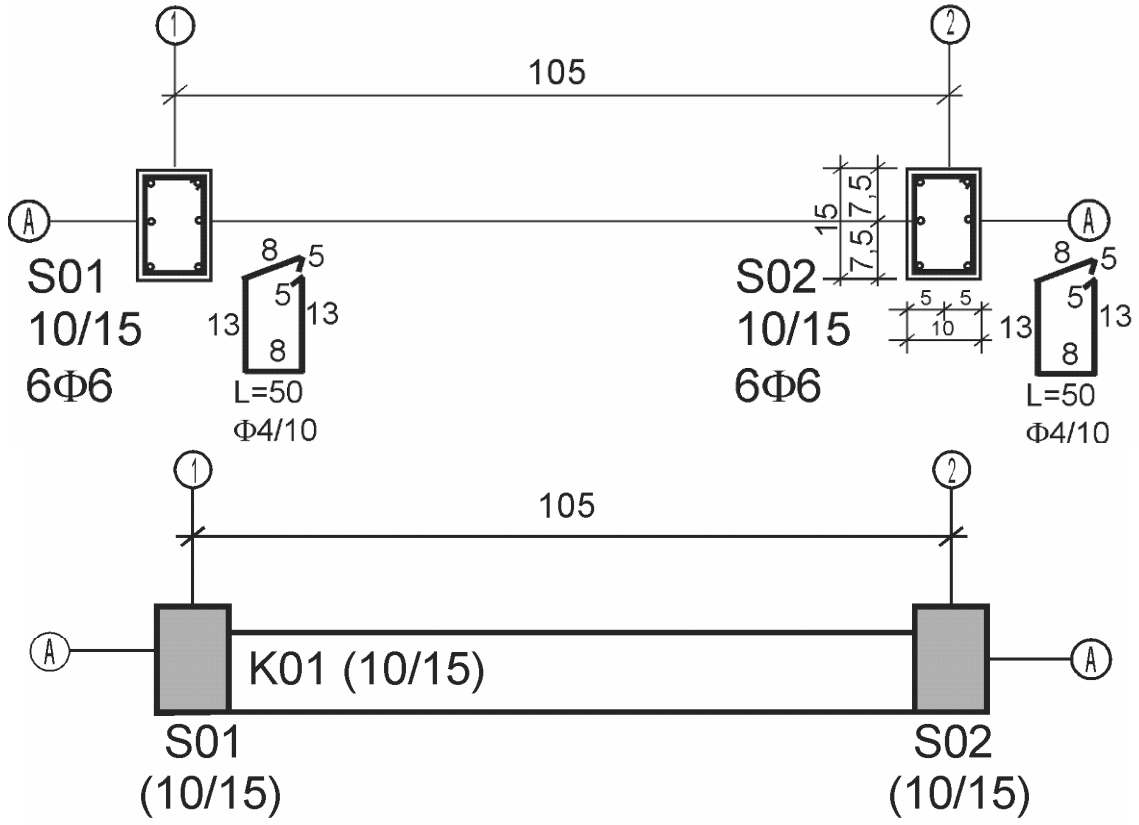
Dış perde elemanlarının detayları da Şekil 6.6'da verilmiştir. Dış perde elemanlar yükseklik/boy oranı 2'den küçük olduğu için perdelerde başlık bölgesi oluşturulmamıştır.



Şekil 6.4 Kiriş ve kolon planı

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 değerlendirilerek, 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 dolayısıyla ve düzlem kesitler düzlem kalır prensibince kiriş ankrajları düşey yönde ek bir kesme kuvvetine de maruz kalacaklardır. Bu durumun engellenebilmesi için kolon yüzeylerine 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.

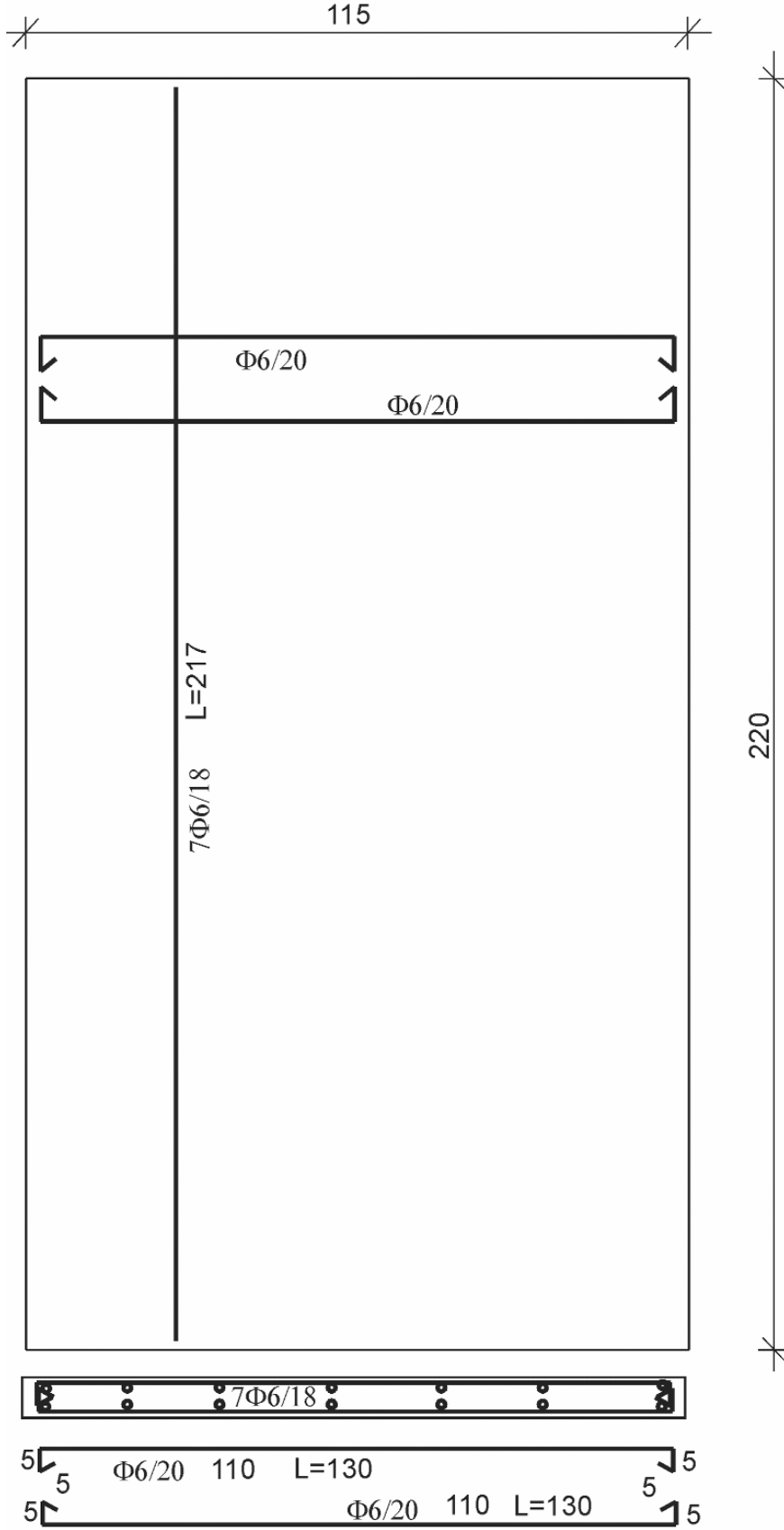




Şekil 6.5 Çerçevelerin kolon ve kalıp planları

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 ifadesi 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 fazla kullanılması durumunu ifade etmek için kullanılmıştır.

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 6.1'de, C3 betonuna sahip çerçeveler için ise Çizelge 6.2'de verilmiştir. Deney elemanlarının isimlendirmesi beton sınıfına ve kolon-kiriş ankraj oranlarına göre yapılmıştır. C1XY olarak isimlendirilen bir numunede C1 betona sahip çerçeveye, dış perdenin kolonlara X, kirişlere Y ile temsil edilen oranda ankrajla bağlandığı belirtilmektedir.



Şekil 6.6 Güçlendirme perdelerinin detayı

Çizelge 6.1 C1 ve C2 çerçevelerindeki ankraj alanının gereken 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 6.2 C3 çerçevelerindeki ankraj oranları

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%

### 6.3 Numunelerin Üretimi

Üç farklı beton dayanımında (C1-C2-C3), 16 adet 2 boyutlu çerçeve üretilmiş ve C30 beton sınıfı ile üretilen perde duvarlarla çerçevenin kolon ve kirişlerinden ankrajlanmıştır. Şekil 6.7’de çerçeve kalıbı, Şekil 6.8’de çerçevelerin beton dökümünden görüntüler verilmiştir. Çerçeve elemanlardan ayrı olarak üretilen perdelerin kalıp ve beton dökümü görüntüleri de Şekil 6.9-10’da görülmektedir.



Şekil 6.7 Çerçeve kalıbı



Şekil 6.8 Çerçevelerin beton dökümünden görüntü

Güçlendirme perdeleri çerçevelerin kiriş, kolon ve temellerinden ankrajlanarak çerçeveye tutturulmuştur (Şekil 6.11). Delikler;  $\Phi 6$  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 donatıların kırılmaması için çevre güvenliği sağlanmıştır.



Şekil 6.9 Perde kalıbı



Şekil 6.10 Perdelerin beton dökümü



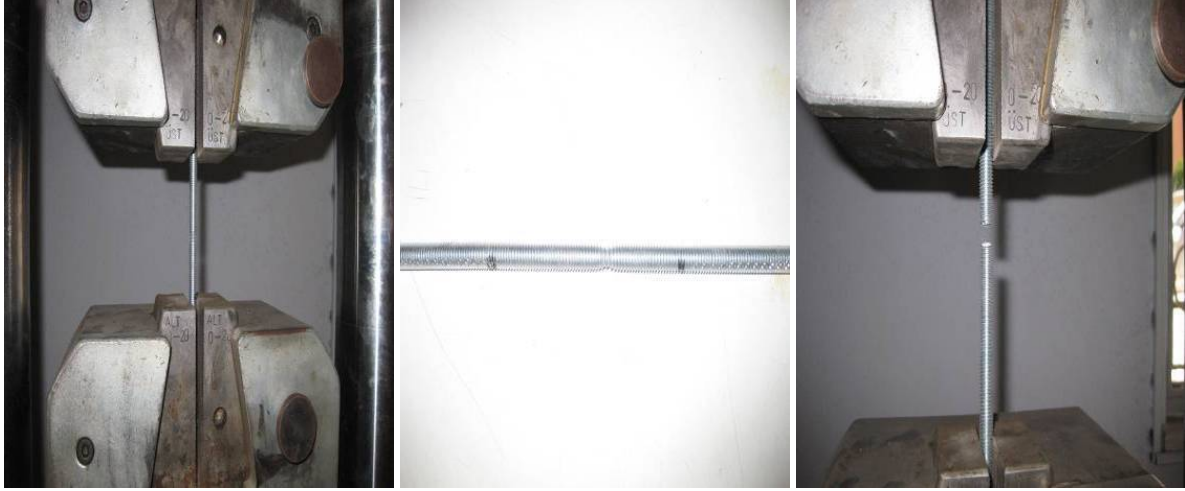
Şekil 6.11 Çerçeveslere perdelerin ankrajlarla bağlanması

## **6.4 Malzeme Kalitesi**

### **6.4.1 S420a ankraj çubukları**

Dış perde ile güçlendirilmiş çerçeve deneylerinde perdelerin, kolon ve kirişlere sabitlenmesi için gömülme derinliği sınırı dolayısıyla küçük çaplı  $\Phi 6$ ,  $\Phi 8$  ve  $\Phi 10$  mm

çapında S420a donatılar kullanılmıştır. Kullanılan ankraj çubuklarına imalat öncesi çekme testi yapılmıştır (Şekil 6.12). Çekme testi sonuçları Çizelge 6.3’te görülmektedir.



Şekil 6.12 S420a ankraj çubukları çekme testinden görüntüler

Çizelge 6.3 Ankraj donatılarının mekanik özellikleri

Çap (mm)	Akma Dayanımı (MPa)	Ortalama Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Ortalama Çekme Dayanımı (MPa)
6	446	448	487	471
6	450		455	
8	420	422	434	434
8	424		433	
10	400	440	408	450
10	480		491	

#### 6.4.2 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 3. bölümde verilmiştir.

### 6.4.3 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 6.4’te görülmektedir.

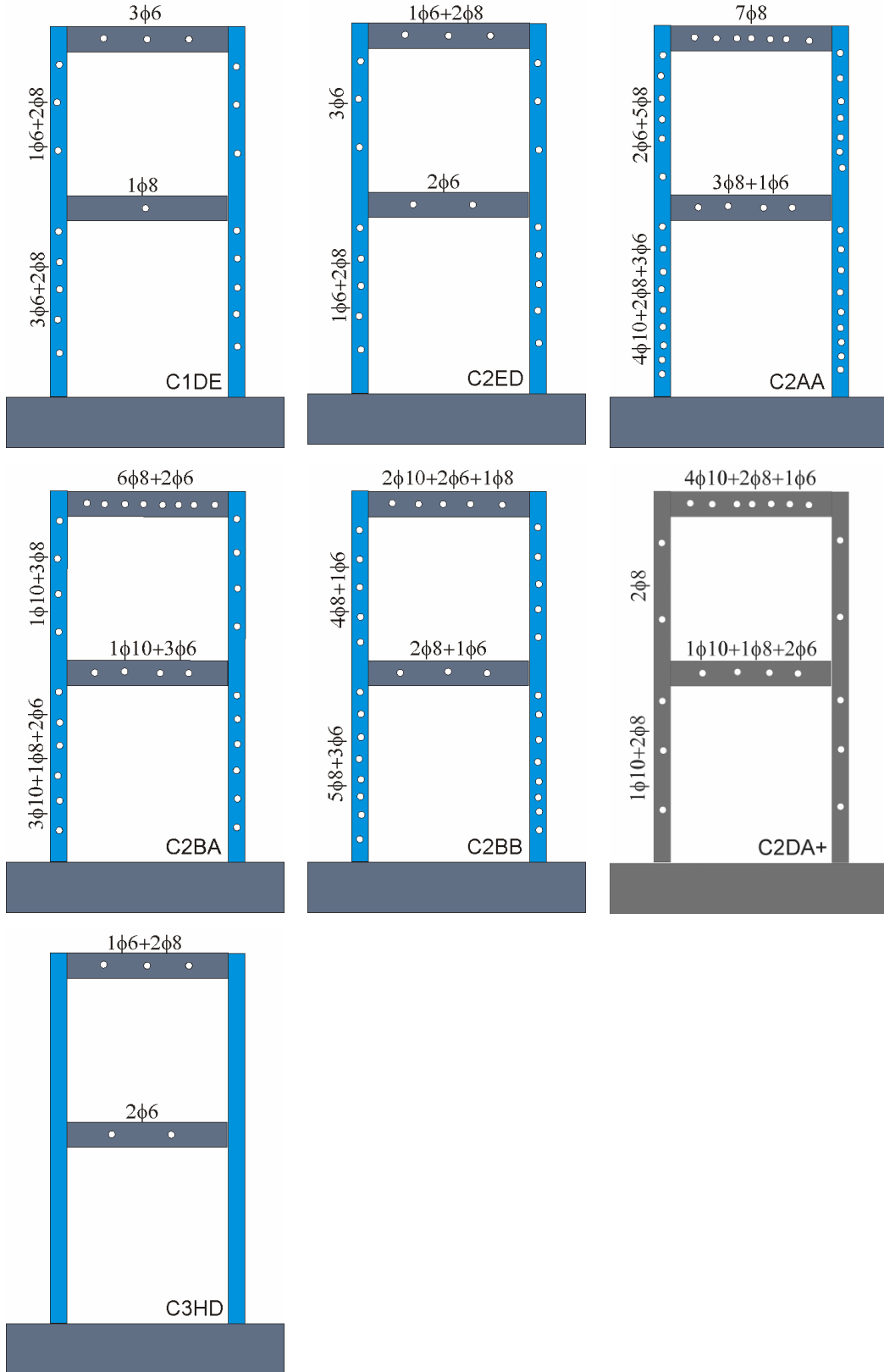
Çizelge 6.4 Çerçeve deneylerinde kullanılan betonların basınç dayanımları (MPa)

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

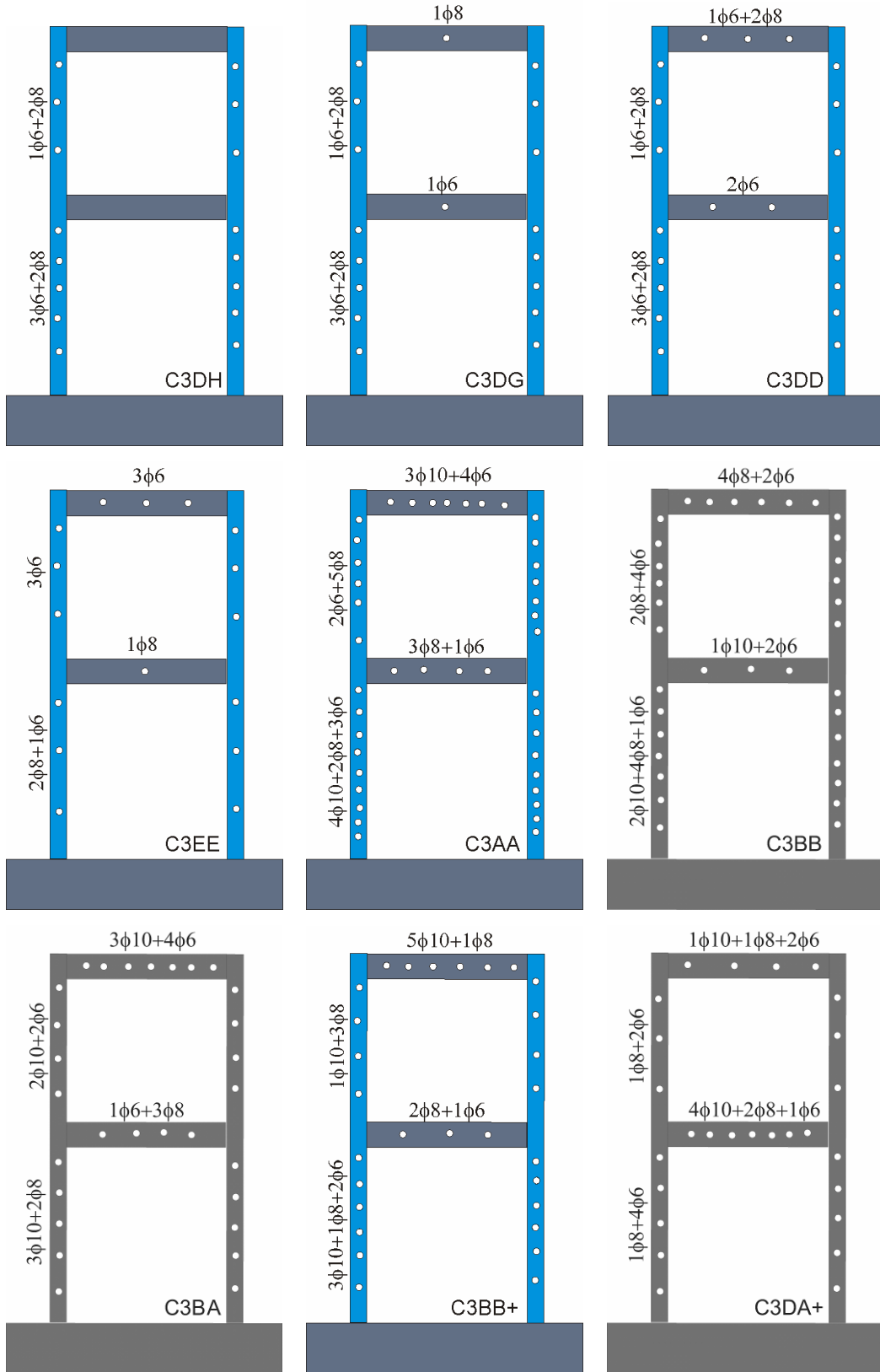
### 6.5 Ankraj Yerleşim Planı

Gereken ankraj donatılarının hesaplanması sonucunda belli oranlarda azaltmalar yapılarak deney elemanlarının ankrajları hesaplanmıştır. Tüm deney elemanlarında kolon ve kirişlerde kullanılan ankraj miktarları ve çapları Şekil 6.13-14’te verilmiştir.





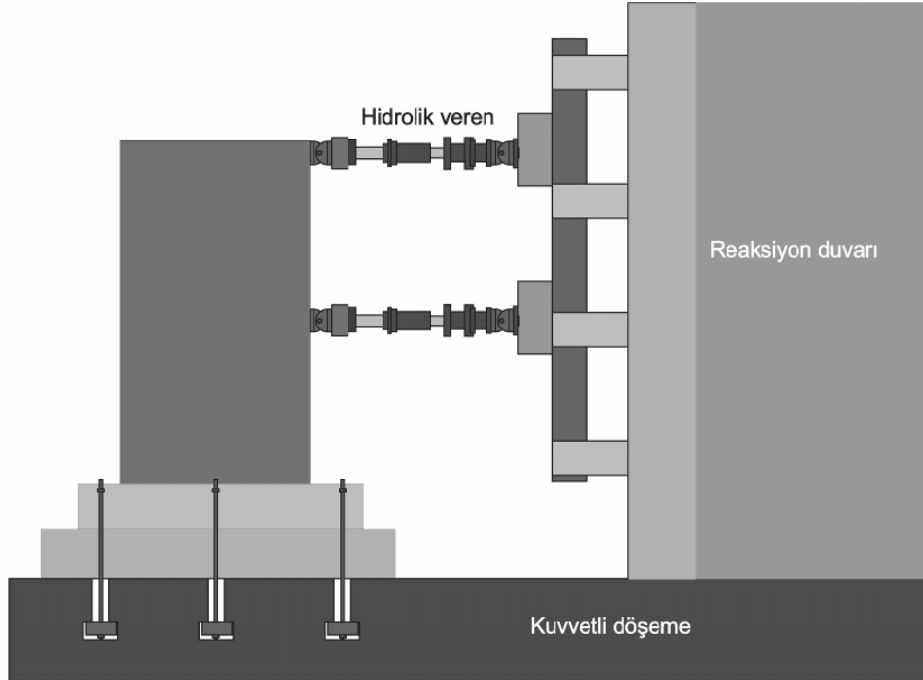
Şekil 6.13 Çerçvelerde ankraj yerleşim planı – 1



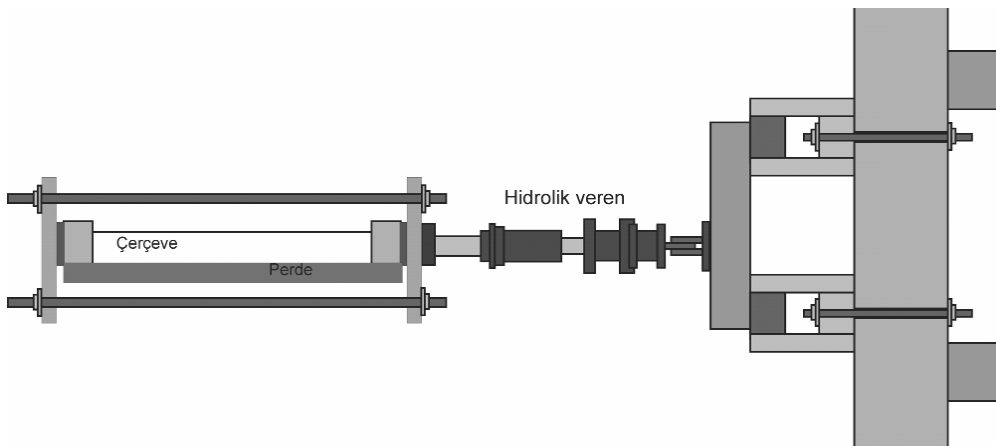
Şekil 6.14 Çerçeveselerde ankraj yerleşim planı – 2

## 6.6 Deney Sistemi

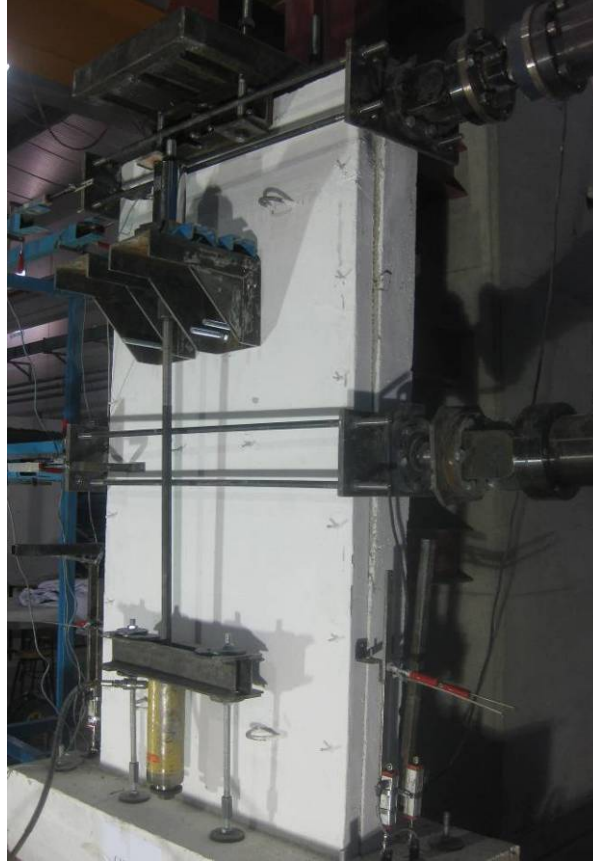
Şekil 6.15'te deney düzeneğinin görünüşü verilmiştir. Deney yapısı rijit döşemeye 6 noktadan bağlanmıştır. Deneyde çerçeve elemanı kat seviyelerinden tekil yükleme ile itme/çekme yapılarak test edilmiştir. Piston kuvvetinin tümü çerçeveye etkililmiş, perde ile piston arasında bir bağlantı veya temas oluşması engellenmiştir. Böylece, perde ile çerçeve arasındaki ankrajların yük aktarımındaki performansları denenmiştir. Şekil 6.16'da çerçeve piston bağlantısının üst görünüşü, Şekil 6.17'de de çerçeve piston bağlantısından bir görünüm verilmiştir.



