

HASARLI DİKDÖRTGEN KESİTLİ BETONARME KİRİŞLERİN  
BETONARME MANTOLAMA ONARIMI ÜZERİNE DENEYSEL BİR  
ARAŞTIRMA

126101

Ömer CAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
YAPI EĞİTİMİ

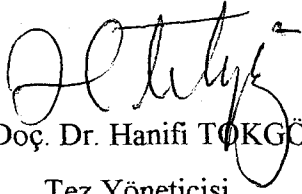
T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ağustos 2002  
ANKARA

126101

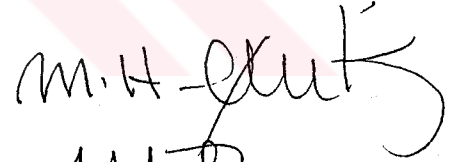
Ömer CAN tarafından hazırlanan HASARLI DİKDÖRTGEN KESİTLİ  
BETONARME KİRİŞLERİN BETONARME MANTOLAMA ONARIMI  
ÜZERİNE DENEYSEL BİR ARAŞTIRMA adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi  
olarak uygun olduğunu onaylarım.

  
Yrd. Doç. Dr. Hanifi TOKGÖZ  
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Yapı Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi  
olarak kabul edilmiştir.

Başkan

: Prof. Dr. M. Hakkı GELİK



Üye

: Doç. Dr. H. Yılmaz ARUNTAS



Üye

: Yrd. Doç. Dr. Hanifi TOKGÖZ



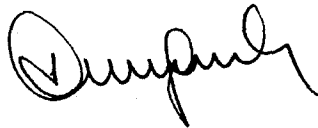
Üye

: .....

Üye

: .....

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	7
3. MATERYAL VE METOD.....	23
3.1. Materyal.....	23
3.1.1. Deneyde Kullanılan Kıрма Kum ve Kıрма taş.....	23
3.1.2. Çimento.....	23
3.1.3. Donatı.....	24
3.1.4. Katkı Malzemeleri.....	24
3.1.5. Kiriş Kalıp Malzemesi.....	24
3.2. Metot.....	24
3.2.1. Agregaya İlgili Yapılan Deneyler.....	25
3.2.2. Çimento Dozajı Deneyi.....	27
3.2.3. Donatı Çeliği İle İlgili Çekme Deneyleri.....	27
3.2.4. Deneysel Çalışmada Kullanılan Beton Numunelerin Deneyi.....	30
3.2.5. Deney Düzenegi.....	31
3.2.5.1. Deney elemanları.....	33
3.2.5.2. Kirişlere donatının yerleştirilmesi.....	34
3.2.5.3. Deney elemanlarının taşıma gücü.....	36
3.2.5.4. Deney elemanlarının detayları.....	36
3.2.5.5. Deney kirişlerine hasar verilmesi.....	38
3.2.6. Hasar Görmüş Kirişlerin Onarımları.....	39
3.2.7. Onarımı Yapılan Kirişlerin Kırılmasında Deney Düzeni.....	40
3.2.7.1. Yükleme Düzenegi.....	41
3.2.7.2. Ölçme Düzenegi.....	42
3.2.8. Kirişlerde Teorik Taşıma Gücü Hesabı.....	42
3.2.8.1. Kiriş taşıma gücünün değerlendirilmesi.....	44
3.2.9. Kiriş Deplasman Ölçülerinin Değerlendirilmesi.....	45
3.2.9.1. Yük-Deplasman ilişkisi.....	45
3.2.9.2. Süneklik oranlarının hesabı.....	46
3.2.9.3. Kirişlerde rijitlik hesabı.....	47
3.2.9.4. Enerji tüketimi hesabı.....	48
4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA.....	49
4.1. Deneysel Bulgular.....	49
4.1.1. Kiriş deplasman ölçülerinin değerlendirilmesi.....	49

4.1.2.	Yük-Deplasman İlişkisi.....	49
4.1.3.	Süneklik Oranlarının Hesabı.....	51
4.1.4.	Kirişlerde Rijitlik Hesabı.....	52
4.1.5.	Enerji Tüketimi Hesabı.....	53
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	55
	KAYNAKLAR.....	58
	ÖZGEÇMİŞ.....	65



**HASARLI DİK DÖRTGEN KESİTLİ BETONARME KİRİŞLERİN  
BETONARME MANTOLAMA ONARIMI ÜZERİNE DENEYSEL BİR  
ARAŞTIRMA**

(Yüksek Lisans Tezi)

Ömer CAN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Ağustos 2002

**ÖZET**

Yapı hasarlarının nasıl ve neden oluştuğu incelenerek belirlenen hasara uygun bir onarım ve güçlendirme yöntemi seçilir. Bu yöntemle onarılmış-güçlendirilmiş, betonarme kirişlerin, düşey yükler altındaki davranışları bilinmesine rağmen, depremin yükleri ve çeşitli nedenlerle hasar gören kirişlerin yük altındaki davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Bu çalışmanın amacı kirişlerin depreme karşı onarılması için yöntem araştırmak değildir. Bu çalışmada kirişlerin, betonarme mantolama ile onarım yöntemlerinin davranış ve dayanım üzerindeki etkileri incelenmiştir. Onarılan kirişlerin yük-deplasman ilişkisi, rijitliği, sünekliği ve enerji yutma kapasiteleri araştırılmıştır. Betonarme mantolama yöntemi ile onarılan kirişlerin yük altında başarılı bir davranış ve süneklik sergilediği görülmüştür.

**Bilim Kodu** : 2251001

**Anahtar Kelimeler** : Betonarme kirişler, hasar, onarım, güçlendirme, mantolama,

**Sayfa Adedi** : 63

**Tez Yöneticisi** : Yrd. Doç. Dr. Hanifi TOKGÖZ

**AN EXPERIMENTAL STUDY ON REPAIR OF DAMAGED BEAMS  
HAVING RECTANGULAR SECTION WITH REINFORCED CONCRETE  
JACKETING  
(M. Sc. Thesis)**

**Ömer CAN**

**GAZI UNIVERSTY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

**August 2002**

**ABSTRACT**

Repairing and strengthening methods are chosen according to determined damage type by the investigation of reasons of the structural damage. Although the behaviour of repaired and strengthened beams under vertical loads is known, the behaviour of such beams under earthquake loading and normal loading conditions were tested. The purpose of this study is not to investigate methods to repair beams against earthquakes. In this study the effect of repairing methods by reinforced concrete jacketing on the behaviour and strength of beams were investigated. Load-deformation relationship, rigidity, deformability, and energy absorption characteristics of strengthened beams were investigated. It was seen that, beams which were strengthened by reinforced concrete jacketing show a successful behaviour, under loading.

**Science code : 2251001**

**Key words : Reinforced concrete beams, damage, repairing, strengthening, jacketing**

**Number of pages : 63**

**Thesis Adviser : Yrd. Doç. Dr. Hanifi TOKGÖZ**

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmada bana rehberlik eden ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Hanifi TOKGÖZ' e Bölüm Başkanım Prof. Dr. Haluk ÇELİK'e Dr. Ali KOÇAK' a sayın hocam Prof. Dr. Ergin ATIMTAY'a deney düzeneğinin kurulmasında yardımcı olan Yapı Eğitimi Ana Bilim Dalındaki sayın hocalarıma, malzeme temininde yardımcı olan Yibitaş-Lafarge firmasından mühendis Abdülkadir BAŞKOCA' ya Sika firmasından Hazım ÜLGEN'e deneyin yapılması ve tezin yayına hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen tekniker arkadaşlara Afet İşleri Genel Müdürlüğü Mekez Laboratuvarı Müdürü Yaşar YÜRÜMEZ'e ve çalışmanın her aşamasında bana destek olan ve yardımlarını esirgemeyen Öğr. Gör. Musatafa ÖNAL'a katkıları ve yardımlarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim.



## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. C16 Agrega granülometri eğrisi.....	26
Şekil 3.2. C30 Agrega granülometri eğrisi .....	26
Şekil 3.3. a, b Deneyde kullanılan donatı çeliğinin gerilme-birim deformasyon ilişkisi.....	31
Şekil 3.4. a,b,c Deney düzeneği fotoğrafı.....	32-33
Şekil 3.5. Kirişlere donatının yerleştirilmesi.....	35
Şekil 3.6. a, b, c Deney numune detayı.....	37
Şekil 3.7. Mantolanmış deney numunesi detayı.....	40
Şekil 3.8. Mantolanmış deney numunesi detayı fotoğrafı.....	40
Şekil 3.9. Mantolanmış deney numunesinin düzeneğe yerleştirilmesi.....	41
Şekil 3.10. Yükleme düzeneği.....	41
Şekil 3.11. Dikdörtgen kesitli kiriş.....	43
Şekil 3.12. Kirişlerde oluşan çatlaklar.....	44
Şekil 3.13. Herhangi bir kirişin deformasyonunun ölçülmesi komparatör ve LVDT yerleşim yeri.....	46
Şekil 3.14. Yük ve deplasman grafiği.....	50-51



**ÇİZELGELERİN LİSTESİ**

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3.1. Deneysel elemanları.....	34
Çizelge 3.2. C16 elek analizi.....	25
Çizelge 3.3. C30 elek analizi.....	26
Çizelge 3.4. P.Ç.42,5 özellikleri.....	27
Çizelge 3.5. Çelik çekme deneyi sonuçları.....	28
Çizelge 3.6. Donatı çeliği sınıfı ve dayanım değerleri.....	29
Çizelge 3.7. Betonda Kullanılan Malzeme Miktarları.....	30
Çizelge 3.8. Beton dayanım testleri sonuçları.....	31
Çizelge 3.9. Üretilen kirişlere ait boyut ve geometrik özellikleri.....	35
Çizelge 3.10. Üretilen kirişlerin donatısı, dayanımı ve mekanik özellikleri.....	38
Çizelge 3.11. Kirişlerin süneklik oranları.....	52
Çizelge 3.12. Kirişlerin eğilme rijitlikleri.....	53
Çizelge 3.13. Kirişlerin enerji yutma kapasitesi.....	54

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simge ve kısaltmalar açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
$\delta$	Toplam uzama
$\varepsilon$	Uzama oranı
$\phi_b$	Donatı oranı
$\varepsilon_c$	Beton büzülmesi
$\varepsilon_{cu}$	Betonun büzülme katsayısı
$\varepsilon_s$	Donatı uzaması
$\varepsilon_{su}$	Yapı çeliğinin kopmadaki uzaması
$\varepsilon_{sy}$	Yapı çeliğinin akmadaki uzaması
$\sigma_u$	Kopma gerilmesi
$\phi_u$	Kopma anındaki eğrilik sünekliği
$\Delta u$	Akma anındaki öteleme sünekliği
$\sigma_y$	Akma gerilmesi
$\phi_y$	Akma anındaki eğrilik sünekliği
$\Delta y$	Akma anındaki öteleme sünekliği
$A$	Kesit Alanı
$A_s$	Kirişteki çekme donatısı oranı
$b_w$	Kiriş gövde genişliği
$d$	Faydalı yükseklik
$D_s$	Çubuk anma çapı
$E$	Elastisite modülü
$f$	Orta noktada deplasman miktarı
$F_c$	Beton dayanımı
$F_{cd}$	Beton hesap dayanımı
$F_{ck}$	Deneysel olarak bulunan beton silindir basınç dayanımı
$F_{ctf}$	Beton karakteristik basınç dayanımı
$F_{max}$	Orta açıklıkta sehim
$F_s$	Çekme donatısı
$F_{su}$	Deneysel olarak bulunan donatı çekme dayanımı
$F_{sy}$	Donatı akma dayanımı
$f_{yd}$	Yapı çeliği hesap dayanımı
$F_{yk}$	Deneysel olarak bulunan donatı akma dayanımı
$G$	Çubuk ağırlığı
$H$	Kiriş yüksekliği
$I$	Atalet momenti
$kN$	Kilo newton
$kNm$	Kilo newton metre
$L$	Kavrama uzunluğu

<b>M</b>	Monolitik (Monolithic)
<b>Mcr</b>	Kritik moment
<b>Mr</b>	Taşıma gücü
<b>P</b>	Açıklık ortasında etkiyen yük
<b>Psu</b>	Donatı çekme yüküne göre hesaplanan göçme yükü
<b>Pu</b>	Donatı akma yüküne göre hesaplanan göçme yükü
<b>Py</b>	Akma yükü
<b>q</b>	Kesit içindeki donatı oranı
$\mu_{\Delta}$	Süneklik

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
--------------------	-----------------

<b>C16</b>	Beton Sınıfı
<b>C30</b>	Beton Sınıfı
<b>K1</b>	Birinci giriş modeli
<b>LVDT</b>	Elektronik deplasman ölçer
<b>Pç 42.5</b>	Portlant Çimentosu 42.5
<b>RKM1</b>	Birinci Referans Giriş
<b>S420</b>	Yapı Çeliği
<b>St 37</b>	Yapı çeliği

## 1. GİRİŞ

Taşıyıcı sistemi betonarme olan yapı, uygulama alanı çok geniş olan bir yapıdır. Betonarme yapının uygulama alanının geniş olmasının nedeni, ekonomik olması, istenildiği gibi şekil verilmesi, taşıyıcı elemanlarının kesitlerinin yapım kuralları içerisinde kalmak kaydıyla, mimarî bakımdan değişken olması ve en önemlisi de istenilen amaca çok iyi bir şekilde cevap vermesidir.

Betonarme taşıyıcı sistemleri, yapısı homojen olmadığı ve davranışı da bu yüzden doğrusal elastik olmadığı bilinmektedir. Taşıyıcı elemanları betonarme olan üst yapılar, köprüler, istinat duvarları, tüneller, su yapıları vb. bütün yapıların tasarımında izlenecek aşamalar bellidir. Önce tasarım yapılır, çözüm yöntemi seçilir ve sistem kesitinde meydana gelebilecek etkiler bulunur, buna göre gerekli boyutlar ve donatı seçilir. Seçilen boyutlara göre betonarme taşıyıcı çerçeve yerinde dökülerek bina yapılır. Yapılan betonarme binalar, zamanla gerek aşırı yüklemeye gerekse kullanılan donatının korozyonundan çeşitli sebeplerle deprem, yangın vb. gibi etkilere maruz kaldıklarında hasar görürler. Dolayısıyla yapı elemanlarının taşıma gücünde zayıflama olur. Mevcut betonarme yapı elemanları çeşitli nedenlerle hasar gördüklerinde onarımı gerektirirler. Betonarme taşıyıcı sistemlerde hasara neden olan faktörler aşağıda sıralanmıştır:

- İlave ağırlıklar, hareketli yükler,
- Deprem ve rüzgar etkileri,
- Sıcaklık değişimleri,
- Büzülme ve sünme,
- Mesnet çökmeleri,
- Çarpma,
- İnfilak (patlama),
- Dış ortamın etkileri ve yaşlanma,
- Yangın,
- Yorulma gibi etkilere.

Bu etkiler altında yapıda bazı kusurlar ve/veya kalite ve özellik kayıpları oluşabilir (Demir, 2000). Oluşan bu kusurlar bazen hemen, bazen de zamanla yapıyı güvensiz duruma sokar. Bu durumda yapının onarımı veya güçlendirilmesi gerekir. Hasarın durumuna göre içerisinde bulunan insanların ve malların riske girmemesi için onarımı mümkün olabilecek bir hasarsa onarılır veya güçlendirilir. Onarımı mümkün görünmüyorsa bina yıkılır.

Onarım, görünüş ve kullanım bakımından hasar görmüş bir yapının veya onun birkaç elemanın önceki haline getirmek için yapılan çalışma ve değişikliktir. Önceki haline getirilişi, onun görünüşü, kullanımı, yük taşıma kapasitesi, rijitliği, diktülitesi ve dayanıklılığı bakımından olabilir.

Güçlendirme, bir yapının yük taşıma kapasitesini, rijitliğini, diktülitesini ve stabilitesini veya bunlardan bazılarını önceki veya mevcut durumunun üzerine çıkarmak için yapılan çalışma ve değişikliktir.

Görülüyor ki onarımda amaç önceki duruma geri getirmektir. Bu kullanım bakımından olabileceği gibi, mukavemet gibi mekanik karakteristikler bakımından da olabilir. Güçlendirmede amaç, mukavemet ve benzeri karakteristikleri önceki düzeyin üstüne çıkarmaktır. Onarımın hasar görmüş bir yapıda yapılmasına karşın güçlendirme için yapının hasar görmüş olması gerekmez. Hasar görmemiş bir yapının da takviyesi söz konusu olabilir. Taşıyıcı elemanlarda meydana gelen hasarlar incelendiğinde şu sebeplerden olduğu dikkati çekmektedir (Sorguç, 2000):

- a) Mühendislik hataları ile doğan hasarlar,
- b) Bilgisizlik ve dikkatsiz uygulamadan doğan hasarlar(işçilik),
- c) Kullanım amacının değişmesi ve mühendislik konularındaki bazı belirsizlikten dolayı doğan hasarlar,
- d) Kalitesiz malzeme kullanımı ile doğan hasarlar.

a) *Mühendislik hataları ile doğan hasarlar:*

- Her iki doğrultuda deprem hesabının yapılmaması,
- Yapının temelinde ve üst katlarda yeterince taşıyıcı perdenin bulunmaması,
- Yapılan taşıyıcı perdenin simetrik olmaması,
- Zemin emniyet gerilmesi gücünün üzerinde kat yapılması,
- Zemin etütlerinin hemen hemen hiç yapılmaması,
- Bodrum ve zemin katlarda kademeli kolon uygulamasının yapılması,
- Taşıyıcı sistemin düzenli olmaması ve kesitlerin girintili, çıkıntılı planlanması ve yapılması,
- Binanın çok girintili , çıkıntılı olması dolayısı ile taşıyıcı kirişlerin aynı doğrultuda yapılmaması,
- Yönetmelik ile sınırlandırılmış taşıyıcı eleman ölçülerine uyulmaması,
- Temel tasarımının zemin sınıfına ve etüdüne göre yapılmaması,
- İki bina arasında veya uzun yapılarda dilatasyon derzinin bırakılmaması.

b) *Bilgisizlik ve dikkatsizlikten doğan hasarlar(işçilik):*

- Etriye aralıklarının proje esaslarında olduğu gibi yapılmaması,
- Boyuna konulan ana donatının yeterince konmaması,
- Taşıyıcı donatıların gereği gibi ankre edilmemesi,
- Donatı aralıklarına gerekli özenin gösterilmemesi,
- Taşıyıcı olmayan bölme duvarların ve bacaların devrilmesi,
- Döşemelerde yalıtım malzemelerinin boşluklarının doldurulması sebebiyle yükün artırılması,
- Betonun sınıfının istenilen değerde olmaması,
- Deprem Mühendisliği konusundaki bir takım belirsizlikten doğan diğer hatalar ve hasarlar.

c) *Kullanım amacının değişmesi ve mühendislik konularındaki bazı belirsizlikten dolayı doğan hasarlar:*

- Zemin dinamiği disiplininin mühendislik pratiğine yansımıyor olması,
- Dolgu zeminin yük altında ayrışması,

- Yüklerin yer değiştirmesi,
- Komşu iki arsada deprem etkilerinin farklılık göstermesi,
- Sıvılaşma etkisi ile titreşim hareketleri arasındaki bağlantının belirlenememesi.

d) *Kalitesiz malzeme kullanımı ile doğan hasarlar:*

- Türk Standartları Enstitüsü onayı alınmamış malzeme kullanılması,
- Projedeki ile farklı nitelikteki malzemenin kullanılması,

Tolerans gösterilecek sınırların dışına çıkılması durumunda yapının hasar gördüğünden veya hasarlı duruma geldiğinden ve yapı güvenliğinin tehlikeye girmesinden bahsedilir.

Belirli bir onarım ve güçlendirme içinde ne ve nasıl yapılacağı içinde bulunan şartlara göre değişmektedir. Bu durumun belirlenmesinde, hasar sınıflarının genel tanımı ve yapı elemanlarında hasar aşamaları beş hasar düzeyinde incelenmiştir. Taşıyıcı elemanlardan araştırma konusu seçilen kirişlerde hasar düzeyleri maddeler halinde verilmiştir. Hasarlı binaların, kirişlerin onarım ve güçlendirilmesinde çatlakların ve parça kopmalarının onarım metotları belirtilmiştir.

Betonarme kirişler, genelde yatay eğilme altında çalışan ve enine kesit boyutları uzunluğuna göre daha küçük olan taşıyıcı elemanlardır. Genelde iki ucundan kolonlara mesnetlenirler. Bazen de bir ucu başta olan konsol kirişler de yapılmaktadır.

