

**T.C.
NUH NACİ YAZGAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ANKASTRE MESNETLİ GÖVDE DONATILI
BETONARME KİRİŞLERDE ÇİROZ KULLANIMININ
KİRİŞ KAPASİTESİNE ETKİSİNİN DENEYSEL
OLARAK İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Rıdvan YAKUT**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Ertan SÜLEV**

**Kasım 2025
KAYSERİ**

Rıdvan YAKUT

**ANKASTRE MESNETLİ GÖVDE DONATILI BETONARME KIRIŞLARDA ÇİROZ
KULLANIMININ KIRIŞ KAPASİTESİNE ETKİSİNİN DENEYSEL
OLARAK İNCELENMESİ**

KAYSERİ, 2025

**T.C.
NUH NACİ YAZGAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ANKASTRE MESNETLİ GÖVDE DONATILI
BETONARME KİRİŞLERDE ÇİROZ KULLANIMININ
KİRİŞ KAPASİTESİNE ETKİSİNİN DENEYSEL
OLARAK İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Rıdvan YAKUT**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Ertan SÜLEV**

**Kasım 2025
KAYSERİ**

KABUL VE ONAY SAYFASI

Dr. Öğr. Üyesi Ertan SÜLEV danışmanlığında Rıdvan YAKUT tarafından hazırlanan “Ankastre Mesnetli Gövde Donatılı Betonarme Kirişlerde Çiroz Kullanımının Kiriş Kapasitesine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Nuh Naci Yazgan Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı Tezli Yüksek Lisans Programında Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

...../...../20...

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Ertan SÜLEV
(Nuh Naci Yazgan Üniversitesi)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Şaban Suat ÖZSARIYILDIZ
(Nuh Naci Yazgan Üniversitesi)

Üye : Doç. Dr. Ali BOZER
(Eskişehir Teknik Üniversitesi)

ONAY

Bu tezin kabulü Enstitü Kurulunun tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

..../..../20....

Doç. Dr. Burcu ORALHAN

Enstitü Müdürü

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Nuh Naci Yazgan Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**” kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricince YÖK Ulusal Tez Merkezi / Nuh Naci Yazgan Üniversitesi Kütüphanesi Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

oEnstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir. (1)

oEnstitü / Fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren ... ay ertelenmiştir. (2)

oTezimle ilgili gizlilik kararı verilmiştir. (3)

..... /...../.....
(İmza)
Rıdvan YAKUT

“**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**”

(1)Madde 6. 1. Lisansüstü teze ilgili patent başvurusu yapılması veya patent alma sürecinin devam etmesi durumunda, tez **danışmanının** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulu** iki yıl süre ile tezin erişime açılmasının ertelenmesine karar verebilir.

(2)Madde 6. 2. Yeni teknik, materyal ve metotların kullanıldığı, henüz makaleye dönüşmemiş veya patent gibi yöntemlerle korunmamış ve internetten paylaşılması durumunda 3. şahıslara veya kurumlara haksız kazanç imkanı oluşturabilecek bilgi ve bulguları içeren tezler hakkında tez **danışmanının** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulunun** gerekçeli kararı ile altı ayı aşmamak üzere tezin erişime açılması engellenebilir.

(3)Madde 7. 1. Ulusal çıkarları veya güvenliği ilgilendiren, emniyet, istihbarat, savunma ve güvenlik, sağlık vb. konulara ilişkin lisansüstü tezlerle ilgili gizlilik kararı, **tezin yapıldığı kurum** tarafından verilir *. Kurum ve kuruluşlarla yapılan işbirliği protokolü çerçevesinde hazırlanan lisansüstü tezlere ilişkin gizlilik kararı ise, **ilgili kurum ve kuruluşun önerisi** ile **enstitü** veya **fakültenin** uygun görüşü üzerine **üniversite yönetim kurulu** tarafından verilir. Gizlilik kararı verilen tezler Yükseköğretim Kuruluna bildirilir.

Madde 7.2. Gizlilik kararı verilen tezler gizlilik süresince enstitü veya fakülte tarafından gizlilik kuralları çerçevesinde muhafaza edilir, gizlilik kararının kaldırılması halinde Tez Otomasyon Sistemine yüklenir.

* Tez **danışmanının** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulu** tarafından karar verilir.

ETİK BEYAN

Bu çalışmadaki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, yararlandığım kaynaklara bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu, tezimin kaynak gösterilen durumlar dışında zgn olduğunu, *Doç. Dr. Öğr. Üyesi Ertan SÜLEV*'in danışmanlığında tarafımdan retilildiğini ve Nuh Naci Yazgan Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzuna göre yazıldığını beyan ederim.

(İmza)

Rıdvan YAKUT

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmamda önderlik eden ve destek veren danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Ertan SÜLEV'e teşekkür ederim.

Akademik hayatımın başlangıcından bu güne desteğini, engin bilgi ve tecrübesini paylaşan değerli hocam Sayın Prof. Dr. Tefaruk HAKTANIR'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde her türlü desteği sağlayan, emeğini esirgemeyen, deneyim, bilgi ve fikirleriyle yol gösteren değerli meslektaşım Yüksek İnşaat Mühendisi Talip DEMİRAL'a katkılarından dolayı şükranlarımı sunarım.

Deney numunelerinin hazırlanmasına katkısı için değerli meslektaşım İnşaat mühendisi Mustafa TÜRETMİŞ'e ve emeği geçen kalıp ve demir ustalarına teşekkür ederim.

Çalışmamda Erciyes Üniversitesi Deprem Araştırma Laboratuvarı imkânlarından faydalanmamı sağlayan değerli hocam Sayın Doç. Dr. Tamer DİRİKGİL'e destek ve çabalarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim. (Kayseri, Kasım 2025).

Rıdvan YAKUT

ANKASTRE MESNETLİ GÖVDE DONATILI BETONARME KİRİŞLERDE ÇİROZ KULLANIMININ KİRİŞ KAPASİTESİNE ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Rıdvan YAKUT

Nuh Naci Yazgan Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Kasım 2025

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ertan SÜLEV

ÖZET

TBDY 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nin "Deprem Etkisi Altında Yerinde Dökme Betonarme Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı İçin Özel Kurallar" başlıklı Bölüm 7.4'ü, süneklik düzeyi yüksek betonarme kirişlerin kesit koşullarını tanımlamaktadır. Yönetmeliğin 7.4.1.c maddesine göre, kiriş yüksekliği serbest açıklığın dörtte birinden büyük olduğunda, kiriş gövdesinin her iki yüzüne kiriş yüksekliği boyunca gövde donatısı yerleştirilmesi zorunludur. Toplam boyuna gövde donatısı alanı, mesnet kesitlerindeki üst veya alt boyuna donatı alanlarının en büyüğünün %30'undan az olamaz. Ayrıca gövde donatısı çapı 12 mm'den küçük, donatı aralığı ise 300 mm'den fazla olamaz. Kiriş yüksekliği boyunca yatay gövde çirozlarının aralığı 600 mm'yi, kiriş eksen boyuna ise 400 mm'yi geçmemelidir [31].

Bu tez çalışmasında, gövde donatılı betonarme kirişlerde yatay gövde çirozu kullanımının kiriş kapasitesi ve davranış mekanizmasına etkisi, basit mesnetli sistemler yerine ankastre mesnetlenme koşulları altında gerçekleştirilen eğilme deneyleri ile incelenmiştir. Deneysel bulgular, $a/d < 2$ olan kirişlerde yatay gövde çirozu kullanımının kirişin moment kapasitesini, taşıma gücünü ve kesme dayanımını artırdığını; ancak süneklik ve enerji tüketimi üzerinde beklenen davranışı göstermemiştir. Yatay çirozlar, kiriş deformasyon mekanizmasında dayanımı artırmakla birlikte, erken çatlak oluşumuna sebep olmasına karşın daha yüksek şekildeğiştirmeye davranışı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, $a/d < 2$ olan kirişlerde çiroz aralıklarının yönetmelikte izin verilen değerlerden daha sık düzenlenmesinin, beklenen dayanım ve süneklik artışına istatistiksel olarak anlamlı bir katkı sağlamadığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ankastre mesnet, betonarme kiriş, gövde donatısı, yatay gövde çirozu, süneklik.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF STIRRUP USAGE ON THE BEAM CAPACITY OF FIXED-END REINFORCED CONCRETE BEAMS WITH WEB REINFORCEMENT

Rıdvan YAKUT

**Nuh Naci Yazgan University, Institute of Graduate Studies
Master of Science (M. Sc.) Thesis, November 2025
Supervisor: Asst. Prof. Ertan SÜLEV**

ABSTRACT

Section 7.4 of the 2018 Turkish Building Earthquake Code (TBDY 2018), titled “Special Rules for the Design of Cast-in-Place Reinforced Concrete Building Structural Systems under Earthquake Effects”, defines the sectional requirements for reinforced concrete beams with high ductility levels. According to Article 7.4.1.c of the code, when the beam depth exceeds one quarter of the clear span, web reinforcement must be placed on both faces of the beam web along the beam depth. The total area of longitudinal web reinforcement shall not be less than 30% of the larger of the top or bottom longitudinal reinforcement areas at the support sections. In addition, the diameter of the web reinforcement shall not be less than 12 mm, and the spacing of the reinforcement shall not exceed 300 mm. The spacing of horizontal web cross-ties along the beam depth shall not exceed 600 mm, while the spacing along the beam axis shall not exceed 400 mm [31].

In this thesis, the effects of using horizontal web cross-ties in reinforced concrete beams with web reinforcement on beam capacity and behavioral mechanisms were investigated through flexural tests conducted under fixed-end boundary conditions rather than simply supported systems. Experimental findings indicated that, for beams with $a/d < 2$, the use of horizontal web cross-ties increased the moment capacity, load-carrying capacity, and shear strength of the beams; however, the expected improvement in ductility and energy dissipation was not observed. Although horizontal cross-ties enhanced strength within the beam deformation mechanism, they also led to earlier crack initiation, while a higher deformation capacity was observed. Consequently, for beams with $a/d < 2$, it was observed that arranging cross-tie spacing more closely than the limits permitted by the code did not provide a statistically significant contribution to the anticipated increases in strength and ductility.

Keywords: Fixed-end support, reinforced concrete beam, web reinforcement, horizontal web cross-tie, ductility.

İÇİNDEKİLER

BETONARME KİRİŞLERDE ÇİROZ KULLANIMININ KİRİŞ KAPASİTESİNE ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Sayfa

KABUL VE ONAY	i
YAYIMLAMA VE FİKİR MÜLKİYET HAKLARI BEYANI	ii
ETİK BEYAN	iii
TEŞEKKÜR	iv
ÖZET	v
ABSTRACT.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR VE SİMGELER	ix
TABLolar LİSTESİ	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii

1. BÖLÜM: GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

1.1. Giriş	1
1.2. Genel Bilgiler.....	2
1.3. Araştırmanın Hedefi	3
1.4. Çalışmanın Önemi	4
1.5. Literatürde Yapılan Çalışmalar.....	4

2. BÖLÜM: YÖNTEM İLE MATERYAL

2.1. Kiriş Numuneleri	16
2.1.1. Boyut Özellikleri	16
2.1.2. Donatı Düzenleri	19
2.1.2.1. BK-REF Referans Kiriş	19
2.1.2.2. BK-Ç40 (40cm Yatay Gövde Çirozlu Kiriş).....	19
2.1.2.3. BK-Ç10 (Yatay Gövde Çirozu Sıklaştırmalı Kiriş)	20
2.1.3. Beton ve donatı detayları.....	21
2.2. Malzeme Özellikleri	23

2.2.1. Betonun Özellikleri	23
2.2.2. Donatıların Özellikleri.....	25
2.3. Deney Numunelerinin Hazırlanması	27
2.4. Deney Ekipmanları	31
2.4.1. Ölçüm ve Cihazlar.....	31
2.4.2. Deney Düzeneği	31
2.4.3. Ölçüm Şekli.....	34

3. BÖLÜM: BULGULAR

3.1. Deneyler.....	37
3.1.1. Yük-Deplasman Grafiklerinin Çizilmesi	37
3.1.2. Rijitlik ve Rijitlik Değişimi Grafiklerinin Çizilmesi.....	38
3.1.3. Moment-Eğrilik Grafiklerinin Çizilmesi.....	39
3.1.4. İdealleştirilmiş Zarf Eğrisi ve Enerji Tüketimi Grafiklerinin Çizilmesi	40
3.2. Deney Sonuçları.....	40
3.2.1. BK-REF Kiriş Deneyi	40
3.2.2. BK-Ç40 Kiriş Deneyi.....	47
3.2.3. BK-Ç10 Kiriş Deneyi.....	55
3.3. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması	62
3.3.1. Yük- Orta Nokta Deplasman Grafiklerinin Karşılaştırılması	62
3.3.2. Rijitlik- Orta Nokta Deplasman ve Rijitlik Değişimi Grafiklerinin Karşılaştırılması	63
3.3.3. Tüketilen Enerji Grafiklerinin Karşılaştırılması	66
3.3.4. Moment – Eğrilik Grafiklerinin Karşılaştırılması.....	70
3.3.5. Süneklik Grafiklerinin Karşılaştırılması	71

4. BÖLÜM: SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1. Sonuçlar	72
4.2. Öneriler	74

KAYNAKÇA.....	75
----------------------	-----------

EKLER	79
--------------------	-----------

EK 1. Deney Numunelerinin Taşıma Gücü Hesapları	79
---	----

KISALTMALAR VE SİMGELER

%	Yüzde
Δ	Deney elemanında meydana gelen deplasman
Δ_u	Nihai deplasman
Δ_y	Akma deplasman
Δy_2	Azalmış Rijitlik deplasman
μ	Süneklik oranı
a	Kesme Açıklığı
A_c	Kiriş enkesit alanı
ACI	American Concrete Institute
A_s	Kiriş çekme donatısı alanı
A_{sw}	Kesme donatısı toplam kesme alanı
B420C	Donatı akma dayanımı
BK-Ç10	10cm aralıklı çiroza sahip birinci betonarme kiriş
BK-Ç40	40cm aralıklı çiroza sahip birinci betonarme kiriş
BK-REF	Gövde donatılı betonarme kiriş
b_w	Kiriş genişliği
c	Tarafsız eksen derinliği
C25/30	Betonun 28 günlük silindir basınç dayanımı
cm	Santimetre
d	Kiriş faydalı yüksekliği
d'	Paspayı
E	Elastisite Modülü
f_{cd}	Betonun tasarım silindir basınç dayanımı
f_{cd}	Donatının tasarım akma dayanımı
f_{ck}	Betonun karakteristik silindir basınç dayanımı
f_{ctd}	Betonun tasarım çekme dayanımı
f_{ctk}	Betonun karakteristik çekme dayanımı
f_{yk}	Donatının karakteristik akma dayanımı
f_{ywd}	Enine donatının tasarım akma dayanımı
h	Kiriş yüksekliği
I	Kesit atalet momenti
i	Kesit atalet yarı çapı

K	Eğrilik
k₁	Beton sınıfına bağlı olan katsayı
K_{ilk}	Deney numunesindeki ilk yüklemede ölçülen rijitlik değeri
K_j	Deney numunesindeki i' inci yüklemede ölçülen rijitlik değeri
Kn	Kilo Newton
L	Kiriş boyu
L_{net}	Kiriş net açıklığı
LPT	Potansiyometrik Cetvel
L_{top}	Kiriş toplam boyu
LVDT	Elektronik Deplasman Ölçer
M	Eğilme momenti
m	Metre
mm	Milimetre
MPa	Mega Pascal
M_r	Taşıma gücü momenti
N_d	Eksenel Yük
Ø	Donatı çapı
P	Kirişe uygulanan yük
PC	Potansiyometrik cetvel
rad	Radyan
s	Enine donatı (ettriye) aralığı
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TS 500	Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları
V	Kesme kuvveti
V_c	Kesme dayanımına beton katkısı
V_{cr}	Kesitin kesmede çatlama dayanımı
V_r	Kesme dayanımı
V_w	Kesme dayanımına enine donatı (ettriye) katkısı
W	Kesitin mukavemet momenti
δ_i	i' inci yüklemede deney elemanında meydana gelen deplasman
δ_{max}	Deney elemanında elde edilen maksimum deplasman
δ_u	Göçme anında ölçülen deplasman
δ_y	Akma anında ölçülen deplasman
ε	Şekil değiştirme

ϵ_c	Betonun birim şekil değıştirmesi
ϵ_{cu}	Betonun ezilme birim şekil değıştirmesi
ϵ_s	Donatının çekme birim şekil değıştirmesi
ϵ_{su}	Kopma durumunda donatı çekme birim şekil değıştirmesi
ϵ_{sy}	Akma durumunda donatı çekme birim şekil değıştirmesi
ρ_b	Dengeli donatı oranı
ρ_{max}	Maksimum donatı oranı
ρ_{min}	Minimum donatı oranı
σ	Gerilme
σ_c	Beton basınç gerilmesi
σ_s	Donatı çekme gerilmesi

TABLolar LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.	TS500 ve TDBY 2018'a belirtilen betonarme kirişlere ait boyut ve donatı koşulları	17
Tablo 2.	Betonarme kirişlerin kesit ve donatı düzenleri	22
Tablo 3.	Beton basınç dayanımına ait sonuçlar	25
Tablo 4.	Donatılara ait mekanik özellikler.....	27
Tablo 5.	BK-REF kirişi çatlak ve hasar gözlem tablosu.....	43
Tablo 6.	BK-Ç40 kiriş çatlak ve hasar gözlem tablosu.....	51
Tablo 7.	BK-Ç10 kiriş çatlak ve hasar gözlem tablosu.....	58
Tablo 8.	Tüm deney numuneleri için yük taşıma kapasitelerinin karşılaştırılması.....	63
Tablo 9.	Deney sonucu maksimum yük ve moment kapasiteleri.....	70

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.	Betonarme kiriş kesme kuvvet ve moment diyagramı.....	3
Şekil 2.	Deney numunelerinin boyutları	16
Şekil 3.	Kiriş donatı kuralları	17
Şekil 4.	BK-REF deney numunesinin donatıları düzeni	19
Şekil 5.	BK-Ç40 deney numunesinin donatı düzeni	20
Şekil 6.	BK-Ç10 deney numunesinin donatı düzeni	20
Şekil 7.	Taze Beton Numuneleri	23
Şekil 8.	Küp numunelerin kürlenmesi.....	24
Şekil 9.	Küp numunelerin basınç deneyi	24
Şekil 10.	Çelik çekme deneyi.....	26
Şekil 11.	Numune kalıplarının hazırlanması.....	27
Şekil 12.	Donatıların hazırlanması.....	28
Şekil 13.	Kalıplara donatı yerleşimi.....	29
Şekil 14.	Beton dökümü.....	30
Şekil 15.	Kirişlerin laboratuvar içerisine taşınıp ve boyanması.....	30
Şekil 16.	Deney düzeneğinin 3 boyutlu görünümü.....	32
Şekil 17.	Deney düzeneğinin Görünümü	32
Şekil 18.	Yük hücresi ve Hidrolik silindir görünümü	33
Şekil 19.	Yükleme düzenek kurulumu	33
Şekil 20.	Veri toplama cihazı	34
Şekil 21.	Deplasman ölçerlerin deney numunesine yerleşimi	35
Şekil 22.	Deney esnasında kullandığım deplasman ölçerler, hidrolik pompa ve yükleyici krika	36
Şekil 23.	Rijitliklerin belirlenmesi	38
Şekil 24.	Deney numunelerindeki eğriliğin belirlenmesi.....	39
Şekil 25.	BK-REF kirişinin deney öncesi hali	41
Şekil 26.	BK-REF kirişinin çatlak dağılımı	41
Şekil 27.	BK-REF kirişinin maksimum yükte oluşmuş çatlak dağılımı	42
Şekil 28.	BK-REF kirişinin çatlak dağılımı ve hasar oluşumu	42
Şekil 29.	BK-REF kirişinin yük-orta nokta deplasman grafiği.....	44
Şekil 30.	BK-REF kirişinin logaritmik rijitlik değişim grafiği	45

Şekil 31. BK-REF kirişinin K_j/K_{ilk} değişimi grafiği	45
Şekil 32. BK-REF kirişinin moment-eğrilik grafiği	46
Şekil 33. BK-REF kirişinin tüketilen enerji grafiği	46
Şekil 34. BK-REF kirişinin üç eğimli idealleştirilmiş zarf eğrisi grafiği (ASCE41-17)	47
Şekil 35. BK-Ç40 kirişinin deney öncesi hali	48
Şekil 36. BK-Ç40 kirişinin akma anında oluşan çatlak dağılımı	48
Şekil 37. BK-Ç40 kirişinin maksimum yükteki oluşan çatlak dağılımı	49
Şekil 38. BK-Ç40 kirişinin deney sonundaki çatlak dağılımı	49
Şekil 39. BK-Ç40 kirişinin deney sonundaki etriye kopması hasar oluşumu	50
Şekil 40. BK-Ç40 kirişinin yük-orta nokta deplasman grafiği	52
Şekil 41. BK-Ç40 kirişinin logaritmik rijitlik değişim grafiği	52
Şekil 42. BK-Ç40 kirişinin K_j/K_{ilk} değişimi grafiği	53
Şekil 43. BK-Ç40 kirişinin moment-eğrilik grafiği	53
Şekil 44. BK-Ç40 kirişinin tüketilen enerji grafiği	54
Şekil 45. BK-Ç40 kirişinin üç eğimli idealleştirilmiş zarf eğrisi grafiği (ASCE41-17)	54
Şekil 46. BK-Ç10 kirişinin deney öncesi görünümü	55
Şekil 47. BK-Ç10 kirişinin akma çatlak dağılımı	56
Şekil 48. BK-Ç10 kirişinin maksimum yükteki oluşan çatlak dağılımı	56
Şekil 49. BK-Ç10 kirişinin maksimum yükteki oluşan çatlak dağılımı	57
Şekil 50. BK-Ç10 kirişinin yük-orta nokta deplasman grafiği	59
Şekil 51. BK-Ç10 kirişinin rijitlik grafiği	59
Şekil 52. BK-Ç10 kirişinin K_j/K_{ilk} değişimi grafiği	60
Şekil 53. BK-Ç10 kirişinin moment-eğrilik grafiği	60
Şekil 54. BK-Ç10 kirişinin tüketilen enerji grafiği	61
Şekil 55. BK-Ç10 kirişinin üç eğimli idealleştirilmiş zarf eğrisi grafiği (ASCE41-17)	61
Şekil 56. Tüm kirişlerin yük-orta nokta deplasmanlarının karşılaştırılması	62
Şekil 57. Tüm kirişlerin rijitlik-orta nokta deplasmanlarının logaritmik karşılaştırılması	63
Şekil 58. Tüm kirişlerin rijitlik değişimi karşılaştırılması	65
Şekil 59. Tüm kirişler için üç eğimli idealleştirilmiş zarf eğrisi grafikleri karşılaştırılması	66

Şekil 60. Tüm kirişler tüketilen enerji grafikleri karşılaştırılması	67
Şekil 61. Tüm kirişlerin Elastik ve Plastik enerji grafikleri karşılaştırılması	69
Şekil 62. Tüm kirişler için moment- eğrilik grafikleri karşılaştırılması	70
Şekil 63. Tüm deney numuneleri için süneklik karşılaştırılması	71



1. BÖLÜM:

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

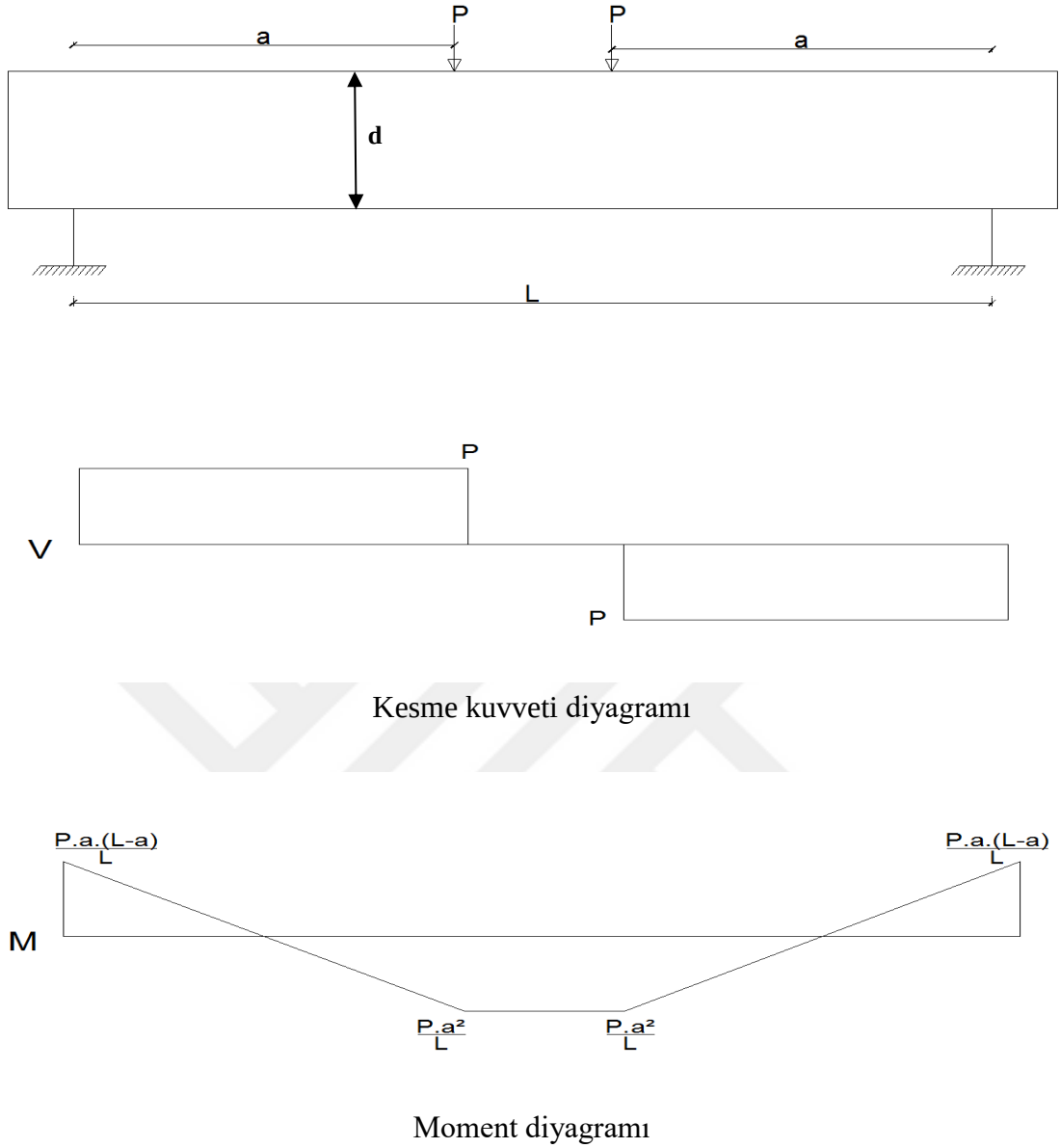
1.1.Giriş

Yapı teknolojisinde ve yapı malzemelerinde yaşanan gelişmeler betonarme yapıların tasarım ve inşasında da etkili olmuştur. İnsanlar önceleri temel barınma ihtiyaçlarını karşılayacak asgari beklentilerle sınırlı özelliklerde yapılar talep ederken, günümüzde beklenti ve ihtiyaçların artması ile geniş açıklığa sahip, kat yüksekliği arttırılmış, yüksek katlı, sosyal donatılı ve daha büyük yaşam alanları ihtiva eden, deprem ve diğer doğal afetlere dayanıklı yapılar talep etmektedirler. Beton teknolojisindeki gelişmeler yapı tasarımı üzerinde de etkilerini göstermiş olup, beklentilere paralel biçimde yüksek katlı yapıların inşası her geçen gün artarak devam etmektedir. Betonarme taşıyıcılı sistemlerde kirişler, taşıyıcı sistem içerisinde düşey doğrultuda etkiyen ve döşemelerden aktarılan kalıcı ve hareketli yüklerin mesnetlendikleri düşey taşıyıcı elemanlara aktarılmasında etkili olmasının yansı, deprem ve rüzgar etkisiyle yapıya etkiyen yatay yükleri de döşemelerle birlikte düşey taşıyıcılara aktarırlar. TBDY 2018 Yönetmeliği ile yapılan yenilikle, kiriş en kesitlerinde gövde donatısı kullanımı, fiziki şartlara bağlanmış olmasına karşın konsol kirişlerde de sıklıkla rastlanan burulma etkisi nedeniyle de gövde donatıları kirişlerde kullanılmaktadır. Gövde donatısı bulunan kirişlerde çiroz uygulamasının kiriş kapasitesine ve şekil değiştirmeye etkisi bu bağlamda önem arz etmektedir. Bu çalışmada birebir ölçekteki numuneler üzerinde mesnetlenme şartı betonarme kolon kiriş birleşiminin negatif moment etkileri açısından benzer (ankastre mesnet) şartlarda deneye tabi tutularak gövde donatılı ve çirozlu kirişlerin mekanik özellikleri, şekil değiştirme ve çatlak oluşum mekanizması irdelenerek sonuçları ortaya konulmuştur. Tez kapsamında, yerinde döküm yöntemiyle 25x60 cm kesit boyutlarında ve 320 cm uzunlukta üç betonarme kiriş üretilmiştir. Bir adet referans kiriş gövde donatılı fakat yatay gövde çirozu bulundurmayan, bir adet kiriş yatay çiroz gövde donatılı TBDY2018 'in 7.4.1.1.c maddesinde belirlenen aralıklara uygun olarak 40 cm aralıklı yatay gövde çiroz donatılı, bir adet kiriş ise gövde donatılı ve her etriyesinde 10 cm aralıklı yatay gövde çiroza sahip toplam 3 adet yerinde dökme betonarme kiriş imalatı yapılmıştır. Deneysel çalışmanın sonunda ankastre mesnetli betonarme kirişlerin hem yük taşıma kapasiteleri hem de deplasman yapabilme özellikleri karşılaştırılıp sonuçları bu

tez çalışması ile ortaya konulmuştur. Deney sonucunda bulunan veriler birbiri ile kıyaslanarak yorumlar yapılmış ve konu hakkında öneriler sunulmuştur.

