

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çelik Profillerle Güçlendirilmiş Betonarme Çerçeveselerde Çelik Dübellerin  
Performans Analizinin Deneysel Olarak Araştırılması

Fatih YOLDAŞ

ARALIK 2015

**İnşaat Anabilim Dalında** Fatih YOLDAŞ tarafından hazırlanan **Çelik Profillerle Güçlendirilmiş Betonarme Çerçevelerde Çelik Dübellerin Performans Analizinin Deneysel Olarak Araştırılması** adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Orhan DOĞAN  
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Doç. Dr. Orhan DOĞAN  
Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. İlhami DEMİR  
Üye (Danışman) : Doç. Dr. Orhan DOĞAN  
Üye : Doç .Dr. Baki ÖZTÜRK

...../...../.....

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Prof. Dr. Mustafa YİĞİTOĞLU  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ÖZET

### ÇELİK PROFİLLERLE GÜÇLENDİRİLMİŞ BETONARME ÇERÇEVELERDE ÇELİK DÜBELLERİN PERFORMANS ANALİZİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

YOLDAŞ, Fatih

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Orhan DOĞAN

Aralık 2015, 79 sayfa

Yatay yük dayanımı yetersiz betonarme yapıların depreme karşı dayanımı gerektiği durumlarda artırılabilir. Betonarme yapılarda uygulanabilecek güçlendirme yöntemlerinden birisi de betonarme çerçeveleri çapraz çelik profillerle güçlendirmektir. Bu çalışma kapsamında seçilen güçlendirme metodu ile, düzlem dışına dış cepheye eklenecek çapraz çelik lamalar kullanılarak, betonarme çerçevelerin yatay yük dayanımının artırılması hedeflenmektedir.

Bu metot; yapı iç kullanım alanını rahatsız etmeden dış cephede çelik profillerin düzlem dışı hızlı ve kolay monte edilebilmesi, alternatif güçlendirmelere oranla daha ekonomik olmasından, yapıda ihmal edilebilecek bir ağırlık artışı ile rijitlik ve yatay yük kapasitesinin artırılmasından, mevcut taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan sisteme fazla tahribat vermemesinden dolayı, öncelikle tercih edilebilecek güçlendirme metotları arasında yer alabilecektir.

Bu çalışma kapsamında, (3 standart etriyeli ve 3 zayıf etriyeli olmak üzere) toplam 6 adet tek gözlü düzlem betonarme kolon-kiriş çerçeve imal edilmiştir. Betonarme çerçeveler yatay ve düşey yükün birlikte uygulanabileceği bir yükleme modeli ile test edilmiştir. Çerçevelerin güçlendirilmesi amacıyla kolon-kiriş birleşim bölgelerine

elik plakalar dübellerle ankre edilmiş, çapraz lamalar bu plakalara kaynak yapılarak eklenmiştir.

Betonarme erevelerin tasarımında, ankraj dübellerinin performansını gözlemleyebilmek adına, beton dayanımına bağlı olarak, öncül göçmenin ankraj dübellerinde meydana gelmesi için; kiriş ve kolon kesitleri, boyuna donatı, yükleme şekli, elik plaka ve lama ebatları, ankraj delik çapı ve sayısı, kaynak kalınlığı ve boyu sabit ve daha güçlü tasarlanırken, ankraj derinliği, beton dayanımı ve etriye aralığı değişken tutulmuş, enine donatının, ankrajlama boyunun ve beton dayanımının çerçevenin ve ankraj dübelinin performansına etkisi araştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Betonarme ereve, cepheden güçlendirme, deprem, elik dbel, ankraj performansı

## **ABSTRACT**

### **AN EXPERIMENTAL STUDY ON PERFORMANCE ANALYSIS OF STEEL ANCHORAGES FOR REINFORCED CONCRETE FRAMES STRENGTHENED WITH STEEL PROFILES**

YOLDAŞ, Fatih

Kırıkkale University

Institute of Science

Department of Civil Engineering, Master's Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Orhan DOĞAN

December 2015, 79 page

Earth-quake strength of reinforced concrete buildings having inadequate strength against horizontal forces, can be increased if it is necessary. One of the strengthening methods using in reinforced concrete buildings is the use of cross steel profiles externally. With the strengthening method preferred in this study is aimed to increase horizontal strength of reinforced concrete frames using cross steel lama add out of frame axes.

This method can be one of the firstly prefereable methods because of quick and easy fitting to the frames externally without disturbing the use of building, its less economical cost against other methodes, providing extra strenght and rigidity for building with a negligible increase in weight of building and no damage in structurual and non-structural parts of the building.

In this study, totally 6 single space reinforced concrete frames (3 frames with standard tiles and 3 frames with weak tiles) were designed. The frames were tested with a loading model applying lateral and vertical loads together.. Firstly steel plates were fixed to the beam-column junction area using anchoring bolts then steel lama were welded to the plates firmly.

To investigate the performance of anchored bolts in strengthening reinforced frames and to observe failure initially in bolts depending on varied concrete strength, the sections of beam and column, longitudinal reinforcement, loading types, sizes of steel plates and lamas, diameters and number of bolts, thickness and length of welding were kept constant but depth of anchorage, strength of concrete and tile spacing were varied.

**Key Words:** Reinforced concrete frame, external strengthening, earthquake, steel anchore, performance of anchor



## TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması sırasında daima yardımını gördüğüm değerli hocam ve tez danışmanım Sn. Doç. Dr. Orhan DOĞAN'a, desteğini her zaman yanımda hissettiğim gerek araştırmalarım gerekse tezimin hazırlanması esnasında yardımlarını benden esirgemeyen sevgili babam Ali YOLDAŞ, eŐim Dilek YOLDAŞ ve değerli arkadaşlarıma teşekkür ederim.



# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	v
<b>İÇİNDEKİLER DİZİNİ</b> .....	vi
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	vii
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	x
<b>SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	xi
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı .....	3
1.2. Literatür Taraması .....	4
<b>2. DENEY DÜZENEGİ VE NUMUNELERİN HAZIRLANMASI</b> .....	18
2.1. Deney Numunelerinin Hazırlanması .....	18
2.2. Yükleme Çerçevesinin Oluşturulması .....	28
2.3. Deney Düzeneginin Hazırlanması .....	29
2.4. Deney Ekipmanlarının Kurulumu ve Verilerin Kaydedilmesi .....	35
2.4.1. Yük ve Yer Değiştirme Ölçümlerinin Bilgisayara Aktarılması .....	37
2.4.2. Ölçümlerin değerlendirilmesi ve Deney Aletlerinin Hazırlanması .....	38
<b>3. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME</b> .....	40
3.1. 1 No'lu Deney .....	41
3.2. 2 No'lu Deney .....	46
3.3. 3 No'lu Deney .....	50
3.4. 4 No'lu Deney .....	54
3.5. 5 No'lu Deney .....	58
3.6. 6 No'lu Deney .....	61
<b>4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b> .....	74
<b>KAYNAKLAR</b> .....	77
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	79



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Çelik Kuşaklama İle Güçlendirme.....	5
1.2. Kullanılan Örnek Binalar.....	6
1.3. Kullanılan Kuşaklama Elemanlarının Şekli ve Özellikleri.....	7
1.4. Kullanılan Sistem.....	8
1.5. Deney Numunesinin Test Edilmesi.....	9
1.6. Bağlantı Tiplerinin Görünüşü.....	10
1.7. Deney Numunesinin Test Edilmesi.....	11
1.8. Numuneye Çapraz Filizler Ekilmesi.....	12
1.9. Çelik Çapraz Elemanlarla Güçlendirilmiş Çerçeve.....	13
1.10. Çelik Çapraz Elemanların Yapı Performansına Etkisi.....	14
1.11. Deney Numunesi.....	15
1.12. Çelik Çapraz Profil ile Güçlendirilmiş Bina Örneği.....	16
1.13. Çelik Çapraz Profil ile Güçlendirilmiş Bina Örneği.....	16
1.14. Önerilen Güçlendirilme Örneği.....	17
2.1. Kalıp ve Donatı Planı.....	18
2.2. Kalıp Montajı.....	20
2.3. Donatı Montajı.....	21
2.4. Standart Donatılı Numuneler.....	21
2.5. Zayıf Etriyeli Numuneler.....	22
2.6. Kalıpların Sökülmesi.....	22
2.7. Güçlendirilmiş Numune Görünüşü.....	25
2.8. Ankrāj Deliklerinin Açılması.....	25
2.9. Çelik Dübellerin Montajı.....	26
2.10. Çelik Lamanın Kaynak Yapılması.....	26
2.11. Birleşim Bölgesi Görünüşü.....	27
2.12. Numunelerin Kaldırılması.....	28
2.12. Yükleme Düzeneği.....	28
2.13. Yükleme Sisteminde Yer Alan Üniteler ve Numune Yerleşimi.....	29
2.14. Deney Düzeneğinde LVDT Yerleşimi.....	30

2.15. Deney Düzenegi Görünüü.....	31
2.16. Boş Çerçeve LVDT Montajı.....	32
2.17. Yük hücresi Montajı ve Mesnetlenme Durumu.....	33
2.18. Güçlendirilmiş Çerçeve LVDT'nin Çelik Plakaya Montajı .....	33
2.19.Çerçevenin Mesnetlenmesi ve Profillerle Çerçeve ve LVDT'lerin Sabitlenmesi .....	34
2.20. Data Logger Sistemi.....	35
2.21. 50 Ton Kapasiteli Yük Hücresi.....	36
2.22. 200 Ton Kapasiteli Hidrolik Kriko.....	36
2.23. LVDT.....	37
3.1. B1 Numunesi Görünüü.....	42
3.2. Alt Bölgede Oluşan Çatlaklar.....	42
3.3. Göçme Anında Oluşan Hasar.....	43
3.4. Göçme Anında Oluşan Çatlaklar.....	44
3.5. Göçme Anında Oluşan Hasar .....	44
3.6. B1 Yük Deplasman Grafiği.....	45
3.7. 60 kN Yükte Oluşan Çatlaklar.....	48
3.8. 90 kN Yükte Oluşan Çatlaklar.....	49
3.9. 99 kN Yükte Oluşan Hasar.....	48
3.10. 99 kN Yükte Oluşan Hasar.....	48
3.11. B2 Yük Deplasman Grafiği.....	50
3.12. 57 kN Yükte Oluşan Çatlaklar.....	51
3.13. Maksimum Yükleme Sonrası Alt Birleşim Bölgesinde Oluşan Hasar.....	51
3.14. Maksimum Yükleme Sonrası Güçlendirme Bölgelerinde Çerçeve ve Ankraj Dübellerinde Meydana Gelen Hasar.....	52
3.15. Maksimum Yükleme Sonrası Çerçeve ve Ankraj Dübellerinde Meydana Gelen Hasar Şekli.....	52
3.16. A2 Yük Deplasman Grafiği.....	53
3.17. A1 Numunesi Görünüü.....	54
3.18. A2 Numunesi Görünüü.....	55
3.19. Göçme Anında Oluşan Çatlaklar.....	55
3.20. Maksimum Yükleme Sonrası Çerçeve ve Ankraj Dübellerinde Meydana Gelen Hasar Şekli.....	56

3.21. Maksimum Yükleme Sonrası Çerçeve ve Ankraj Dübelllerinde Meydana Gelen Hasar Şekli.....	56
3.22. A1 Numunesi Yük Deplasman Grafiği.....	57
3.23. B3 Numunesi Görünüşü.....	58
3.24. 50 kN Yükte Oluşan Çatlaklar.....	59
3.25. Maksimum Yükleme Sonrası Çerçeve ve Ankraj Dübelllerinde Meydana Gelen Hasar Şekli.....	59
3.26. Göçme Anında Oluşan Hasar.....	60
3.27. B3 Numunesi Yük Deplasman Grafiği.....	60
3.28. A3 Numunesi Görünüşü.....	62
3.29. Ankrajlama Bölgesinde Oluşan Hasar.....	63
3.30. Birleşim Bölgesinde Oluşan Hasar.....	63
3.31. Birleşim Bölgesinde Oluşan Hasar.....	64
3.32. Göçme Anında Oluşan Hasar.....	64
3.33. Göçme Anında Oluşan Hasar.....	65
3.34. Göçme Anında Oluşan Hasar.....	65
3.35. Göçme Anında Oluşan Hasar.....	66
3.36. A3 Yük Deplasman Grafiği.....	66
3.37. 6 Adet Deney Numunesinin Yük-Deplasman Grafiği.....	71

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Deney Numuneleri Özellikleri.....	20
2.2. Karot Sonuçları.....	24
3.1. B1 Numunesi Alınan Veriler.....	46
3.2. B2 Numunesi Alınan Veriler.....	50
3.3. A2 Numunesi Alınan Veriler.....	53
3.4. A1 Numunesi Alınan Veriler.....	57
3.5. B3 Numunesi Alınan Veriler.....	61
3.6. A3 Numunesi Alınan Veriler.....	67
3.7. Maksimum Yük Altında Düşey ve Yatay Deplasman Değerleri.....	68
3.8. Yük Deplasman Değerleri.....	69
3.9. Güçlendirilmiş Eleman Verilerinin B1'e Oranları.....	70
3.10. Numunelere Ait Test Sonuçları.....	72
3.11. Güçlendirmenin Performansa Katkısı ve Bir Dübele Gelen Yük.....	72

## SİMGELER DİZİNİ

$d$	Çelik plakaya açılacak maksimum delik çapı (mm)
$F_L$	Çelik lamanın kesit alanı
$f_{cd}$	Betonun basınç dayanımı ( $N/mm^2$ )
$P$	Uygulanan çerçeve yükü (kN)
$P_{max}$	Çerçevelerin maksimum yük taşıma kapasitesi (kN)
$P_{La}$	Çelik lamada oluşan çekme kuvveti (kN)
$P_1$	Bir çelik dübele gelen kesme kuvveti (kN)
$L_k$	Kaynak boyu (mm)
$L_{ab}$	Çelik dübel ankraj boyu (mm)
$\tau_{kem}$	Kaynak emniyet gerilmesi
$\rho_1, \rho_2$	Donatı oranı
$\emptyset$	Donatı çapı
$t_{min}$	Minimum levha kalınlığı
$\delta$	Deplasman (mm)
$F$	SPSS istatistiksel paket programı uyum katsayısı
$p$	SPSS istatistiksel paket programı anlamlılık katsayısı
$R^2$	Regresyon değeri

## KISALTMALAR DİZİNİ

LVDT	Deplasman ölçer
------	-----------------

## 1. GİRİŞ

Coğrafi konumu bakımından ülkemiz önemli aktif deprem kuşağı olan Alp-Himalaya deprem kuşağı üzerinde bulunmaktadır. Ülkemiz yüzölçümünün %42'si birinci derece deprem kuşağı üzerinde olmak üzere %96'sı, ülke nüfusunun ise yaklaşık %98'i farklı derecelerde deprem bölgeleri içerisinde yer almaktadır. Bu nedenle yapıların tasarımı ve analizleri sırasında deprem etkilerinin göz önüne gerekmektedir.

1999 Gölcük (Kocaeli), 1999 Düzce ve 2011 Van depremi gibi yakın dönemdeki depremlerde, bina türü yapılarda meydana gelen hasar nedenlerinin başında denetimsizlik, proje ve yapım hatalarından meydana geldiği gözlenmiştir.

Deprem tehlikesi altında bulunan yerleşim bölgelerimizde bulunan betonarme yapıların pek çoğunun kaçak/ruhsatsız olduğu ve mühendislik hizmeti görmeden inşa edildiği, dolayısı ile bu yapıların olası deprem etkileri göz önünde tutulmadan tasarlandığı ve inşa edildiği, projelendirme aşamasında mühendislik hizmeti gördüğü varsayılan yapıların önemli bir kısmının da uygulamada ki denetimsizlikten kaynaklanan nedenlerle depreme dayanıksız olduğu bilinmektedir. Ülkemizde 1975 yılından önce, kapsamlı ve etkili bir deprem yönetmeliği bulunmadığından bu yıldan önce yapılmış yapıların birçoğu depreme karşı dayanıklı değildir. 1975 ve daha sonra revize edilen 1998 ve 2007 deprem yönetmeliklerine uygun projelendirilen yapılarda deprem yükleri dikkate alınmıştır.

Ülkemizde bulunan yapı stokunda en yaygın kullanılan taşıyıcı sistem tipi betonarme kiriş-kolon çerçeve sistemdir. Ancak bu yapıların büyük bir çoğunluğunun olası deprem etkilerine karşı dayanıklı olmadığı bilinmektedir. Özellikle büyük kentlerimizde oluşabilecek deprem nedeniyle bu yapıların tamamına yakını ağır hasar görecektir veya yıkılacaktır. Bu yapılarla ilgili olarak yıkılarak yapılması modelini benimseyen kentsel dönüşüm çalışmaları devam etmekte ise de bu yapıların tamamının yıkılarak yeniden yapılması ekonomik bir çözüm olarak gözükmemektedir.