Şekil 6.15 2B çerçeve yatay yükleme sistemi



Şekil 6.16 Çerçeve – piston bağlantısı üst görünüş



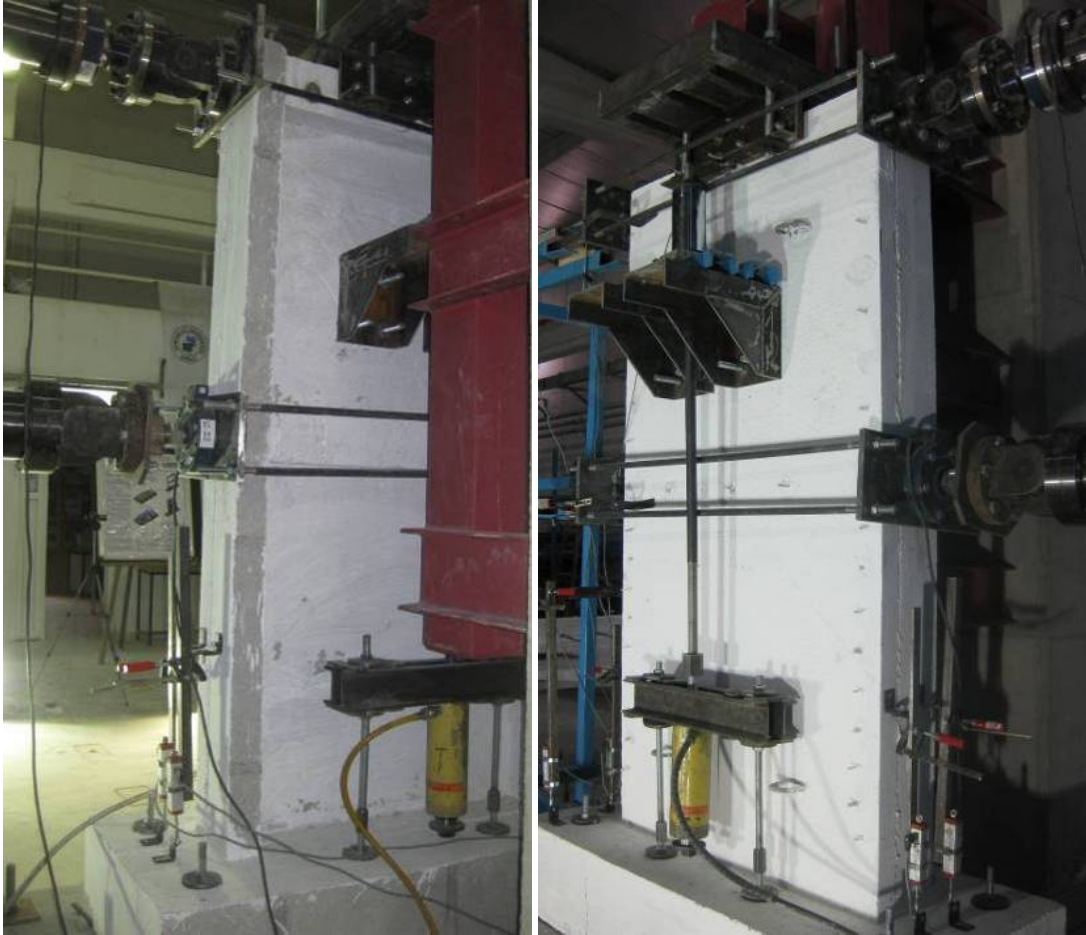
Şekil 6.17 Çerçeve ile piston bağlantısından bir görünüm

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 6.18).

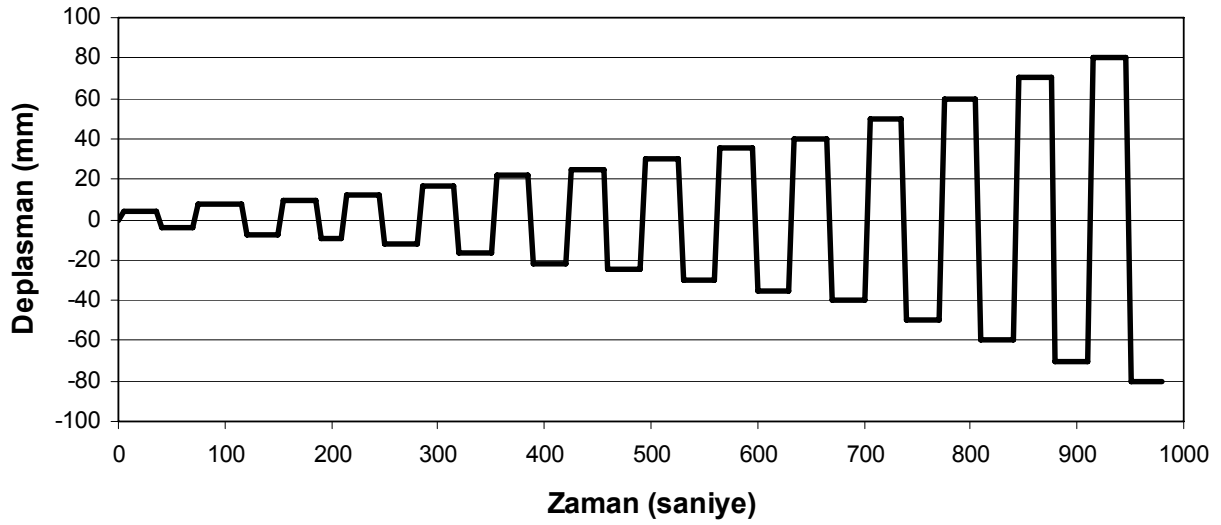
Perde üzerine aksel yük el kontrollü hidrolik silindirlerle uygulanmıştır. Tüm elemanlar deney boyunca sabit 160 kN aksel basınç altında tutulmuşlardır (Şekil 6.19). Yatay yük uygulama üzere 1. ve 2. kat seviyesine bağlanan pistonlardan üst katta bulunan istenen deplasman profiline uygun olarak hareket ettirilmiştir (Şekil 6.20). 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 6.18 Veren-veren mesnedi ve veren-çerçeve bağlantıları

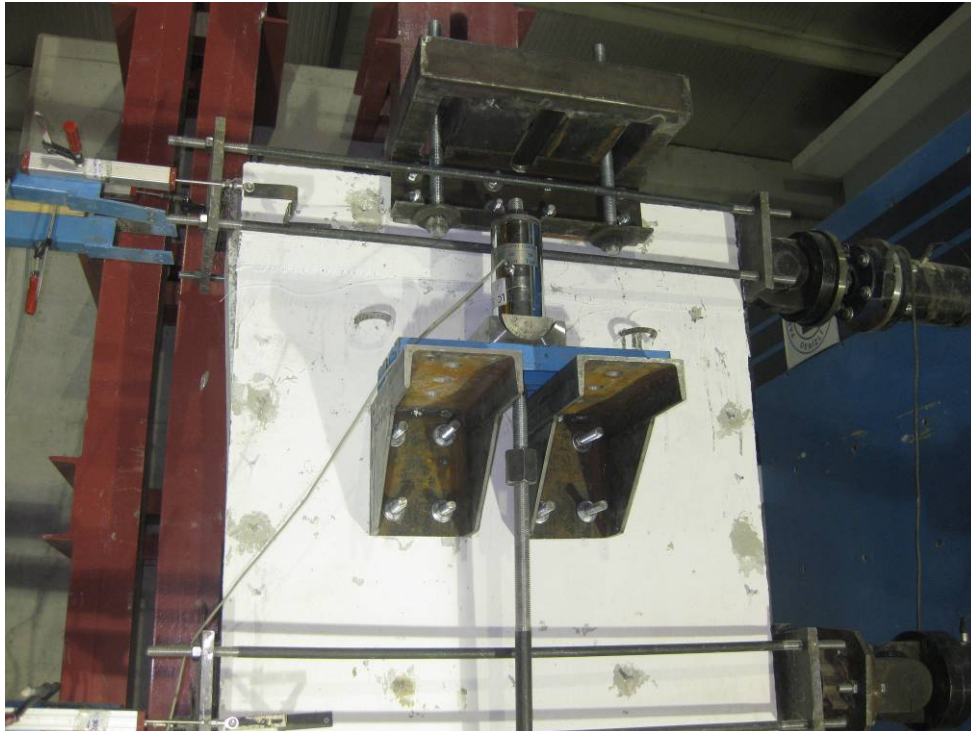


Şekil 6.19 Çerçeveye uygulanan aksenal yük düzeneği



Şekil 6.20 Deplasman yüklemesi

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. Kılavuz sistemin yatay hareketi de laboratuarda bulunan gezer reaksiyon duvarına bağlanarak engellenmiştir. Perdenin düzlem dışı hareketini engellemek üzere kurulan sistem Şekil 6.21’de görülmektedir.



Şekil 6.21 Perde ve çerçevedeki kılavuz sistemi

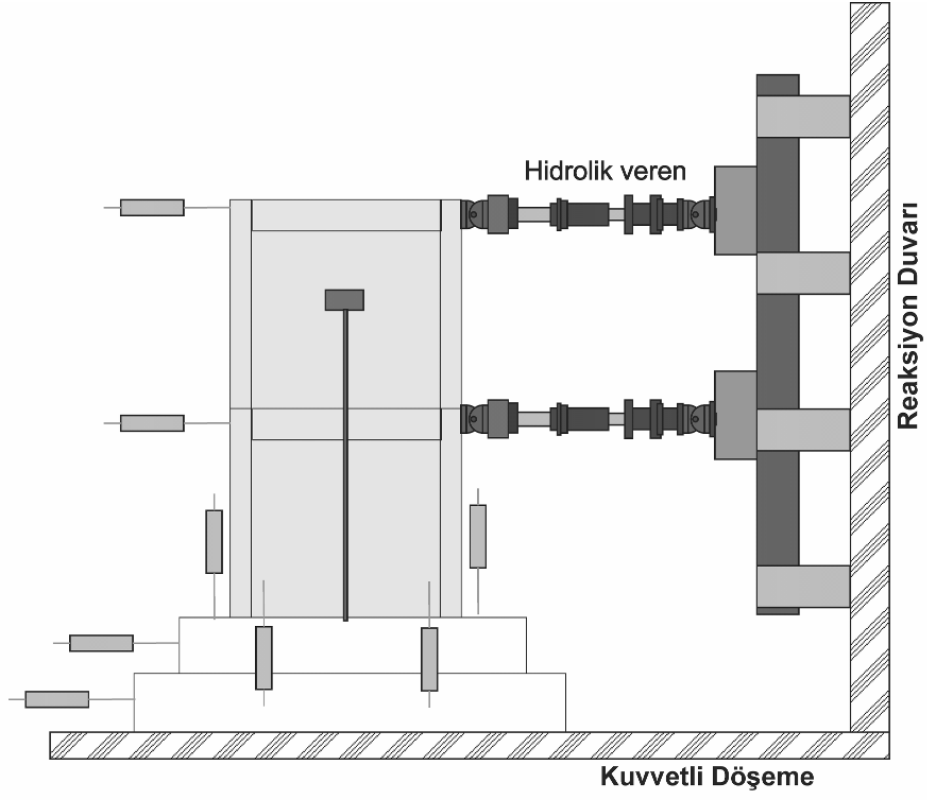
## 6.7 Veri Toplama Sistemi

Deneysel kat deplasmanları, kolon ve perde uç liflerinin şekil değiştirme değerleri ile katlara etkitilen yatay yük değerleri 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 6.22’de verilmiştir.



Şekil 6.22 Veri toplama yazılımının çalışması

Deneysel deplasmanların ölçümü için doğrusal potansiyometrik cetveller ve LVDT’ler (Şekil 6.23) 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.



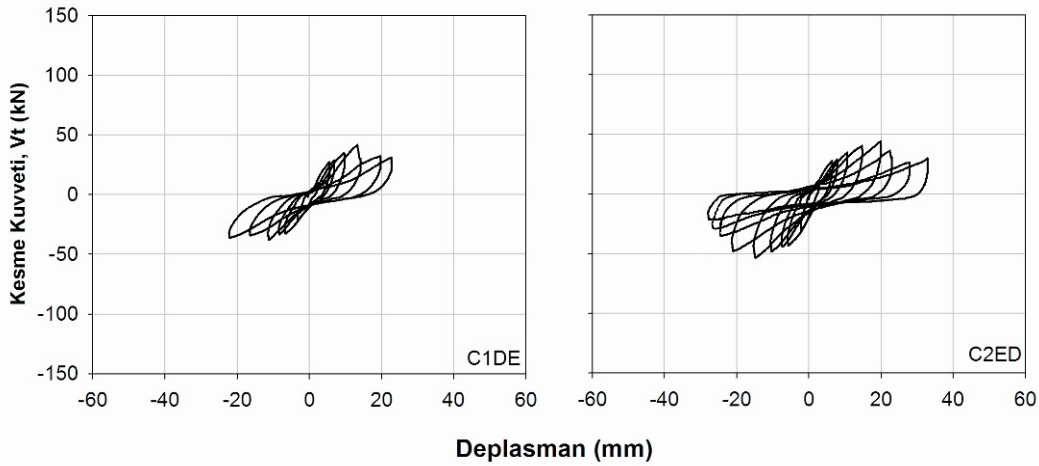
Şekil 6.23 Deplasman ölçer yerleşim planı



## 7 DIŞ-PERDE DENEY SONUÇLARI

### 7.1 Deneysel Sonuçları

İki boyutlu dış perdeli çerçeve deneylerinde her bir yapının davranışı ve kapasitesi 160 kN sabit aksel kuvvet altında belirlenmiştir. Şekil 7.1-4'te dış perde ile güçlendirilmiş C1, C2 ve C3 çerçevelerin çevrim eğrileri gösterilmiştir. Ankraj miktarı düşük olan elemanların dayanımlarının düşük seviyelerde olduğu görülmektedir. Bu elemanlarının tamamında yatay yük kapasitesi 40-80 kN aralığında gerçekleşmiştir. Bu elemanların ikisinde (C1DE ve C2ED) %1 görece ötelenme öncesinde taşıma gücünün azaldığı görülmüştür. Düşük beton dayanımlı çerçevelerde (C1 ve C2) bağlantısı gerekli ankraj miktarının %35'inden az ankrajla sağlanan elemanlara ait çevrim eğrileri Şekil 7.1'de verilmiştir.

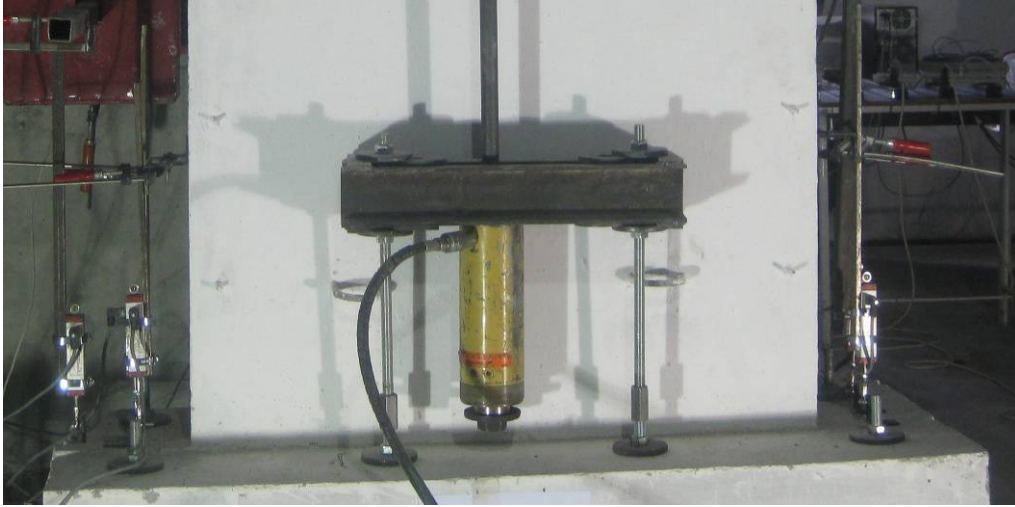


Şekil 7.1 C1DE ve C2ED çerçevelerine ait kesme kuvveti-deplasman eğrileri

Kolon ve kirişlerindeki ankraj oranları %35 ve daha düşük olan çerçevelerde, daha deneyin ilk adımlarında üst kat kiriş ankrajlarının kopmasından dolayı perde ile çerçeve birbirinden ayrılmaya başlamıştır (Şekil 7.2). C1DE'de kiriş ankrajları 13 mm, C2ED'de ise 20 mm tepe deplasmanı seviyesinde kopmaya başlamışlardır. Bu deplasman değerlerinden sonra deney elemanlarının kapasitesi her çevrimde azalmıştır. Deney esnasında perde tabanında her hangi bir hasar oluşmamıştır (Şekil 7.3).

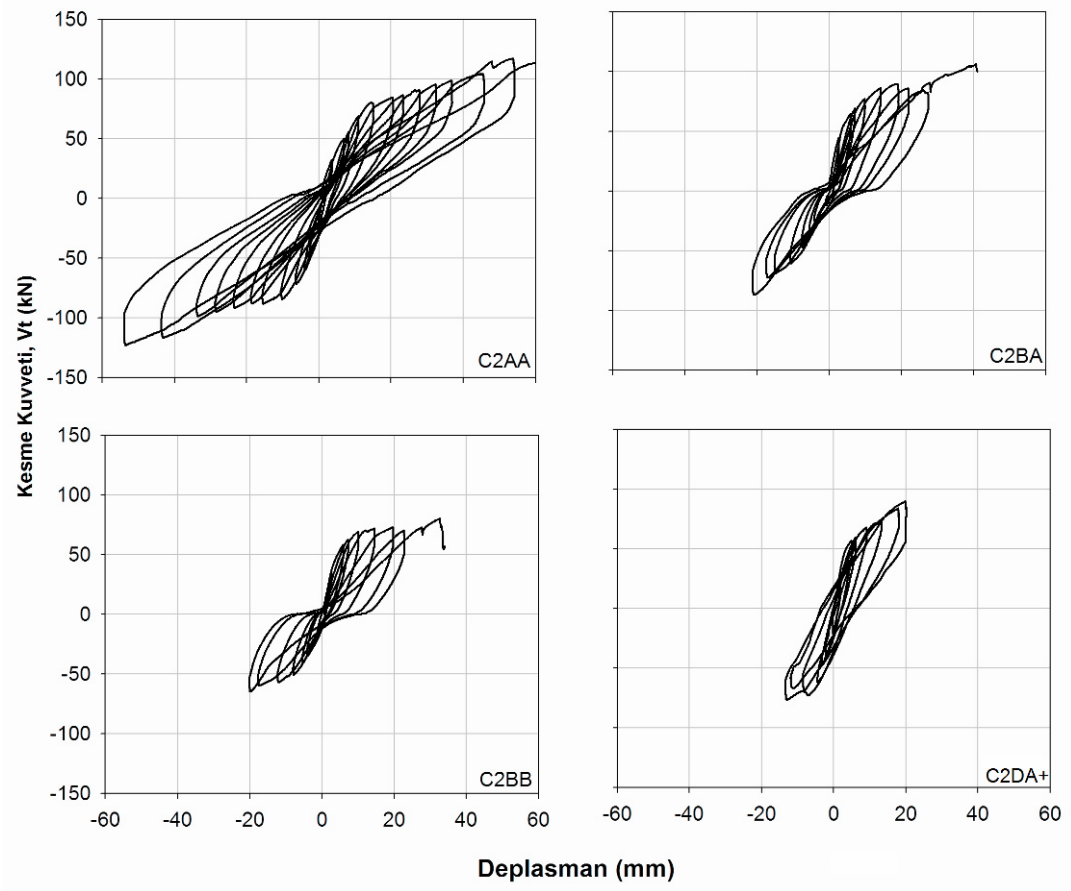


Şekil 7.2 Perdenin çerçeveden ayrılmaya başlaması



Şekil 7.3 Düşük dayanımlı – düşük ankraj oranlı çerçevelerde perde tabanı

Şekil 7.4’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 7.5). Bu numunelerde perde tabanında eğilme çatlakları görülmüştür (Şekil 7.6).



Şekil 7.4 C2 çerçevelerine ait kesme kuvveti-deplasman eğrileri

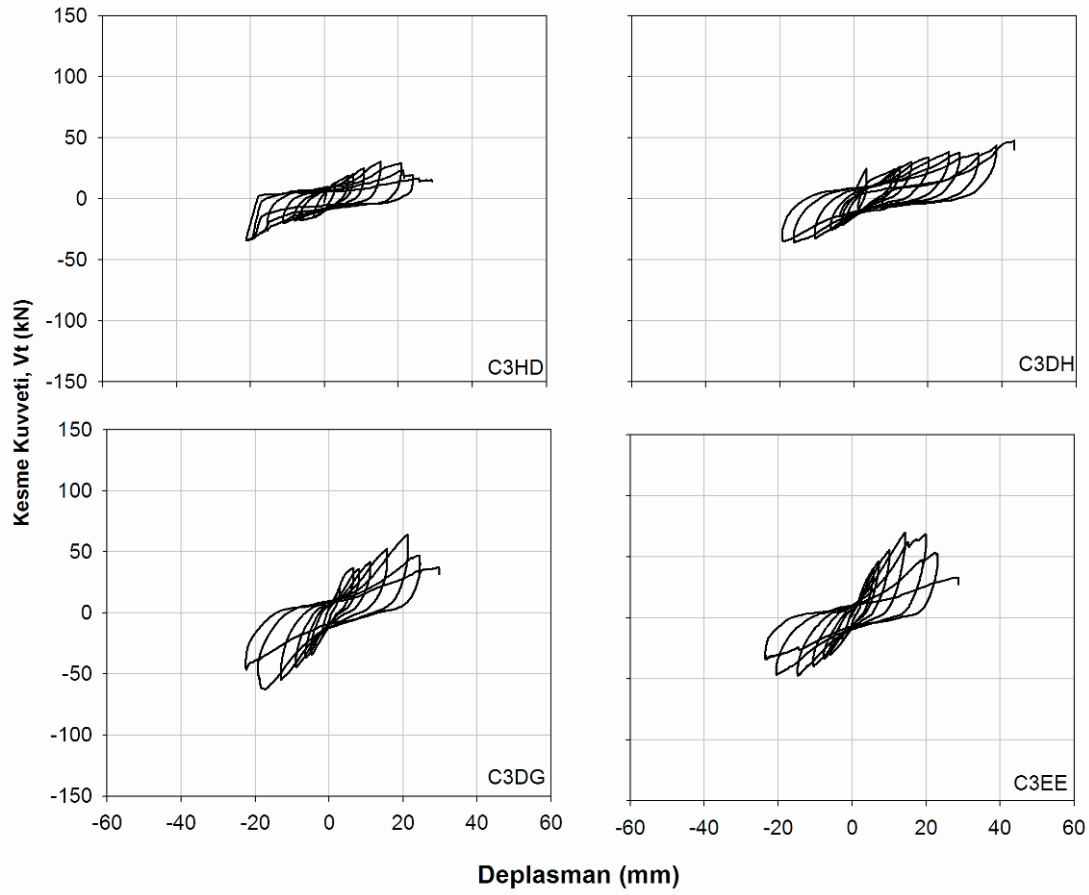


Şekil 7.5 Çerçeve ve perdenin birlikte çalışması



Şekil 7.6 Ankraj oranı yüksek C2 elemanlarda görülen perde eğilme çatlakları

Şekil 7.7’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 aşıldığı hem de %1.5 deplasman düzeyini aştığı görülmektedir.



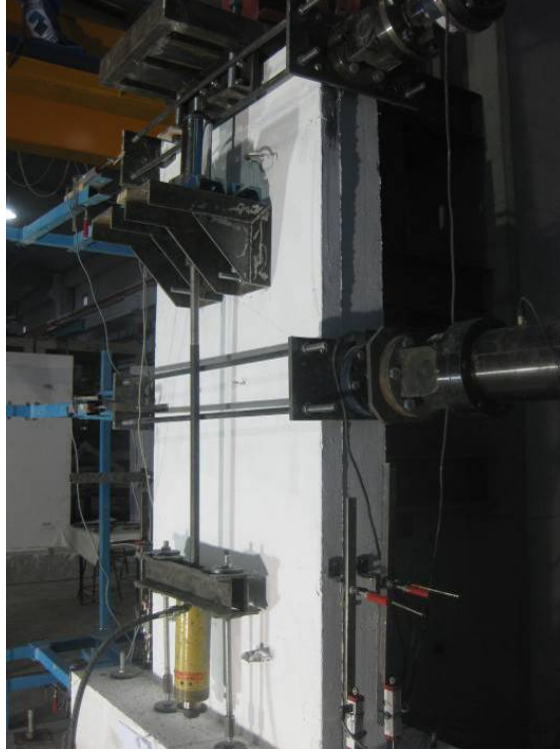
Şekil 7.7 C3 çerçevelerine ait kesme kuvveti-deplasman eğrileri – 1

Kirişlerindeki ankraj oranı %0 olan numunelerde (C3HD ve C3DH) çerçeve ve perde arasında belirgin bir ayrışma görülmüştür (Şekil 7.8). 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 (Şekil 7.9).

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 7.10).

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 her hangi bir hasar oluşmamıştır.

Kiriş ankraj oranı %15 olan C3DG çerçevesinde kolon ankrajları perdede konik kırılmalar oluşturmuştur (Şekil 7.11).