1.2. Genel Bilgiler

Ülkemiz yapı stoklarının büyük bir kısmını betonarme taşıyıcı sistemler kullandığı bilinmektedir. Betonarme yapılar işçiliği ve maliyetleri açısından diğer yapı taşıyıcı sistemlerine göre daha düşük maliyetlerle inşa edilebildikleri için çoğunlukla tercih edilmektedirler. Betonarme binalar için önemli taşıyıcı elemanlardan biri olan kirişler; yapı tasarımı, imar yönetmelikleri ve diğer taşıyıcı elemanların birleşim ve taşınmasına göre şekillenen taşıyıcı sistemin önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Yüksek katlı yapıların asansör çevresinde, konsol kapalı çıkmaların uygulamalarında ihtiyaç duyulan bağlantı ve taşıyıcı elemanlar olarak öne çıkmaktadır. Son yönetmelik değişikliği ile (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018) TBDY 2018’de betonarme kiriş özellikleri belirlenerek uygulanmaktadır. Yapılan çalışma ile asansör perdeleri arasında sıklıkla karşılaşılan serbest açıklığın yüksekliğe oranı dörtten küçük olan kısa kirişlerin yine ilgili yönetmelik hükümlerince yatay gövde çiroz uygulamasının kiriş davranışı ve kapasitesi üzerindeki etkileri araştırılma konu edilmiştir. Bunun için betonarme kolon veya perde kiriş birleşim bölgesinin davranışsal olarak en uygun bağlantı şekli olarak ankastre mesnetlenme kabulü yapılarak deney yükleme düzeneği hedeflenmiştir. Kiriş numunelerinin kesit geometrikleri hali hazırda uygulamada en çok kullanılan ölçülerde seçilerek 1/1 ölçekli numunelerde çalışılmıştır. İlgili yönetmelik ve standartlarda (TBDY18 ve TS500) belirlenen donatı ve enkesit şartlarına uygun olarak 3 adet betonarme kiriş üretilmiştir. Deney numunelerinden referans kirişlerde yatay gövde çirozu kullanılmadan, yatay gövde çirozlu kirişler ise yönetmeliğin talep ettiği 40cm ara ile uygulanmış biçimde ve en son yatay gövde çiroz sıkılaştırılmalı 10 cm ara ile olacak şekilde kirişler 3 farklı donatı düzeni tipinde imal edilmiştir. Yükleme düzeneğinin yükleme platformunun altta olması nedeniyle betonarme kiriş numunelerimde basınç bölgesi alt ve çekme bölgesi üst tarafta olmak üzere tasarlanarak üretimleri yapılmıştır. Laboratuvar koşulları gereği yükleme şekli aşağı yönden yukarı yöne olacak biçimdedir. Aşağıda şekil 1’de betonarme kirişlere uygulanan yüklemeler neticesinde oluşan moment ve kesme diyagramları gösterilmiştir.



Şekil 1. Betonarme kiriş kesme kuvvet ve moment diyagramı

1.3. Araştırmanın Hedefi

Betonarme kirişlerin farklı yükler altındaki davranışlarının incelenmesi hem ülkemiz hem de akademik çalışmalar açısından kritik bir konudur. Betonarme yapılarda döşemeden gelen yükleri kolonlara ileten ana taşıyıcı eleman olarak kirişler, yapı sisteminin vazgeçilmez bileşenlerindendir. Ancak geçmişte yapılan pek çok araştırmada kirişler genellikle basit mesnetli veya küçük ölçekli olarak üretilmiş ve test edilmiştir. Bu yöntem, betonarme köprü kirişleri gibi uygulamalarda geçerli olsa da betonarme binalarda kolon-kiriş birleşimlerinde ankastre mesnet varsayımı benimsendiğinden deneysel çalışma bu esaslara göre düzenlenmiştir. Literatürde kirişler üzerine yapılan

araştırmaların çoğunda ise deneye tabi tutulan kirişlerin boyutları genellikle küçük ölçekli olmuştur. Fakat bu tür kirişlerin ölçek faktörü nedeniyle elde edilen sonuçları yoruma açık kalmaktadır. Bu neden ile betonarme kiriş örneklerinin ölçülerinin seçiminde yapı stoklarında sıklıkla kullanılan kirişlere göre 1/1 ölçekli olacak şekilde imal edilip deneylerinin yapılması amaçlanmıştır. Yaptığım bu çalışmamda, literatür ile ilgili yönetmelik ve standartlarda, kirişlerle alakalı olarak uygulanmaya başlayan yatay gövde çiroz uygulamasının katkıları, davranışlarının incelenmesi ve gözlemlenmesi amacı taşımaktadır.

1.4. Çalışmanın Önemi

Ülkemiz yapı stoklarının önemli bir kısmını oluşturan betonarme yapılarda kirişler hem kendi ağırlıklarını hem de döşemelerden iletilen yüklerin kolonlara taşıyan kritik taşıyıcı elemanlardır. Bu sebeple, geçmişte olduğu gibi gelecekte de kirişlerin farklı yük koşulları altında test edilmesi gerekli ve zorunludur.

Betonarme kirişler üzerine yapılan çalışmada, ankastre mesnet şartlarına uygun olarak ve 1/1 ölçekte, güncel yönetmelik ile fiziki şartlara bağlı olarak uygulanmaya başlanan çiroz donatısının betonarme kiriş davranışına ne tür etkilerinin olduğu araştırılarak literatüre önemli katkılar sağlayacaktır.

1.5. Literatürde Yapılan Çalışmalar

Literatürde yapılan çalışmalarda betonarme kirişler ile ilgili çalışmaların birçoğu basit mesnetli ve/veya kiriş ölçüleri ölçekli küçültölmüş ölçülerle çalışılmıştır. Betonarme kirişlerin perde ve/veya kolonlara bağlanma durumu ne tam olarak basit mesnetli ne de tam ankastre olarak davranmaktadır. Fakat betonarme kirişlerin mesnetlenme koşullarının ankastre mesnetlenme şartlarına daha yakın olduğu değerlendirilmektedir. Yapılan çalışma kapsamında betonarme kolon kiriş birleşiminin negatif moment etkileri açısından benzer (ankastre mesnet) şartlarında çalışmalar yürütölmüştür. Yapılan diğer çalışmalarda hasar almış kirişlerin hasar bölgelerinin güçlendirilmesi ve veya hasar almadan kritik kirişlerin güçlendirilmesi çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmada kiriş imalatında donatı düzenin yönetmelikte belirlenen koşullarla çiroz kullanımının kiriş kapasitesinde katkı ve kayıpları araştırılmıştır. Literatürdeki betonarme kirişler ile ilgili bazı çalışmaları aşağda özetlenmiştir.

Ünal [1], Çalışmasında, basit mesnetli ve ankastre mesnetli betonarme kirişlerde (açıklık/derinlik) a/d oranı ile etriye sıklıklarının kesme davranışına etkilerini

araştırmıştır. Deneysel incelemede mesnet tipi, a/d oranı ve etriye aralığı değişken olarak ele alınmıştır. Bu kapsamda, 1/1 ölçekli toplam 16 kiriş numunesi dört noktadan eğilme testine tabi tutulmuştur; bunların 4 tanesi basit mesnet, 12 tanesi ise ankastre mesnetlidir. Kirişlerde a/d oranları 1.0, 2.0,3.0 olarak belirlemiş; enine donatı değişkeni ise bir grup etriyesiz, diğer gruplar ise sırasıyla $\phi 8/7.5$, $\phi 8/15$ ve $\phi 8/30$ etriye aralıklarıyla üretilmiştir. Deney sonuçlarına dayanarak moment-eğrilik, yük-deplasman, , enerji tüketimi, rijitlik eğrileri elde edilmiş; ayrıca çatlak ve hasar oluşumları incelenerek karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, a/d oranının küçülmesi kiriş kapasitesini artırırken sünekliği azaltmış ve kesme davranışını öne çıkarmıştır; a/d oranının büyümesi ise enerji tüketimini ve sünekliği yükseltmiş, kiriş davranışında eğilme etkisinin baskın hale geldiği görülmüştür. Ayrıca ankastre mesnetli kirişlerin sonuçlarının teorik hesaplamalarla daha uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Qeshta ve ark. [2], Yaptıkları çalışmada tel örgülü-epoksi kompozit malzeme kullanılarak betonarme kirişlerde güçlendirilmesinin eğilme dayanımı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu malzeme kullanılarak güçlendirme yapılan kirişler, polimer takviyeli karbonfiber ile güçlendirilmiş kirişler ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada bir referans kiriş numunesi ve dört tane tel örgülü-epoksi kompozit malzeme kullanılarak güçlendirilmen kiriş numunesi test edilmiştir. Deney numune ölçüleri 150x250x2800 mm'dir. Kiriş serbest açıklığı 2500mm ve yüklerin mesnetten mesafesi 900 mm'dir. Deney düzeneği olarak 4 nokta eğilme düzeneği kullanılmış ve mesnetlenme koşulları serbest mesnet olarak çalışılmıştır. Hidrolik pompa ucuna yük hücresi ve onun üzerine yükü iki noktadan etki ettirmek için iki adet sabit mil eklenerek yükün iki noktadan sabit iletilmesi sağlanmıştır. Deneyler sonucunda Tel örgülü-epoksi kompozit malzemesi ile güçlendirilen kirişlerin performans artışı olduğu, karbon fiber ile güçlendirilmiş kirişlerle karşılaştırıldığında rijitlik, ilk çatlak yükü ve akma dayanımlarının yüksek olduğunu görmüştür.

Demiral [3], Yaptığı çalışmada betonarme kirişlerde kesme kuvveti hakim bölgesi olarak değerlendirilen kiriş yüksekliğinin 2 katı mesafe içerisinde kesit tarafsız ekseninde kiriş derinliğinin %60, %40 ve %20 boşluk oranlarına sahip kiriş numuneleri 4 noktalı eğilme düzeneğinde test edilmiştir. Çalışmada 2 adet referans kiriş boşluksuz, 2h bölgesinde %60, %40 ve %20 oranında 2'şer adet kiriş üretilerek teste tabi tutmuştur. Testlerde değişken olarak, 'boşluk miktarı' seçmiştir. Deney sırasında betonarme kolon kiriş birleşiminin negatif moment etkileri açısından benzer (ankastre mesnet) şartlarda tasarlayarak çalışılmıştır. Sonuç olarak referans kirişlerle, %20 boşluk oranında bulunan

kirişlerin yeterli dayanıma ve sünekliği sağladığı, %40 ve %60 boşluk oranına sahip kirişlerin dayanım ve süneklik bakımında istenilen seviyede olmadığı sonucuna varmıştır.

Aydemir ve ark. [4], Yapmış oldukları çalışmada, farklı kesme açıklığının / kiriş derinliğine oranlarına sahip üç adet konsol betonarme kiriş üretilmiş ve numuneler deprem etkilerini temsil eden yer değiştirme kontrollü çevrimsel yükler altında test edilmiştir. Deneysel incelemelerde elde edilen hasarların gözlemlenmeleri, plastik mafsallaşan bölgeler ve şekil değiştirme davranışları, Deprem Yönetmeliğinde Hasar Sınırı yaklaşımıyla karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, deprem yönetmeliğindeki hasar sınırı yaklaşımında, özellikle gövde donatı aralığının artması durumunda boyuna donatısı üzerindeki burkulma sonucunu yeterince tanımlayamadığı belirlenmiştir.

İnce [5], Yapmış olduğu tez çalışmasında, etkili kesme açıklığı/faydalı yüksekliği 1.5 olan betonarme kirişler hem deneysel hem kendisini geliştirmiş olduğu nümerik modelleme programı hem de diğer nümerik modelleme programlarıyla test edilmişlerdir. Karşılaştırma sonucunda, betonun heterojen yapısını dikkate alan kendisinin geliştirmiş olduğu basit kafes metodunun gerçekçi davranışla uyumlu olduğu sonucuna varmıştır.

Erdem [6], Çalışmasında beton çekme dayanımının kesme kuvvetine katkısı durumuna göre, $V_c = 0,8.V_{cr}$ olması durumu ve $V_c = 0$ olması durumuna göre tasarlanan 1/2 ölçekli 18 adet betonarme kiriş üretilmiştir. Kirişlerin tersinir tekrarlı yükleme altında deneyler yapmıştır. Deneysel çalışmada a/d oranı 3 ve boyuna donatı oranı denge altı kirişlerde üst sınır değere yakın olmak koşulu ile tüm elemanlarda sabit tutmuştur. Çalışmasında etriye kancaları bindirme boyu, kanca düzlem doğrultusu, kanca boyu ve betonun çekme dayanımının kesme kuvvetine katkısı değişken olarak belirlemiştir. Sonuç olarak deneylerde referans elemanında etriye kancalarının açıldığı, ancak önerilen yeni tip etriye kancalarında herhangi bir açılma meydana gelmediği, alternatif etriye kancası kullanılarak tasarlanan deney elemanlarının yönetmelik kriterlerine göre tasarlanan referans elemanların davranışına benzerlik gösterdiği sonucuna varmıştır.

Abuwarda [7], Yaptığı çalışmada serbest açıklığı 17cm olan 25x50 kesit ölçülerinde sekiz betonarme kiriş üretmiştir. Yedi elemanın farklı metotlarla kesme hâkim davranışa karşı güçlendirerek birbirleri ile performanslarının değerlendirilmesi yapılmıştır. Tüm deney kirişleri 1.3 açıklık/yükseklik oranı (a/h) olarak iki uçtan ankastre olarak bağlanmış mesnet şartlarında 4 nokta eğilme düzeneğinde test etmiştir. Deney değişkeni olarak kullanılan güçlendirme yöntemi, EBR yönteminde CFRP sargı düzeninde, NSM yönteminde kullanılmış malzemenin özelliği ile NSM çelik çubuklarda ankrajların uçları olarak tasarlanmıştır. Sonuç olarak, güçlendirilmiş kirişlerin referans

kirişe kıyasla taşıma kapasitelerinde; EBR yöntemiyle %18,4–37,2, FHB yöntemiyle %45,4 ve NSM yöntemiyle %35,3–53,6 arasında yükselme elde edilmiştir. Uç bölgede ankrajlanan NSM çelik çubuklarının uygulamasında hem yük taşıma kapasitesi hem de süneklik bakımından en başarılı sonuçları verdiği belirlenmiştir.

Severcan ve ark. [8], Bu çalışmada, laboratuvarda farklı donatı oranlarında kirişler hazırlanmış ve hem açıklık ortasına bir noktadan yükleme hem de iki noktadan yük uygulanarak, yükleme türü ve büyüklüğünün donatı oranlarıyla birlikte kiriş deplasmanlarına etkisi incelenmiştir. Yükleme altındaki kirişler, çatlak oluşumları ölçülünerek betonarme yapıların hesaplamalar için geliştirilmiş analitik bir yöntemle hesaplanmış ve elde ettikleri sonuçlar deney bulgularıyla karşılaştırmışlardır. Bulgular, benzer donatı oranlarındaki kirişlerin iki farklı yükleme şekline maruz kaldığında, açıklık ortasında tekil yükleme yapılan kirişlerde, iki noktadan yük altındaki kirişlerle kıyasla daha büyük deplasmanlar meydana geldiğini göstermiştir. Analitik analizler ayrıca, kirişlerde boyuna donatı oranı arttıkça ve uygulanan yük seviyesi yükseldikçe kayma deformasyonlarının deplasman üzerindeki etkisinin daha belirgin hale geldiğini ortaya koymuştur.

Bayrak [9], Yaptığı çalışmada kiriş elemanlarda etriye miktarı, beton cinsi ile beton sınıfının burkulma davranışına olan etkisini araştırmıştır. Bunun için 20 tane 250x300x1500 mm boyutlarında betonarme kirişi üretmiştir. Değişkenlerinde etriye miktarı, beton cinsi ve beton sınıfı seçilerek çalışmıştır. Standart üretim beton ve kendi kendine yerleşebilen beton cinslerinin yanı sıra C20 ile C40 beton sınıflarında 80 mm ile 100 mm etriye aralıkları da çalışmanın temel ölçütler olarak almıştır. Deney numune kirişlerinin burulma momenti güçlerinin plastik, elastik ile yanal eğilme metodu ile hesaplanmış teorik sonuçlar ile deneysel sonuçları karşılaştırmıştır. Sonuç olarak deney sonuçlarına, yanal eğilme teorisinde elde edilen sonuçların yakın olduğu değerlendirilmiştir.

Cengiz [10], Çalışmada, kesme ile eğilme etkisindeki betonarme kirişlerde kendi kendine yerleşebilen beton ile standart beton kullanımı arasındaki olası farklılıklar ve hasar davranışını incelemiştir. Çalışmada değişken olarak beton cinsi, beton sınıfı ve etriye sıklığını ele alınmıştır. Beton dayanımı C30 ve C60 olarak seçilmiş; etriye aralıkları ise etriyesi olmayan, $\phi 8/5$, $\phi 8/10$, $\phi 8/20$ şeklinde düzenlenmiştir. Bu parametrelerle hazırlanan toplamda 16 numune, 1/2 ölçekte deney kiriş numuneleri, dört noktadan eğilme test düzeneğinde basit mesnetli olarak deneyleri yapılmıştır. Kendiliğinden

yerleşen betonlar, normal betonların yerine kullanılabileceği, benzer davranış ve mekanizmalar gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Üstün [11], Çalışmasında, kirişlerin kesme kapasitesini artırmaya yönelik yeni yöntemler geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, altı farklı kiriş modeli tasarlanmış; donatı çapları, adım aralıkları ve kesme bölgesindeki etriye sayısı sabit tutulmuş ve donatı puantajları eşitlenmiştir. Kesme kapasitesini etkilemek için etriyeler, yatay eksene göre 30°, 45°, 60°, 90° ve 135° açıyla yerleştirilerek değişkenler oluşturulmuştur. Etriye düzenlemelerinin yapısal davranış üzerindeki etkisi, dört noktalı eğilme deneyleriyle incelenmiştir. Deneyleri desteklemek amacıyla, ABAQUS sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak kirişler modellenmiş ve elde edilen sonuçlar deney verileriyle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, yatay eksene göre 30°, 45° ve 60° açıyla yerleştirilen kirişlerde, klasik dik etriye modeline kıyasla belirgin bir dayanım artışı olduğunu göstermiştir; ancak sonlu eleman analizleri, deney verilerine göre yük taşıma kapasitesini daha düşük tahmin etmiştir.

Baş [12], Çalışmasında, kesme kapasitesi yetersiz betonarme kirişleri güçlendirilmesi için yeni bir yöntem olarak mekanik çelik dikişlerin, kirişlerde kesme açıklığı/faydalı yükseklik oranı ile kiriş yüksekliği değişimlerinin performanslarına etkisini deneysel ve karşılaştırmalı olarak araştırmıştır. Deneyleri için 11adet 125 x 250 x 2500 mm ve 6 adet 125 x 360 x 2500 mm ölçülerinde toplam 17 adet deney kirişi hazırlamıştır. Bu numunelerde sabit olarak yaklaşık 17MPa beton basınç dayanımına sahip beton ile boyuna (3Ø16 çekme ve 2Ø12 basınç) ve enine (Ø6/1.5d) sabit donatılar kullanmıştır. Referans kirişler haricindeki kirişler 10Ø ankraj derinliğine sahip, 6 mm çapındaki mekanik çelik dikişler ile çeşitli aralıklarda uygulayarak ($\sim d/1.7$, $d/2$, $d/2.5$, $d/3$, $d/5$) güçlendirme yapmıştır. Yaptığı deneyler neticesinde mekanik çelik dikişler ile güçlendirmesinin $av/d = 2.5$ olan kirişlerde kesme kapasitesine %40 ile %86 arasında, $av/d = 3.3$ olan kirişlerde %29 ile %54 arasında katkı sağlamıştır. Kiriş yüksekliğinin artması kesme dayanımını da artırması nedeniyle mekanik çelik dikişlerin kesme kuvvetine daha az katkı sağladığı sonucuna varmıştır.

Baktash [13], Çalışmasında, betonarme kiriş boyutunun burulma kapasitesi üzerindeki etkisinin deneysel değerlendirmesini sunmaktadır. 20x20 cm ve 30x30 cm kesitler seçilmiş ve test edilmiştir. Numuneler Türk Standardı (TS500, 2003) kullanılarak tasarlanmıştır. Her iki numune de döngüsel burulmaya tabi tutulmuş ve burulma-bükülme verileri elde edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Test bulguları, daha büyük kirişin daha yüksek burulma kabiliyetine sahip olduğunu göstermektedir. Ek olarak, kesit boyutu arttıkça

bükümün nihai açısı da artar. Son olarak, kiriş boyutunu artırmak, ilk çatlağın görünümünü de geciktirebilir.

Özkan [14], Çalışmasında, kesme etkisinin etkin olduğu bölümlerde veya olağan dışı geometrisi olan betonarme yapı elemanlarının donatı düzeni, çubuk benzeşimi ve topoloji eniyilemesi yöntemlerinin birlikte kullanıldığı tümleşik bir tasarım yaklaşımıyla belirlenmiştir. Çalışmanın ilk adımında, topoloji eniyilemesi algoritması geliştirilmiş ve tasarım doğruluğunu ölçmek amacıyla bir başarımlı göstergesi oluşturulmuştur. Geliştirilen yöntem, dört ayrı laboratuvar modelinde uygulanarak, geleneksel tasarım yöntemleriyle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, önerilen yöntemin daha başarılı ve mühendisler için daha pratik olduğunu göstermiştir.

Şinik [15], Çalışmasında literatür taramasında, etriye bulunmayan betonarme kirişlerin kesme mukavemetini etkileyen başlıca unsurların; betonun basınç mukavemeti, boyuna donatının miktarı ile yükleme noktası ile mesnet arası mesafenin kiriş derinliğine oranı (a/d) olduğu tespit edilmiştir. Bu temel değişkenler dikkate alınarak, TS500, ACI318 ve Zsutty tarafından önerilen bağıntılarla kesme dayanımı tahminleri yapılmış ve her parametrenin dayanım üzerindeki etkisi ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Etriye bulunan kirişlerin a/d oranının kesme kapasitesine etkisini deneysel şekilde incelemiştir. Gerçekleştirilen deneylerde, açıklık ortasından tekil yüke maruz bırakılan ve a/d oranları 4.5, 3.5, 2.5 olarak belirlenen betonarme kiriş örneklerine, yer değiştirme kontrollü yük uygulanmıştır. Kirişlerin açıklık bölgesindeki yer değiştirmeler veri toplama sistemleriyle kaydedilmiş; elde edilen bulgular doğrultusunda, narinlik oranının kesme dayanımı üzerindeki etkileri ile oluşan kırılma türleri analiz etmiştir.

Sadri [16], Araştırması kapsamında, yüksek dayanımlı beton kullanılarak üretilmiş bir adet betonarme konsol kiriş numunesi hazırlanmış ve deneysel çalışmalara tabi tutulmuştur. Numunede, kesme açıklığının kirişin etkili derinliğine oranı 3,6 olarak belirlenmiştir. Uygulanan deney sonucunda, kirişin gerçek kesme dayanımı belirlenmiş ve elde edilen bu değer, literatürde yaygın olarak kabul gören kesme dayanımı tahmin denklemleriyle kıyaslanarak değerlendirilmiştir.

Turan [17], Çalışmasında, betonarme kirişlerin yapısal analizinde ve tasarımında, yönetmeliklerle sınırlandırılmış bazı parametrelerin kiriş davranışı üzerindeki etkilerini deneysel olarak ortaya koymayı amaçlamaktadır. Araştırma iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiş ve elde edilen deney verileri, analitik hesap sonuçlarıyla karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. İlk aşamada, kirişlerde kullanılan donatı oranlarının, ilgili standartlarda tanımlanan minimum ve maksimum sınırları gözetilerek ve bu sınırların

dışına çıkılarak yapısal davranış üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu kapsamda, minimum donatılı, maksimum donatılı ve dengeli donatı oranına (0.85pb) sahip kirişler ile dengeli donatı oranını aşan (aşırı donatılı) kirişler hazırlanmıştır. Toplamda altı farklı betonarme kiriş örneği üretilmiş ve bu örnekler dört noktalı eğilme deneyi ile test edilmiştir. Her kiriş için yük-deplasman ilişkileri değerlendirilmiştir. İkinci aşamada ise kirişin enkesit geometrisini tanımlayan genişlik/yükseklik (b_w/h) oranının etkisi araştırılmıştır. Farklı kiriş genişliği / yükseklik oranlarında 3 grup kiriş, aynı donatı oranında olacak şekilde hazırlanmıştır: 2/1 oranında (genişliği yüksekliğinin 2 katı), 1/1 oranında (eş kare kesit), ve 1/2 oranında (yüksekliği genişliğin 2 katı). Bu gruplar için sırasıyla 75×150 mm, 105×105 mm ve 150×75 mm boyutlarında toplam altı adet kiriş numunesi üretilmiştir. Tüm kirişler aynı donatı oranına sahip olup, bu oran minimum ve maksimum değerler arasında seçilmiştir. Her iki aşamadaki deneyler sonucunda, ilgili parametrelerin kiriş davranışına olan etkileri gözlemlenmiş; elde edilen yük-deplasman grafikleri üzerinden yapısal performanslar analiz etmiştir.

Pavia ve Siess [18], Bazı derin betonarme kirişlerin kesme dayanımı ve davranışı üzerine deneysel bir çalışma gerçekleştirmiştir. Deneysel incelemede dikkate alınan başlıca parametreler; çekme donatısı, beton dayanımı, gövde donatısı miktarı ve kesme açıklığının kiriş derinliğine oranıdır. Çalışma sonucunda, gövde donatısı bulunmayan betonarme derin kirişlerin, diyagonal çatlama sonrasında yüksek çatlama kapasitesine sahip oldukları ve düşey etriyeler ile eğik donatı ilavesinin nihai dayanım üzerinde çok az etkisinin bulunduğu sonucuna varılmıştır.

Türk [19], Çalışmasında ACI 318, EC 2 ve AASHTO LRFD yönetmeliklerinde yer alan mevcut STM tabanlı kesme tasarım kriterleri, kesme donatısı bulunmayan betonarme derin kirişlere ilişkin kapsamlı bir deneysel veri seti ışığında incelenmektedir. Çalışmada kullanılan veriler, yalnızca noktasal yükler altında test edilmiş ve herhangi bir kesme donatısı içermeyen kirişlerden elde edilmiştir. STM yaklaşımıyla yapılan kesme dayanımı tahminlerinin doğruluğunun; basınç çubuğu türü, düğüm noktalarının özellikleri ve eğik basınç çubuklarında beton dayanımına ilişkin etkinlik katsayısı gibi çeşitli varsayımlara bağlı olduğu ortaya konmuştur. Ancak yürürlükteki standartlar, STM'nin tasarım sürecinde nasıl uygulanacağına dair detaylı bir yol haritası sunmamaktadır. STM yöntemine dayalı yönetmeliklerde öngörülen kesme dayanımı hesapları, geniş deneysel veri tabanı ile karşılaştırmalı biçimde değerlendirilmiştir. Bulgular, mevcut STM hükümlerinin bazı deney numuneleri için yetersiz güvenlik payına sahip nominal kapasite değerleri üretebildiğini göstermektedir.

Gökkaya [20], Çalışmasında, geniş açıklıklı ve değişken yükseklik ile enkesite sahip prefabrik betonarme kirişlerin kritik burkulma yüklerini ANSYS ve SAP2000 programları kullanılarak incelemiştir. Analizlerin güvenilirliğini sağlamak amacıyla, ANSYS modeli teorik sonuçlarla doğrulamış, optimum sonlu eleman boyutu belirlemiştir. Üst başlık genişliğinin, donatı ve ön gerilme kuvvetinin burkulma üzerindeki etkilerini modellemiş, ayrıca beton ve donatının doğrusal olmayan davranışlarını SAP2000 kullanarak analiz etmiştir. Sonuçlar, doğrusal ve doğrusal olmayan burkulma yüklerinin belirlenmesinde güvenilir modeller elde edildiğini göstermiş olup, doğrusal olmayan burkulma yüklerinin doğrusal burkulma yüklerinden daha düşük olduğu tespit etmiştir.

Arpacıktaş [21], Çalışmasında, betonarme kirişlerin deprem yükleri altındaki davranışı ve hibrit çelik lif katkısının etkileri araştırılmıştır. Deneyler kapsamında 14 kiriş test edilmiş; 2 kiriş lifsiz, 12 kiriş ise farklı tip ve dozajlarda KMX 80/60 BG ve KMX 65/60 BG hibrit çelik liflerle üretilmiştir. Bulgular, lif katkısının betonun enerji tüketimini ve çatlak kontrolünü artırdığını göstermiştir. Bununla birlikte, artan hibrit lif miktarına rağmen bazı durumlarda beklenen enerji artışı gözlenmemiştir; bu durumun düşük boyuna donatı oranıyla ilişkili olduğu belirlenmiştir. Özellikle yüksek dozajda lif katkısı, mesnet bölgelerinde eğilmeli-kesme hasarını engelleyerek betonarme kirişlerin performansını iyileştirmektedir.

Cullazoğlu [22], Çalışmasında, farklı geometrilere sahip değişken kesitli betonarme kirişlerin davranışını inceleyen kapsamlı bir deneysel ve sayısal araştırma sunmaktadır. Deney programı, 20 adet değişken kesitli ve 4 adet prizmatik kiriş üzerinde yürütülmüş; eğim açısı, kiriş tipi, çekme donatısı miktarı ve göçme mekanizması temel parametreler olarak ele alınmıştır. Değişken kesitli kirişler geometrilerine göre üç farklı kategoriye ayrılmıştır. Eğim açısı ile eğimli donatı oranının, bu kirişlerin yapısal tepkisini belirleyen başlıca değişkenler olduğu görülmüştür. Eğilme altındaki davranış açısından değerlendirildiğinde, değişken kesitli kirişler prizmatik kirişlere benzer bir performans sergilemektedir. Deneysel olarak incelenen 24 kirişe ek olarak literatürde rapor edilen 65 kiriş, doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizine dayalı bir yazılım ile modellenmiş ve elde edilen sayısal sonuçların deneysel bulgularla uyumlu olduğu belirlenmiştir. Bu uyum, kullanılan modelin değişken kesitli kirişlerin ileri düzey analizlerinde güvenilir şekilde uygulanabileceğini göstermektedir. Çalışmanın devamında, belirlenen parametrelere olasılıksal dağılımlar atanmış ve stokastik analizler gerçekleştirilmiştir. Yük taşıma kapasitesi için hata faktörü 1.05, varyasyon katsayısı ise 0.133 olarak elde

edilmiştir. Ayrıca ACI-318 ve ASCE-7 standartlarındaki limit durum fonksiyonları kullanılarak güvenilirlik analizleri yapılmış ve değişken kesitli kirişlerin prizmatik kirişlere kıyasla daha hassas ve risk oranı yüksek bir davranış sergilediği ortaya konulmuştur. Son olarak, tüm değişken kesitli kiriş türlerini kapsayan yeni bir göçme mekanizması yaklaşımı ve tasarım formülleri geliştirilmiştir. Bu formüller literatürde sunulan ilk kapsamlı tasarım önerileri olma özelliğini taşımaktadır.