Yapıda büyük hasarların ve tümenden göçmenin önlenmesi, taşıyıcı sisteme gelen tekrarlı yatay yüklerin büyük bir kısmını elastik ötesi yer değiştirmelerle karşılaması ile mümkündür. Elastik ötesi şekil ve yer değiştirmeleri artarken, taşıyıcı sistem veya elemanlarının veya kullanılan malzemelerin direnç gösterme özelliğine süneklik denebileceği gibi, sünek kavramı aynı zamanda büyük şekil ve yer değiştirme yaparak, tekrarlı yüklemelerde enerji sönümlenme özelliği olarak bilinmektedir. Depremde hasarların en büyük nedeni, sistem sünekliğinin sağlanamaması olarak bilinmektedir.

Taşıyıcı elemanlarda enerji yutma kapasitesi elemanların dayanımı kadar önemli olup, süneklik oranının belirli bir düzeyde olmasının yanında, deprem analizlerinde sisteme giren enerji ve sistem içerisindeki dağılımının da dikkate alınması gerekir.

Betonarme kolon-kiriş çerçeve sistemlerde sargı donatıları kullanılarak görelî yanal ötelenmeleri ve elasto-plastik davranış göstererek enerji yutma kapasiteleri artırılmaktadır. Yanal ötelenmeleri kısıtlamak için kullanılan perde-çerçeve sistemlerde, yanal yüklerin %80'den fazlasını perde elemanlar karşılamakta, yetersiz perde kullanılması durumunda perdelerin kesilerek göçmesi sonucu ikinci savunma unsuru olarak çerçeve devreye girmektedir.

Betonarme çerçevelerin güçlendirilmesi ile ilgili birçok yöntem ve çalışma geliştirilmiştir. Bu yöntemler genellikle taşıyıcı sistem elemanlarının mantolama veya lifli polimer ile sarılarak güçlendirilmesi, yapıya düzlem içi betonarme perde veya çelik çapraz eklenmesi şeklindedir. Bu yöntemlerde yapı iç alanına müdahale ederek, binanın boşaltılması, bina taşıyıcı elemanlarında tahribat yapılması, yapı ağırlığını artırması, uzun ve maliyetli olması gibi dezavantajlara sahiptir.

Binanın yanal ötelenmelerini kısıtlayarak rijitleştiren ve kullanılmakta olan binalarda yapılacak güçlendirme çalışmalarında binanın boşaltılmasını gerektirmeyen, diğer güçlendirme yöntemlerine kıyasla; daha sünek çelik profiller kullanılması, daha ekonomik, işçiliği daha kolay ve hızlı, düzlem dışında güçlendirme yapılabilmesi yani çalışmaların dış cephe ile sınırlı kalması gibi özellikleri bakımından yapılan bu çalışma büyük bir önem taşımaktadır.

## 1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Zayıf yatay yük dayanımına sahip olduğu belirlenen betonarme çerçevelerin deprem dayanımını artırarak betonarme taşıyıcı sistemin güçlendirilmesi için kullanılabilir, ucuz ve hızlı metotlardan biri, yapının taşıyıcı elemanlarının birleşim bölgesine çapraz şekilde çelik lama eklenmesidir.

Sistem rijitliğini ve yatay yük dayanımını arttırmak amacı ile yapılacak böyle bir güçlendirme tasarımında, betonarme çerçevenin yük altında davranışının incelenerek çelik lamanın betonarme çerçeveye kattığı avantajların tespit edilmesi, çelik plakanın montajında farklı ankraj boylarının test edilmesi, enine donatı ve beton kalitesinin sistem performansına etkisinin araştırılması bu çalışmanın ana amacını oluşturur.

Söz konusu metotla yapılan güçlendirmede yapı ağırlığı, eklenen elemanlarla çok değişmediğinden yapıya etkileyen deprem kuvvetinde de önemli bir artışa sebep olmadan yanal rijitliği arttırmak mümkün olmaktadır. Bu yöntemin en büyük avantajı yapının içine girmeden ve taşıyıcı elemanlarda fazla tahribata yol açmadan bina dışından güçlendirilebilecektir.

Betonarme çerçevelerde enine donatı yerleşimi, çelik çapraz lama ile güçlendirme ve çelik dübellerin ankraj uzunluğu ana değişken olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmanın deneysel bölümünde, 1/2 ölçekle modellenmiş 6 adet betonarme çerçeve bulunmaktadır. Numuneler kolon ve kirişten oluşmaktadır. Numuneler tek katlı ve tek açıklıklı olacak şekilde tasarlanmıştır. Deneyimizde betonarme çerçevelerde yatay ve düşey yükün aynı anda verilebileceği deney düzeneği ile testler yapılmıştır. Yapılan deney sonuçları ve gözlemlere dayanarak göçme ve kırılmaların hangi bölgelerde meydana geldiği tespit edilmiştir.

Sonuç olarak deneysel verilerin değerlendirilmesi sonucunda, güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş çerçeve sistemlerin taşıma gücü, dayanım, rijitlik ve enerji tüketme kapasiteleri vb. özellikleri ile davranışları elde edilerek çelik lama ile güçlendirmenin



sisteme getirdiği avantajlar ve varsa dezavantajlar ile elik plaka montajında uygulanan ankraj uzunluklarının etkisi sonuç bölümünde tartişılmıştır.

## 1.2. Literatür Taraması

- Keyder, Gündoğmuş (1989) ODTÜ' de yaptıkları deneylerde yeni bir onarım ve güçlendirme yöntemi tanıtılmıştır. Yöntem iki modelde uygulanıp laboratuarda denenmiştir. İlk modelde öngerme çubukları, ikincide ise öngerme toronları çerçevede diyagonal olarak kullanılmıştır.

Yöntemin esasları şoye özetlenebilir:

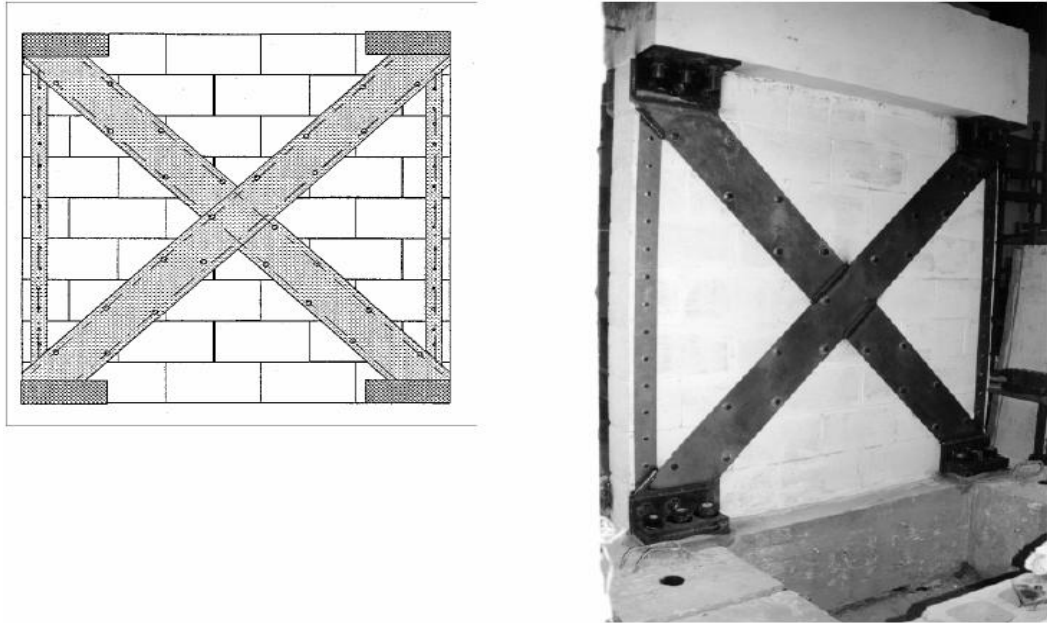
- Hasarlı ereve elemanlarına delikler açıp, bulonlar aracılığıyla elik plaklar bağlamak.
- elik plaklara diğer yönde bağ levhaları kaynatmak
- Hasarlı çerçevenin içine narin bir elik ereve yerleştirmek
- Köşelerden diagonal yönde öngerilmeli çubuk veya toron geçirerek bunlara öngerme kuvveti vermek

Deney numunesi olarak iki katlı iki ereve yöntemi kullanılmıştır. Model 1/3 leğinde dört çerçeveden oluşmaktadır. C20 beton sınıfı ve S220 donatı sınıfı kullanılmıştır. İlk deney dört gözlü iki çerçeveden oluşmaktadır. ereve yatay olarak yüklenmekte ve kenarlarından mesnetlenmektedir. Yükleme belli yk aralıklarıyla önce çerçevenin ortasından sonra diğer yönden ortasından yüklenmiş ve tersinir yükleme elde edilmiştir. İlk numunede boş olan çerçevelere elik ereve giydirilmiş, 14 mm çapında öngerilme çubukları uygulanmıştır. Burada uygulanan öngerilme çubuk başına 1,5 ton kadardır. Her yükleme kademesinde sehim ölçümleri alınmıştır. Yükler yarım ton artırılarak verilmiş ve 13,75 ton yükte duvarda çatlaklar oluşmuş ve 15 mm sehim oluşmuştur. elik erevelerin olduğu çerçevede herhangi bir çatlama, göçme görülmemiştir.

İkinci deneyde ise diyagonallerin etkisini ayırmak için betonarme çerçeve çelik iç çerçeve takviyesi ile güçlendirilmiştir. Bu deneyde ise 9,85 ton yük verildiğinde 16,82 mm sehim gözlemlenerek deney durdurulmuştur. Çelik çerçevelerin olduğu çerçevede herhangi bir çatlama, göçme görülmezken betonarme çerçevede çatlaklar açılmaya başlamıştır. Üçüncü deneyde ise 2. deney numunesi çelik diyagoneller eklenerek kullanılmıştır. 4 gözlü çerçevenin iki gözü 12,7 mm çaplı öngerme toronları kullanılarak güçlendirilmiştir. Kalan iki göze ise L100 köşebent bağlanmıştır. Köşebent bağlama amacı ise modelin yarısını kuvvetli tutup toron diyagonelli diğer yarısının kırılmaya kadar olan davranışını incelemektir. 19,7 ton yüke varıldığında 15 mm sehim oluşmuş ve deney durdurulmuştur.

Sonuç olarak, önerilen yöntemle 3 ton yatay yükte hasar gören bir betonarme çerçevenin 20 ton yatay yükü taşır hale geldiği, zaman açısından düşünüldüğünde yöntemin birisi 2-3 saat sürerken diğer yöntemin 28 gün aldığı, yapının ağırlığı artırılmadan rijitlik sağlandığı belirtilmiştir.

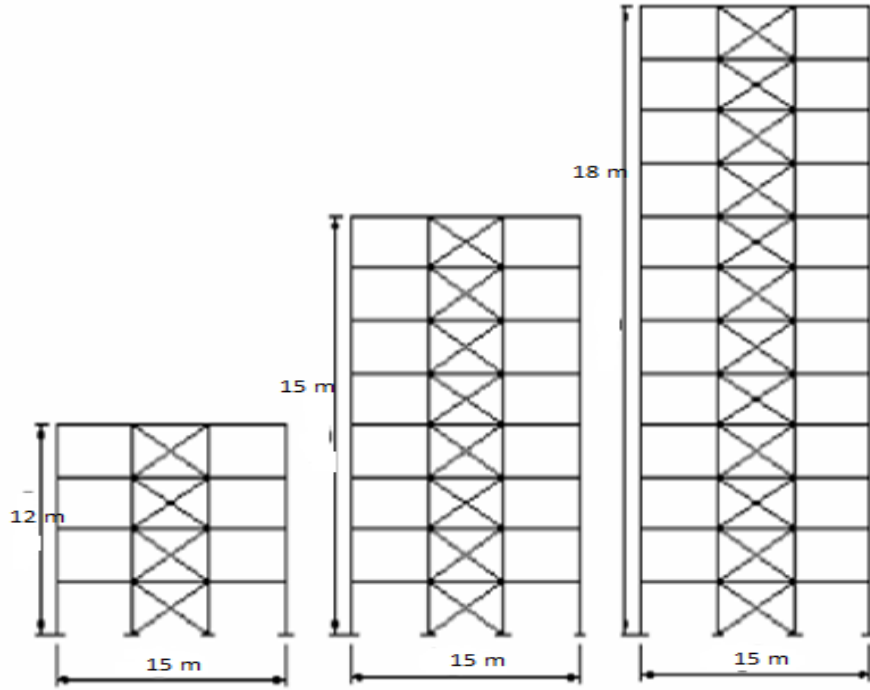
- Taghdi M. ve ark. [1998] yaptıkları deneysel çalışmada sünek olamayan tuğla ve betonarme duvarlarda dıştan çelik kuşaklamanın etkisini araştırmışlardır.



**Şekil 1.1.** Çelik kuşaklama ile güçlendirme

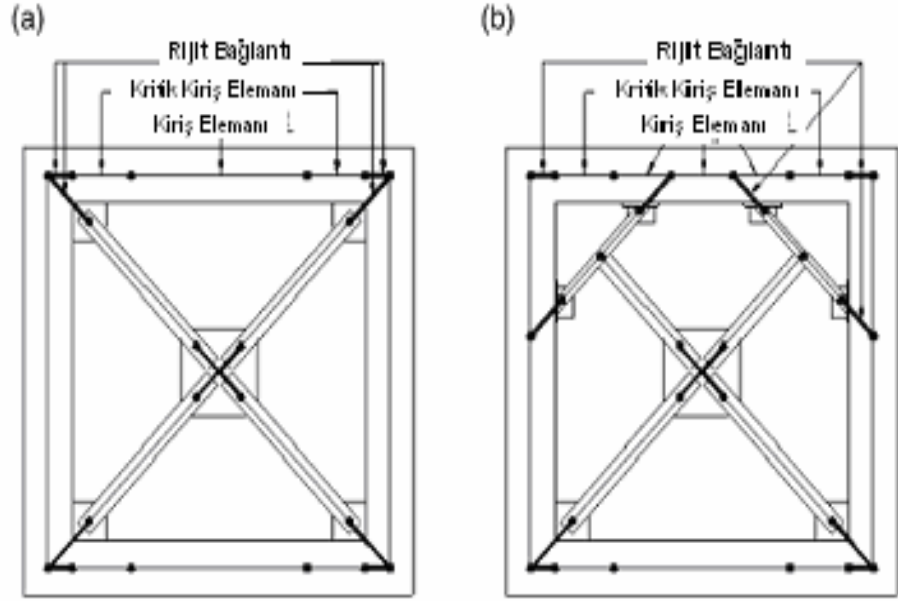
Çalışma sonucunda uygulanan güçlendirmenin enerji yutma kapasitesini, sünekliği ve yük taşıma kapasitesini ciddi oranlarda artırdığı belirtilmiştir.

- Maheri M.R. ve Akbari R. [2003] yaptıkları Teorik çalışmada 4, 8, 12 katlı 3 açıklıklı betonarme binalarda Sismik Davranış Katsayısının (R) tespitini ve kuşaklama şeklinin bu katsayıya etkisini incelemiştir.



**Şekil. 1.2.** Kullanılan örnek binalar

Modeldeki şekillerde kuşaklanmış birim hücrelere ait deneysel ve teorik sonuçlar incelendiğinde teorik ve deneysel sonuçların uyumluluğunun göze çarptığı belirtilmiştir.



**Şekil 1.3.** Kullanılan kuşaklama elemanlarının şekli ve özellikleri

Kuşaklamaların yatay yükü taşıma yüzdelerine göre elde edilen taban kesme-tepe deplasmanı grafikleri X şeklindeki kuşaklama için ve Kne şeklindeki kuşaklama için ayrı ayrı hazırlanmıştır.