Az Hasarlı (I) : Kılcal kayma çatlağı varsa çatlak genişliği < 0,2 mm

Hafif Hasarlı (II) : İnce kayma çatlağı varsa 0,2 < çatlak genişliği < 1 mm

Orta Hasarlı (III) : Sarılmış olan betonda geniş ya da büyük kayma çatlakları varsa 1mm < çatlak genişliği < 5mm donatılar açığa çıkmışsa

Ağır Hasarlı (IV) : Büyük kayma çatlağı varsa çatlak genişliği 5mm den büyük parçalar halinde pas payı varsa

Göçme yada Çok Ağır Hasarlı (IV) :Burkulmuş veya kırılmış donatı gözleniyorsa, sarılmış beton ezilmişse, döşemede çökme, oturma, eğrilik gözle fark ediliyorsa

Döşeme çevresinde kuşak oluşturan kirişler, mesnetlerde dikdörtgen kesit ve açıklık bölgelerinde ise tablalı olarak çalışırlar. Teknolojik bakımdan ön gerilmeli, ön dökümlü, yerinde dökümlü ve art germeli olarak sınıflara ayrılırlar. Kirişlerin bir eğilme elemanı gibi çalışması ve tanımlanması için  $N_d \leq 0.1f_{ck}A_c$  koşulunu sağlaması gerekmektedir (TS 500, 2000).

Bu çalışmada, betonarme taşıyıcı sistemler de, düşey yükler altında hasar gören ve onarımı mümkün olan ( orta hasarı aşmayacak durumda ) betonarme dikdörtgen kesitli basit kirişlerin mantolanması araştırılmıştır.

Günümüzde düşey yükler altında hasar görmüş olan genelde büyük açıklıklı sanayi yapılarında, organize sanayi sitelerinde, köprülerde, deprem yüküne maruz bütün yapılarda kullanılan betonarme kirişler açıklık boyunca meydana gelen kesit tesirleri değişimi dikkate alınarak projelendirilip boyutlandırılır ve donatı seçilir. Normal donatılı dikdörtgen kesitli eğilme dayanımı yeterli olmayan betonarme kirişlerin eğilme dayanımını arttırmayı amaçlayan bu çalışmada, kiriş alt çekme bölgesinden etriye ve ilave donatı ekleyerek mantolama, kiriş çevresini tam etriyelerde ve altta ilave donatı ekleyerek, maksimum yüke kadar yüklenecek yöntemlerin etkinliği matematiksel teorik çalışmaya girilmeden, sadece deneysel olarak araştırılması hedeflenmiştir.

Çalışmanın amacı, betonarme dikdörtgen kesitli basit kirişlerde tam mantolama yöntemini incelemektir. Son yıllarda meydana gelen depremlerle hasara sebep olan diğer nedenlerle, konunun öneminden dolayı gerek yurt içinde gerekse yurt dışında bu konu ile ilgili yapılan çalışmalar incelenerek, bundan sonraki yapı hasarı uygulamalarında nelere dikkat edilmelidir ve uygulamaya nasıl daha etkili bir şekilde katkıda bulunulabilir gibi düşüncelerden hareket edilerek plan yapılmıştır. 9 adet kiriş üzerinde çalışma yapılması planlanmıştır. Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim



Fakültesi Yapı Mekaniği Laboratuvarında tabii ortamda 10 x 16 cm kesitli 220 cm boyunda 6 adet kiriş, C 16 beton ve S420 yapı çeliği kullanılarak üretilmiştir.



## 2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bugüne kadar konu ile ilgili birçok kuramsal ve deneysel çalışma yapılmıştır. Burada çalışma konusuna temel teşkil edecek literatür taraması yapılmış ve konu ile ilgili birçok uzman ve araştırmacı tarafından yapılan hasar onarımı ve deneysel çalışma sonucunda bilimsel olarak belirlenmiş problemlere ilişkin çözüm önerileri incelenmiştir.

Kamanlı (1999), betonarme prefabrik olarak yapılan büyük açıklıklı sanayi yapılarında yük ve açıklığın bulunduğu yapı elemanlarında hem ağırlık hem de büyük açıklıkları geçme bakımından kesitin ve malzemenin bir hayli önem kazandığı düşünülerek, değişken kesitli kirişlerin davranışını hem geleneksel olarak kullanılan normal beton hem de hafif beton kullanılarak incelenmesi iki malzemenin de davranışında önemli sonuçlar ortaya koyacağı amaçlanmıştır.

Her iki malzemeden de üretilerek sabit ve değişken kesitli kirişlerin basit eğilme altındaki davranışı, yük-sehim ve moment-eğrilik ilişkileri, çatlama durumu, enerji yutma kapasitesini belirlemek amacı ile yapılan çalışma iki malzemeden üretilen kirişler arasında karşılaştırma yapılmıştır. Bu amaçla normal ve hafif beton kullanılarak muhtelif boyutlarda ve değişik donatı yüzdelerine sahip üretilen betonarme kirişler 28. günde S.Ü. İnşaat Müh. Yapı Laboratuarında eğilme deneyine tabii tutularak, deneysel veriler alınmıştır. Teorik olarak hesaplanan değerlerle karşılaştırma yapılmıştır.

Bu deneyde elde edilen sonuçlar kısaca özetlenmiştir. Davranış bakımından nervürlü donatılı kirişlerde, düz yüzeyli donatıya nazaran çatlak sayısı daha fazla ve kılcal yüzeyde kaldığı görülmüştür. Hafif betondan imal edilmiş kirişlerde de normal betondan imal edilen kirişlere benzer bir süreklilik izlenmiştir. Gerek yük-sehim eğrilerinden gerekse moment-eğrilik ilişkileri incelendiğinde, kirişlerin eğilme altındaki taşıma ve akma yüküne ulaşmasında beton basınç dayanımının ve beton kalitesinin etkisinin çok az olduğu belirleyici faktörün donatı miktarı ve kalitesi olduğu özetlenmiştir. İşletme yükleri altında ölçülen deneysel sehim değerlerinin

teorik sehim değerlerine oranları kıyaslandığında değişik malzeme ve kesit tiplerinde farklı yaklaşımlar elde edilmiştir. Moment eğiklik ilişkilerinin incelenmesinde de kesit şekli, malzeme kalitesi ve normal betonla hafif beton için yük-sehim ilişkilerine benzer davranışlar izlemiştir. Enerji yutma kapasitesi bakımından inceleme yapıldığında hafif betondan imal edilen sabit ve değişken kesitlerin normal betondan imal edilmiş kirişlere kıyasla biraz daha fazla enerji yutma kapasitesine sahip olduğu görülmüştür.

Aykaç (2000), bu çalışmada düşey yükler altında yetersizliği anlaşılmış veya hasar görmüş olan betonarme kirişlerin içinde yeni donatı olan bir beton katmanla, bir veya iki yüzünden güçlendirilmesi/onarılması çok uygulanan bir yöntem olduğu vurgulanmıştır. Bu yöntemle güçlendirilmiş/onarılmış betonarme kirişleri tekdüze veya yinelenen yükler altındaki davranışı bilinmesine rağmen, deprem yükleri altında ne denli başarılı bir davranış gösterdiği yeterince bilinmediği söylenmiştir. Bu çalışmanın esas amacı kirişlerin depreme karşı güçlendirilmesi/onarılması için bir yöntem araştırmak olmadığı başka nedenlerle, katman ekleme tekniği ile güçlendirilmiş/onarılmış betonarme kirişlerin depremi benzeştiren tersinir yinelenir yükler altındaki davranışı araştırılmıştır. Ayrıca sonradan eklenen kiriş boyuna donatısını kenetleme yöntemlerinin davranış ve dayanım üzerindeki etkileri de araştırılmıştır.

Araştırma sonunda katman ekleme tekniği ile güçlendirilmiş/onarılmış betonarme kirişlerin depremi benzeştiren tersinir yinelenir yükler altında başarılı bir davranış sergilediği görülmüştür. Ağır hasar sonrası onarılmış (diriltilmiş) kirişlerde ise yeterli bir süneklik gözlenmediği için sınırlı bir başarı elde edilmiştir.

Yazar (1997), hasar görmüş kirişlerin takviyesi üzerine yapılmış bir araştırmadır. Betonarme kirişlerde düşey yüklerden dolayı görülen hasar şekli açıklıkta eğilme kırılmasıdır. Bu kırılma kirişte boyuna donatının yetersiz miktarda oluşu sonucu kiriş ortasındaki çekme bölgesindeki çatlakla belirlenmektedir. Bu çatlak buradaki donatının akma bölgesine girdiğinde göstermektedir. Aslında düşey yükler altında ankastre kiriş uç momentleri daha büyüktür. Ancak kiriş uçlarında döşemenin üst

donatısı ve beton en kesit alanının daha geniş olması nedeniyle kirişin üst yüzeyinde çekme çatlakları ile belirlenen eğilme kırılması pek görülmez. Başka kirişlere mesnet olan kirişlerden, ana kirişe aktarılan tekil yük etriyeler yardımıyla ana kirişin basınç bölgesine atılmaz ise ana kirişte, ikinci kirişin saplandığı yerin her iki tarafında çatlaklar oluşmaktadır. Bu çatlaklarda ve kirişlerin takviyesinde kullanılan diğer tamir malzemelerinin seçimi ve tekniği mevcut betonun analizi yapıldıktan sonra yapılır. Bu yol için betonun rengine, korozyon noktalarına, korozyona bağlı çatlaklarda veya rötrede sehimlerdeki büyük değişiklikler gözle muayeneden sonra not edilmelidir. Çatlak genişliği, mevcut betonun çekme ve basınç mukavemeti, beton yoğunluğu gibi aderansı sağlayacak şartlar yerine getirilmelidir.

Bu çalışmada genel tamir malzemelerinin de çimento kaynaklı malzemeler olarak; çimento şerbeti, adi portlant çimento, çabuk sertleşen portlant çimento, özel çabuk sertleşen portlant çimento, püskürtme beton, telle güçlendirilmiş beton ve agregaya yerleştirilmiş beton anlatılmıştır. Epoksi katkılı malzemeler olarak; epoksi reçineleri ile ezilerek dökülmüş betonları doldurmak ve epoksi enjeksiyonu ile 0.2-0.3 mm genişliğindeki çatlakların düşük viskoziteli epoksi reçinesi sürekli bir düşük basınç altında verilerek onarımın yapılması anlatılmaktadır.

Polimer katkılı malzemelerle betonun düşük çekme mukavemeti, sıcaklık ve nem oranının değişmesi sonucu betonda çatlama olması vb. hususların onarımı, mekanik bağlayıcılarla durmuş çatlakların doldurulması, dikilmesi konuları üzerinde durulmuştur.

Ünsal (1989), betonarme kirişlerin çeşitli nedenlerle güçlendirilmelerinin son yıllarda oldukça büyük önem kazandığı anlatılmıştır. Bu çalışmada güçlendirmenin ve güçlendirme farklılıklarının kiriş davranışına etkileri araştırılmıştır. İki referans kiriş ve beşi güçlendirilmiş kiriş olmak üzere toplam yedi tane denge altı donatılı kiriş modeli üzerinde çalışma yapılmıştır. Güçlendirme kirişin çekme yüzüne bir sıra yeni donatı ve yeni bir beton katmanı eklenerek yapılmıştır. Eski ve yeni parçaların kaynaşmasını sağlamak amacıyla, kaynaşma yüzü, murç-çekiç ile pürüzlendirilmiştir. Yeni çekme donatısı eski çekme donatısına U şeklindeki yarım

etriereler veya Z şeklindeki bağ demirleri ile kaynaklanmıştır. Bazı kirişlerde güçlendirme katmanı mesnetlere kadar uzatılmış bazılarında ise yerel güçlendirme etkisinin araştırılması amacıyla, güçlendirme katmanı mesnetlerden biraz uzakta kesilmiştir. Kiriş modellerine incelenen kesitte yalnız moment etkisi oluşturacak biçimde yük uygulanmış modeller üzerinde çökme ve dönme ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen değerlerle kiriş modellerini yük-sehim ve moment-eğrilik ilişkileri incelenmiştir. Model tasarımında güçlendirme ile amaçlanan taşıma gücüne ne kadar yaklaşacağı, güçlendirmede kullanılacak ek etriyelerin güçlendirmeye etkisinin ne olacağı, ek çekme donatıları ile kirişte bulunan çekme donatılarını birbirine Z şeklindeki bağ demirleri ile kaynaklanmalarını güçlendirme etkisinin ne olacağı ve ek çekme donatılarının kolon-kiriş birleşimlerinde nereye kadar uzatılması gerektiği hususlarıdır. Araştırma sonunda elde edilen bulgular aşağıda kısaca özetlenmiştir:

Hasara uğramamış ve yetersizliği belirlenmiş kirişlerin ek çekme donatıları kullanılarak U şeklindeki ve Z şeklindeki ek etriyelerle bağlantıları sağlanarak yüksüz olarak güçlendirmeleri büyük ölçüde etkili olmuştur. Güçlendirilmiş kirişlerin moment taşıma kapasiteleri bir döküm kiriş kapasitesine çok yaklaşmıştır. Güçlendirilmiş kirişlerin rijitliklerinde, güçlendirmede uygulanan yapım farklılıklarına bağlı olarak büyük bir fark görülmemiştir. Güçlendirilmiş kirişler bir döküm kirişler kadar rijit davranmamışlardır. Güçlendirilmiş kirişler birbirine yakın bir sünek davranış göstermişlerdir. Bir döküm kiriş kadar sünek davranmamışlardır. Enerji tüketme kapasitelerinin ise bir döküm kiriş enerji tüketme kapasitesinden az olduğu görülmüştür.

Horta and Castano (2000), depremlerde zarar gören yapılarda, doğal frekansının değişik olduğunu incelemiş ve depremlerin binalarda önemli zararlara yol açtığını görmüş, bunun maliyetinin hem bina sahibine hem de ülke ekonomisine büyük zararlarının olduğunu söylemişlerdir. Şiddeti büyük olan depremlerde binaların standartlar altında yapılmasıyla hemen yıkılma gördüklerini açıklamışlar. Meydana gelen ilk hasarların kolonlarda, kirişlerde çatlamlar olduğunu söylemişler, standartlara göre yapılmış binaların her zaman bu gibi tehlikelere hazır olduklarını söyleyerek hiç bir zaman iyimser olunmamalı ve binanın önemli hatlarının donatı ile

güçlendirilmesi gerektiğini anlatmışlar. Deprem kuşağının, yapılan incelemelerle saptanabileceği için hazırlıkların ona göre yapılması gerektiğini söyleyerek mümkün olan en üst kalite inşaatın buna dayanacağını yaptıkları deneyle de görmüşlerdir.

Cemalettin vd. (2000), Cemalettin ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmalarında, ülkemizin büyük bir kısmının 1. derece deprem kuşağında olması nedeniyle deprem afetinin sık karşılaşılan bir durum olduğunu vurgulayarak, depreme dayanıklı yapı tasarlamak ve üretmek kadar, depremde hasar görmüş yapıları onarma yöntemlerinin bilinmesinin de bir zorunluluk halini aldığını söylemişlerdir.

Bu çalışmada, kolon, kiriş, döşeme gibi taşıyıcı elemanlarda deprem sonrası meydana gelmiş hasarların saptanmasına ve onarılmasına yönelik yöntem ve malzemeler incelenmiştir. Yaşanan afetlerin ne zaman tekrarlanacağı bilinmediğinden bu konuyla ilgili bölümlerin ders müfredatlarına konulmasının uygun olacağı ve her zaman hazır olunmasını söylemişlerdir.

Çatal (1990), ülkemizin büyük bir kısmının 1. derece deprem kuşağında olması, deprem afetinin önemini arttırmakta, depreme dayanıklı yapılar tasarlamayı ve üretmeyi gerekli kıldığını anlatmaktadır. Depreme dayanıklı yapı üretmek kadar, depremden hasar görmüş yapıların onarım ve güçlendirilmesi de önemli bir konudur. Tekniğine uygun olarak tasarlanmış ve imar edilmiş yapılar, küçük depremleri hasarsız, büyük depremleri ise taşıyıcı sisteminde çok küçük hasarlar ile atlatabilmelidir denmektedir. Buna rağmen bazı yapıların depremden önemli oranda hasar gördüğünü ve depremden hasar gören yapıların onarımında, yapıya önceki dayanımını kazandırmak, güçlendirmede ise taşıyıcı sisteme gelebilecek deprem etkilerinin daha iyi karşılanması, yüklerin elemanlara daha uygun dağıtılması gibi amaçlar hedeflendiğini anlatmıştır. Bu çalışmada betonarme çerçevelerden oluşan taşıyıcı sistemlerin deprem tesirlerine karşı güçlendirilmesi ve depremden hasar gören binaların onarım yöntemleri incelenmiştir. Çalışmanın sonunda olası bir depremden hasar görebilecek altı katlı betonarme binada, yapılan güçlendirmeler sonunda yatay yüklere karşı taşıyıcı sistemin davranışındaki değişiklikler sayısal olarak incelenmiş güçlendirme yöntemlerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

Celep ve Boduroğlu (1997), Dinar 1995 depremi ile ilgili yapmış oldukları çalışmalarda, İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem Uygulama Araştırma Merkezi'nin Dinar'da yaptığı hasar belirleme ve güçlendirme projeleri hazırlama işleri çerçevesinde, pek çok betonarme bina yanında, Öğretmen Evleri Kooperatif Binaları'nı da yakından incelemiş ve tekrar kullanıma kazandırılması için çalışmalarda bulunmuşlardır. Bu çalışmada dört katlı olan bu kooperatif evlerinin taşıyıcı sistemi tanıtılmış, taşıyıcı sistemin deprem etkisindeki davranışı analitik olarak incelenmiş ve meydana gelen hasarlar bu analitik inceleme sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca hasar görmüş taşıyıcı sistem için öngörülen güçlendirme sisteminin seçilmesindeki esaslar ve seçilen güçlendirme sisteminin deprem altındaki davranışı açıklanmış ve Dinar 1995 depremi hasarlar ve nedenlerini tartışmışlardır.

Utku and Wasti (1997), Dinar depreminde betonarme binalarda uygulanan yerinde güçlendirme üzerine yapmış olduğu çalışmalarında, Dinar depreminde orta hasarlı gurubuna giren yaklaşık 100 adet çok katlı betonarme binadan, 35 adedinin onarım ve güçlendirme çalışması Orta Doğu Teknik Üniversitesi tarafından yürütülmüştür. ODTÜ Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi'nin idari ve teknik koordinasyonu ile , onarım ve güçlendirme projelerinin hazırlanmasında ve proje uygulamasındaki kontrollük hizmetlerinin yapılması için ODTÜ öğretim üyelerinden oluşan gruplar görev almışlardır. Bu makalede, proje kapsamındaki binalar için izlenen hasar değerlendirme yönteminde, seçilen tipik bir bina ele alınarak ayrıntılı olarak sunulmuştur. 1975 deprem yönetmeliğine göre hesaplanan yükler altında , binanın üç boyutlu sonlu eleman çözümü yapılarak meydana gelen hasar nedenleri hakkında genel sonuçlar çıkarılmıştır. Hasarlı binaların güçlendirilerek güvenli duruma getirilmesi için kabul edilen güçlendirme sistemi, yerinde dökme betonarme perde olarak saptanmıştır. Gereken yerlerde münferit eleman güçlendirilmesine de gidilmiştir. Makalede güçlendirme yönteminin aşamaları ve yerinde uygulanması konusunda bilgiler sunulmuştur. Binaların güçlendirildikten sonraki güvenliği, 1996 Deprem Yönetmeliği'ndeki deprem yükleri altında ayrıca tahkik edilmiştir.

Wasti et al. (1997), Dinar depreminde hasar görmüş yığma yapıların onarım ve güçlendirme çalışmasında, 1 Ekim 1995 Dinar depremi sonucunda orta hasarlı olduğuna karar verilen 152 adet yığma bina ODTÜ Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi'nin oluşturduğu bir ekip tarafından incelenmiştir. Geniş kapsamlı bu çalışmanın amacı, deprem sonrası kentte bulunan ve güçlendirilmelerine karar verilen mühendislik hizmeti görmemiş kırsal konutların güçlendirilmesi hakkında, makro düzeyde bir stratejinin oluşturulması şeklinde özetlenebilir. Bu amaçla çalışmaya dahil yığma binalardaki kayma gerilmeleri, eşdeğer yatay deprem yükü uygulanarak elde edilmiş ve bu değerler her yapının kendi malzeme özelliğine ait olan kayma dayanımlarıyla karşılaştırılmıştır. Bu analiz sonucu proje kapsamındaki yapılar için çeşitli onarım ve güçlendirme yöntemleri önerilmiştir

Boduroğlu ve Parlar (1997), on bir katlı kirişsiz döşemeli bir yapının depreme karşı güvenliğinin artırılması konusundaki yaptığı çalışmada, 1975 yılından önce yapılmış olan iki bodrum, zemin, yedi normal ve bir çatı katından oluşan taşıyıcı sistemi kirişsiz döşemeli binanın depreme karşı güvenliğinin artırılması projesi açıklanmış ve bu tür binalarda karşılaşılabilecek sorunlar tartışılmıştır. Binanın statik ve betonarme projeleri bulunmadığından öncelikle binanın betonarme rölevesi çıkarılmıştır. Daha sonra yapıda beton kalitesini belirlemek için malzeme deneyleri yapılarak, malzeme özellikleri saptanmış ve binanın üç boyutlu deprem hasarları yapıldıktan sonra yapının deprem güvenliğinin hem mukavemet hem de bağıl kat yer değiştirmeleri bakımından yetersiz olduğu görülmüştür. Yapının mevcut deprem yönetmeliğine göre perdelerle güçlendirilerek üç boyutlu hesaplar, kesit ve bağıl yer değiştirme kontrolleri yapılmış ve güçlendirme projeleri hazırlanmıştır. Güçlendirme projesinin ayrıntıları verilmiştir.