Yang ve ark. [23], Çalışmalarında ACI tasarım yönetmeliği, normal dayanımlı beton ve tipik kirişlerin ilk diyagonal çatlak dayanımına dayanarak, derin kirişlerin kesme kapasitelerini boyut etkisini hesaba katmadan tanımlamaktadır. Bu nedenle, söz konusu yaklaşımın donatı oranı %1'in altında olan yüksek dayanımlı beton derin kirişler için geçerliliğinin değerlendirilmesi ve boyut etkilerinin dikkate alınması gerekmektedir. Bu amaçla beton dayanımı, kesme açıklığı/etkili derinlik oranı ve toplam kiriş derinliği değişkenleri göz önünde bulundurularak yirmi bir derin kiriş numunesi üzerinde kesme davranışı deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel sonuçlar, aynı kesme açıklığı/derinlik oranı sağlandığında açıklığın azaltılması ve toplam derinliğin artırılmasının, boyut etkisiyle ilişkili geniş diyagonal çatlaklara ve daha yüksek enerji salınım oranına bağlı olarak daha gevrek bir kırılma mekanizmasına yol açtığını göstermiştir. Yüksek dayanımlı beton kullanılan numuneler, özellikle kırılma kesme davranışı açısından belirgin boyut etkileri sergilemiştir. Ayrıca, ACI yönetmeliğinin yüksek dayanımlı beton derin kirişler için ilk diyagonal çatlak dayanımında benzer güvenlik seviyeleri sunmasına karşın, nihai kesme dayanımı için boyut etkileri nedeniyle yeterli güvenlik katsayısı sağlamadığı anlaşılmıştır.

Albergmprlı [24], Çalışmasında, farklı geometrik özelliklere sahip değişken kesitli betonarme kirişlerin davranışını inceleyen kapsamlı bir deneysel araştırma ile bu kirişlere yönelik sayısal modelleme çalışmalarını içermektedir. Deney programı, 20 adet değişken kesitli ve 4 adet prizmatik betonarme kiriş üzerinde yürütülmüş; eğim açısı, kiriş tipi, çekme donatısı miktarı ve göçme mekanizması başlıca incelenen parametreler olarak belirlenmiştir. Değişken kesitli kirişler, geometrik biçimlerine göre üç farklı kategori altında sınıflandırılmıştır. Bulgular, eğim açısı ile eğimli donatı oranının bu kirişlerin yapısal performansını belirleyen en etkili değişkenler olduğunu göstermiştir. Eğilme davranışı açısından değerlendirildiğinde, değişken kesitli kirişlerin prizmatik kirişlere yakın bir yapısal tepki gösterdiği gözlenmiştir. Ayrıca, deneysel olarak test edilen 24 kiriş ile literatürde rapor edilen 65 kiriş, doğrusal olmayan sonlu eleman analizine dayalı bir yazılımla modellenmiş ve sayısal sonuçların deneysel verilerle yüksek düzeyde uyum

içerisinde olduğu belirlenmiştir. Bu uyum, kullanılan sayısal modelin değişken kesitli kirişlerin daha ileri analizlerinde güvenle kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Çalışmanın devamında, temel parametrelere olasılıksal dağılımlar atanarak stokastik analizler yürütülmüş; yük taşıma kapasitesi için hata faktörü 1.05, varyasyon katsayısı ise 0.133 olarak elde edilmiştir. Son olarak, ACI-318 ve ASCE-7 tasarım standartlarına ait limit durum fonksiyonları kullanılarak güvenilirlik değerlendirmeleri yapılmış; değişken kesitli kirişlerin prizmatik kirişlere kıyasla daha duyarlı ve daha yüksek risk içeren bir yapısal davranış sergilediği görülmüştür. Bu kapsamda, tüm değişken kesitli kiriş tiplerini kapsayan yeni göçme mekanizmaları ve tasarım denklemleri geliştirilmiş olup, önerilen formüller literatürdeki ilk kapsamlı tasarım yaklaşımlarından birini oluşturmaktadır.

Yeşil [25], Çalışmasında, betonarme kirişlerde geleneksel kapalı etriyelere alternatif olarak I ve U formundaki kesme donatılarının yapısal performansı deneysel olarak değerlendirilmiştir. Farklı kanca uzunlukları ve etriye aralıkları kullanılarak, bu donatı tiplerinin kesme taşıma kapasitesi, süneklik, rijitlik ve hasar oluşum biçimleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deney programı kapsamında toplam 18 kiriş numunesi üretilmiş; bunların 6'sı tam sargılı etriye içeren referans kirişler, 12'si ise kanca uzunlukları 0 cm, 1.5 cm ve 3.5 cm; etriye aralıkları 5 cm, 10 cm ve 15 cm olacak şekilde düzenlenmiş alternatif donatı konfigürasyonlarından oluşmuştur. Kirişler dört nokta eğilme deneyi ile yüklenmiş ve taşıma kapasitesi, deplasman davranışı ile çatlak gelişimleri ayrıntılı biçimde analiz edilmiştir. Deney bulguları, 3.5 cm kanca boyuna sahip alternatif etriyelerin kesme kapasitesi bakımından geleneksel tam sargılı etriyelere en yakın performansı sağladığını göstermiştir. Buna karşılık, kanca uzunluğunun 0 cm ve 1.5 cm olduğu numunelerde daha gevrek ve ani kesme kırılmalarının olduğu belirlenmiştir. Etriye aralığının artması, taşıma kapasitesinde azalmaya ve kesme çatlaklarının daha erken ortaya çıkmasına neden olmuştur. Alternatif donatılar sünekliği sınırlı ölçüde artırsa da geleneksel kapalı etriyelerin sunduğu dayanım seviyesine ulaşamamıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, I ve U şeklindeki etriyelerin kritik kesme kuvveti taşıyan elemanlarda tam sargılı etriyelerin yerini doğrudan alabilecek bir donatı sistemi olmadığı; bu nedenle geleneksel kapalı etriyelerin kullanımının daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Gelecek çalışmalar için farklı donatı düzenlerinin ve çeşitli beton sınıflarının dahil edildiği daha kapsamlı deneysel araştırmalar önerilmektedir.

Turan [26], Çalışmasında, betonarme kirişlerin tasarım ve analizinde yönetmeliklerde tanımlanan bazı parametrelerin yapısal davranış üzerindeki etkileri iki aşamalı bir deneysel araştırma ile incelenmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında, minimum ve

maksimum donatı oranlarına ilişkin yönetmelik sınırlamalarına uygun veya aykırı şekilde üretilen kirişlerin mekanik tepkileri değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, minimum donatılı, maksimum donatılı, dengeli donatı oranına (0.85pb) sahip ve dengeli donatı oranını aşan (aşırı donatılı) altı adet kiriş numunesi hazırlanmıştır. Tüm kirişler dört nokta eğilme deneyi ile test edilmiş; yük–deplasman ve moment–eğrilik ilişkileri karşılaştırılarak donatı oranının yapısal davranışa etkisi analiz edilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise betonarme kirişlerde genişlik/yükseklik oranının (a/b) taşıyıcı davranış üzerindeki rolü araştırılmıştır. Bu amaçla a/b oranları 2/1, 1/1 ve 1/2 olan toplam altı kiriş üretilmiştir. Numuneler, 75×150 mm, 105×105 mm ve 150×75 mm boyutlarında olup sırasıyla dikdörtgen yüksek kesit, kare kesit ve geniş kesit formunu temsil etmektedir. Tüm kirişlerde donatı oranı aynı tutulmuş ve minimum ile maksimum donatı sınırları arasında uygun bir değer seçilmiştir. Üretilen kirişler yine dört nokta eğilme deneyi ile test edilmiş, farklı a/b oranlarının yük taşıma gücü, süneklik ve rijitlik üzerindeki etkileri yük–deplasman eğrileri üzerinden karşılaştırılmıştır. Deneysel veriler, hem donatı oranının hem de kesit geometrisinin betonarme kirişlerin davranışını önemli ölçüde etkilediğini göstermiş; analitik değerlendirmelerle birlikte parametrelerin performans üzerindeki rolü bütüncül bir şekilde ortaya konmuştur.

Musluer [27], Bu çalışma kapsamında yüksek dayanımlı beton kullanılarak üretilmiş, etriyesiz dikdörtgen kesitli kirişlerin kesme etkisi altındaki davranışı deneysel olarak incelenmiştir. Deney programında tüm kiriş numuneleri aynı boyutlara ve aynı malzeme özelliklerine sahip olacak şekilde üretilmiş; üç farklı a/d oranı (kesme açıklığı / faydalı yükseklik) ve iki farklı çekme donatısı yüzdesi kullanılmıştır. Bu değişkenlerin, kirişlerin kesme kırılması, çatlama dayanımı ve hasar şekilleri üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Taşçı [28], Bu çalışma kapsamında, 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’nde tanımlanan kurallar doğrultusunda betonarme kolonlarda kullanılan çirozların bağlanma şekillerinin taşıma kapasitesi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Farklı bağlanma detaylarına sahip kolon numuneleri eksenel yük altında test edilmiş ve yük–deplasman eğrileri üzerinden çiroz düzenlerinin yapısal performansa katkısı deneysel olarak değerlendirilmiştir.

Belgin [29], Bu çalışmada, beton kaynaklı bir kırılma türü olarak bilinen aşırı donatılı kirişlerin eğilme altındaki davranışı deneysel olarak incelenmiş ve elde edilen veriler kırılma mekaniği değişkenlerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Analiz sürecinde Bažant’ın boyut etkisi modeli, Carpinteri’nin çok çatlaklı kırılma yaklaşımı ve

geliştirilmiş Başant yöntemi uygulanmış; yöntemler karşılaştırılarak en uygun model değeriendirilmiştir. Ayrıca kirişlerin moment–eğrilik, gerilme–birim uzama ve yük–sehim ilişkileri elde edilerek boyut etkisinin bu davranışlar üzerindeki rolü analiz edilmiştir.



2. BÖLÜM:

YÖNTEM İLE MATERYAL

2.1. Kiriş Numuneleri

Deneysel olarak yaptığım çalışmamda, deney numunelerinin hazırlanmasında, T500(2000) ve TBDY2018 şartları değerlendirilerek hazırlanmıştır.

2.1.1. Boyut Özellikleri

Deneyler için üretilen numunelerin ölçüleri belirlenirken, son yıllarda inşa edilen betonarme yapıların asansör kapları üzerinde, betonarme perdelerin arasında yatay taşıyıcı elemanlar olarak ve kapalı çıkmalarda kullanılan kısa konsol kirişlerde sıkça kullanıran kiriş ebatları dikkate alınarak seçilmiştir. Deneysel araştırmalarda, kirişlerin davranış ve özelliklerinin tam olarak yansıtabilmesi amacı ile boyutları gerçek boyutlarda (1/1) olarak tasarlanarak üretilmiştir. Deneylerde kullanılan tüm numunelerin en kesit ölçüleri ile uzunlukları birbiri ile aynıdır. Deney için kullanılacak numunelerin ölçüleri ve özellikleri aşağıda verildiği gibidir.

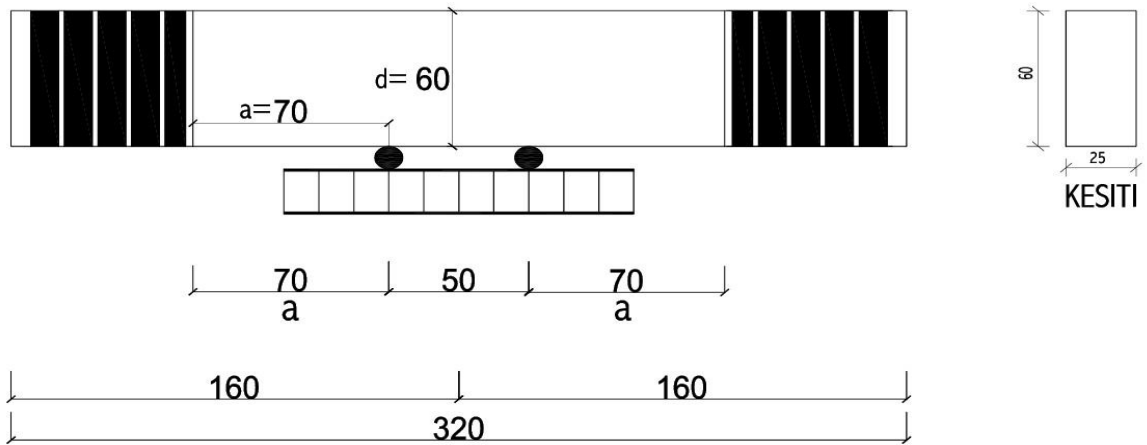
$$L_{top} = 3200 \text{ mm}$$

$$L_{net} = 1900 \text{ mm}$$

$$b_w = 250 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

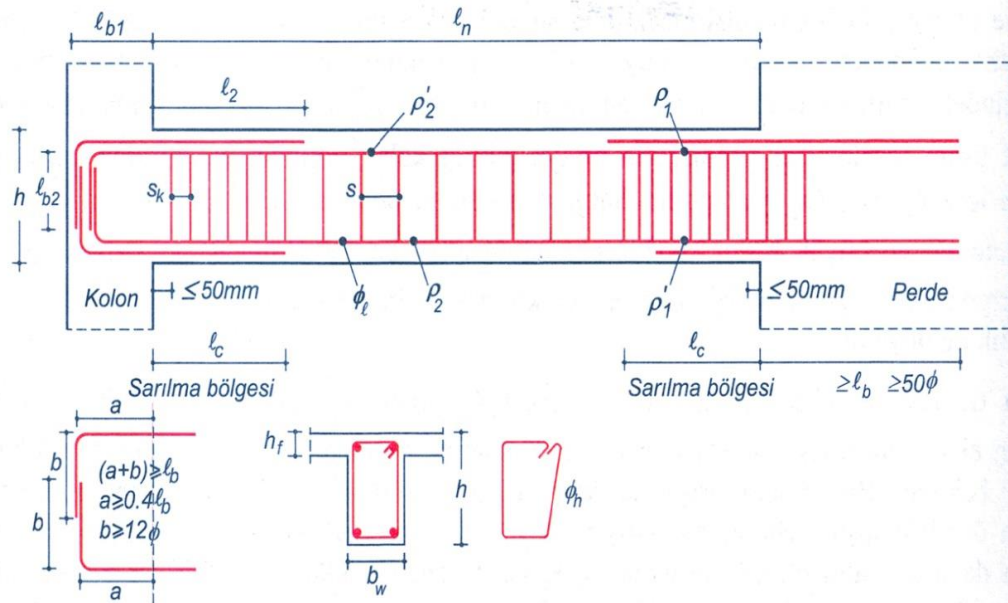
Burada verilen L_{top} kirişin toplamdaki uzunluğunu, L_{net} kirişin serbest açıklığı olan mesnetler arası mesafeyi, b_w kiriş genişliği ile h kiriş yüksekliğini göstermektedir. Tüm kirişlerimde $a/d=1,17$ dir.



Şekil 2. Deney numunelerinin boyutları

Tablo 1. TS500 ve TDBY 2018'a belirtilen betonarme kirişlere ait boyut ve donatı koşulları

Tanım	TS500	Deprem Yönetmeliği
$\min b_w$	200mm	250mm
$\max b_w$	kolon genişliği + h	kolon genişliği + h
$\min h$	300mm; $3h_f$	300mm; $3h_f$
$\max h$	—	$\ell_n / 4$; $3.5b_w$
$\min \ell_c$	—	$2h$
$\min \ell_2$	—	$\ell_n / 4$
$\min (\ell_{b1} + \ell_{b2})$	—	ℓ_b ; $(0.4\ell_b + 12\phi)$; 50ϕ ($\ell_{b2} = 0$ ise)
$\max s$	$d / 2$; 300mm	—
$\max s_k$	$d / 4$; $8\phi_\ell$; 150mm	$h / 4$; $8\phi_\ell$; 150mm
$\min \rho_1$	—	f_{ctd} / f_{yd}
$\min \rho_2$	$0.8f_{ctd} / f_{yd}$	$0.8f_{ctd} / f_{yd}$
$\max \rho_1$; $\max \rho_2$	$0.85\rho_b$; 0.02	0.02
$\min \rho_1'$	$\rho_2 / 3$	$0.3\rho_1$ [$0.5\rho_1$ ($DTS=1$, 1a, 2 ve 2a)]
$\min \rho_2'$	—	$\rho_1 / 4$
$\min \phi_\ell$	—	12mm
$\min \phi_h$	—	8mm



Şekil 3. Kiriş donatı kuralları

Numune üretiminde esas alınan boyutların ilgili deprem, betonarme yönetmelik ve standartlara uygunluğunun kontrolü aşağıda yapılmıştır.

$$b_w = 25 \text{ cm} \geq 25 \text{ cm}$$

$$h = 60 \text{ cm} \geq 30 \text{ cm}$$

$$h = 60 \text{ cm} \geq 3h_f (h_f \text{ döşeme kalınlığıdır.})$$

Döşemenin kalınlığı TS500' e göre min 80mm dir. Fakat çoğunlukla ortalama 12-15 cm olarak uygulanmaktadır.

Bu durumda;

$$h=60 \text{ cm} \geq 45\text{cm} (3 \times 15 \text{ cm})$$

$$h= 60\text{cm} \leq 3,5 b_w = 87,5 \text{ cm}$$

$$\min \ell_c = 600 \times 2 = 1200 \text{ mm tüm kiriş boyunca sıklaştırma yapılmıştır.}$$

$$\ell_b = 700 \text{ mm} \geq 50\phi = 50 \times 14 = 700\text{mm, perde için}$$

$$(a+b) \geq \ell_b \quad 700 \text{ mm} + 500\text{mm} = 1200 \geq 50\phi = 50 \times 14 = 700\text{mm kolon için}$$

$$\max S = 60\text{cm}/2 = 30\text{cm} \geq 100\text{mm tüm kiriş boyunca sıklaştırma yapılmıştır.}$$

$$\max S_K = 600/4 = 150\text{mm} \geq 100\text{mm tüm kiriş boyunca sıklaştırma yapılmıştır.}$$

$$\max S_K = 8 \times 14 = 112\text{mm} \geq 100\text{mm tüm kiriş boyunca sıklaştırma yapılmıştır.}$$

$$\text{Gövde donatısı koşulu } l_n/4 \leq h \quad 190\text{cm}/4 = 47.5\text{cm} \leq 60$$

$$A_{s,f} = 0.001 \times b_w d = 0.01 \times 25 \times 60 = 1.5\text{cm}^2 \leq 2.26\text{cm}^2 (2\phi 12) \text{ seçilen,}$$

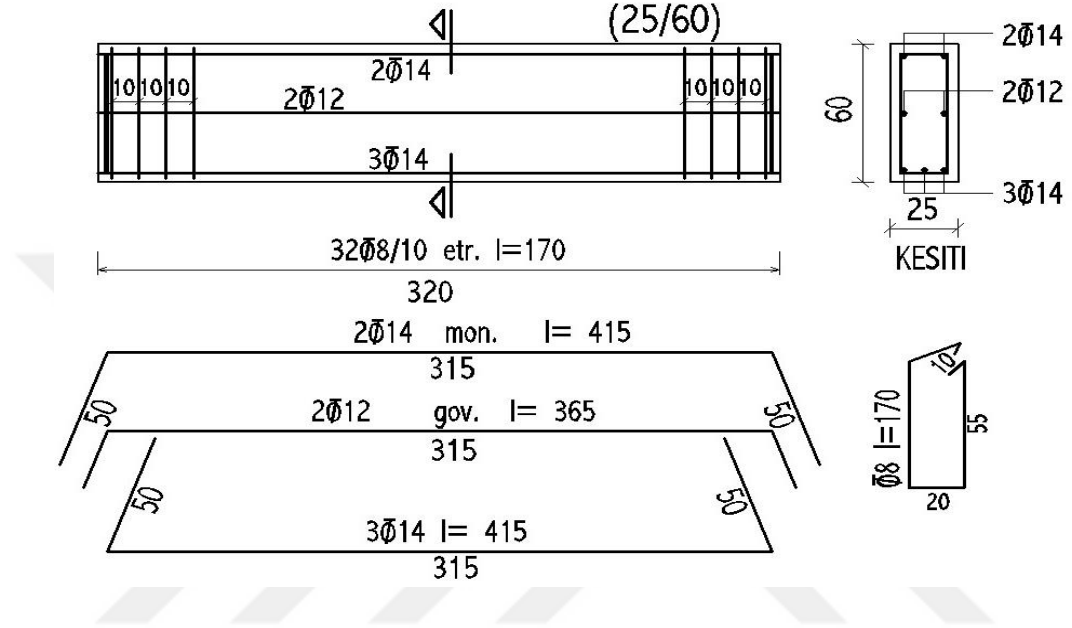
$$\text{Gövde donatısı aralığı } 30\text{cm} \geq 30\text{cm, sağlanmıştır.}$$

TS500 (2000) ile TBDY2018'da belirtilen koşullara göre kontrolü yapılan test numunelerinin ölçülerinin yeterli ve donatısının yeterli olduğu görülmektedir. Üretimi yapılan deney numunelerine ait boyutlar Şekil 2' de gösterilmiştir.

2.1.2. Donatı Düzenleri

2.1.2.1. BK-REF Referans Kiriş

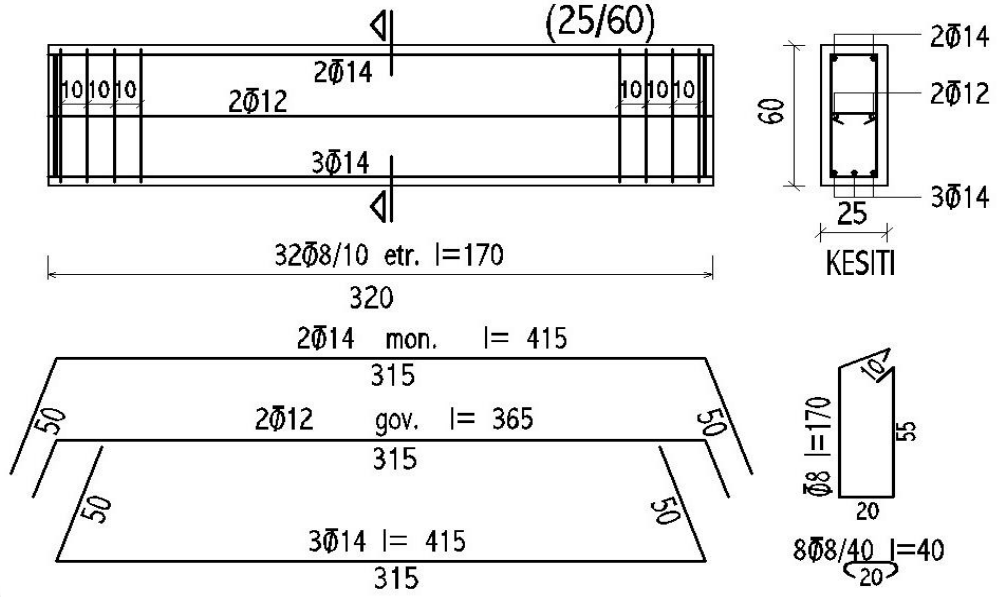
Karşılaştırma amacı ile üretilen alt ve üst boy donatıları, gövde donatısı, etriye, aralık ve çapları diğer kirişlerle aynı olarak üretilmiş, fakat çiroz bulundurmada üretilen kiriştir.



Şekil 4. BK-REF deney numunesinin donatıları düzeni

2.1.2.2. BK-Ç40 (40cm Yatay Gövde Çirozlu Kiriş)

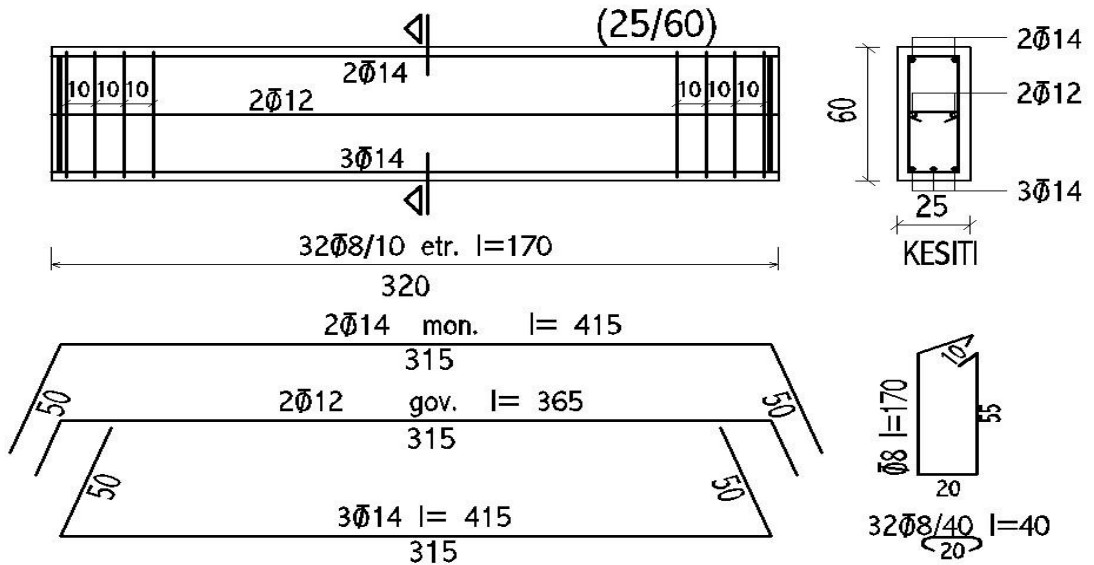
Bu kiriş, alt ve üst boy donatıları, gövde donatısı ile etriye çap ve aralıkları bakımından referans kirişle aynı donatı düzenine sahiptir. Ancak referans kirişlerden farklı olarak, TBDY 2018'in 7.4.1.c maddesine uygun şekilde, kiriş yüksekliği boyunca 600 mm'yi, kiriş eksenine paralel 400 mm'yi geçmeyen aralıklarda, etriye çapında ve gövde donatısını saracak biçimde iki ucu kancalı yatay gövde çirozları eklenerek üretilmiştir.



Şekil 5. BK-Ç40 deney numunesinin donatı düzeni

2.1.2.3. BK-Ç10 (Yatay Gövde Çirozu Sıklaştırmalı Kiriş)

Bu kiriş, alt ve üst boy donatıları, gövde donatısı, etriye aralık ve çapları referans kiriş donatısı ile aynı donatılmış ilave olarak yatay gövde çiroz sıklığı artırılmış, etriye aralığı ile eşit sayıda 10 cm ara ile yatay gövde çirozu kullanılarak imal edilmiştir. Yatay gövde çirozu gövde donatısını ve etriyeyi saracak şekilde iki ucu kancalı olarak imal edilmiştir.



Şekil 6. BK-Ç10 deney numunesinin donatı düzeni

2.1.3. Beton ve donatı detayları

Deneyisel çalışmada, donatı ile beton cinsi olarak yönetmeliğin izin verdiği minimum beton ve donatı sınıfı seçilerek uygulanmıştır. Beton sınıfı olarak C25, donatı sınıfı ise B420C kullanılmıştır. Yönetmelik ve standartların ışığında yapılan donatı ve beton sınıfı seçimine göre, üretilecek olan betonarme kiriş numunelerinin öngörülen mekanik özellikleri aşağıda listelenmiştir.

Malzeme	f_{ck} (MPa)	f_{cd} (MPa)	f_{ctk} (MPa)	f_{ctd} (MPa)	E_c (MPa)
C25/30	25	17	1.8	1.2	30000
Malzeme	f_{yk} (MPa)	f_{yd} (MPa)		f_{ywd} (MPa)	E_s (MPa)
B420C	420	365		365	210000

Deney numunelerinde, kesme donatısı için etriyelerde Ø8/10 cm, basınç donatısı 2Ø14, çekme donatısı 3Ø14 ve gövde donatısı olarak 2Ø12 nervürlü B420C donatı sınıfı kullanılmıştır. Kirişlerde kullanılabilecek boyuna donatının çapı TDBY2018' de en az Ø12 (12mm) olarak belirtilmiştir. Kirişlerde enine ve boyuna donatıları için asgari donatı koşulları sağlanmalıdır. Betonarme kirişlerin tasarımında yönetmelik şartları dikkate alınmıştır. Numuneler tasarımında TDBY2018' de verilen minimum boyuna donatı oranı,

$$\rho_{min} = 0.8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} \quad (2.1)$$

Denklemine göre; $\rho_{min} = 0.8 \frac{1.2}{365} = 0.00263$ olarak bulunur. Kirişlerin eğilme davranışı göstererek süneklik gösterebilmesi için TS500 (2000) ile TDBY2018'de kirişlerde kullanılacak en fazla boyuna donatı miktarının sınırlandırılması gerektiği belirtilmiştir. Gerekli donatı oranlarını ifade eden denklem aşağıda verilmiştir.

$$\rho_{max} = 0.85 \rho_b \quad (2.2)$$

$$\rho_{max} = 0.02 \quad (2.3)$$

Burada ρ_b dengeli donatı miktarını belirtmektedir. Dengeli donatının miktarı ise;

$$\rho_b = 0.85 k_1 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left(\frac{700}{700 + f_{yd}} \right) \quad (2.4)$$

Denklemini ile hesaplanır. Denklem 2.4' de yer alan eşitlikte seçilen malzeme değerleri yerine konularak dengeli donatı miktarı bulunacaktır. C25/30 betonu ve B420C donatı çeliği kullanılan kirişlerimiz için kullanılan değerler f_{cd} , f_{yd} ile k_1 değerleri yerine konularak hesaplandığında, dengeli donatının miktarı $\rho_b = 0.00221$ olarak bulunur.

Denklem 2.2' de ρ_b değeri yerine konulduğunda, $\rho_{\max}=0.0188$ bulunmuştur.

Numunelerimize ait donatı oranını bulmak içinde,

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \cdot d} \quad (2.5)$$

Denklemini ile, $\rho = 0.0032$ bulundu.

Kiriş numunelerinde kullandığımız donatı oranımızın $\rho_{\min}$ ve $\rho_{\max}$ değerleri arasında olması gerekir.

$$\rho_{\min} = 0.00263 < \rho = 0.0032 < \rho_{\max} = 0.0188, \rho_{\max} = 0.02$$

TS500 (2000)' e göre asgari kesme donatısı hesabını yapmak gereklidir. Bunu için, Denklem 2.6 ' de kullanıldı.

$$\frac{A_{sw}}{s} \geq 0.3 \frac{f_{ctd}}{f_{ywd}} b_w \quad (2.6)$$

Denklem 2.6' ya göre A_{sw} , f_{ctd} , f_{ywd} ve b_w değerleri kullanılarak ve $s \leq 40,5$ cm bulundu. Bu ek olarak, TDBY2018 ve TS500 (2000)' de verilen sınır şartları ile de kiriş sarılma bölgesi ve kiriş orta bölgesi için asgari koşullar aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Sarılma bölgesinde;

$$s \leq 150 \text{ mm}$$

$$s \leq 8\phi = 8 \times 14 = 112 \text{ mm}$$

$$s \leq d/4 = 570/4 = 142.5 \text{ mm}$$

Sarılma bölgesi dışında ise (orta bölge);

$$s \leq d/2 = 57/2 = 285 \text{ mm}$$

Hesaplamalar ışığında betonarme kiriş deney numunelerimizde sıklaştırma bölgesinde $\phi 8/10$ ve sıklaştırma bölgesi dışında kalan bölümlerinde $\phi 8/10$ olarak kesme donatısı kullanılması uygun görülmüştür. Yapılan bu çalışma ile deney numuneleri için belirlenen kesitler ve donatı düzenleri Tablo 2' de sunulmuştur.