Şekil 7.8 Kiriş ankraj oranı %0 olan çerçevelerin dış-perdeden ayrışması



Şekil 7.9 Kolonda konik kopma

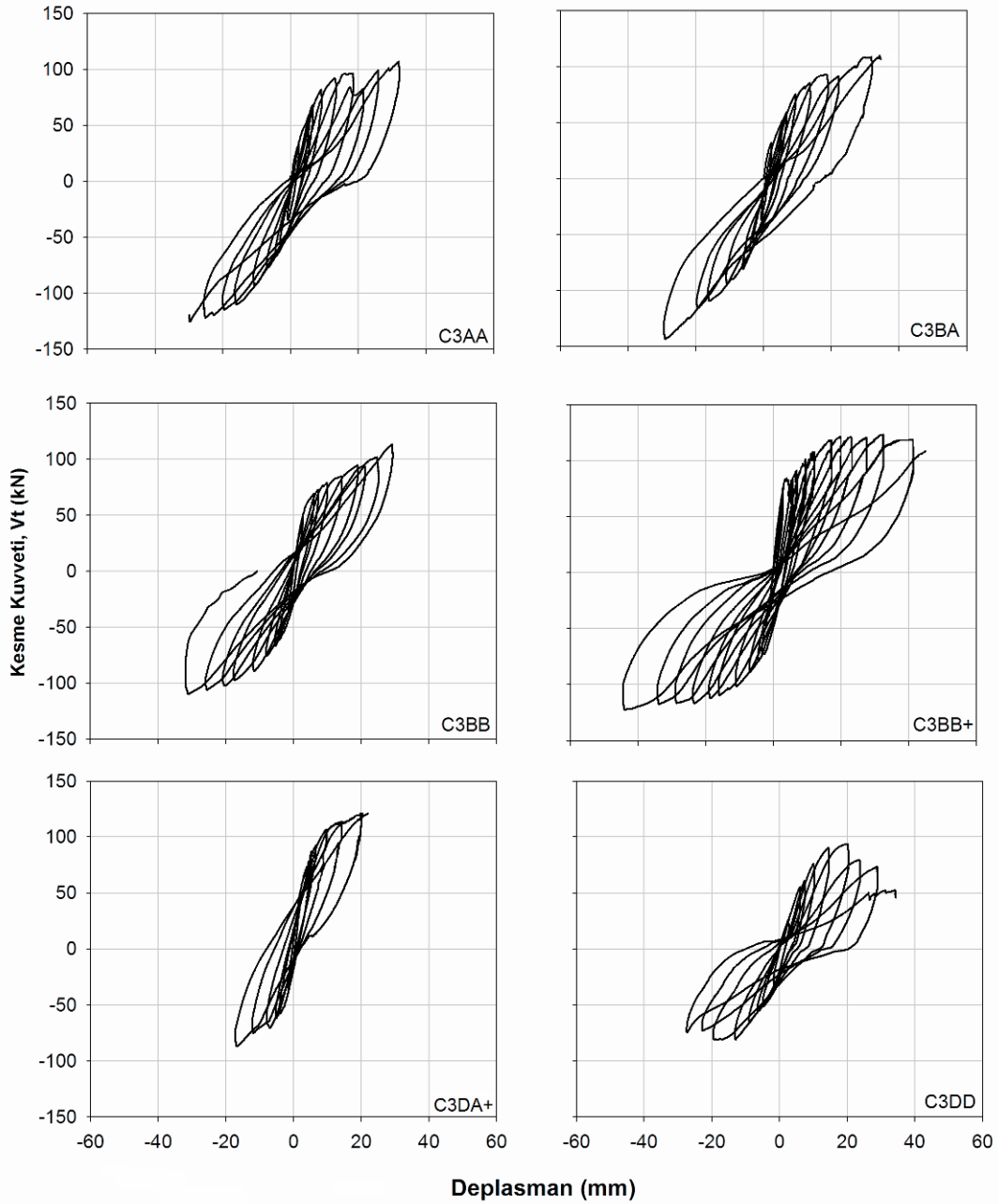


Şekil 7.10 Kirişte konik kopma



Şekil 7.11 Perdede oluşan konik kopmalar

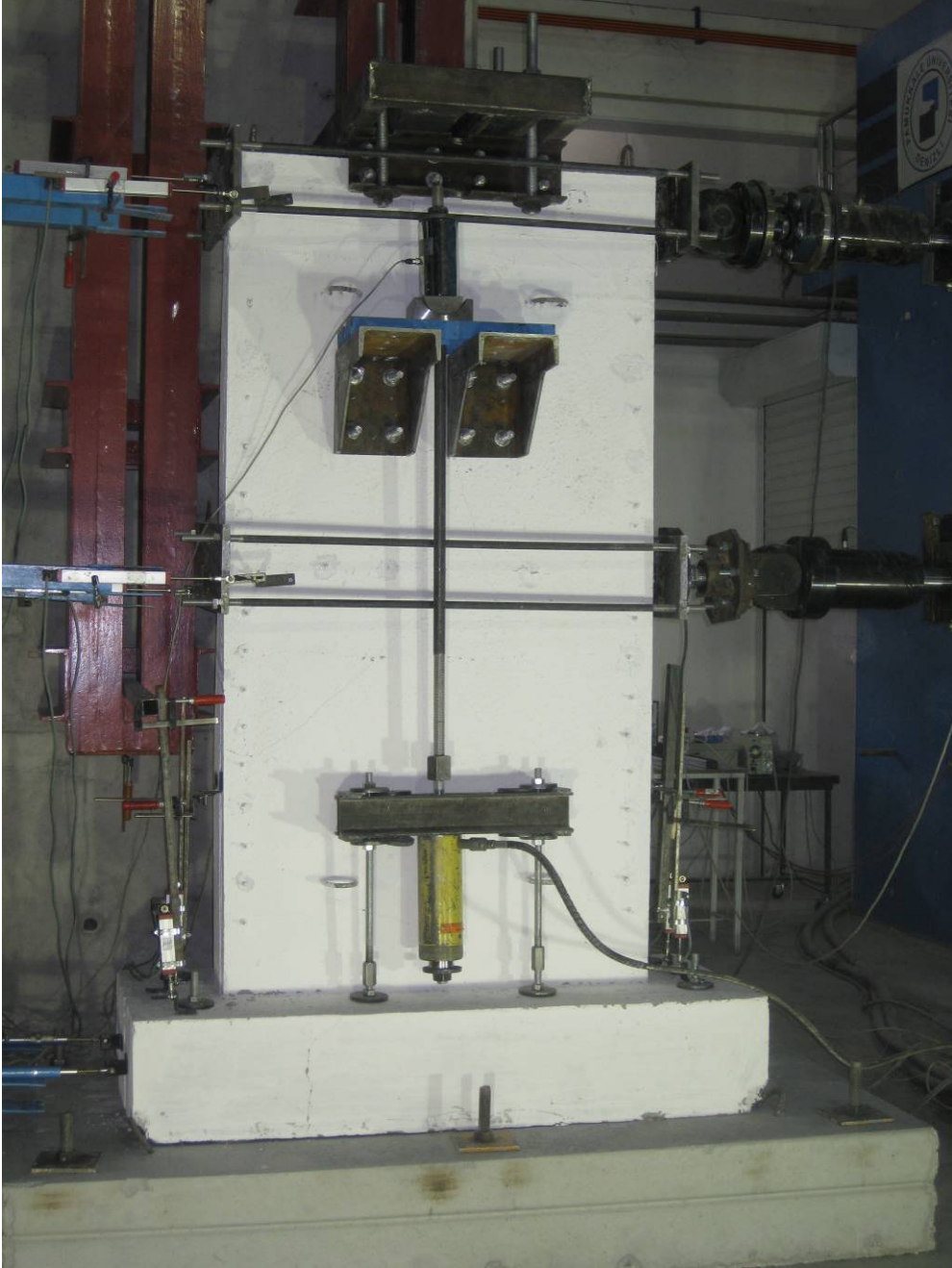
Kolon ve kirişlerdeki ankraj oranları %70'in üstünde olan C3 dayanımındaki çerçevelerin çevrim eğrileri Şekil 7.12'de verilmiştir. Kolon ankraj oranı ortalama %40, kiriş ankraj oranı da ortalama %35 olan C3DD elemanı da 100 kN yatay kuvvet kapasitesine yakın olduğu için bu grupta verilmiştir.



Şekil 7.12 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 7.13). Kolon veya kirişinde az donatı bulunan bazı elemanlarda da kolon veya perdelerde konik kopmaların olduğu görülmüştür (Şekil 7.14).



Şekil 7.13 %70 ve üstü ankraj oranları olan C3 çerçeveler



Şekil 7.14 C3 çerçevelerde konik kopmalar

Kolon – kiriş ankraj oranları %70 olan C3BB elemanında ilk önce perde tabanında eğilme kırılması (Şekil 7.15) daha sonrasında ise basınç bölgesinde ezilme (Şekil 7.16) görülmüştür. Bu davranış şekli perde ile çerçevenin birlikte çalıştığını göstermektedir. Dış-perde uygulanan ankrajlarla kapasitesine kadar yüklenebilmiştir.



Şekil 7.15 C3BB elemanında perde tabanında eğilme çatlakları



Şekil 7.16 C3BB elemanında tabanda kayma

Kolon ankraj oranı ortalama %35, kiriş ankraj oranı %100'ün üzerinde olan C3DA+ elemanında yükleme tarafında eğilme çatlakları oluşmuş (Şekil 7.17), daha sonra basınç bölgesinde ezilmeler başlamıştır. Bu davranış şekli ideale oldukça yakındır. Bu durum üst katta kirişe ekilen ilave ankrajların davranışa olumlu katkısını açıkça ortaya koymaktadır.



Şekil 7.17 C3DA+ elemanında eğilme kırılması



Şekil 7.18 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 7.19). Kirişlerdeki ankraj kopmalarına ilave olarak etrafında perdenin boyuna donatısı olmasına rağmen kolondaki ankrajlar da kopmuştur (Şekil 7.20). Bu ankrajların yatay yönde aktardıkları kuvvetler perde boyuna donatılarının burkulmasını da kolaylaştırmaktadır.



Şekil 7.19 C3DD elemanında perde ve çerçeve konik kopmaları

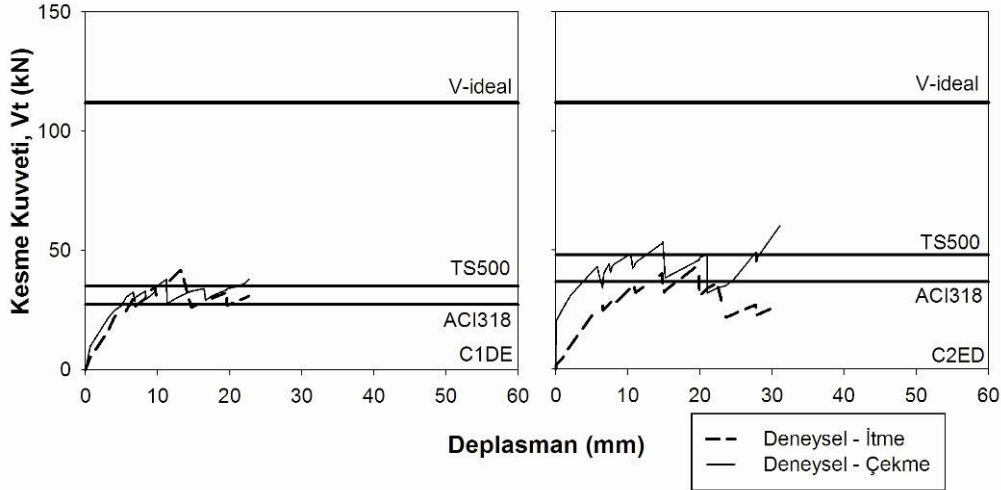


Şekil 7.20 C3DD elemanında kolon ankrajının kopması

## 7.2 Deneysel Kapasitelerin Karşılaştırılması

Şekil 7.21-23'te deneysel zarf eğrileri gösterilmiştir. C1 ve C2 çerçevelerin azaltılmış miktarda ankrajlarla güçlendirildiği duruma ait zarf eğrileri Şekil 7.21'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.

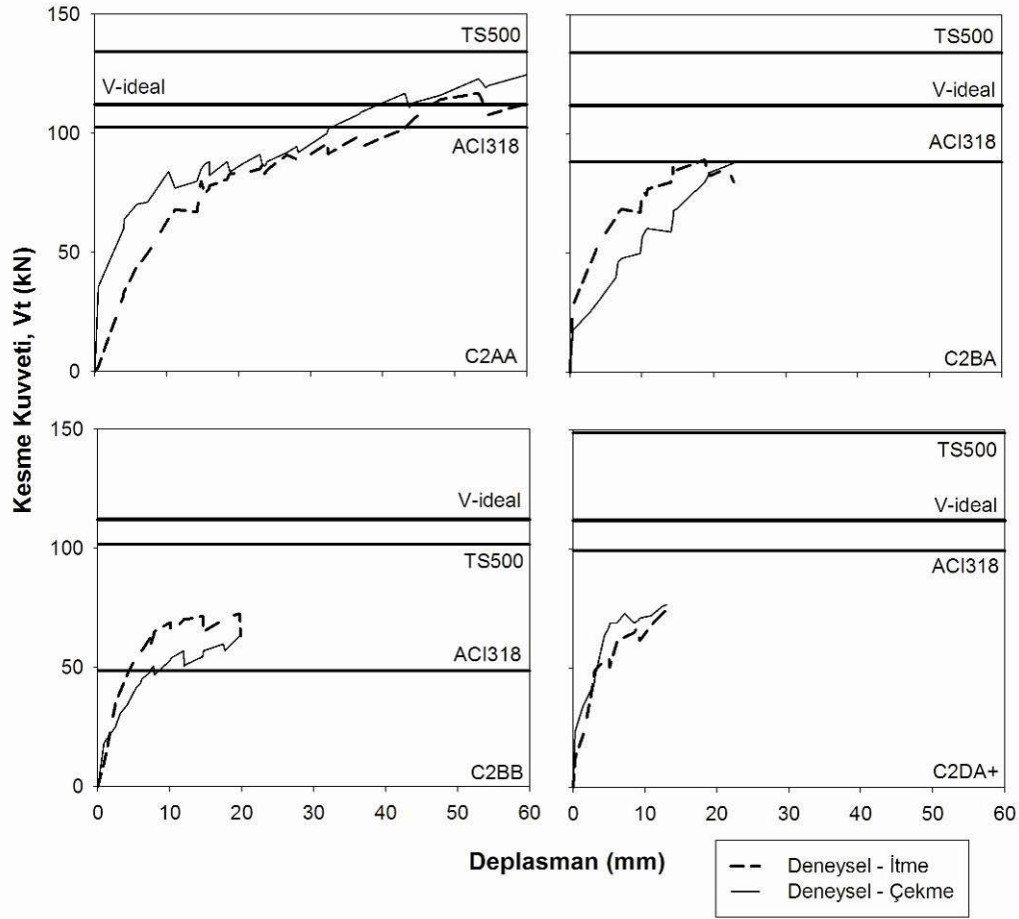
Şekil 7.21'de gösterilen zarf eğrilerinde belirlenen deneysel kapasitenin hem ACI hem de TS500 sürtünme kesmesi ile hesaplanan kirişlere ekilmiş ankrajların kesme kapasitelerini aştığı görülmektedir. Ancak, bu elemanların tümünde kesme kapasiteleri V-ideal'i sağlayamayacak derecede düşüktür ve perde kapasiteleri tam ankraj ekilmesi durumundaki kapasitenin oldukça altında kalmıştır.



Şekil 7.21 C1 ve C2 çerçevelerine ait zarf eğrileri

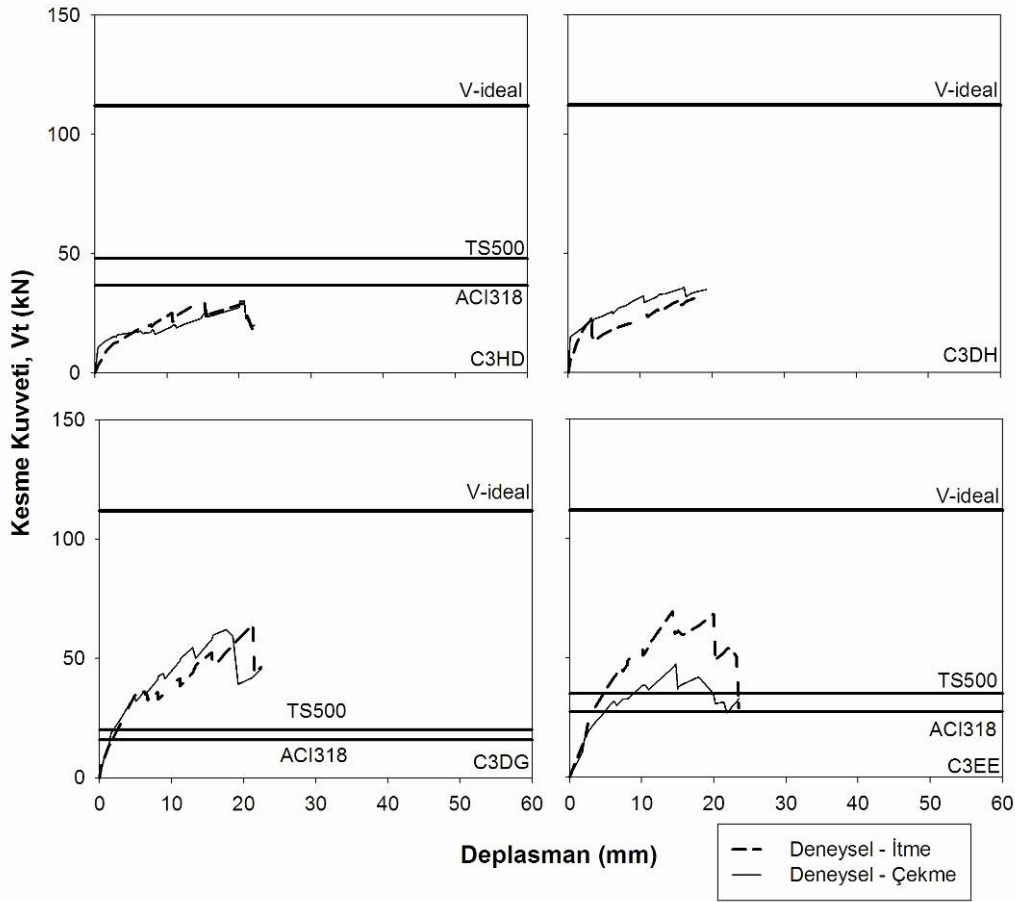
Şekil 7.22'de verilen zarf eğrilerinden C2AA, C2BA ve C2BB'ye ait olanlarda taban kesme kuvveti kiriş ankraj kapasitesine erişebilmiştir. Ancak, C2DA+ elemanında kirişlere ekilen ankraj miktarı bu grafikteki diğer tüm elemanlardan fazla olduğu halde ancak C2BB'nin kapasitesine erişilebildiği görülmektedir. Şekil 7.22'de taban kesme kuvveti kiriş

ankraj kapasitesine erişemeyen tek eleman da budur. Perdenin hesapla belirlenen ideal dayanımını yakalayabilen tek eleman C2AA olarak görülmektedir.



Şekil 7.22 C2 çerçevelerine ait zarf eğrileri

Şekil 7.23'te 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.

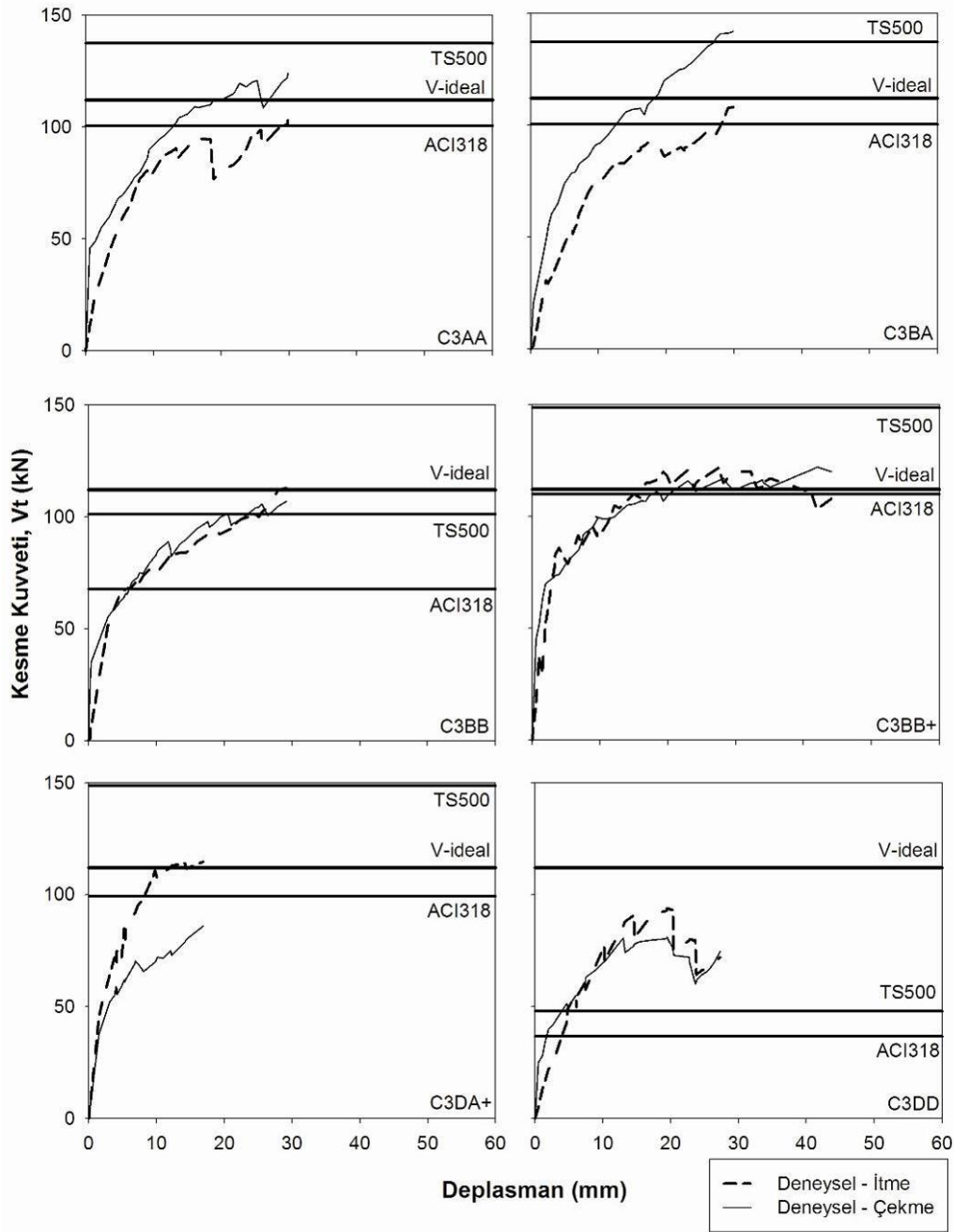


Şekil 7.23 C3 çerçevelerine ait zarf eğrileri - 1

C3 deney elemanlarında ankraj miktarındaki azaltmanın daha sınırlı olduğu, yani hesaplanan ankraj miktarına yakın ve bazen de üzerinde ankrajların ekildiği elemanlar ise Şekil 7.24'te verilmiştir. 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-ideal 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'da 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.



Şekil 7.24 C3 çerçevelerine ait zarf eğrileri – 2

**DÖRDÜNCÜ BÖLÜM**  
**SAYISAL MODELLER**

## 8 ANKRAJ KESME MODELİ GELİŞTİRİLMESİ

Projenin ilk aşamasında deneyleri tamamlanan ankraj kesme deneyleri için ANSYS yazılımında çeşitli modeller oluşturulmuştur. Doğrusal olmayan analizleri oldukça zaman alan bu modellere alternatif olarak deney sonuçlarından bir sayısal model oluşturularak hem ankraj kesme deneyleri hem de dış perde deney elemanlarının davranışı bu sayısal modelin test edilmesi için kullanılmıştır. Bu bölümde ankraj kesme davranışının ANSYS'te analizinde karşılaşılan sorunlar ve sayısal model kurulması ve test edilmesinde izlenen yöntem verilmiştir.

### 8.1 ANSYS Modelleri

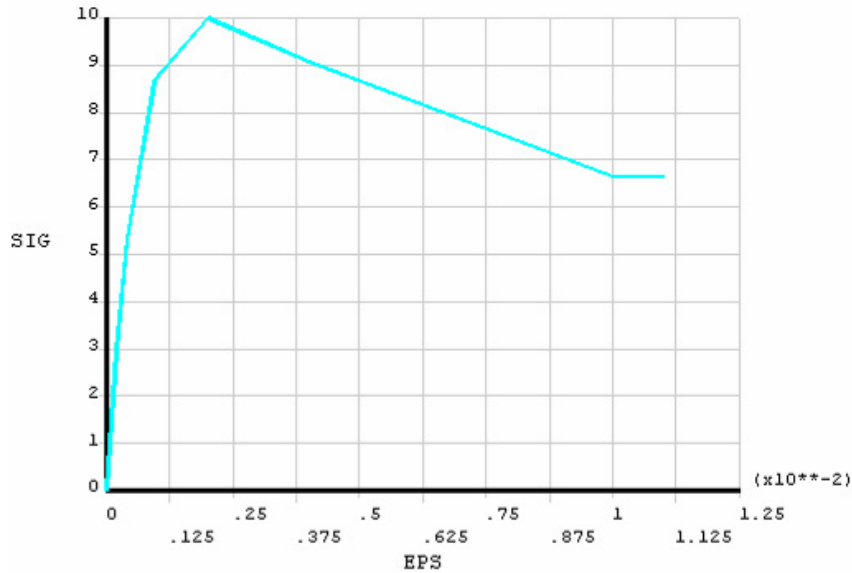
Referans deneylerin birinci aşamasında, ankraj özelliklerinin belirlenebilmesi için, betonarme elemanlarda ankraj deneyleri yapılmıştır. Deneylerde, ankraj çapının ve derinliğinin, beton dayanımının, ankraj kesme dayanımına olan etkisi araştırılmıştır. Dolayısıyla, referans deneylerin modellenmesinde bu parametrelerin de modellenebileceği, doğrusal olmayan çözüm yapabilen, farklı mühendislik disiplinlerinde yaygın şekilde kullanılan ANSYS® yazılımı kullanılmıştır.

Bilgisayar yazılımları deneysel çalışmaların yerini tam olarak tutmasalar da tasarım aşamasına yön vermekte ve büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Bilgisayarda oluşturulan modelin doğruluğu büyük ölçüde malzeme varsayımlarına, modelin ve mesnetlenme şartlarının gerçeğe uygun olmasına bağlıdır. Dolayısıyla, modeller hazırlanırken deney sonuçları ile uyum sağlanabilmesi için gerekli adımlar belirlenmiştir. Çalışmada, deney elemanlarının bilgisayar ortamında modellenmesi için kullanılan ANSYS, doğrusal ötesi problemlerin çözümlerinde Newton-Rapson metodunu kullanan, çok çeşitli mekanik problemlerin tasarımında ve sayısal çözümünde kullanılabilen, sonlu eleman programıdır. Ayrıca, programda davranışın gerçeğe yakın olarak elde edilmesi için gerekli girdilerin kullanılmasına olanak tanıyan seçenekler de mevcuttur.

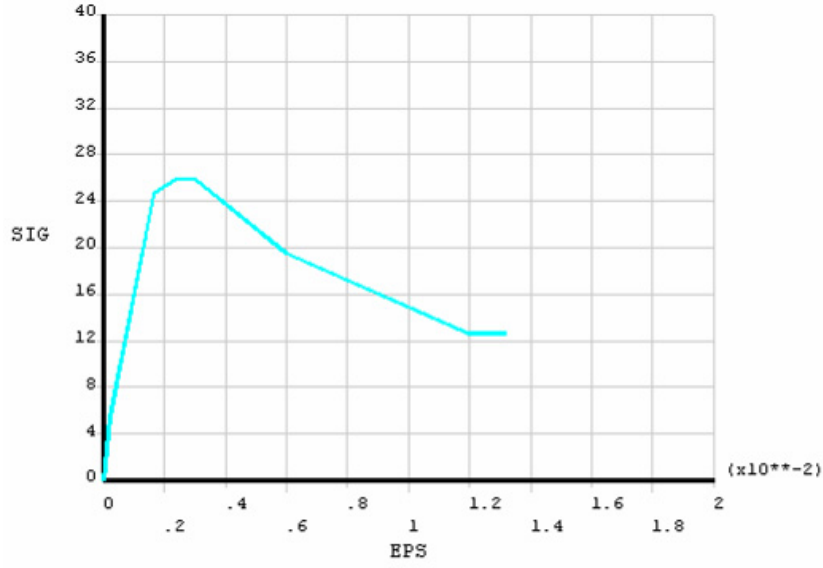
## 8.1.1 Malzeme Modelleri

### 8.1.1.1 Beton

ANSYS ile yapılan çalışma oldukça zaman alıcı olması dolayısıyla C10 temele ekilen ankraj elemanlarının bazıları için modellenmiştir. ANSYS ile yapılan çözümlerde sonlu eleman boyutlarının küçülmesi analiz zamanını oldukça uzatmaktadır. Bu sebeple temel ve blok betonların donatıları ayrı bir malzeme olarak modellenmemiş sadece beton içerisindeki donatı oranı malzeme özelliği olarak tanımlanmıştır. Ancak, davranışı incelenen eleman olması dolayısıyla ankraj donatıları modelde kullanılmıştır. Hem taban hem de yükleme bloklarında sargı etkisi dikkate alınmıştır. Sargılı beton modeli olarak Mander Modeli (MANDER, 1988) seçilmiş ve hesaplamaları da yine Pamukkale Üniversitesi'nde hazırlanan ve TÜBİTAK tarafından desteklenen 105M024 nolu proje kapsamında geliştirilen SEMAP adlı yazılım ile yapılmıştır (İNEL, vd., 2007). Deney numunelerine ait geometrik ölçüler sayısal modelde aynen kullanılmıştır. C10 taban betonu ve C25 yükleme bloğu betonları için gerilme-şekil değiştirme diyagramları Şekil 8.1-2'de görüldüğü gibi idealleştirilerek ANSYS'te modellenmiştir.