Köylüoğlu vd. (1997), betonarme kolon - kiriş birleşim bölgelerinin yapııştırma çelik plaklarla güçlendirilmesi , deneysel sonuçlarla ilgili yapmış oldukları çalışmada, Boğaziçi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü ile ECJRC-ELSA (Avrupa Topluluğu-Ortak Araştırma Merkezi -Avrupa Yapısal Değerlendirme Laboratuvarı) tarafından ortaklaşa gerçekleştirilmiştir. Projenin amacı dışarıdan yapııştırılan çelik lamalarla güçlendirilmiş betonarme kolon-kiriş birleşim yerlerinin benzeşik deprem



yüklemesi altındaki yarı-rijit davranışının deneysel ve analitik olarak incelenmesidir. Bu proje kapsamında 8 adet numune, Boğaziçi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü laboratuvarından imal edilmiş ve Avrupa Yapısal Değerlendirme Laboratuvarında deneye tabi tutulmuştur. Deneilerin sonucunda, referans deneylerle karşılaştırmalı olarak, hasar mekanizmaları , yük-deplasman ve moment-dönme karakteristikleri ve enerji tüketebilme kapasiteleri ile ilgili değerlendirmeler yapılmıştır. Ayrıca söz konusu güçlendirme tekniğinde yapılabilecek iyileştirmeler önerilmiştir.

Atımtay ve Tekel (1997), Hasarlı bir yapının deprem davranışının incelenmesi ve alınması gereken dersler hakkındaki çalışmalarında, 13 Mart 1992 Erzincan depreminde hafif hasara uğrayan bir yapının statik ve dinamik davranışı incelenmiştir. Çalışmada, yapının 1968 yönetmelik koşullarına göre tasarlanmasına, etriyelerin yetersiz olmasına, düğüm noktalarında etriye sıklaştırılmasının yapılmamış olmasına ve beton mukavemetinin tasarım değerinin altında bulunmasına rağmen, yapının depremi hafif hasarla atlatabilmesinin ve bu hasarın bölgesel kalmasının nedeni araştırılmıştır.

Ersoy (1993), 1992 Erzincan depremi ülkemizdeki betonarme binalardan bir çoğunun gerekli deprem güvenliğine sahip olmadığını bir kez daha kanıtlamıştır. Erzincan'daki betonarme binalarda gözlenen hasar ve göçmelerin nedenleri üç ana başlık altında toplanmıştır:

- Mimari ve taşıyıcı sistem hataları,
- Donatı detayı hataları ve yetersizliği,
- Yapım hataları.

Bildiride, üç ana başlık altında toplanan hatalar ayrıntılı bir biçimde irdelenmektedir. Bildirinin sonunda, ülkemizin gerçekleri ışığında tasarım ve yapım aşamasında alınması gereken önlemler belirtilmekte ve öneriler yapılmaktadır.

Demir (1993), Erzincan deprem bölgesinde yapmış olduğu çalışmada, Erzurum Bölgesinde 13 Mart 1992'de meydana gelen Richter ölçeğinde 6.8 (Mw)

büyükliğindeki depremden sonra, mahallinde incelemelerde bulunan yazarın doğru sonuçlara varabilmek için ne gibi bir metodolojinin izlenmesi ve bu çalışmaların kapsamı hususundaki düşünceleri verilmiş, mahallinde yapılan incelemeler sonucu yapıların proje, işçilik, malzeme ve gördükleri hasar bakımından irdelenmesi yapılmıştır. Ayrıca hasar üzerinde bunların dışında başka etken bulunup bulunmadığı araştırılmış ve 3-4 katlı binalarda hasarın çokluğu, bu yapıların temel periyodunun ve bölgedeki zeminin hakim periyodunun esas itibarıyla 0,3-0.4 saniye civarında olması dolayısıyla muhtemel bir rezonans olayının da söz konusu olduğu hususuna bağlanmıştır. Bodrum katlarda deprem duvarlarının bulunmasının, depreme karşı davranışta çok yararlı olduğuna dikkat çekilmiştir.

Bayülke vd. (1999), 17 Ağustos 1999'da 7.4 (Mw) büyüklüğündeki İzmit Körfezi Depremi ile ilgili yapmış oldukları çalışmada, depremin çok geniş bir alanda etkili olduğunu söylemişlerdir. Yapı hasarının başladığı Bolu-Düzce ilçesi ile İstanbul-Avcılar bölgesi arasında bu çalışmayı çok yoğun bir şekilde sürdürmüşler ve yerleşim alanı bakımından çok sayıda yapı olduğundan yapıların etkilendiklerini tespit etmişlerdir. Yapılan araştırmada, meydana gelen hasarların büyük hasarlar olduğu, bu alandaki prefabrik ve az sayıda da olsa çelik çerçeveli taşıyıcı sistemi olan fabrika binalarının da zarar gördüklerini belirtmişlerdir. Yerinde dökme betonarme bina, betonarme prefabrike ve çelik binalarda gözlenmiş olan hasar örnekleri ve nedenleri değerlendirildiği zaman bu yapıların yapılış biçimleri ve bunların hasar düzeyleri daha önceki yıllarda Erzincan 1992, Dinar 1995 ve Ceyhan-Adana 1998 depremlerinden farklı olmadığını söylemişlerdir. Genelde yapılarda fazla maliyetlerden kaçınılarak gerekli zemin iyileştirilmelerinin yapılmamış olması ve uygun temel sistemlerinin seçilmemiş olması nedeniyle birçok binanın yıkılmış ve kullanılmaz duruma geldiğinin kararına varmışlardır. 17 Ağustos 1999 depreminde özellikle betonarme yapılardaki hasarın değerlendirilmesinde bu yapıların yapım koşullarının önemli etkisinin olduğunu, yapının enkaz olmasının nedenini deprem yönetmeliğine göre tasarlanıp inşa edilmemiş olmalarına bağlamışlardır.

Paparoni and Morio (1998), ön gerilmeli betondan ve betonarmeden yapılmış bir park yerinin aşırı yüklenmesi ile çerçevelerde oluşan hasar nedenleri araştırılmıştır.

1997 yılında Venezüella'da, uluslararası bir seminerde betonarme çerçevelerin rehabilitesi ve onarımı üzerine yaptıkları konuşmada, spor aktiviteleri için kullanılan bir alanın çatısı ile bir park yapısının üzerine yapılan araştırmada, ağır kaldırımlarla bitirilmiş inşaatın aşırı yüklenmesi yüzünden hasarın doğduğunu söylemişlerdir. Bu çalışmadan elde edilen bilgi ön gerilmeli betondan ve betonarmeden yapılmış park yapılar, taşıyabileceği yükün, sık sık güçsüzlüğünün bir manzara gibi görünmesine rağmen, buradan birçok faktör çıkarmışlardır. Bu sebeple hasar oluşmadan gerekli önlemin alınması uyarısını yapmışlardır. Bu ve buna benzer yapı hasarları, aşırı yükleme ile yapı çerçevesini eğerek hasar verebilecek durumlar için, hasar oluşmadan olabilecek tehlikelere karşı gerekli önlemlerin alınması uyarısını yapmışlardır.

Paramasivam et al. (1998), betonarme kirişlerin ferrocement laminantlarla güçlendirilmesi için, hasara uğrayan betonarme kirişlerin iki yüzeyi arasına ferrocement uygulanarak yapıştırılmış bu kirişlere yük uygulanarak elde edilen performans sonuçları tartışılmıştır. Çıkan sonuçlardan, ferrocement, betonarme yapıların onarımında, taşıyıcı elemanın eski haline getirilmesi için en uygun alternatif olarak görülmüştür.

Fukuyama et al. (2000), Hyogoken-Nanbu depremi ile ilgili deneysel olarak yapmış oldukları çalışmada, hasar gören betonarme kolonların hasarlarının onarımı ve güçlendirilmesi sonucu, etkili bir şekilde diktilitesinin ve dayanımının arttığını tespit etmişlerdir. Deney sırasında yük, aşamalı olarak arttırılmış ve elde edilen sonuç ise tamir edilen kolonun boyunca sıkıştırılan betonun değişmediği ve eski yerlerden kırıldığı görülmüştür. Böylelikle ilk hasar durumlarında betonarme ile mantolanarak güçlendirilen veya onarılan kolonun gücünün en üst düzeye geldiğini görmüşlerdir. Bu nedenle çelik levha veya beton plaklarla güçlendirmeyi yaptıkları çalışma sonucunda önermişlerdir.

Diab (1998), betonarme kirişlerin püskürtülmüş beton kullanılarak güçlendirilmesini deneysel olarak araştırmış ve beton tabakalarla betonarme kirişlerin onarım etkinliğinin değerini tespit etmek için bu deneyi gerçekleştirmiştir. Toplam 9 adet

kiriş 3 dizi halinde test etmiş, 1. diziyi içine alan 3 kirişte başarısız olmuş, 2. dizide çelik takviye edilmiş kiriş püskürtülmüş beton tabakası tarafından yüklenmiş, 3. dizinin kirişleri lifli beton ile yapılmış takviyeli tabaka harçla, 2. dizideki ile aynı yoldan test edilmiştir. Deneysel testlerin sonuçları (son yükleme, sapma, boylamasına germe, çatlak şekilleri) tartışılmıştır. Daha sonra matematiksel modelleme, deneysel gözlemlerle teorik yaklaşım sonuçları karşılaştırılmış sonuçta bu tekniğin güvenilirliği ve onun pratik kullanımı kabul edilmiştir.

Özdemir vd. (1997), yetersiz olarak tasarlanıp ve inşa edilen kiriş-kolon birleşimlerinin, betonarme yapılarıdaki önemli hasar nedenlerinden biri olduğunu söylemişlerdir. Bu şekilde tasarlanmış ve inşa edilmiş binalar da, düğüm noktalarının yetersiz sarılması sonucu gerekli diktülite sağlanmadığından, göçme riski taşıdığını ifade etmişlerdir. Burada sunulan deneylerde yönetmeliklere uygun olarak yapılmış olan kiriş-kolon birleşimi ile düğüm noktasında hiç etriye kullanılmamış ve düğüm noktasında özel olarak hazırlanan çiroz tipi etriyeli birleşimler statik tekrarlı yükler altında karşılaştırılmıştır. Özel olarak düşünülen çiroz tipi etriyenin kullanılmasının nedeni işçilikte kolaylık ve bu tür etriyenin özel olması nedeniyle yerleştirilmesinin gerekliliğini vurgulamışlardır.

Düğüm noktasına yerleştirilen etriyeler, özellikle dış cephe kiriş-kolon birleşimleridir. Üç numune hazırlanarak, statik tekrarlı yük altında bu numuneler denenmiştir. Elde edilen ilk sonuçlarda önerilen çiroz etriye düzeninin uygulama için yararlı bir düzen olacağını vurgulamışlardır.

Collins vd, (1990), betonarme kirişlerin yapısal rehabilitasyonu, reçine enjeksiyonu ile çalışılmış, sadece onarım teknikleri denenmiştir. Tam gerilmeden sonra içeriğiyle kalıplama ve dikme, onarılan ara yüzeyin ortasındaki hasar tesirine kuvvetler uygulanmıştır.

Tamir edilen bölgeye yakınında yük boşalımından dolayı, model kirişlerin bir sırasına laboratuvar ortamında yüklenerek (tam pekiştirilmemiş kirişler) bu gerilim her mesafede değişene kadar uygulanmış, özel kirişler hafifletilmiş, tamirden sonra

tekrar kırılması için yüklenilmiş ve ölçümleri olan kirişler de test edilerek onarım için dayanma gücüne bakılmıştır.

Reçine enjekte edilmiş betonarmede, kirişler için ilk hasardan sonra baş köşedeki kırılmaya etki eden durum gösterilmiş olup bu karar yüzey gerilme ve kırılma ölçümleri ile saptırma yükleme değeriyle de desteklenmiştir.

Fahmy vd. (1999), betonarme binaların onarımı ve güçlendirilmesi için önerilen yeni metotları tanıtmaktadırlar. Eski güçlendirilmiş beton veya çelik kabuklama yardımıyla yapılan ve pahalıya mal olan kabuklama metodu yerine, daha ekonomik ve uygulanabilirliği de kolay olan ferrocement laminat (demirli çimento levha) kullanılarak yapılan güçlendirme ve onarım metodu anlatılmıştır.

Yapılan inceleme ve araştırmalar sonucu bu yeni yöntemin yararlı olan noktaları şu şekilde raporlara aktarılmıştır. Ağırlığa dayanıklı , deformasyona dayanıklı, esneklik ve bir diğer özelliği de onarılan parçaların enerjilerini çekme özelliğine sahiptir. Bu deneyler 24 ayrı betonarme üzerinde ortak merkezli yükler kompres edilerek yapılmıştır. Her bir parçaya yıkılana kadar veya %67 ile %85 oranında yüklemeye kadar baskıya devam etmişlerdir.

Yükleme ve baskı kalktıktan sonra zararlı görülen parçalar dört bir yanından 10 mm kalınlığında ferrocement (sıva) ile kaplanmışlardır. Kaplanmış yüzeyde yapılan deney sonucu ulaşılan bilgiler, bağımsız olarak yapıların ilk hal ve durumlarına göre daha iyi özellik gösterdiğini söylemişlerdir.

Basunbul et al. (1990) betonarme kirişlerin onarılmasında, beton yapıların çoğu kez yapısal ve yapısal olmayan kırılmaları, çarpma ve konjektürel yükleme, aşırı statik yüklemeler, kuru çekme payı, sürekli yük altında sürünme, termal nedenler ve desteğin korozyonu gibi çeşitli nedenlerden dolayı betonun kırıldığını işaret etmektedirler. Bu durumun, yakın sorunlar getireceğini düşünmektedirler. Bunların noktasal kuvvetleri ihtiva ettiğini fakat sert çevresel koşullar aynı kırılmaları arttırıp

hızlandırabileceğinden betonun bozulmasına öncülük edebileceğini düşünmektedirler.

Ufak kırılmaların onarımının gerekli hale geldiğini, betonarme kirişlerinin tamir metotları arasındaki, değişik kırılma seviyelerinin deneysel olarak takibini yaparak, onarım metotları üzerinde çalışmışlardır. Epoxy enjeksiyon ferrocement çelik plaka ilişkisi ve epoxy enjeksiyon ve ferrocement birleşimi metodu, kirişlerin başarısız kalma durumlarına kadar hasar görme seviyeleri görülmeye çalışılmış, onarılan kirişlerin deneysel dayanım gücü ve esnekliğine dikkat edilerek esnekliğin yenilenmesi için tüm seviyeler, hasarı azaltma, dayanım ve yeniden kısmi esnekliğin kazanılması ortaya konmuştur.

Çelik plak tutularak tamir tekniği seviyesine bağlı olarak dayanım gücünün artırılmasına kılavuzluk edilerek, onarılan kirişlerin esnekliğindeki önemli düşüş, hasar seviyesini pek önemsetmemiştir. Onarımdaki birleşik metot, dayanım ve esnekliğin büyümesine öncülük eden, esneklik artışının hasar görme seviyesine bağlı kalacağı görülmüştür.

Blight and Lampaçher (1997), iki kat levha şeklinde dökülen betonarme çerçeveli bir ana kapının, alkali silis reaksiyonu tarafından oluşan hasarını incelemişler, üst üste yerleştirilmiş kiriş yeniden dökülerek güçlendirilmiş ve yıkılmaktan kurtarılmıştır. Yeni ve eski betonun birleşmesinde, gerilme ölçümü, bir yıl sonra izlenmiş ve çok zayıf olduğu görülmüştür. Çalışmanın 1992'den 1996'ya kadar sürdüğü belirtilmiştir.

Godson and Tickner (1990), betonarme yüzeylerin tamiri ve korunması için geliştirilmiş metotları incelemişler, modern yapılar için, yüzeylerde onarım ve bakımın diğer yapı yüzeylerine oranla betonun bozulması, hem önceden tahmin edilebilir hem de işlenebilir kararına varmışlardır. Betonun dökülmesi, çeliğin korozyonunun ilerlemesi ve sebeplerin, aynı derecede olduğu düşüncesine varmışlardır. Bu anlayışla da araştırmanın metotlarını geliştirmişlerdir. Cathodic protection astar sürülerek aktif bozulmanın geciktirildiğini belirtmişlerdir.

Aynı şartlarda uygulaması yapılmış inşaatların, genellikle yüzeylerindeki oluşan hasarın, önceden kestirilmesi ve cathodic ile tamirinin yapılması yöntemlerini ortaya koymuşlardır.

Kara ve Akın (2001), betonarme karkas binalarda deprem sırasında hasar görmesi muhtemel betonarme kolon kiriş birleşim bölgesinde etriye yerine alternatif olarak çelik tel (fiber) kullanılması ile birleşimlerinde ortaya çıkan hasarları minimize etmek amacıyla yapılmıştır.

Bu çalışma kapsamında, yön değiştiren kontrollü yükleme altında, birleşim bölgesinde etriye bulunması, bulunmaması ve etriye yerine sırasıyla 20 kg/m<sup>3</sup> , 30 kg/m<sup>3</sup> , 40 kg/m<sup>3</sup> çelik tel ( fiber) kullanılmış numuneler test edilmiştir.

Kolonlara 15 ton sabit eksenel yük verilmiş ve kiriş yönü değiştiren yükleme altında teste tabii tutulmuştur. Deneylerin sonucunda, hasar görme mekanizmaları, yer değiştirme ve moment-dönme karakteristikleri ile enerji yutma kapasiteleri irdelenmiştir. İrdeme sonunda etriyesiz numunede kirişte oturması istenen plastik mafsallın hem kiriş hem de kolonda meydana geldiği gözlenmiş olup etriyeli ve değişen oranlarda fiber ihtiva eden numunelerde ise kolonda mafsallaşma görülmemiştir. Etriye yerine alternatif olarak kullanılan fiberlerin birleşim bölgesinde betonun parçalanmasını ve dağılmasını engellediği, enerji yutma kapasitesini arttırdığı görülmüştür.

Ersoy vd. (2001), hasara uğramış çerçevelere uygulanan betonarme dolgularla elde edilmiş elemanların davranışını gözlemlemektir. Bu amaç doğrultusunda üretilen çerçeveler, Dinar ve Erzincan'daki binaların genelde sahip olduğu zayıflıkları içermektedir. Betonarme dolgular, depremi benzeştiren yükler altında hasara uğratılmış çerçevelere uygulanmıştır.

Betonarme dolgular ile güçlendirme uygulaması ülkemizde sıkça kullanıldığı için, yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar, pratik açıdan büyük önem taşımaktadır.

Yukarıda belirtildiği üzere, çalışmanın amacı betonarme dolgulu çerçevenin performansını incelemektir. Bu amaç doğrultusunda üretilmiş olan boş çerçeveler ilk olarak tersinir yükler altında hasara uğratılmış ve daha sonrada betonarme dolgu duvarlar ve bazı ilave yöntemler kullanılarak güçlendirilmiştir. Pratikteki genel uygulamayı göz önüne almak amacıyla, çerçeveler düşük kalite beton kullanılarak üretilmiştir. Ayrıca, çerçevelerde uygulanan donatı detayları pratikte çokça uygulanmakta olan yanlışlıkları yansıtmaktadır. Bu yanlışlık veya eksiklikler kısaca, yetersiz sargı donatısı, yetersiz aderans boyu, kolon-kiriş bölgelerinde sargı donatısı bulunmaması ve yetersiz bindirme boyları şeklinde özetlenebilir.

Deneyisel çalışma sırasında, en önemli detay eksikliği olarak kabul edilen kolon boyuna donatısındaki yetersiz bindirme boyundan kaynaklanabilecek göçmeleri engelleyebilmek amacı ile dolgu duvarları ilaveten değişik kısmi güçlendirme metotları uygulanmıştır.

Toplamda beş set deney yapılmıştır. Her sette ilk olarak boş çerçeve üretilmiş ve bu boş çerçeveler tersine yükler altında hasara uğratılmıştır. Daha sonra çerçevenin iç yüzeyine delikler açılmış ve bu deliklere epoksi harcı doldurularak filizler ekilmiştir. Bu işlemi takiben duvar donatısı yerleştirilmiş ve dolgu betonu dökülmüştür.