Tablo 2. Betonarme kirişlerin kesit ve donatı düzenleri

Num. No	Num. Adı	b_w (cm)	H (cm)	d (cm)	Enine Donatı		Basınç Donatısı	Çekme Donatısı	Gövde Donatısı
					Etriye Çap/Aralık	Çiroz Çap/Aralık			
1	BK-REF	25	60	57	$\phi 8/10$	-	2 $\phi 14$	3 $\phi 14$	2 $\phi 12$
2	BK-Ç40	25	60	57	$\phi 8/10$	$\phi 8/40$	2 $\phi 14$	3 $\phi 14$	2 $\phi 12$
3	BK-Ç10	25	60	57	$\phi 8/10$	$\phi 8/10$	2 $\phi 14$	3 $\phi 14$	2 $\phi 12$

Tablo 2'de belirtilen deney numune isimleri, numunelerin boyutlarını ve donatı düzenlerini göstermektedir. Burada ifade edilen kısaltmalara ait açıklamaları şu şekildedir.

BK: Betonarme kiriş

R: Referans kiriş

Ç40:40cm aralıklı yatay gövde çiroza sahip kiriş

Ç10:10cm aralıklı yatay gövde çiroza sahip kiriş

Bir örnekle açıklamak istersek; BK-REF ifadesi betonarme kirişin referans numuneye ait örnek olduğunu belirtmektedir.

2.2. Malzeme Özellikleri

Deneylerde kullanılacak betonarme kirişler Erciyes Üniversitesi Melikgazi Belediyesi Deprem Araştırma Laboratuvarı bahçesinde, ahşap ve plywood kalıplarla hazırlanmıştır. Beton sınıfının C25/30 hazır beton, donatı sınıfının B420C olarak değerlendirilmiştir. Mekanik özelliklerinin yeterliliğinin belirlenmesi için beton ve donatı çeliği numuneleri alınmıştır. Sahadan imalat öncesi ve imalat esnasında alınarak test edilen numunelerin vasıtası ile betonun mukavemeti ve donatı çeliğinin mekanik özellikleri belirlenmiştir. İmal edilen betonarme kiriş elemanlarının teorik hesaplarında kullanılacak değerlerinin gerçeğe uygun sonuçlara ulaşılması hedeflenmiştir.

2.2.1. Betonun Özellikleri

Beton basınç mukavemetinin ölçülmesi amacıyla, betonarme kiriş elemanlarının üretimi esnasında kullanılan hazır betondan Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı 13.04.2022 tarih 9194413-360.90-(555.99)3438325 sayılı genelgesinde belirtildiği miktarda; lisanslı yapı malzemesi laboratuvarınca 8 adet,150x150x150 mm ölçülerinde küp kalıp kullanılarak beton numunesi alınmıştır. (Şekil 7)



Şekil 7. Taze Beton Numuneleri

Alınan bu numuneler bir gün boyunca kırış numunelerin bulunduğu bölgede bekletilerek ertesi gün sabah, evre, şehircilik ve İklım Değişikliği Bakanlığından lisanslı laboratuvarı personelince standartlara uygun koşullarında muhafaza edilmek üzere laboratuvara götürüldü (şekil 8).



şekil 8. Küp numunelerin kürlenmesi

evre, şehircilik ve İklım Değişikliği Bakanlığının ilgili genelge esaslarına uygun olarak numunelerden 2 tanesi 7 günlük 6 tanesi 28 günlük iken kalibrasyonlu ve standartlara uygun beton presinde basınç deneyine tabi tutulmuştur (şekil 9).



şekil 9. Küp numunelerin basınç deneyi

Beton basınç deneylerinin sonuçları Tablo 3'te verilmiştir. Yapılan deney sonuçlarına bakıldığında, 7 günlük ortalama dayanımın 28,57 MPa, 28 günlük ortalama dayanımının 32,71 MPa olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlara göre kiriş numunelerinin üretimi için kullanmış olduğumuz hazır beton numunelerimizin 28 günlük numune sonuçlarının istenilen basınç dayanımına sahip olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 3. Beton basınç dayanımına ait sonuçlar

NUMUNE BİLGİLERİ			
Alındığı Tarih	06/12/2023	YAPI BÖLÜMÜ	DENEY KİRİŞLERİ
Lab Geliş Tarihi	07/12/2023		
Numune Adedi	8	Çökme (Slump) mm	200
Beton Sınıfı	C25	Ortam Sıcaklığı	11,0
Numunenin Tipi	150*150*150 / KÜP	Beton Sıcaklığı	18,0
Dökülen Beton Miktarı	3,5	Numuneyi Alan	
Beton Firması		BETON SINIFI	C25/30

YAPILAN DENEY SONUÇLARI											
7 GÜNLÜK						28GÜNLÜK					
Deney Tarihi		13/12/2023				Deney Tarihi		03/01/2024			
No	Basınç Dayanımı MPa	Yük (N)	No	Basınç Dayanımı MPa	Yük (N)	No	Basınç Dayanımı MPa	Yük (N)	No	Basınç Dayanımı MPa	Yük (N)
1	28.04	631.7	7			1	30.96	697.5	3		
2	29.10	655.7	8			1	30.72	692.1	3		
3			9			1	33.58	756.5	3		
4			10			2	34.35	774.0	4		
5			11			2	31.48	709.4	4		
6			12			2	35.17	792.4	4		
ORT 28.57						ORT: 32.71					

2.2.2. Donatıların Özellikleri

Deney numunelerimizde etriye ve çiroz donatısı olarak Ø8, gövde donatısı olarak Ø12, (montaj) basınç donatısı ile çekme donatısı Ø14 donatı kullanılmıştır. Donatılar B420C donatı sınıfındadır. Bu donatılarla ilgili olarak her çaptan 3'er adet numune Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığından lisanslı laboratuvar tarafından TS 708 standardına uygunluğu test edilmiştir (Şekil 10). Deneylerle ilgili mekanik sonuçlar Tablo 4' de verilmiştir.



Şekil 10. Çelik çekme deneyi

Tablo 4. Donatılara ait mekanik özellikler

DENEY SONUCU BULUNANLAR									TS 708/MART 2016 Standart Sınır Değerler						
No	Anma Çapı d mm	Kütle Kg/m	Akma (Re) MPa	Çekme (Rm) MPa	Çekme/Akma Rm/Re	Re act / Re nom	Kopma Uz. % (A ₅)	Çelik Sınıfı	Akma MPa Min	Çekme MPa Min	Çekme/Akma Rm/Re	Re act / Re nom Max	Kopma Uz. % (A ₅) Min	Anma Kütlesi Kg/m	
1	8.0	0.396	469	566	1.21	1.12	24.1	B420C	420	0	>1.15 <1.35	1.30	12	0.371	0.419
2		0.394	480	593	1.24	1.14	27.0	B420C	420	0		1.30	12		
3		0.410	465	571	1.23	1.11	24.8	B420C	420	0		1.30	12		
4	12.0	0.885	451	548	1.22	1.07	21.0	B420C	420	0	>1.15 <1.35	1.30	12	0.848	0.928
5		0.892	457	568	1.24	1.09	24.6	B420C	420	0		1.30	12		
6		0.887	461	588	1.28	1.10	19.3	B420C	420	0		1.30	12		
7	14.0	1.228	456	588	1.29	1.09	21.8	B420C	420	0	>1.15 <1.35	1.30	12	1.156	1.264
8		1.222	453	558	1.23	1.08	23.8	B420C	420	0		1.30	12		
9		1.202	477	588	1.23	1.14	22.6	B420C	420	0		1.30	12		

2.3. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Deneyler için kullanılacak olan numuneleri Erciyes Üniversitesi Deprem Araştırma Laboratuvarı bahçesinde uygun bir alanda, ahşap ve plywood kalıplar kullanılarak belirlenen ölçülerde kurulmuştur. Bütün deney elemanlarının boy ev en kesitleri birbiri ile aynı olduğu için 3 adet numune aynı anda hazırlandı (Şekil 11).



Şekil 11. Numune kalıplarının hazırlanması

Şantiyede uygun ölçülerde kesilerek ve bükülerek hazırlığı yapılan donatılar laboratuvar bahçesinde birbirine bağ teli yardımı ile bağlanarak her bir kiriş için gerekli donatı düzeninde tek tek hazırlanmıştır. (Şekil 12).



Şekil 12. Donatıların hazırlanması

Numune özelliklerine uygun olarak hazırlanan donatılar 3cm plastik pas payı kullanılarak playwood kalıpların içerisine yerleştirildi. Beton dökümü öncesi kalıp takviyeleri yapılarak kiriş kalıpları beton dökümüne hazır hale getirildi (Şekil 13).



Şekil 13. Kalıplara donatı yerleşimi

Hazır beton firmasına sipariş verilen C25/30 sınıfı, kıvam sınıfı S4 olan hazır beton mikserle kalıplar içerisine döküldü (Şekil 14). Beton dökümü esnasında, betonun boşluksuz bir şekilde yerleşebilmesi için vibratör kullanıldı. Beton dökümünde beton kıvam sınıfının belirlenebilmesi için slump deneyi yapıldı ve $150 \times 150 \times 150 \text{ mm}^3$ ölçülerinde küp numuneler alınmıştır. Beton dökül dükten sonraki gün kiriş numunelerinin kalıpları sökülerek kürlenebilmesi amacıyla en az günde iki defa olarak sulanmıştır. Kürlleme işlemi 28 gün boyunca devam edilmiştir. Daha sonrasında deneye tabi tutulacak kiriş numuneleri forklift yardımı ile Erciyes Üniversitesi Deprem Araştırma Laboratuvarının içerisine nakledilmiştir. Deney numunelerinin deney esnasında daha iyi gözlemlenebilmesi çatlak oluşumu ve tesirlerin belirlenebilmesi için beyaz boya ile boyanmıştır (Şekil 15).



Şekil 14. Beton dökümü



Şekil 15. Kirişlerin laboratuvar içersine taşınıp ve boyanması

2.4. Deney Ekipmanları

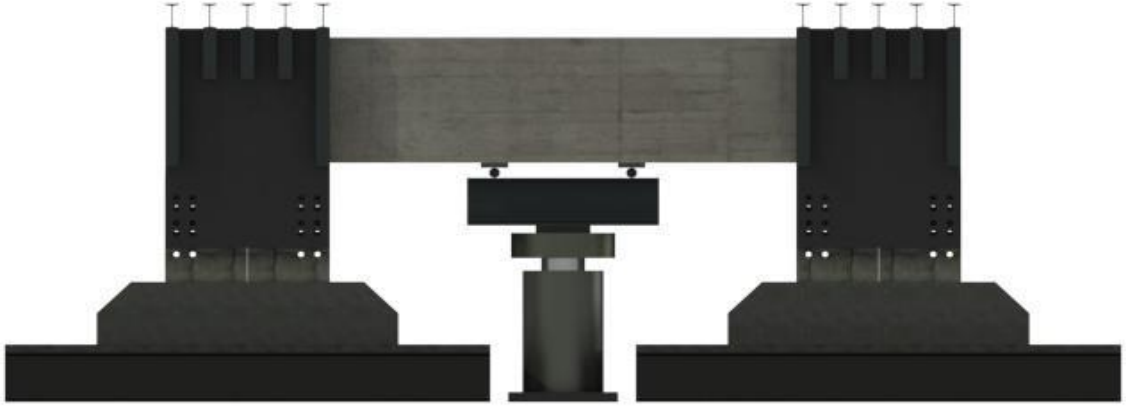
2.4.1. Ölçüm ve Cihazlar

Bu çalışmada üretilen üç adet betonarme kiriş, Erciyes Üniversitesi Deprem Araştırma Laboratuvarı'nda monotonik yükleme altında test edilmiştir. Deneyler, hidrolik kriko kullanılarak itme yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Krikonun ucuna yerleştirilen yük hücresi sayesinde uygulanan yük değerleri kaydedilmiştir. Kirişlerde oluşan deplasmanlar, elektronik deplasman ölçerler (LVDT) ve potansiyometrik cetveller aracılığıyla ölçülmüştür. Deney boyunca yük ve deplasman verileri, veri toplama cihazı ile bilgisayara aktarımı yapılmıştır. Deneyler, öncelikle yük kontrollü şekilde başlatılmış, numuneler akma noktasına ulaştığında ise deplasman kontrollü yüklemeye geçilmiştir.

2.4.2. Deney Düzeneği

Deney düzeneğinde kullanılacak mesnet ve bağlantı elemanları, Erciyes Üniversitesi Deprem Araştırma Laboratuvarı'nda bulunan mevcut malzemelerden temin edilmiştir. Literatürde benzer çalışmalarda genellikle küçük ölçekli numuneler üzerinde yükleme üstten uygulanarak yapılmıştır. Ancak bu çalışmada kullanılan numuneler 1/1 ölçekli olduğu ve laboratuvardaki hidrolik presin montajı gereği yükleme alttan yukarı doğru gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle, deney numunelerinin üretiminde bu durum göz önünde bulundurularak hazırlıklar yapılmıştır.

Ankastre mesnet davranışını daha gerçekçi şekilde temsil edebilmek amacıyla mesnetler, çelik profiller ve kalın çelik levhalar kullanılarak imal edilmiş; test esnasında kiriş uçlarının hem dönmesini hem de yatay hareketini önleyecek biçimde yüksek rijitlik sağlanmıştır. Şekil 2.15'te görüldüğü üzere, deney düzeneğinin ve yük uygulamasının daha pratik hâle getirilmesi için kirişler ters çevrilmiş ve yükleme alttan uygulanmıştır. Bu yerleşimle kirişlerin orta bölgesinde çekme bölgesi üstte, basınç bölgesi ise altta konumlanmıştır. Kirişin kendi ağırlığı, uygulanan yük seviyesine nazaran düşük kaldığından ve mesnetler ile taşındığından, deney hesaplamalarında göz ardı edilmiştir. Numuneler, çekme bölgesi üst kısımda, basınç bölgesi aşağıda olmak üzere deney düzeneğine yerleştirilmiştir (Şekil 16, Şekil 17).



Şekil 16. Deney düzeneğinin 3 boyutlu görünümü

Yükleme işlemlerinde maksimum kapasitesi 120 ton olan hidrolik silindir kriko kullanılmıştır. Silindirin uyguladığı noktasal yükün kirişe aktarılabilmesi amacıyla, aralarında 500 mm mesafe bulunan ve sabit mesnetli olarak yerleştirilmiş iki adet, 40 mm çapında çelik dağıtıcı kirişten yararlanılmıştır. Yüklemeye sırasında kuvvetin homojen iletimini sağlamak için, bu dağıtıcı kirişlerin hidrolik prese oynar başlıklarla bağlanmasına özen gösterilmiştir.



Şekil 17. Deney düzeneğinin Görünümü

Deney düzeneğinde yükleme, rijit döşemeye sabitlenmiş ve kirişin tam ortasına hizalanmış bir hidrolik silindir pres aracılığıyla gerçekleştirilecektir. Yük kontrolünün sağlanabilmesi için hidrolik silindir üzerine yük hücresi yivler kullanılarak sabitlenmiştir (Şekil 18).



Şekil 18. Yük hücresi ve Hidrolik silindir görünümü

Yüklemenin iki noktadan eşit şekilde uygulanabilmesi için, yük hücresinin ucuna IPE 200 kesitli çelik profillerden üretilmiş bir yük dağıtma aparatı takılmıştır. Yükleme sırasında profilin olası esnemelerini önlemek amacıyla, ön ve arka yüzlerine 200 mm aralıklarla 1 mm kalınlığında çelik levhalardan takviye elemanları kaynaklanmıştır. Ayrıca a/d oranının sabit tutulabilmesi için, aparata tekil yük aktarımını sağlayacak dairesel miller eklenmiş ve böylece uygulanan kuvvetin istenen noktalara doğru ve dengeli biçimde iletilmesi sağlanmıştır (Şekil 19).



Şekil 19. Yükleme düzenek kurulumu

Deney düzeneğinde yükleme kirişinin yerleştirilmesinin ardından, kirişin yüklenebilmesi ve mesnet koşullarının sağlanabilmesi amacıyla, Erciyes Üniversitesi Deprem Araştırma Laboratuvarı'nda mevcut mesnet düzenekleri zemine sabitlenmiştir. Deney düzeneğindeki elemanlar yerleştirildikten sonra oluşacak deplasmanların ölçümü için, LVDT ve potansiyometrik cetvellerin montajını sağlamak amacıyla 40 mm × 60 mm kesitli kutu profiller ve L şeklinde köşebentler kullanılarak ölçüm düzeneği oluşturulmuştur.

2.4.3. Ölçüm Şekli

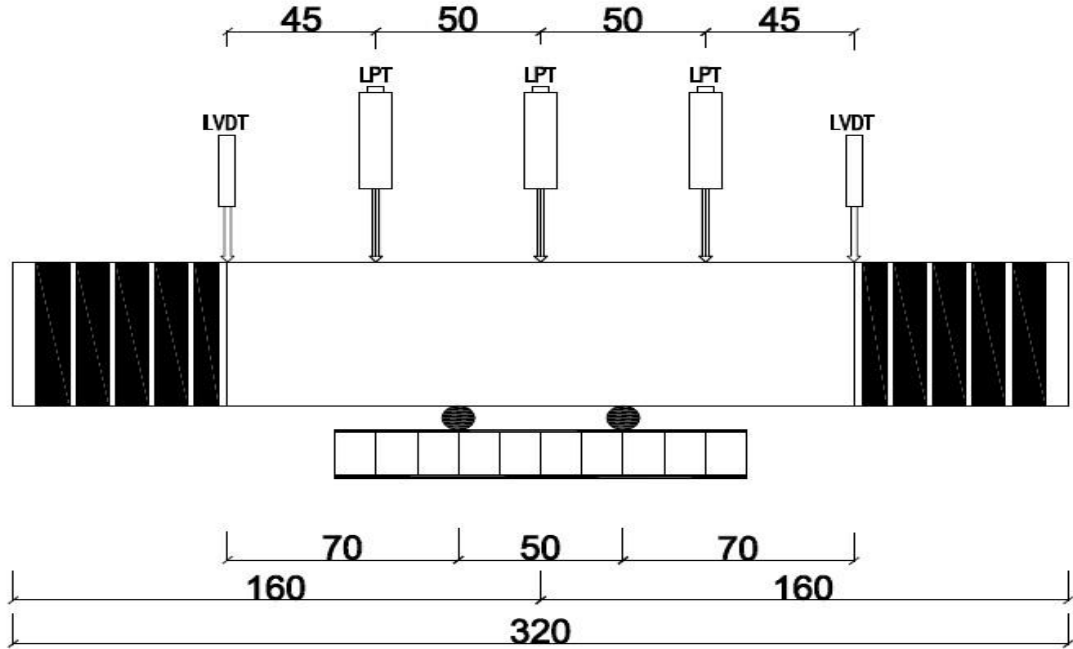
Deneyler sırasında yük ölçümleri, tek bir yükleme hücresi aracılığıyla yapılmıştır. Yer değiştirmeler ise üç potansiyometrik cetvel ve iki LVDT kullanılarak kaydedilmiştir. Potansiyometrik cetveller, LVDT'lere kıyasla daha geniş deplasman ölçme kapasitesine sahip oldukları için tercih edilmiştir. Hidrolik pompa üzerindeki yük hücresi ile LVDT ve deplasman ölçerler üzerinden alınan veriler, veri toplama sistemi aracılığıyla bilgisayara aktarılmış ve ilgili yazılım kullanılarak gerekli grafikler ile ölçümler oluşturulmuştur (Şekil 20).



Şekil 20. Veri toplama cihazı

Deneylerde kullanılan yük hücresi, hidrolik silindirin ucuna vidalanarak sabitlenmiştir. Ölçümler, data kablosu vasıtasıyla veri toplama yazılımı ile bilgisayara aktarılmıştır. Yük hücresinin kapasitesi 1200 kN, hidrolik silindirin genişliği ise 20cm'dir. Deneylerde kullanılmak üzere 3 adet potansiyometrik cetvel ve 2 adet LVDT

kalibre edilmiştir. Potansiyometrik cetveller, kirişin orta noktasına gelecek şekilde; LVDT'ler ise mesnet bölgesinin en uygun noktalarına yerleştirilmiştir. İlk deplasman ölçer, kirişin orta noktasına konumlandırılmış, diğer ölçerler ise 500 mm aralıklarla sabitlenmiştir (Şekil 21).



Şekil 21. Deplasman ölçerlerin deney numunesine yerleşimi

Potansiyometrik cetvellerin ölçme kapasitesi 300 mm, LVDT'lerin ölçme kapasitesi ise 100 mm'dir. Ölçüm alınacak yüzeylerde pürüzsüzlük sağlamak amacıyla, deplasman ölçerlerin temas ettiği noktalara sert plastik parçalar yapıştırılmıştır. Potansiyometrik cetvel, elektronik deplasman ölçerler (LVDT) ve mesnetlerin yerleşimi Şekil 21'de, deneyde kullanılan ekipmanların görselleri ise Şekil 22'de sunulmuştur.



Şekil 22. Deney esnasında kullandığım deplasman ölçerler, hidrolik pompa ve yükleyici krikö

3. BÖLÜM: BULGULAR

3.1. Deneyler

Bu bölümde, deneyleri yapılan üç betonarme kirişin davranışlarını incelemek amacıyla, deney aşamaları ve elde edilen sonuçlar ayrı ayrı sunulmuştur. Her bir numune monotonik yükleme altında test edilmiştir. Yükleme, başlangıçta yük kontrollü olarak gerçekleştirilmiş, akma noktasına ulaşıldığında ise deplasman kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Deney süresince yük artırımları başlangıçta 50 kN olarak uygulanmış, akma noktasından sonra ise her adımda yaklaşık 5 mm deplasman artışı sağlanarak test tamamlanmıştır.

Kiriş numuneleri test edilirken, her yükleme adımında orta nokta deplasmanları ölçülmüş ve kırışlerde meydana gelen çatlaklar tablolar halinde kaydedilmiştir. Oluşan çatlaklar numune üzerinde işaretlenmiş, ayrıca deney sonuçlarının yorumlanmasını kolaylaştırmak amacıyla fotoğraflanmış ve raporlanmıştır. Numuneler arasındaki davranış farklılıklarını belirlemek için aşağıda belirtilen grafikler her bir kırış için ayrı ayrı hazırlanmıştır. Bu grafikler yardımıyla yatay gövde çirozunun kırış davranışına etkisi değerlendirilmiştir.

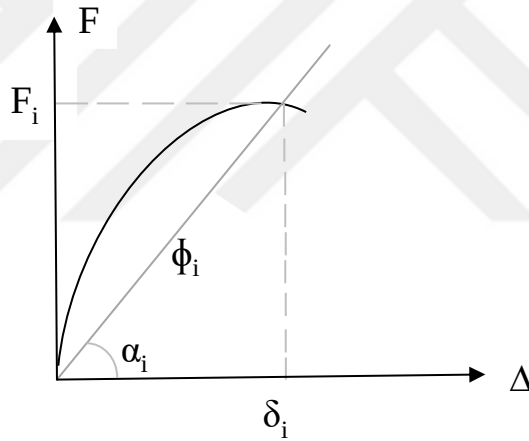
- Yük – Kiriş (Açıklık) Orta Nokta Deplasman grafikleri
- Rijitlik-Orta deplasman logaritmik değişim grafiği
- K_j / K_{ilk} rijitlik değişimi grafiği
- Moment- Eğrilik grafiği
- Tüketilen enerji grafiği
- İdealleştirilmiş Zarf Eğrisi grafiği

3.1.1. Yük-Deplasman Grafiklerinin Çizilmesi

Hidrolik krikonun ucundaki yük hücresi ile kırış üzerine yerleştirilen deplasman ölçerlerden (LVDT ve potansiyometrik cetvel) bilgisayara aktarılan veriler kullanılarak Yatay eksen orta nokta şekil değiştirmeyi, düşey eksen uygulanan yükü göstermek üzere Yük–deplasman grafikleri çizilmiştir.

3.1.2. Rijitlik ve Rijitlik Değişimi Grafiklerinin Çizilmesi

Yapı elemanlarının yer değiştirmelere karşı gösterdiği direnç, rijitlik olarak tanımlanmaktadır. Elemanlar üzerine uygulanan yükler arttıkça ve hasar meydana geldikçe rijitlik değerlerinde azalmalar gözlemlenir. Deney numunelerinin rijitlik davranışını değerlendirmek amacıyla iki tür grafik hazırlanmıştır: rijitlik azalım grafikleri, ϕ_j/ϕ_{ilk} (K_j/K_{ilk}) grafikleri ve eğim açısı grafikleri. Şekil 23’te verilen grafikte, her yükleme adımında F_i yükünün δ_i deplasman değerine oranı, o yüklemenin rijitliğini temsil etmektedir. Bu yöntem tüm yükleme adımlarına uygulanarak, numunelerin tüm rijitlik değerleri hesaplanmıştır. Rijitlik azalım grafiklerinde düşey eksen rijitlik değerlerini, yatay eksen ise o yükleme adımıdaki orta nokta deplasman değerlerini göstermektedir.



Şekil 23. Rijitliklerin belirlenmesi

Rijitlik, aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır:

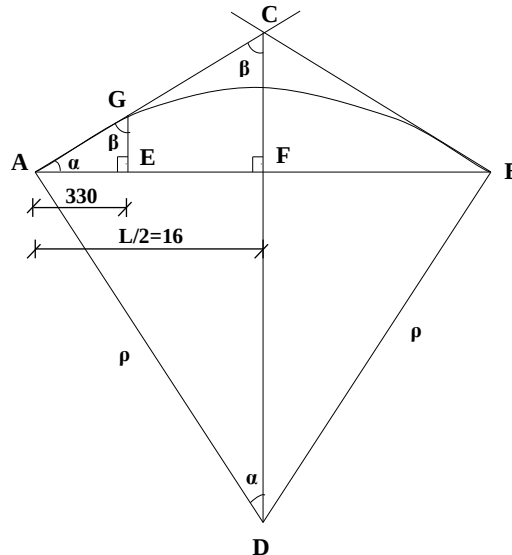
$$\text{Rijitlik } (\phi_i) = F_i / \delta_i \quad (3.1)$$

ϕ_j / ϕ_{ilk} (K_j/K_{ilk}) grafiklerinin hazırlanmasında, her yükleme adımında elde edilen rijitlik değerleri, ilk yüklemedeki rijitlik değerine oranlanmıştır. Bu oran başlangıçta 1 olacak şekilde belirlenmiş ve sonraki yüklemelerde azalma gösterecektir. Böylece numunenin rijitliğinin zamanla ne ölçüde azaldığı değerlendirilebilmektedir. ϕ_j / ϕ_{ilk} (K_j/K_{ilk}) grafiklerinde düşey eksen, ϕ_j / ϕ_{ilk} (K_j/K_{ilk}) değerlerini; yatay eksen ise orta nokta deplasmanlarını göstermektedir.

3.1.3. Moment-Eğrilik Grafiklerinin Çizilmesi

Her bir betonarme kiriş için , testler esnasında yapılan ölçümlmeler ile elde edilen veriler dayanarak ankastre mesnet kabulüne uygun olarak moment değerleri hesaplanmıştır. Numunelere ait moment değerleri belirlendikten sonra, Şekil 24’de tariflendiği gibi eğrilik değerleri bulunmuştur. Bu bağlamda, AB doğrusu kirişin eğilmeden önceki açıklığını; AB yayı eğilmeden sonraki açıklığını; AE doğrusu mesnet ile kiriş üzerindeki ilk ölçüm noktası arasındaki mesafeyi; AF doğrusu mesnet ile kiriş orta noktası arasındaki mesafeyi; AD doğrusu ise eğrilik yarıçapını (ρ) temsil etmektedir. Eğrilik, $1/\rho$ olarak tanımlanır ve geometrik olarak eğrilik yarıçapının belirlenmesi gereklidir.

Kiriş uygulanan yük sonucunda kiriş düzleminde ötelenmeler meydana gelir. A ve B noktalarından eğilmiş kirişe teğet çizildiğinde AC ve BC doğruları oluşur. AGE, AFC ve ADC üçgenleri benzer üçgenler olup, AGE ve AFC üçgenlerinin benzerliğinden yararlanılarak CF uzunluğu hesaplanmıştır. Ardından AFC ve ADC üçgenlerinin benzerliklerinden faydalanılarak AD uzunluğu, yani eğrilik yarıçapı bulunmuş ve böylece eğrilik değeri elde edilmiştir (Ünal, 2016). Elde edilen değerler doğrultusunda moment–eğrilik grafiklerinde dikey eksen moment değerlerini, yatay eksen ise o momente karşılık gelen eğrilik değerlerini göstermektedir.



Şekil 24. Deney numunelerindeki eğriliğin belirlenmesi

3.1.4. İdealleştirilmiş Zarf Eğrisi ve Enerji Tüketimi Grafiklerinin Çizilmesi

Süneklik, bir yapı elemanının ya da sistemin, elastik sınırdan çıktıktan sonra önemli boyutta şekil değiştirebilme ve buna rağmen taşıyıcılığını sürdürebilme yeteneğidir. ASCE 41-17 ye göre süneklik (ductility), yapı elemanlarının plastik deformasyon yapabilme kapasitesini tanımlar. Bu kavram, deprem mühendisliğinde kritik öneme sahiptir çünkü sünek elemanlar, ani kırılmadan önce enerji sönümleyerek deprem enerjisini absorbe edebilir ve yapının göçmesini önler.