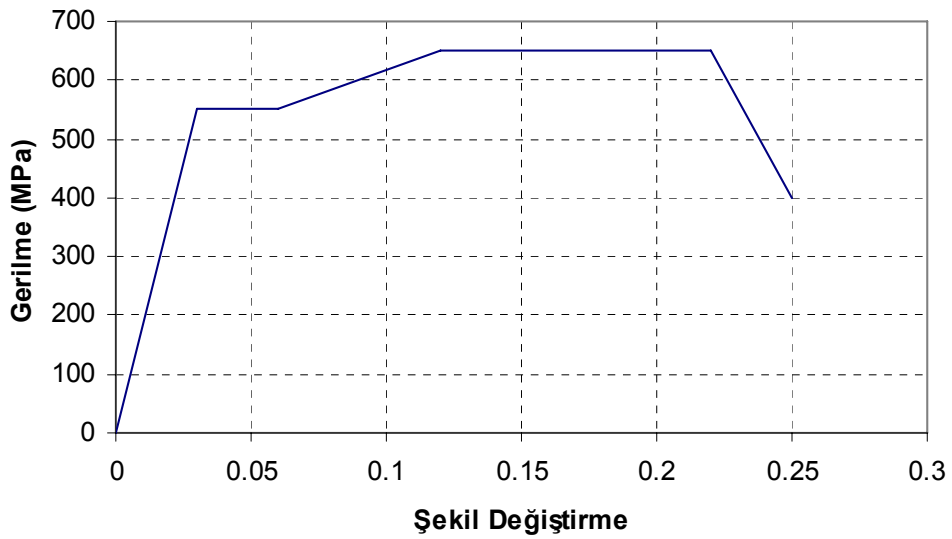
Şekil 8.1. C10 Temel Beton Modeline ait gerilme-şekil değiştirme diyagramı



Şekil 8.2. C25 Blok Beton Modeline ait gerilme-şekil değiştirme diyagramı

### 8.1.1.2 Çelik

Deneylerde kullanılan 12, 16 ve 20 mm çaplarındaki ankraj donatılarının çekme deneyi yapılmış ve sonuçlar raporun dördüncü bölümünde verilmiştir. Deney elemanlarının modellenmesinde de bu çekme deneyi verileri kullanılmıştır. Söz konusu donatılar için deneysel olarak elde edilen ortalama gerilme-şekil değiştirme grafiği idealleştirilerek Şekil 8.3'te verildiği şekli ile ANSYS modellerinde kullanılmıştır.



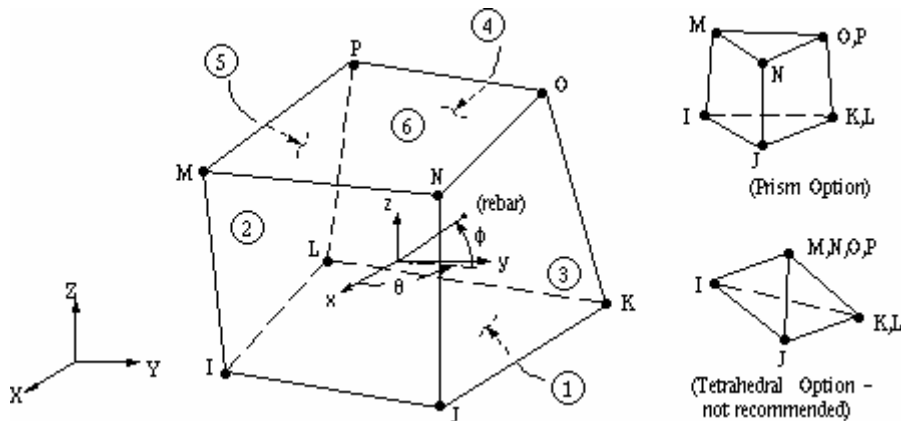
Şekil 8.3. Ankraj donatısının gerilme-şekil değiştirme grafiği

## 8.1.2 Model Bilgileri

Betonarme elemanlar, özellikle büyük yükler altında doğrusal olmayan davranış sergileyen elemanlardır. Doğrusal olmayan analiz, yük adım adım etkiyerek ve her adımda da bir önceki adımda elde edilen sonuçlar kullanılarak analizin tamamlanması şeklinde gerçekleşir. Böylelikle yük – şekil değiştirme grafiği malzemenin doğrusal olmayan davranışını dikkate alacak şekilde elde edilebilir.

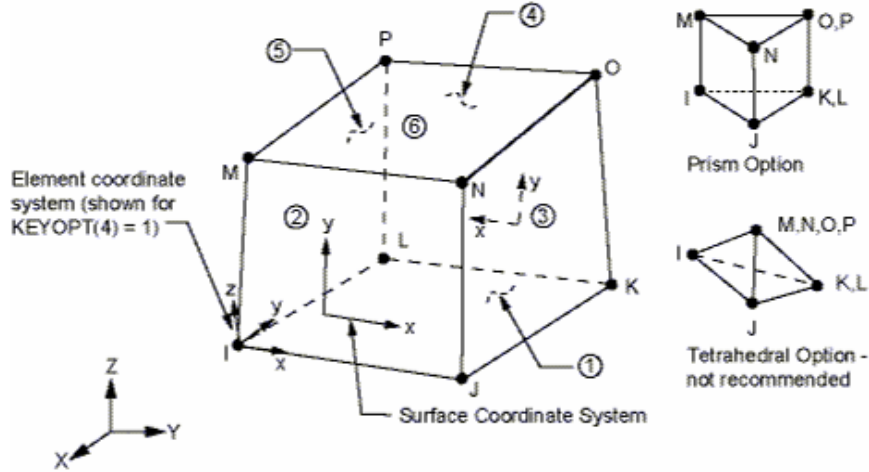
Ankraj çubukları ve beton blok arasında kimyasal yapıştırıcı olarak epoksi kullanılmış, literatürde kesme etkisindeki ankrajlarda sıyrılma davranışı gözlemlendiğine dair bir kayıt bulunmadığından modellemede sıyrılma etkisi ihmal edilmiş, epoksi-beton ve epoksi-donatı arasında tam aderans olduğu kabulü yapılmıştır. Dolayısı ile sonlu eleman modeli hazırlanırken taban betonu epoksiye, epoksi de ankraj donatısına glue komutu ile yapıştırılarak modellenmiş, başka ara eleman tanımlanmamıştır.

Bu çalışmada, beton ve donatının malzeme özellikleri ayrı ayrı tanımlanmıştır. Betonarme elemanları oluşturan beton ve donatı elemanlarının modellenmesinde kullanılmak üzere, ANSYS sonlu eleman programının eleman kütüphanesinde yer alan elemanlar arasında beton ve epoksi için SOLID65 ve ankraj donatıları için SOLID 45 eleman tipleri seçilmiştir. SOLID 65, çekmede çatlama, basınçta ezilme, plastik deformasyon ve sünme özelliklerini barındıran 8 düğüm noktalı ve her düğüm noktasında da 3 serbestlik derecesi bulunduran katı elemandır (Şekil 8.4).



Şekil 8.4. Solid 65'e ait sonlu eleman özellikleri

SOLID 45 ise, plastisite, sünme, rijitlik, büyük dönme ve deformasyon yapabilme özelliklerini içinde barındıran 8 düğüm noktalı ve her düğüm noktasında da 3 serbestlik derecesi bulunduran katı elemandır (Şekil 8.5).



Şekil 8.5. Solid 45'e ait sonlu eleman özellikleri

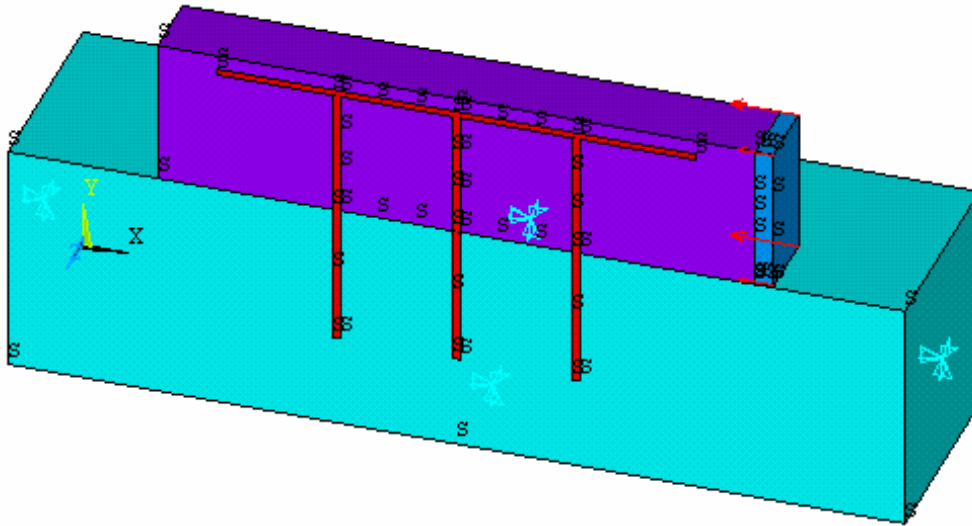
Deney elemanının modellenmesi için 4 farklı malzeme modeli tanımlanmıştır. Bunlardan ikisi taban ve yükleme bloklarının betonlarını ifade etmekte olup, biri ankraj donatısını, diğeri de rijit yükleme plakasını modellemek üzere kullanılmıştır:

1. Alttaki temel betonunu temsil eder. Burada 3 adet girdi vardır. Bunlardan birincisi, betonun doğrusal özelliğini tanımlayan başlangıç elastisite modülü-poisson oranı ilişkisi; ikincisi, betonun göçme şekline karar vermek için kullanılan göçme kriteri özellikleri; üçüncüsü ise, Mander Modeli kullanılarak betonun gerilme-şekil değiştirme ilişkisini ifade eden multilinear elastik özelliğidir. Ayrıca temel betonu için sürtünme özelliği de tanımlanmaktadır.
2. Üstteki küçük blokları temsil eder. Birinci maddede sayılan özellikler, blok betonuna ait değerlerle ifade edilir.
3. Donatı çeliğini temsil eder. Burada 2 adet girdi vardır. Bunlardan birincisi, çeliğin doğrusal özelliğini tanımlayan başlangıç elastisite modülü-poisson oranı ilişkisi;

ikincisi ise, deney sonuçlarından elde edilen çeliğe ait gerilme-şekil değiştirme ilişkisini ifade eden multilinear elastik özelliğidir.

4. Deney düzeneğinde blokla temas eden ve yüklemenin yapıldığı kısımdır. Sayısal çalışmada, bu kısım, yükleme esnasında bloktaki gerçek davranışı göstermek açısından modellenmiştir. Aksi takdirde, modellemede bu kısım düşünülmezse yükün bloğa etkidiği noktalarda ekstra ezilmeler olacağı yapılan ön çalışmalarda gözlenmiştir.

Deney elemanı taban betonunun altından yatay ve düşey ötelenmesi engellenerek mesnetlenmiştir. Çözüm süresini kısaltmak için ise programda bulunan simetri özelliği kullanılarak deney elemanının yarısı modellenmiştir (Şekil 8.6).



Şekil 8.6. Yüklerin ve mesnetlerin model üzerinde görünümü

ANSYS programında betonun göçme şekli tanımlanırken Willam-Warnke modeli (WILLAM ve WARNKE, 1974) kullanılmaktadır. Bu model, betonun üç eksenli gerilme altındaki göçme şeklini temsil etmektedir. Ayrıca beton malzemesi açık ve kapalı çatlak kayma iletim katsayıları da programın istediği parametrelerdir. Literatüre bakıldığında açık ve kapalı çatlaklar için kayma iletim katsayıları (ShrCf-Op, ShrCf-CI) için çok farklı değerlerin kullanıldığı görülmüştür (THOMAS ve RAMASWAMY, 2006; ANIL ve BELGİN, 2007). C10 Temeline ait 16 ve 20 mm çaplı ankrajlar için de analizler gerçekleştirilmiş olup burada



sadece C10D12L12 modeline ait analiz sonuçları verilmiştir. Tüm analizler deplasman kontrollü olarak yapılmıştır. Programda girdi olarak istenen açık ve kapalı çatlak kayma transfer katsayısı ile sürtünme katsayıları değiştirilerek farklı modeller kurulmuştur (Çizelge 8.1). A1-A7 modellerinin tamamı C10D12L12 deney modelini temsil etmek üzere hazırlanan modellerdir.

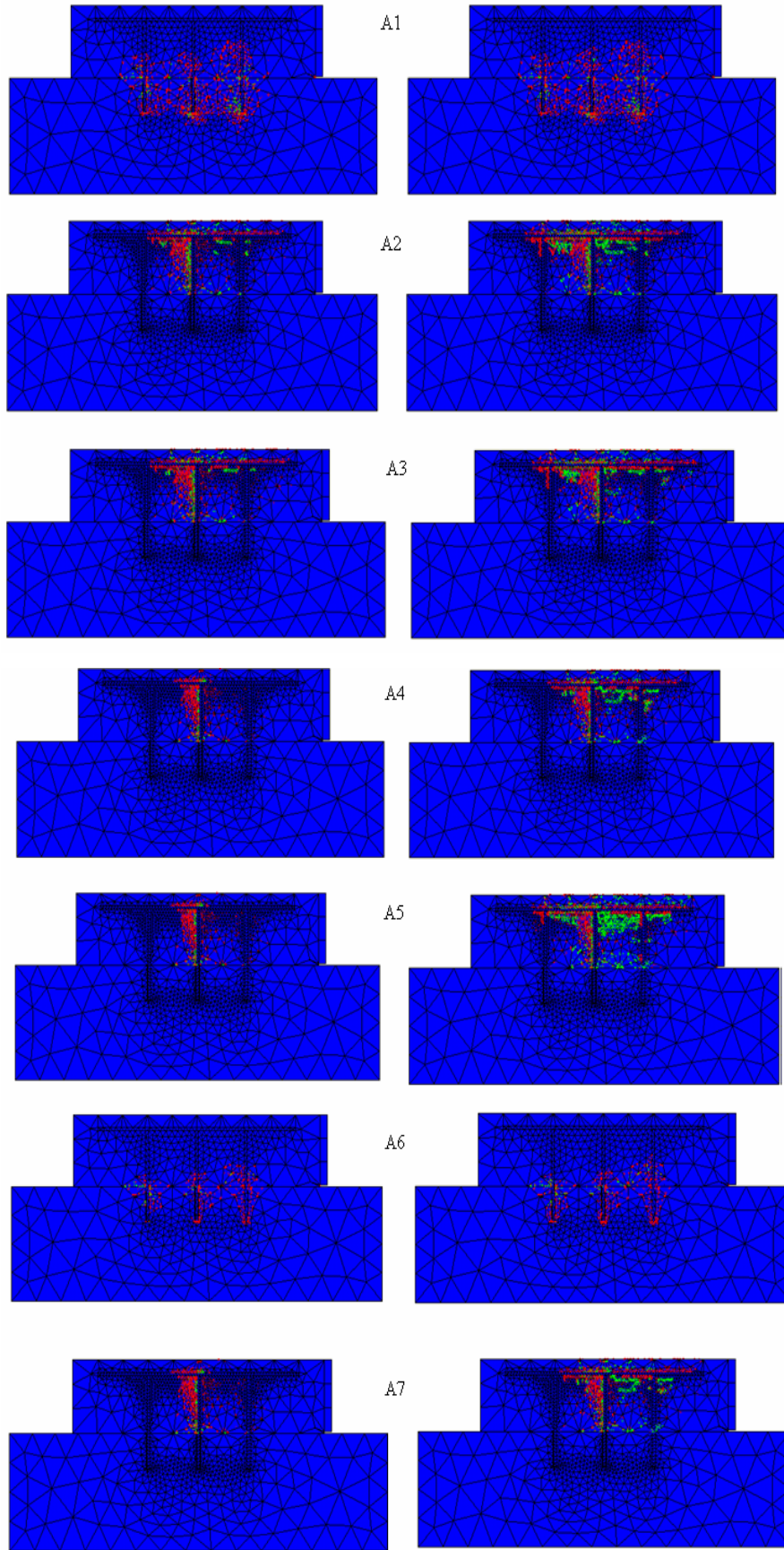
Çizelge 8.1. ANSYS modellerinde değiştirilen parametreler

Model No	Açık Çatlak Katsayısı			Kapalı Çatlak Katsayısı			Sürtünme katsayısı
	Epoksi	C10	C25	Epoksi	C10	C25	
A1	0.30	0.30	0.30	0.80	0.80	0.80	0.30
A2	0.40	0.0001	0.0001	0.80	0.70	0.70	0.30
A3	0.0001	0.0001	0.0001	0.85	0.70	0.85	0.29
A4	0.65	0.0001	0.0001	0.80	0.85	0.85	0.40
A5	0.0001	0.0001	0.0001	0.85	0.85	0.85	0.32
A6	0.65	0.0001	0.0001	0.80	0.85	0.85	0.30
A7	0.65	0.0001	0.0001	0.80	0.85	0.85	0.00

Şekil 8.7’de A1-A7 modelleri için yüklemenin ilk ve son adımlarında elde edilen çatlak dağılımı gösterilmiştir. Modellerin davranışı yerinde gözlenen davranışa göre oldukça farklıdır. Ayrıca, modellerin arasında da ciddi bir davranış farkı gözlenmektedir. Örneğin, A6 ve A7 modelleri arasındaki tek fark sürtünmenin dikkate alınması ve alınmamasıdır. Buna rağmen hasar A6 elemanında taban betonunda iken, A7’de yükleme bloğunda görülmektedir. Bu modeller arasında sadece A1 ve A6’da taban betonunda hasar oluşmuştur. Diğer elemanların tamamında hasar yükleme bloğunda görülmektedir.

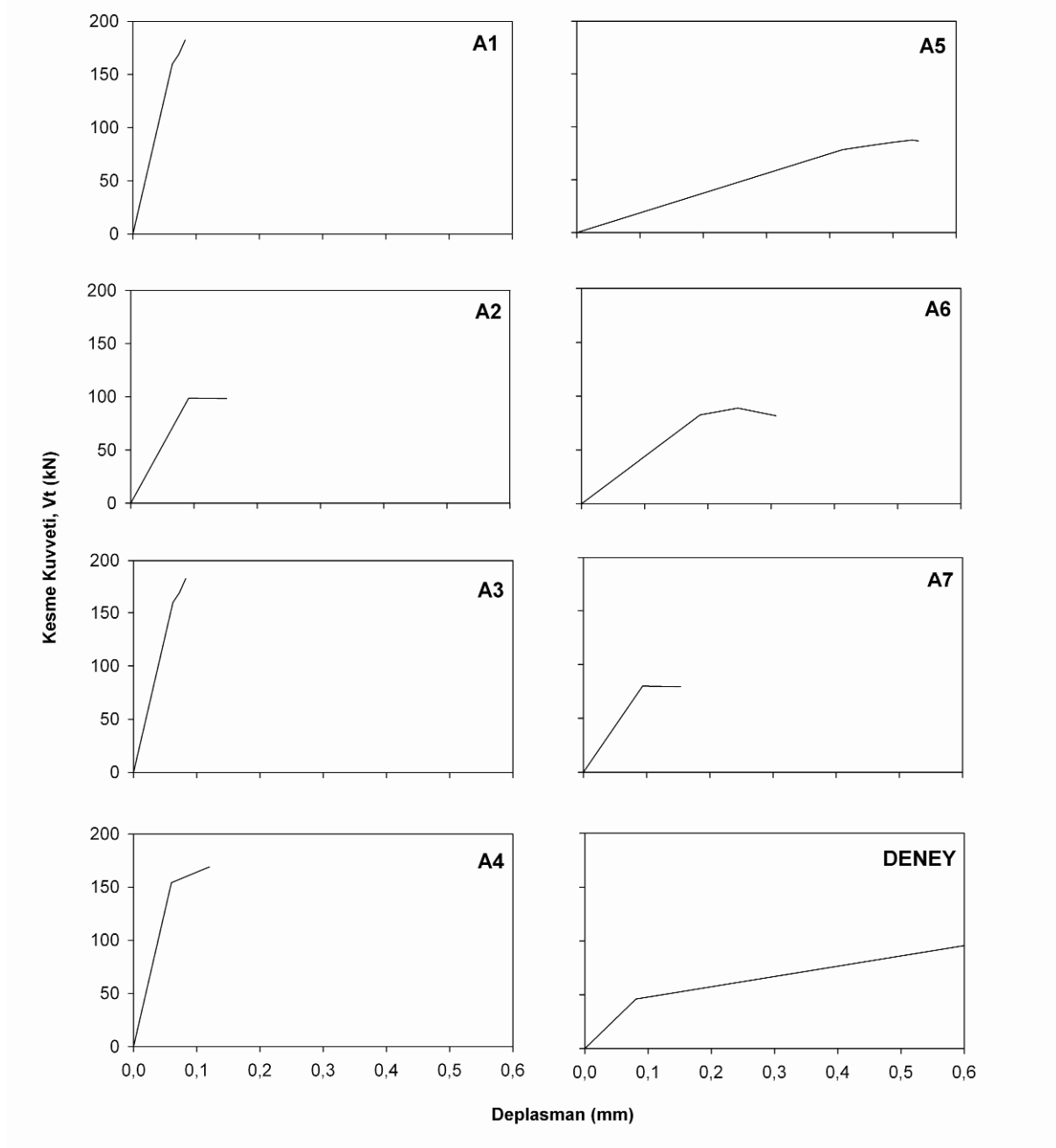
Betondaki çatlak dağılımı incelendiğinde de daha büyük gerilme etkilerine maruz kalması beklenen ara yüzeye yakın bölgelerde önemli bir hasar oluşmazken hasarın büyük kısmının donatı uçlarına yakın bölgelerde oluştuğu görülmektedir.

Tüm modellerin analizi sonunda elde edilen yük-deplasman grafikleri, deneysel zarf eğrisi ile birlikte Şekil 8.8’de gösterilmiştir. Hasar şekilleri birbirine benzeyen A1 ve A6 modellerinin dayanım ve rijitlikleri birbirinden oldukça farklıdır.



Şekil 8.7. Analiz sonucunda elde edilen ilk ve son adımlardaki çatlak dağılımı

Birbirine çok benzer parametrelere sahip A3 ve A5 modelleri arasında da hem dayanım hem de rijitlik bakımından ciddi bir fark oluştuğu görülmüştür.



Şekil 8.8. C10D12L12 Analiz ve deney sonucu elde edilen kapasite eğrileri

Kullanılan parametrelerde yapılan çok küçük değişikliklerin bile ciddi farklılıklara neden olduğu ortadadır. A1 ve A2 analizlerine bakıldığında, açık çatlak iletim katsayılarında yapılan değişikliklerin hem kapasiteyi hem çatlak dağılımını ciddi şekilde etkilediği görülmüştür.

Bu çalışma sonucunda ANSYS ile elde edilen sonuçların ankraj kapasitesinin belirlenmesi için sağlıklı olmayacağı görüşüne varılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçları destekler şekilde, literatürde ANSYS ile betonarme elemanlarda yapılan çalışmaların eğilme davranışının araştırılması konusunda yoğunlaştığı görülmektedir (MOAVENI, 1999; BENLİ vd., 2008; BARBOSA ve RIBERIO, 1998). Betonarme elemanlarda kesme davranışının hakim olduğu durumlara yönelik ANSYS'te yapılan çalışmalar ise sınırlı düzeydedir (THOMAS ve RAMASWAMY,2006). Bu sebeple, ankraj kapasitesinin tahminine yönelik bir model geliştirilmesi konusunda çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

## **8.2 Regresyon Analizi**

Ankraj kesme kapasitesinin belirlenmesi için yapılan deney sonuçları çoklu regresyon yöntemi ile değerlendirilerek amprik modeller geliştirilmesi hedeflenmiştir. Elde edilen modeller ankrajın yük-deplasman ilişkisini ortaya koyabilecek şekilde geliştirilmiştir. Bu amaçla yapılan çalışmalarda ilgili değişkenler arasındaki istatistiksel ilişki belirlenmiştir. Bu amaçla yapılan istatistiksel işlemlere ise regresyon analizi denilmektedir.

Regresyon analizi, bilinen bulguları kullanarak bilinmeyen olaylar ile ilgili tahminler yapılmasına izin verir. Regresyon, bağımlı ve bağımsız değişken(ler) arasındaki ilişkiyi ve doğrusal eğri kavramını kullanarak, bir tahmin eşitliği geliştirir. Değişkenler arasındaki ilişki belirlendikten sonra, bilinen bağımsız değişkenler kullanılarak bilinmeyen bağımlı değişken tahmin edilebilir.

Bir olaya aynı anda etki eden değişik faktörler, farklı özelliklerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu tür farklı değişkenler arasında meydana gelen ilişkiler veya birbirlerine yaptıkları etkiler regresyon analizleriyle araştırılır. Regresyon analizinde bir bağımlı değişkene karşılık çok fazla sayıda bağımsız değişken işleme girebilmektedir. Regresyon analizi yapılırken değişken sayısı ikiden fazla olduğunda çoklu regresyon analizi yapılmalıdır. Çoklu regresyon analizi ile değişkenler arasındaki ilişki ve bağıntılar araştırılarak bağımsız değişkenlerin tahmini yapılan model denklemdeki etkilerinin bir ifadesi olan katsayılar hesaplanabilmektedir (BEYAZ, 2004).

Bu çalışmada, regresyon analizlerinin gerçekleştirilebilmesi için öncelikle, tüm ankraj deneylerinden elde edilen çevrim eğrileri kullanılarak zarf eğrileri oluşturulmuştur. Bu zarf eğrilerinden çok sayıda yük ve deplasman verisi elde edilebilmiştir. Daha sonra gerçekleştirilen regresyon analizlerinde kullanılan değişkenler, deplasman verisi ve deney elemanına ait beton dayanımı, ankraj çapı, derinliği, donatı akma dayanımıdır. Beton dayanımı olarak 28 günlük beton basınç dayanımı değerleri, Donatı akma dayanımı da yapılan çekme deneyleri sonucu elde edilen ortalama akma değerleri olarak kullanılmıştır. Bu girdi parametreleri kullanılarak üç bağımsız değişken içeren 15 farklı model geliştirilmiştir. Denenen modeller parametrik olarak Çizelge 8.2’de verilmiştir. Burada verilen modellerin tümünde birimler kN ve mm cinsinden ifade edilmiştir.