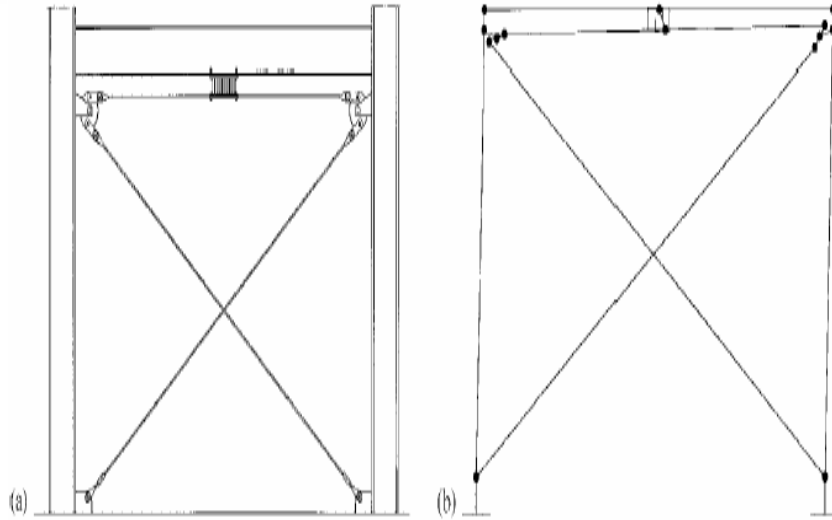
Kesme kapasitesi karşılaştırmalarında kuşaklanmış numunelerin kesme kapasitesindeki artış düşük katlar için yüksek, yüksek katlar içinse değersiz olduğu, sonuçlar değerlendirildiğinde düşük katlı binalarda sünekliğin dolayısıyla R katsayısının arttığı, kesme kapasitesi içinse durumun değişmediği, yüksek katlı binalarda ise tepe deplasman kabiliyetinin artması dışında çok önemli bir değişikliğin söz konusu olmadığı belirtilmiştir.

Bartera F. ve ark. [2004] çeşitli çelik kuşaklamaların tek katlı betonarme çerçevelerde etkinliğini araştırdıkları çalışmada 3 boyutlu çerçeveyi test etmişlerdir. Çaprazlamaların çerçeveye bağlantılarında kullanılan sönümleme özellikli elemanların ve elde edilen %100 kesme kuvveti altındaki yük-deplasman grafiği elde edilerek bağlantı konfigürasyonları bulunmuştur. Yapılan dinamik, statik yükleme programlarının sonucunda oluşan enerjinin eklenen bağlantı elemanları ile oldukça

başarılı şekilde sönümlendiği, hasarın minimum düzeyde kaldığı, rijit bir bağlantı olmaması sayesinde ek yerlerinde hasar oluşmasının engellendiği belirtilmiştir.

▪ Can (1997), çelik korniyerler ile onarılmış veya güçlendirilmiş betonarme kolonların aksel yük altındaki davranışını incelemiştir. Çalışmada yalın, monolitik, yüksüz halde onarılmış ve güçlendirilmiş olmak üzere toplam 4 adet deney elemanı aksel yük altında test edilerek dayanım azalması, enerji tüketimi, süneklik ve rijitlik açısından karşılaştırılmışlardır. Çelik korniyerler ile dört köşesinden yüksüz olarak onarılmış ve güçlendirilmiş kolonlarda, aksel yük etkisinde süneklik ve enerji tüketimi bakımından belirgin bir iyileşme görüldüğü, dayanım açısından da başarılı olduğu belirtilmiştir.

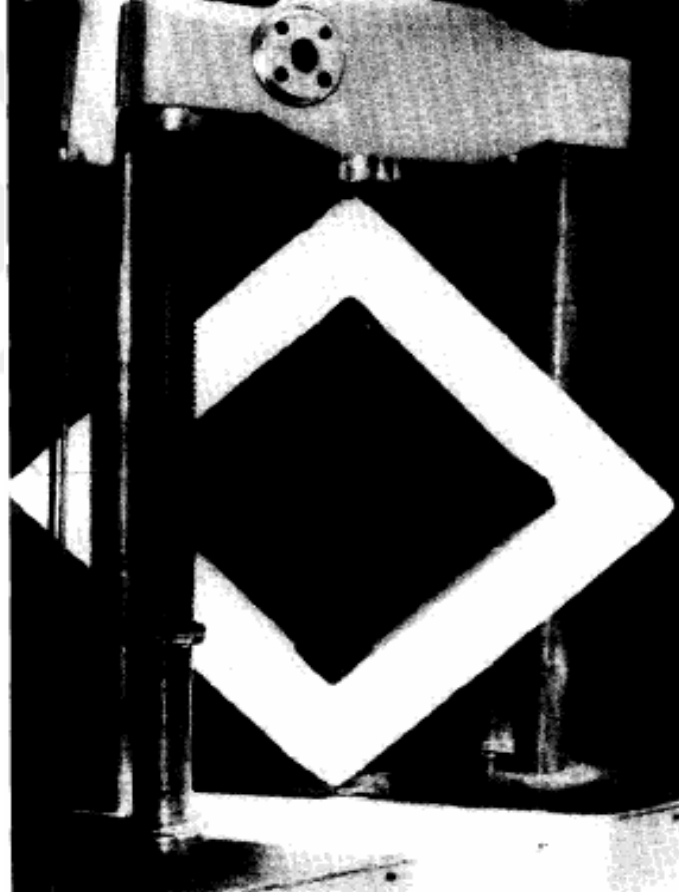
▪ Phocas M.C. ve ark. [2003] bilinen rijit kuşaklama elemanları yerine enerji sönümlenmeli kablolardan oluşan bir kuşaklama yöntemini teorik olarak incelemiştir.



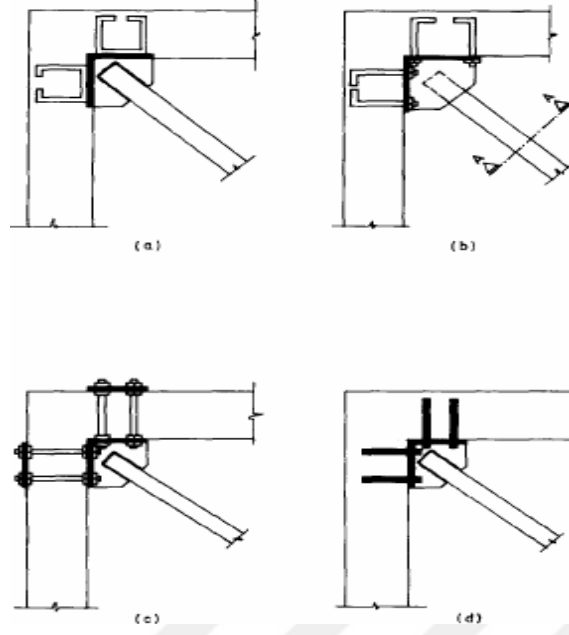
**Şekil 1.4.** Kullanılan sistem

Yazarlar yalnızca çekme kuvvetine maruz bu tür bir çaprazlama ile güçlendirmenin mevcut yapılarda enerji sönümlenmesi için ideal olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Çalışmada elastik davranış incelenmiş, elastik ötesi davranışların incelenmesi gerektiği de belirtilmiştir.

- Maheri M.R. ve Sahebi A. [1996] çelik kuşaklamanın betonarme çerçevelerde kullanımını araştırdıkları deneysel çalışmada çeşitli şekillerde betonarme çerçevelere bağlanan kuşaklama elemanlarını tek gözlü betonarme elemanlarda statik yükleme altında test etmişlerdir.



**Şekil 1.5.** Deney numunesinin test edilmesi



**Şekil 1.6.** Bağlantı tipleri görünüşleri

Deneylerin sonucunda basınç ya da çekme kuşaklamasının tek başına sistemin kesme kapasitesini 2.5 kat artırdığı, X şeklindeki kuşaklamada ise bunun 4 katına çıktığı, X şeklindeki kuşaklamada çekme etkisi altındaki kuşaklamanın baskın olduğu, bu kuşaklanın çözülmesinden sonra basınç çubuğunun burkulduğu belirtilmiş, betonarme çerçeveye olan bağlantının çaprazlamanın etkin çalışması için güçlü ve çaprazın deformasyonundan önce çözülmemesi gerektiği belirtilmiştir.

- M. Yaşar KALTAKÇI, S. Kamil AKIN ve Nail KARA tarafından Selçuk Üniversitesinde yapılan deney çalışmasında 12 farklı donatı düzenine, 2 farklı beton mukavemetine sahip 8 adet, 3 katlı, 3 açıklıklı, 1/5 ölçekli betonarme çerçeve modeli depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yükler altında test edilmiştir.



**Şekil 1.7.** Deney numunesinin test edilmesi

Çalışma sonucunda, sistem sünekliliğinin ortada kuşaklama olan sistemde çerçeve davranışına yakın özellik gösterdiği, aynı bölgeye duvar eklenmesiyle perdeli çerçeve davranışına yönelmekte olduğu, bunun sonucu olarak gerek yatay yük gerekse enerji tüketme kapasitesi arttığı, etriyelerin sistem sünekliliğini, enerji tüketme kapasitesini, yatay yük kapasitesini artırdığının gözlemlendiği, etriye kancalarının 135 derece kancalı olarak imali etriye aderans boyunu artırarak sargı etkisini artırmakta olduğu ve bunun sonucu olarak gerek düşey, gerekse yatay yük kapasitesine olumlu etkiler yapmakta olduğu, etriyelerin birleşim bölgesi boyunca



devam ettirilmesinin, birleşim bölgesinde hasar oluşumunu engellediği ve hasarın güçsüz elemana doğru kaymasına sebep olduğu, bunun sonucu olarak güçlü kolon zayıf kiriş prensibinin de ödünsüz uygulanması sonucu birleşim bölgelerindeki hasarların kirişlere kayacağı ve ani basınç kırılması göçmelerine sebep olmayacağı, kuşaklama sargı etkisinin oluşturduğu aderans artışı sebebiyle etriyeli birleşim bölgesine sahip sistemlerde epoksi ile ankrajın daha etkin sonuçlar verdiği, kuşaklamanın etkinliğinin zemin kat hizasında ankraj boyunun artırılması ile artırılabilceği, kuşaklamanın zemin katta tüm açıklıklarda, üst katlarda ise azalan bir şekilde uygulanmasının sistemin üst katlarında perde davranışından, çerçeve davranışına kaymasına yardımcı olacağı, beton kalitesinin epoksi ile yapılan ankraj kuvvetini, dolayısıyla yatay yük kapasitesini doğrudan etkilediği, düşük beton kalitesine sahip sistemlerde epoksi ankraj sıyrılmalarının önlenmesi için aderans boyunun artırılmasının gerektiği belirtilmiştir.

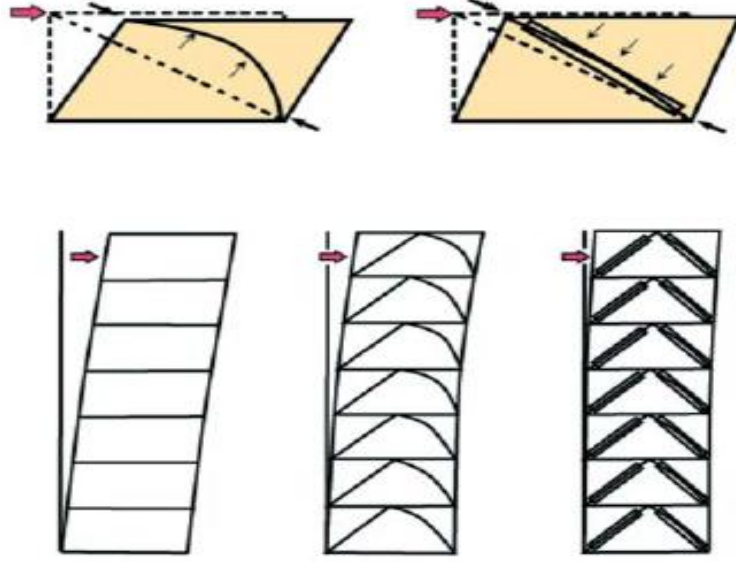


**Şekil 1.8.** Numuneye çapraz filizler ekilmesi

- Kasım Armağan KORKMAZ tarafından, Süleyman Demirel Üniversitesi'nde yapılan çelik çapraz elemanlarla güçlendirilen betonarme yapıların deprem davranışlarının incelenmesi adlı çalışmada, betonarme yapıların güçlendirilmesinde çelik çapraz elemanlar ele alınarak yapının deprem performansına olan etkisi incelenmiştir. Bu amaçla mevcut sıradan yapı sistemlerini karakterize etmek amacıyla 10 katlı betonarme çerçeve yapı ele alınarak, bu yapıya çelik çapraz elemanlarla farklı şekillerde güçlendirme uygulanmıştır. Güçlendirilmiş yapı sistemlerinin mevcut yapı sistemine göre yapısal davranışındaki değişim incelenmiştir.



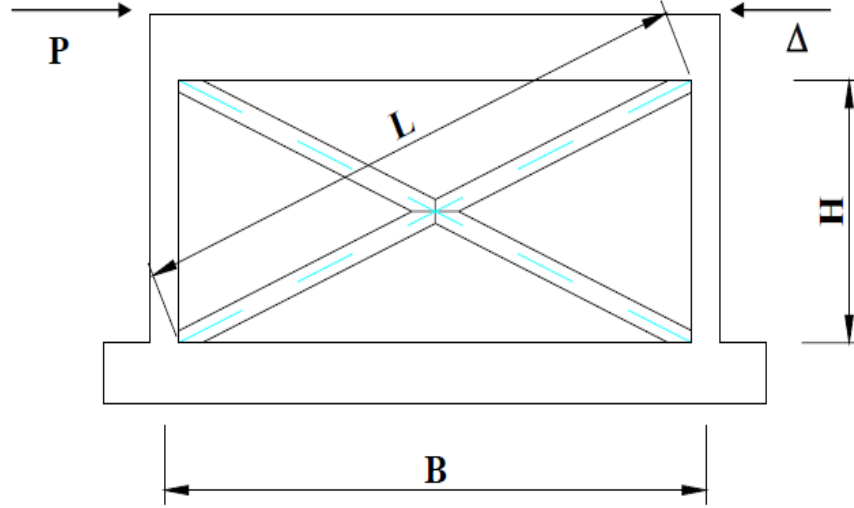
**Şekil 1.9.** Çelik Çapraz Elemanlarla Güçlendirilmiş Çerçeve



**Şekil 1.10.** Çelik Çapraz Elemanların Yapı Performansına Etkisi

Deneyin sonuç bölümünde, yapıların çelik çapraz elemanlarla güçlendirilmesinin yapı kapasitesini en az iki kat artırdığı belirtilmiştir.

- Nesrin YARDIMCI ve Prof. Dr. Kerem PEKER, Yatay Yük Davranışı Zayıf Betonarme Çerçevelerin Çelik Çaprazlı Perdeler İle Güçlendirilmesi adı verilen çalışmada zayıf betonarme çerçevelerin yatay yük etkisindeki davranışının çelik çaprazlı sistemler yardımı ile iyileştirilmesi amaçlanmış, öncelikle konu ile ilgili literatür taraması yapılmış ve önceki araştırmacıların davranışını incelediği parametreler tespit edilerek parametrik çalışmanın veri tabanı oluşturulmuştur. Bu amaçla tipik güçlendirme çerçevesi için değerlerinin, sistem rijitliği ve dayanımını ne ölçüde etkiledikleri araştırılmıştır.



**Şekil 1.11.** Deney Numunesi

Deney sonucunda; seçilen sistemler ortak bir davranış ile, yatay yük altında deformasyon yapmaya başladığında elastik bir rijitlik ile basınç çubuğunun akma ve burkulma yüküne kadar kararlı bir davranış gösterdiği, basınç çubuğunun burkulmasını takiben %40-%50 civarında bir dayanım boşalması oluşurken, çekme çubuğunun akması ve pekleşmesi ile bunun yaklaşık %10'luk bir kısmının geri kazanıldığı, çekme çubuğu kopma deformasyonuna ulaştığında ortadan kalktığı, P- $\Delta$  eğrisinin şekli ve içerdiği süreksizlikler açısından sistemler birbirine benzer olmasına karşın, sistem davranışı tamamen öngörülen basınç ve çekme çubuğunun plastik mafsalsal davranış modeline bağlı olduğu, sistem rijitliğinin artışının B/H değerinin artışına paralel bir şekilde geliştiği, güçlendirme tasarımında yapı rijitliğini arttırmak için daha büyük B/H açıklığına sahip açıklıkların kullanılmasının tavsiye edildiği, L/i narinliğinin azalan değerleri, aynı kesit alanı ve B/H değerine sahip sistemlerde dayanımı arttırmakta etken olarak kullanılabilceği, bu sebeple dairesel ve kutu kesitlerin çapraz elemanı olarak kullanılmasının, aynı alana sahip çubuk kesitleri arasında en büyük i (atalet yarıçapı) sahibi olmaları sebebi ile tasarımın ekonomisini arttıracacağı belirtilmiştir.

Betonarme çerçeve sistemlerin, düzlem içi çelik elemanlarla yatay yüklere karşı uygulamalı güçlendirilmesine ilişkin farklı uygulamaların olduğu (Şekil 1.12-15) ve

bu çalışma kapsamında bunlardan farklı olarak, böyle bir sistemin düzlem dışı güçlendirme modelinin (Şekil 1.16) deprem performansının araştırılması hedeflenmiştir.