ASCE 41-17'e göre deneysel yük-şekil değiştirme eğrisini, enerji (alan) bakımından eşdeğer olan üç eğimli; ilk (elastik) eğim, ikinci (azalmış rijitlik / akma sonrası sertleşme veya yumuşama) eğim ve üçüncü (düzlük veya zayıflama / limit) eğim eğrisiyle temsil ettirilerek; böylece etkin akma deplasmanı Δ_y elde edilir. Eş-enerji koşulu: gerçek eğrinin altında kalan alanın (enerji) her bir eğrinin altında kalan alana eşit olması sağlanır. Burada Δ_u gerçek eğrinin maksimum yükünün %80'ine düştüğü deplasman değeri seçilir.

$$\mu = \Delta_u / \Delta_y$$

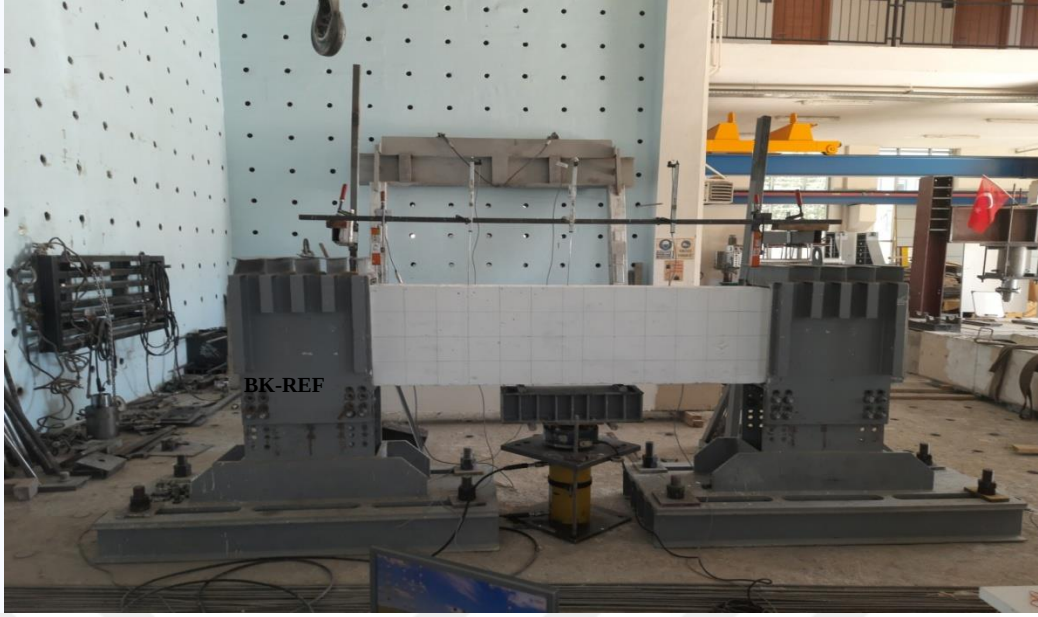
- μ : Süneklik oranı
- $P_u \Delta_u$: Nihai deplasman
- $P_y \Delta_y$: Azalmış Rijitlik deplasmanı
- $P_y \Delta_y$: Akma deplasmanı

Elastik bölge deney esnasında gözlemlenen akmanın başlangıcı seçilebileceği gibi, ilk %40'lık bölümde iki kırılma noktası seçilerek doğrusal regresyon yöntemiyle de belirlenebilir. Elastik bölge ile maksimum yükün arasındaki bölge azalmış rijitlik bölgesini, maksimum yükün %20 azaldığı deplasmanda nihai deplasmanı alınarak üç eğrili omurga eğrisi çizilir. İdealleştirilmiş eğrinin altındaki alanlar tüketilen enerjiyi tanımlar ve süneklilik hesaplanır.

3.2. Deney Sonuçları

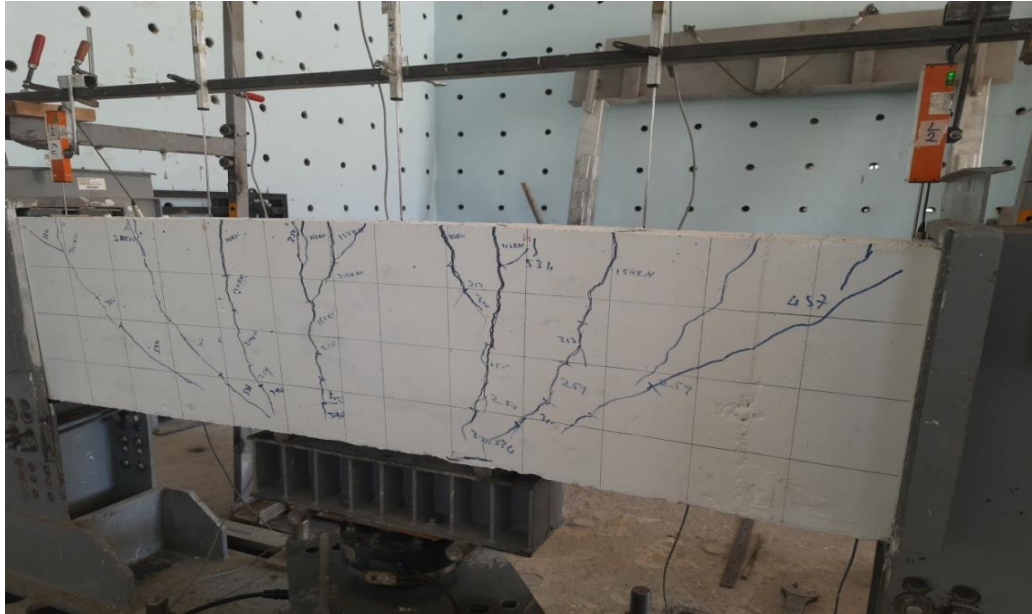
3.2.1. BK-REF Kiriş Deneyi

Deney programında ilk test edilen numune, BK-REF olarak adlandırılan referans betonarme kiriştir. Numune donatı düzeni; basınç bölgesinde 2Ø14, çekme bölgesinde 3Ø14, gövde donatısı olarak 2Ø12 ve kesme donatısı olarak Ø8/10 şeklinde olup, çiroz kullanılmamıştır. Deneye hazır hâle getirilmiş numunenin görünümü Şekil 25'te sunulmuştur.



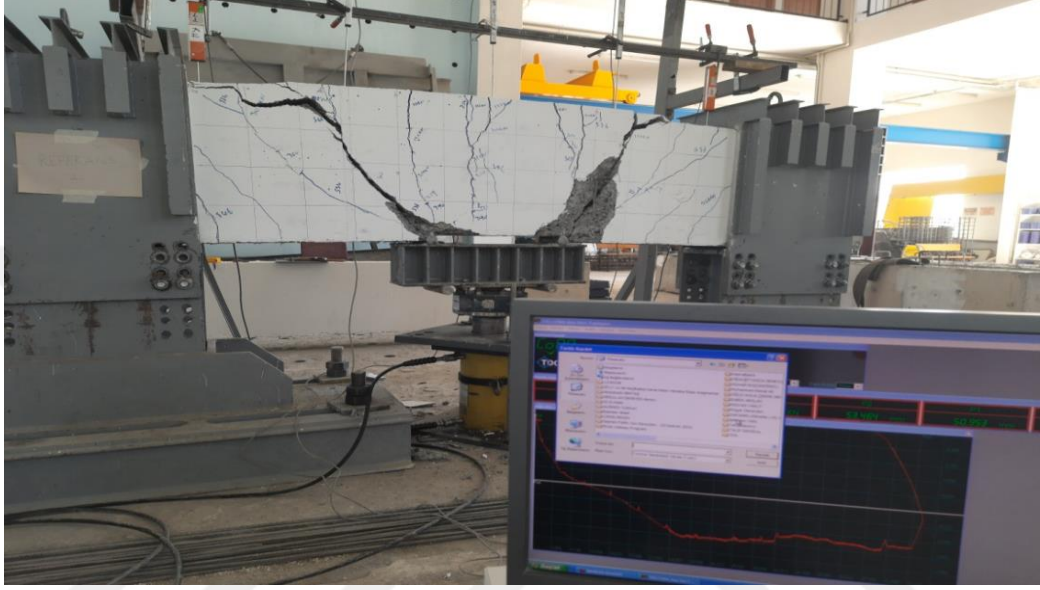
Şekil 25. BK-REF kirişinin deney öncesi hali

Kirişte ilk çatlak oluşumu 122,40 kN yük seviyesinde meydana gelmiş olup, bu çatlaklar eğilme karakterindedir. Bu yükleme sonucunda kiriş numunesinin deplasmanı yaklaşık 0,94 mm olarak ölçülmüştür. Numune, 437,40 kN yük değerinde ve 17,35 mm orta nokta deplasmanı seviyesinde akma noktasına ulaşmıştır. Akma noktasında oluşan çatlaklar Şekil 26'da gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere bu aşamadan sonra çatlakların karakteri eğilmeden kesmeye doğru dönüşmüştür. Akma sonrasında eğilme çatlaklarında uzama gözlenmiş ve kesme çatlakları daha belirgin hâle gelmiştir.



Şekil 26. BK-REF kirişinin çatlak dağılımı

Yükleme, bu noktadan itibaren deplasman kontrollü olarak sürdürülmüş ve deney yaklaşık 5mm'lik deplasman artışlarıyla devam ettirilmiştir. Kiriş numunesinde maksimum 579.014 kN yüküne ulaşılmıştır. Bu yüklemeye ile oluşan deplasman 26.92 mm' ölçülmüştür. Yüklemeye esnasında kesme donatısını kopması ile deneye son verilmiştir. Kalıcı deplasman 57.12mm olarak ölçülmüştür. Deney numunesinin hasar almış numunenin görünümü Şekil 27 ile Şekil 28'de verilmiştir.



Şekil 27. BK-REF kirişinin maksimum yükte oluşmuş çatlak dağılımı



Şekil 28. BK-REF kirişinin çatlak dağılımı ve hasar oluşumu

Deney sırasında ölçülen deplasman ile yük verileri alınarak, numunenin yapısal davranışını değerlendirmek amacıyla birçok grafik oluşturulmuştur. Kirişin yük-orta

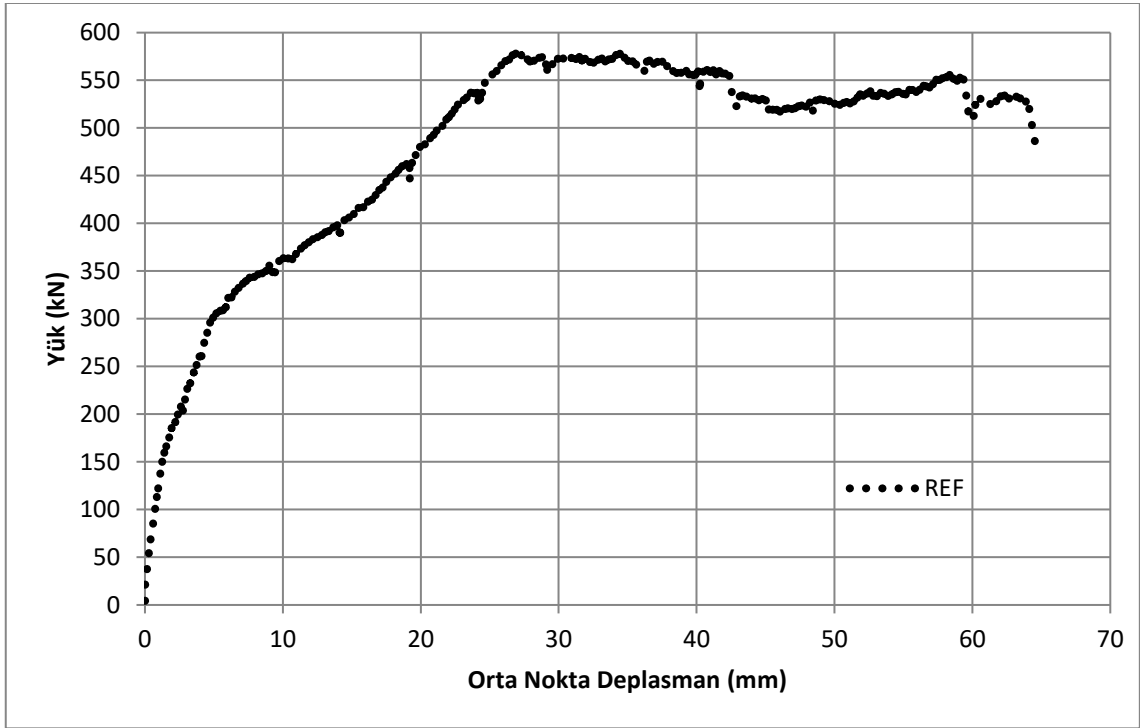
nokta deplasman ilişkisi Şekil 29’da sunulmuştur. Her yükleme adımında elde edilen yük değerinin, karşılık gelen deplasman değerine oranlanmasıyla rijitlik değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda, Şekil 30’da görülen logaritmik rijitlik–orta nokta yer değiştirme grafiği çizilmiştir. Ayrıca, hesaplanan rijitliklerin başlangıç rijitliğine oranı kullanılarak K_j/K_{ik} ilişkisini gösteren grafik Şekil 31’de verilmiştir. Deney numunesine ait moment–eğrilik değerleri de belirlenmiş ve elde edilen moment–eğrilik grafiği Şekil 32’de sunulmuştur. Son olarak kuvvet–deplasman grafiğinden yararlanılarak ASCE 41-17 [30] standardına göre idealleştirme yapılmış zarf eğrisi oluşturulmuş, numunenin süneklik değeri, toplam enerji tüketimi hesaplanmıştır. (Şekil 33, Şekil 34)

Tablo 5. BK-REF kirişi çatlak ve hasar gözlem tablosu

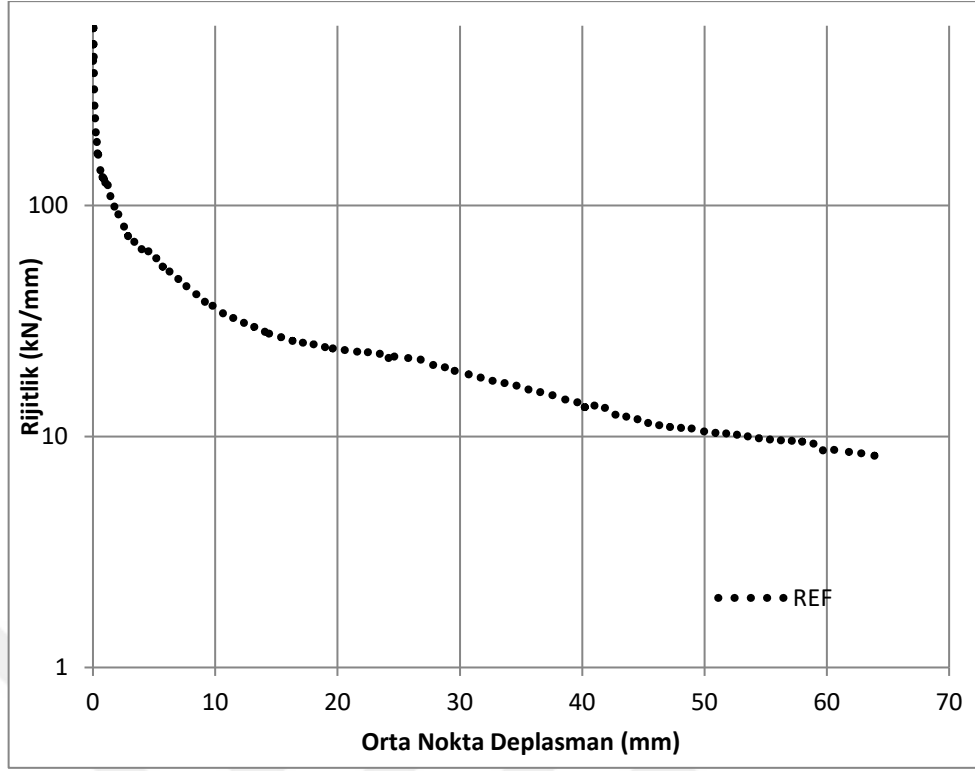
Adım No	Yük P (kN)	Orta Nokta Deplasmanı (mm)	Gözlemlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
1	50.14	0.25	Herhangi bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir.
2	102.66	0.77	Herhangi bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir.
3	122.40	0.94	İlk kılcal çatlaklar meydana geldi. Çatlaklar çekme bölgesinde, mesnet hizası ve orta üst bölgede oluştu.
4	150.62	1.24	İlk çatlaklarda uzama meydana geldi.
5	200.73	2.41	h bölgesin içerisinde yeni çatlaklar gözlemlendi. İlk çatlaklar uzadı.
6	250.66	3.70	Oluşan ilk çatlaklar uzamaya devam etti. Yeni eğilme çatlakları oluştu.
7	300.84	4.84	Çekme çatlaklarının boyları yüzeyde 45-50cm civarına ulaştı.
9	350.10	8.62	Yaklaşık 45 derece kesme çatlakları oluşmaya başladı. Çekme çatlakları genişlemeye başladı. 1-2mm
10	400.24	13.90	Çatlaklar basınç bölgesine ulaştı. Çatlak genişliği max3.5mm
11	444.14	19.21	Donatı akmaya başladı. Yük kontrollü yüklemeden deplasman kontrollü yükleme ile devam edilecek.
12	478.46	20.01	Kesme donatısı yük almaya devam ediyor.
13	554.68	25.07	Çatlak genişlikleri büyüdü. max4mm. Çatlaklar dallanmaya başladı.
14	575.62	30.02	Mesnet bölgesinde ezilmeler görüldü. Çatlaklar büyüdü, genişledi. max10mm
15	571.38	35.05	Akma devam ediyor. Kabuk dökülmeler oldu.
16	560.54	40.01	Çekme donatısı ve kesme donatısı yük almaya devam ediyor. Çatlaklar büyüdü ve dallanmalar devam ediyor.
17	529.56	45.02	Kesme donatısı akmaya devam ediyor. Mesnet bölgesi ezilmeler arttı.

Tablo 5. BK-REF kirişı çatlak ve hasar gözlem tablosu (Devamı)

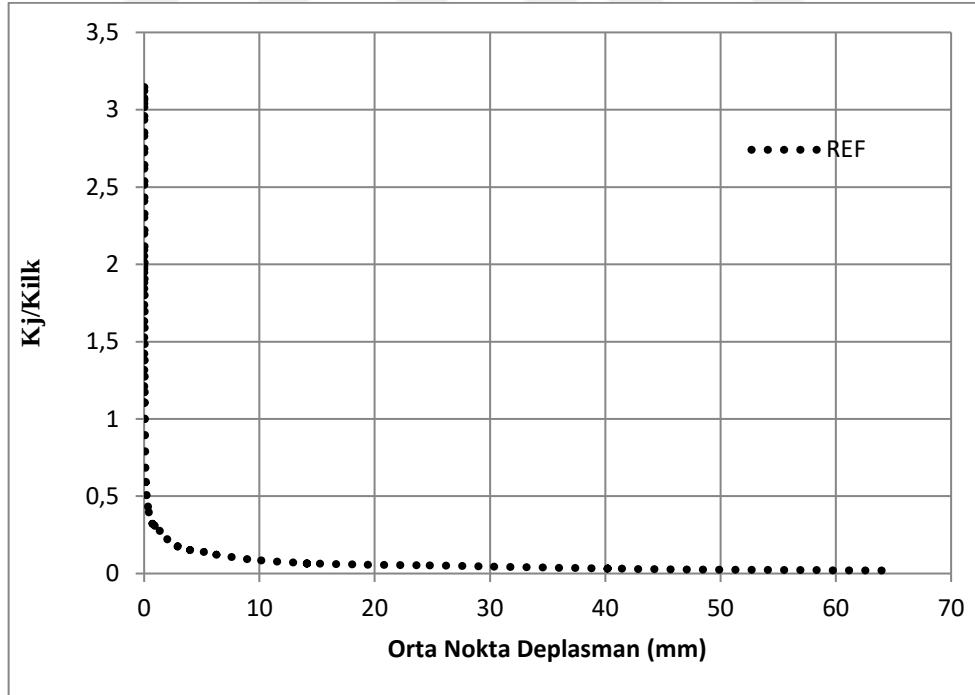
Adım No	Yük P (kN)	Orta Nokta Deplasmanı (mm)	Gözlemlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
18	526.06	50.0	Kesme çatlaklar derinleşerek dallanıyor.
19	534.86	55.05	45derecelik çatlak belirginleşti ve döküntüler oluştu.
20	512.78	60.11	Kesme donatısı koptu.
21	428.6	65.07	Kesme donatısı kopması nedeniyle yükte ani düşme yaşandı Deney sonlandırıldı.
	0	57.12	Kalıcı deplasman olarak ölçüldü.



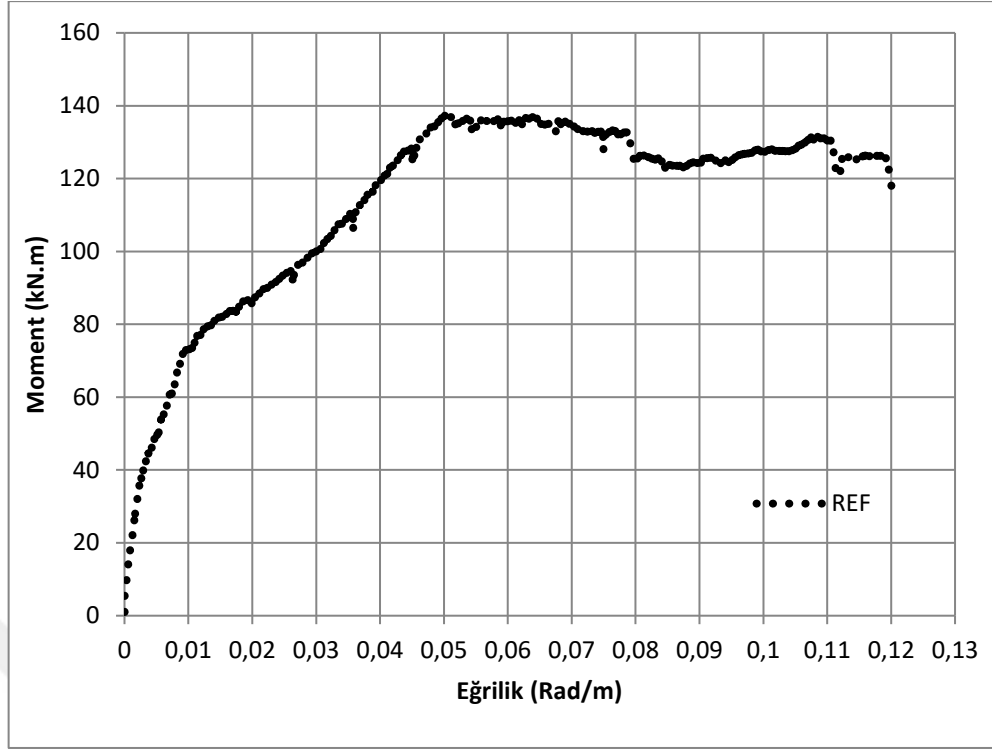
Şekil 29. BK-REF kirişinin yük-orta nokta deplasman grafiği



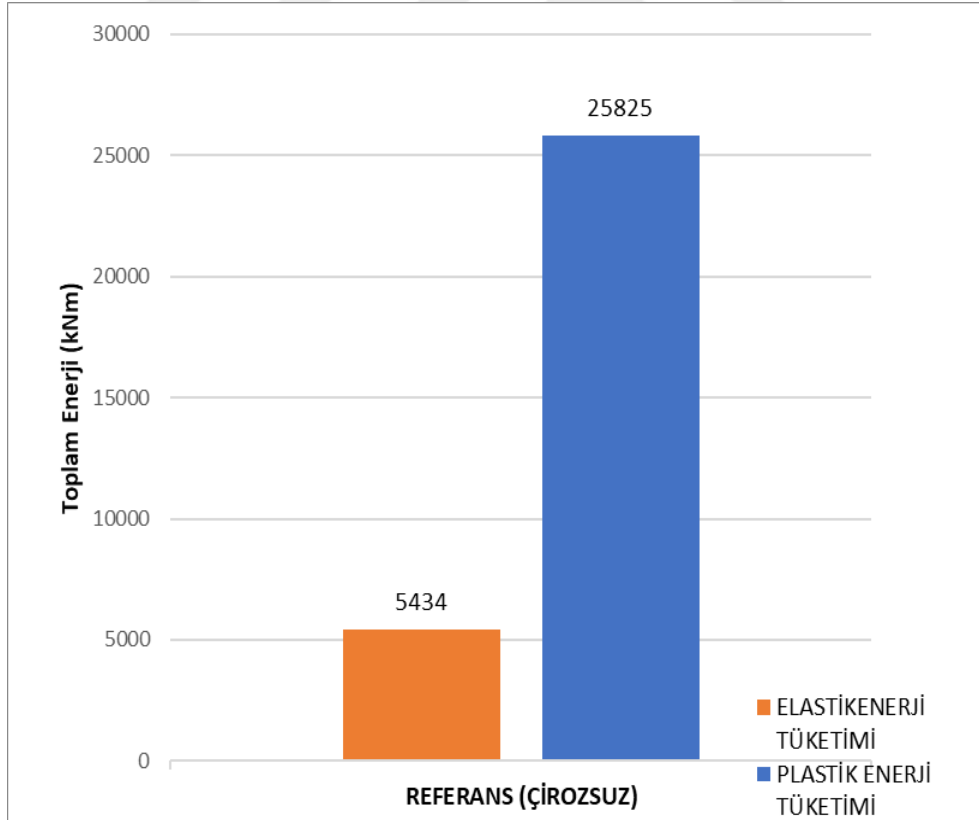
Şekil 30. BK-REF kirişinin logaritmik rijitlik değişim grafiği



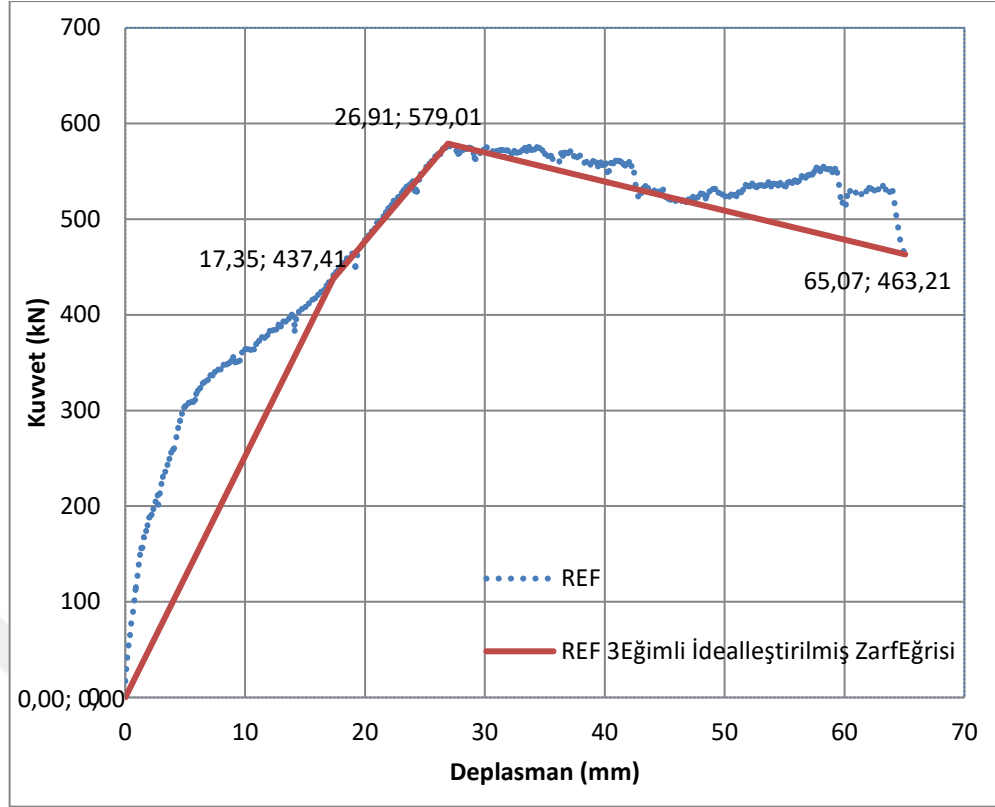
Şekil 31. BK-REF kirişinin K_j/K_{ilk} değişimi grafiği



Şekil 32. BK-REF kirişinin moment-eğrilik grafiği



Şekil 33. BK-REF kirişinin tüketilen enerji grafiği



Şekil 34. BK-REF kirişinin üç eğimli idealleştirilmiş zarf eğrisi grafiği (ASCE41-17)

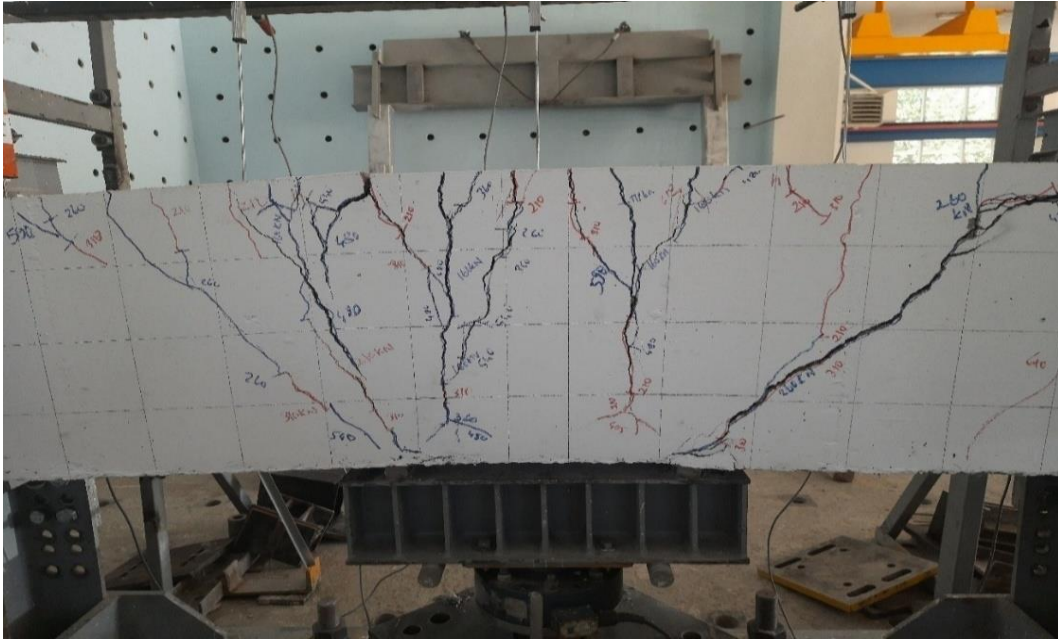
3.2.2. BK-Ç40 Kiriş Deneyi

Deney çalışmasında üçüncü olarak test edilen numune, BK-Ç40 olarak adlandırılmıştır. Numunenin donatı düzeni; basınç bölgesinde 2Ø14, çekme bölgesinde 3Ø14, gövde donatısı 2Ø12 ve kesme donatısı Ø8/10 şeklindedir. Ayrıca, Ø8/40 çiroz donatısı etriye ve gövde donatısını saracak şekilde gövde donatısına dik yerleştirilmiştir. Deney kirişinin teste hazırlanmış hâli Şekil 35'te gösterilmektedir.