Çizelge 8.2. Regresyon yönteminde kullanılan modeller

Model No	Ankraj kesme modeli*
Model 1	$V_a = a \cdot (f_c \cdot \Delta)^{0.2} + b \cdot (F_y \cdot \Delta)^{0.07} + c \cdot L \cdot (D \cdot \Delta)^{0.06}$
Model 2	$V_a = a \cdot D \cdot (f_c \cdot \Delta)^{0.2} + b \cdot F_y \cdot \Delta + c \cdot (L \cdot \Delta)^{0.5}$
Model 3	$V_a = a \cdot D \cdot f_c \cdot \Delta + b \cdot F_y \cdot \Delta + c \cdot L^{0.1} \cdot \Delta^{0.35}$
Model 4	$V_a = a \cdot D \cdot f_c \cdot \Delta^{0.2} + b \cdot (F_y \cdot \Delta)^{0.2} + c \cdot (L \cdot \Delta)^{0.35}$
Model 5	$V_a = a \cdot (D \cdot f_c \cdot \Delta)^{0.5} + b \cdot F_y \cdot \Delta^{0.4} + c \cdot (L \cdot \Delta)^{0.7}$
Model 6	$V_a = a \cdot D \cdot f_c \cdot \Delta^{0.5} + b \cdot F_y \cdot \Delta / D + c \cdot L \cdot \Delta^{0.2}$
Model 7	$V_a = a \cdot D \cdot f_c \cdot \Delta^{0.5} + b \cdot F_y \cdot \Delta / \sqrt{D} + c \cdot L \cdot \Delta^{0.2}$
Model 8	$V_a = a \cdot D \cdot (f_c \cdot \Delta)^{0.2} + b \cdot F_y \cdot \Delta + c \cdot (L \cdot \Delta)^{0.2}$
Model 9	$V_a = a \cdot D \cdot f_c \cdot \Delta + b \cdot F_y \cdot \Delta + c \cdot (L \cdot \Delta)^{0.35}$
Model 10	$V_a = a \cdot L^{0.2} \cdot f_c \cdot \Delta^{0.3} + b \cdot D \cdot F_y \cdot \Delta^{0.5} + c \cdot L \cdot \Delta^{0.8}$
Model 11	$V_a = a \cdot D \cdot f_c \cdot \Delta + b \cdot D \cdot F_y \cdot \Delta^{0.4} + c \cdot (L \cdot \Delta)^{0.5}$
Model 12	$V_a = a \cdot f_c \cdot \Delta + b \cdot (D \cdot L \cdot F_y)^{0.5} \cdot \Delta^{0.25} + c \cdot L^{0.2} \cdot \Delta^{0.5}$
Model 13	$V_a = a \cdot \Delta \cdot (L \cdot D)^{f_c} + b \cdot (D \cdot L \cdot F_y)^{0.5} \cdot \Delta^{0.25} + c \cdot L^{0.5} \cdot \Delta^{0.7}$
Model 14	$V_a = a \cdot \Delta \cdot L^{f_c} + b \cdot (D \cdot L \cdot F_y)^{0.5} \cdot \Delta^{0.25} + c \cdot L^{0.2} \cdot \Delta^{0.9}$
Model 15	$V_a = a \cdot D^{2f_c} \cdot \Delta + b \cdot (D \cdot L \cdot F_y)^{0.5} \cdot \Delta^{0.25} + c \cdot L^{0.5} \cdot \Delta^{0.7}$

\*  $V_a$ : Ankraj kesme kuvveti;  $f_c$ : Beton basınç dayanımı;  $F_y$ : Donatı akma dayanımı;  $\Delta$ : Deplasman,  $D$ : Donatı çapı;  $L$ : Ankraj derinliği

Modellerin geliştirilmesi için oluşturulan deneysel veri seti eğitim ve test verilerine ayrılmıştır. Literatürde test verilerinin eğitim verilerin en az %20’si kadar bulunması pek çok

çalışmada önerilmektedir (PARICHATPRECHA ve NIMITYONGSKUL, 2009). Bu çalışmada test verileri tüm veritabanının %20'sini oluşturmaktadır.

Regresyon modelleri, üç ankraj donatısı içeren deney elemanları için oluşturulmuştur. Daha sonra bulunan katsayılar üçe bölünerek tek bir ankraj için kesme kuvveti değerini veren model elde edilmiştir. Uygulamada pek çok ankraj grup etkisi oluşturacak şekilde ekildiği için bu yaklaşım genel uygulamada kullanılabilir. Ancak, tekil ankraj durumunda geliştirilen modellerin bir miktar güvenli yönde kalabileceği de öngörülmelidir. Bu şekilde elde edilen bu modellere ait, korelasyon katsayıları ( $R^2$ ), ortalama hata (MSE) ve ortalama karekök hataları (RMSE) ile standart sapmaları karşılaştırılarak modeller sınanmıştır. Bu değerlerin hesaplanmasında kullanılan MSE, RMSE ve standart sapma ifadeleri sırasıyla Denklem 8.1-3'te verilmiştir.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (F_i - F_{i(\text{önerilen})})^2 \quad (8.1)$$

$$RMSE = \sqrt{MSE} \quad (8.2)$$

$$STDSAPMA = \sqrt{\frac{(x - \bar{x})^2}{(n-1)}} \quad (8.3)$$

### **8.3 Ankraj Kesme Modelinin Dış Perde Modellerinde Kullanılması**

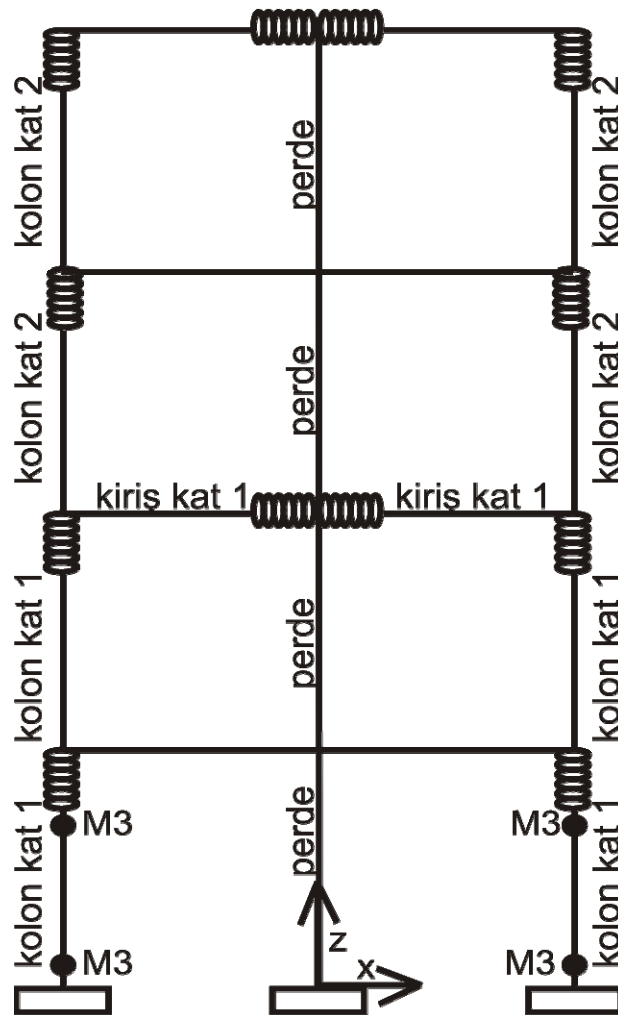
Çoklu regresyon analizi ile geliştirilen ankraj kesme modeli eğitim ve test verileri ile karşılaştırılmasının yanında dış perde deneylerinin modellenmesi amacıyla da kullanılmıştır. Bu şekilde önerilen ankraj kesme modeli ile yapısal analizde ankraj hasarlarının modellenip modellenemeyeceği denenmiştir.

#### **8.3.1 Yapısal Model Bilgileri**

Yapısal analizlerin gerçekleştirilmesi için deney çerçevelerinin Sap 2000 programında Şekil 8.9'da görüldüğü gibi iki boyutlu modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan bu modellerde perde, kolon ve ankraj elemanlarında ortaya çıkabilecek doğrusal olmayan davranış dikkate

alınmıştır. Çerçevelerin statik itme analizleri deneylerde kullanılan yük deseni ile uyumlu şekilde gerçekleştirilerek elde edilen kapasite eğrileri deneysel verilerle karşılaştırılmıştır.

Modelde kolon, kiriş ve perde elemanlara ait malzeme özellikleri için elde edilen deneysel veriler kullanılmıştır. Bu elemanların elastik olmayan davranışlarının modele yansıtılabilmesi için gerekli elemanlar üzerinde plastik mafsal ve eleman bağlantılarında NLLink (Doğrusal olmayan bağlantı elemanı) özellikleri kullanılmıştır.



Şekil 8.9. Sap 2000 ile oluşturulan modellerde mafsal ve doğrusal olmayan yayların görünüşü

Şekil 8.9’da şematik olarak gösterilen yapı modelinde kat kirişlerine ilave olarak aralarda da rijit kirişler kullanılmıştır. Kat seviyelerindeki kirişlerle ara seviyelerde atılan hayali kirişlerin tamamı düzlem kesitler düzlem kalır prensibince rijit elemanlar olarak modellenmiştir. Bu modellerde bu kirişlerin perde ile bağlantısında yatay ötelenme

haricindeki tüm bağlantılar tam rijit olarak modellenmiştir. Perde eleman uç düğümü ile kiriş uç düğümü arasına konulan NLLink elemanlarının sadece yatay deplasman doğrultusunda deforme olmasına izin verilmiştir.

Kullanılan rijit kirişler ile perde ucunda yer alan çerçeveye ait kolonun perdenin başlık bölgesi gibi modellenmesi sağlanmıştır. Burada, kolon ile rijit kollar arasındaki NLLink elemanları ise kolonlara ekilen ankrajları modellemek üzere yerleştirilmişlerdir.

Perde elemanının moment taşıma kapasitesi hesaplanarak doğrusal olmayan modelde dikkate alınmıştır. Moment kapasitesini, kesitteki donatı miktarı ve dayanımı, beton kalitesi, sargı etkisi gibi faktörler etkiler. Perde ucunda oluşabilecek mafsallaşmayı temsil etmek için ankrajların modellenmesinde olduğu gibi doğrusal olmayan NLLink elemanlarından faydalanılmıştır. Perdeye ait moment-eğrilik ilişkisi betonarme elemanların doğrusal olmayan davranışlarını modellemeye yönelik geliştirilmiş SEMAP (İNEL, v.d. 2008) yazılımı kullanılarak elde edilmiştir. Dış perde elemanına ait moment-dönme davranışı Şekil 8.10'da gösterildiği şekilde idealleştirilerek modellenmiştir. Elde edilen moment-eğrilik ilişkisi moment-dönme ilişkisine dönüştürülmüştür. Plastik mafsal bölgesinin başlangıç ve bitiş noktası arasındaki plastik deformasyonlardan kaynaklanan dönme farkına plastik dönme, akma anındaki elastik deformasyonlardan kaynaklanan dönmeye ise elastik dönme denir. Akma anındaki elastik dönme ile mafsaldeki plastik dönme sırasıyla 8.4 ve 8.5'te verilen denklemlerle hesaplanır.

$$\vartheta_y = \phi_y \cdot \ell_p \quad (8.4)$$

$$\vartheta_p = (\phi_u - \phi_y) \cdot \ell_p \quad (8.5)$$

$\theta_y$ : Akma dönmesi

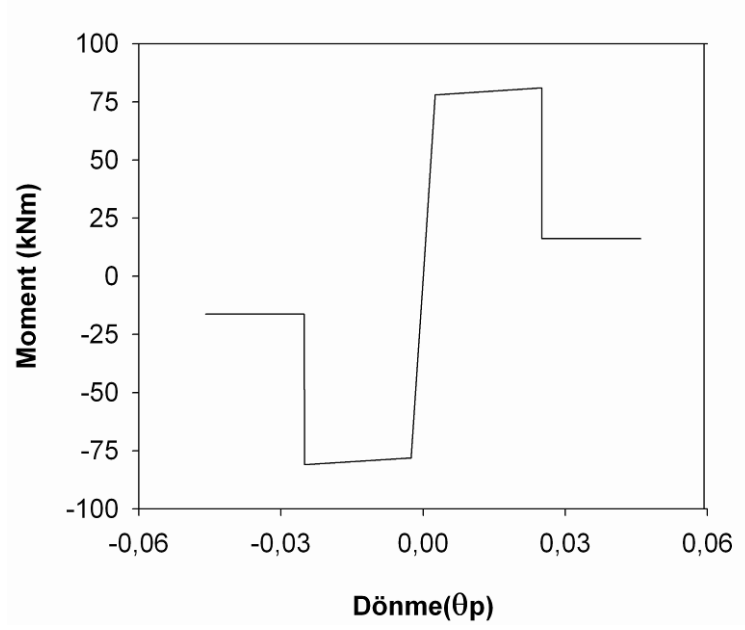
$\phi_y$ : Akma eğriliği

$\theta_p$ : Mafsalsın plastik dönme kapasitesi

$\phi_u$ : Nihai eğrilik

$\ell_p$ : Plastik mafsal boyu





Şekil 8.10. Perde eleman için hesaplanan moment-dönme ilişkisi

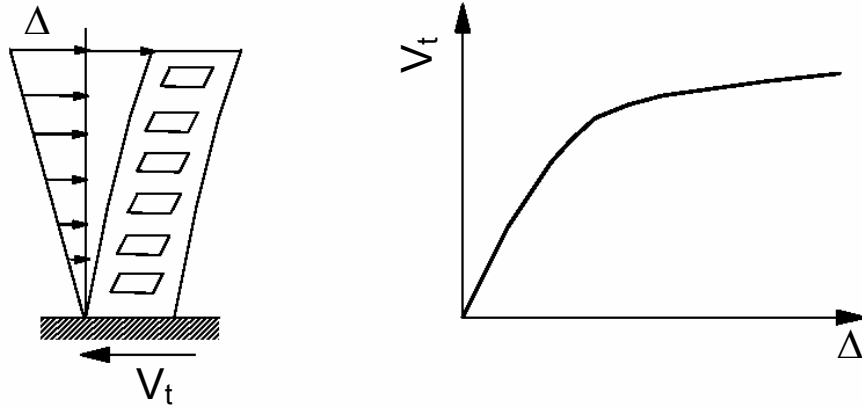
Perde uç bölgesinde yer alan kolonlarda ankraj hasarı yanında kolonun ezilmesi veya kolon boyuna donatılarını çekme etkisinde kopması da olası davranış şekillerindedir. Bu sebeple, kolon aksenal çekme ve basınç kapasiteleri de doğrusal olmayan modelde dikkate alınmıştır. Bu amaçla kolon elemanlarında çekme ve basınç limitleri tanımlanmıştır.

### 8.3.2 Statik İtme Analizi

Doğrusal ötesi statik itme analizi belli bir yük dağılımı altında bir yapıyı, yapısal sistemin stabilitesi bozulana dek ittirmek olarak tanımlanır. Önceden tanımlanmış bu yük dağılımı binanın yatay deprem kuvvetleri altındaki davranışını yansıtacak şekilde olmalıdır. Bu çalışma kapsamında yapılan analizlerde kullanılan itme şekli, deneylerde olduğu gibi 2 kat seviyesinden perdenin itilmesi şeklindedir. 1. ve 2. kat arasındaki kuvvet ölçeği 1:2 şeklinde dikkate alınmıştır.

İtme şekli belirlendikten sonra, bina çatı deplasmanı veya istenilen bir düğümün deplasmanı kontrol edilerek, yapı adım adım itilir. Bu adımlar boyunca deplasman ve taban kesme kuvveti kaydedilir. Binanın itildiği her bir adımda önceden belirlenmiş mafsallık bölgelerinin taşıma kapasitelerine (akma noktalarına) ulaşıp ulaşımadığı kontrol edilir. Akma noktasına ulaşmış bölgelerde (plastik mafsallık) yapısal eleman ikiye bölünerek mafsallık

tanımlanmış bölge düğüm haline getirilir ve bu düğümüne plastik mafsal elemanının dönme rijitliğini yansıtan bir dönme redörü konularak analize devam edilir. Analiz, yapı stabilitesini kaybedinceye kadar devam eder. Böylece yapının taban kesmesi – çatı deplasmanı eğrisi elde edilmiş olur (Şekil 8.11). Bu çalışma kapsamında yapılan modellerde klasik plastik mafsallar yerine NNLink elemanları ile çok noktalı idealleştirme yapılmıştır.



Şekil 8.11 İtme şekli ve çatı deplasmanı - taban kesme kuvveti

## 9 ANKRAJ KESME MODELİNİN PERFORMANSI

### 9.1 Geliştirilen Kesme Modelleri

Yapılan çoklu regresyon analizleri sonucunda Çizelge 9.1’de verilen modeller elde edilmiştir. Modellerin performansları hem eğitim hem de test veri setleri için değerlendirilmiştir.

Çizelge 9.1. Tek bir ankraj için parametrik modellerin katsayıları ile birlikte gösterimi

Model No	Geliştirilen Ampirik Model
Model 1	$V_a = 16.286 \cdot (f_c \cdot \Delta)^{0.2} - 24.09 \cdot (F_y \cdot \Delta)^{0.07} + 2.62 \cdot L \cdot (D \cdot \Delta)^{0.06}$
Model 2	$V_a = 6.28 \cdot D \cdot (f_c \cdot \Delta)^{0.2} - 7.76 \cdot F_y \cdot \Delta + 0.443 \cdot (L \cdot \Delta)^{0.5}$
Model 3	$V_a = 6.93 \cdot D \cdot f_c \cdot \Delta - 16.27 \cdot F_y \cdot \Delta + 29.62 \cdot L^{0.1} \cdot \Delta^{0.35}$
Model 4	$V_a = 53.96 \cdot D \cdot f_c \cdot \Delta^{0.2} + 32.97 \cdot (F_y \cdot \Delta)^{0.2} - 1.135 + c \cdot (L \cdot \Delta)^{0.35}$
Model 5	$V_a = 12.245 \cdot (D \cdot f_c \cdot \Delta)^{0.5} + 51.44 \cdot F_y \cdot \Delta^{0.4} - 0.158 \cdot (L \cdot \Delta)^{0.7}$
Model 6	$V_a = 22.01 \cdot D \cdot f_c \cdot \Delta^{0.5} - 62.11 \cdot F_y \cdot \Delta / D + 0.147 \cdot L \cdot \Delta^{0.2}$
Model 7	$V_a = 17.42 \cdot D \cdot f_c \cdot \Delta^{0.5} - 559.16 \cdot F_y \cdot \Delta / \sqrt{D} + 0.141 \cdot L \cdot \Delta^{0.2}$
Model 8	$V_a = 6.4 \cdot D \cdot (f_c \cdot \Delta)^{0.2} - 5.79 \cdot F_y \cdot \Delta + 1.81 \cdot (L \cdot \Delta)^{0.2}$
Model 9	$V_a = 5.64 \cdot D \cdot f_c \cdot \Delta - 15.32 \cdot F_y \cdot \Delta + 7.68 \cdot (L \cdot \Delta)^{0.35}$
Model 10	$V_a = 184.28 \cdot L^{0.2} \cdot f_c \cdot \Delta^{0.3} + 3.30 \cdot D \cdot F_y \cdot \Delta^{0.5} - 0.034 \cdot L \cdot \Delta^{0.8}$
Model 11	$V_a = -7.58 \cdot D \cdot f_c \cdot \Delta + 6.48 \cdot D \cdot F_y \cdot \Delta^{0.4} - 1.354 \cdot (L \cdot \Delta)^{0.5}$
Model 12	$V_a = 11.47 \cdot f_c \cdot \Delta + 1.317 \cdot (D \cdot L \cdot F_y)^{0.5} \cdot \Delta^{0.25} - 5.87 \cdot L^{0.2} \cdot \Delta^{0.5}$
Model 13	$V_a = 2.193 \cdot \Delta \cdot (L \cdot D)^{f_c} + 1.404 \cdot (D \cdot L \cdot F_y)^{0.5} \cdot \Delta^{0.25} - 1.182 \cdot L^{0.5} \cdot \Delta^{0.7}$
Model 14	$V_a = 9.48 \cdot \Delta \cdot L^{f_c} + 1.26 \cdot (D \cdot L \cdot F_y)^{0.5} \cdot \Delta^{0.25} - 6.668 \cdot L^{0.2} \cdot \Delta^{0.9}$
Model 15	$V_a = 2.296 \cdot D^{2f_c} \cdot \Delta + 1.404 \cdot (D \cdot L \cdot F_y)^{0.5} \cdot \Delta^{0.25} - 1.2 \cdot L^{0.5} \cdot \Delta^{0.7}$

Çoklu regresyon analizi ile geliştirilen 15 model için elde edilen korelasyon katsayıları, hata ve standart sapma değerleri eğitim ve test verileri için sırasıyla Çizelge 9.2-3'de gösterilmiştir. Eğitim verileri değerlendirildiğinde en büyük korelasyon 2 ve 8 numaralı modellerde elde edilmiştir. Bu iki model aynı zamanda hataların da en düşük olduğu modellerdir.

Çizelge 9.2. Eğitim verilerinin performans değerlendirmesi

Modeller	R <sup>2</sup>	MSE	RMSE	Standart Sapma	
				Deney Sonuçları	Model Sonuçları
Model 1	0.94	120.37	10.97	21.29	18.36
Model 2	0.96	84.73	9.20		19.40
Model 3	0.87	250.86	15.84		16.81
Model 4	0.84	310.65	17.63		16.86
Model 5	0.69	599.16	24.48		18.65
Model 6	0.89	221.64	14.88		22.95
Model 7	0.88	240.10	15.50		23.09
Model 8	0.96	88.47	9.41		18.58
Model 9	0.90	187.47	13.69		18.96
Model 10	0.79	419.23	20.48		21.14
Model 11	0.84	312.99	17.69		22.44
Model 12	0.92	165.22	12.85		21.80
Model 13	0.95	101.25	10.06		18.94
Model 14	0.95	107.37	10.36		19.51
Model 15	0.95	101.63	10.08		18.93

Test verileri dikkate alındığında da en büyük korelasyon Model 2 ve Model 8 ile yakalanmıştır. Test verileri için en büyük korelasyon ve en küçük hata Model 8 ile elde edilmiştir.

Test ve eğitim verileri kullanılarak elde edilen standart sapma değerleri tüm modeller için hesaplanmış olup deneysel veriler ve öngörülen değerler için standart sapma değerlerinin Model 2 ve 8’de oldukça yakın çıktığı da görülmüştür.

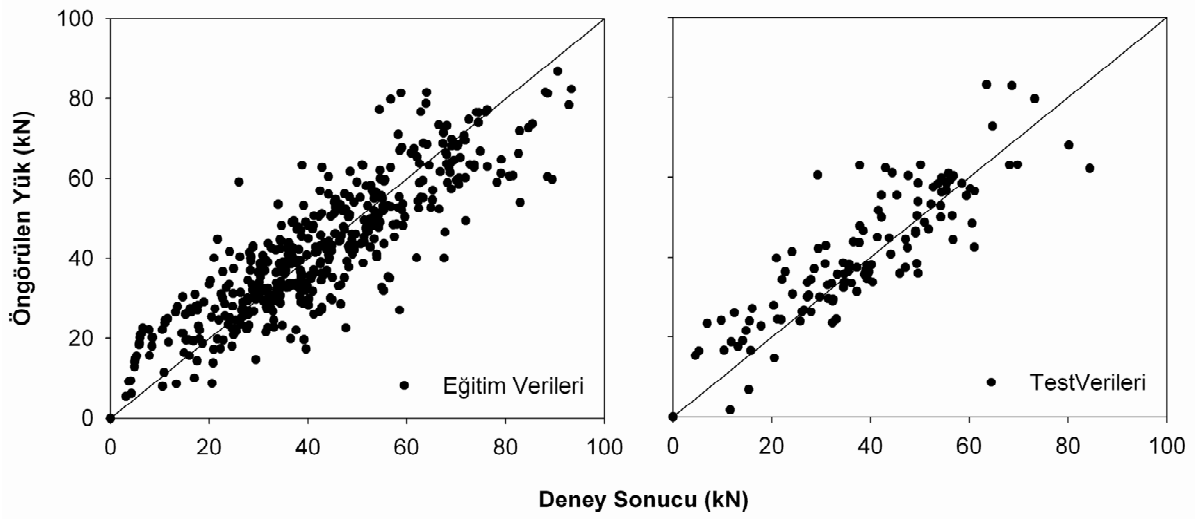
Çizelge 9.3. Test verilerinin performans değerlerini gösteren istatistiksel parametreler

Modeller	R <sup>2</sup>	MSE	RMSE	Standart Sapma	
				Deney Sonuçları	Model Sonuçları
Model 1	0.78	87.99	9.38	19.93	18.54
Model 2	0.82	78.35	8.85		20.34
Model 3	0.49	228.65	15.12		18.81
Model 4	0.42	257.96	16.06		18.01
Model 5	0.13	518.83	22.78		19.59
Model 6	0.65	207.96	14.42		24.09
Model 7	0.62	224.52	14.98		23.97
Model 8	0.82	76.59	8.75		19.32
Model 9	0.63	172.41	13.13		20.69
Model 10	0.32	402.35	20.06		21.89
Model 11	0.46	281.24	16.86		20.11
Model 12	0.70	148.07	12.17		21.86
Model 13	0.81	75.02	8.66		18.39
Model 14	0.80	78.68	8.87		19.30
Model 15	0.81	75.92	8.71		18.33

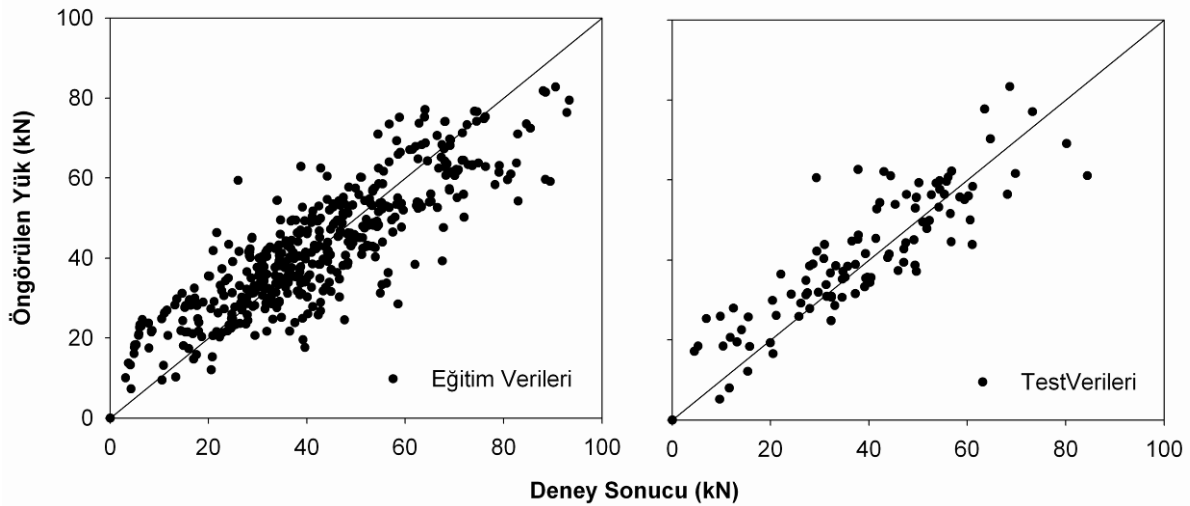
Model 2 ve 8’e ait eğitim ve test verileri için oluşturulan saçılma diyagramları (Şekil 9.1-2) dikkate alındığında, her iki modelin benzer bir saçılma sahip olduğu ve saçılımların kabul edilebilir düzeyde olduğu görülmektedir. Model 2 ve 8 olarak isimlendirilen yük-deplasman ilişkileri sırasıyla Denklem 9.1 ve 9.2’de gösterilmiştir:

$$V_a = 6.28 \cdot D \cdot (f_c \cdot \Delta)^{0.2} - 7.76 \cdot F_y \cdot \Delta + 0.443 \cdot (L \cdot \Delta)^{0.5} \quad (9.1)$$

$$V_a = 6.4 \cdot D \cdot (f_c \cdot \Delta)^{0.2} - 5.79 \cdot F_y \cdot \Delta + 1.81 \cdot (L \cdot \Delta)^{0.2} \quad (9.2)$$