Atımtay ve İlgün (2001), tünel kalıp yöntemiyle yapılan panel yüksek yapıları yatay yüklere göre hesaplanması, analitik metotlarla ve bu konuda yazılmış bilgisayar programları üzerinde çalışılmış. Bu çalışmada yaklaşık olarak 1/5 ölçek ve esas olarak 4 katlı ve tünel kalıp sistemiyle imal edilmiş bir betonarme yapı sistemi tersinir-tekrarlanır yatay yük altında test edilmiştir. Test edilen numunelerin özellikleri ile yükleme, tünel kalıp sistemi ile yapılmış bir binanın sadece bir aksına ait olup, perdenin tamamı ile, kat döşemelerinin perdeye oturan kısımları-parçaları alınarak düzenlenmiştir. Deney modeline sadece tersinir-tekrarlanır yatay yük uygulanmış olup, perdeler düşey yük etki ettirilmemiştir.



Deney düzeneği oluşturularak, panel yüksek yapıların modeli üzerinde test çalışmaları yapıp test sonuçları ile analitik hesap metotlarının sonuçları irdelenerek bir çözüm geliştirilmiştir.

Aruntaş vd. (2002), Bu çalışmada Türkiye’de 17 Ağustos 1999 tarihinde meydana gelen ve asrın felaketi olarak nitelenen Marmara depreminde Adapazarı’ndaki betonarme yapılarda sıkça rastlanan yapısal hasarlar ve nedenleri araştırılmıştır. Depreme dayanıklı yapı kavramında, deprem şiddetine göre yapıda bir miktar hasar oluşması beklenmektedir. Yapı, ekonomik ömrü içinde en çok bir kez olabilecek en şiddetli depremde onarılamayacak derecede hasar görebilir, ancak yıkılmamalı ve can kaybı olmamalıdır. Bu depremde, olumsuz zemin şartları özellikle Adapazarı’nda, deprem kuvveti ortak çalışarak çok sayıda can ve mal kaybına neden olmuştur. Betonarme yapıların, maalesef zemin şartları ve depreme dayanıklı tasarım prensipleri göz önüne alınarak yapılmadığı tespit edilmiştir.

Kumbasar ve İlki (2001), Bu çalışmada, karbon lif takviyeli polimer (CFRP) kompozitlerin yapı elemanlarının onarım ve güçlendirilmesinde kullanılması konusunda İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği ve Yapı Malzemesi Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiş olan deneysel çalışmalar özetlenmektedir. Özetlenecek çalışmalar iki ana başlık altında toplanabilir.

- a) Önceden hasar görmüş elemanların onarılıp, CFRP kompozit malzeme ile güçlendirildikten sonra, sabit eksenel kuvvet ve yön değiştiren tekrarlı eğilme momenti etkileri altında deneysel olarak incelenmesi
- b) Hasarlı ve hasarsız elemanların CFRP kompozit malzeme ile onarılarak ve/veya güçlendirilerek eksenel yükler altında deneysel olarak incelenmesi.

Her iki çalışmanın da amacı mevcut yapıların yatay yükler altında davranışlarının geliştirmesine yönelik yöntemler konusunda veri toplanması ve bu yöntemlerin tasarımına esas olacak analitik çalışmaların geliştirilmesidir.

Sabit aksenal kuvvet ve yön değiştiren tekrarlı eğilme momenti etkileri altında davranış, bu çalışma kapsamında daha önce deneye tabii tutularak hasar verilmiş olan 10 adet numune önce onarılmış, daha sonra CFRP kompozit malzeme kullanılarak güçlendirilmiştir. Güçlendirme amacı ile kesit alt ve st yüzeylerine boyuna doğrultuda farklı sayılarda CFRP tabaka yapıştırılmış, daha sonra numuneler enine doğrultuda da CFRP tabaka ile sarılmıştır.



### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. Materyal

Bu bölümde araştırmada kullanılan malzemeler ve kirış numuneleri ile ilgili bilgiler verilmiştir.

##### 3.1.1. Kırma kum ve kırma taş

Bu çalışmada kullanılan kırma kum ve kırma taş Ankara Yibitaş Lafarge'nin Güvercinlik tesisinden temin edilmiştir. Ankara ve Türkiye'nin bir çok yöresinde çok yaygın olarak betonarme inşaatlarda kullanılmaktadır. Hasanoğlan Yibitaş Lafarge taş ocağında üretilen

0-4mm ince agreganın;

Kuru özgül ağırlığı  $2,60 \text{ g/cm}^3$

Doygun kuru yüzey özgül ağırlığı  $2,63 \text{ g/cm}^3$

Görünen özgül ağırlığı  $2,68 \text{ g/cm}^3$

Su emme oranı  $1,08 \%$ 'dir.

8-16 mm iri agreganın;

Kuru özgül ağırlığı  $2,69 \text{ g/cm}^3$

Doygun kuru yüzey özgül ağırlığı  $2,70 \text{ g/cm}^3$

Görünen özgül ağırlığı  $2,71 \text{ g/cm}^3$

Su emme yüzdesi  $0,24$ 'dür.

##### 3.1.2. Çimento

Araştırmada kullanılan betonlarda Yibitaş Yozgat çimento tarafından üretilen özgül ağırlığı  $3,11 \text{ g/cm}^3$  olan P.Ç. 42,5 kullanılmıştır.

### 3.1.3. Donatı

Deney kirişlerinde boyuna ve enine donatı olarak S 420 kullanılmıştır. Esas donatı çapı  $\varnothing 12$  ve enine donatı çapı ise  $\varnothing 8$ 'lik seçilmiştir. Üretilen kirişlerin hepsinde aynı donatılar kullanılmıştır.

### 3.1.4. Katkı malzemeleri

Beton katkı maddesi su, agrega, çimento karışımından hemen önce ya da karışım sırasında betona katılırlar. Beton katkı maddelerinin TS EN 934-2 standartlarına uygun olarak kullanılması gerekir. Ayrıca üreticiler ve tüketiciler ASTM C-494 "Standart Specification for Chemical Admixtures for Concrete" standardını da esas almaktadır (Sevük, 2000).

Yapılan deneyde normal akışkanlaştırıcı katkının miktarı çimento ağırlığının %0,43 ve %1,4'ü olarak betona karışım esnasında katılmıştır.

### 3.1.5. Kiriş kalıp malzemesi

Deneyde kullanılan kalıp malzemesi, Ankara siteler sanayi sitesi serbest piyasadan alınarak kurutulmuş kavak kerestesidir.

## 3.2. Metot

Yeterli eğilime dayanımına sahip olmayan betonarme kirişlerin onarılması amacıyla bir çok yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan biri de taşıyıcı elemanlardan kolon ve kirişlerin onarımında mantolama yöntemidir. Genelde mantolama yöntemi üzerinde duvarı olmayan sanayi bölgelerinde ve metropol büyük şehirlerde karkas yapılarda daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemin etkinliği için eleman davranışı üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla dikdörtgen kesitli numunelerle deney yapılmıştır.

Bu amaçla kullanılan 9 adet serbest açıklığı 2.00 m olan basit mesnetli dikdörtgen kesitli kiriş açıklık ortasında etkiyen yükle yüklenmiştir. Yüklemeye kirişte çatlaklar meydana gelip kiriş orta hasar görünceye kadar devam edilmiştir.

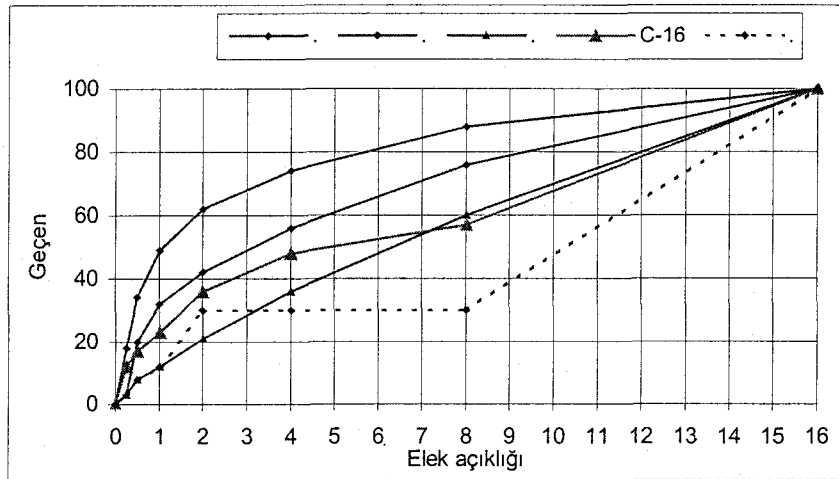
Burada araştırma verilerinin elde etme amacı ile kullanılan agreganın özelliklerinin tayini, çimento ve su miktarının seçimi, donatı özelliklerinin bulunması, deney elemanının yapılmasında kullanılan C16 ve C30 beton dayanımlarının elde edilmesi, kirişlerde deney düzeni, yapılan ölçümler ile ilgili uygulanan metotlar ve basit eğilme etkisindeki kirişin yük altındaki davranışını inceleyen deneyin yapılmasına ve teorik esaslarına yer verilmiştir.

### 3.2.1. Agregaya ile ilgili yapılan deneyler

Deneyde kullanılan agreganın elek analizleri TS 706 ve TS 707'ye göre belirlenerek normal beton için TS 802 de verilen en uygun granülometrik bölgelerle karşılaştırma yapılarak uygun oranlar bulunmuştur. Agreganın ve karışımın elekten geçen malzeme miktarı yüzde olarak C16 ve C30 için ayrı ayrı Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3 de karışımın granülometri eğrisi Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de standart granülometri eğrisi ile karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. C16 Betonu için Agreganın yüzde olarak elekten geçen malzeme miktarı

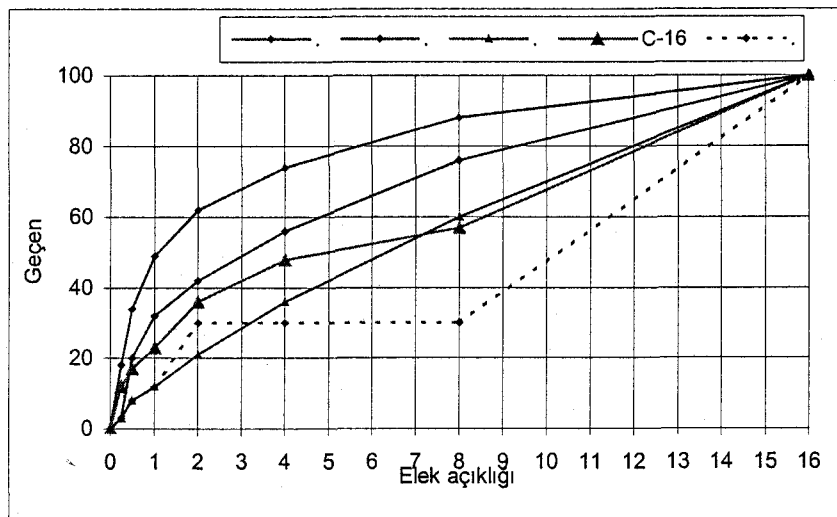
C-16 Betonu Agregaya Elek Analizi									
Agrega Çapı		Elek analizleri % Geçenler (mm)							Geçen
Mm		0.25	0.5	1	2	4	8	16	
0/4		23	37	50	77	100			
8/16							13	96	
Agrega çapı	Mix.	Elek analizleri % Geçenler (mm)							Geçen
%'si	Opsisi	0.25	0.5	1	2	4	8	16	
0/4	54	12	20	27	42	54	54	54	
8/16	46						6	44	
<b>Toplam</b>		12	20	27	42	54	60	98	



Şekil 3.1. C16 Betonu için Agrega granülometri eğrisi

Çizelge 3.3. C30 Betonu için Agreganın yüzde olarak elekten geçen malzeme miktarı

C-30 Betonu Agrega Elek Analizi									
Agrega Çapı		Elek analizleri % Geçenler (mm)							Geçen
Mm		0.25	0.5	1	2	4	8	16	
0/4		24	36	48	75	100			
8/16							17	100	
Agrega çapı	Mix.	Elek analizleri % Geçenler (mm)							Geçen
%'si	Opsisi	0.25	0.5	1	2	4	8	16	
0/4	48	12	17	23	36	48	48	48	
8/16	52						9	52	
<b>Toplam</b>		12	17	23	36	48	57	100	



Şekil 3.2. C30 Betonu için Agrega granülometri eğrisi

### 3.2.2. Çimento dozajı deneyi

Deneyde kullanılan çimentoların kimyasal ve fiziksel özellikleri Yibitaş Lafarge'nin Güvercinlik tesislerinin laboratuvarında bulunmuştur. Çizelge 3.4'de çimento özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.4. Çimentonun Özellikleri

ÖZELLİK		PÇ 42,5
KİMYASAL ANALİZLER	Çözünemeyen Kalıntı %	0,36
	Kükürt dioksit% SO <sub>3</sub>	3,13
	SCaO%	0,57
	K.Kayıbı %	2,13
	MgO%(magnezyum oksit)	2,86
	K20 %	1,16
	Na 20 %	0,26
ANALİZLER	Priz dk.	Başlama Süresi Bitiş Süresi
		178 274
FİZİKSEL ANALİZLER	Su/Çimento	29,3
	Öz Ağırlık g/cm <sup>3</sup>	3,11
	Özgül Yüzey	3011
	Hacim Genişlemesi mm	0,83
	Dara.....gr	1066
	Elek	M
	Analizi %	M
	Basınç	1gün
	Dayanımı	2 gün
	N/mm <sup>2</sup>	7 gün
		28 gün

### 3.2.3. Donatı çeliği ile ilgili çekme deneyleri

Donatı çeliklerinin özelliklerini belirlemek için her çubuktan ø8 ve ø12 lik donatıdan 400 mm uzunluğunda 3'er adet numune alınmıştır. Her numunenin üzerine numaraları yazılarak ve numune uçlarından çapına göre çeliğin kavrayacağı kadar 10 cm den az olmayacak şekilde işaretlenmiştir. Nervürlü çelik çubukların çaplarını bulmak için numune olarak alınan çubuklardan kesilen parçalar 0.1 gr duyarlıdaki terazide tartıldıktan sonra;

$$ds = 12,74 * \frac{G}{L}$$

formülle çapları bulunmuştur.

ds=Çubuk anma çapı (mm)

L=Çubuk boyu (mm)

G=Çubuk ağırlığı (gr)

Çapı bulunan çubukların kesit alanı hesaplanmıştır.

$$A = \frac{\pi * ds^2}{4}$$

A=Çubuk kesit alanı (mm<sup>2</sup>)

ds=çubuk anma çapı (mm)

Çapı ve kesit alanı bulunan deneyde kullanılan donatı numuneleri TS 138 standardına uygun olarak çekme testlerine tabii tutulmuştur. Çelik çekme deneyi sonuçları Çizelge 3.5'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.5. Çelik çekme deneyi sonuçları

Notasyon	Özellikleri	Birimi	DONATI ÇAPLARI							
			φ8	φ8	φ8	ORT.	φ12	φ12	φ12	ORT.
<i>D</i>	Çap	mm	8,21	8,22	8,25	8,23	12,36	12,36	12,38	12,37
<i>A</i>	Kesit Alanı	mm <sup>2</sup>	52,91	53,04	53,43	53,13	119,92	119,92	120,31	120,05
<i>Py</i>	Akma Yüğü	kg	2400	2400	2400	2400	5400	5400	5400	5400
<i>f<sub>yk</sub></i>	Akma Gerilmesi	kg/cm <sup>2</sup>	45,35	45,24	43,98	44,86	45,03	45,03	44,88	44,98
<i>Pu</i>	Kopma Yüğü	kg	3600	3550	3550	3567	8200	8200	8200	8200
<i>f<sub>su</sub></i>	Kopma Gerilmesi	kg/cm <sup>2</sup>	68,04	66,93	66,44	67,14	68,38	68,38	68,15	68,30
<i>L</i>	Kavrama Uzunluğu	cm	10	10	10	10,00	20	20	20	20,00
<i>s</i>	Toplam Uzama	cm	12,1	12,0	12,10	12,07	24	23,80	24,10	23,97
	Kopma Uzaması %	%	21	20	21	20,67	20	19	20,5	19,83

Betonarme donatısı olarak kullanılan en önemli özellikleri, akma dayanımı, kopma dayanımı ve kopma birimi uzamasıdır. Çeliğin kopma bölgesine varıldıktan sonra yük boşalacak olursa dönüş eğrisi çıkış eğrisiyle çakışır. (Kalıcı deformasyon yok); bilindiği üzere bu davranış mekanikte elastik davranış olarak adlandırılır.  $\sigma - \epsilon$  eğrisinin doğrusal elastik olan bu bölümünün eğimi de çeliğin elastisite modülü  $1.9 \times 10^6$  ile  $2.1 \times 10^6$  kg/cm<sup>2</sup> arasında değişebilir olduğu bilinmektedir.

Hesaplarda çeliğin elastisite modülü  $2 \times 10^6$  kg/cm<sup>2</sup> alınmıştır. ( $\epsilon_s = 2 \times 10^6$  kg/cm<sup>2</sup>). Hesaplarda akma dayanımı kullanılmıştır. Akma dayanımı için  $f_{yk}$ , kopma dayanımı içinde  $f_{su}$  simgeleri ile gösterilmiştir. Donatı çeliğinin sınıfı ve dayanımı değerleri Çizelge 3.6'de gösterilmiştir.

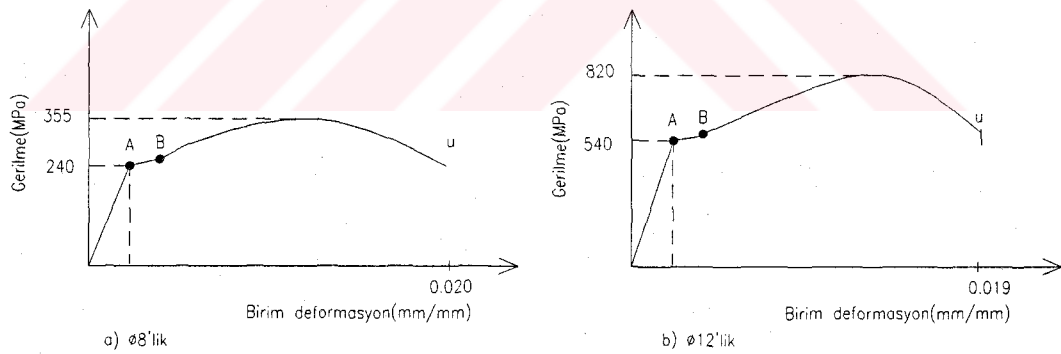


Çizelge 3.6. Donatı çeliğinin sınıfı ve dayanım değerleri

DONATI SINIFI		DONATI ÇAPI	Min. Akma Day. fyk (Mpa)	Çekme Dayanımı fsu (Mpa)	Kopma Uzaması (Mpa)
CEB	TS 500				
S420 <sub>(a)</sub>	S420	ø8	240	355	0,02066
S420 <sub>(a)</sub>	S420	ø12	540	820	0,01983

Çeliğin gerilmesi ve birim şekil değiştirme özellikleri çekme deneyi ile elde edilir. Şekil .3.3. a, b'de deneyde kullanılan ø8 ve ø12'lik donatının gerilme-birim uzama eğrileri görülmektedir. Akma sınırına ulaşıldıktan sonra gerilme sabit kalırken birim uzama artar.  $\sigma$ - $\epsilon$  eğrisi incelendiğinde bir pekleşme bölgesi mevcuttur. Pekleşme sınırına ulaşıldığında gerilme tekrar artar ve belli bir noktaya ulaştığında numunenin kesiti küçülür ve bu noktada kopar.

Akma dayanımı ile kopma dayanımı arasındaki oranlardan faydalanarak akma dayanımı bulunmuştur. Deney sonuçlarına bakıldığında akma ve kopma dayanımları TS 708 de verilenlerden daha fazla bulunmuştur.



Şekil .3.3. a, b Deneyde kullanılan donatı çeliğinin gerilme-birim deformasyon ilişkisi

### 3.2.4. Deneysel çalışmada kullanılan beton numunelerin deneyi

Deneyde kirişlerin ilk üretimde kullanılan C16 ve onarımda kullanılan C30 betonunun TS 11222 standardında istenilen değerlerin altına düşmemesi için  $D_{max}$  16 mm tayin edilerek karışım hesabı yapıldı. Betonda kullanılan malzeme miktarı Çizelge 3.7’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.7 Betonda kullanılan malzeme miktarı ( $N/mm^3$ )

Malzemenin adı	C16 ( $N/mm^3$ )	C30 ( $N/mm^3$ )
Çimento (PÇ 42,5)	$3237.3 \cdot 10^{-9}$	$3825.9 \cdot 10^{-9}$
Su	$2011.1 \cdot 10^{-9}$	$1912.9 \cdot 10^{-9}$
Kırma kum	$10055.3 \cdot 10^{-9}$	$8338.5 \cdot 10^{-9}$
Kırma taş	$8436.6 \cdot 10^{-9}$	$9074.3 \cdot 10^{-9}$
Katkı chryso 267 (W/C:%0,43)	$13.9 \cdot 10^{-9}$	-
Katkı (süper akışkanlaştırıcı)AG. Fluid (WC %1,4)	-	$55.6 \cdot 10^{-9}$

Deney elemanlarının hazırlanması ve onarımı esnasında dökülecek beton hacmi kayıplar ve alınacak numune (150x300 mm silindir) düşünülerek karışım miktarı buna göre belirlenmiştir. Her üretimde ve onarımda dayanım testleri için yeterince silindir numuneler alınmıştır. Alınan silindir numuneler 24 saat sonra kalıptan alınarak deney elemanlarının bulunduğu kür ortamında ve aynı şartlarda 28 gün tutulmuştur. 28 gün laboratuvar ortamında suda bekletilen numuneler sudan çıkarılarak malzeme özelliklerinin bulunması için test edilmiştir. Çizelge 3.8’de elde edilen beton dayanım test sonuçları görülmektedir.