**Şekil 1.12.** Çelik Profillerle Güçlendirilmiş Bina Örneği



**Şekil 1.13.** Çelik Profillerle Güçlendirilmiş Bina Örneği



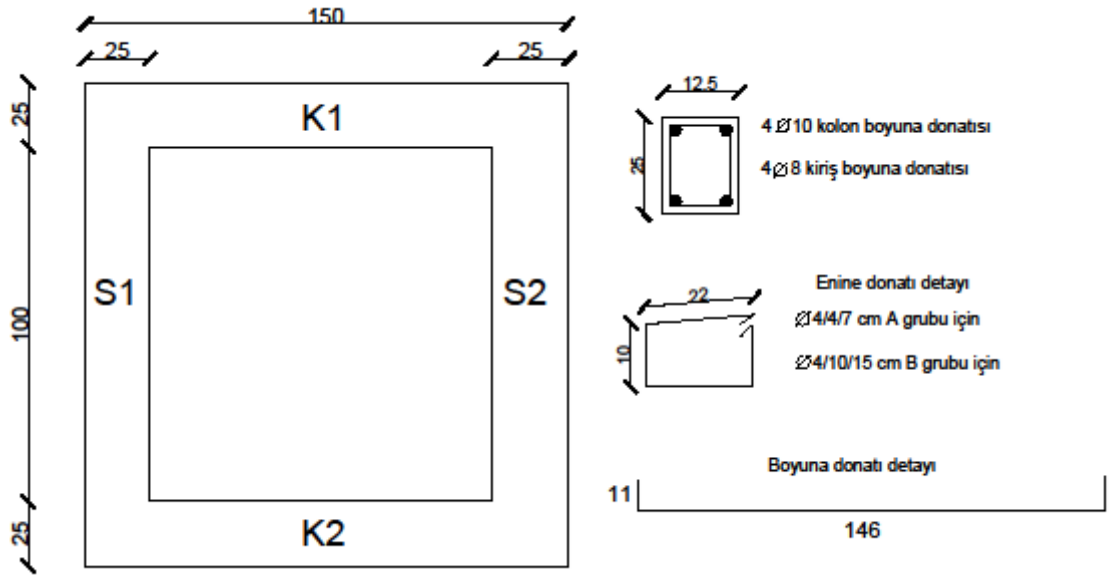
**Şekil 1.14.** Önerilen Güçlendirme Örneği

## 2. DENEY NUMUNELERİNİN VE DÜZENEGİNİN HAZIRLANMASI

Yapılan bu çalışma sırasıyla; deney numunelerinin hazırlanması, yükleme çerçevesinin oluşturulması, deney düzeneğinin hazırlanması, deney ekipmanlarının kurulumu ve verilerin kaydedilmesi olmak üzere 4 ana safhada ele alınmıştır.

### 2.1. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Betonarme yapılarda genellikle 3 metre kat yüksekliği olduğu düşünülerek tasarlanan numuneler 1/2 ölçekli olup kolon ve kirişten meydana gelmektedir. Toplam 6 adet deney numunesi bulunmaktadır. Numuneler tek katlı ve tek açıklıklıdır. Numuneler dıştan dışa 150 x 150 cm boyutundadır. Numunelerin tamamı S220 donatı sınıfına sahiptir. Kolon ve kirişlerin eni 25 cm, kalınlıkları ise 12,5 cm'dir. (Şekil 2.1)



Şekil 2.1. Kalıp ve donatı planı

Kalıp ve donatı planı Şekil 2.1 de gösterilen betonarme çerçeveler hazırlanırken, kolonlarda 4Ø10 minimum donatı, kirişlerde ise pilyesiz 4Ø8 donatı kullanılmıştır. Numunelerin 3 adedinde süneklik düzeyinin yüksek olması amaçlanarak etriye sıklaştırması yapılmış, diğer 3 adedinde ise zayıf etriyeli numunelerin performansı test edilmesi amacıyla etriye sıklaştırması yapılmamıştır.

Güçlendirilmiş numunelerde çelik lama yerleşimi için öncelikle 2 adet çelik plaka betonarme çerçevenin kolon kiriş birleşim bölgesine monte edilmiştir. 10 mm kalınlığında, 150 x 200 mm ebatlarındaki çelik plakalara 45 derece açıyla, farklı derinliklerde (75, 65, 60, 50 ve 40 mm) çelik dübelleri monte edilmiştir. Çelik plakalara 12 mm çapında delikler açılarak, 4'er adet 10 mm çapında çakma çelik dübelleri ankraj edilmiş ve üzerine çelik çaprazda oluşabilecek maksimum  $P_L$  yükü dikkate alınarak, lamada göçme olmayacak şekilde 8 / 30 mm kesitli çapraz çelik lama kaynaklanmıştır.

Çelik lamalar StI ( $\sigma_{em} = 2200 \text{ kg/cm}^2$ ) çelik plakaya, plaka kalınlıkları dikkate alınarak kaynak kalınlığı ( $3\text{mm} < a < 0,7t_{min}$ )  $a=6 \text{ mm}$  ve boyu ( $10a < L_k < 100a$ )  $L_k=6 \text{ cm}$  bulunmuş, kaynakta göçme olmayacak şekilde boyutları belirlenmiştir.

Tüm numunelere ait bilgiler (Çizelge 2.1) de verilmiştir. Hazırlanan toplam 6 adet numunenin kesit ebatları aynı olup, numunelerden birinde (B1) güçlendirilme yapılmamış, diğer numuneler çelik lamalarla düzlem dışından güçlendirilerek teste tabi tutulmuştur. Numunelerden 4 adedi farklı derinliklerde dübelleriyle (B2 için 75 mm, B3 için 40 mm, A1 için 65 mm, A2 için 50 mm) tek taraflı güçlendirilirken, 1 adedi (A3 için 60 mm) çift taraflı güçlendirilmiştir.



**Çizelge 2.1.** Deney Numuneleri Özellikleri

Numune Adı	Açıklama
A1	Düzlem dışı güçlendirilmiş, ankraj derinliği 65 mm
A2	Düzlem dışı güçlendirilmiş, ankraj derinliği 50 mm
A3	Çift taraflı güçlendirilmiş, ankraj derinliği 60 mm
B1	Güçlendirme yapılmamış, zayıf etriyeli, referans boş çerçeve
B2	Düzlem dışı güçlendirilmiş, zayıf etriyeli, ankraj derinliği 75 mm
B3	Düzlem dışı güçlendirilmiş, zayıf etriyeli, ankraj derinliği 40 mm

Deney numunelerinin düzenli olarak üretilebilmesi, taşınabilmesi, sabitlenebilmesi amacıyla 50 mm kalınlığında taban kalıpları 25 mm kalınlığında yan kalıplar kullanılarak kalıplar üretilmiş ve suyun ahşap kalıplara zarar vermemesi amacıyla yağlıboya ile boyanmış, kalıplar birbirlerine çivilerle birleştirilmiştir. (Şekil 2.2-6)



**Şekil 2.2.** Kalıp Montajı



**Şekil 2.3.** Donatı Montajı



**Şekil 2.4.** Standart Donatılı Numuneler (A1, A2, A3)



Şekil 2.5. Zayıf etriyeli numuneler (B1, B2, B3)



Şekil 2.6. Kalıpların sökülmesi

Kalıplar oluşturulurken numunelerin hasarsız şekilde ayağa kaldırılması amacıyla beton dökümünden önce köşe noktalara mapa yapılarak boyuna donatılara bağlanmıştır. Deney numunelerinde beton sınıfı C20 olacak karışımli hazır beton kullanılmış ve beton dökümü de santral sahasında yapılmıştır. Çerçeve betonu dökümü sırasında yapılan kıvam deneyi sonucunda 90 mm çökme gözlenmiştir.

Betonun karakteristik beton basınç dayanımını belirlemek için 150x150 mm ebatlarında toplam 6 adet küp numune alınmış ve numunelerle çerçeveler aynı şartlarda kür edilmiştir. Kalıpların kolay sökülebilmesi için kalıplar beton dökümünden önce bir miktar yağlanmış, beton dökümünden 1 saat sonra, beton yüzeyleri 10 gün boyunca sabah ve akşam olmak üzere günde iki defa sulanmıştır.

Alınan küp numuneden, 3 adedi 7 gün, 3 adedi 28 gün sonra test edilmiştir. Ayrıca deney sonrası her deney numunesinden 3'er adet olmak üzere karot numunesi alınarak testleri yaptırılmış, ortalama küp dayanımı hesaplanarak, 0.85 katsayısı ile çarpılarak karakteristik silindirik basınç dayanımı 22.21 MPa olarak bulunmuştur. (Çizelge 2.2)

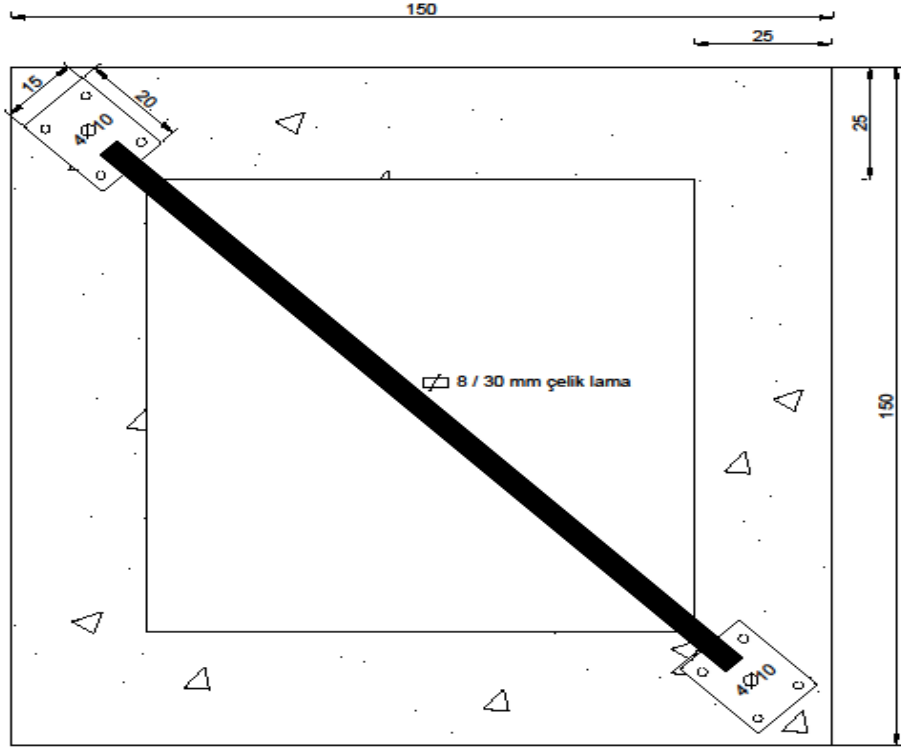
Çerçeve elemanların mevcut beton dayanımlarını belirleyebilmek için deneyler bittikten sonra, kolon ve kiriş elemanların hasar görmemiş bölgelerinden 3'er adet 10 cm çapında ve 12.5 cm boyunda karot numuneler alınmış, alınan numunelerin her birinin başından yaklaşık eşit boylarda traşlama yapılarak elde edilen, 10x10 cm silindirik numuneler test edilmiş, bulunan değer standart küp dayanımına eşdeğer olduğundan, 0.85 katsayısı ile çarpılarak mevcut betonun basınç dayanımı olan  $f_{cd}$  hesaplanmıştır. (Çizelge 2.2)

**Çizelge 2.2.** Karot Sonuçları

Numune Adı	Beton Basınç Dayanımı Ortalaması (MPa)	
	28 Günlük küp numunelerden bulunan silindir karakteristik ortalama basınç dayanımı $f_{ck}$ (MPa)	Numunelerden karot alınarak bulunan silindir dizayn (mevcut) basınç dayanımları $f_{ck}$ (MPa)
A1	22.21	25,43
A2		25,19
A3		20,78
B1		16,27
B2		21,67
B3		31,38

Çelik plakaların betonarme çerçeveye monte edilmesi amacıyla öncelikle 10 mm çapında çakma dübellerin delikleri matkap yardımıyla açılmıştır. Ardından 150x200x8 mm çelik plaka Şekil Şekil 2.7-11’de görüldüğü gibi yerleştirilerek, plakanın 4 köşesine kenarlardan merkezine 2.00 cm mesafede,  $d \leq \sqrt{5t_{min}^*} - 0.2 = 18mm$  denklemine uygun olarak, açılan 1’er adet 12 mm deliklerden 10 mm çapında 4 adet çelik dübelle ankrajlanarak çerçevelerin çapraz birleşim bölgelerine monte edilmiştir.

Deneyde kullanılan çakma dübeller, orta ağırlıktaki yüklerde ve düşük kalitedeki betonlarda kullanılabilme, gömlek yapısı sayesinde her kalite betonda açılma yaparak emniyetli ve güvenli tutunma sağlama özelliğinin yanında kısa deliklerde ve düşük yüklerde bile rahatlıkla açılabilen gömlek yapısı ile güvenli tutma ve sıkma özellikli ve paslanmalara karşıda çinko kaplıdır.



Şekil 2.7. Güçlendirilmiş Numune Görünüşü



Şekil 2.8. Ankrāj Deliklerinin Açılması



**Şekil 2.9.** Çelik Dübellerin Montajı



**Şekil 2.10.** Çelik Lamanın Kaynak Yapılması



**Şekil 2.11.** Birleşim Bölgesi Görünüşü

Numunelerde enine donatı yerleşimi, çelik lama ile güçlendirme ve ankraj uzunluğu değişken olarak seçilerek testler yapılmıştır. Güçlendirme elemanı olan çelik lamalar çelik plakalara kaynak vasıtasıyla eklenmiştir. Çelik plakalar ise betonarme çerçevenin kolon kiriş birleşim bölgesine çelik dübeller vasıtasıyla ankraj yapılarak eklenmiştir. Deneyimizde çelik dübel adeti ve çapı sabit alınarak farklı ankraj uzunlukları test edilmiştir.

Numunelerin yatay durumdan düşey duruma getirilmesi için lemponun yanı sıra özel bir vinç imal edilmiş, numuneler bez halat yardımıyla vince bağlı olan caraskala bağlanarak yaklaşık 390 kg ağırlığında ki deney numuneleri Şekil 2.12. de gösterildiği şekilde yükleme sistemine yerleştirilebilmiştir.





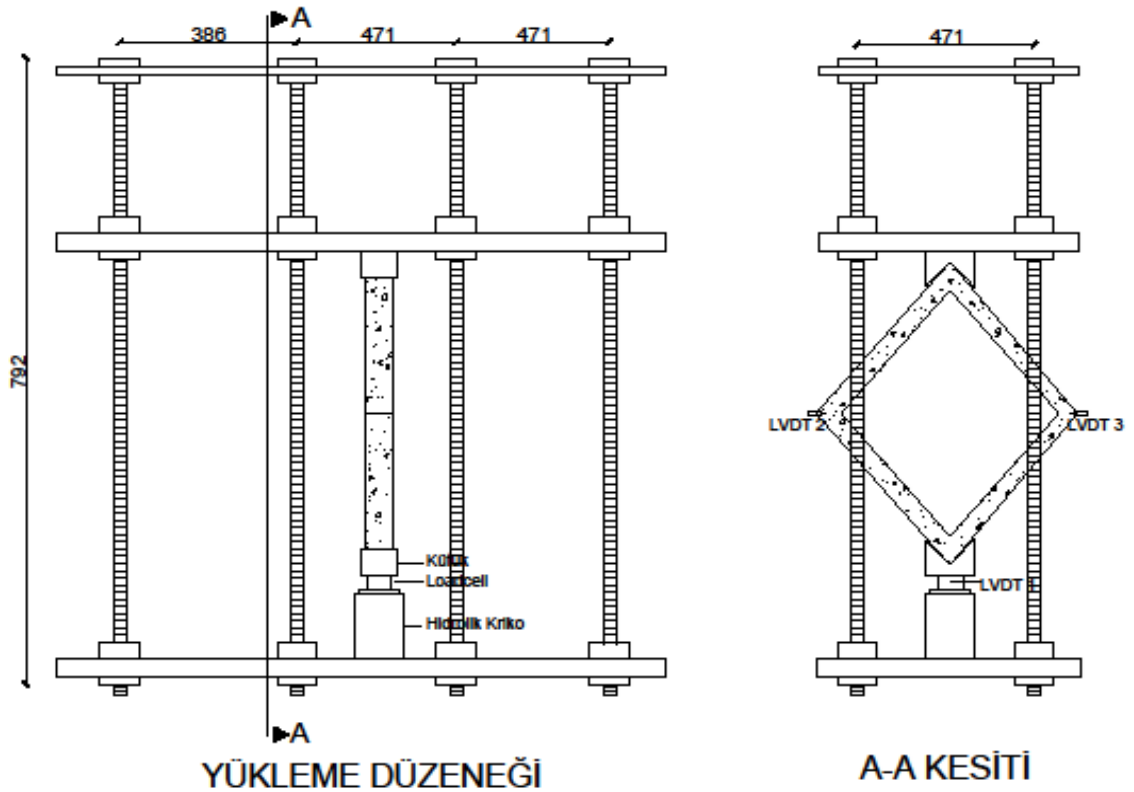
**Şekil 2.12.** Numunelerin Kaldırılması

## **2.2. Yükleme Çerçevesinin Oluşturulması**

Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Yapı Mekaniği Laboratuvarında gerçekleştirilen bu deneysel çalışmada, Doç. Dr. Sabahattin AYKAÇ ve Doç. Dr. Orhan DOĞAN tarafından tasarlanan ve yaptırılan 2000 kN kapasiteli 8.5 ton ağırlığında, toplamda 7.92 m yüksekliğinde, 8 millî çelik yükleme çerçeve sistemi kullanılmıştır.