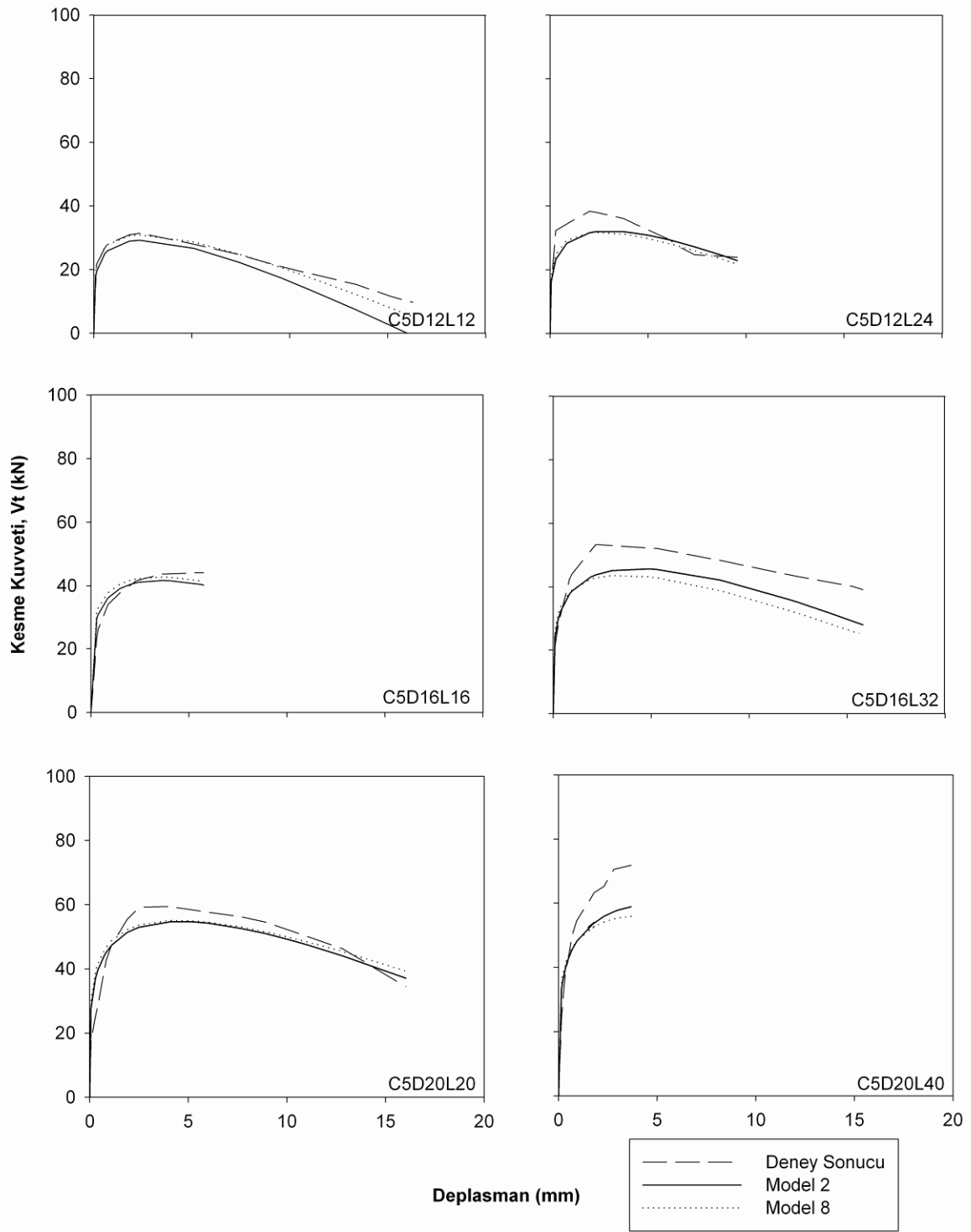
Şekil 9.1. Model 2 için eğitim ve test verileri saçılma diyagramları



Şekil 9.2. Model 8 için eğitim ve test verileri saçılma diyagramları

## 9.2 Model 2 ve Model 8'in Deney Sonuçları ile Karşılaştırılması

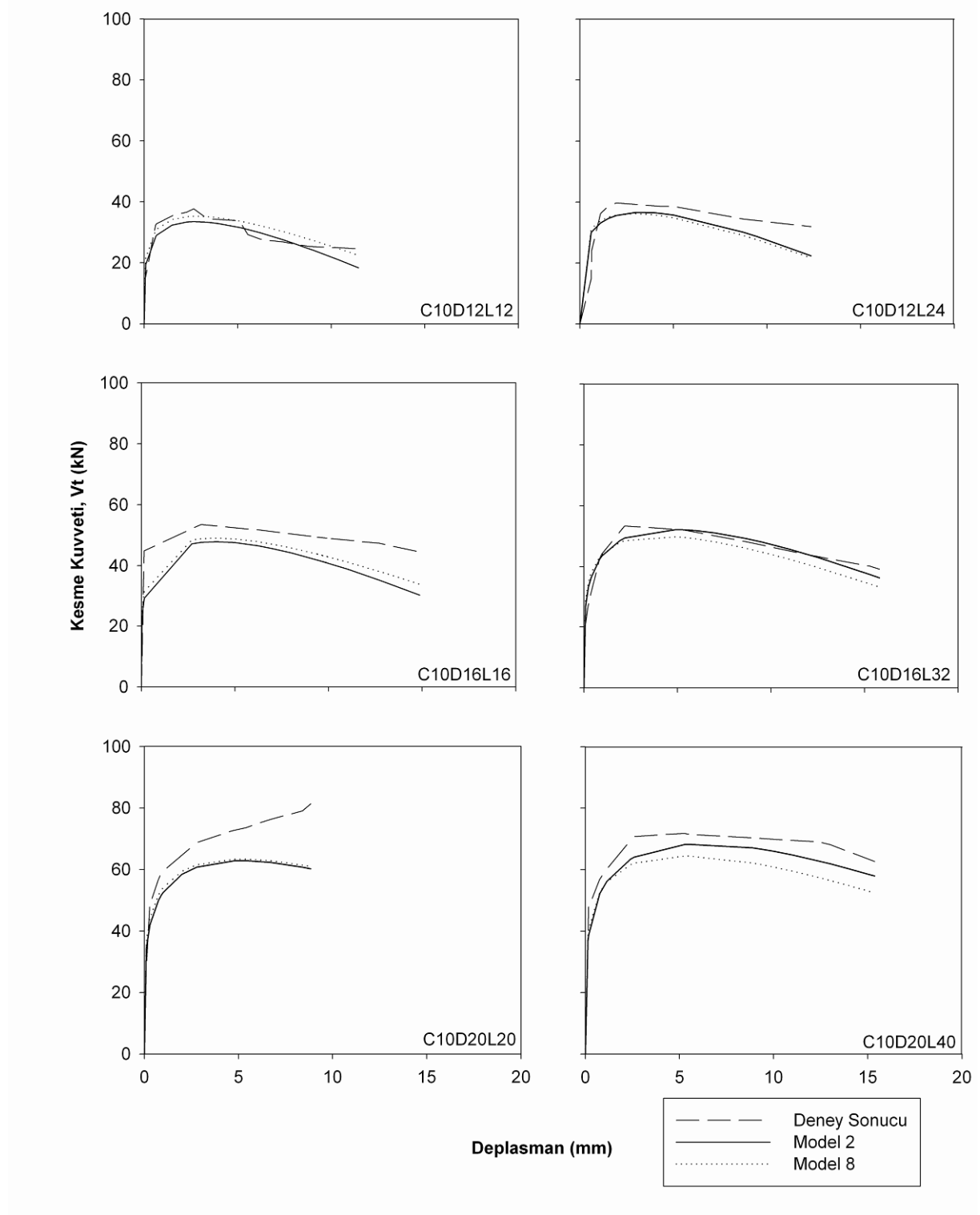
Çalışmanın ankraj kesme modeli oluşturulması için yapılan bölümünde oluşturulan iki modelin (Model 2 ve 8) benzer performans gösterdiği görülmüştür. Bu modellerin yapılan ankraj kesme deneyleri ile karşılaştırılması da gerçekleştirilmiştir. Model 2 ve 8 ile deney sonucunda elde edilen zarf eğrilerinin karşılaştırıldığı grafikler Şekil 9.3-10'da gösterilmiştir.



Şekil 9.3. C5 beton kalitesi için Model 2, Model 8 ve deneysel sonucunun karşılaştırılması

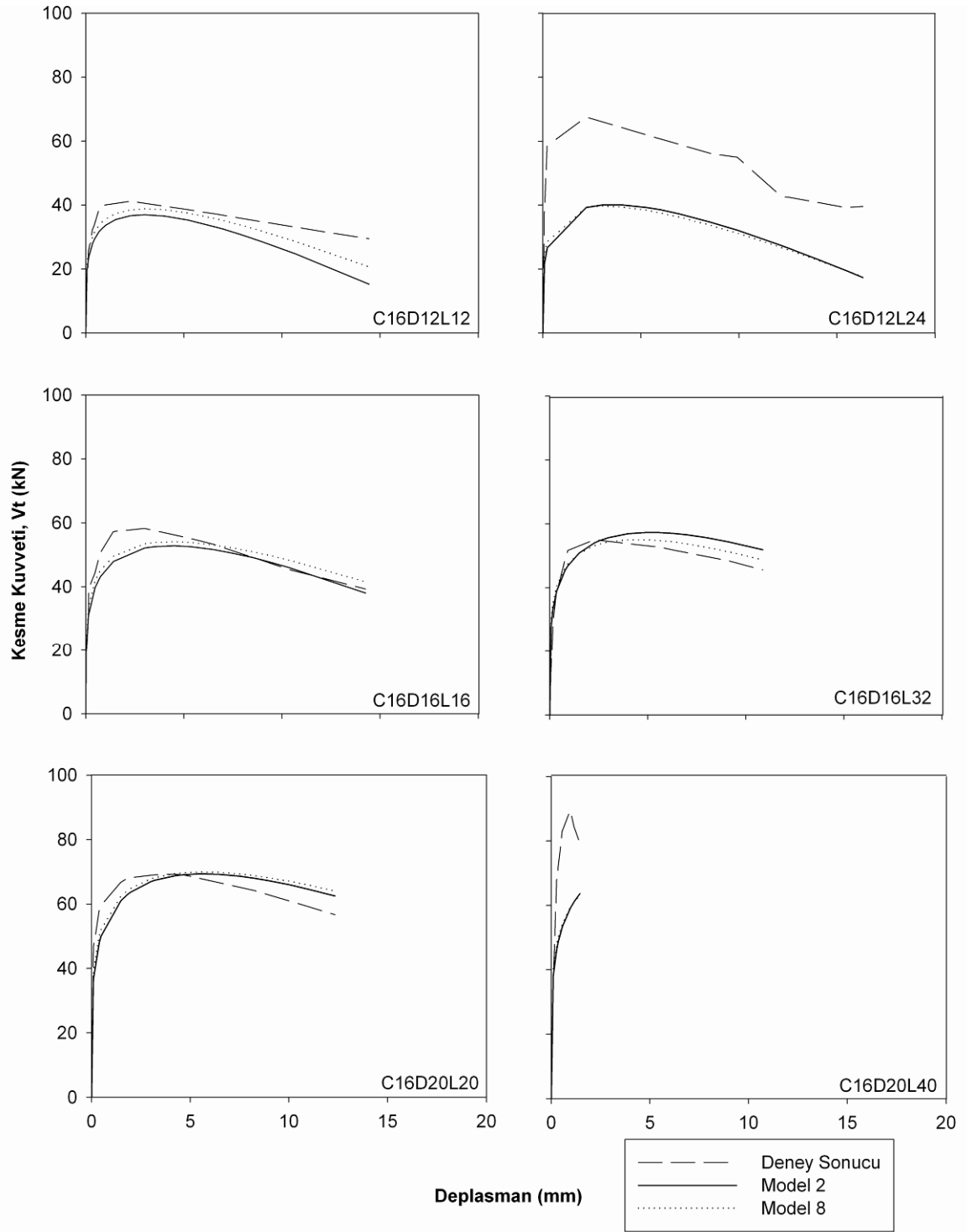
Grafiklerde gerek Model 2'nin gerekse Model 8'in deneysel sonuçları ile benzer sonuçlar verdiği görülmektedir. Ayrıca, her iki model de benzer saçılma grafiğine sahiptir. Hata ve

korelasyon değerleri de birbirine çok yakın olan bu modellerden hatası daha az olan Model 8 çalışmanın SAP2000 ile yapılan modellerinde de kullanılmıştır.

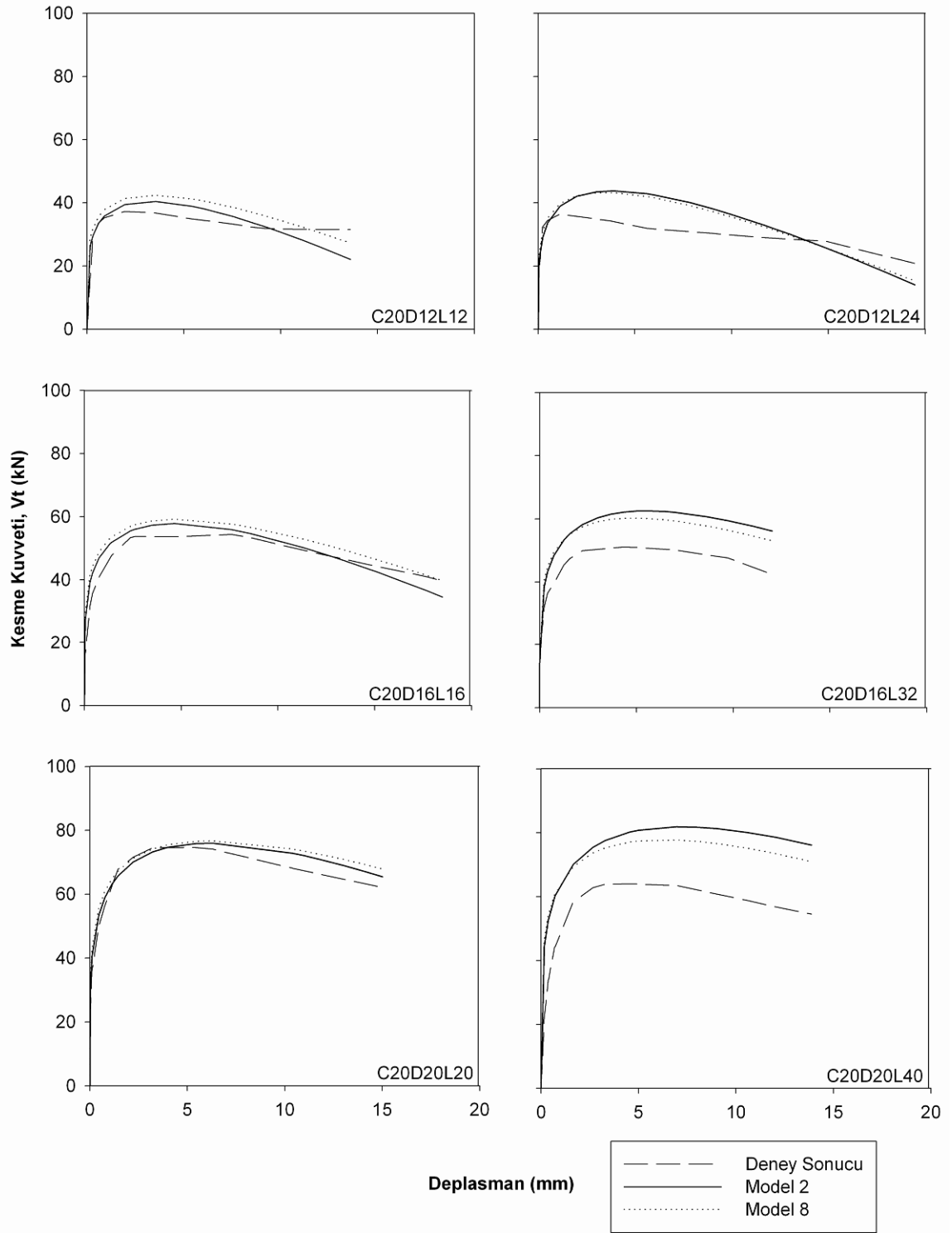


Şekil 9.4. C10 beton kalitesi için Model 2, Model 8 ve deneý sonucunun karşılaştırılması

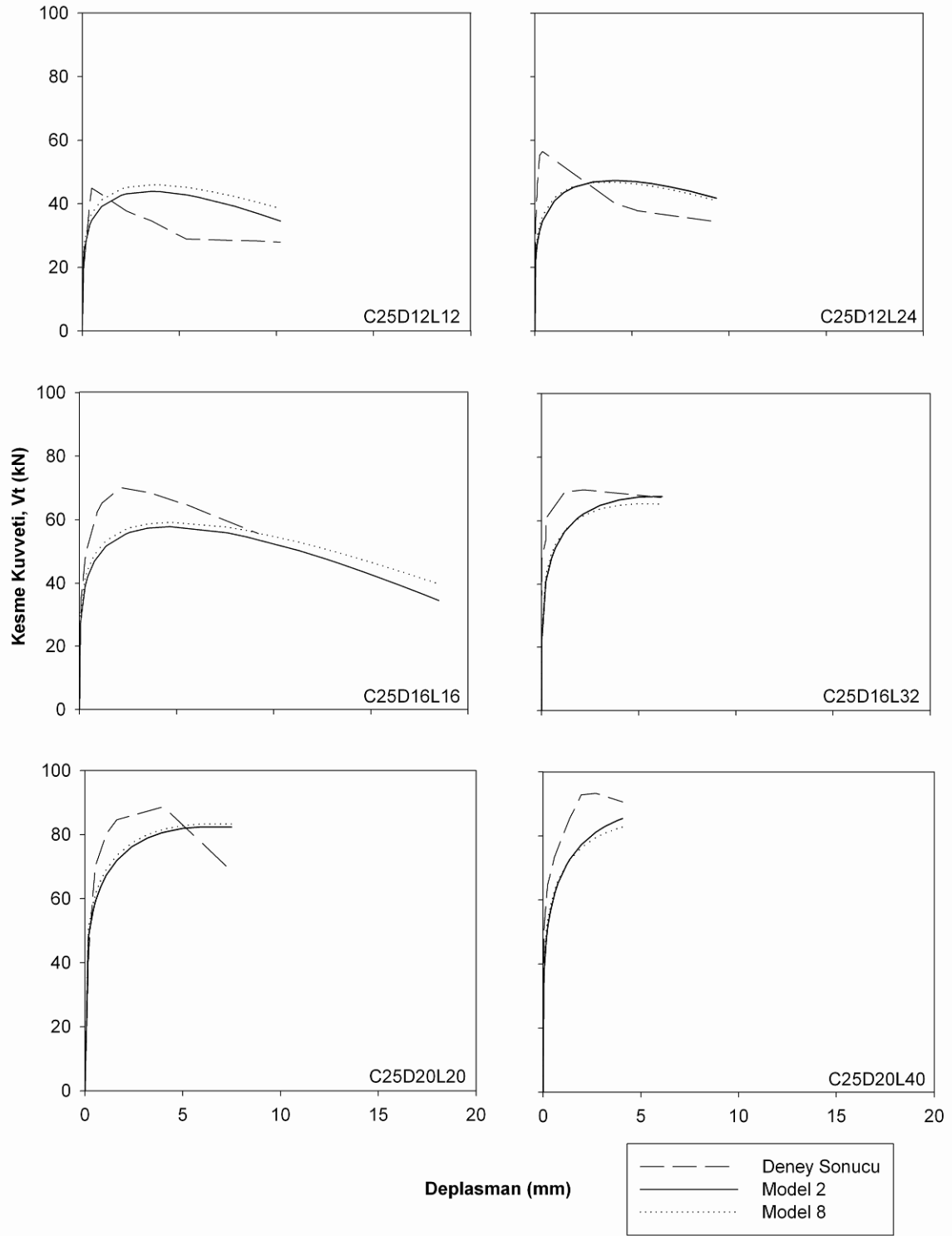




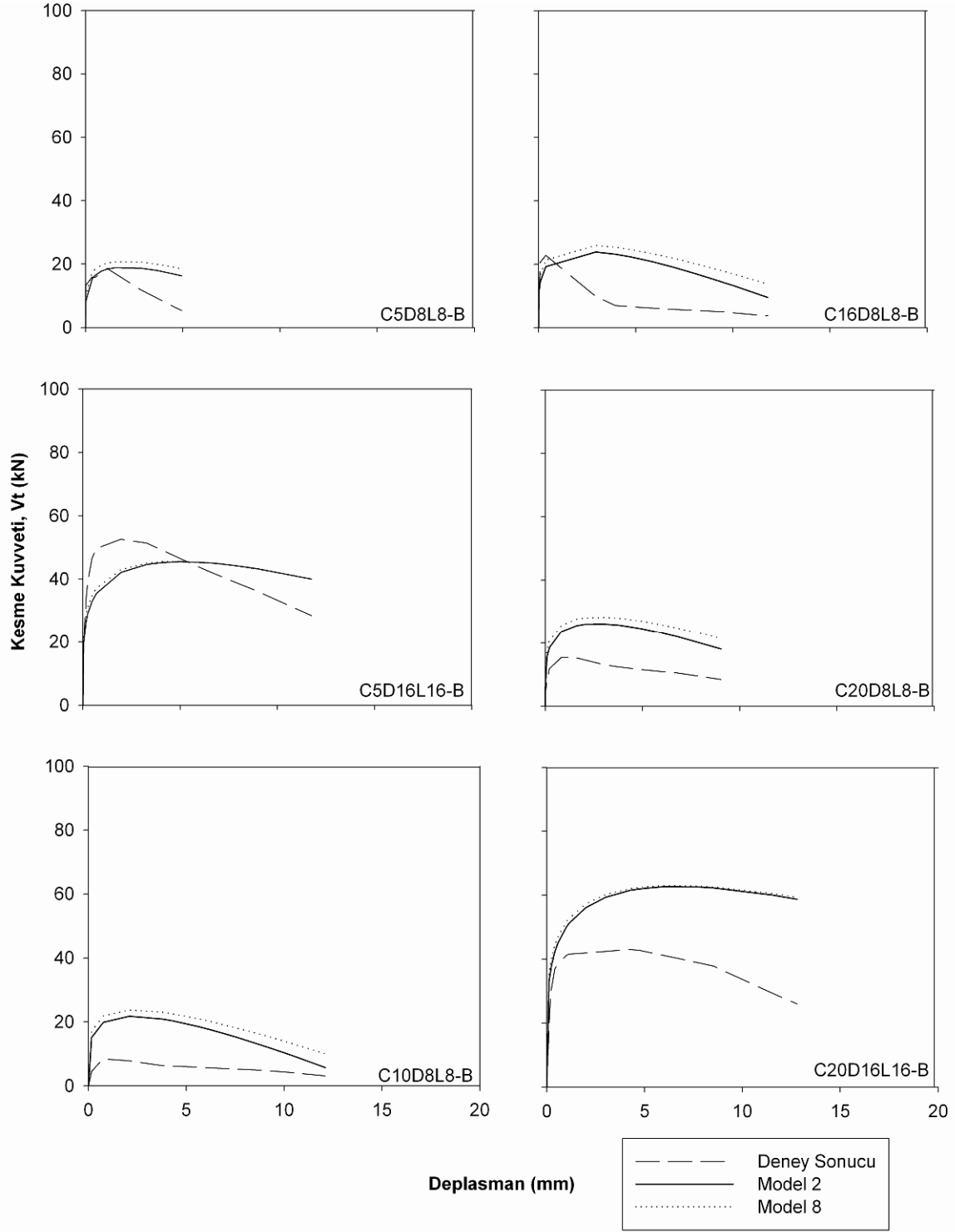
Şekil 9.5. C16 beton kalitesi için Model 2, Model 8 ve deney sonucunun karşılaştırılması



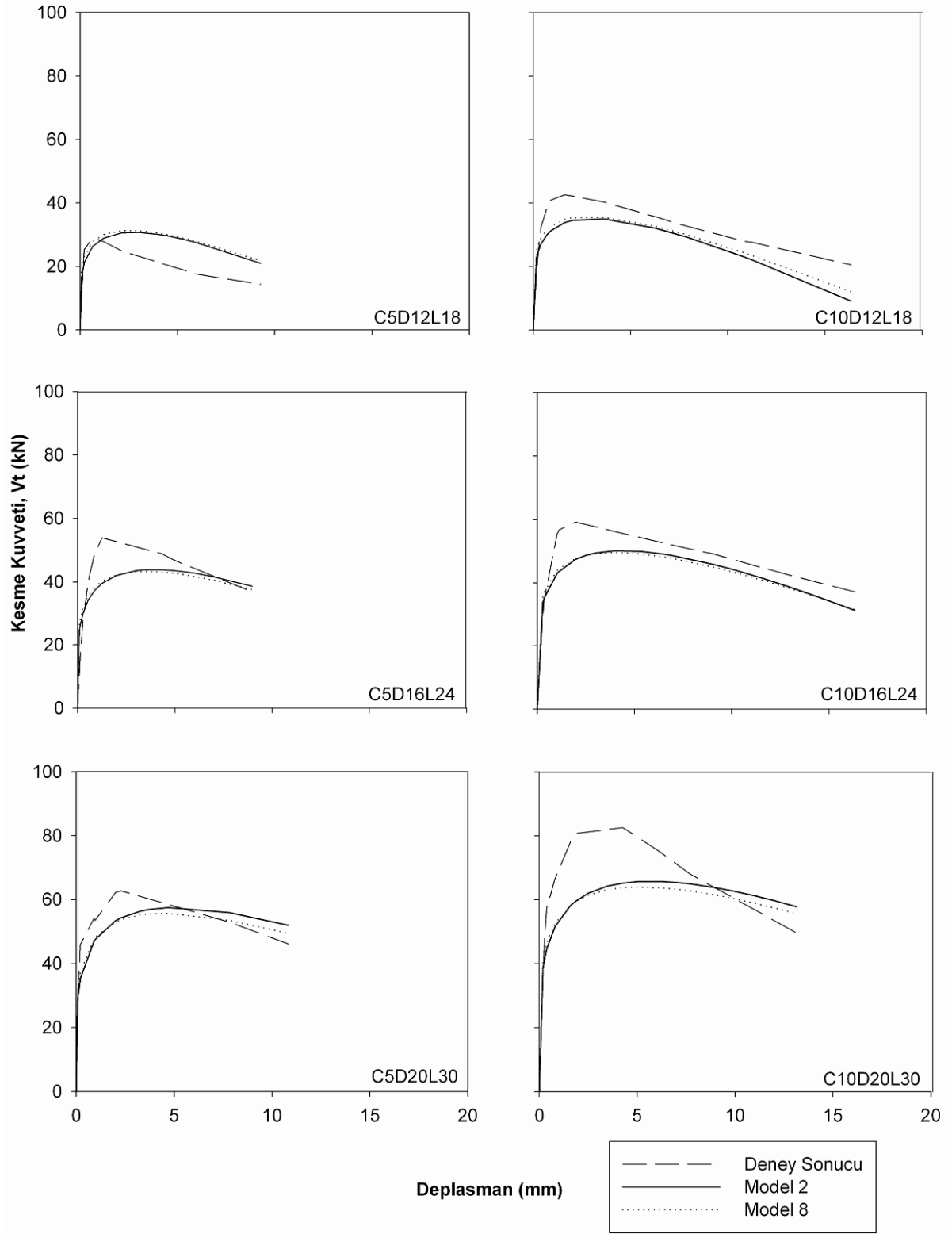
Şekil 9.6. C20 beton kalitesi için Model 2, Model 8 ve deney sonucunun karşılaştırılması