Çizelge 3.8. Beton dayanım testleri sonuçları

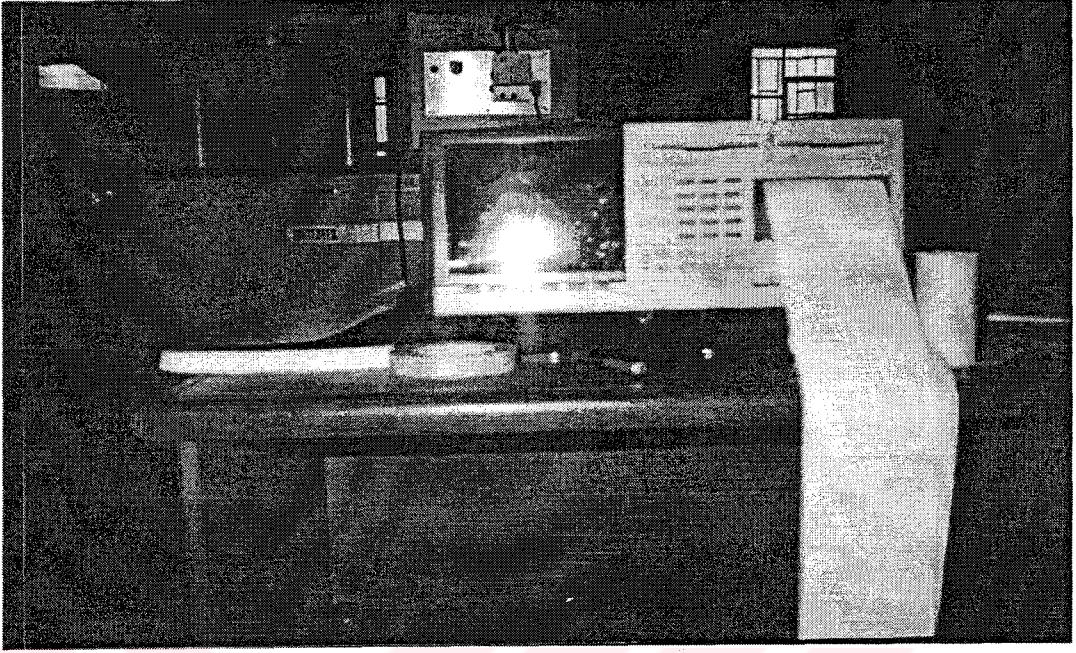
Çap silindir	Beton sınıfı	Dozaj (kg/m <sup>3</sup> )	W/C	P basınç kgf	Alan (cm <sup>2</sup> )	28 Günlük Basınç dayanımı (kgf/cm <sup>2</sup> )
15x30	C16	330	53	39977	176,625	226,34
15x30	C 16	330	53	39970	176,625	226,24
15x30	C 16	330	53	40994	176,625	232,10
15x30	C 30	390	52	59000	176,625	334,04
15x30	C 30	390	52	62200	176,625	352,15
15x30	C 30	390	52	61377	176,625	347,17

Beton elastisite modülü değerleri, malzemenin birim ağırlığını da hesaba katarak ACI Committee 318-83 tarafından verilen veya TS 500'e göre hesaplanmıştır.

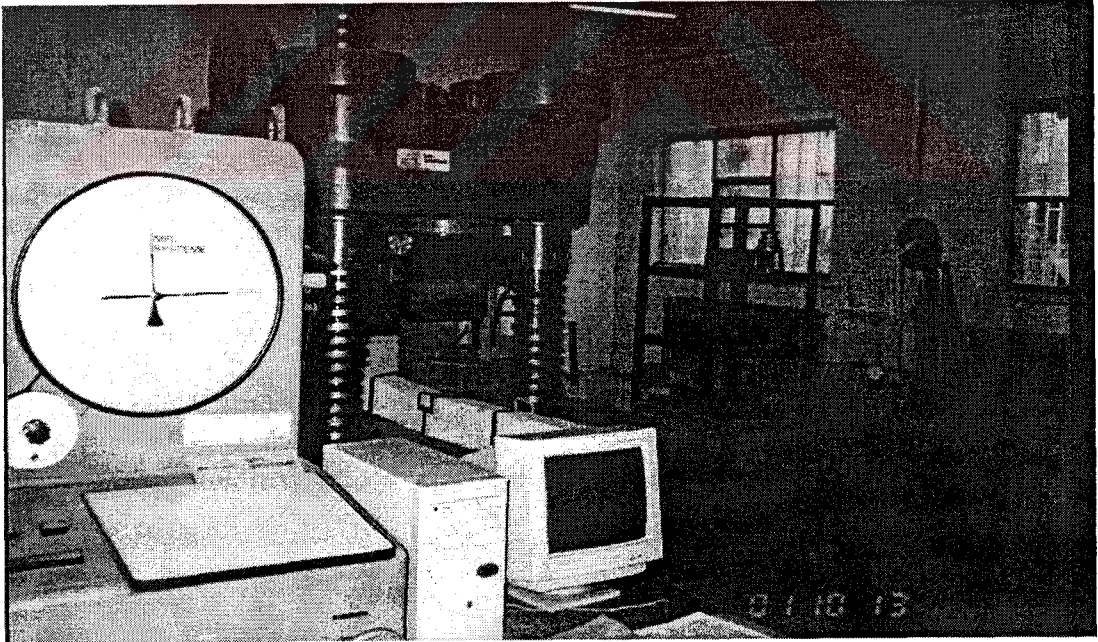
### 3.2.5. Deney düzeneği

Bu araştırmada hazırlanan kirişler G.Ü. Tek. Eğit. Fak. Yapı Eğitimi Ana Bilim Dalı Yapı Mekaniği Laboratuvarında bulunan, deney elemanlarının oturduğu mesnetlerin açıklığı ayarlanabilir bir tarafı sabit diğer tarafı hareketli hale getirilmiş taban üzerinde yerleştirilerek eğilme deneyine tabii tutulmuştur. Şekil 3.4, a, b ve c' de deney düzeneği görülmektedir.

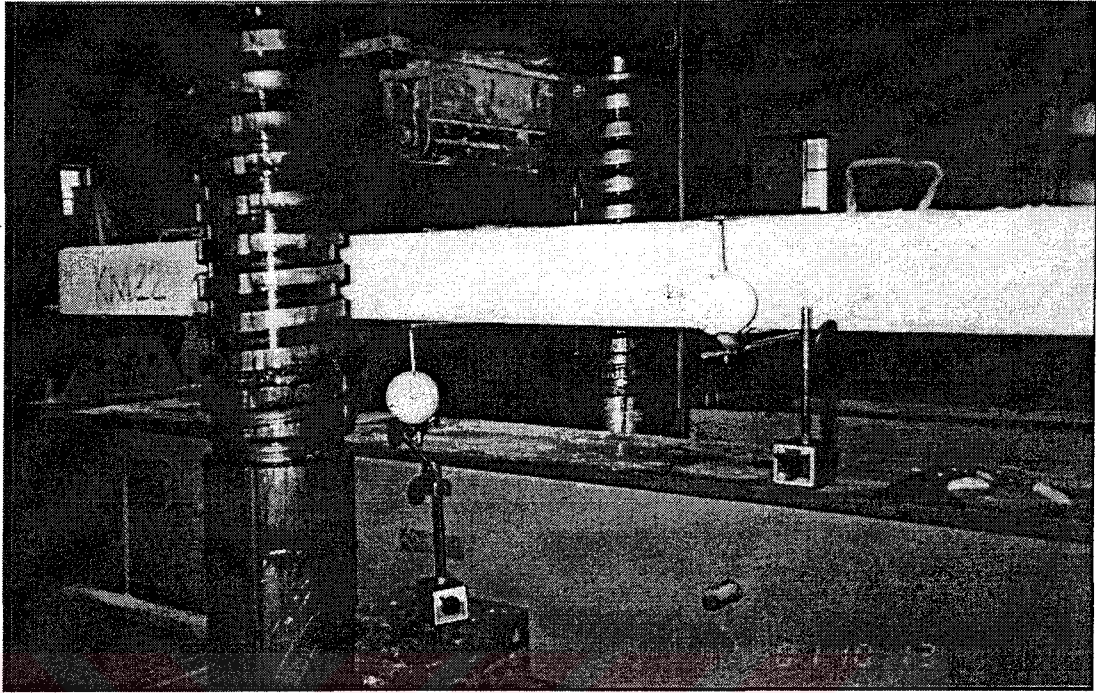
Mesnet reaksiyonlarının kiriş en kesiti boyunca düzgün yayılışı elde edebilmek için, mesnetlere 5 mm kalınlığında sert lastik yerleştirilmiştir. Deney setinde hidrolik presle uygulanan P yükü kiriş açıklığının orta noktasında uygulanmıştır. Yükleme kirişlere hasar verirken 200 kg'lık artımlarla yapılmıştır. Deney elemanına uygulanan yük 300 ton kapasiteli yük hücresi loadcell ile ölçülerek kalibrasyonu yapıldı. Hasar verilirken deney elemanına uygulanan yük, cihazın yük gösterge tablasından, yer değiştirme ise deney elemanının 1/4L, 1/2L noktalarına yerleştirilen komparatörlerle ölçüldü. Yükleme kirişte orta hasar olana kadar kontrollü bir şekilde devam edildi.



Şekil 3.4,a Deney Düzeneği fotoğrafı



Şekil 3.4,b Deney Düzeneği fotoğrafı



Şekil 3.4,c Deney Düzeneği fotoğrafı

### 3.2.5.1. Deney elemanları

Onarımda 6 adet kiriş ve 3 adet, referans kiriş olmak üzere toplam 9 adet deney elemanı hazırlanmış ve bu elemanların üzerinde deney yapılmıştır. Laboratuvar şartları da dikkate alınarak mümkün olduğunca yöntemin referans kirişle karşılaştırılması yapılmıştır.

Çizelgeden de anlaşılacağı gibi çalışmada monolitik bir şekilde üretilen 6 adet kiriş üzerinde ilave donatı ile kiriş çevresi tam etriye ile sarılarak onarım yapılmıştır. 3 adet kirişte özdeş donatı ile referans olarak görülmektedir. Deney elemanlarında yapılan hesaplama neticesinde eğilmeden hasarın olacağı bilindiğinden, eğilme çatlakları ile oluşan hasar onarılmıştır. Kesme kuvvetine ulaşmadan hasarın oluşacağı bilindiğinden kesme için önlem almaya gerek duyulmamıştır. 16x26 cm kesitinde kesite uygun oranda donatı ve C30 betonu ile yapılan referans kiriş, onarım sonrası oluşan kesitin taşıma gücünün kontrolü açısından deneye tabii tutulmuştur.

Çizelge 3.1. Deney Elemanları

Eleman No	Kiriş Seri No	İşlem Türü	Deney Yöntemi
1	K1	Monolitik	Kiriş etriye ile sarılarak alttan 2Φ12, üstten 2Φ8 ek ilave donatı eklenerek betonarme mantolama yöntemi
2	K2		
3	K3		
4	K4		
5	K5		
6	K6		
7	RKM1	Monolitik	16x26 cm kesitli referans kiriş
8	RKM2		
9	RKM3		

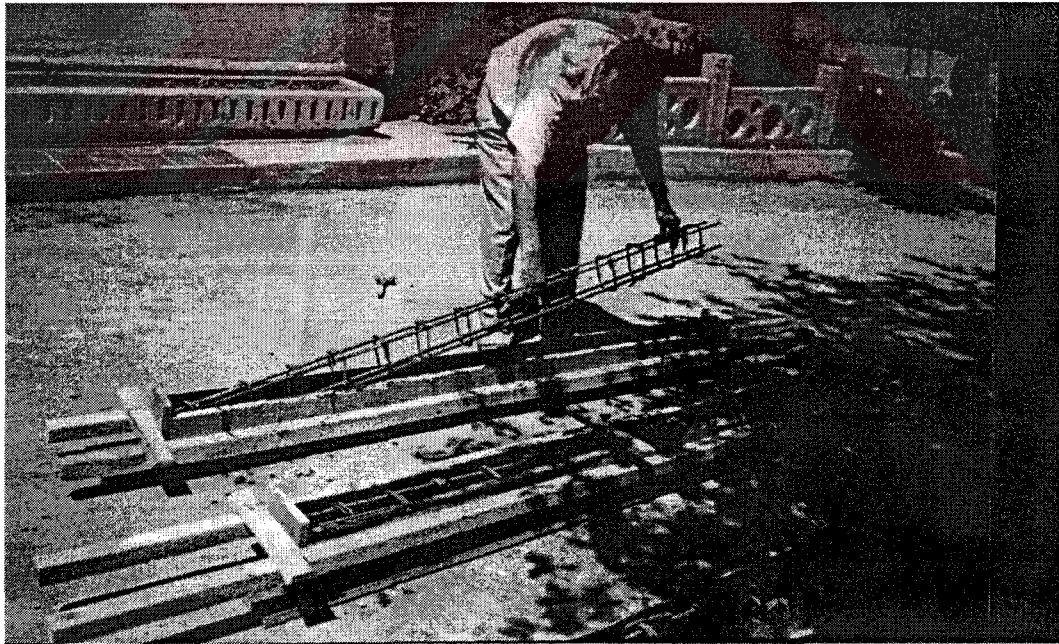
### 3.2.5.2. Kirişlere donatının yerleştirilmesi

Deneyde kullanılan her bir kirişin boyutları ve kullanılan beton kalitesi ile ilgili bilgilerin yanı sıra, kullanılan çelik donatının kalitesi, donatı çapı ve adedi donatı oranı ve deneysel olarak kullanılan bazı mekanik özellikleri Çizelge.3.9'da verilmiştir. Ayrıca kirişin faydalı yükseklikleri(d) deneyden sonra kiriş üzerinden ölçülerek alınmıştır.

Donatı seçiminde TS 500'de verilen koşullar dikkate alınmıştır. Kirişlerde donatılar Şekil 3.5'de görüldüğü gibi yerleştirilmiştir. Kirişler izostatik basit kiriş olduğundan açıklık ortasında moment en büyük olacağı beklenmiştir. Ayrıca laboratuarda üretilen kirişlerin deney setine kaldırılabilmesi için beton dökülürken kiriş üst yüzünde her iki ucundan 1/4L noktalarını çelik U demirleri yerleştirilmiştir.

Çizelge 3.9 Üretilen kirişlere ait boyut ve geometrik özellikleri

Deney no	Beton sınıfı	Kesit tipi	Boyutlar (cm)	Hesap açıklığı (cm)	Ölçülen d (cm)	Dozaj Kg/m <sup>3</sup>	$\frac{E}{C}$ %	Numune adı
1	C16	Dik.	10x16x220	200	13,5	330	0,62	K1
2	C16	Dik.	10x16x220	200	13	330	0,62	K2
3	C16	Dik.	10x16x220	200	13	330	0,62	K3
4	C16	Dik.	10x16x220	200	13,5	330	0,62	K4
5	C16	Dik.	10x16x220	200	13,5	330	0,62	K5
6	C16	Dik.	10x16x220	200	13,6	330	0,62	K6
7	C30	Dik.	16x26x220	200	24	390	0,50	RK1
8	C30	Dik.	16x26x220	200	24,5	390	0,50	RK2
9	C30	Dik.	16x26x220	200	24,5	390	0,50	RK3



Şekil 3.5 Kirişlere Donatının Yerleştirilmesi

### 3.2.5.3. Deney elemanının taşıma gücü

Eldé edilen deney elemanlarına hasar verilirken dikkat edilmesi ve kontrollü hareket edilmesi bakımından taşıma gücü hesaplanmıştır.

Malzeme dayanımları,

$$S420 (\varnothing 12) \dots \dots \dots f_{sy} = 5400 \text{ kg/cm}^2$$

$$S420 (\varnothing 8) \dots \dots \dots f_{sy} = 2400 \text{ kg/cm}^2$$

$$C16 \dots \dots \dots f_c = 208 \text{ kg/cm}^2$$

Bulunan bu değerlerle kirişlerin kaç kg yükte çatlayacağı ve göçeceği hesaplanmıştır.

$$\text{Kiriş momenti} = 1.063 \text{ t.m}$$

$$\text{Kiriş göçme yükü} = 2.126 \text{ ton}$$

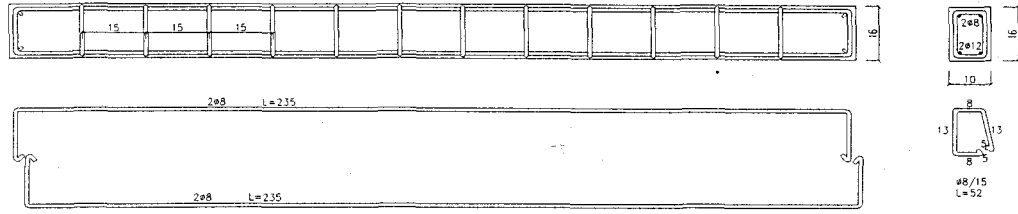
$$\text{Kiriş kesme yükü} = 3.683 \text{ ton}$$

Daha sonra kirişlerin kesme yükü göçme yükünden fazla olduğu için eğilme yükünde göçeceği dikkate alınarak kirişlere kontrollü bir şekilde hasar verilmiştir.

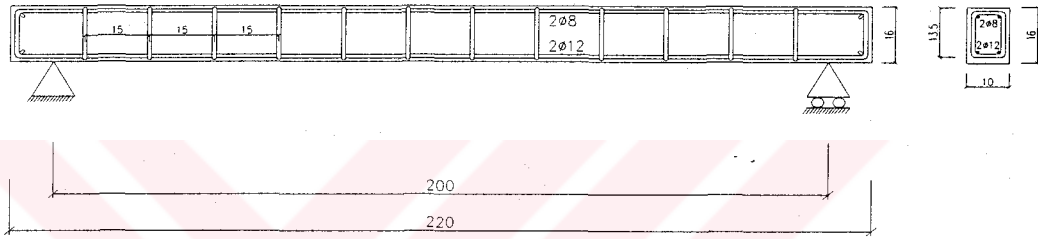
### 3.2.5.4. Deney elemanlarını detayları

Her bir dökümde üçer olmak üzere toplam 6 adet 10x16x220 cm ebatta C16 ve S420 kullanılarak üretilen kirişleri çekme donatıları 2 $\varnothing$ 12 basınç donatısı ise 2 $\varnothing$ 8 ve  $\varnothing$ 8/15 cm ara ile etriye kullanılmıştır. Esas donatı olarak etkili derinliği ise 13,5 cm dir. Şekil 3.6a,b ve c' de görölmektedir.