### 2.3. Deney Düzenine Hazırlanması

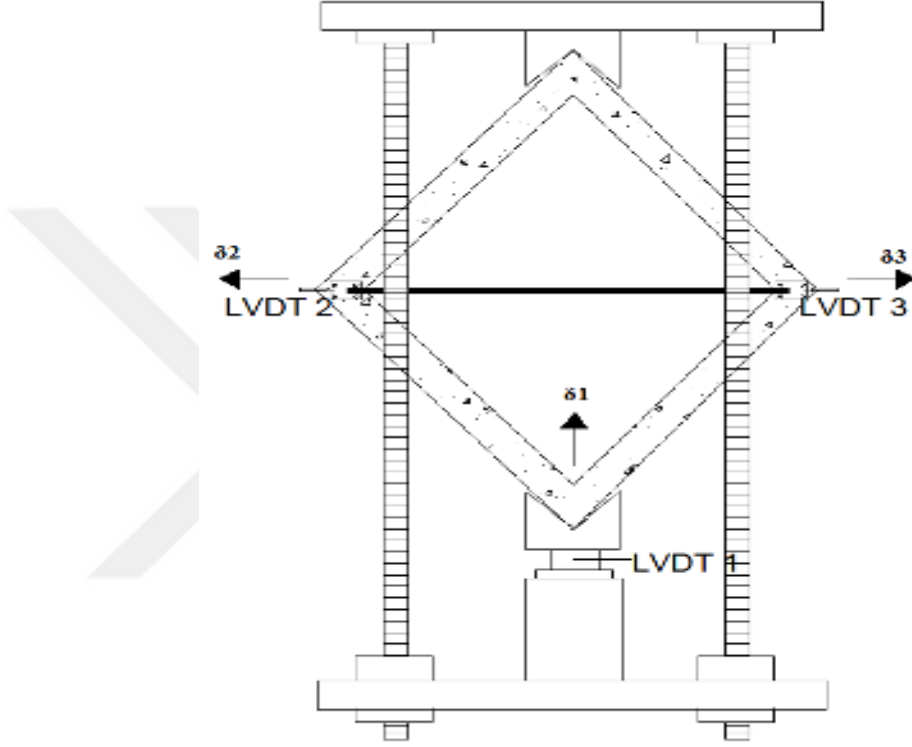
Deney çerçevesinin yerleştirilmesine ve sabitlenerek yatay ve düşey yük uygulanmasına birlikte imkân veren yükleme modelini dengede tutabilmek için ilave bir destek çerçeve oluşturulmuş, deneylerde bilgisayar destekli veri okuma sistemi kullanılarak gerekli yük ve yer değiştirme okumaları yapılmış ve kayıt altına alınabilmiştir.



Şekil 2.13. Yükleme sisteminde yer alan üniteler ve numune yerleşimi

Betonarme çerçeve yükleme sistemine Şekil 2.14'te görüldüğü gibi, alt noktadan 200 ton kapasiteli hidrolik kriko ile aşağıdan yukarı doğru yükleyerek test edilmiştir. Hidrolik kriko üzerinde yer alan 50 ton kapasiteli Load-cell (yük hücresi) ile uygulanan yük Data-logger aracılığı ile bilgisayara aktarılmıştır. Numunenin karşılıklı köşe uçlarına uygulanacak yükler altında köşelerinde ezilme ile beklenmedik hasarlar olmaması için 50x30x30 cm ebatlarında ve tek tarafından

45°'li 15 cm derinliğinde çentik açılmış ve iç yüzeyine şamyel yerleştirilmiş iki adet ahşap kütük yerleştirilmiştir. Her iki yan birleşim noktaları ise Şekil-2.16'da gösterildiği gibi hareket edebilecek şekilde serbest bırakılmıştır. Yükün uygulandığı alt bölge düşey deplasmanı ( $\delta_1$ ), iki yan birleşim bölgesi deplasmanları  $\delta_2$  ve  $\delta_3$  ile gösterilmiştir.



**Şekil 2.14.** Deney Düzeneginde LVDT yerleşimi



Şekil 2.15. Deney Düzeneği Görünüşü

Rijit yükleme sistemi, 8 adet helisel dişli elik mil ve 30 cm kalınlığında alt ve üst yükleme başlık plakaları ve ayrıca üst başlık plakasını yukarı aşağı kontrollü ayar verebilmek için 5 cm kalınlığında üst plaka ve bu plakaları sabitleyebilmek için 48 adet özel somundan oluşturulmuş ve hidrolik kriko yardımıyla aşağıdan yukarıya yk uygulanabilecek şekilde tasarlanmıştır.

Deney numunelerine uygulanan düşey yükleme, uygulanan yüke oranla oldukça rijit olan 30 cm kalınlığında rijit üst ve taban plakaları ve bu plakaları birbirine bağlayan 200 ton kapasiteli 8 adet mil arasına yerleştirilmiş hidrolik kriko yardımıyla uygulanmıştır. Lineer olarak artırılan düşey yük miktarını yk hücresi ile, numunelerde, karşılıklı düğüm noktaları arasındaki, düşeyde meydana gelecek boy kısalması ve yatayda meydana gelecek açılma deplasmanlarını 3 adet deplasman lerler (LVDT) ile bilgisayar ortamında düzenli olarak kaydedilmiştir.



**şekil 2.16.** Boş erevede LVDT'nin montajı



**Şekil 2.17.** Yük hücresinin montajı ve mesnetlenme durumu



**Şekil 2.18.** Güçlendirilmiş çerçevede LVDT'nin çelik plakaya montajı

Deney numunelerinin yükleme esnasında hareket etmesini önlemek ve LVDT'lerin yerleştirilmesinin sağlanabilmesi için yükleme düzeneği içine kutu profillerden oluşan ayrıca özel bir ereve yapılmıştır. Kutu profillere açılan yatay delikler ve bu deliklere yerleştirilecek tijler somunlar vasıtası ile deney numunesinin düşey stabilitesi sağlanırken, yana hareket etmesi engellenmiştir. (şekil 2.17-19.)



**şekil 2.19.** erevenin mesnetlenmesi ve profillerle ereve ve LVDT'lerin sabitlenmesi

## 2.4. Deney Ekipmanlarının Kurulumu ve Verilerin Kaydedilmesi

Hazırlanan deney düzeneği ile betonarme çerçevelere uygulanan yük ile betonarme çerçevelerde oluşan yer değiştirmeler ölçülerek çelik lamanın betonarme çerçeveye sağlayacağı katkının belirlenmesi amaçlanmış olup, Veri Depolama Kutuları (Data-Logger) ile LVDT ve yük hücresinden gelen bilgileri eş zamanlı olarak kayıtlar nümerik ve grafik olarak alınmıştır. 6 adet deney numunesine hidrolik kriko ve manuel pompa yardımıyla uygulanan yük, 50 ton kapasiteli basma-çekme özellikli yük hücresi yardımıyla bilgisayara aktarılmıştır. Yük hücresinden data-logger'a oradan da bilgisayara bağlı olup, yük hücresinden okunan yük değeri bilgisayardan da takip edilebilmiştir.

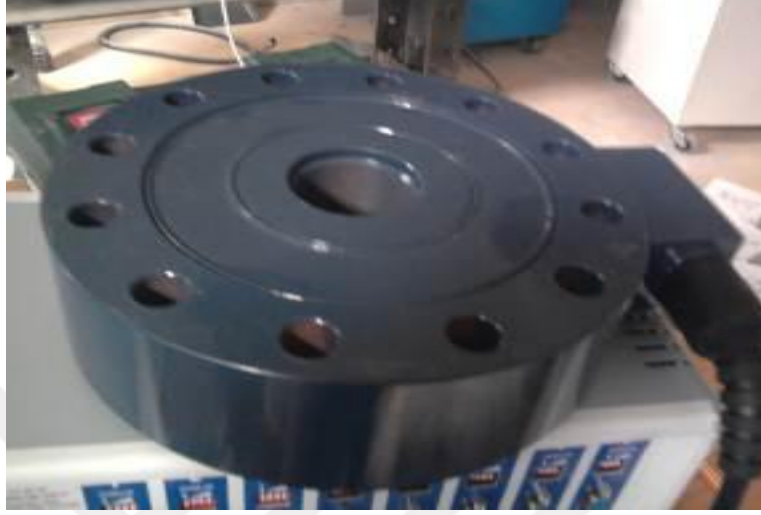


**Şekil 2.20.** Data logger sistemi

Yük hücresi, merkezine yerleştirilmiş çelik veya alüminyum silindire bağlı, çekildiğinde strain-gagelerde ki boy uzaması ile incelerek kanallardan geçen zayıflayan akımın bir katsayı ile çarpılarak uygulanan çekme yüküne dönüştüren, basıldığında ise strain-gagelerde ki boy kısalması ile genişerek kanallardan geçen artan akımın bir katsayı ile çarpılarak uygulanan basınç yüküne dönüştürerek, tek



eksen üzerinde statik yükleri, yay elemanı mantığı ile elektronik olarak ölçüm cihazı olup, verileri elektronik ortamda data-logger aracılığı ile bilgisayara aktarırlar.



**Şekil 2.21.** 50 ton kapasiteli yük hücresi



**Şekil 2.22.** 200 ton kapasiteli hidrolik kriko

Hidrolik krikolar yükleri kaldırmak için kullanılmakta olup, pistonlu bir silindir hücre ve bu hücreye su cendereleri mantığı ile yağ basabilmek için birbirine bağlayan bir hortumla yağ basan pompadan meydana gelmektedir.

Betonarme çerçevelerin kolon ve kirişlerinde meydana gelen yer değiştirmeler, boy uzama ve kısalmaları, dijital doğrusal değişken fark transformatörü (LVDT) kullanılarak yapılmıştır. LVDT'ler, merkez milinin ileri geri hareketi sonucu belirli bir gerilim üretmektedir. LVDT'lerin çıkış uçları veri aktarım sistemine bağlanmaktadır. Kullanılan bu LVDT'ler sayesinde %1 mm hassasiyetinde okuma yapmak mümkün olabilmektedir. Deneylerde 50 mm ve 100 mm'lik doğrusal potansiyometrik cetveller kullanılmıştır. LVDT mekanik olarak hareketlendirilmiş nüvesi ile bir transformatördür. LVDT'nin ani yer değişimlerini ölçebilmesi için osilatör frekansının hareketin en yüksek frekansından en azından 10 kat daha büyük olması gerekir. Yavaş yer değişim işleri için kararlı osilatör yerine 50-60 Hz'lik besleme kaynağı frekansı kullanılabilir.



**Şekil 2.23.** LVDT

#### **2.4.1. Yük ve Yer Değişirme Ölçümlerinin Bilgisayar Ortamına Aktarılması**

16 kanaldan ve 2 adet dijital komparametre yerleştirilebilen kanaldan oluşan 2 adet data-logger, LVDT ve yük hücrelerinden alınan gerilmelerin, veri olarak bilgisayara

iletimini sağlarken ayrıca bir communicator'a bağlanırlar. Kullanılan kanallardan okunan veriler, anında bilgisayarda eş zamanlı kayıt altına alınmakta ve bir yazılımla da yük ve deplasmanlar olarak grafikler halinde izlenebilmekte ve alınan okuma değerlerinin çıktıısı "EXCEL" programında okunabilecek şekildedir.

#### **2.4.2. Ölçümlerin Değerlendirilmesi ve Deney Aletlerinin Hazırlanması**

Deneye başlamadan önce yük hücresi ve deplasman ölçerlerin kalibrasyonu yapılmıştır. Deneyler esnasında LVDT ve yük hücresinden alınan okuma değerlerinden hareketle, deney numunelerinde görülen davranış özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Her deney elemanı için, yük geçmişi ve oluşan hasarlar anlatılmış ve ölçülen değerler grafik ve tablo şeklinde verilmiştir.

Deneye başlamadan önce deplasmanı ölçen LVDT ile yük değerini ölçen loadcelin kalibrasyonu yapılmıştır. Bu deneyde LVDT için mm, yük hücresi için kN birimi kullanılmıştır. Yük hücresi betonarme çerçevenin altında, LVDTler ise bir adet yük hücresi üzerinde diğer ikisi ise betonarme çerçeve yan birleşim bölgelerine toplamda 3 adet LVDT yerleştirilmiştir.

Yük hücresi data-logger'ın 1. kanalına, LVDT'ler ise 5, 6 ve 13 numaralı kanallarına bağlanarak tanıtılmış, deneyden önce bu kanalların hepsinin aktif olup olmadığı kontrol edilmiş, Testlab programına deney bilgileri girilerek deneyin adı oluşturulmuş, diğer deneylerde bu deney adının sečilmesi durumunda yük hücresi ve LVDT'lerin kalibrasyonuna ve tanıtılmasına gerek kalmamıştır. Deneyler esnasında zaman, yük ve deplasman değerlerinin veri olarak programdan alınması istenilmiş olup, daha sonra bilgisayar ortamında bu veriler ışığında gerekli tablo ve grafikler hazırlanmıştır.

Yükleme öncesi düşey kalabilmesi ve aşağıdan yukarıya doğru numuneye yük verilmesi esnasında da numunedeki deformasyonları ölçen LVDT'lerin mesnetlenmesi için ek olarak kutu profillerle oluşturulan destekleme sistemi tijler ile numuneye tutturulmuş, ancak bu destekleme sistemi yere sabitlenmeyip, numune ile birlikte yukarı hareket etme özelliğine verilmiştir.

Program deneye hazır hale geldikten sonra hidrolik kriko ile yük verilerek deneye başlanılmış ve Testlab programında alınan veriler eş zamanlı olarak kaydedilirken meydana gelen hasarlarda yine eş zamanlı olarak kaydedilmiştir.



### 3. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

Bu bölümde, toplam 6 adet deney numunesinin test edilmesi ile elde edilen sonuçlar ve numunelerin davranış özellikleri detaylı bir biçimde sunulmaktadır. Betonarme çerçeve numunelerden birinde güçlendirme yapılmazken, 4 adedinde tek tarafından düzlem dışı çelik lama ile güçlendirilmiş, düzlem dışı eksantriseteden kaynaklı olumsuz etkiyi yok edebilmek ve yükleme düzleminde bir bileşke etki oluşturabilmek için sonuncu numune çerçevenin her iki yüzünden de aynı özelliklerde lama ve ankrajlama ile güçlendirilmiştir.

Betonarme çerçevenin güçlendirme düzeneği hazırlanırken çelik yapıların tasarımı göz önünde tutularak, kullanılacak çelik dübel çapı (10 mm), plaka kalınlığı (10 mm) ve açılacak delik çapı (12 mm) belirlenmiş, gerek çelik plakada (150x200x10 mm), gerek çelik lamada (8x30 mm) ve gerekse kaynak kalınlığı (6mm) ve boyu (80 mm) lamada herhangi bir göçme olmaması için daha güçlü tasarlanmıştır. Burada asıl amacın beton dayanımına ve çelik dübele derinliğine bağlı performansını ortaya koymak olduğu için, öncül göçme kesme etkisinde ankraj dübellerinde meydana gelecek şekilde daha zayıf tasarlanmıştır.

Burada farklı beton dayanımlarına sahip deney numunelerinin her birinde ankraj derinliği değişken tutularak, hem beton dayanımına hem de ankraj derinliğine bağlı olarak ankraj dübellerinin kesme etkisindeki performansının belirlenmesi hedeflenmiştir.

Her deneye ait deneyin yapılışı, gözlenen davranış özellikleri anlatılmış, deney sırasında çekilen fotoğraflar ve test sonuçları ayrı ayrı verilmiş olup, sonuçlar tablo ve grafik halinde de sunulmuştur. Deney numunelerine lineer olarak yük verilmiş olup, betonarme çerçevenin her 10 saniyedeki veriler kaydedilmiştir. Ayrıca numunelerin her 10 kN'luk ilave yükleme sonrasında davranışı incelenerek gözlemler yapılmıştır. Tüm numunelerde deney esnasında ölçülen göçme yükü değerleri, süneklilik ve enerji yutma kapasitesi değerlerinin kıyaslanması için maksimum yükün %85'i ve %50'sine denk gelen deplasman değerleri belirlenerek

yük deplasman grafikleri çizilmiş, güçlendirilmemiş referans numune değerleri ile kıyaslama yapılarak güçlendirme yönteminin sisteme kattığı avantajlar değerlendirilmiştir.