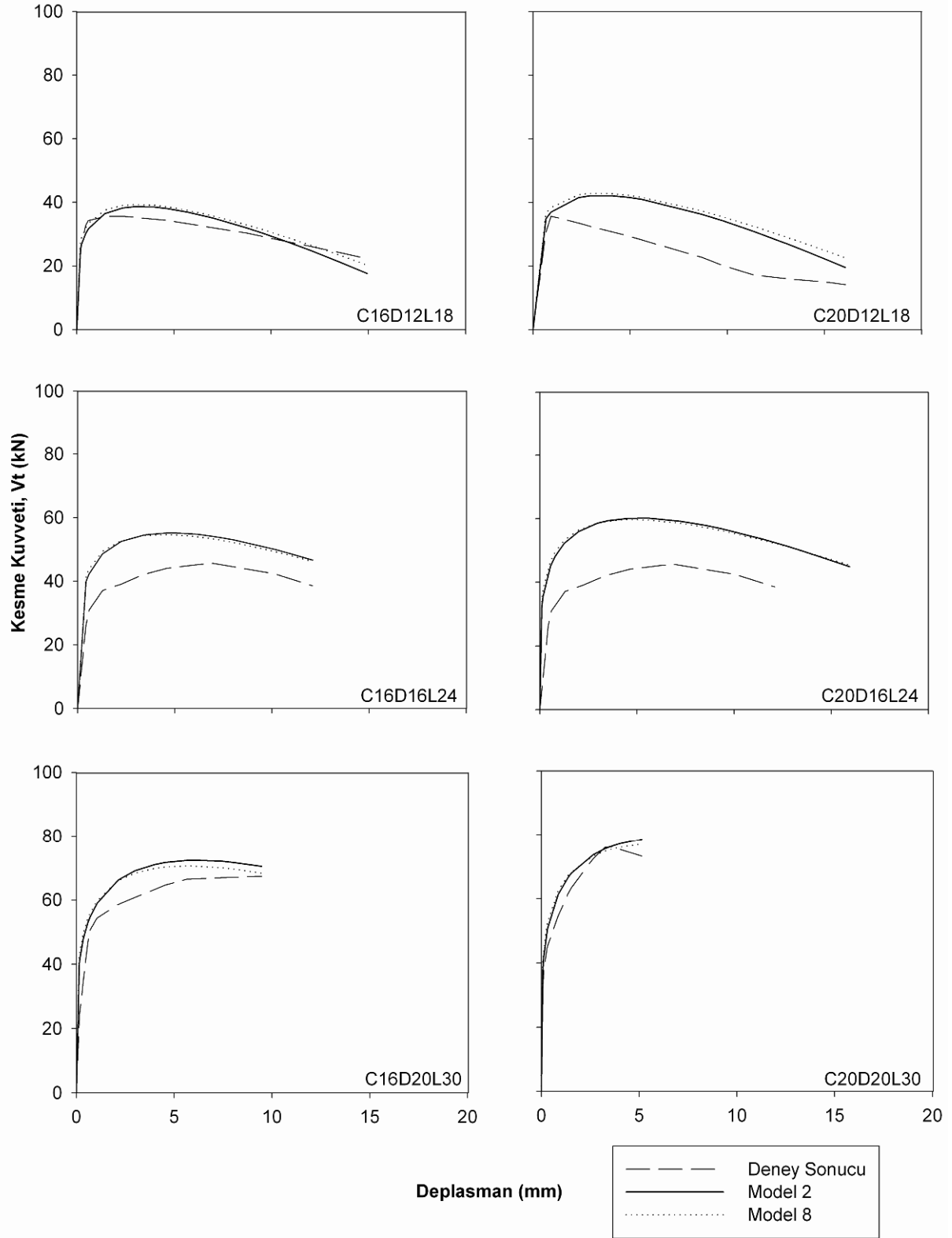
Şekil 9.7. C25 beton kalitesi için Model 2, Model 8 ve deney sonucunun Karşılaştırılması



Şekil 9.8. Çeşitli beton sınıfları ve S420a donatılar için Model 2, Model 8 ve deneý sonucunun karşılaştırılması



Şekil 9.9. C5 ve C10 için farklı ankraj derinliklerinde Model 2, Model 8 ve deney sonucunun karşılaştırılması



Şekil 9.10. C16 ve C20 için farklı ankraj derinliklerinde Model 2, Model 8 ve deney sonucunun karşılaştırılması

### **9.3 Geliştirilen Model ile Dış-Perdeli Çerçevelerde Ankraj Davranışının Modellenmesi**

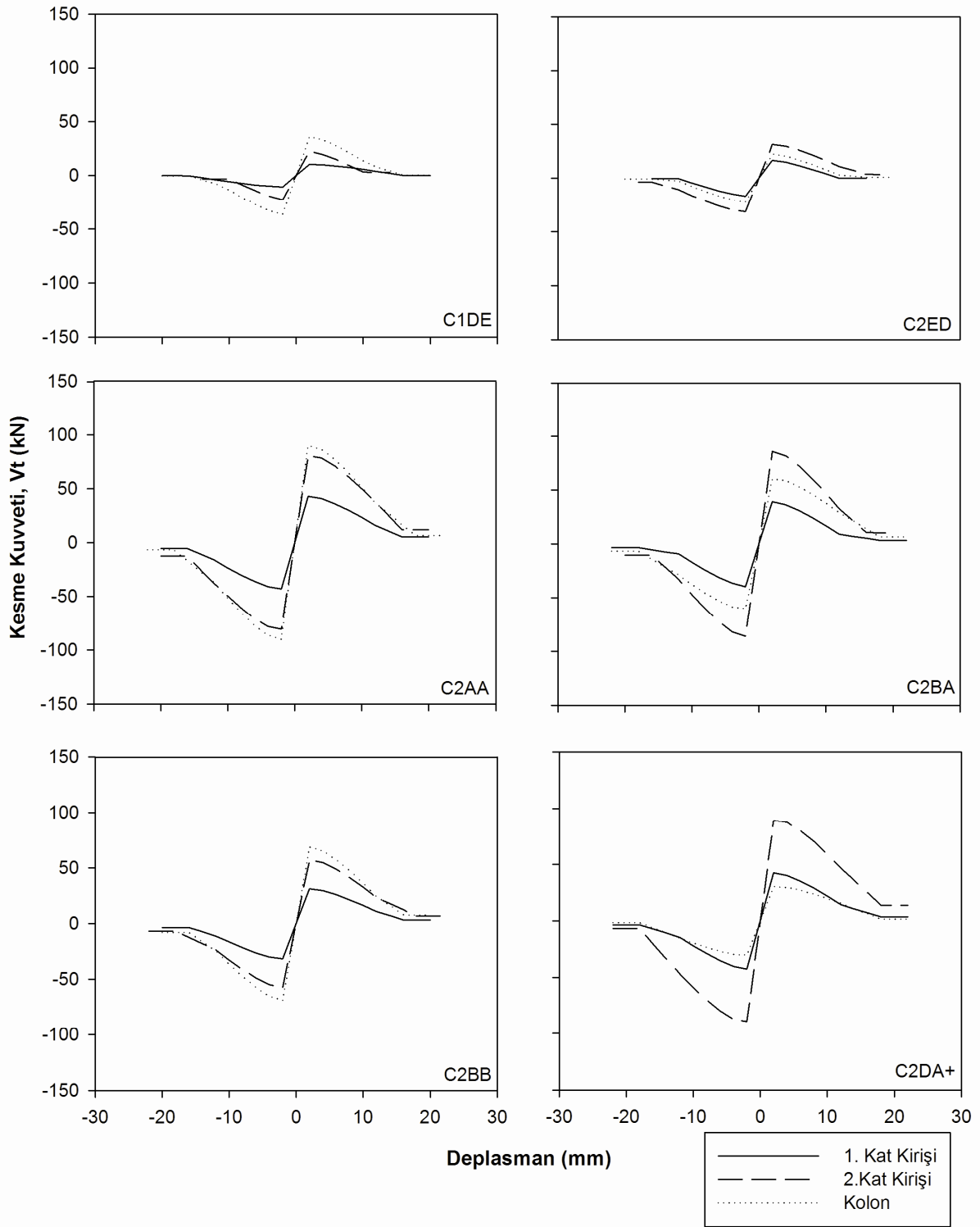
Çoklu regresyon yöntemi ile elde edilen modeller içerisinde en iyi performansı Model 8 göstermiştir. Bu sebeple, SAP2000 yazılımında dış perde ile güçlendirilmiş elemanların ankrajları NLLink elemanları ile modellenerek doğrusal olmayan itme analizleri gerçekleştirilmiştir. Ankrajların doğrusal olmayan davranışları önerilen ankraj kesme modeli ile belirlenerek NLLink elemanlarının özellikleri belirlenmiştir. Farklı betonlara ekilen farklı çaplardaki ankrajlar için doğrusal olmayan yük-deplasman özellikleri önerilen ankraj kesme modeline göre Çizelge 9.4'te gösterildiği şekilde hesaplanmıştır. Tüm donatılar için gömülme derinliği  $10\Phi$  olarak hesaplanmıştır. Donatıların akma dayanımı olarak deneysel olarak belirlenen ortalama akma dayanımı değeri kullanılmıştır.

Ankraj donatı çapına göre verilen dayanım değerlerinin toplanması ile Şekil 9.11-13'de kolon ve kirişlerdeki toplam ankraj sayılarına göre hesaplanan kolon ve kirişlerdeki ankraj kesme kapasiteleri gösterilmiştir. Kolon ve kiriş bağlantıları için kullanılan NLLink elemanlarına ait yük-deplasman ilişkisi bu grafiklerde verildiği gibidir. NLLink elemanları verilen deplasman sınırları dışında da yük taşıyabilen elemanlardır. Bu bölgelerde taşıdıkları yük değerleri SAP2000 tarafından son eğim çizgisi devam ettirilerek belirlenmektedir. Bu sebeple, kapasitenin azaldığı durumda yük değeri sabit tutularak deplasman artırılmış böylece deplasman sınırı dışında NLLink elemanlarında kalıcı bir gerilme değeri oluşturulmuştur. Grafiklerin sonunda bu bölge sabit kuvvet bölgesi olarak görülmektedir.

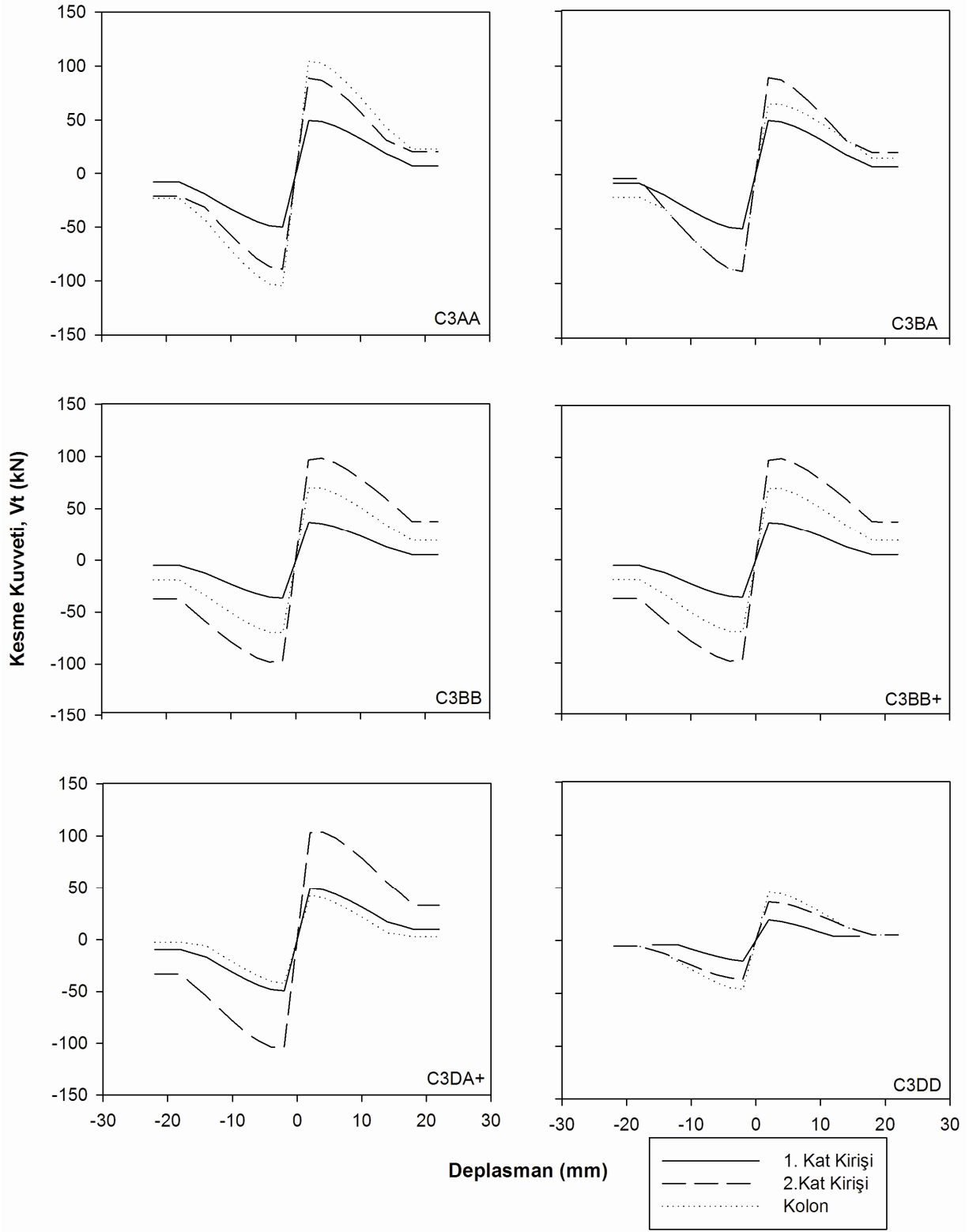
Çizelge 9.4. Önerilen modelin S420a donatıları için ve farklı beton sınıflarında dayanımı

Taban Betonu	$f_c$ (GPa)	$\Delta$ (mm)	Ankraj Kesme Kuvveti (kN)		
			F ( $\Phi 6$ )	F ( $\Phi 8$ )	F ( $\Phi 10$ )
C1	0.0057	0	0.00	0.00	0.00
		2	15.20	21.05	26.28
		4	13.02	20.04	25.85
		6	9.79	17.69	23.80
		8	6.08	14.74	21.02
		10	2.10	11.44	17.81
		12	-	7.90	14.32
		14	-	4.20	10.63
		16	-	0.37	6.79
		18	-	-	2.83
C2	0.0091	0	0.00	0.00	0.00
		2	16.73	23.10	28.84
		4	14.79	22.40	28.79
		6	11.70	20.25	26.99
		8	8.11	17.45	24.40
		10	4.22	14.27	21.35
		12	0.14	10.84	17.99
		14	-	7.23	14.42
		16	-	3.48	10.68
		18	-	-	6.81
		20	-	-	2.84
C3	0.019	0	0.00	0.00	0.00
		2	19.47	26.75	33.40
		4	17.93	26.59	34.03
		6	15.11	24.79	32.67
		8	11.72	22.26	30.41
		10	7.99	19.30	27.64
		12	4.05	16.05	24.51
		14	-	12.61	21.14
		16	-	9.01	17.58
		18	-	5.28	13.88
		20	-	1.47	10.06
		22	-	-	6.14
		24	-	-	2.13

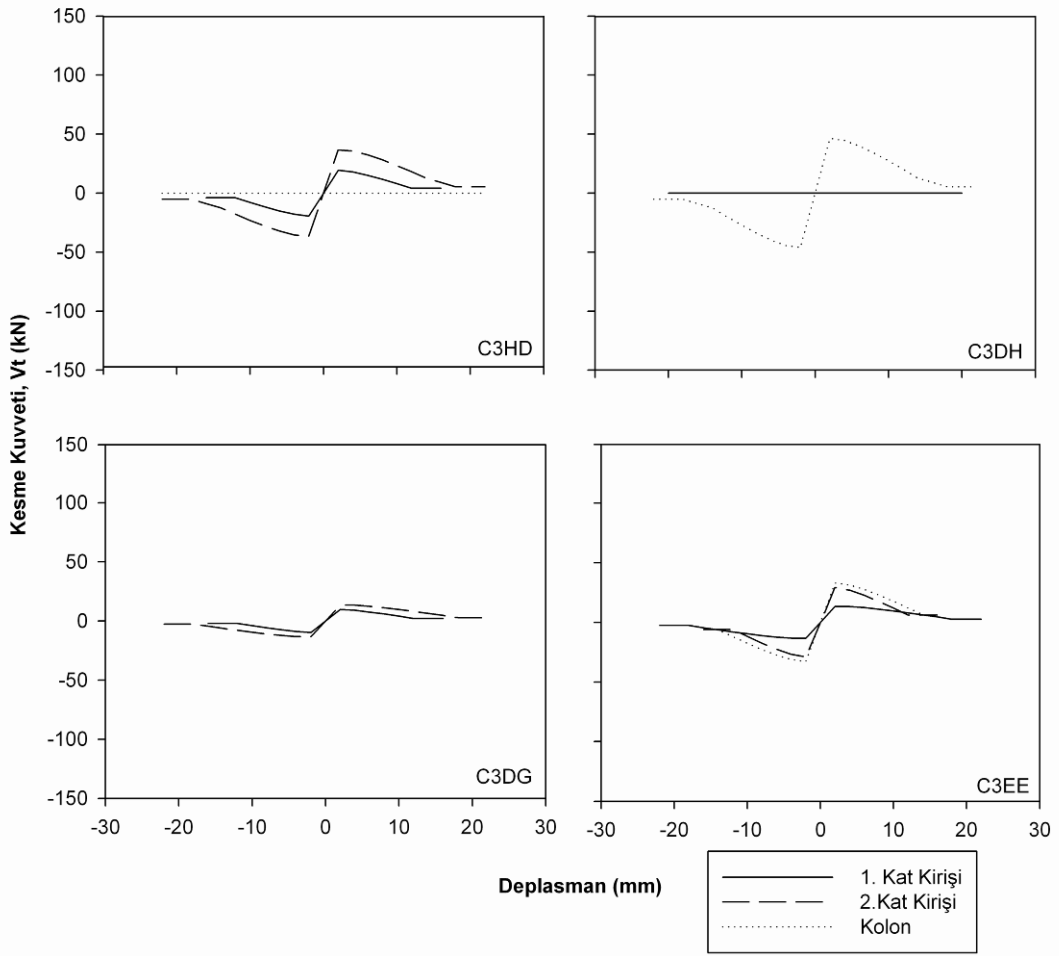




Şekil 9.11. C1 ve C2 Modellerinde Ankrajları Modelleyen NLLink Elemanlarının Özellikleri



Şekil 9.12. C3 Modellerinde Ankrajları Modelleyen NLLink Elemanlarının Özellikleri-1

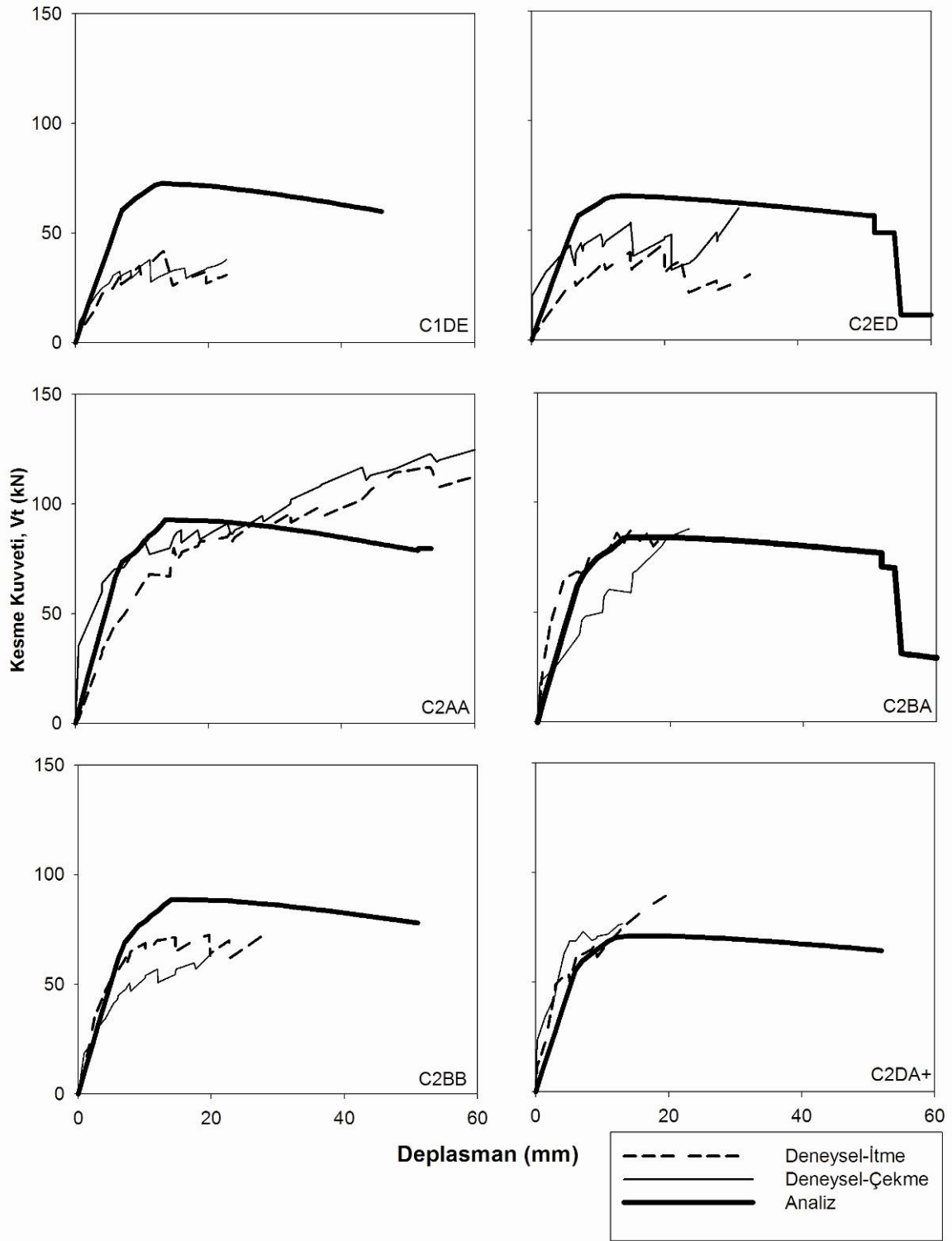


Şekil 9.13. C3 Modellerinde Ankrajları Modelleyen NLLink Elemanlarının Özellikleri-2

#### 9.4 Dış Perdeli Çerçvelere Ait SAP2000 modellerinin performansı

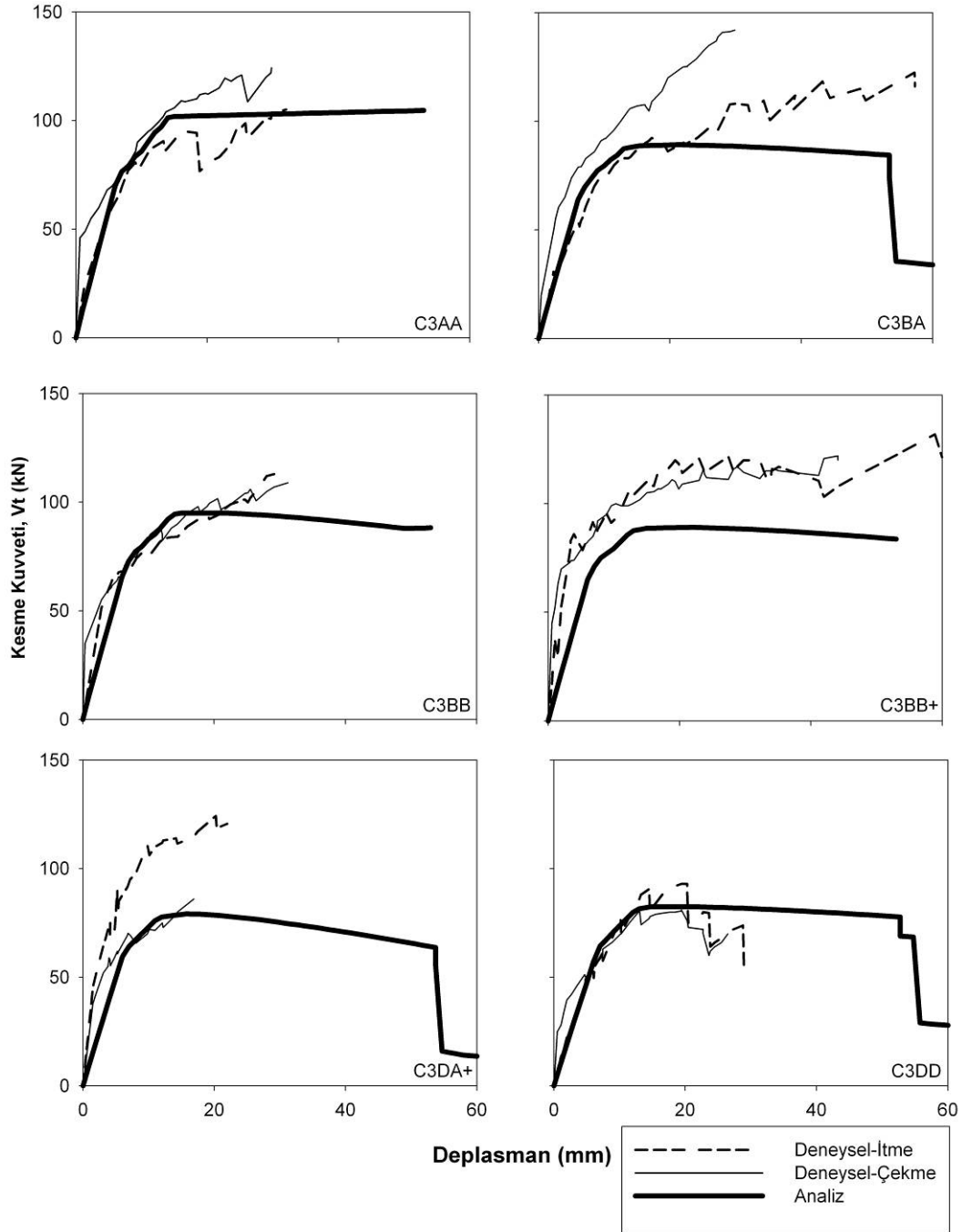
Önceki bölümlerde anlatılan şekilde üretilen SAP2000 modelleri ile statik itme analizi gerçekleştirilmiştir. Analizlerden elde edilen kapasite eğrileri ile deney verilerinden oluşturulan zarf eğrileri Şekil 9.14-16'da gösterilmiştir.

Tüm analiz modellerinde maksimum yatay yük kapasitesine ulaşıldıktan sonra taşıma gücünde bir miktar düşüş yaşanmaktadır. Bu düşüş ankrajların kapasitesinin azalmaya başladığını göstermektedir.