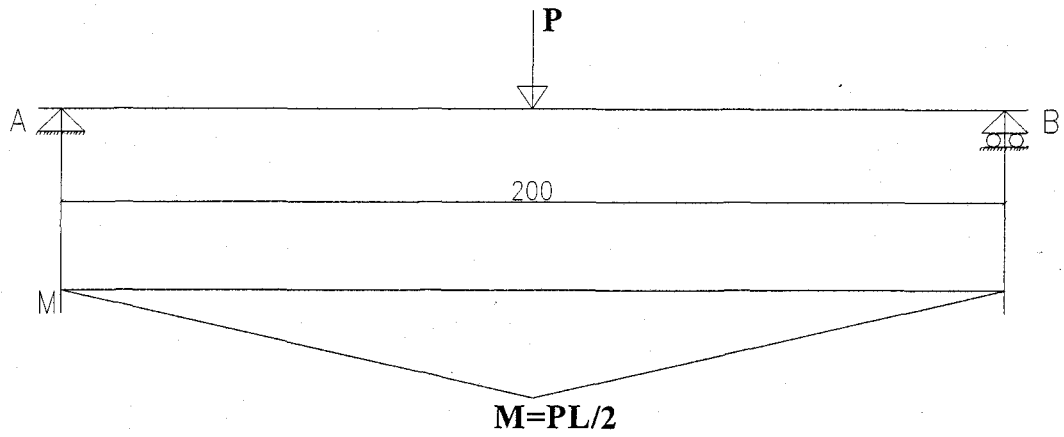




Şekil 3.6.a Deney numune detayı



Şekil 3.6.b Deney numune detayı



Şekil 3.6.c Deney numune detayı

Hazırlanmış donatılar kalıba yerleştirilmeden kafes şeklinde bağlanarak, pas payı miktarı dikkate alınarak kalıba yerleştirilmiştir. Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Malzemesi Lab.'da önceden hazırlanmış malzeme ve mikserle beton karışımı yapılarak laboratuvarın önünde kalıba beton dökülmüştür. Kirişlerin üretiminde kullanılan malzemelerin özellikleri ve kiriş boyutları Çizelgede 3.10'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.10. Üretilen kirişlerin donatısı, dayanımı ve mekanik özellikleri

Sıra no	Numune no	Tipi	Adedi	Alanı mm <sup>2</sup>	Donatı oranı	Fck Kg/cm <sup>2</sup>	Fyk MPa	Fsu MPa
1	K1	S 420	2ø12	226	0,014	22,204	529,74	804,42
2	K2	S 420	2ø12	226	0,014	22,204	529,74	804,42
3	K3	S 420	2ø12	226	0,014	22,204	529,74	804,42
4	K4	S 420	2ø12	226	0,014	22,204	529,74	804,42
5	K5	S 420	2ø12	226	0,014	22,204	529,74	804,42
6	K6	S 420	2ø12	226	0,014	22,204	529,74	804,42
7	RKM 1	S 420	4ø12	452	0,01	33,27	529,74	804,42
8	RKM 2	S 420	4ø12	452	0,01	33,27	529,74	804,42
9	RKM 3	S 420	4ø12	452	0,01	33,27	529,74	804,42

### 3.2.5.5. Deney kirişlerine hasar verilmesi

Elde edilen kirişlere 200 cm açıklıkta bir ucu sabit diğer ucu hareketli basit mesnetli deney setinde orta derecede hasar verene kadar yükleme yapılmıştır. Yükleme 200 kg'lık artışlar halinde uygulanmıştır ve her yük aşamasında kirişlerin 1/2 ve 1/4 açıklıklarında oluşan deplasman değerleri komparatörlerden okunarak kaydedilmiştir. Kirişlerin önceden hesaplanmış taşıma gücüne kadar yüklenmiş fakat donatının tamamen akmasına ve basınç bölgesindeki betonun ezilmesine ulaşmadan, yaklaşık olarak 5 mm kalıcı sehim olana kadar deneylere devam edilmiştir.

Hasar verilen tüm kirişlerde sünek davranış gözlenmiştir. İlk çatlaklar açıklık ortasında ve eğilme çatlakları olduğu gözlenmiştir. Yük arttıkça çatlak sayısında ve genişliğinde de artış olduğu gözlenmiştir. Her yük aşamasında oluşan çatlaklar yağlı tebeşirle işaretlenerek fotoğrafları çekilmiştir. Beton çekme gerilmelerini daha fazla karşılayamadığından, gerilmeler donatı tarafından karşılamaya başlanmış ve kiriş daha fazla yük almadan deplasman artmaya devam etmiştir. Çatlak uzunlukları dik olarak basınç bölgesine taşınmış ve kiriş kesitinin yarısına kadar uzanmıştır. Gözlem altında çatlak genişliği büyümüş ve beton basınç bölgesinde ezilerek kiriş kırılmıştır. Kirişlerde ortalama 5 ile 8 mm arasında kalıcı sehim olduğu ölçülmüştür.

### 3.2.6. Hasar görmüş kirişlerin onarımları

Hasarlı kirişlerin onarımında; kiriş etriye ile sarılarak üstte 2  $\varnothing 8$  altta 2  $\varnothing 12$  ilave edilerek mantolama yapılmıştır.

Onarımda kullanılan malzeme dayanımları;

$$S420 (\varnothing 12) \dots\dots F_{sy}=5400\text{kg/cm}^2$$

$$S420 (\varnothing 8) \dots\dots F_{sy}=2383$$

$$C16 \dots\dots\dots F_c=350 \text{ kg/cm}^2$$

Etriye ile sarılarak onarılan kirişlerin hesap değerleri ;

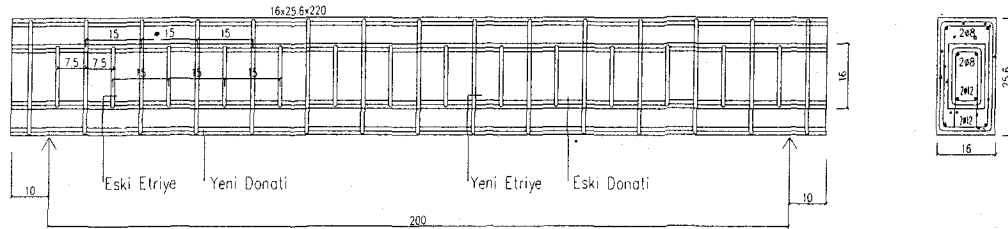
$$\text{Kiriş momenti } (M_{\max}) = 5.20 \text{ t.m}$$

$$\text{Kiriş göçüş yükü } (P) = 10.4 \text{ ton}$$

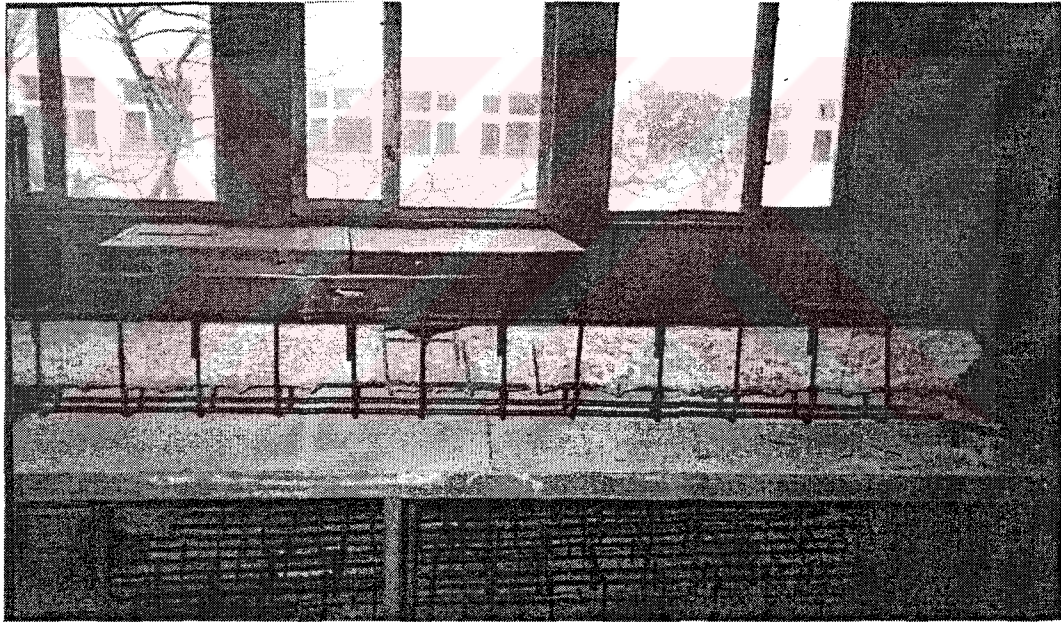
$$\text{Kiriş kesme yükü } (V_c) = 19.886 \text{ ton}$$

Kiriş kesitinin moment kapasitesinin ve taşıma gücünün artırılması, çekme donatısı ve moment kolunun artırılması ile sağlanır. Hasarlı kirişlerin beton yüzeyleri çentiklenerek pürüzlendirildi. S420 yapı çeliği, 2 $\varnothing 12$  alttan ve  $\varnothing 8/15$  etriyeler eski etriyelerin arasına getirilip kiriş alt bölgesi pas payına kadar açılarak yeni konan donatının eski donatıya bağlantısı sağlanarak kirişin çevresi donatıyla sarıldı. Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de Mantolanmış deney numunesi detayı ve fotoğrafı görülmektedir.

Hazırlanan kiriş kalıba yerleştirilerek çevresi yine antifriz ve akışkanlaştırıcı katılarak elde edilen C30 betonu ile onarıldı. Onarılan kirişin bakımı laboratuvar ortamında 28 gün yapıldı.



Şekil 3.7 Mantolanmış deney numunesi detayı

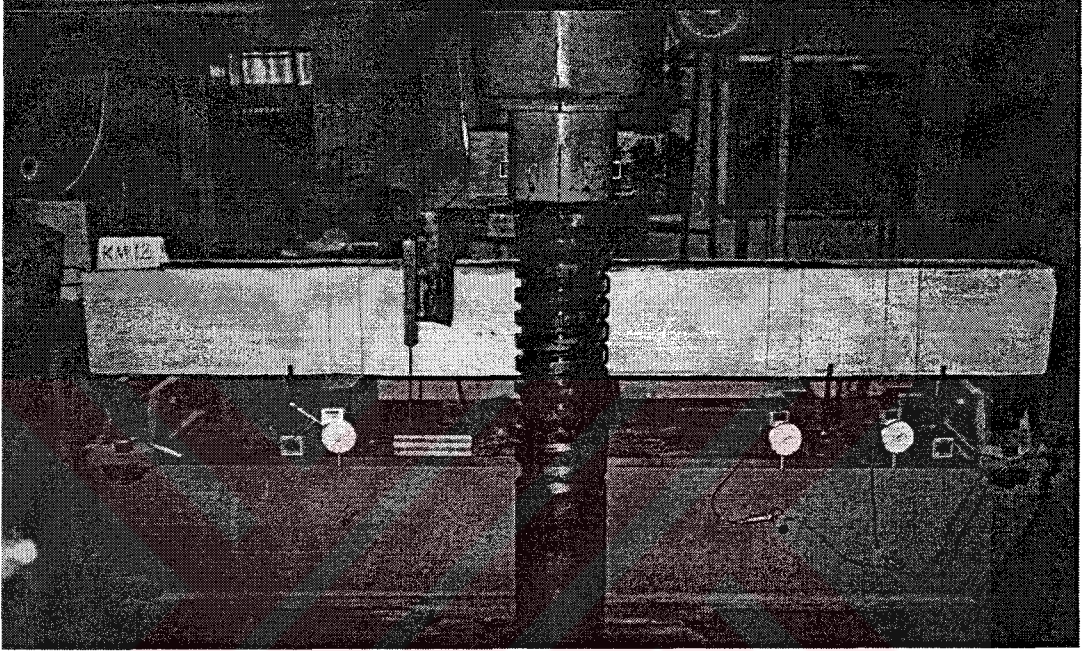


Şekil 3.8 Mantolanmış deney numunesi detayı fotoğrafı

### 3.2.7. Onarımı yapılan kirişlerin kırılmasında deney düzeneği

Bu çalışmada Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Ana Bilim Dalı Yapı Mekaniği Laboratuvarında üretilerek hasar verilen kirişler, Afet İşleri Genel Müdürlüğü Merkez Laboratuvarında yukarıda bahsedildiği gibi onarılmıştır. Onarımı ve gerekli bakımı yapıldıktan sonra kirişler tekrar Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Ana Bilim Dalı Yapı Mekaniği Laboratuvarlarına taşınarak

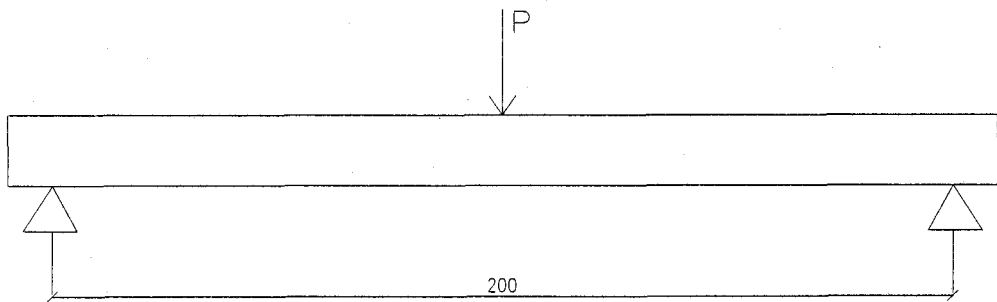
deney elemanlarının oturacağı mesnet açıklığı yine 200 cm. ve bir tarafı sabit diğer yanı hareketli olan mesnetlere yerleştirilerek deneyler yapılmıştır. Bunlardan bir tanesi örnek olarak Şekil 3.9'da görülmektedir. Mesnet reaksiyonlarının kiriş en kesiti boyunca düzgün yayılımı elde edebilmek için mesnetlere 5 mm kalınlığında sert lastik yerleştirilmiştir.



Şekil 3.9 Mantolanmış Deney Numunesinin Düzeneğe yerleştirilmesi

### 3.2.7.1. Yükleme düzeneği

Deney setinde; Şekil 3.10'da görüldüğü gibi hidrolik presle kiriş açıklığının orta noktasından uygulanmıştır.



Şekil 3.10 Yükleme düzeneği

### 3.2.7.2. Ölçme düzeneği

Deneyler esnasında çeşitli yerlerden deplasman ölçümleri, 0.01 mm ye kadar olan değişimi ölçebilen elektronik deplasman ölçer (LVDT) orta noktada kullanılmıştır. Ayrıca kiriş 1/4 ve 1/8 noktalarında da deney düzenini takip edebilmek açısından yine ölçme komparatörler vasıtasıyla alınmıştır. Bütün deplasman ölçerler kablolar yardımıyla, Data-Logger'a bağlanarak, yük ve deplasman dijital olarak ekrandan izlenerek kayıta her 10 saniyede bir alınmıştır. Şekil 3.4,a,b,c ve Şekil 3.9'da örnek olarak gösterilmiştir.

### 3.2.8. Kirişlerde teorik taşıma gücü hesabı

Üretilen ve deneye tabii tutulan kirişlerin teorik olarak taşıma gücü ve göçme yükleri hesaplanmıştır. Hesaplarda taşıma gücü denklemlerinde bulunan donatının ve betonun hesap dayanımları yerine deneysel olarak bulunan dayanımlar kullanılmıştır. Betonarme taşıyıcı elemanlarının hesaplarında donatı için hesap akma dayanımı esas alınır. Fakat deney esnasında elemana hasar verileceği için akma dayanımına göre hesap yapılmıştır. Donatının deneysel olarak bulunan akma dayanımı  $f_{yk}$  ve kopma dayanımı  $f_{su}$  kullanılarak iki ayrı hesap yapılarak sonuçlar bulunmuştur.

Eğilme etkisindeki bir betonarme elemanda zorlamalar düşük düzeyde ise, çekme bölgesindeki beton çatlamayabilir. Bu durumda donatı ve beton, kesitteki çekme kuvvetini ortaklaşa taşır. Ancak ön germeli kirişler dışında kesit boyutlarını beton çatlamasını önleyecek düzeyde tutmak ekonomik olmayacağından genelde çekme bölgesindeki beton çatlar. Bu durumda bile çatlaklar arasındaki beton çekmeye bir miktar katkıda bulunur. Ancak bu katkı ihmal edilebilecek kadar küçük olduğundan çatlamış kesitte çekmenin tamamının donatı tarafından karşılandığı varsayılır. Unutulmaması gereken donatının çatlamayı önleyemeyeceğidir. Donatının işlevi çekme gerilimlerini karşılamak ve bu arada oluşacak çatlak genişliğini minimum düzeyde tutmaktır (Ersoy 2001).

Şekil 3.11’de çekme donatısının yerleştirilmesi gösterilmektedir. Çekmenin en büyük olduğu bölgeye yerleştirilmiş bir kesitte, donatının ağırlık merkezi ile basınç bileşkesinin etkilediği nokta arasındaki uzaklık moment kolu olarak alınmıştır. Şekil 3.11’de gösterilen “d” uzaklığı donatı ağırlık merkezinden en dıştaki basınç lifine olan uzaklıktır. Bu da faydalı yükseklik veya etkili yükseklik olarak bilinir. Kirişlerde çekme donatısı moment kolunu büyütmek amacıyla olabildiğince çekme yüzüne yakın yerleştirilmiştir.

TS 500’ e göre basınç bölgesindeki beton basınç dayanımının bulunmasında  $f_{cd}$  değeri 0,85 katsayısı ile çarpılarak gerilme dağılımı eşdeğer dikdörtgene dönüştürülmüştür.

Dolayısıyla  $f_{cd}$  değerinden aynı işlem yapılırsa

$$f_{cd} = f_{cd} / 1.5$$

$$0.56 f_{ck} = 3.15 \text{ bulunmuş olmaktadır.}$$

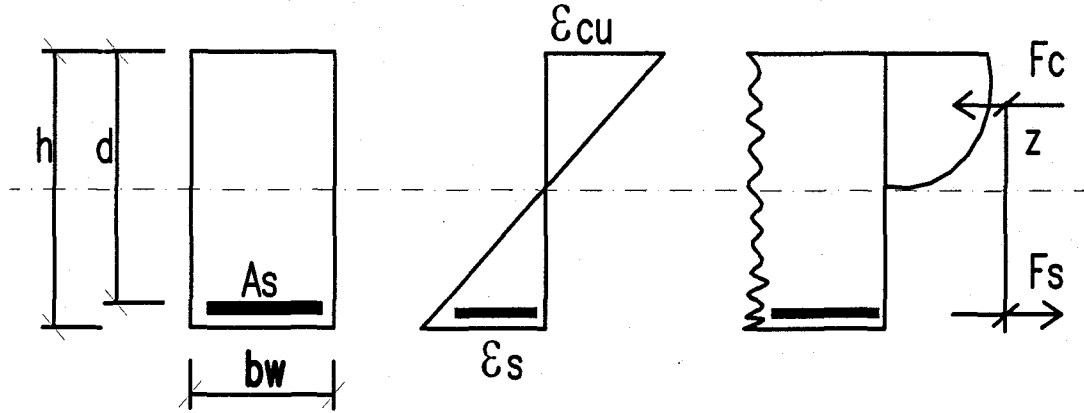
DIN 1045’ de bu değer küp dayanımı için;

$$F_{cd} = \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * f_{ck}$$

$$= 0,85 * 0,82 * 1 * f_{ck}$$

$$= 0.70 f_{ck} = 3,16 \text{ alınmaktadır.}$$

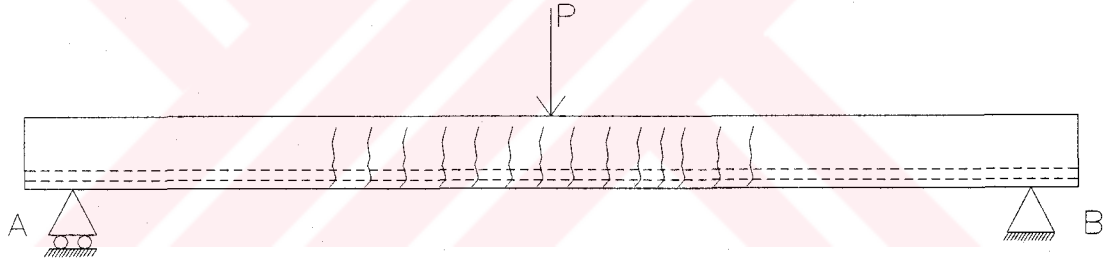
TS 500 ve DIN 45 karşılaştırıldığında TS 500 deki değerlerin %25 oranında daha emniyetli tarafta kaldığı görülmektedir (Kamanlı 1999).



Şekil 3.11 Dikdörtgen kesitli kiriş

Eğilme altındaki bir kiriş için gerekli taşıma gücü hesabını yapmadan önce bu tür elemanların yük altındaki davranışının bilinmesinde büyük yarar vardır. Kirişin çekme bölgesindeki ilk çatlaklar en dış çekme lifindeki birim uzamanın, betonun çekmedeki uzamına sınırına ulaşması ile olur. Çatlama momentlerinin donatısız bir kirişin kırılma momentine eşit olduğu varsayılır (Ersoy 2001).

Pratikte aksenal çekme dayanımının yerine yaklaşık iki katı olarak betonun eğilmedeki çekme dayanımı alınır. İlk çatlaklar momentin en yüksek olduğu yörede oluşur. Bu çatlaklar kılcal düzeydedir ve görünmesi son derece zordur. Yük düzeyi yükseldikçe bu çatlakların boyu ve genişliği artar ve yeni çatlaklarda oluşur. Bu çatlaklar asal çekme gerilmelerine dik yönde oluşur. Bu nedenle kirişin orta bölgesinde oluşan-gözlenen çatlaklar dik yöndedir. Şekil 3.12’de kirişlerde oluşan çatlaklar görülmektedir.