Deneyle betonarme çerçevenin maksimum yüküne ulaşmasından sonra, güçlendirilmemiş çerçevenin ve güçlendirilmiş çerçevenin ankraj dübellerinde meydana gelecek göçme olması durumunda, güçlendirilmiş çerçevenin süneklik düzeyi ve enerji yutma kapasitesinin belirlenmesi açısından maksimum yük kapasitesinin yükü değerinin %50'sine kadar devam ettirilmiştir.

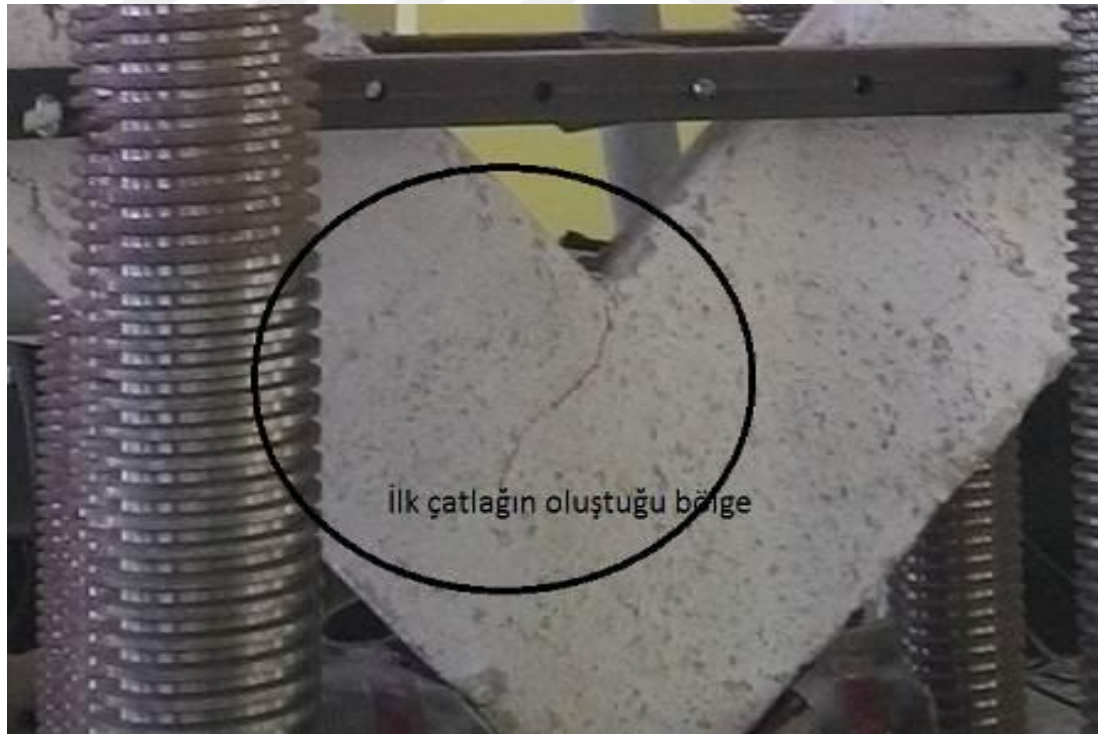
### **3.1. 1 No'lu Deney**

1 numaralı B1 deney numunesi, enine donatı bakımından standart altı zayıf donatılı numuneyi temsil etmektedir. B1 numunesi referans numune olarak belirlenmiş olup, güçlendirme uygulaması yapılmamıştır. Bu numune boş çerçevenin davranış ve yük kapasitesini belirleyebilmek için test edilmiştir.

Yükleme, B1 numunesinin maksimum yük taşıma kapasitesine ulaşmaya kadar her 10 kN'luk yük artışında kontrollü olarak durdurulmuş, betonarme çerçevede meydana gelen hasar gözlemlenmiş, maksimum yüke ulaşıldıktan sonra, maksimum yükünün %50'sine düşünceye kadar deney devam ettirilmiştir. (Şekil 3.1-4)



Şekil 3.1. B1 numunesinin görünüşü



Şekil 3.2. Alt bölgede oluşan çatlak

Yükleme esnasında yaklaşık 23 kN yük verildiğinde alt bölgede ilk çatlak oluşmuştur. İlk çatlaklar yükün verildiği alt bölgede kolon kiriş birleşim bölgesinde kılcal şekilde meydana gelmiştir.

Yüklemenin yaklaşık 50 kN seviyesine geldiğinde betonarme çerçevenin kolon kiriş birleşim bölgesinde çatlaklar ve kırılmalar kesme çatlağı şeklinde iyice belirginleşmiştir. Çerçevenin maksimum taşıma gücüne ulaşması ile çatlaklar aniden büyüyerek, yük değerinde hızlı düşüşler gözlenmiştir.



**Şekil 3.3.** Göçme anında oluşan hasar



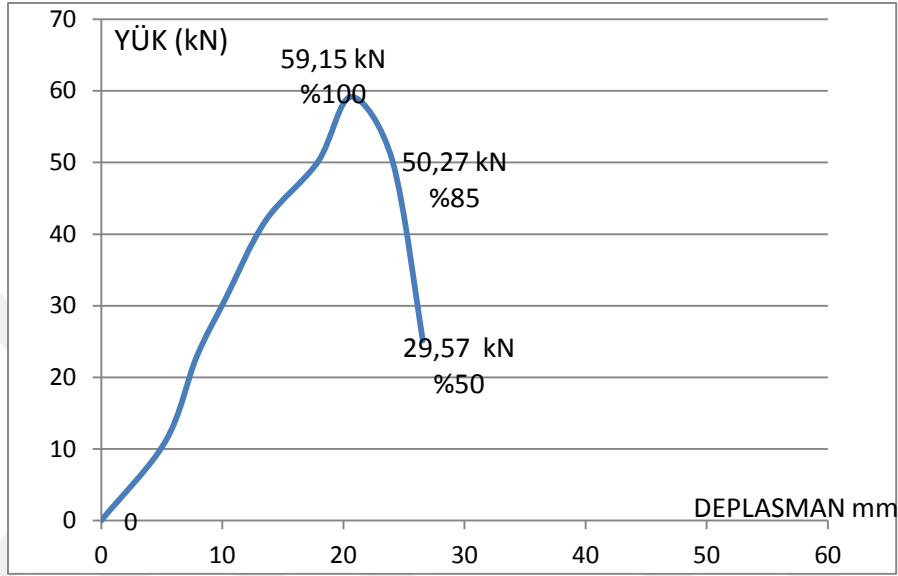


Şekil 3.4. Göçme anında oluşan çatlaklar



Şekil 3.5. Göçme anında oluşan hasar

Deney sonucunda Testlab programından veriler alınarak Excel programına aktarılmış ve çizelge haline getirilmiştir. (Şekil 3.5) Çizelgede bulunan LVDT1 değerleri yükün uygulandığı birleşim bölgesinin alt kısmının düşey deplasmanını, LVDT2 ve LVDT3 değerleri ise yan birleşim bölgesine tutturularak yatay deplasmanları ölçebilmek için yerleştirilmiştir. (Çizelge 3.1)



**Şekil 3.6.** B1 numunesinin yük-deplasman grafiği

Yüklemenin yaklaşık 50 kN seviyesine geldiğinde betonarme çerçevenin kolon kiriş birleşim bölgesinde çatlaklar ve kırılmalar eğilme çatlağı şeklinde iyice belirginleşmiş, alınan veriler değerlendirildiğinde güçlendirilmemiş betonarme çerçevede maksimum yüke (59,15 kN) ulaşmış ve birleşim bölgelerinde ortaya çıkan kesme çatlaklarının büyümesi ile göçme gerçekleşmiştir. Kolon ve kiriş şeklinde donatılan elemanlarda herhangi bir çatlak meydana gelmemiştir. Betonarme çerçevenin yük kapasitesini ve diğer numunelerde yapılacak güçlendirmenin kapasite artışına olan katkısının ortaya koyabilmek için, B1 numunesi referans numune olarak herhangi bir güçlendirme yapılmadan test edilmiştir.

**Çizelge 3.1.** B1 numunesi yük-deplasman değerleri

YÜK (kN)	LVDT1 (mm)	LVDT2 (mm)	LVDT3 (mm)
0.015	0,00	0,00	0,00
11,06	5,30	0,89	1,51
22,84	7,87	1,53	1,98
30,86	10,23	1,53	2,18
41,78	13,54	2,16	3,73
50,07	17,89	3,31	3,73
59,15	20,66	3,42	4,65
50,27	22,07	3,45	4,71
29,57	22,87	3,79	4,82

### 3.2. 2 No'lu Deney

2 nolu B2 deney numunesinde çerçevenin deprem dayanımını artırılması için çelik lama ile çapraz güçlendirme uygulaması yapılmıştır. Güçlendirme düzeneği hazırlanırken çelik yapıların tasarımı göz önünde tutularak, kullanılacak çelik dübel çapı, plaka kalınlığı ve açılacak delik çapı belirlenmiş, gerek çelik plakada, gerek, çelik lamada ve gerekse kaynaklamada herhangi bir göçme olmaması için bu kesitler daha güçlü tasarlanmıştır. Burada asıl amacın beton dayanımına ve çelik dübel derinliğine bağlı performansını ortaya koymak olduğu için, öncül göçme, kesme etkisinde ankraj dübellerinde meydana gelecek şekilde tasarlanmıştır. Bu bağlamda bu deneyde çelik ankraj dübellerinin çakma boyu 75 mm yapılarak test yapılmıştır.

Bu deneyde de yükleme periyodik olarak artırılarak, betonarme çerçevenin davranışı gözlemlenmiştir. Deney sürecinde çakma dübellerde, kaynakta veya çelik lamada herhangi bir hasar gözlenmemiştir. (Şekil 3.6-9) Referans numunedan alınan veriler ışığında kıyaslama yapılarak yapılan güçlendirme çalışmasının etkisi değerlendirilmiştir.



Şekil 3.7. 60 kN yükte oluşan çatlaklar



Şekil 3.8. 90 kN yükte oluşan çatlaklar

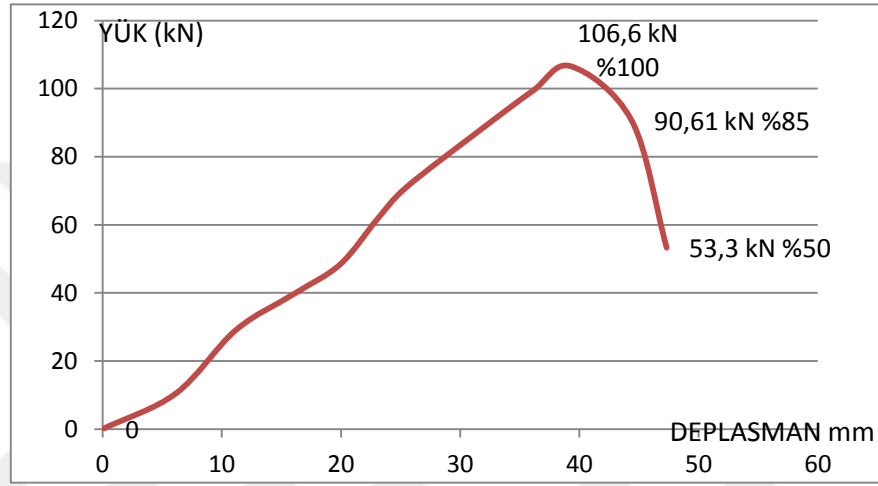


**Şekil 3.9.** 99 kN yükte oluşan hasar



**Şekil 3.10.** 99 kN yükte oluşan hasar

2 nolu B2 numunesinde yüklemenin yaklaşık 50 kN seviyesine geldiğinde betonarme çerçevenin kolon kiriş birleşim bölgesinde çatlaklar ve kırılmalar eğilme çatlağı şeklinde iyice belirginleşmiş, alınan veriler değerlendirildiğinde güçlendirilmemiş betonarme çerçevede maksimum yüke (106,60 kN) ulaşılmış (Çizelge 3.2.) ve birleşim bölgelerinde ortaya çıkan kesme çatlaklarının büyümesi ile göçme gerçekleşmiştir. (Şekil 3.10)



**Şekil 3.11.** B2 numunesinin yük-deplasman grafiği

Kaynakta ve çelik lamada herhangi bir hasar oluşmamıştır. Bu deneyde dübellerin çerçeveden önce göçmediği gözlemlenmiştir. Bu nedenle diğer numunelerde dübellerin çerçeveden önce göçmesi istenildiğinden ankraj uzunlukları azaltılarak testler yapılmıştır.

**Çizelge 3.2.** B2 numunesi yük-deplasman değerleri

YÜK (kN)	$\delta_1$ (mm)	$\delta_2$ (mm)	$\delta_3$ (mm)
0,00	0,00	0,00	0,00
10,50	6,16	0,28	0,31
29,10	11,18	0,28	0,31
48,40	19,93	0,55	0,31
61,70	23,05	0,55	0,63
71,10	25,50	0,55	0,63
87,50	31,54	0,84	1,22
99,30	36,06	1,20	1,54
106,60	39,28	1,20	1,54
90,61	42,31	1,23	1,56
53,30	44,39	1,25	1,59

### 3.3. 3 No'lu Deney

3 nolu numune A2 olarak adlandırılmıştır. Bu numunede de düzlem dışı çelik lama ile güçlendirme uygulaması yapılmıştır. A2 numunesinde çerçevenin yük dayanım performansının artırılması için yapılan güçlendirmede ankraj uzunlukları 50 mm alınarak deney yapılmıştır.



**Şekil 3.12.** 57 kN yükte oluşan çatlaklar



**Şekil 3.13.** Maksimum yükleme sonrası alt birleşim bölgesinde oluşan hasar

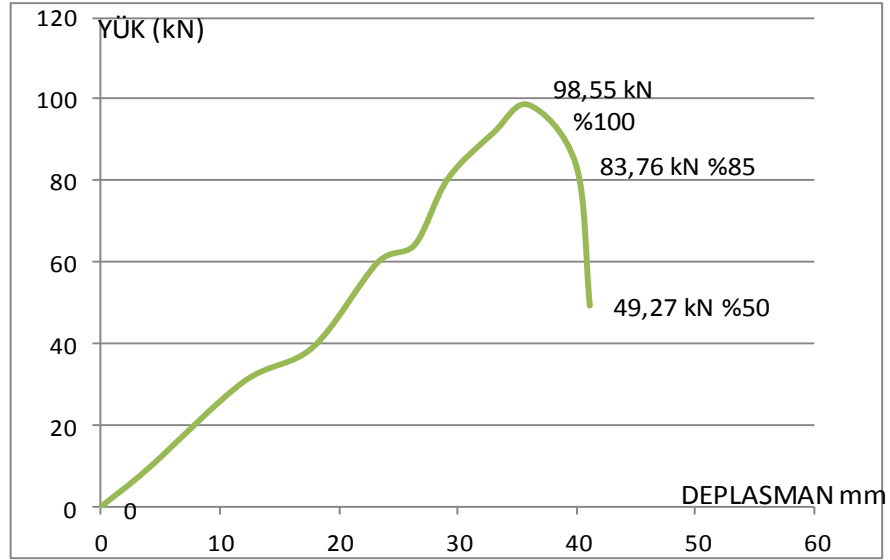




**Şekil 3.14.** Maksimum yükleme sonrası güçlendirme bölgesinde çerçeve ve ankraj dübellerinde meydana gelen hasar



**Şekil 3.15.** Maksimum yükleme sonrası çerçeve ve ankraj dübellerinde meydana gelen hasar şekli



Şekil 3.16. A2 numunesinin yük-deplasman grafiği

Çizelge 3.3. A2 numunesi yük-deplasman değerleri

Yük (kN)	$\delta_1$ (mm)	$\delta_2$ (mm)	$\delta_3$ (mm)
0	0	0	0
9,36	3,98	0,13	0
30,47	11,92	0,13	0,40
39,11	17,83	0,27	0,40
59,96	23,29	0,27	0,76
64,26	26,40	0,48	0,76
80,43	29,17	0,48	1,10
91,70	33,00	0,60	1,10
98,55	36,01	0,60	1,10
83,76	39,97	0,62	1,14
49,27	41,12	0,65	1,18