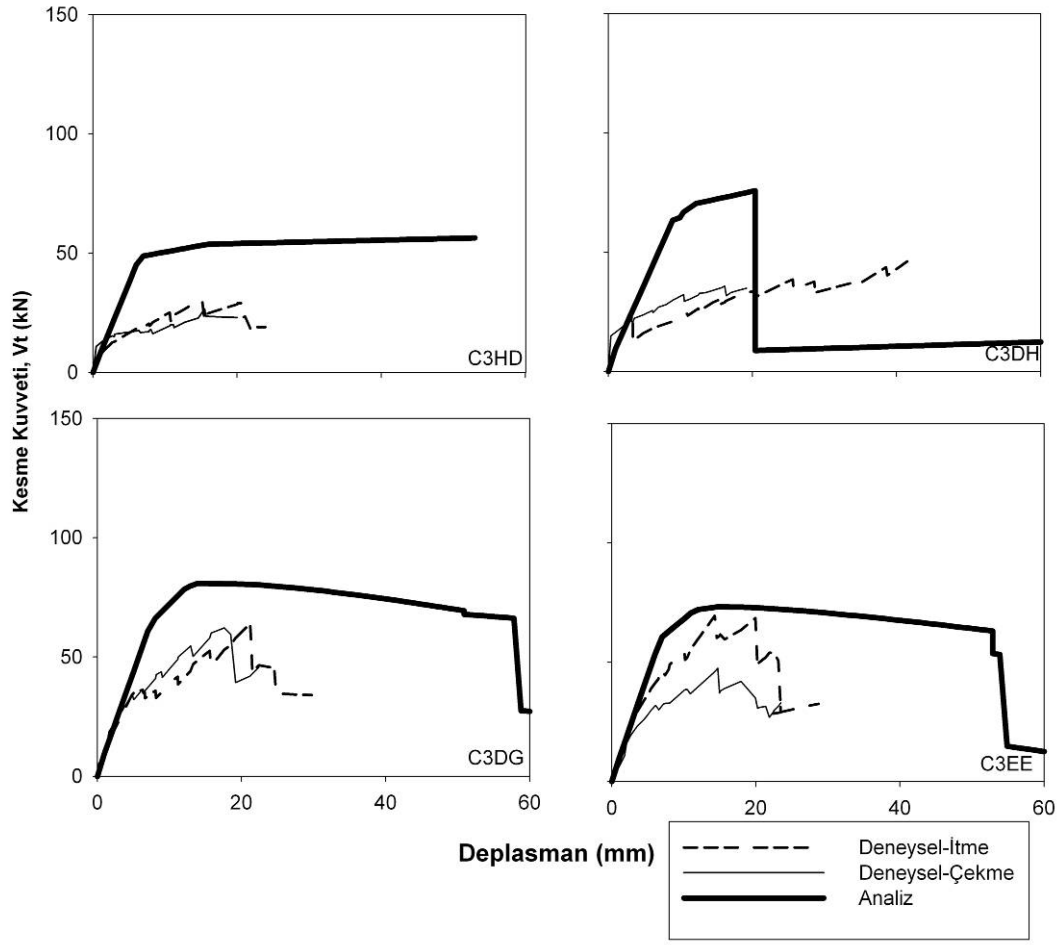


Şekil 9.14. C1 ve C2 Deneysel Elemanlarının Deneysel Zarf Eğrileri ve SAP2000 Kapasite Eğrisi

Analiz sonucunda elde edilen kapasite değeri ankraj miktarının düşük olduğu modellerde bir miktar fazla tahmin edilmiştir. C2BA, C2DA+, C3AA, C3BB, C3DD modellerinde analiz ve deney sonuçlarının örtüştüğü görülmektedir.



Şekil 9.15. C3 Deney Elemanlarının Deneysel Zarf Eğrileri ve SAP2000 Kapasite Eğrisi-1



Şekil 9.16. C3 Deney Elemanlarının Deneysel Zarf Eğrileri ve SAP2000 Kapasite Eğrisi-2

**BEŞİNCİ BÖLÜM**  
**SONUÇ VE ÖNERİLER**

## 10 SONUÇLAR

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 S420b donatılarla ekilen ankrajlar oluşturmaktadır. Bu ankraj elemanları 10Φ, 15Φ ve 20Φ olmak üzere 3 farklı derinlikte gömülmüştür. Ortalama dayanımlar dikkate alındığında en düşük kapasitenin 15Φ derinlik için elde edildiği görülmüştür. Önceki çalışmalarla birlikte değerlendirildiğinde bu durum, 10Φ 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.



- Ankraj kesme davranışının sayısal analizlerini gerçekleştirmek üzere ANSYS yazılımında çeşitli modeller geliştirilmiştir. Geliştirilen modellerin girdi parametrelerindeki küçük değişikliklere bile oldukça duyarlı oldukları gözlenmiştir.
- Çalışmanın sonunda ankraj kesme deneylerinden bir amprik model de geliştirilmiştir. Bu modelin kimyasal ankrajların yük-deplasman ilişkilerinin belirlenebilmesi için de kullanılabileceği gösterilmiştir. Elde edilen amprik denklem ile ankraj çapı, beton basınç dayanımı, donatı akma dayanımı ve gömülme derinliğine bağlı olarak ankraj elemanına ait yük-deplasman eğrisi tahmin edilebilmektedir.

Çalışmanın bir başka önemli ayağını ise elde edilen dış-perde ankrajlarının tasarımına yönelik çalışmalar oluşturmuştur. Bu amaçla düşük dayanımlı betonlardan imal edilen çerçevelere dış perde elemanları kimyasal ankrajlarla bağlanarak 16 farklı deney elemanı üretilmiş ve tersinir tekrarlı yatay yükler altında denenmiştir. 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 ACI 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 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 ulaşabildiği 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 dolayısıyla kolon ve perde kenarlarında konik beton hasarları oluşturmuşlardır.
- Çalışmanın bu aşamasında ankraj elemanlarının çaplarının küçük seçilmesi dolayısıyla 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.
- Çalışmanın ilk aşamasındaki ankraj deneylerinden elde edilen verilerle geliştirilen ankraj kayma modeli perde ile güçlendirilmiş çerçeve deneyi sonuçları ile de karşılaştırılmıştır. Bazı numuneler için elde edilen sonuçlar oldukça olumludur. Bununla birlikte, özellikle ankraj miktarı çok fazla azaltılan deney elemanlarının yatay yük kapasitelerinin bir miktar fazla tahmin edildiği görülmüştür.

## 11 ÖNERİLER

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

- Deprem Yönetmeliğinin 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.
- Ayrıca, 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 Deprem Yönetmeliğinde bir düzenleme yapılmıyca 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 yapıştırıcı türünün ve mekanik özelliklerinin ankraj dayanımını önemli oranda etkilediğini ortaya koymuştur. Bu sebeple, güçlendirme ankrajlarında kullanılacak kimyasal yapıştırıcıdan istenen asgari mekanik özellikler de belirlenmelidir.
- Çalışma kapsamında gerçekleştirilen ankraj deneyi sonuçları kullanılarak çoklu regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda Denklem 11.1'de verilen denklemin ankraj kayma modeli olarak önerilmektedir:

$$V_a = 6.4 \cdot D \cdot (f_c \cdot \Delta)^{0.2} - 5.79 \cdot F_y \cdot \Delta + 1.81 \cdot (L \cdot \Delta)^{0.2} \quad (11.1)$$

Yapılan bu çalışmaya ilave olarak aşağıda verilen konularda da çalışmalara devam edilebileceği değerlendirilmektedir:

- Bu çalışmada elde edilen sonuçları tamamlamak üzere düşük dayanımlı betonlarda kenara yakın ankrajların kesme dayanımları konusunda da çalışmalar yapılabilir.

- Çalışma kapsamında gerçekleştirilen 2 boyutlu deneylerde küt perdeler kullanılmıştır. Bu çalışmanın eğilmeye çalışan perdeler için de yapılması faydalı olacaktır.

## 12 KAYNAKLAR

ACI318, Building Code Requirements for Reinforced Concrete, American Concrete Institute, Detroit, USA, (2008).

ALQEDRA, M.A., Ashour, A.F., Prediction of Shear Capacity of Single Anchors Located Near a Concrete Edge Using Neural Networks, Computers & Structures 83, 2495-2502, (2005).

ANIL, Ö. ve Altın, S., An Experimental Study on Reinforced Concrete Partially Infilled Frames, Engineering Structures, 29(3), (2007). Pp: 12.

ASLANKARA, Y., İnel M. ve Toprak, S., Kent Ölçeğinde Senaryo Depremde Oluşacak Bina Hasarlarının Tahmini, Kocaeli Deprem Sempozyumu, 1434-1443, (2005).

ASHOUR A.F. Ve Alqedra M.A., Concrete Breakout Strength of Single Anchors in Tension Using Neural Networks, Advances in Engineering Software 36, 87-97, (2005).

ATIMTAY, E., Kaplan, H., Haktanır, T., Kaltakçı, M.Y., Yılmaz, Ç., Kanıt, 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., Depremde Hasar Görmüş Yapıların Onarımı ve Hasarsız Mevcut Yapıların Güçlendirilmesi: Dış Perde Duvar Uygulaması, DPT-YUUP, BAP-08-11-DPT.2004K120760, (2003-2007).

BARAN, M., Precast Concrete Panel Infill Walls for Seismic Strengthening of Reinforced Concrete Framed Structures, Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2005).

BARBOSA, A.F. ve Riberio, G.O, Analysis of Reinforced Concrete Structures Using ANSYS Nonlinear Concrete Model, Computational Mechanics, New Trends and Application, CIMNE, Barcelona, Spain, (1998).

BENJAMIN, J.R. ve Williams, H.A., 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, (1958).

BENLİ, A., Türk, K. ve Calayır, Y., Kendiliğinden Yerleşen Betondan Üretilmiş Kirişlerin Aderans Dayanımının Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi, Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi 20 (4), 599-607, (2008).

BEYAZ, T., Zemin Etkisinden Arındırılmış Deprem Kayıtlarına Göre Türkiye İçin Yeni Bir Deprem Enerjisi Azalım Bağıntısının Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2004).

BOUAZAOUİ, L. ve Li A., Analysis of Steel/Concrete Interfacial Shear Stress by Means of Pull Out Test, International Journal of Adhesion & Adhesives 28, 101-108, (2008).

CANBAY, E., Ersoy, U. ve Özcebe, G., Contribution of Reinforced Concrete Infills to Seismic Behavior of Structural Systems, ACI Structural Journal, V.100, No.5, 637-643, (2003).

CELEP, Z. ve Kumbasar, N., Betonarme Yapılar, İstanbul, (2005).

CZADERSKI, C. ve Motavalli, M., 40-Year-old Full-Scale Concrete Bridge Girder Strengthened With Prestressed CFRP Plates Anchored Using Gradient Method, Composites: Part B Engineering, 38, 878–886 (2007).

ÇETİNKAYA, N., Prefabrik Betonarme Sanayi Yapılarının Deprem Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2007). Pp:150.

COOK, R.A., Collins D.M.I., Klingner R.E. ve Polyzois D., Load-Deflection Behavior of Cast-In-Place and Retrofit Concrete Anchors, ACI Structural Journal, Vol. 89, No.6, 639-649, (1992).

COOK, R.A., Behavior of Chemically Bonded Anchors, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 119, No. 9, 2744–2762, (1993).

COOK, R.A., Doerr G.T. ve Klingner R.E., Bond Stress Model for Design of Adhesive Anchors, ACI Structural Journal, Vol. 90, No. 5, 514-524, (1993).

COOK, R.A. ve Konz R.C., Factors Influencing Bond Strength of Adhesive Anchors, ACI Structural Journal, Vol.98, No.1, 76-86, (2001).

COOK, R.A., Kunz J., Fuchs W. ve Konz R.C., Behavior and Design of Single Adhesive Anchors Under Tensile Load in Uncracked Concrete, ACI Structural Journal, Vol.95, No.1, 9-26, (1998).



DARWIN, D. ve Zavaregh S.S., Bond Strength of Grouted Reinforcing Bars, ACI Structural Journal, Vol.93, No.4, 486-495, (1996).

DBYYHY, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara, (2007).

ELİGEHAUSEN, R., Cook, R.A. ve Appl, J., Behavior and Design Adhesive Bonded Anchors, ACI Structural Journal, Vol.103, No.6, 822-831, (2006).

ERSOY, U. ve Özcebe, G., Betonarme, Evrim Yayınevi, İstanbul, (2004).

ERSOY, U. ve Uzsoy, Ş., The Behavior and Strength of Infilled Frames, TÜBİTAK Araştırma Projesi Raporu, Proje No: MAG-205, Ankara, Türkiye, (1971).

FABBROCINO, G., Verderame, M.G. ve Manfredi, G., Experimental Behaviour of Anchored Smooth Rebars in Old Type Reinforced Concrete Buildings, Engineering Structures, 27,1575–1585, (2005).

FUCHS, W., Eligehausen R. ve Breen J.E., Concrete Capacity Design (CCD) Approach for Fastening to Concrete, ACI Structural Journal, Vol. 92, No. 1, 73-94, (1995).

FUJIKAKE, K., Nakayama J., Sato H., Mindess S. ve Ishibashi T., Chemically Bonded Anchors Subjected to Rapid Pullout Loading, ACI Materials Journal, Vol.100, No.3, 246-252, (2003).

GESOGLU, M., Özturan, T., Özel, M. ve Güneyisi, E., Tensile Behavior of Post-Installed Anchors in Plain and Steel Fiber-Reinforced Normal and High Strength Concretes, *ACI Structural Journal*, Vol. 102, No.2, 224-231, (2005).

GOVINDAN, P., Lakshmipathy, M. ve Santhakumar, A.R., Ductility of Infilled Frames, *ACI Structural Journal*, 83(4), 567-576, (1986).

GÖRGÜLÜ, T., Mevcut Yapıların Güçlendirilmesinde Dış Çelik Konstrüksiyon Perde Uygulaması, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2008).

GROSS, J.H., Klingner, R.E. ve Graves, H.L., Dynamic Behavior of Single and Double Near-Edge Anchors Loaded in Shear, *ACI Structural Journal*, September-October, 665-676, (2001).

GÜRBÜZ, T., Yapıların Güçlendirilmesinde Kullanılan Kimyasal Ankrajların Eksenel Çekme Etkisi Altındaki Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2007). Pp: 226 s.

GÜRBÜZ, T., Seyhan, E., İlki, A. ve Kumbasar, N., Güçlendirme Çalışmalarında Kullanılan Kimyasal Ankrajların Eksenel Çekme Etkisi Altında Davranışları, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, (2007).

HIGGINS, C.C. ve Klingner, R.E., Effects of Environmental Exposure on the Performance of Cast-In-Place and Retrofit Anchors in Concrete, *ACI Structural Journal*, Vol.95, No.5, 506-517, (1998).

KARA, M.E. ve Altın, S., Behavior of Reinforced Concrete Frames With Reinforced Concrete Partial Infills, ACI Structural Journal, Vol.103, No.5, 701-709, (2006).

KALTAKÇI, M.Y. ve Yavuz, G., Kısmi Betonarme Perde Duvar İle Güçlendirilmiş Sismik Detayları Yetersiz Betonarme Çerçevesinin Tersinir-Tekrarlanır Yatay Yük Etkisindeki Davranışı, Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu, 368-374, Pamukkale-Denizli, (2006).

KALTAKÇI, M.Y., Arslan M.H. ve Yılmaz Ü.S., Dış Perde Duvar İle Güçlendirilmiş Yatay Yük Kapasitesi Düşük Olan Betonarme Çerçevesinin Davranışının İncelenmesi, Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu, 375-383, Pamukkale-Denizli, (2006).

KAPLAN, H., Yılmaz, S., Binici, H., Yazar, E. ve Çetinkaya, N., 1 Mayıs 2003 Bingöl Depremi Mühendislik Raporu, Yapısal Hasarlar ve Değerlendirmesi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli, (2003). Pp: 59 .

KAPLAN, H., Akyol, E., Yılmaz, S., Şen, G. ve Dayanır, N., Denizli Deprem Senaryosu, Pamukkale Üniversitesi İnşaat ve Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Denizli, (2005a). Pp: 105.

KAPLAN, H., Tama, Y.S., Yılmaz, S. ve Akyol, E., Buldan Devlet Hastanesi Depremsellik İnceleme ve Güçlendirme Raporu, Teknik Rapor, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, (2005b). Pp: 73.

KAPLAN, H., Yılmaz, S., Çetinkaya, N., Nohutcu, H., Atımtay, E. ve Sarışın, A., Mevcut Betonarme Yapıların Dış Perde Duvar Uygulaması İle Güçlendirilmesi: Deneysel Çalışma, Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu, Pamukkale-Denizli, 354-360, (2006a).

KAPLAN, H., Yılmaz, S., Tama, Y. S., Görgülü, T., Nohutcu, H. ve Atımtay, E., Betonarme Yapıların Dış Çelik Perde İle Güçlendirilmesi: Deneysel Çalışma, Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu, Pamukkale-Denizli, 361-367, (2006b).

KAPLAN, H., Yılmaz, S. ve Tama, Y. S., Dış-Perde Duvar Uygulaması İle Yapıların Güçlendirilmesi: Buldan Devlet Hastanesi Örneği, Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu, Pamukkale-Denizli, 406-411, (2006c).

KAPLAN, H., Çetinkaya, N., Nohutcu, H., Yılmaz, S. ve Sarışın, A., Deprem ve Yapı Teknolojileri Laboratuvarının Geliştirilmesi, Teknik Rapor, Pamukkale Üniversitesi, 77 s., Denizli, (2006d).

KAPLAN, H., Nohutcu, H., Çetinkaya, N., Yılmaz, S., Gönen H. ve Atımtay, E., Seismic Strengthening of Pin-Connected Precast Concrete Structures With External Shear Walls and Diaphragms, PCI Journal, Vol.54, No.1, 88-99, (2009).

KAYA Y., Yapıların Güçlendirilmesi Uygulamalarında Kullanılabilecek Kısmi Bağlı Ankraj Detayı Ve Yüzey Temizliği Koşulları Altında Ankrajların Eksenel Çekme Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2007). Pp: 185.

KENT, D.C. ve Park, R., Flexural Members with Confined Concrete, Journal of the Structural Division, ASCE, Vol.97, No.7, (1971).

KÖRLÜ, S., Deneme, İ.Ö. ve Yerli H.R., Betonarme Yapıların Perde Takviyesi İle Güçlendirilmesi, Çukurova Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt 19, Sayı 1, 149-157, (2004).

KUYUCULAR, A., Onarım Güçlendirme Dış Perdelerinin Temeli Olarak Havuz Dış Perde, Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu, Pamukkale-Denizli, 412-421, (2006).

LEE, N.H., Kim, K.S., Bang, C.J. ve Park, K.R., Tensile-Headed Anchors With Large Diameter and Deep Embedment in Concrete, ACI Structural Journal, Vol.104, No.4, 479-486, (2007).

LI , Y., Winkler, B., Eckstein, A., Failure Analysis of Anchoring Systems in Concrete, VIII International Conference on Computational Plasticity, (COMPLAS VIII), CIMNE, Barcelona, (2005).

LOTZE, D., Klingner, R.E. ve Graves, H.L, Static Behavior of Anchors Under Combinations of Tension and Shear Loading, ACI Structural Journal, Vol.98, No.4, 525-536, (2001).

MALLÉE, R. ve Pusill-Wachtsmuth, P., Design of Anchors Close to an Edge Under Shear Loading, Beton und Stahlbetonbau 102,, 450–458 (2007).

MANDER, J.B., Priestley, M.J.N. and Park, R. Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete, ASCE Journal of Structural Engineering, Vol.114, 1804-1826. (1988).

MCVAY, M., Cook, R.A. ve Krishnamurthy, K., Pullout Simulation of Postinstalled Chemically Bonded Anchors, Journal of Structural Engineering, Vol.122, No.9, 1016-1024, (1996).

MOEHLE, J.P., 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, (2000).

MURATLI, H., Klingner R.E. ve Graves, H.L., Breakout Capacity of Anchors in Concrete-Part 2:Shear, ACI Structural Journal, Vol.101, No.6, 821-829, (2004).

NOHUTCU, H., Prefabrik Betonarme Endüstri Yapılarının Dış Perde Duvar Uygulaması İle Güçlendirilmesi, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (2007). Pp:216.

OBATA, M., Inoue, M. ve Goto, Y., The Failure Mechanism and The Pull-Out Strength of a Bond-Type Anchor Near a Free Edge, Mechanics of Materials 28, 113-122, (1998).

ÖZCEBE, G., Ersoy, U., Tankut, T., Erduran, E., Keskin, R.S.O. ve Mertol, C., Strengthening of Brick-Infilled RC Frames With CFRP, Teknik Rapor, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, (2003). Pp: 69.

ÖZKUL, H., Mutlu M. ve Sağlam A.R., Beton Ankrajları, Sika Teknik Bülten, Sayı 4, (2001).

ÖZMEN, B., İstanbul İli İçin Deprem Senaryosu, Türkiye Mühendislik Haberleri, Yıl:47/2002-1, Sayı:417, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, (2002).

ÖZTURAN, T., Gesoğlu M., Özel M. ve Güneyisi E., Kimyasal, Harçlı ve Mekanik Ankrajların Çekme ve Kesme Yükleri Altındaki Davranışları, İMO Teknik Dergi, 3105-3124, (2004).

ÖZTÜRK, T., Betonarme Güçlendirme Perdelerinin Ön Boyutlandırılması İçin Bir Yaklaşım, Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu, Pamukkale-Denizli, 21-30, (2006).

PEIER, W.H., Model For Pullout Strength of Anchors in Concrete, Journal of Structural Engineering, American Society of Civil Engineers ASCE, Vol.109, No.5, 1155-1173, (1983).

PHAN, L.T., Cheok, G. S. ve Todd, D.R., 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, (1995).

PRIMAVERA, E.J., Pinelli J.P. ve Kalajian, E.H., Tensile Behavior of Cast-In-Place and Undercut Anchors in High-Strength Concrete, ACI Structural Journal, Vol.94, No.5, 583-594, (1997).

SAKLA, S.S.S. ve Ashour, A.F., Prediction of Tensile Capacity of Single Adhesive Anchors Using Neural Networks, Computers & Structures 83, 1792-1803, (2005).

SEYHAN, E.C., Kimyasal Ankrajların Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2006). Pp: 195.

SHIRVANI, M., Klingner R.E. ve Graves H.L., Breakout Capacity of Anchors in Concrete-Part 1:Tension, ACI Structural Journal, Vol.101, No.6, 813-820, (2004).

SONUVAR, M.O., Özcebe, G. ve Ersoy, U., Rehabilitation of Reinforced Concrete Frames With Reinforced Concrete Infills, ACI Structural Journal, Vol. 101, No.4, 494-500, (2004).

SUCUOGLU, H., Jury, R., Özmen, A., Hopkins, D. ve Özcebe, G., Developing Retrofit Solutions for the Residential Building Stocks in İstanbul, 100<sup>th</sup> Anniversary Earthquake Conference, California, USA, (2006).

TAMA, Y.S., Yılmaz, S., Kaplan, H. ve Görgülü, T., Mevcut Betonarme Yapıların Dış Çelik Perde ile Güçlendirilmesi:Uygulama Çalışması, Dördüncü Uluslar Arası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Konya, Türkiye, 1194-1197, (2005).

TAMATSUKURI, Chuoku, Outer Shell Precast RC Frame Strengthening Method, Developed &Put to Practical Use, Takenaka Cooperation, Osaka, Japan, (1999).

TS500, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (2000).

TS708, Beton Çelik Çubukları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (1996).



TUDAP, 2005, Türkiye Ulusal Deprem Araştırmaları Programı, 2005 – 2014.

TÜRK, M., Ersoy, U. ve Özcebe, G., Betonarme Çerçevelerin Betonarme Dolgu Duvarlarla Depreme Karşı Onarımı Ve Güçlendirilmesi, Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Bildiri No: AT-045, İstanbul, (2003).

UEDA T., Kitipornchai, S. ve Ling, K., Experimental Investigation of Anchor Bolts Under Shear, ASCE Journal of Structural Engineering, Vol. 116, No. 4, 910-924, (1990).

WHITNEY, C.S., Anderson, B.G. ve Cohen, E., Design of Blast Resistant Construction for Atomic Explosions, Journal of the American Concrete Institute, Vol.26, No.7, 589-683, (1955).

WILLAM, K.J., Warnke, E.P., Constitutive Model for the Tri-axial Behavior of Concrete, IABSE, Report No.19, Bergamo, 1-30, (1974).

WU, Z., Yang, S., Wu, Y. ve Hu, X., Analytical Method for Failure of Anchor-Grout-Concrete Anchorage due to Concrete Cone Failure and Interfacial Debonding, ASCE, (2009).

YILMAZ, S., Betonarme Binaların Yapı Dışarısından Perde Duvarlarla Güçlendirilmesi, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2007). Pp: 148.

YÜZÜGÜLLÜ, Ö., Strengthening of Reinforced Concrete Frames Damaged by Earthquake Using Precast Panel Elements, TÜBİTAK Araştırma Projesi Raporu, Proje No: MAG-494, Ankara, Türkiye, (1979).

ZAMORA, N.A., Cook, R.A., Konz, R.C. ve Consolazio, G.R., Behavior and Design of Single, Headed and Unheaded, Grouted Anchors Under Tensile Load, ACI Structural Journal, V.100, No.2, 222-230, (2003).

**TÜBİTAK**  
**PROJE ÖZET BİLGİ FORMU**

<b>Proje No: 107M572</b>
<b>Proje Başlığı: Dış Perde Duvar İle Güçlendirme Yönteminde Ankraj Uygulamalarının Deneysel Olarak Araştırılması</b>
<b>Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar: Yrd. Doç. Dr. Salih YILMAZ, Yrd. Doç. Dr. Nihat ÇETİNKAYA, Yrd. Doç. Dr. Halil NOHUTCU</b>
<b>Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü</b>
<b>Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi:</b> -
<b>Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 01.02.2008-01.05.2010</b>
<b>Öz (en çok 70 kelime)</b>  Deprem bakımından yetersiz binaların güçlendirilmesinde kimyasal ankrajlar sıklıkla kullanılmaktadır. Bu ankrajların kesme performansları diğer güçlendirme yöntemlerinin yanında, özellikle pratik ve ekonomik bir şekilde uygulanabilen dış perde duvar yönteminin başarısı için büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma kimyasal ankrajların çevrimsel kesme dayanımlarının araştırılması, dış-perde duvarların kayma ankrajlarının tasarımı ve ankraj kayma modellerinin geliştirilmesi olmak üzere üç ana bölüme sahiptir. Çalışmanın sonunda Deprem Yönetmeliği ve TS500'de betona sonradan ekilen kimyasal ankrajlarla ilgili önemli değişik önerileri getirilmiştir.
<b>Anahtar Kelimeler:</b> Dış Perde Duvarlar, Kimyasal Ankrajlar, Kesme Dayanımı, Düşük Dayanımlı Beton, Ankraj Kesme Modeli
<b>Fikri Ürün Bildirim Formu</b> Sunuldu mu? Evet <input type="checkbox"/> Gerekli Değil <input checked="" type="checkbox"/> <small>Fikri Ürün Bildirim Formu'nun tesliminden sonra 3 ay içerisinde patent başvurusu yapılmalıdır.</small>
<b>Projeden Yapılan Yayınlar:</b>  S. Yılmaz, Ö. Çalışkan, H. Kaplan, "Düşük Dayanımlı Betonlara Yapılan Kimyasal Ankrajların Kesme Performansı", Uluslararası Sakarya Deprem Sempozyumu, 792-802, 1-3 Ekim 2009, Kocaeli, Türkiye.  S. Yılmaz, H. Kaplan, Ö. Çalışkan, N. Kırac, "Cyclic Shear Resistance of Epoxy Anchors Bonded to Low Strength Concrete", 14th ECEE, (Kabul edildi).  S. Yılmaz, H. Kaplan, Ö. Çalışkan, N. Kırac, "Kimyasal Ankrajların Dayanımını Etkileyen Faktörler", Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Dergisi, (Kabul edildi).