Şekil 35. BK-Ç40 kirişinin deney öncesi hali

Kiriş numunesinin ilk çatlağı 111,54 kN yük seviyesinde oluşmuştur. Bu çatlaklar eğilme çatlağı karakterindedir. Bu yük seviyesinde numunenin deplasmanı 0,66 mm olarak ölçülmüştür. Numune, 429,84 kN yük ve 16,80 mm orta nokta deplasmanı değerlerinde akma noktasına ulaşmıştır. Akma noktasındaki çatlak oluşumları Şekil 36’te gösterilmektedir. Bu aşamadan sonra eğilme çatlaklarının uzadığı ve kesme çatlaklarının daha belirgin hâle geldiği gözlenmiştir. Yükleme, akma noktasından itibaren deplasman kontrollü olarak sürdürülmüş ve deney yaklaşık 5 mm’lik deplasman artışlarıyla devam ettirilmiştir.



Şekil 36. BK-Ç40 kirişinin akma anında oluşan çatlak dağılımı

Deney numunesine uygulanan maksimum yük 644,73 kN olarak ölçülmüştür. Bu yükleme sırasında oluşan deplasman 39,64 mm olarak kaydedilmiştir. Deney, sağ yükleme noktasına yakın bölgede bulunan çekme donatısının kopmasıyla sonlandırılmıştır. Kalıcı deplasman değeri 45,98 mm olarak ölçülmüştür. Numunenin hasar görmüş mekanizması Şekil 37, Şekil 38 ve Şekil 39’de gösterilmektedir.



Şekil 37. BK-Ç40 kirişinin maksimum yükteki oluşan çatlak dağılımı



Şekil 38. BK-Ç40 kirişinin deney sonundaki çatlak dağılımı

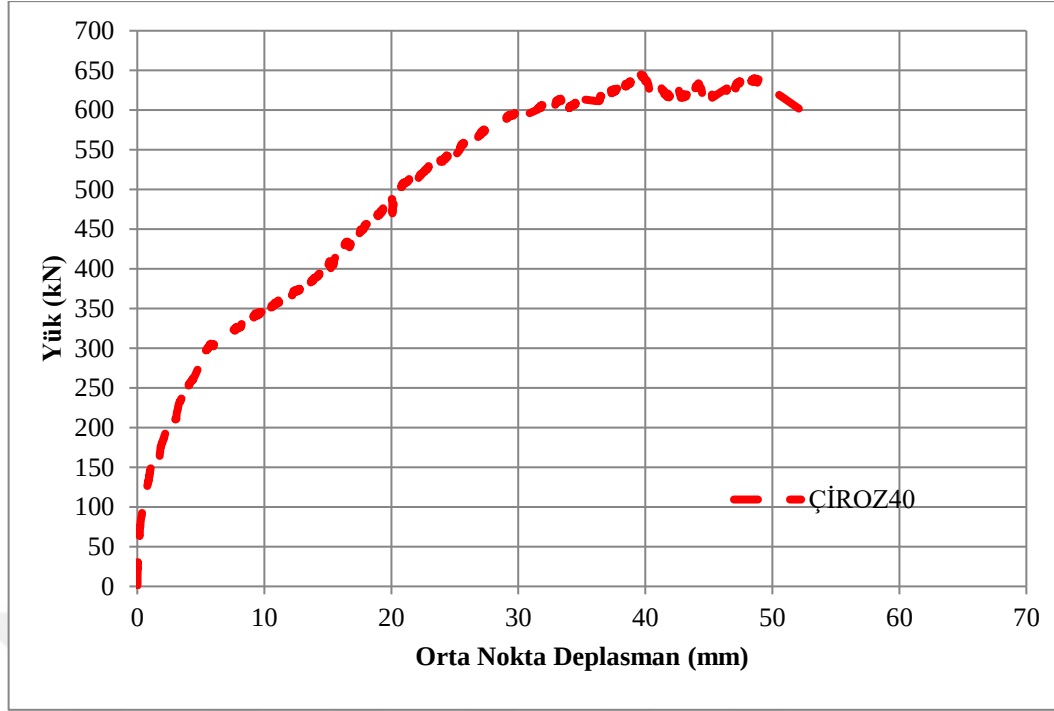


Şekil 39. BK-Ç40 kirişinin deney sonundaki etriye kopması hasar oluşumu

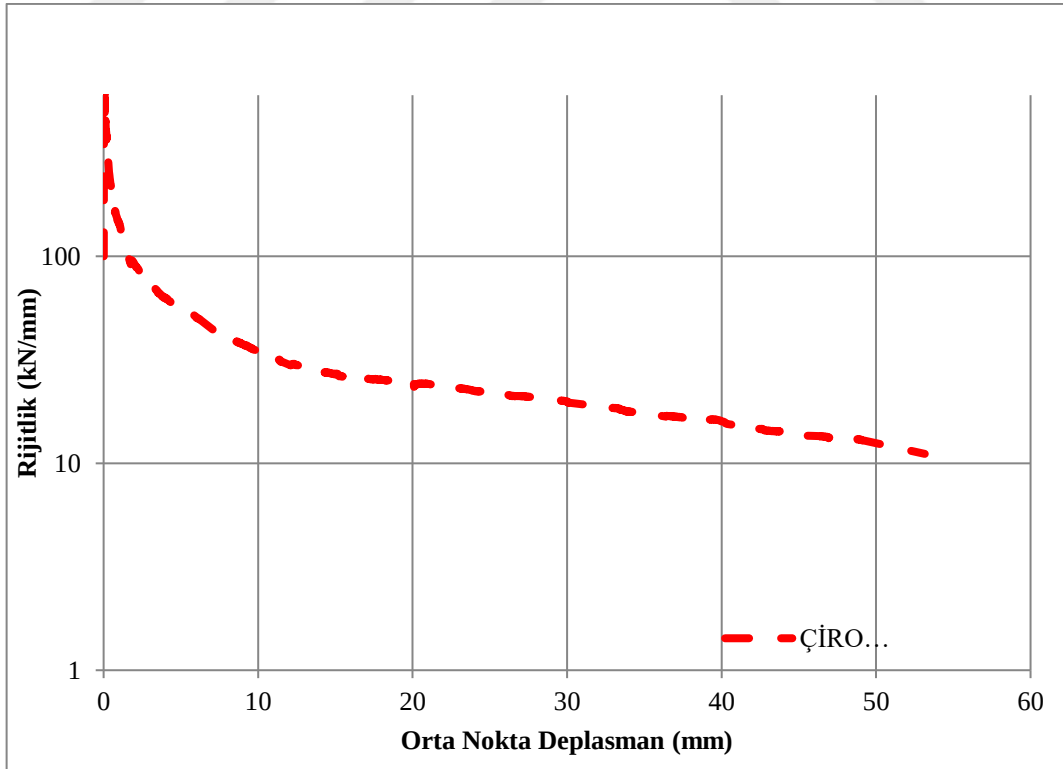
Deney sırasında elde edilen deplasman ve yük verileri ile numunenin yapısal davranışını değerlendirmek amacıyla çeşitli grafikler oluşturulmuştur. BK-Ç40 kiriş numunesine ait yük–orta nokta deplasman grafiği Şekil 40’ta sunulmuştur. Her yükleme adımında, uygulanan yükün karşılık gelen deplasman değerine oranlanmasıyla rijitlik değerleri hesaplanmıştır. Bu veriler doğrultusunda Şekil 41’te gösterilen rijitlik–orta nokta yer değiştirme grafiği elde edilmiştir. Ayrıca belirlenen rijitliklerin ilk rijitliğe oranlanmasıyla K_j/K_{ilk} değişimini gösteren grafik Şekil 42’de verilmiştir. Numuneye ait moment–eğrilik değerleri hesaplanarak Şekil 43’te sunulan moment–eğrilik grafiği elde edilmiştir. Son olarak kuvvet–deplasman grafiğinden yararlanılarak ASCE 41-17 [30] standardına göre idealleştirme yapılmış zarf eğrisi oluşturulmuş, numunenin süneklik, toplam enerji tüketimi hesaplanmıştır. (Şekil 44, Şekil 45.)

Tablo 6. BK-Ç40 kiriş çatlak ve hasar gözlem tablosu

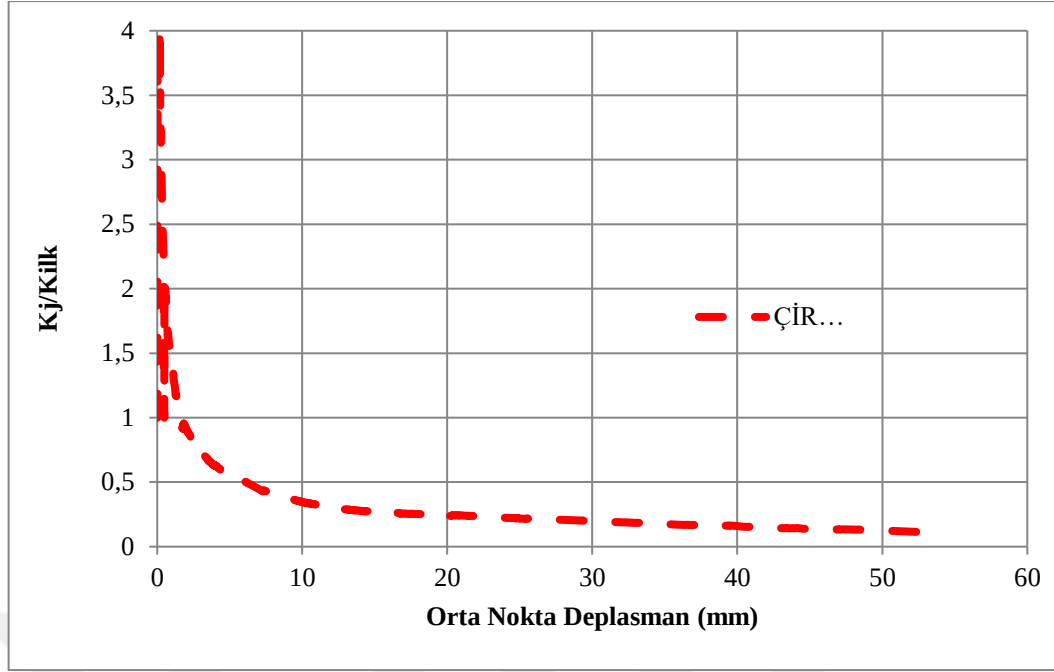
Adım No	Yük P (kN)	Orta Nokta Deplasmanı (mm)	Gözlemlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
1	62.50	0.16	Herhangi bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir.
2	111.56	0.66	İlk eğilme çatlak oluşumu gözlemlendi.
3	160.50	1.62	İlk çatlaklar uzadı, yeni çatlaklar oluştu.
4	210.56	2.94	İlk çatlaklar uzadı ve genişledi. h bölgesinde yeni çatlaklar oluştu.
5	260.30	4.45	Çatlaklar uzamaya devam etti. h bölgesinde yeni çatlaklar oluştu.
6	310.34	7.21	Çatlaklar uzadı basınç bölgesine ulaştı. max1mm.
7	360.04	12.03	Çatlaklar genişledi. max2.5mm
8	405.00	15.38	Çatlak karakteristiği eğilmeden kesmeye dönmeye başladı. Kesme çatlakları oluştu. max :3mm çatlak genişliği
9	450.00	17.57	Donatılar akmaya başladı, Çatlaklar ilerledi.
10	480.50	20.08	Çatlaklar dallanmalar devam ediyor. Çatlaklar mesnet bölgesine ulaştı.max3.5mm
11	542.00	25.05	Kesme donatısı sünmeye başladı. Çatlaklar genişliyor.
12	570.50	30.32	Kesme çatlakları genişledi. Eğilme çatlakları dallanmalar ve yeni çatlaklar oluştu. max4.5mm
13	611.00	35.00	Mesnete yakın kesm çatlağı oluştu. max10mm. Kesme çatlakları belirginleşti.
14	644.00	40.11	Yeni kesme çatlakları oluştu. Mesnet noktasında çatlaklar oluştu. Dökülmeler başladı.
15	630.00	45.29	Yükleme noktasında ezilmeler ve çatlaklarda döküntüler var.
16	632.00	53.25	Ani kesme kırılması yaşandı.
17	51500	55.45	Yük düşü nedeniyle deneye son verildi.
		45.98	Kalıcı Deformasyon.



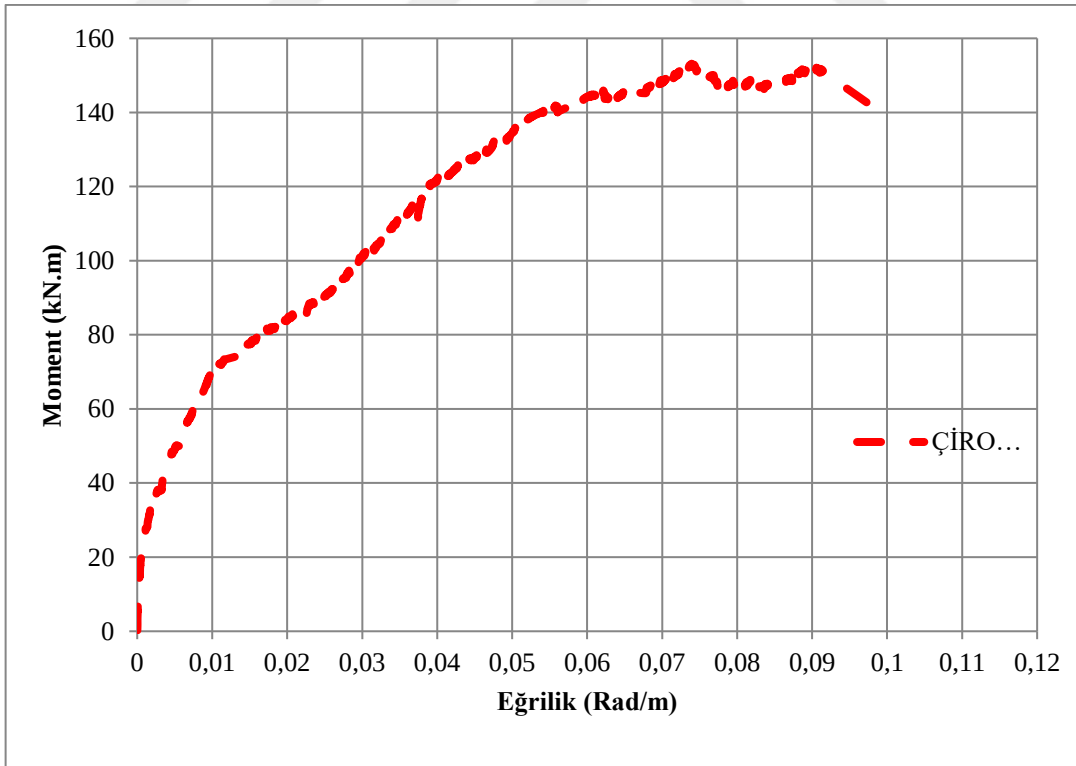
Şekil 40. BK-Ç40 kirişinin yük-orta nokta deplasman grafiği



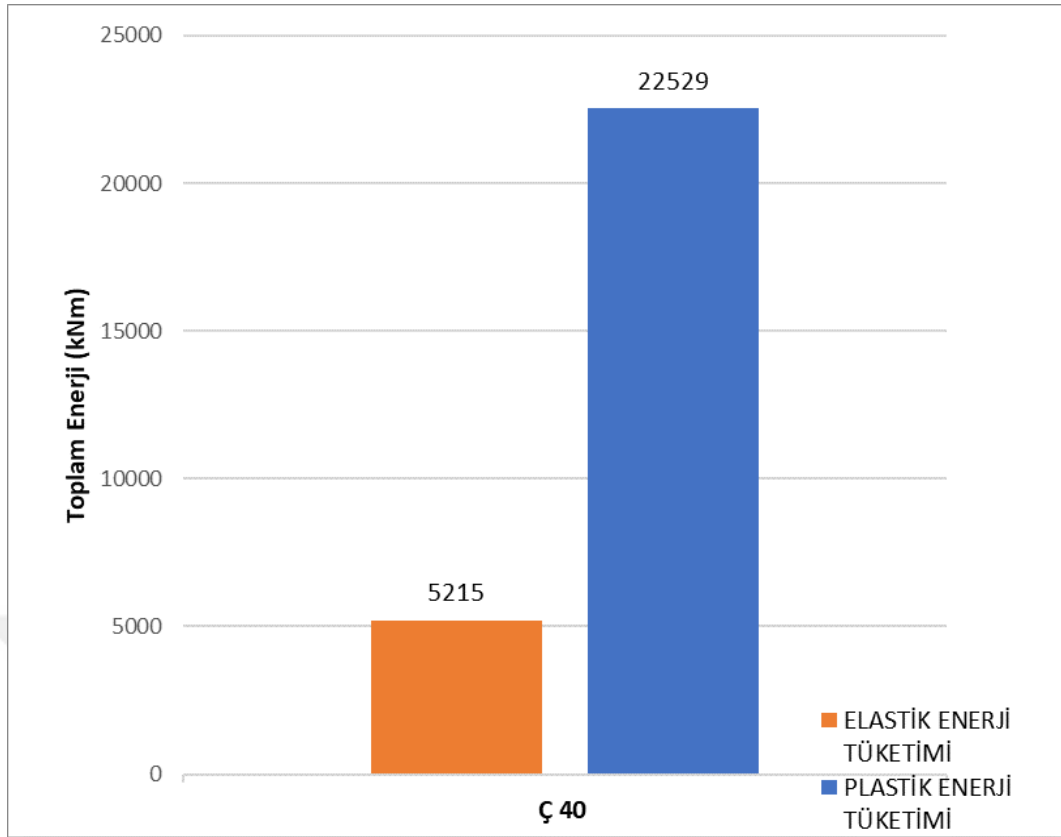
Şekil 41. BK-Ç40 kirişinin logaritmik rijitlik değişim grafiği



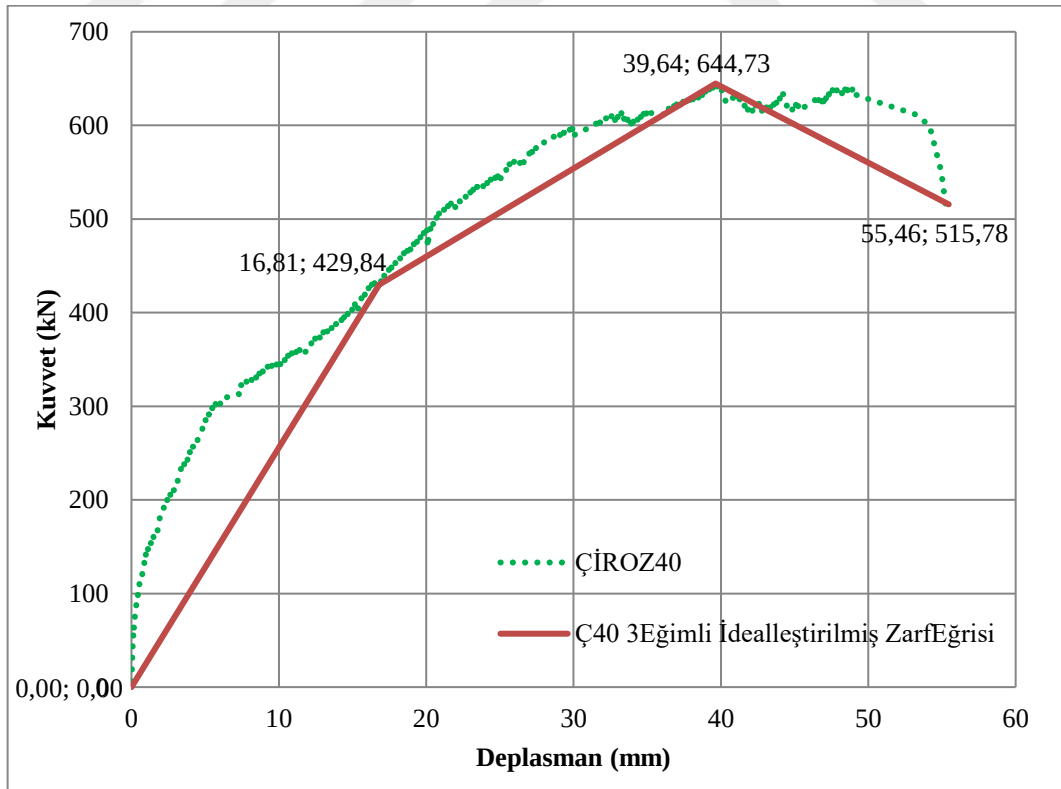
Şekil 42. BK-Ç40 kirişinin K_j/K_{ilk} değişimi grafiği



Şekil 43. BK-Ç40 kirişinin moment-eğrilik grafiği



Şekil 44. BK-Ç40 kirişinin tüketilen enerji grafiği



Şekil 45. BK-Ç40 kirişinin üç eğimli idealleştirilmiş zarf eğrisi grafiği (ASCE41-17)

3.2.3. BK-Ç10 Kiriş Deneyi

Yapılan çalışma kapsamında üçüncü deney numunemiz BK-Ç10 olarak isimlendirdiğimiz Yatay gövde çirozlarının her bir etriyede kullanılarak hazırlanmış çiroz sıklaştırmalı ($\text{Ø}8/10$ çiroz sıklaştırmalı) betonarme kiriştir. Numunenin donatı yerleşimi diğer deney numunelerinde de olduğu gibi basınç donatısı olarak $2\text{Ø}14$, çekme donatısı olarak $3\text{Ø}14$, gövde donatısı $2\text{Ø}12$ ve kesme donatısı olarak $\text{Ø}8/10$ dur. Deney elemanının deneye başlangıç görünümü Şekil 436' de verilmiştir.



Şekil 46. BK-Ç10 kirişinin deney öncesi görünümü

Deney numunesinde ilk çatlak 110.60kN yük değerinde meydana gelmiştir. Oluşan bu çatlaklar eğilme çatlaklarıdır. Kiriş numunesinin orta nokta deplasman artışı bu yükleme sonucunda yaklaşık olarak 0.62 mm olarak ölçülmüştür. Deney numunesi akma noktasına 320.56kN yük ve 20.09 mm orta nokta deplasmanı seviyesinde ulaşmıştır. Akma noktasındaki çatlak oluşumları Şekil 47'te gösterilmektedir. Şekilde de görüldüğü üzere, bu aşamadan sonra çatlakların karakteri eğilmeden kesmeye dönüşmüştür. Akma noktasından sonraki yüklemelerde, eğilme çatlakları uzamış ve kesme çatlakları daha belirgin hâle gelmiştir. Yükleme, bu noktadan itibaren deplasman kontrollü olarak devam ettirilmiştir.

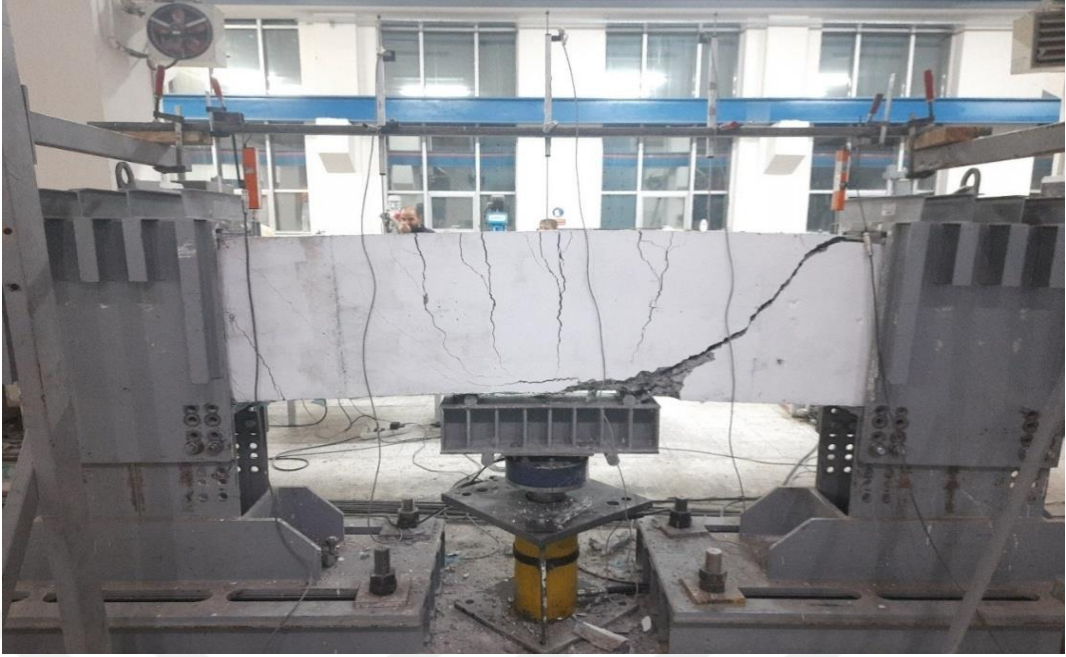


Şekil 47. BK-Ç10 kirişinin akma çatlak dağılımı

Deney numunesine maksimum 612.56kN yükleme yapılmıştır. Bu yükleme esnasında oluşan deplasman 52.28mm'dir. Kesme donatısının kopması ile deneye son verilmiştir. Deney sonunda BK-Ç10 numunesinde kesme kırılması gözlemlenmiştir. Bu aşamada deneye son verilmiştir. Kalıcı deplasman 50.48mm olarak ölçülmüştür Deney numunesinin son görünümü Şekil 3.48 ve Şekil 49' de verilmiştir.



Şekil 48. BK-Ç10 kirişinin maksimum yükteki oluşan çatlak dağılımı

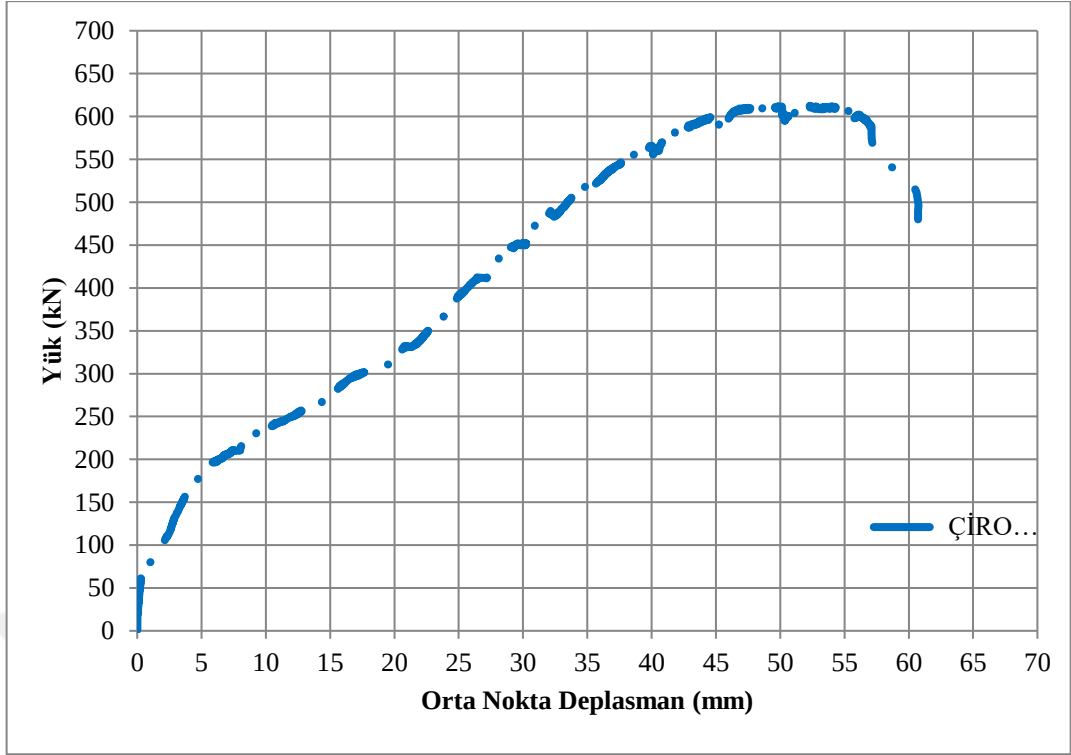


Şekil 49. BK-Ç10 kirişinin maksimum yükteki oluşan çatlak dağılımı

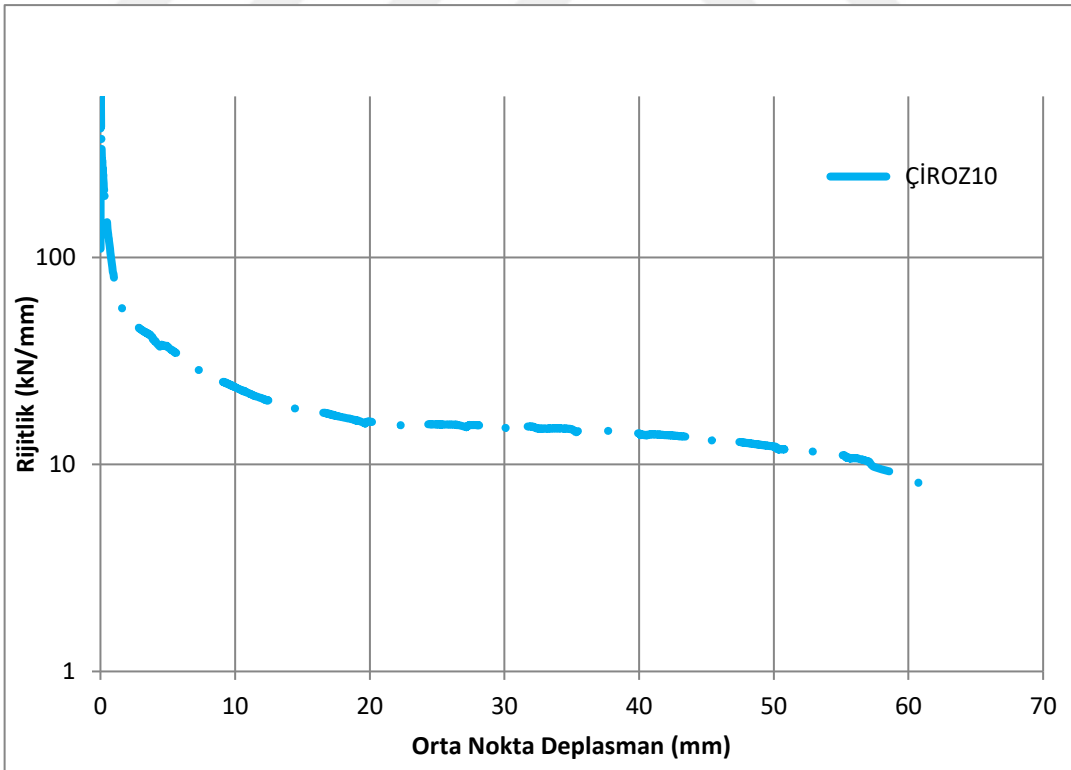
Deney sırasında ölçülen yük ve deplasman verileri kullanılarak, numunenin davranışını analiz etmek amacıyla çeşitli grafikler oluşturulmuştur. Deney numunesine ait yük–orta nokta deplasman grafiği Şekil 50’de sunulmuştur. Her yükleme adımında, yükün karşılık gelen deplasman değerine oranlanmasıyla rijitlik değerleri hesaplanmıştır. Bu veriler kullanılarak, Şekil 51’de rijitlik–orta nokta yer değiştirme logaritmik grafiği oluşturulmuştur. Ayrıca, belirlenen rijitlik değerlerinin ilk rijitliğe oranı ile K_j/K_{ik} grafiği hazırlanmış ve Şekil 52’de verilmiştir. Numunenin moment–eğrilik ilişkileri belirlenerek moment–eğrilik grafiği Şekil 53’te sunulmuştur. Son olarak kuvvet–deplasman grafiğinden yararlanılarak ASCE 41-17 [30] standardına göre idealleştirme yapılmış zarf eğrisi oluşturulmuş, numunenin süneklik değeri buradan hesaplanmıştır. (Şekil 54, Şekil 55.)