3 nolu A2 numunesinde yükleme yaklaşık 50 kN seviyesine geldiğinde betonarme çerçevenin kolon kiriş birleşim bölgesinde çatlaklar ve kırılmalar eğilme çatlağı şeklinde iyice belirginleşmiş, alınan veriler değerlendirildiğinde güçlendirilmemiş betonarme çerçevede maksimum yüke (98.55 kN) ulaşmış (Çizelge 3.3.), çelik lamada ve kaynakta herhangi bir hasar gözlemlenmezken, birleşim bölgelerinde ortaya çıkan kesme çatlaklarının büyümesi ile kesme kuvveti etkisinde ankrajlar betonarme çerçeveden sıyrılarak göçme gerçekleşmiştir. (Şekil 3.11-15)

#### 3.4. 4 No'lu Deney

4 nolu A1 numunede de çerçevenin yük dayanım performansının artırılması için yapılan güçlendirmede ankraj uzunlukları 65 mm alınarak deney yapılmıştır. (Şekil 3.16-21)



Şekil 3.17. A1 numunesi görünüşü



Şekil 3.18. Göçme anında oluşan çatlaklar



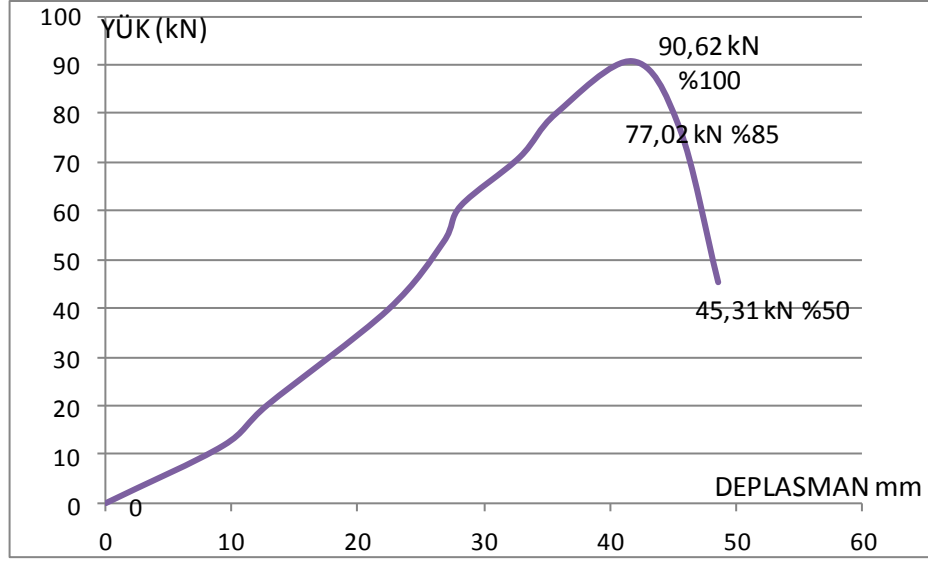
Şekil 3.19. Göçme anında oluşan hasar



Şekil 3.20. Maksimum yükleme sonrası meydana gelen hasar şekli



Şekil 3.21. Maksimum yükleme sonrası meydana gelen hasar şekli



Şekil 3.22. A1 numunesinin yük-deplasman grafiği

Çizelge 3.4. A1 numunesi yük-deplasman değerleri

Yük (kN)	$\delta_1$ (mm)	$\delta_2$ (mm)	$\delta_3$ (mm)
0	0	0	0
11,88	9,38	0,07	0,09
20,18	12,87	0,07	0,11
39,73	22,44	0,21	0,54
53,58	26,83	0,21	0,54
61,02	28,21	0,60	1,09
70,98	32,89	0,64	1,09
79,94	35,77	0,64	1,21
90,62	41,82	0,80	1,21
77,02	47,85	0,86	1,22
45,31	58,05	0,90	1,24

A1 numunesinde yükleme yaklaşık 50 kN seviyesine geldiğinde betonarme çerçevenin kolon kiriş birleşim bölgesinde çatlaklar ve kırılmalar eğilme çatlağı

şeklinde iyice belirginleşmiş, alınan veriler değerlendirildiğinde güçlendirilmemiş betonarme çerçevede maksimum yüke (90.62 kN) ulaşmış (Çizelge 3.4), çelik lamada ve kaynakta herhangi bir hasar gözlemlenmezken, birleşim bölgelerinde ortaya çıkan kesme çatlaklarının büyümesi ile kesme kuvveti etkisinde ankrajlar betonarme çerçeveden sıyrılarak göçme gerçekleşmiştir.

### 3.5. 5 No'lu Deney

5 nolu A1 numunede de çerçevenin yük dayanım performansının artırılması için yapılan güçlendirmede ankraj uzunlukları 40 mm alınarak deney yapılmıştır. (Şekil 3.22-27)



Şekil 3.23. B3 numunesi görünüşü



**Şekil 3.24.** 50 kN yükte oluşan çatlaklar

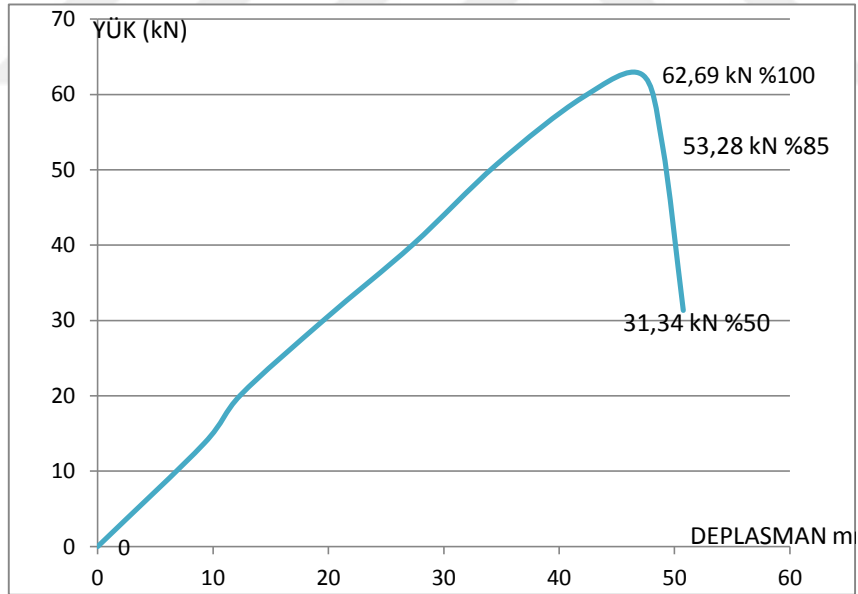


**Şekil 3.25.** Maksimum yükleme sonrası çerçeve ve ankraj dübellerinde meydana gelen hasar şekli





**Şekil 3.26.** Göçme anında oluşan hasar



**Şekil 3.27.** B3 numunesinin yük-deplasman grafiği

**Çizelge 3.5.** B3 numunesi yük-deplasman değerleri

Yük (kN)	$\delta_1$ (mm)	$\delta_2$ (mm)	$\delta_3$ (mm)
0	0	0	0
13,71	9,24	0,05	0,07
20,1	12,38	0,11	0,22
30,18	19,69	0,48	0,22
40,11	27,34	0,48	0,51
50,71	34,58	0,48	0,51
59,62	42,04	0,48	0,52
62,69	47,14	0,51	0,60
53,28	48,95	0,51	0,63
31,34	50,76	0,54	0,65
0	0	0	0

5 nolu B3 numunesinde yükleme yaklaşık 50 kN seviyesine geldiğinde betonarme çerçevenin kolon kiriş birleşim bölgesinde çatlaklar ve kırılmalar eğilme çatlağı şeklinde iyice belirginleşmiştir.

Alınan veriler değerlendirildiğinde güçlendirilmemiş betonarme çerçevede maksimum yüke (62.69 kN) ulaşmış (Çizelge 3.5), çelik lamada ve kaynakta herhangi bir hasar gözlemlenmezken, birleşim bölgelerinde ortaya çıkan kesme çatlaklarının büyümesi ile kesme kuvveti etkisinde ankrajlar betonarme çerçeveden sıyrılarak göçme gerçekleşmiştir.

### **3.6. 6 No'lu Deney**

6 no'lu A3 numunesinde de çerçevenin yük dayanım performansının artırılması için çerçevenin her iki yüzünden de güçlendirme yoluna gidilmiş, çerçeve elemanların

kalınlığı 12.5 cm olduğu için, ankrajda tam bir simetri sağlayabilmek adına, karşıdan karşıya açılan bir deliğe karşılıklı iki adet  $12.5/2=6.25$  cm boyunda ankraj dübeli takılabileceği için, ankraj uzunlukları 60 mm alınarak deney yapılmıştır. (şekil 3.28-35)



**şekil 3.28.** A3 numunesi görünüşü



**Şekil 3.29.** Ankrajlama bölgesinde oluşan hasar



**Şekil 3.30.** Birleşim Bölgesinde Oluşan Hasar



**Şekil 3.31.** Birleşim bölgesinde oluşan hasar



**Şekil 3.32.** Göçme anında oluşan hasar



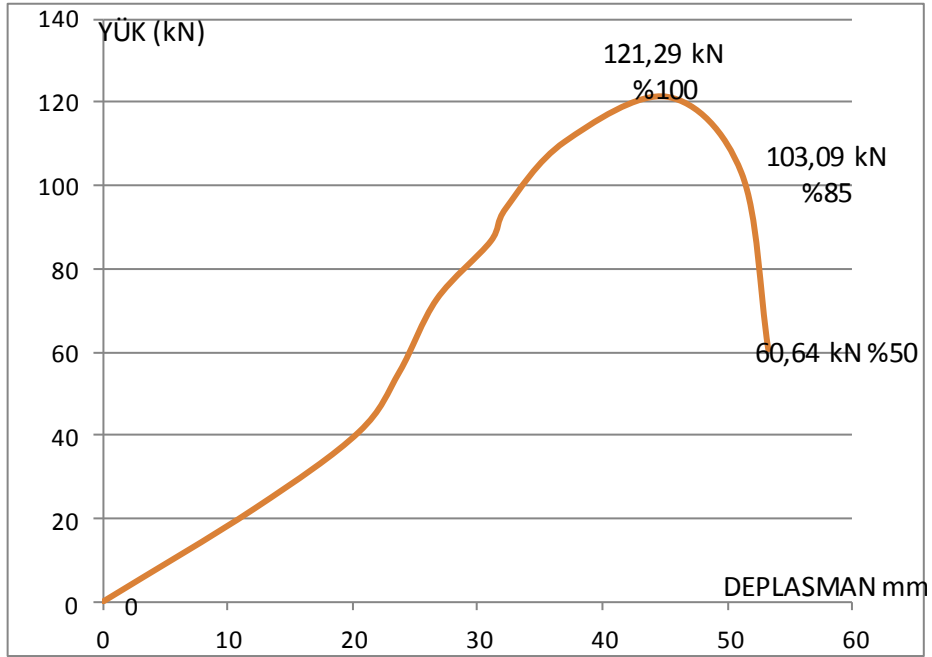
**Şekil 3.33.** Göçme anında oluşan hasar



**Şekil 3.34.** Göçme anında oluşan hasar



Şekil 3.35. Göçme anında oluşan hasar



Şekil 3.36. A3 numunesi yük-deplasman grafiği

**Çizelge 3.6.** A3 numunesi yük-deplasman değerleri

Yük (kN)	$\delta_1$ (mm)	$\delta_2$ (mm)	$\delta_3$ (mm)
0	0	0	0
22,38	12,14	0	0,17
40,72	20,48	0,25	0,17
55,3	23,76	0,63	0,76
72,67	26,73	0,63	1,22
86,65	31,06	1,14	1,22
94,45	32,25	1,14	1,60
110,49	36,96	1,40	1,80
121,29	45,19	1,40	1,80
103,09	47,46	1,42	1,84
60,64	48,72	1,48	1,86

6 nolu A3 numunesinde yükleme yaklaşık 50 kN seviyesine geldiğinde betonarme çerçevenin kolon kiriş birleşim bölgesinde çatlaklar ve kırılmalar eğilme çatlağı şeklinde iyice belirginleşmiş, alınan veriler değerlendirildiğinde güçlendirilmemiş betonarme çerçevede maksimum yüke (121.29 kN) ulaşmış (Çizelge 3.6), çelik lamada ve kaynakta herhangi bir hasar gözlemlenmezken, birleşim bölgelerinde ortaya çıkan kesme çatlaklarının büyümesi ile kesme kuvveti etkisinde ankrajlar betonarme çerçeveden sıyrılarak göçme gerçekleşmiştir. A3 numunesi çerçevenin çift yüzeyinden güçlendirildiği için beklendiği şekilde daha yüksek bir dayanım göstermiştir.



**Çizelge 3.7.** Maksimum yük altında düşey ve yatay deplasman değerleri

Numune Adı	Maksimum Yük (kN)	$\delta_1$ (mm)	$\delta_2$ (mm)	$\delta_3$ (mm)	Toplam Yatay Deplasman $\Sigma\delta$ (mm)
A1	98,55	41,82	0,80	1,21	2.01
A2	90,62	36,01	0,6	1,1	1.70
A3	121,29	45,19	1,4	1,8	3.20
B1	59,15	20,66	3,42	4,65	8.07
B2	106,60	39,28	1,2	1,5	2.70
B3	62,69	47,24	0,51	0,60	1.11

Güçlendirilmiş numunelerde çapraz iki köşesinden bastırılan çerçevenin diğer çapraz köşegeninde beklenen uzaklaşmayı engelleyen çelik lamada bir çekme kuvveti ve buna bağlı olarak da lamanın boyunda bir uzama meydana gelmiştir. Çelik lamanın iki ucunda yer alan plakalara yerleştirilen iki adet LVDT'nin yatayda deplasman değerleri toplanarak çelik lamada meydana gelen uzama miktarı olan  $\Sigma\delta = \delta_2 + \delta_3$  değeri bulunmuş (Çizelge 3.7), çelik lamada oluşan çekme kuvveti ise

$$P_L = \frac{\sum \delta * E * F_L}{L}$$

denklemini kullanılarak hesaplanmıştır. Burada kullanılan çelik lamanın kesit alanı  $F_L=8 \times 30$  mm, plakalar arası lamanın boyu  $L=1560$  mm ve elastisite modülü  $E=2.1 \times 10^5$  N/mm<sup>2</sup> olarak alınarak, çelik lamada meydana gelecek  $P_L$  çekme kuvvetleri;

- A1 numunesi toplam deplasman  $\Sigma\delta=2.01$  cm olup,  $P_L=64.938$  kN < 98.55 kN,
- A2 numunesi toplam deplasman  $\Sigma\delta=1.70$  mm olup,  $P_L=54.923$  kN < 90.62 kN,
- A3 numunesi toplam deplasman  $\Sigma\delta= 3.20$  mm olup,  $P_L=103.385$  kN < 121.29 kN,
- B2 numunesi toplam deplasman  $\Sigma\delta= 2.70$  mm olup,  $P_L=87.231$  kN < 106.6 kN,

- B3 numunesi toplam deplasman  $\Sigma\delta= 1.11$  mm olup,  $P_L=92.077$  kN < 62.69 kN

olarak ayrı ayrı hesaplanmıştır. (Çizelge 3.8)

Ayrıca deneyler  $0,85P_{max}$  ve  $0,50P_{max}$  yüklemeleri için devam ettirilerek  $\delta_1$  değerleri okunarak, kesme etkisinde ankrajlarda meydana gelen göçmenin süneklikleri hakkında bilgi edinilmiştir.