Şekil 3.12 Kirişlerde oluşan çatlaklar

### 3.2.8.1. Kiriş taşıma gücünün değerlendirilmesi

Beton dayanımındaki olabilecek değişikliklerin kiriş taşıma gücü ve bağlı olarak da davranışı üzerindeki etkileri irdelenmiştir. Bilindiği gibi aksenal yükün olmadığı veya düşük düzeyde olduğu kiriş gibi eğilme elemanlarında beton dayanımındaki olası farklılıklar kirişin taşıma gücünü çok az etkilemektedir. Bu konuda kaynaklar incelendiğinde beton dayanımındaki %20’lik bir azalma moment taşıma gücünde %3’lük bir azalma olduğu görülmüştür. Buradan hareket edilecek olursa, bu deneysel çalışmada betonarme elemanlarının beton dayanımlarında, şaşırtıcı bir derecede fark



yoktur (Bkz. Çizelge 3.7). Deney kirişlerinin üretimi, hasar verilmesi ve onarım yapılması zamanları dikkate alındığında, deneyin uzun sürmesi bakımından kullanılan çimentonun özelliğini yitirmemesi için çimentonun tamamı aynı anda alınmamıştır. Beton dayanımları arasında çok az da olsa farklılıklar bu nedene bağlanmıştır. Bu deneyde kullanılan beton dayanımlarındaki farklılıkların, eleman eğilme rijitliklerinin üzerindeki etkisinin oldukça az olduğu görülmüştür. Beton dayanımının arasındaki küçük farklılıkların davranışı ve dayanımı hemen hemen hiç etkilemediği sonucuna varılmıştır.

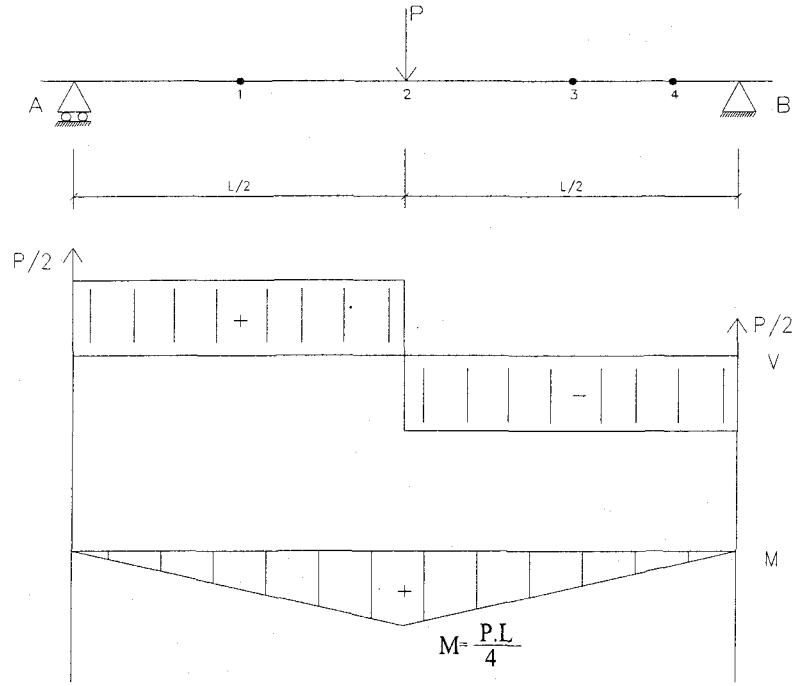
### **3.2.9. Kiriş deplasman ölçülerinin değerlendirilmesi**

Daha önceden de belirtildiği gibi kirişin dört noktasından alınan deplasman ölçümleri sırasında LVDT'ler kullanılmıştır. Ayrıca mesnetlerde küçük de olsa öteleme yapacağı düşünülmüş ancak ihmal edilmiştir. Bu çalışmaya gerekli sehim kirişin orta noktasından alınan sehimdir. Orta noktadan alınan sehim eğilme deformasyonlarının toplamından oluşan net deplasmandır. Bu nedenle deney sonuçlarının değerlendirilmesinde orta noktadan ölçülen sehimler göz önünde bulundurulmuştur. Şekil 3.9'de herhangi bir deney elemanının deformasyon ölçümü gösterilmektedir.

#### **3.2.9.1. Yük-deplasman ilişkisi**

Kiriş numunelerinin yükleme programı çerçevesinde deneme sonucunda elde edilen veriler kullanılarak hazırlanan yük-sehim ilişkileri, Data-Logger'dan alınan verilerle bilgisayarda çizilmiştir. Şekil 3.13'de yük ve kesit tesirleri görülmektedir. Ayrıca yük ve deplasman okumalarının tamamı Ek-1'de verilmiştir.

Eğrilerde yer alan sehimler, kiriş orta noktasında yerleştirilmiş LVDT'den alınmıştır.



Şekil 3.13. Herhangi bir kirişin deformasyonunun ölçülmesi kompratör ve LVDT yerleşim yeri

$D_1 = 1/4 L$  açıklık noktalarındaki deplasman (kompratör)

$D_2 = 1/2 L$  “ “ “ (LVDT)

$D_3 = 1/4 L$  “ “ “ (kompratör)

$D_4 = 1/8 L$  “ “ “ (kompratör)

F= Orta noktada ( $D_2$ ) deplasman miktarı

### 3.2.9.2. Süneklik oranlarının hesabı

Betonarme taşıyıcı sistemlerde iki tür süneklikten bahsedilir. Biri eğrilik sünekliği diğeri ise ötelenme sünekliğidir (Atımtay 2000).

Eğrilik sünekliği taşıyıcı elemanların kesit özellikleri ile ilgilidir. Ötelenme sünekliği ise taşıyıcı sistemin bir bütün halinde ötelenme özellikleri ile ilgilidir. Esasında süneklik taşıyıcı elemanda öngörülen dayanımda önemli bir kayıp olmaksızın deformasyon yapabilme özelliğidir. Süneklik oranı ise öngörülen dayanımda önemli bir kayıp olmaksızın oluşan en büyük deplasmanın akma anındaki deplasmana oranıdır (Atımtay 2000).

Bu araştırmada bir miktar olası kayıplar göze alınmıştır. Süneklik oranı yük-deplasman ilişkisinden bulunmuştur. Moment eğrilik ilişkisinden de bulunabilirdi. Teorik olarak bu iki süneklik oranının aynı olması gerekir. Ancak betonarmenin kendine has davranışıyla eğrilik hesaplarındaki ölçüm boyunun tartışmaya açık olmasından dolayı deneysel çalışmalarda süneklik oranının belirlenmesinde moment-eğrilik ilişkisi pek tercih edilmemektedir. Bu sebeple bu çalışmada yük-deplasman ilişkisinden süneklik hesabı yapılmıştır. Bunun hesaplanması için deney elemanına ait yük-deplasman grafiğinin monolitik eleman dayanımının % 85 inden geöen yatay doğrusunun keştiği noktadaki deformasyon bulunmuştur. Daha sonra da bu elemana ait akma deformasyonuna bölünmüştür. Böylece her elemanın kopma anındaki deformasyonu-akma anındaki deformasyonuna bölünerek bütün deney kirişlerinin süneklilikleri bir çizelge halinde gösterilmiştir.

### 3.2.9.3. Kirişlerde rijitlik hesabı

Deney numunelerinin eğilme rijitlikleri teorik olarak moment-eğrilik ilişkisinin eğimine eşittir. Ancak deney elemanlarının moment eğrilik ilişkisinin betonarmenin kendisine has davranmasından dolayı tam olarak doğru olduğunu düşünmek hatalı olabilir. Betonarme taşıyıcı elemanın model deneylerinde eğrilik ölçümü alınacak bölgenin uzunluğuna karar vermek oldukça önemli bir husustur.

Kirişteki çatlak sayısı ve dağılımı eğriliği öneme haiz bir durumda değiştirebilmektedir. Olaya bu açıdan bakıldığında ölçülerek alınan eğriliğin geröek eğriliği ne kadar yansıtacağı bilinmeyen ve tartışılacak bir husustur. Bundan dolayı rijitlik esaslarında moment-eğrilik ilişkisi kullanılmayıp daha geröekçi olan yük-deplasman grafiklerinin oluşturduğu eğimler kullanılmıştır. Yük-deplasman ilişkilerinde eğrinin doğrusal olduğu ve ilk çatlama yüküne kadar olan kısmının eğimi bulunarak rijitlik hesaplanmıştır. Yük-deplasman eğrisinde kırılma yükü kullanılarak bulunan eğime göre rijitlik kaybı hesaplanıp ilk çatlak anındaki rijitlikle karşılaştırma yapılmıştır.

Bütün deney elemanlarında deplasman kontrollü yükleme yapılmış buna bağlı olarak da her deney elemanlarına yaklaşık olarak eşit deplasman yapılmıştır. Özet olarak rijitlikler yük-deplasman grafiğinde kayma deformasyonlarının etkisinin azalıp sistemin tekrar yük almaya başladığı çıkış kısmının eğiminden hesaplanmıştır.

#### **3.2.9.4. Enerji tüketimi hesabı**

Deney elemanlarının enerji tüketme kapasiteleri, yük-sehim eğrilerinin altında kalan alana eşit olduğu kabul edilmektedir. Ancak toplam enerjinin değişmediğine yalnız başka enerjilere dönüştüğü fiziğin bilinen temel esaslarından biridir. Bu nedenle böyle bir sistem üzerine gelen enerjinin bir kısmını deformasyon enerjisine dönüştürerek tüketir. Dönüştürülen enerji plastik bölgenin uzunluğu ile genelde doğru orantılıdır. Bu sebeple taşıyıcı sistem elemanlarının enerji tüketebilme kapasiteleri oldukça önemlidir. Enerji yapılan işe, iş ise kuvvet ile duruma göre alınan yolun çarpımına eşittir. Buradan yola çıkarak deney elemanlarının enerji tüketme kapasiteleri elemana ait yük-deplasman grafiğinin maksimum yükle kaplamış olduğu alanda bulunmuştur.

## 4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Deneysel Bulgular

Bu kısımda deneyler anlatılmıştır. Deneyler esnasında davranış ve dayanımda izlenen değişiklikler çok dikkatli bir şekilde gözlenmiş ve bütün ayrıntılarıyla yorumsuz olarak sunulmuştur. Anlatımda giriş orta noktasından alınan ölçümlerden yük-deplasman grafiği çizilmiştir. Deneyler ön yüzden bakıldığında elemanların üzerine yerleştirilen komparatörlerin soldan sağa doğru 1,2,3,4 numaralanmasına göre anlatılmıştır. Ön yüzden bakıldığında 1 nolu komparatör sol uca 0,25 L uzaklıkta, 2 nolu komparatör giriş orta noktasında, 3 nolu komparatör sol uçtan 0,75 L uzaklıkta ve 4(dört) numaralı komparatör ise sağ uçtan 0,25 L uzaklıktadır. 1 ve 3 nolu komparatörler deneyin sağlıklı yürütülmesi açısından bilgi amaçlı yerleştirilmiştir.

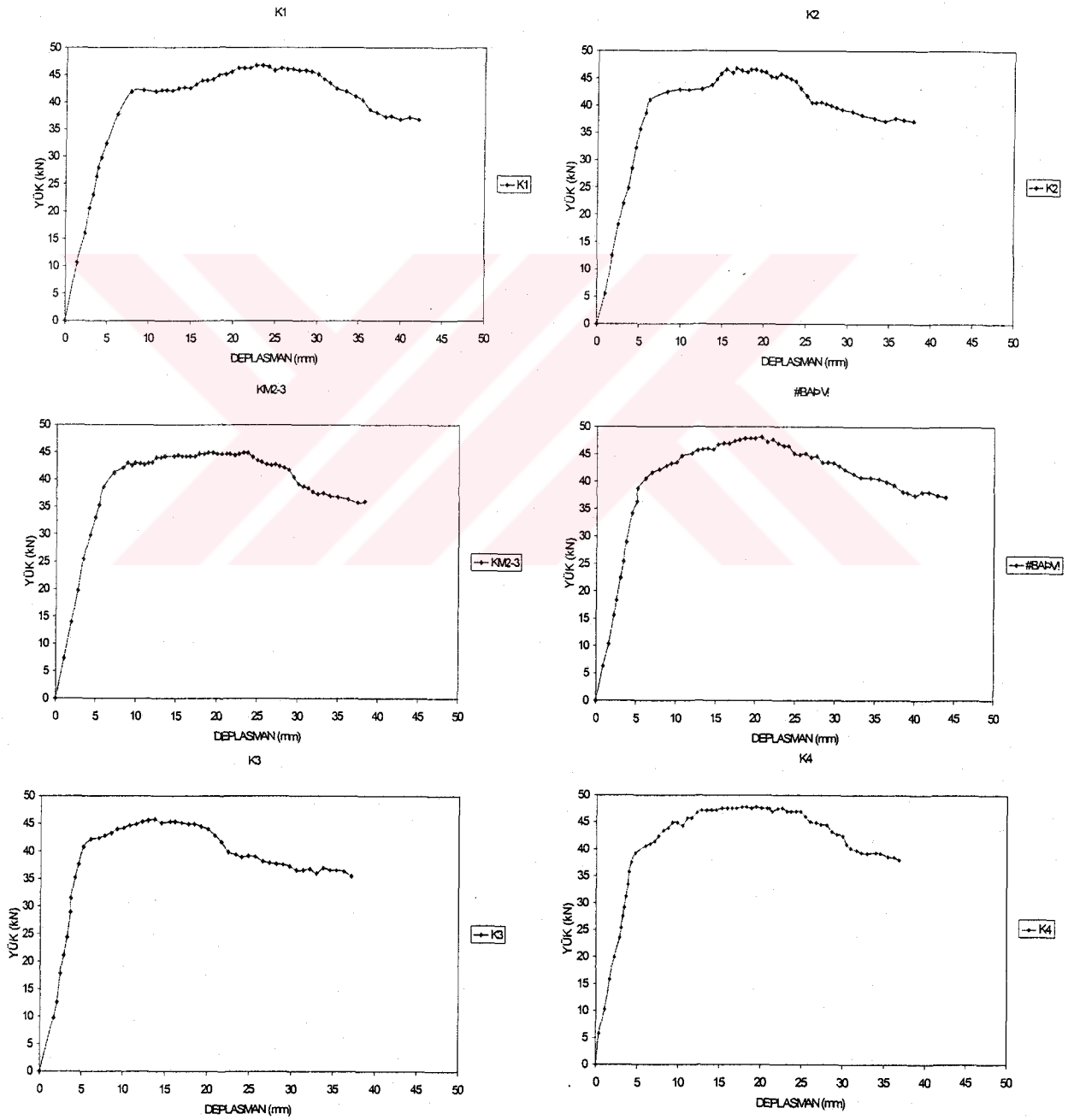
#### 4.1.1. Giriş deplasman ölçülerinin değerlendirilmesi

Daha önceden de belirtildiği gibi girişin dört noktasından alınan deplasman ölçümleri sırasında LVDT'ler kullanılmıştır. Ayrıca mesnetlerde küçük de olsa öteleme yapacağı düşünülmüş ancak ihmal edilmiştir. Orta noktadan alınan sehim, eğilme deformasyonlarının toplamından oluşan net deplasmandır. Bu nedenle deney sonuçlarının değerlendirilmesinde orta noktadan ölçülen sehimler göz önünde bulundurulmuştur.

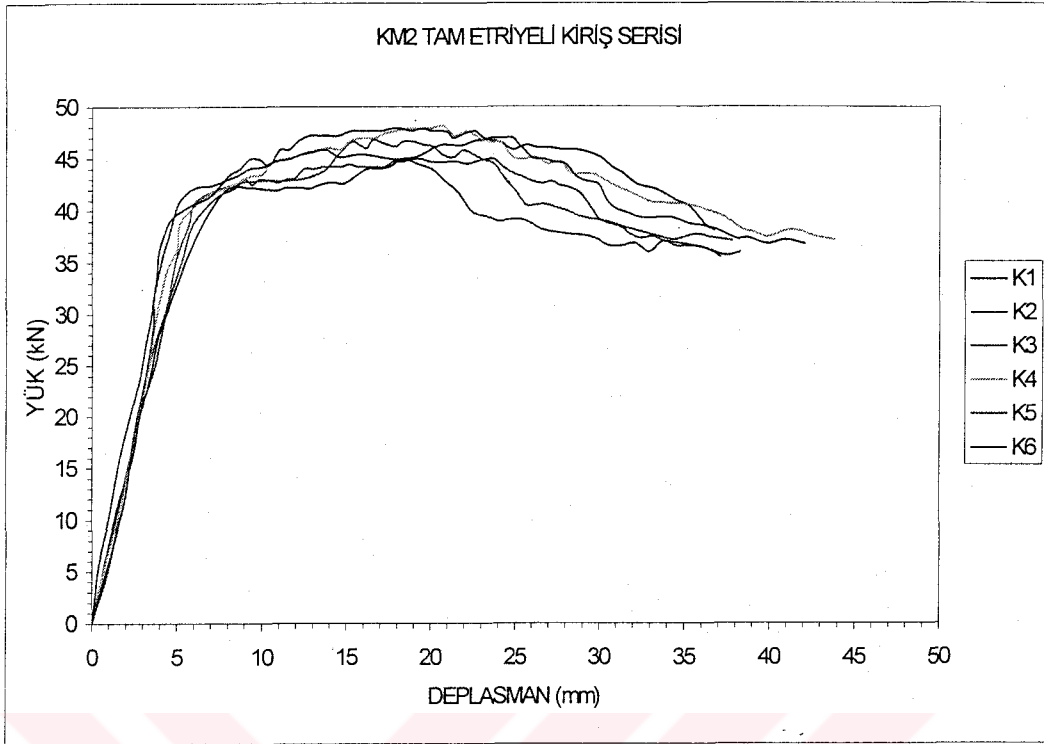
#### 4.1.2. Yük-deplasman İlişkisi

Kiriş numunelerinin yükleme programı çerçevesinde deneme sonucunda elde edilen veriler kullanılarak hazırlanan yük-deplasman ilişkileri bilgisayarda çizilmiştir. Şekil 3.13'de yük ve kesit tesirleri görülmektedir.

Eğrilerde yer alan sehimler, kiriş orta noktasında yerleştirilmiş LVDT' den alınmıştır. Bu şekilde kiriş orta noktasından ölçülen sehim ve ilk çatlama ve kırılma anındaki yüke karşılık gelen deplasmanlar Şekil 3.14.a,b'de gösterilmiştir.



Şekil 3.14.a Yük ve deplasman grafiği



Şekil 3.14.b Yük ve deplasman grafiği

#### 4.1.3. Süneklik oranlarının hesabı

Betonarme taşıyıcı sistemlerde iki tür süneklikten bahsedilir. Biri eğrilik sünekliği diğeri ise ötelenme sünekliğidir. Eğrilik sünekliği taşıyıcı elemanların kesit özellikleri ile ilgilidir. Ötelenme sünekliği ise taşıyıcı sistemin bir bütün halinde ötelenme özellikleri ile ilgilidir. Esasında süneklik taşıyıcı elemanda öngörülen dayanımda önemli bir kayıp olmaksızın deformasyon yapabilme özelliğidir. Süneklik oranı ise öngörülen dayanımda önemli bir kayıp olmaksızın oluşan en büyük deplasmanın akma anındaki deplasmana oranıdır (Atımtay 2000).

Bu araştırmada bir miktar olası kayıplar göze alınmıştır. Süneklik oranı yük-deplasman ilişkisinden bulunmuştur. Bunun hesaplanması için deney elemanına ait yük-deplasman grafiğinin monolitik eleman dayanımının % 85 inden geçen yatay doğrusunun kestiği noktadaki deformasyon bulunmuştur. Daha sonra da bu elemana ait akma deformasyonuna bölünmüştür. Böylece her elemanın kopma anındaki

deformasyonu-akma anındaki deformasyonuna bölünerek bütün deney kirişlerinin süneklikleri Çizelge 3.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.11. Kirişlerin süneklik oranları

Kiriş seri no	Akma anındaki deplasman $\Delta y(\text{mm})$	Kopma anındaki deplasman $\Delta y(\text{mm})$	Süneklik $\mu_{\Delta} = \frac{\Delta u}{\Delta y}$
K1	6,2	35,0	5,6
K2	6,1	28,4	4,7
K3	6,0	31,2	5,2
K4	5,1	35,3	6,9
K5	5,0	23,8	4,8
K6	4,6	30,7	6,7
RKM-1	6,9	43,1	6,2
RKM-2	8,0	49,8	6,2
RKM-3	7,0	48,2	6,9

#### 4.1.4. Kirişlerde rijitlik hesabı

Kirişteki çatlak sayısı ve dağılımı eğriliği öneme haiz bir durumda değiştirebilmektedir. Olaya bu açıdan bakıldığında ölçülerek alınan eğriliğin gerçek eğriliği ne kadar yansıtacağı bilinmeyen ve tartışılacak bir husustur. Bundan dolayı rijitlik esaslarında moment-eğrilik ilişkisi kullanılmayıp daha gerçekçi olan yük-deplasman grafiklerinin oluşturduğu eğimler kullanılmıştır. Yük-deplasman ilişkilerinde eğrinin doğrusal olduğu ve ilk çatlama yüküne kadar olan kısmının eğimi bulunarak rijitlik hesaplanmıştır. Yük-deplasman eğrisinde kırılma yükünü kullanarak bulunan eğime göre rijitlik kaybı hesaplanıp ilk çatlak anındaki rijitlikle karşılaştırma yapılmıştır.