Tablo 7. BK-Ç10 kiriş çatlak ve hasar gözlem tablosu

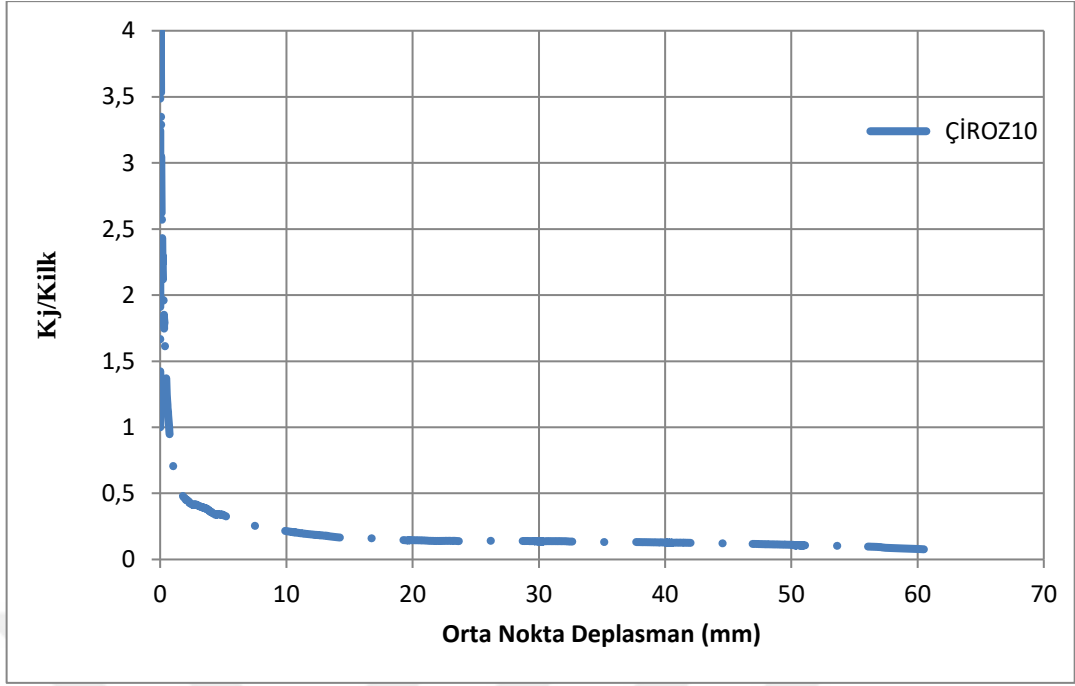
Yükleme No	Yük P (kN)	Orta Nokta Deplasmanı (mm)	Gözlemlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
1	60.95	0.31	Herhangi bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir.
2	110.60	0.62	İlk eğilme çatlakları meydana geldi.
3	160.20	4.15	İlk eğilme çatlakları uzadı. Yeni çatlaklar oluştu.
4	209.82	7.67	Eğilme çatlakları basınç bölgesine doğru uzadı. İlk çatlaklar genişledi.
5	260.0	13.60	Mesnet h bölgesinde kesme çatlağı oluştu. Eğilme çatlakları max3mm.
6	310.94	19.34	Çatlaklarda dallanma ve genişlemeler oldu.
7	320.55	20,01	Donatı akmaya başladı. Yük yavaş deplasman hızlandı.
8	361.10	23.53	Çatlalar basınç bölgesine ulaştı. Eğilme çatlakları genişleyerek uzadı.
9	450.00	29.47	Kesme davranışı hakim çatlaklar genişledi. Donatı sünmeye başladı. Mesnet bölgesi yeni çatlaklar oluştu.
10	451.00	35.18	Max çatlak genişliği 5mm ye ulaştı. Eğilme ve kesme çatlakları genişlemeye devam ediyor.
11	460.10	40.00	Yükleme noktasında ezilmeler oluştu. Çatlaklar genişledi dökülmeler başladı.
12	575.10	41.14	İlk etriye koptu. Eğilme bölgesinde oluşan çatlak genişlikleri 6mm civarına ulaştı.
13	595.00	44.03	Sol yüklem noktasında ezilme oldu. Çatlaklar genişliyor.
14	609.00	50.00	Çatlak genişliği max7.5mm ye ulaştı. Basınç bölgesi ezilme görüldü. Sol mesnet keme çatlağı genişledi.
15	611.00	55.66	Çatlaklar derinleşti. Dökülmeler görüldü.
16	599.0	56.00	Etriye koptu kesme hakim kırılma yaşandı.
17	490	60,20	Yük düşüşü yaşandı deneye sonverildi.
	0	50.48	Kalıcı Deformasyon.



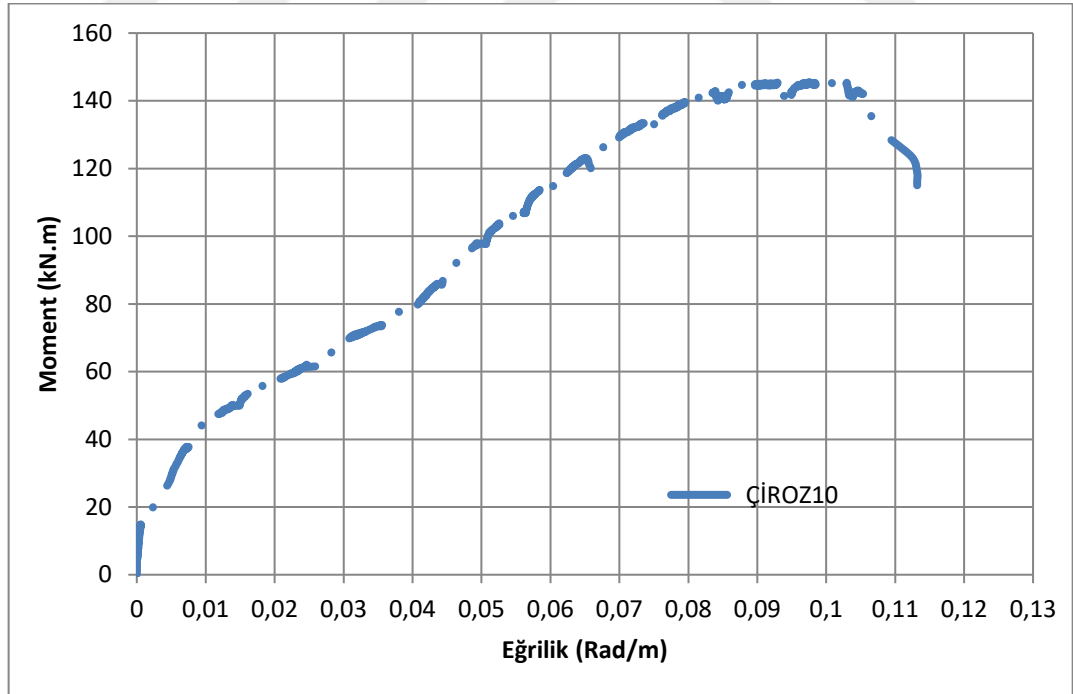
Şekil 50.BK-Ç10 kirişinin yük-orta nokta deplasman grafiği



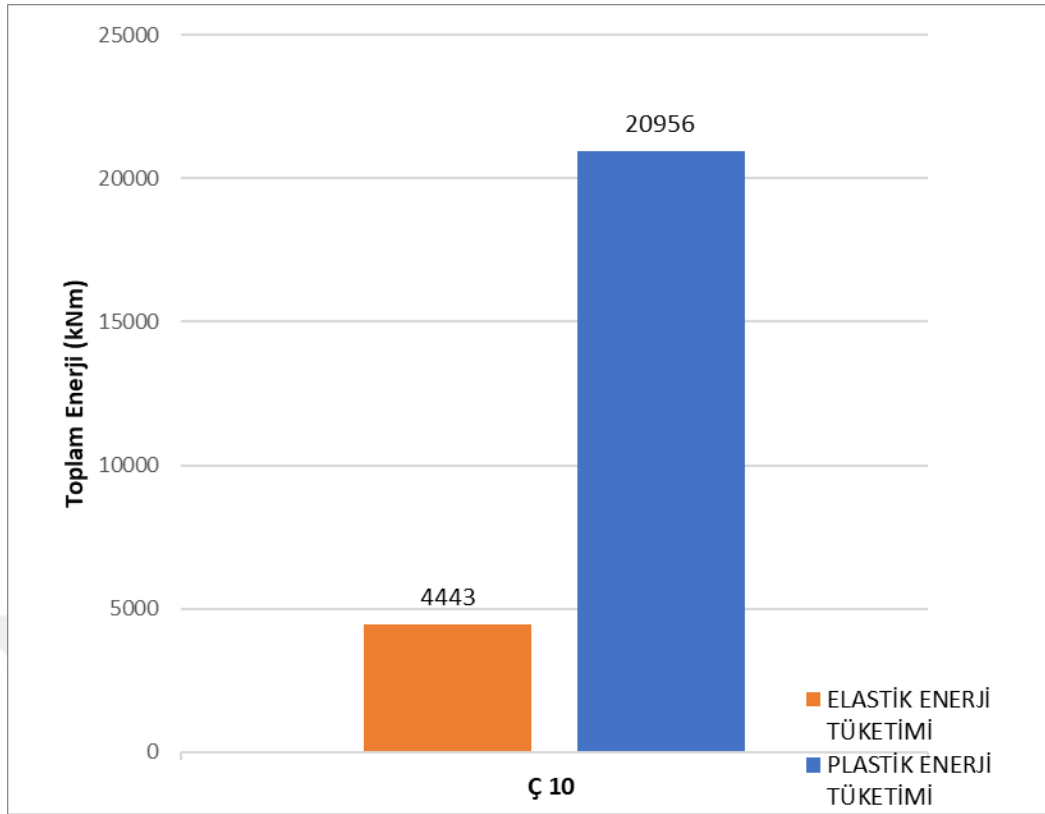
Şekil 51. BK-Ç10 kirişinin rijitlik grafiği



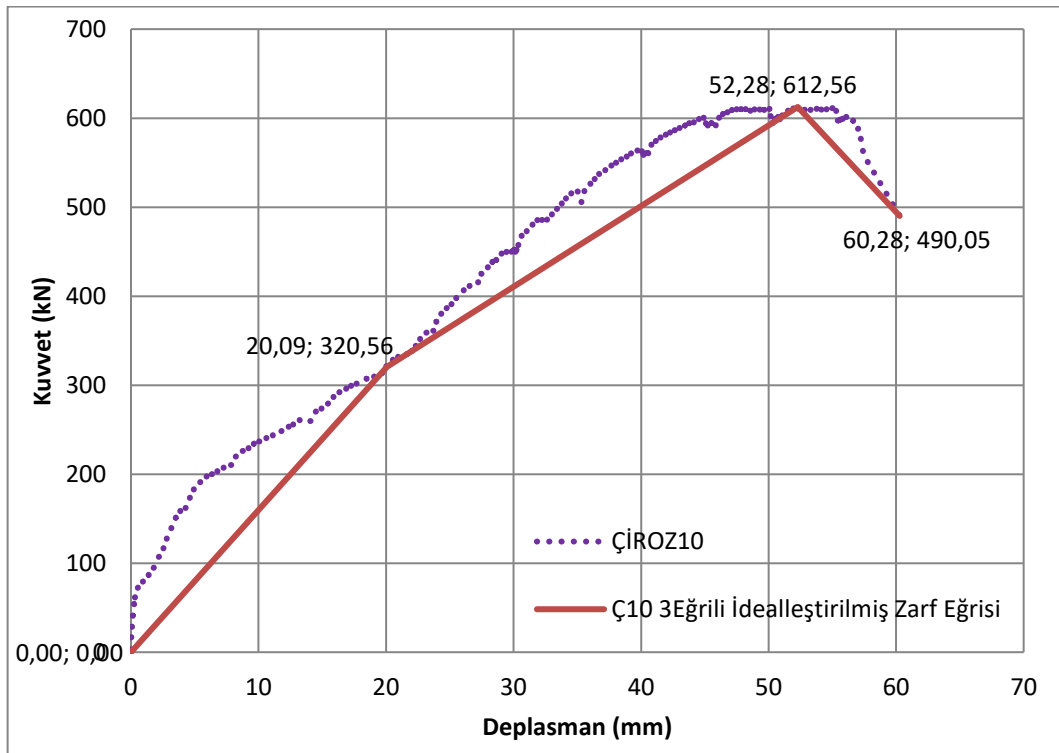
Şekil 52. BK-Ç10 kirişinin K_j/K_{ilk} değişimi grafiği



Şekil 53. BK-Ç10 kirişinin moment-eğrilik grafiği



Şekil 54. BK-Ç10 kirişinin tüketilen enerji grafiği



Şekil 55. BK-Ç10 kirişinin üç eğimli idealleştirilmiş zarf eğrisi grafiği (ASCE41-17)

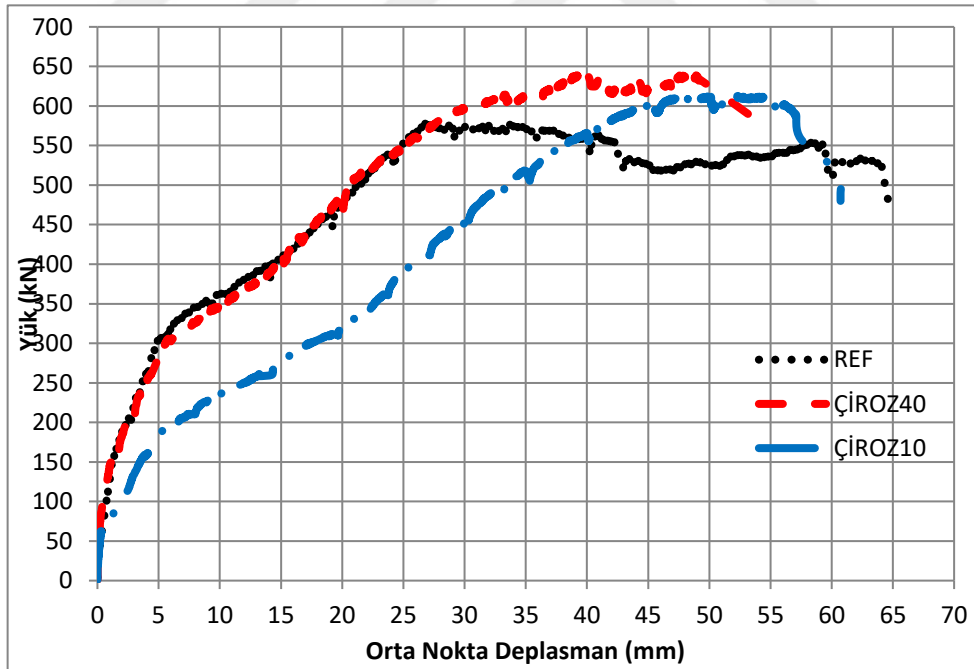
3.3. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bu bölümde, test edilen üç deney numunesinin deneysel sonuçları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Karşılaştırma sırasında kullanılan grafikler şunlardır;

1. Yük- Orta Nokta Deplasman Grafikleri
2. Rijitlik ve Rijitlik değişimi Grafikleri
3. Üç Eğimli İdealleştirilmiş Zarf Eğrisi Grafiği,
4. Tüketilen Enerji Grafiği
5. Moment- Eğrilik Grafikleri
6. Süneklik Karşılaştırma

3.3.1. Yük- Orta Nokta Deplasman Grafiklerinin Karşılaştırılması

Tüm deney numunelerine ait yük–orta nokta deplasman ilişkileri Şekil 56’te sunulmuştur. Grafikte görüleceği üzere referans numunenin şekil değiştirme miktarı yatay gövde çirozu bulunan numunelerden yüksektir.



Şekil 56. Tüm kirişlerin yük-orta nokta deplasmanlarının karşılaştırılması

Ayrıca, her bir deney numunesinin yük taşıma kapasitesi ve bu değerlere karşılık gelen kırılma türleri Tablo 8’te gösterilmiştir. Deformasyon davranışı incelendiğinde, ilk çatlak oluşumu yatay gövde çirozu bulunan numunelerde daha düşük yüklerde gerçekleşmiş olmasına rağmen, bu numuneler referans kirişe kıyasla maksimum yükteki

şekil değişimi daha yüksek seviyeye ulaşmış ve maksimum yük değeri artmıştır. BK-Ç10 numunesinin, BK-Ç40 numunesine göre maksimum yükünün düşük kalması çiroz sıkılaştırmasının yük kapasitesinin artışına beklendiği ölçüde olumlu bir katkı sunmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

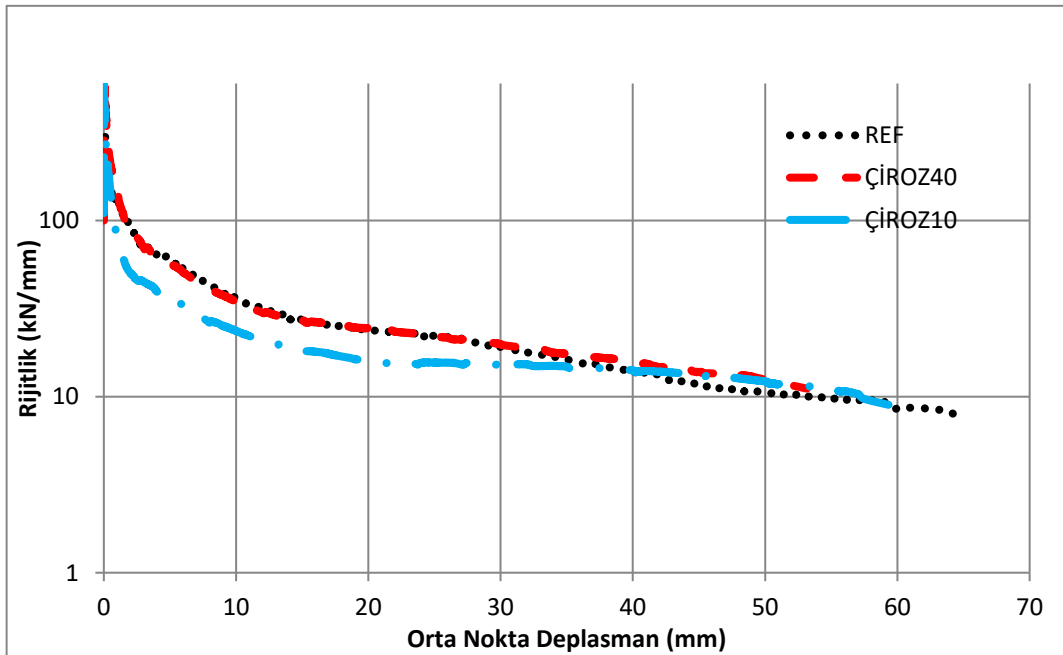
Tablo 8. Tüm deney numuneleri için yük taşıma kapasitelerinin karşılaştırılması

Numune Adı	İlk Çatlak Anında		Akma Noktasında		Maksimum Yükte		Kırılma Türü
	Yük P (kN)	Deplasman (mm)	Yük P(kN)	Deplasman (mm)	Yük P(kN)	Deplasman (mm)	
BK-REF	122.40	0.94	437.41	17.35	579.01	26.92	Kesme
BK-Ç40	111.54	0.66	429.84	16.81	644.73	39.64	Kesme
BK- Ç10	110.60	0.62	320.56	20.09	612.56	52.28	Kesme

Görüleceği üzere yatay gövde çirozu donatısı bulunan betonarme kiriş numunelerinin, çiroz bulunmayan referans kirişlere kıyasla maksimum yük kapasitelerinin arttığı gözlemlenmiştir.

3.3.2. Rijitlik- Orta Nokta Deplasman ve Rijitlik Değişimi Grafiklerinin Karşılaştırılması

Tüm deney numunelerinde mesnet koşulları ve yükleme noktaları aynıdır. Deney numunelerinin rijitlik değişimleri Şekil 57 ve Şekil58’te gösterilmiştir.



Şekil 57. Tüm kirişlerin rijitlik-orta nokta deplasmanlarının logaritmik karşılaştırılması

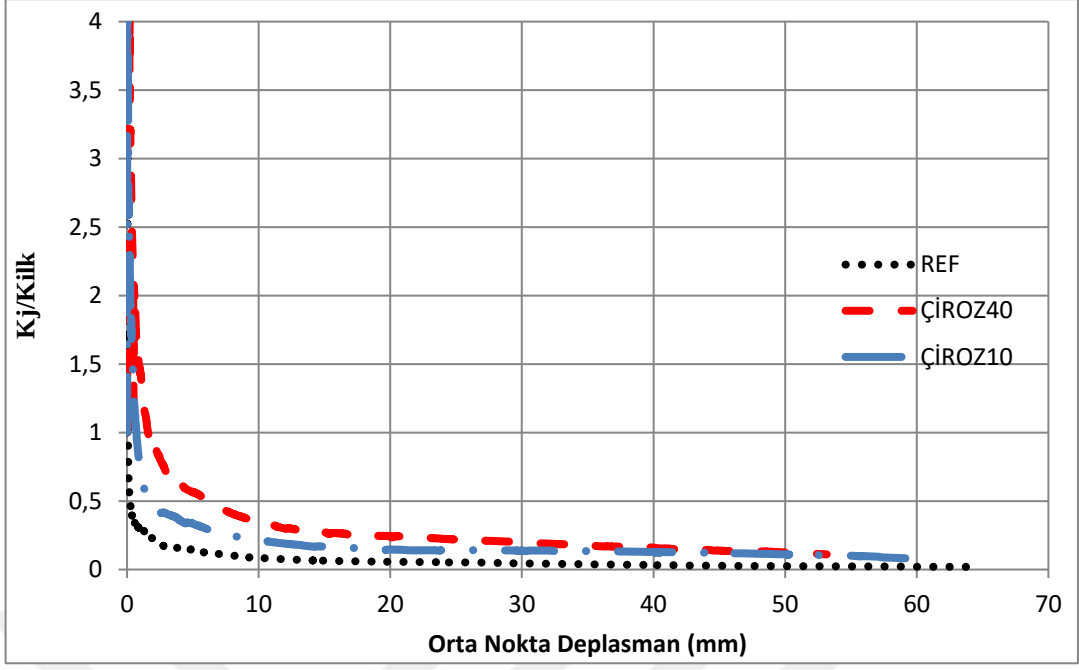
Şekil 57’de referans kiriş (REF) ile çirozlu numunelerin (ÇİROZ40 ve ÇİROZ10) rijitliklerinin, orta nokta deplasmanına bağlı olarak değişimi verilmiştir. Tüm numunelerde başlangıçta yüksek rijitlik değerleri gözlenmiş, yüklemenin ilerlemesiyle birlikte rijitliklerin kademeli olarak azaldığı belirlenmiştir. Bu durum, betonarme elemanlarda ilk çatlakların oluşumu ve ilerleyen deformasyonlarla birlikte kesit rijitliğinin kaybolmasından kaynaklanmaktadır.

REF numunesi, genel eğilim itibariyle diğer numunelerle benzer bir azalma eğrisi sergilemekle birlikte, deplasman aralıklarının büyük çoğunluğunda daha düşük rijitlik değerlerine sahiptir. Bu durum, çiroz bulunmayan numunenin yük aktarım kapasitesinin ve çatlak kontrolünün sınırlı olduğunu göstermektedir.

ÇİROZ40 numunesi, özellikle küçük deplasman bölgelerinde yüksek rijitlik değerleriyle dikkat çekmiştir. Bu numunenin rijitliğinin, deneyin büyük kısmında REF ve ÇİROZ10 numunelerine göre daha yüksek seviyede seyretmesi, 40 cm çiroz aralığının çekme donatısının burkulmasını engelleyerek elemanın deformasyon altında daha kararlı davranmasına olanak tanıdığını göstermektedir.

ÇİROZ10 numunesi ise başlangıçta yüksek bir rijitlik göstermesine rağmen, deplasman arttıkça rijitliğin daha hızlı azaldığı gözlenmiştir. Bu durum, çiroz aralığının aşırı sık olması nedeniyle donatı ile beton arasındaki etkileşimin sınırlanması ve çatlakların daha erken yoğunlaşmasından kaynaklanmış olabilir. Dolayısıyla, ÇİROZ10 numunesi yüksek başlangıç rijitliğiyle birlikte görece daha gevrek bir davranış eğilimi göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, çiroz kullanımı betonarme kirişlerin rijitlik performansını belirgin şekilde iyileştirmekte, ancak çiroz aralığının fazla sıklaştırılması süneklik üzerinde olumsuz etki yaratmaktadır. Bu nedenle, optimum çiroz aralığı olarak 40 mm’nin, rijitlik ve enerji yutma performansı açısından dengeli bir sonuç verdiği söylenebilir.



Şekil 58. Tüm kirişlerin rijitlik değişimi karşılaştırılması

Şekil 58’te, referans kiriş (REF) ile farklı çiroz aralıklarına sahip deney numunelerinin (ÇİROZ10 ve ÇİROZ40) birim yük başına enerji yutma kapasitelerinin (Kj/kN) orta nokta deplasmanına (mm) göre değişimi verilmiştir. Grafikten görüldüğü üzere, tüm numunelerde başlangıçta yüksek enerji yutma değerleri elde edilmiş, daha sonra deplasman artışıyla birlikte bu değerlerin hızla azaldığı gözlenmiştir. Bu durum, betonarme kirişlerin başlangıçta yüksek rijitlik sergilediğini, çatlama ve donatı akması sonrasında ise enerjiyi daha az oranda sönümleyebildiğini göstermektedir.

Referans numunesi (REF), tüm deplasman aralığında en düşük enerji yutma kapasitesine sahip olmuştur. Bu durum, çiroz kullanılmayan numunede yük aktarımının sınırlı kalması ve kısa kirişlerde sünek davranışın yetersizliğinden kaynaklanmaktadır.

ÇİROZ40 numunesi, özellikle yüklemenin başlangıç aşamasında yaklaşık 3,5–4,0 Kj/kN civarındaki yüksek enerji yutma değerleriyle dikkat çekmektedir. Deplasman ilerledikçe bu değerlerde azalma görülmekle birlikte, tüm deformasyon süreci boyunca REF numunesine göre daha yüksek enerji yutma performansı göstermiştir. Bu durum, çiroz aralığının 40 mm olması halinde çirozların çekme bölgesindeki donatı burkulmasını geciktirerek kirişin enerji sönümleme kapasitesini artırdığını ortaya koymaktadır.

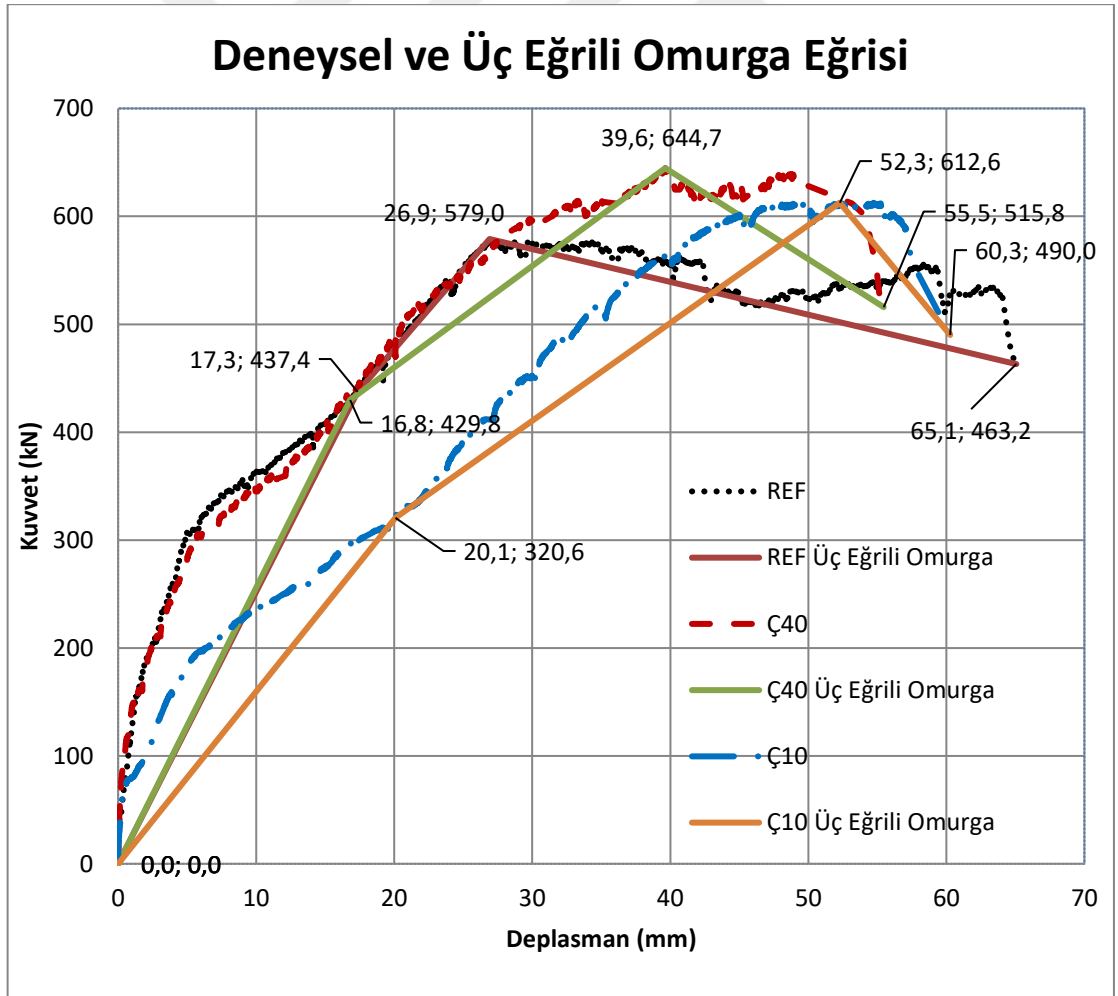
ÇİROZ10 numunesinde ise başlangıçta oldukça yüksek bir enerji tüketme değeri elde edilmesine rağmen, bu değer kısa süre içerisinde düşüş göstermiştir. Daha sık çiroz aralığı (10 mm), numunenin başlangıç rijitliğini artırmış ancak süneklik kabiliyetini

azaltmıştır. Dolayısıyla, ÇİROZ10 numunesi daha rijit fakat daha gevrek bir davranış sergilemiştir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, çiroz kullanımı betonarme kirişlerin enerji yutma kapasitesini belirgin şekilde artırmaktadır. Ancak çiroz aralığının sıklaştırılması, süneklik üzerinde olumsuz etki yaratabilmektedir. Bu bulgular, optimum çiroz aralığının yaklaşık 40 mm olduğunu ve bu aralığın hem enerji sönümleme hem de süneklik açısından dengeli bir performans sağladığını göstermektedir.