**Çizelge 3.8.** Yük deplasman değerleri

Numune Adı	$P_{max}$ (kN)	$0,85P_{max}$ (kN)	$0,50P_{max}$ (kN)	$\delta_1$ (mm)		
				$P_{max}$	$0,85P_{max}$	$0,50P_{max}$
A1	90,62	77,02	45,31	41,82	47,85	58,05
A2	98,55	83,76	49,27	36,01	39,97	41,12
A3	121,29	103,09	60,64	45,19	47,46	48,72
B1	59,15	50,27	29,57	20,66	20,07	22,87
B2	106,60	90,61	53,35	39,28	42,31	44,39
B3	62,69	53,28	31,34	47,14	48,95	50,76

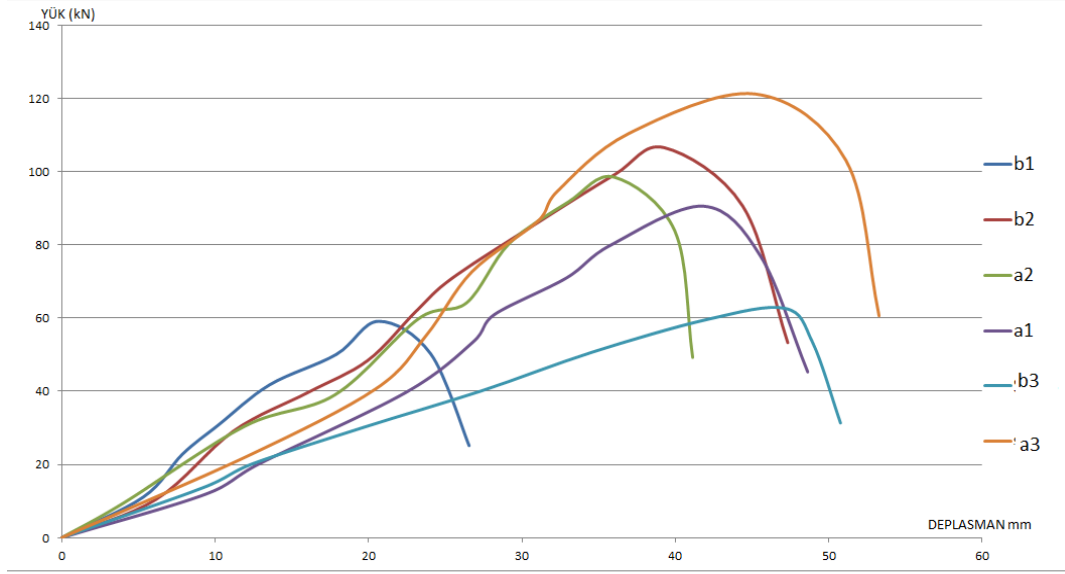
Ayrıca güçlendirilmemiş  $P_{maxB1}$  değerlerine oranları da hesaplanarak, güçlendirilmiş çerçevelerin güçlendirilmemiş numuneye oranla ne oranda sünek bir davranış ortaya koyduğu hakkında bilgi edinilmiştir. (Çizelge 3.9)

**Çizelge 3.9.** Güçlendirilmiş elemanların yük ve deplasman verilerinin B1 numunesi verilerine oranları

Numune Adı	$P_{max}/P_{maxB1}$	$0,85 P_{max}/0,85P_{maxB1}$	$0,50 P_{max}/0,50P_{maxB1}$	$\% 100\delta_c / \% 100\delta_{c B1}$	$\% 85\delta_c / \% 85\delta_{c B1}$	$\% 50\delta_c / \% 50\delta_{c B1}$
B1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
A1	1,53	1,53	1,53	1,53	2,02	2,38
A2	1,66	1,67	1,67	1,67	1,74	1,99
A3	2,05	2,05	2,05	2,05	2,19	2,36
B2	1,80	1,80	1,80	1,80	1,90	2,11
B3	1,05	1,06	1,06	1,06	2,28	2,44

B2 numunesi zayıf etriyeli olmasına rağmen ankraj uzunluğunun yeterli olması nedeniyle ikinci en iyi performansı göstermiştir. Güçlendirilmiş numuneler içinde 40 mm ankraj uzunluğuna sahip B3 numunesi ise en iyi beton sınıfına sahip numune olmasına rağmen ankraj uzunluğunun yetersiz olması nedeniyle güçlendirilmiş numuneler içerisinde en düşük performansı göstermiştir. Bu sonuçlar bize böyle bir güçlendirme çalışmasında ankraj uzunluğunun tespitinin ne derecede önemli olduğunu göstermiştir.

Güçlendirilmiş çerçevelerin, güçlendirilmemiş şahit numuneye oranla ankraj derinliğine bağlı olarak iki katından fazla yük artışı gösterdiği, ayrıca şahit numuneye oranla deplasman oranlarının da 2 katının üzerine çıktığı, daha sünek bir davranışa neden olduğu görülmüştür. (Şekil 3.37)



**Şekil 3.37.** 6 Adet deney numunesin yük-deplasman grafiği

Güçlendirilmiş çerçevelerin tamamında göçmenin birbirine benzer şekilde çelik dübelli ankrajlarda kesme etkisi altında betonda tek taraflı betonda ezilme yaptıktan sonra sıyrılarak yerinden çıktığı ve maksimum yük kapasitesine ulaşıldıktan sonra göçmelerin beklendiği şekilde ani olduğu gözlemlenmiştir.

6 adet numunenin en düşük beton dayanımı 16,27 MPa ile güçlendirilmemiş B1 referans numunesi olduğu ve 59,15 kN maksimum yük kapasitesine ulaşırken, düzlem dışından çift taraflı güçlendirilmiş, 60 mm ankraj derinliğine sahip, A3 numunesi 121,29 kN maksimum yük kapasitesi ile güçlendirilmemiş çerçevenin iki katı bir yük artışı ile en yüksek performansı göstermiştir.

A1 numunesinin beton dayanımı 25.43 MPa, ankraj boyu 65 mm ve A2 beton dayanımı 25.19 MPa, ankraj boyu 50 mm olup, beton dayanımları birbirine çok yakın olmasına rağmen, A2 numunesinin maksimum yük kapasitesi 90.62 kN iken ankraj boyu daha büyük olduğu için A1 numunesinin maksimum yük kapasitesi 98.55 kN ile daha yüksek bir performans göstermiştir.

**Çizelge 3.10.** Numunelere ait test sonuçları

Numune Adı	Beton Basınç Dayanımı $f_{cd}$ (MPa)	Açıklama	Ankraj boyu	Göçme Yüğü (kN)
A1	25,43	Güçlendirilmiş	65 mm,	98,55
A2	25,19	Güçlendirilmiş	50 mm,	90,62
A3	20,78	Güçlendirilmiş	60 mm,	121,29
<i>B1-Şahit</i>	<i>16,27</i>	<i>Güçlendirilmemiş</i>	-	<i>59,15</i>
B2	21,67	Güçlendirilmiş	75 mm,	106,60
B3	31,38	Güçlendirilmiş	40 mm,	62,69

**Çizelge 3.11.** Güçlendirmenin performansa katkısı ve bir dübele gelen yük

Numune	$P_{max}$ yükü (kN)	Beton dayanımı ( $N/mm^2$ )	Ankraj boyu (mm)	Güçlendirme katkısı (kN)	Güçlendirme katkı oranı (%)	Bir dübele gelen yük (kN)
	$P_{max}$	$f_{cd}$	$L_{ab}$	$P_{max}-59,15$		$P_1$
<i>B1-Şahit</i>	<i>59,15</i>	<i>16,27</i>	<i>0</i>	<i>0,00</i>	-	<i>0,00</i>
A1	98,55	25,43	65	39,40	67	9,85
A2	90,62	25,19	50	31,47	53	7,87
A3	121,29	20,78	60	62,14	105	7,77
B2	106,60	21,67	75	47,45	80	11,86
B3	62,69	31,38	40	3,54	6	0,89

Çizelge 3.10-11'de  $P_{max}$  yüküne bağlı olarak Ø10'luk ankraj dübellerindeki performans artışının, ankraj derinliğine ve beton dayanımına bağlı olarak değiştiği görülürken, kesmede gözlenen bu performans artışına, ankraj derinliğindeki artışın sebep olduğu görülmektedir. Değişken parametre olan beton dayanımı ve anraj derinliğine bağlı olarak sistemin ve bir dübelin maksimum kesmede yükleri arasında var olan en uygun bağıntılar, SPSS İstatistiksel Paket Programı ile regrasyon değerleri dikkate alınarak, ankraj derinliği  $L_{ab}$  ile sistemin maksimum taşıma kapasitesi  $P_{max}$  arasındaki en uygun bağıntının lineer olduğu, bulunan lineer bir bağıntı ile kurulan modelde  $F$  değerinin 12.218,  $p$  değerinin ise 0.04 olduğu ve

0.05'den küçük olduğu için kurulan bağıntının anlamlı olduğu, regrasyon değeri  $R^2=0.80$  ile aralarındaki lineer bağıntının;

$$P_{\max}=53.093 + 0.662 L_{ab}$$

olduğu, ankraj derinliği  $L_{ab}$ 'ye ek olarak beton dayanımı  $f_{cd}$ 'nin de dikkate alınması durumunda, bu iki değişkene bağlı olarak sistemin maksimum taşıma kapasitesi  $P_{\max}$  arasındaki en uygun bağıntının lineer olduğu, bulunan lineer bir bağıntı ile kurulan modelde  $F$  değerinin 25.434,  $p$  değerinin 0.03 olduğu ve 0.05'den küçük olduğu için kurulan bağıntının anlamlı olduğu, daha yüksek bir regrasyon değeri  $R^2=0.96$  ile aralarındaki lineer bağıntının;

$$P_{\max}=87.593 + 0.8 L_{ab} - 1.7 f_{cd}$$

olduğu görülmüştür.

Benzer şekilde, bir perçinin maksimum keme kapasitesi  $P_{1\max}$  ile  $f_{cd}$  ve  $L_{ab}$  arasında bulunan en uygun bağıntının lineer olduğu ve bu bağıntı ile kurulan modelin  $F$  değerinin 25.393,  $p$  değerinin 0.03 olduğu ve 0.05'den küçük olduğu için kurulan bağıntının anlamlı olduğu, daha yüksek bir regrasyon değeri  $R^2=0.96$  ile aralarındaki lineer bağıntının;

$$P_{1\max}=7.102 + 0.2 L_{ab} - 0.426 f_{cd}$$

olduğu görülmüştür. Burada ankraj derinliğinin artması ile bir ankraj dübelinin taşıma kapasitesinin arttığı, ancak beton dayanımının artması ile ankraj dübelinin taşıma kapasitesinin azaldığı görülmektedir. Beton mukavemetinin düşük olması durumunda, ankrajın beton yüzeyine yakın basınç alan bölgesi daha derin ezilmek suretiyle sadece kesme etkisinde olan ankraj dübelinin çekme olarak, hem daha sünek, hemde daha yüksek bir performans sergilemesine neden olduğu bulgusuna ulaşılmıştır.

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Laboratuvar koşullarında hazırlanmış 6 adet tek gözlü betonarme kiriş-kolon çerçeve numunesi, hem yatay deprem yükünü hem de düşey yükleri temsil edecek şekilde bir yükleme modeli kullanılarak test edilmiştir. Bir adet numune güçlendirilmeden referans numune olarak test edilmiş, beton mukavemetleri farklı olan diğer 5 adet numune ise farklı ankraj derinliklerinde güçlendirilerek statik yükler altında test edilmiştir.

Deney sonucunda farklı ankraj derinliklerinde çelik lama ile, eksen düzleminin dışından yani çerçevenin tek yüzünden güçlendirilmiş dört adet ve iki yüzünden güçlendirilmiş bir adet olmak üzere toplam 5 adet tek gözlü betonarme çerçevenin, güçlendirilmemiş çerçeve sisteme oranla iki katın üzerinde bir performans artışı sergilediği gözlemlenmiştir.

Ankraj dübellerinin ankraj derinliğine ve beton dayanımına bağlı olarak kesmede performansına ilişkin yapılan deneyler esnasında yapılan gözlemler ve alınan veriler neticesinde;

- Güçlendirilmemiş referans numunenin kolon-kiriş orta bölgelerinde herhangi bir hasar oluşmazken, düğüm noktalarında maksimum olan kesme ve eğilme momentinin etkisi ile çatlak ve hasarların kolon kiriş birleşim bölgelerinde diyagonal olarak meydana geldiği,
- Güçlendirme ile çerçeve elemanlarda kesme kuvvetinin azaldığı, oluşan kesmelerinde betonun tarafından karşılandığı için, etriyenin bir katkısı bu güçlendirilmiş deneylerde görülemezken, zayıf etriyeli numunelerle güçlü etriyeli numunelerde gerek çerçevelerin taşıma kapasitesi, gerekse şekil değişikliği bakımından herhangi bir katkısının olmadığı,
- Güçlendirilmiş numunelerin düğüm noktalarında, çapraz çelik lama ile oluşturulan iki adet üçlü kapalı kuvvet poligonuna dönüşmesi ile, maksimum

olan kesme kuvvetinin azaldığı ve elemanlarda aksel basınç yükünün etkin hale geldiği, ankraj noktalarındaki göçmelerin belirginleşmesi ile birleşim bölgelerinde, kesme kuvvetine oranla daha etkin olan eğilme momentinin etkisi ile, hasarların eğilme çatlakları şeklinde meydana geldiği,

- Güçlendirilmemiş çerçeveye oranla birleşim bölgelerine çelik dübel ankrajlarla güçlendirilmiş çerçevelerin göçme şekli her ne kadar sünek olsa da, en zayıf tasarlanan bağlantıda göçme şeklinin beklenen düzeyde sünek olmadığı için, gerçek güçlendirmelerde en güçlü tasarlanması gereken bölümün bağlantı noktası olması gerektiği görülmüş,
- Yapılan istatistiki değerlendirmeler sonucunda kolon-kiriş düğüm noktalarında çelik dübellerle yapılan ankrajlanmanın performansı irdelenmiş ve ankraj derinliğine bağlı olarak  $R^2=0.80$  regresyonla anlamlı bir bağıntı elde edilirken, katkısı çok düşük olan beton dayanımının da katkısı dikkate alınarak, hem sistemin göçme, hem de bir ankrajın kesme yükü arasında ki  $R^2=0.96$  regresyon ile çok daha anlamlı bağıntılar bulunmuştur.

Yapılan bu deneysel çalışmalara ek olarak;

- Ani bir göçme sergileyen böylesine rijit bir birleşim yerine daha sünek birleşimler hazırlayarak sistemin artan enerji yutma kapasitesinin belirlenmesi,
- Farklı türde dolgu duvarlı çerçevelerin sıvanın da katkısı göz önüne alınarak, güçlendirmeli ve güçlendirmesiz performansının belirlenmesi,
- Tersinir yükler etkisi altında betonarme çerçevelerin düzlem dışı çift taraflı çapraz çelik elemanlarla güçlendirilerek performansının belirlenmesi,
- Daha farklı derinliklerde hazırlanacak daha fazla sayıda numuneler test edilerek, ankraj derinliğine bağlı olarak çelik dübellerin kesmede performansına ilişkin daha anlamlı bağıntıların çıkarılması,



- Güçlendirilmiş çerçeveler içinde en düşük beton dayanımı 20,78 MPa olup, daha da düşük beton mukavemetleri için bu ankraj dübellerinin performansının araştırılması, ülkemizde güçlendirme gerektiren daha düşük beton mukavemeti olan büyük oranda betonarme yapı stokunun, kullanılmakta olan binaların daha ucuz ve hızlı bir şekilde dışarıdan güçlendirilebilmesi adına büyük önem arz edecektir.



## KAYNAKLAR

- Akın S. K., Betonarme Çerçevelerin Çapraz Çubuklar Yardımıyla Güçlendirilmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 2006
- Bartera F. Giacchetti R., "Stell dissipating braces for upgrading existing building frames", Journal of Constructional Steel Research 60, 751-769, 2004
- Can H., Çelik Korniyerler ile Güçlendirilmiş Onarılmış Betonarme Kolonların Eksenel Yük Altında Davranışı IMO Teknik Dergi, 1363-1371, 1997
- <http://www.pretonyapi.com/wp-content/uploads/2014/09/%C3%A7elik-bina-g%C3%BC%C3%A7lendirilmesi.jpg>, (Erişim tarihi: 10.12.2015)
- <http://www.taykon.tk/resources/projeler/iyte/iyte07.jpg>, (Erişim tarihi: 10.12.2015)
- Kaltakçı M. Y., Akın S. K., Kara N., Betonarme Çerçevelerde Kısmi Kuşaklamamın Etkinliği Üzerine Deneysel Bir Çalışma, Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Teknik-Online Dergi Cilt 7, Sayı:2, 2008
- Maheri M.R. , Sahebi A., Use of steel bracing in reinforced concrete frames, Engineering Structures, Vol.19, No.12, pp. 1018-1024, 1996,
- Maheri M.R., Akbari R., Seismic Behaviour Factor, R, For Steel X-Braced and Knee-Braced RC Buildings, Engineering Structures 25 ,1505-1513, 2003
- Nesrin YARDIMCI, Prof. Dr. Kerem PEKER, Yatay Yük Davranışı Zayıf Betonarme Çerçevelerin Çelik Çaprazlı Perdeler İle Güçlendirilmesi, 2-10, 2005
- Phocas M.C., Pocanschi A., Steel Frames With Bracing Mechanism And Hysteretic Dampers, Earthquake Engineering And Structural Dynamics 32, 811-825, 2003

Taghdi M., Bruneau M., Saatcioglu M.,1998,"Seismic Retrofit Of Non-Ductile Concrete And Masonry Walls By Steel-Strips Bracing" 11th European Conference On Earthquake Engineering, Balkema, Rotterdam, ISBN 90 5410 982 3



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Fatih YOLDAŞ

Doğum Tarihi : 03/04/1985

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu : Lisans

Lisans : Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi

Yüksek Lisans : Kırıkkale Üniversitesi

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl/Yıllar:

2007 - 2008 Teknotes A.Ş.

2008 - 2010 Mim Mühendislik A.Ş.

2010 – Devam ediyor Çevre ve Şehircilik Bakanlığı

Araştırma Alanları : Çelik Yapılar, Güçlendirme, Yapı Malzemeleri, Kentsel Dönüşüm