Bütün deney elemanlarında deplasman kontrollü yükleme yapılmış buna bağlı olarak da her deney elemanlarına yaklaşık olarak eşit deplasman yapılmıştır. Özet olarak rijitlikler yük-deplasman grafiğinde kayma deformasyonlarının etkisinin azalıp



sistemin tekrar yük almaya başladığı çıkış kısmının eğiminden hesaplanmıştır. Çizelge 3.12’de kirişlerin eğilme rijitlikleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.12. Kirişlerin eğilme rijitlikleri

Kiriş seri no	Merkezi çökme (mm)	Akmanın rijitliği kN/mm	Kopma rijitliği kN/mm	Rijitlik azalması %
K1	35,0	3,73	0,67	82,04
K2	28,0	3,73	0,80	78,56
K3	32,0	3,73	0,70	81,24
K4	35,5	4,33	0,67	84,53
K5	28,0	4,70	0,93	80,22
K6	31,3	4,70	0,75	84,05
RKM-1	43,0	3,48	0,57	83,63
RKM-2	50,0	3,27	0,55	83,18
RKM-3	43,0	3,73	0,60	83,92

#### 4.1.5. Enerji tüketimi hesabı

Deney elemanlarının enerji tüketme kapasiteleri, yük-sehim eğrilerinin altında kalan alana eşit olduğu kabul edilmektedir. Ancak toplam enerjinin değişmediğine yalnız başka enerjilere dönüştüğü fiziğin bilinen temel esaslarından biridir. Bu nedenle böyle bir sistem üzerine gelen enerjinin bir kısmını deformasyon enerjisine dönüştürerek tüketir. Dönüşebilen enerji plastik bölgenin uzunluğu ile genelde doğru orantılıdır. Bu sebeple taşıyıcı sistem elemanlarının enerji tüketebilme kapasiteleri oldukça önemlidir. Enerji yapılan işe, iş ise kuvvet ile duruma göre alınan yolun çarpımına eşittir. Buradan yola çıkarak deney elemanlarının enerji tüketme kapasiteleri elemana ait yük-deplasman grafiğinin maksimum yükte kaplamış olduğu alanda bulunmuştur. Çizelge 3.13’de kirişlerin enerji yutma kapasiteleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.13. Kirişlerin enerji yutma kapasitesi

Kiriş seri no	Max. Pu (kN)	Merkezi çökme (mm)	Enerji tüketme kapasitesi (kNmm)
K1	46,8	35,0	168119,79
K2	46,5	28,0	133091,99
K3	45,2	32,0	145486,86
K4	48,2	35,5	174353,92
K5	46,0	28,0	111402,98
K6	47,7	31,3	154353,48
RKM-1	51,2	43,0	160430,42
RKM-2	55,0	50,0	195658,12
RKM-3	52,6	43,0	164760,39

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan deneysel çalışmada üretilen 9 adet kirişin onarım yöntemine ait sonuçlar ile elde edilen deneysel değerlerin teorik değerlerle uyumluluğu incelenerek ve ulaşılan sonuçlar değerlendirilmiştir.

Dikdörtgen kesitli kirişlerdeki hasar sebeplerini belirlemek ve nedeni belli olan hasarları değerlendirerek yapılan onarım ve güçlendirme çalışmalarının esasını teşkil etmektir. Bu çalışmada çeşitli nedenlerle meydana gelen hasarların ortaya çıkış sebepleri, betonarme taşıyıcı elemanların da kullanılan bileşen malzemelerinin birbiriyle ve dış etkilerle oluşan hasarlar, deprem, yangın, aşırı yükleme, patlama gibi nedenlerle oluşan hasarlar ve bu hasarların kirişleri etkileme derecelerinin belirlenmesi için gerekli çalışmalar incelenmiştir.

Yapılan incelemelerde hasarlı elemanların mevcut bilinen yöntemlerle farklı şekilde onarılması, onarılan kirişlerin taşıma gücünde, yük ve deplasman ilişkisinde, rijitliğinde, sünek davranışında ve enerji yutma kapasitesindeki değişiklikler değerlendirilmiştir.

Araştırmaya esas olan mantolama yöntemiyle, hasar görmüş veya yetersizliği belli olan kirişin alt yüzeyi paspayına kadar açılarak eski kiriş çevresi tam etriyelerle sarılarak çekme bölgesinde yine iki adet donatı yerleştirilmesi ile kiriş yeni bir betonla mantolanıp onarımı sağlanmıştır.

Tam etriyelerle sarılarak kirişlerin onarılması her yerde kolay olmayabilir. Onun için üstü açık kirişlerde ya da zorunlu kalırsa binanın kurtarılması söz konusu ise kiriş üzerindeki duvarlarda alınarak bu uygulamanın yapılması yine uygundur. Yapılmış olan bu deneyde elde edilen verilere dayanarak ulaşılan başlıca sonuçların yapılmış olan deneylerin özellik ve yapılış şartları ile sınırlı olduğu da ihmal edilmemelidir.

Çevresi etriyelerle sarılarak onarılan kirişler, referans kirişlerle aynı davranışı sergilemişlerdir. Bütün deney elemanlarında hedeflenen dayanımlara çok az farklarla ulaşılmıştır.

Onarılan kirişler kendi aralarında birbirine yakın süneklik göstermiş fakat referans (tam döküm) kirişler kadar sünek davranmamıştır.

Onarılmış bütün elemanların enerji tüketme kapasiteleri, onarım öncesi kesitteki referans kirişin enerji tüketme kapasitelerini aşmıştır.

Bütün elemanlarda elde edilen rijitlik incelendiğinde onarılmış kirişlerin daha fazla rijit oldukları gözlenmiştir. Ancak bütün elemanlarda yeterli rijitlik elde edilememiştir.

Normal kiriş elemanlarının davranışları karşılaştırıldığında onarılmış kirişlerin süneklikleri hepsinde yeterinden fazla sünek davrandığı ve rijitliklerinin ise yine deneyde kullanılan elemanlardan fazla olduğu ve enerji yutma kapasiteleri ise birbirine yine yakın oldukları gözlenmiştir.

Onarım için hazırlanan modellerin dayanım eğilme davranışları incelendiği zaman bütün kirişlerin onarımdan önce ulaştıkları maksimum yükü aşmıştır. Bütün kirişlerin kırılma modu eğilme kırılmasıdır. Onarılan kirişlerin taşıdığı max. yük referans kirişleri aşamamıştır.

Onarım sonucu artan kesit ve donatı yüzdesi nedeni ile kirişler eskisinden daha rijit hale gelmiştir. Yük taşıma kapasiteleri ve enerji yutma kapasiteleri daha büyüktür.

Bütün kirişlerde akma durumuna ulaşılmıştır. Kirişlerde onarım kısa sürede yapılmıştır. Onarılan kiriş yüzeylerinin hazırlığının iyi olması aderansı arttırmıştır.

Deney elemanları üzerinde yapılan onarım yöntemlerindeki sonuç istenilen dayanımlara ulaşırsa da araştırmaya esas olan bu çalışma laboratuvar koşullarında

yapılmıştır. Yapılan deney sırasında ortaya çıkan sorunlar ve kırışlerin sergiledikleri davranışların da gözlenen hususlara bakıldığında uygulamadaki koşulların laboratuvar koşulları kadar iyi şartlarda olmadığı varsayımı ile hedeflenen dayanım ve kapasite % 5-15 arasında yüksek seçilmelidir.

Hasar verildikten sonra onarımı yapılan kırışlerin çatlak sayısı ve genişliğinin eğilme rijitliğini etkilediği görülmüştür. Bundan dolayı çatlakların onarımı epoksi enjekte edilerek onarılmalı ve mantolama yapılmadan taşıma gücü rijitliği deneysel araştırılmalıdır.

Mantolanarak onarımı yapılan kırışlerde kesit büyümüştür. Kesit fazla büyütülmeden malzeme değiştirilerek ( karbon fiber vb. gibi ) yapıştırma yapılabilir.

Betonarme taşıyıcı elemanların onarımında işçiliğin çok önemli olduğu unutulmamalı ve detaylar uygulama sırasında mümkün mertebe tam olarak uygulanmalıdır.

Taşıyıcı elemanların onarımında alt katlardan başlanmalı, onarım sonucunda istenen sonucun alınabilmesi için elemanın yükleri askıya alınmalı ve eleman yükten boşaltılmalıdır.

**KAYNAKLAR**

1. Demir, H., 2000, Betonarme Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, Fast Print, İstanbul
2. TSE, 2000, Türk Standardı 500/Şubat 2000, TSE, Ankara
3. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 1997, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara
4. Horta,J., Castano, VM., 2000, Shift of natural frequencies in buildings damaged by earthquakes, **Proceedings-of-the-International Modal-Analysis-Conference-IMAC.**, v:2, p:1412-1416
5. Başyigit, C., Gençer, Ö., Terzi, S., 2000, Depremde Hasar Gören Betonarme Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi, Deprem Araştırma Bülteni., Yıl:27, Sayı:83, Sayfa: 122-130
6. Çatal, H.H., 1990, Depremde Hasar Gören Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Araştırma Dairesi, Deprem Araştırma Bülteni., Yıl:17, Sayı:68, Sayfa:22-31
7. Celep, Z., Boduroğlu, H., 1997, Dinar Öğretmen Evleri Kooperatifleri Binaların deprem davranışı ve yapılan güçlendirme sistemi.4.ulusal deprem mühendisliği konferansı., Sayfa:173-180
8. Wasti, S, T., Erberik, M., Altuğ, K.C., Sucuoğlu, H., 1997, Dinar depreminde Hasar Görmüş yığma yapıların onarım ve güçlendirme çalışmaları., 4.ulusal Deprem mühendisliği konferansı., Sayfa:230-241

9. Boduroğlu, H., Parlar, N., 1997, On bir katlı kirişsiz döşemeli bir yapının Depreme karşı güvenliğinin artırılması., 4.ulusal deprem mühendisliği konferansı., Sayfa:485-492
10. Ersoy, U., 1993, 1992 Erzincan depreminden alınması gereken dersler, T.M.M.O.B.İnşaat Mühendisleri Odası-İstanbul Şubesi Deprem Mühendisliği Türkiye Milli Komitesi İ.T.Ü. Yapı Ve Deprem Uygulama Araştırma Merkezi 2. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Sayfa:395-403
11. Demir, H., 1993, Erzincan Deprem bölgesinden yapılan izlenimler ve düşünceler, T.M.M.O.B. İnşaat Mühendisleri Odası-İstanbul Şubesi Deprem Mühendisliği Türkiye Milli Komitesi İ.T.Ü. Yapı ve Deprem Uygulama Araştırma Merkezi, 2. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı., Sayfa:452-463
12. Bayülke, N., Doğan, A., Kocaman, C., Yazar, E., 2000, 17Ağustos1999 İzmit Körfezi Depremi:Yapı Hasarı, T.C. Bayındırlık Ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı., sayfa:222
13. Paparoni, M., 1998, Structural damages caused by hidden overloads in a reinforced and prestressed concrete parking garage diagnosis and repair procedures, Proceedings-of-the international-seminar-on- of-Repair and Rehabilitation-of-Reinforced-concrete-structures **The state the-Art ASCE, Reston, VA, USA.**, p:207-223
14. Fahmy, E, H., Shaheen, Y, B, I., Karany, Y, S., 1997, Repairing reinforced concrete beams by ferrocement, V 27 no 1, p:19-32  
21. Al-Bahar, S., Attiogbe, E, K., Kemal, H., 1998, investigation of corrosion concrete beams by ferrocement, V 27 no 1, p:19-32  
damage in a reinforced concrete structure in Kuwait, **ACI Materials-journal.**, v:95 n:3, p:226-231

15. Godson, I, B., Tickner, N, D., 1990, Advanced methods for protection and repair of reinforced concrete facades, Godson/1-Godson/19
16. Ersoy, U., Sonuvar, O, M., Tankut, T., Özcebe, G., 2001, Betonarme dolgu ile onarılmış çerçevelerin deprem davranışı, Tübitak inşaat ve Çevre Teknolojileri Araştırma Grubu Yapı Mekaniği Laboratuarları Toplantısı., Sayfa:45
17. Atımtay, E., İlgün, A., 2001, Çok katlı betonarme panel yapıların yatay yük altında davranışı(teorik ve deneysel olarak araştırma), Tübitak inşaat ve Çevre Teknolojileri Araştırma Grubu Yapı Mekaniği Laboratuarları Toplantısı., Sayfa:87
18. Kumbasar, N., İlki, A., 2001, Karbon lif takviyeli polimer kompozitlerin yapı elemanlarının onarım ve güçlendirilmesinde kullanılması, Tübitak inşaat ve Çevre Teknolojileri Araştırma Grubu Yapı Mekaniği Laboratuarları Toplantısı., Sayfa:105
19. Basunbul, A, I., Gubati, A, A., Al-Sulaimani, G, J., Baluch, M, H., 1990, Repaired reinforced concrete beams, **ACI Materials Journal**., sayfa:348-354
20. Köylüoğlu, U., Nielsen, S., Abbott, J., 1998, Local and modal damage indicators for RC frames subject to earthquakes, **Journal-of-Engineering Mechanics**, v:124, n:12., p:1371-1379
21. Blight-GE, Lampacher-BJ., 1998, Repair of reinforced concrete portal frame damaged by alkali-silica reaction - strains after 5 one half years, **Magazine-of-Research**, v:50, n:4, p:293-296



22. Özdemir, P., Boduroğlu, H., Zahirtar, P., 1997, Kiriş-Kolon birleşim bölgelerinde etriye düzeni ile ilgili deneysel alışmalar, 4.Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı., Sayfa:188-195
23. Kara, N., Akın, S, K., 2001, Kolon kiriş birleşim bölgesinde fiber betonun taşıma kapasitesine etkileri, Tübitak inşaat ve evre Teknolojileri Araştırma Grubu Yapı Mekaniği Laboratuarları Toplantısı., Sayfa:1
24. Alcocer, S, M., 1993, Mantolama ile iyileştirilmiş betonarme karkas bağlantıları, Yapı Mühendisliği Dergisi Cilt:199, n.:5, Sayfa:1413-1431
25. Fukuyama, K., Higashibata, Y., Miyauchi, Y., 2000, Studies on repair and strengthening methods of damaged reinforced concrete columns, Cement and concrete compozites, v:22, n:1., p:81-88
26. Kamanlı, M., 1999, Değişken Kesitli Kirişlerin Davranışının Teorik ve Deneysel olarak İncelenmesi, Selçuk Üni. Fen Bil. Enst., Doktora Tezi, Konya
27. Sevük, F., 2000, Yapı Hasarları ve Hasarların İyileştirilmesi Üzerine Bir İnceleme, Yıldız Tek. Üni. Fen Bil. Enst., Doktora Tezi, İstanbul
28. Aykaç, S., 2000, Onarılmış/Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerin Deprem Davranışı, Gazi Üni. Fen Bil. Enst. Doktora Tezi, Ankara
29. Yılmaz, K., 1998, Betonarme Yapılarda Depremler Sonucunda Oluşan Hasarlar ve Onarım Yöntemleri, İstanbul Tek. Üni., Fen Bil. Enst., Yüksek Lisans Tezi, İstanbul
30. Yazar, E., 1997, Hasar Görmüş Kirişlerin Takviyesi, Celal Bayar Üni. Fen Bil. Enst., Manisa

31. Paramasivam, P., Lim-CTE., Ong-KCG., 1998, Strengthening of RC beams with ferrocement laminates, **Cement and Concrete Composites**, v:20, n:1, p:53-65
32. Diab-YG., Strengthening of RC beams by using sprayed concrete: experimental approach, **Engineering-Structures**, v:20, n:7., p:631-643
33. Collins, F., Roper, H., 1990, Laboratory investigation of shear repair of reinforced concrete beams loaded in flexure, **ACI Materials Journal**, v:87 no:2, p:149-159
34. Can, H., 1994, Deprem etkisindeki betonarme kirişlerin onarılması, İMO Teknik dergi, Gazi Üni. İnşaat Müh. Bölümü, sayfa:771, Ankara
35. Ersoy, U., Özcebe, G., 2001, Betonarme Temel İlkeler TS-500-2000 ve Türk Deprem Yönetmeliğine (1998) göre hesap, Bizim Büro Basımevi, Ankara
36. Atımtay, E., 1999, Onarılmış Güçlendirilmiş Yapıların Analizi, Bizim Büro Basımevi, Ankara
37. Atımtay, E., 2000, Açıklamalar ve Örneklerle Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (Betonarme Yapılar), Bizim Büro Basımevi, Cilt 1-2, Ankara
38. Atımtay, E., 2000, Çerçevesiz ve Perdeli Betonarme Sistemlerin Tasarımı, Temel Kavramlar ve hesap Yöntemleri (genişletilmiş 2.baskı Cilt 1-2, Bizim Büro Basımevi, Ankara
39. Atımtay, E., Tekel, E., 1997, Hasarlı bir yapının deprem davranışının incelenmesi ve öğrenilen dersler., 4. ulusal deprem mühendisliği konferansı., Sayfa:567- 576

40. Durmuş, A., Karaca, Z., 2000, , Betonarmede Çatlama Mekanizması, Çatlak Çeşitleri ve Denetimleri, Yapı Dünyası Dergisi
41. Gürbüz, A., 1990, Betonarme Taşıyıcı Sistemlerin Takviyesi ve Onarımı, Selçuk Üni., Fen bil. Enst., Yük. Lisans Tezi, Konya
42. Kalaycıoğlu, E.F., 1964, Betonarme Yapıların Takviye Metodları, Teknik broşür, İMO Yayınları, Sayı:4
43. Ünsal, Ç.T., 1989, Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerin Davranış ve Dayanımları, Gazi Üni., Fen Bil. Enst., Yük. Lisans Tezi, Ankara
44. Ersoy, U., Özcebe, G., 1999, Bölüm II , Betonarme Yapılarda Gözlenen Kusurlar Hasar Türleri ve Nedenleri, Betonarme Binaların Onarım ve Güçlendirilme Eğitim Semineri, Ankara
45. Sorguç, D., 2000, Hasarlı Binaları Onarım ve Güçlendirme Yolları, İTO, İstanbul
46. Aruntaş, H., Y., Fırat, S., Mengene, N., 2002, 17 Ağustos 1999 Marmara Depreminde Adapazarı'ndaki Betonarme Yapılarda Sıkça Rastlanan Yapısal Hasarlarının İncelenmesi, , Gazi Üni., Fen Bil. Enst. Dergisi, Yıl:2002, Cilt:15, No:2, Sayfa: 599-614, Ankara
47. TS 11222., 2001, Beton Hazır Beton Sınıflandırma, Özellikler, Performans, Üretim ve Uygunluk Kriterleri, TSE, Ankara
48. TS 802., 1985, Beton Karışım Hesap Esasları, TSE, Ankara
49. TS 706., 1980, Beton Agregaları, TSE, Ankara
50. TS 19., 1978, Portland Çimentoları, TSE, Ankara

51. TS 708., 1996, Beton Çelik Çubukları, TSE, Ankara
52. TS 138 EN 10002-1., 1996, Metalik Malzemeler Çekme Deneyi Bölüm-1
53. Ortam Sıcaklığında Deney Metodu, TSE, Ankara
54. TS EN 934-2., 2002, Beton Kimyasal Katkı Maddeleri (Priz Süresini Ayarlayan ve Karışım Suyunu Azaltan), TSE, Ankara
55. TS 3454., 1981, Basınç Altında Betonda Sünme Tayin Metodu, TSE, Ankara
56. TS 3114 ISO 4012., 1998, Beton-Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini, TSE, Ankara
57. TS 2987., 1978, Betonda Priz Süresinin Tayini, TSE, Ankara
58. TS 5893 ISO 3893., 1999, Beton Basınç Dayanımına Göre Sınıflandırma, TSE, Ankara
59. TS 3285., 1979, Betonun Eğilmede Çekme Dayanımı Tayini Deneyi (Orta Noktasından Yüklenmiş Basit Kiriş Metodu İle), TSE, Ankara
60. TS EN 12390-5., 2000, Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri Bölüm 5: Deney Numunelerinin Eğilmede Çekme Dayanımının Tayini, TSE, Ankara
61. TS 2871., 1977, Taze Beton Kıvam Deneyi (Çökme Hunisi Metodu İle), TSE, Ankara

## ÖZGEÇMİŞ

1976 Yılında Adana da doğdu. İlkokulu Adana Kazım Karabekir İlkokulunda, ortaokulu Adana Tepebağ ortaokulunda, liseyi Adana İnşaat Teknik Lisesinde tamamladıktan sonra 1999 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Bölümünden mezun oldu. Aynı yıl Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisansa başladı. 2000 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı ve halen bu göreve devam etmektedir.