3.3.3. Tüketilen Enerji Grafiklerinin Karşılaştırılması

Şekil 59’da deneysel olarak elde edilen yük–deplasman eğrileri ile bu eğrilere karşılık oluşturulan üç eğimli omurga modelleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Elde edilen eğriler, elemanların taşıma gücü, süneklik kapasitesi ve enerji tüketme davranışlarını nitel olarak değerlendirmeye olanak sağlamaktadır.

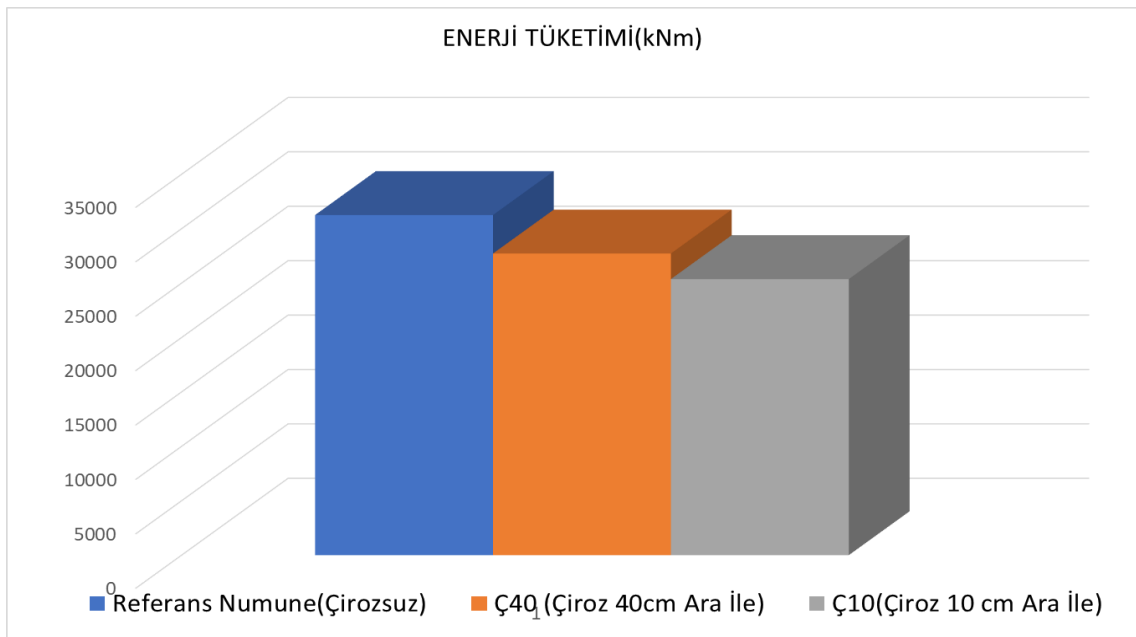


Şekil 59. Tüm kirişler için üç eğimli idealleştirilmiş zarf eğrisi grafikleri karşılaştırılması

REF, Ç40 ve Ç10 numuneleri incelendiğinde, tüm numunelerde davranışın elastik, akma ve yumuşama olmak üzere üç temel bölgeden oluştuğu görülmektedir. Bu durum, eğilme etkisindeki betonarme elemanlarda beklenen tipik histeretik davranışın bir göstergesidir.

REF numunesi yaklaşık 579 kN maksimum taşıma gücüne, 27 mm civarında tepe deplasmana ulaşmıştır. Pik nokta sonrasında yükteki azalma görece yavaş gerçekleşmiş ve bu durum, referans numunenin sünek bir davranış sergilediğini göstermiştir. Ç40 numunesinde, maksimum yük yaklaşık 645 kN olarak gerçekleşmiş ve bu değer referans numuneye göre yaklaşık %11 artış göstermiştir. Ancak tepe noktasından sonra kuvvetin hızlı biçimde azaldığı gözlenmiştir. Bu durum, numunenin referans numuneye göre daha gevrek (düşük sünek) bir davranış sergilediğini ortaya koymaktadır. Ç10 numunesi ise maksimum yük yaklaşık 612 kN olarak gerçekleşmiş ve bu değer referans numuneye göre yaklaşık %6 artış göstermiştir. Ancak tepe noktasından sonra kuvvetin hızlı biçimde azaldığı gözlenmiştir. Bu durum, numunenin referans numuneye ve Ç40 numunesine göre de görece gevrek bir davranış sergilediğini ortaya koymaktadır.

Yukarıda verilmiş olan tüm numunelere ait üç eğimli idealleştirilmiş zarf eğrilerinin altında kalan alan her bir numunenin toplam enerji tüketimini ifade etmektedir. Grafikte de görüleceği üzere en iyi performans referans numune verirken çiroz sıklaştırması tüketilen toplam enerjiyi azaltmaktadır. (Şekil 60.)

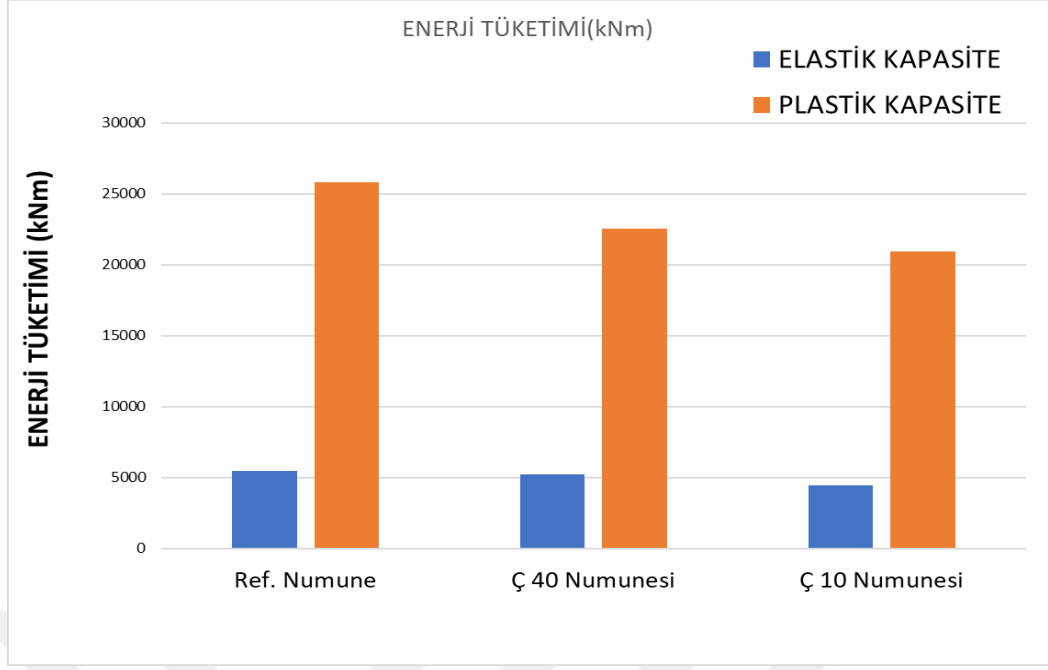


Şekil 60. Tüm kirişler tüketilen enerji grafikleri karşılaştırılması

Şekil 60'ta, deneysel olarak elde edilen numunelerin toplam enerji tüketimi (kNm) değerleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Enerji tüketimi, yük–deplasman eğrisi altında kalan alanın büyüklüğü ile belirlenmiş olup, elemanın süneklik kapasitesini ve enerji yutma yeteneğini temsil etmektedir. Grafik incelendiğinde, referans numunesinin (çirozsuz) yaklaşık 35.000 kNm mertebesinde en yüksek enerji tüketimine sahip olduğu görülmektedir. Bu durum, referans elemanın çatlama sonrasında da yük taşıma kapasitesini belirli bir süre koruyabildiğini ve önemli bir deformasyon kapasitesi sergilediğini göstermektedir. Ç40 numunesi, referans numuneye yakın bir enerji tüketim değerine sahiptir; ancak toplam enerji kapasitesi bir miktar daha düşüktür. Düşük süneklik davranışı nedeniyle, enerji yutma kapasitesinde yaklaşık %5–10 civarında bir azalma gözlenmiştir. Bu sonuç, Ç40 numunesinin yüksek taşıma gücüne karşın daha sınırlı deformasyon kapasitesine sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Ç10 numunesi ise en düşük enerji tüketim değerine (~30.000 kNm civarında) ulaşmıştır. Çiroz aralığının sıklaştırılması, elemanın sünekliliğini azalmasına ve gevrek davranışını artırarak enerji tüketimini belirgin biçimde artırmamıştır.

Genel olarak değerlendirildiğinde:

Referans numunesi, en yüksek enerji yutma kapasitesine sahiptir. Ç40 numunesi, yüksek dayanımın etkisiyle taşıma gücü artmasına karşın enerji tüketiminde kısmi azalma göstermiştir. Ç10 numunesi, referans numuneye göre yüksek Ç40 numunesine göre daha düşük dayanım sergilemiş, sık çiroz aralığına rağmen en düşük enerji kapasitesine sahip numune olmuştur. Bu sonuçlar, sistemin enerji tüketim kapasitesinin donatı düzeni ve süneklik özellikleriyle doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, yüksek sünekliliğe sahip eleman tasarımı için beton dayanımı ile donatı detaylandırmasının birlikte optimize edilmesi gerektiği söylenebilir.



Şekil 61. Tüm kirişlerin Elastik ve Plastik enerji grafikleri karşılaştırılması

Şekil 61’de, deneysel olarak elde edilen numunelerin elastik ve plastik enerji tüketim kapasiteleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Enerji tüketimi, yük–deplasman eğrisi altında kalan alanın hesaplanması ile belirlenmiştir. Eğrinin ilk doğrusal kısmı elastik enerji, pik sonrası kısmı ise plastik enerji tüketim kapasitesi olarak değerlendirilmiştir. Tüm numunelerde plastik enerji tüketiminin elastik enerjiye göre oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum, elemanların yük taşıma sürecinde enerjinin büyük bir bölümünü plastik şekil değiştirmeler yoluyla sönümlediğini göstermektedir.

Referans numunesinde, yaklaşık 5000 kNm elastik ve 26.000 kNm plastik enerji tüketimi gerçekleşmiştir. Bu sonuç, referans elemanın sünek bir davranış sergilediğini ve yüksek deformasyon kapasitesine sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Ç40 numunesinde, elastik enerji tüketimi referans numune ile benzer düzeydedir; ancak plastik enerji kapasitesi yaklaşık 23.000 kNm civarındadır. Çiroz kullanılan kirişin gevrek davranış yapısı nedeniyle plastik deformasyon kapasitesi azalmış, dolayısıyla toplam enerji tüketimi de sınırlı düzeyde kalmıştır. Bu durum, yüksek rijitlik – düşük süneklik karakteristiğini desteklemektedir.

Ç10 numunesinde ise elastik enerji kapasitesi Ç40 numunesinden bir miktar daha düşük, plastik enerji tüketimi ise yaklaşık 21.000 kNm olarak belirlenmiştir. Çiroz

sıklaştırmaların çatlak ilerlemesi sırasında enerjiyi daha yavaş sönmülemesi, plastik kapasitede azalmaya neden olmuştur.

Sonuç olarak, elastik-plastik enerji ayrımı, elemanların deprem yükleri altındaki davranışını değerlendirmede önemli bir parametre olup, sistemin süneklik ve enerji sönmüleme kapasitesi hakkında doğrudan bilgi sağlamaktadır.

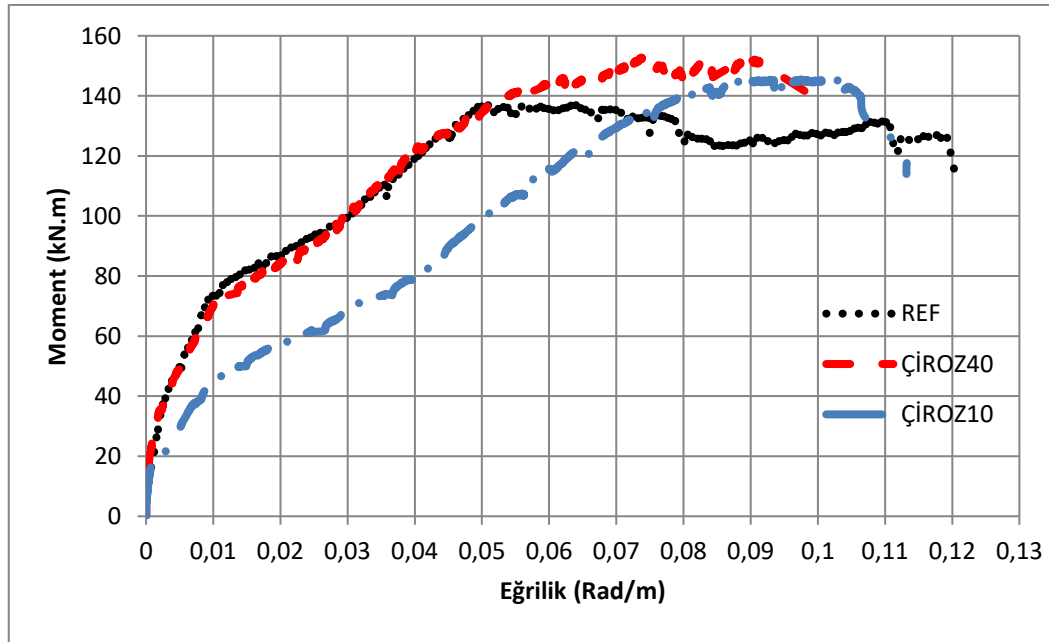
3.3.4. Moment – Eğrilik Grafiklerinin Karşılaştırılması

Deney numunelerinin teorik taşıma kapasitesi Ek-1’de hesaplanmıştır. Deney sonucunda elde edilen verilerle Tablo 9 da karşılaştırılarak sunulmuştur.

Tablo 9. Deney sonucu maksimum yük ve moment kapasiteleri

	Max Yük P (kN)	Max Moment (kNm)
Hesaplanan	458.21	118.67
BK-REF	579.01	137.52
BK-Ç40	644.73	153.12
BK-Ç10	612.56	145.48

Tüm deney numuneleri teorik hesaplama ile elde edilen moment değerlerinin üstünde performans göstermişlerdir. Görüleceği üzere yatay gövde çirozu bulunduran numunelerin yük ve moment kapasitesi referans kirişe göre daha yüksektir. Burada yatay gövde çirozunun sıklaştırılarak yani miktarının artırılmasının olumlu bir katkı sağlamadığı görülmektedir.

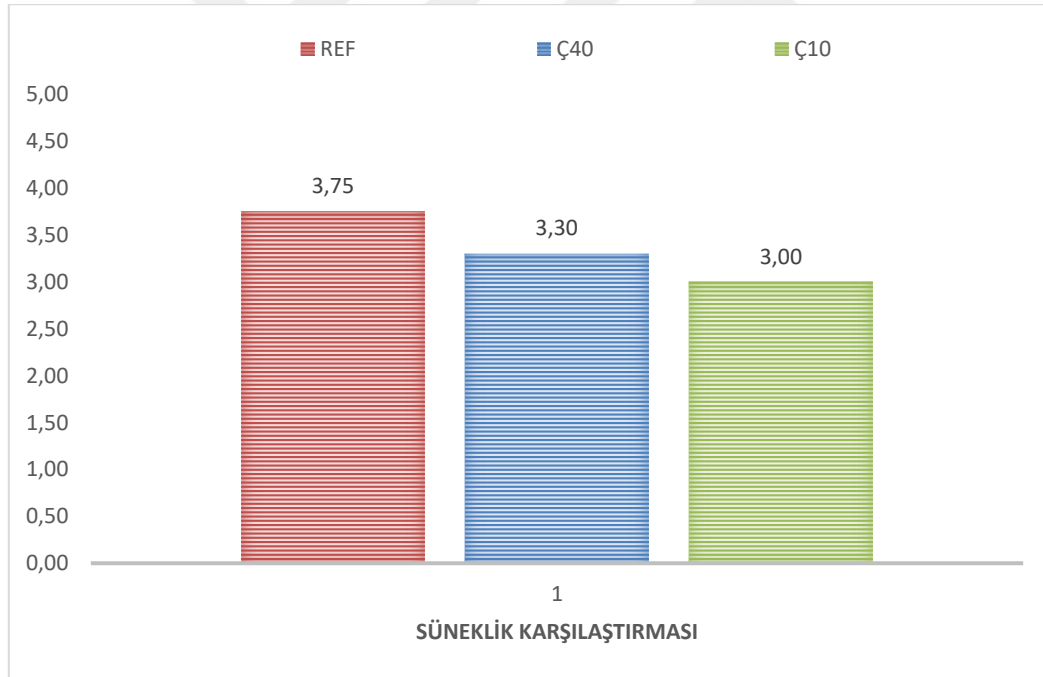


Şekil 62. Tüm kirişler için moment- eğrilik grafikleri karşılaştırılması

3.3.5. Süneklik Grafiklerinin Karşılaştırılması

Betonarme davranışta betonarme kirişin kesme kırılmasına ulaşmadan eğilme yönünden göçmesini sağlayarak kapasite tasarımı gereği sünek bir davranış oluşturabilmesini sağlanmalıdır. a/d oranı 2’den küçük olan genellikle kısa kiriş olarak da nitelendirilebilen bu kirişlerin rijitliklerinin yüksek, sünekliklerinin düşük olması nedeniyle moment kapasitelerinde bekleneninin üstünde olsa dahi sünek davranıştan uzaktır.

Bunun başlıca nedeninin kiriş boyutlarından kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Literatürde benzer çalışmalarda da değinildiği gibi ($a/d < 2$) mesnet yükleme arası mesafenin kiriş yüksekliğine oranı kiriş davranışını ve kapasitesini etkilemektedir. Grafikten de anlaşılacağı üzere 40cm aralıkla çiroz bulunduran kirişler referans kirişlerden ve çiroz sıklaştırması 10cm olan kiriş numunelerinden daha fazla moment kapasitesine ulaşmıştır.



Şekil 63. Tüm deney numuneleri için süneklik karşılaştırılması

Şekil 63’ da tüm numunelerin süneklikleri tablo halinde verilmiştir. Kısa kirişlerde ($a/d < 2$) kesme kırılması bölgesine daha büyük deplasman seviyelerinde girilmiş fakat güç tükenmesi dar bir aralıkta daha hızlı gerçekleşmiştir. Yönetmelik hükümlerine uygun olarak 40 cm sıklıkla kullanılan çirozun sünekliliği olumsuz etkilese bile kapasiteye olumlu katkı sağladığı gözlemlenmiştir.

4. BÖLÜM:

SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1. Sonuçlar

Bu çalışma ile betonarme kirişlerde yatay gövde çiroz kullanımının taşıma kapasitesi ve davranış üzerindeki etkileri incelenmiştir. Özellikle, kiriş deneylerinde kirişlerin geleneksel mesnetleme yerine ankastre mesnetle desteklenmesi, betonarme yapılarıdaki gerçek davranışı daha iyi yansıttığı düşünülmektedir. Çalışmada, numunelerdeki çiroz oranına bağlı olarak gözlenen davranış sonuçlarına aşağıda yer verilmiştir.

Test edilen kirişler, TBDY 18 7.4.1.c maddesinde de belirtilen $a/d < 2$ oranındaki kirişlerin rijitliklerinden dolayı bağlı oldukları düşey taşıyıcı elemanlar arasında yüksek moment etkisi nedeniyle kesme kuvveti baskın bir davranış sergileyen yatay taşıyıcı elemanlardır.

Deneyler sonucunda;

- Çiroz donatılı kirişlerin taşıma kapasitelerinin, çirozsuz kirişlere göre arttığı gözlemlenmiştir. Bu artış, özellikle kesme kuvveti kapasitesindeki yükselme ile ilişkilendirilmekte ve kiriş üzerindeki eksenel yük kapasitesinde de artışa katkıda bulunabileceği değerlendirilmiştir. Benzer bir durum, kolonlarda etriye kolları arasında bulunan ve yine perde elemanlarda yatay olarak perdelerin boyuna donatıları tutan elemanlar olduğu zaten bilinmektedir.
- Çiroz sıklığının artırılması, yönetmeliklerde öngörülen seviyeye kıyasla önemli bir kapasite artışı sağlamamış olup yönetmelik tarafından belirlenen çiroz aralığı (40 cm) kullanımı hem maliyet açısından hem de montaj kolaylığı yönünden 10cm ara ile çiroz sıklaştırmaya kıyasla avantaj sağlamaktadır.
- Yatay gövde çirozlu kirişlerin ilk rijitlikleri, çirozsuz numuneye kıyasla daha yüksek bulunmuş olup; çatlak oluşumu ve hasar ilerlemesi daha hızlı gerçekleşmiştir. Bu durum, betonun kesme kuvvetine katkısının sınırlı olması nedeniyle, çiroz bulunan kiriş elemanlarının etriye kolları arası mesafenin kısılması ile kesme donatısının daha fazla yük taşımaya sebep olduğu değerlendirilmektedir.
- Ayrıca çiroz kullanımı ile gövde donatılarının birbirine bağlanması sonucu sargı etkisini artırarak kirişin eğilme sırasında çekirdek betonunun dağılmasını

geciktirmiş, tarafsız eksen çekme bölgesine yakınlaştırarak gerek eğilme donatılarını gerekse basınç donatılarının kopması engellenmiştir. Bu sebepten kirişlerin eğilme kapasiteleri artırılmış ancak kirişler çekme kırılması yerine kesme kırılması kaynaklı etriyelerin kopması sonucu kapasitelerinde ani düşüş görülmüştür.

- Yapılan deneysel çalışma, betonarme kirişlerde çiroz kullanımının taşıma gücü ve moment kapasitesine olumlu yönde etki ederken, süneklik üzerinde beklenen katkısı gözlemlenmemiştir.
- Süneklik düzeyi yüksek betonarme perdeli taşıyıcı sistemlerde kullanılan betonarme perdeler arasındaki ve tünel kalıp yapılarıdaki düşey perdelerin arasındaki kısa kirişler ($a/d < 2$), (TBDY 18 7.4.1.) özelliği gösteren yatay taşıyıcı elamanlarda kullanılacak çiroz sıklaştırması sanılanın aksine mevcut kirişin süneklik kapasitesini düşürmesi nedeniyle elemanın kesme kuvveti hasarlarına daha hızlı yol açacağı değerlendirilmektedir.
- Bununla beraber, statik tasarım aşamasında bu kirişlerin üzerinde oluşan yoğun kesme kuvveti seviyesine karşı tasarımcının sıklaştırma yaparak TBDY 18’de verilen maksimum 40 cm ara ile çiroz donatısını daha sık ara kullanmayı tercih etmeyip; ilave koyacağı kesme donatısı(etriyelerin) sıklaştırması ve/veya etriye donatı çaplarının büyütülmesini tercih ederek çiroz sıklaştırmasını tercihi yoluna gitmesi tavsiye olunur. Tasarım aşamasında çiroz donatılarının kiriş kesme kapasitesine etkileri TBDY 18’de dikkate alınmaması nedeniyle çiroz donatılarının kesme kuvvetine katkıları hakkında tasarım aşamasında herhangi bir yorum yapılmamaktadır
- Tasarımcının $a/d < 2$ olan kirişlerde etriye kullanmak yerine çiroz sıklaştırması ile kesme kuvvetine karşı dayanımını artırma düşüncesinin bu deneysel çalışmanın sonuçlarına göre dikkatle gözden geçirmesi önemini ortaya koymuştur. Kullanılacak etriyelerin beton dayanımını sargı etkisi ile artırmasının kirişin sünekliğine sağlayacağı katkı yerine uygulanacak çiroz artışının kesme kuvvetine dayanım göstermeyip tam aksine kirişi daha gevrek hale getirerek enerji tüketim kapasitesine katkı sağlamadığı görülmüştür.

4.2. Öneriler

Yeni yapılacak çalışmalarda söz konusu çirozların sadece yatayda değil, üst donatı ile alt donatı arasında donatıları tutacak şekilde çapraz boyuna yerleştirilmesinin $a/d < 2$ oranındaki kirişlerin kesme çatlamaına karşı etriyelere ilave katkı vermesi araştırılmalıdır.

Yine benzer şekilde, yatay gövde çirozlarının gövde donatısına paralel olacak konumda ve gövde donatısının altı ile üzerinde düşey etriyeleri birbirine bağlayarak kirişin “h” doğrultusunda iki yüzüne gelecek biçimde bağlantı yapılmasının deneysel olarak incelenmesinde fayda görölmektedir.

Bununla birlikte çiroz miktarını kademeli artırarak yeni çalışmalar ile çiroz uygulamasının katkısının farklı yaklaşımlarla araştırılmasına devam edilebilir. Bu çalışmada simüle edilen iki betonarme perde arasındaki kiriş gibi konsol kirişlerde de çiroz uygulamasının araştırılması için çeşitli çalışmalar yapılabilir.

$a/d > 2$ olan kirişler içinde çiroz sıkılaştırmasının deneysel araştırmalarla ortaya konulması çirozun katkısını daha belirgin ortaya koyabilecektir.

Tüm bu çalışmaların yapılması daha güvenli yapıların tasarım ve uygulamalarını mümkün kılacağı kanaatindeyim.

KAYNAKÇA

- [1] Ünal, A., 2016. Sabit Dikdörtgen Kesitli Kirişlerin Farklı Mesnet Koşullarında Kesme Kapasitesinin Araştırılması. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Konya, 386 s.
- [2] Qeshta, I. M. I., Shafigh, P. ve Jumaat, M. Z., 2015. Flexural behaviour of RC beams strengthened Withwire Mesh-epoxy composite. **Construction and Building Materials**, **79**: 104-114.
- [3] Demiral, T., 2018. Betonarme Kiriş Boşluklarının Davranışa Etkisinin Araştırılması. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 127 s.
- [4] Aydemir, C., Aydemir, M. E., 2017. Betonarme kirişlerin hasar sınırlarının deneysel gözlemlerle irdelenmesi. **Teknik Dergi**, **28(4)**: 8023-8049.
- [5] İnce, R., 1998. Betonarme Yapı Elemanlarında Basınç-Kesme Kırılmasının ve Boyut Etkisinin Deneysel ve Numerik Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 157 s.
- [6] Erdem, F., 2022. Betonarme Kirişlerde Yeni Bir Etriye Kancasının Davranışının Araştırılması. Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Karabük, 127 s.
- [7] Abuwarda, I., M., A., 2019. Betonarme Derin Kirişlerin Güçlendirilmesine İlişkin Bazı Önerilerin Deneysel Araştırılması. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri. 237s.
- [8] Severcan, M. H., Kara, İ. F., & Akçaözoğlu, K., 2016. Değişik yüklemeler etkisi altında farklı donatı oranlarına sahip betonarme kirişlerde oluşan deplasmanların deneysel olarak incelenmesi. **Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, **5(2)**: 135-147.
- [9] Bayrak, B., 2015. Betonarme Kirişlerin Burulma Davranışı. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum, 195s.
- [10] Cengiz, S., 2019. Kendiliğinden Yerleşen Beton ile Üretilmiş, Sabit Dikdörtgen Kesitli Betonarme Kirişlerde Kesme ve Eğilme Davranışının İncelenmesi. Konya

- Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya. 200 s.
- [11] Üstün, S., 2020. Betonarme Kirişlerde Etriye Açısının Kesme Davranışına Etkisinin Deneysel ve Teorik Analizi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir, 134 s.
- [12] Baş, F., 2024. Kesme Kapasitesi Yetersiz Betonarme Kirişlerin Mekanik Çelik Dikişlerle Güçlendirilmesinde Kesme Açıklığı/Faydalı Yükseklik Oranı ve Kiriş Yüksekliği Değişiminin Araştırılması. Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 104 s.
- [13] Baktash, A., 2023. Boyut Etkisinin Rc Elemanların Burulma Kapasitesi Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi. Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Muğla, 68 s.
- [14] Özkan, M.F., 2012. Topoloji Eniyilemesi ve Çubuk Benzeşimi Yöntemleri Kullanılarak Betonarme Yapı Elemanlarında En Uygun Donatı Düzeninin Belirlenmesi ve Deneysel Gerçekleşmesi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora, Erzurum, 267 s.
- [15] Şinik, M., 2018. Betonarme Kirişlerde Narinlik Oranına Bağlı Dayanım Değişiminin Araştırılması. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 42 s.
- [16] Sadri, H., 2019. Yüksek Dayanımlı Betonarme Kirişlerde Betonun Kesme Dayanımına Katkısının İncelenmesi. İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul. 55 s.
- [17] Tursan, A.F., 2022. Betonarme Kirişlerde Donatı Oranının ve Genişlik/Yükseklik Oranının Kiriş Davranışına Etkileri. Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bursa, 69 s.
- [18] De Pavia, H.A.R., and Siess, C.P., Strength and Behavior of Deep Beams, ASCE Structural Journal, V. 91, No. ST5, 1965. pp. 19-41.
- [19] Türk, R., 2020. Evaluating the Shear Behavior of Reinforced Concrete Deep Beams Without Shear Reinforcement Using Strut and Tie Model. European University of Lefke Institute of Graduate Studies and Research, Yüksek Lisans Tezi, Lefke, 79s.

- [20] Gökçaya, E., 2019. Değişken Yükseklik ve Enkesitli Betonarme Prefabrik Kirişlerde Yanal Burkulmanın İncelemesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş, 106 s.
- [21] Arpacıktaş, M., 2020. Hibrit Çelik Lif Katkılı Ankastre Mesnetli Betonarme Kiriş Davranışının Deneysel İncelenmesi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 112 s.
- [22] Cullazoğlu, F., 2014, FRP Donatılı Betonarme Kirişlerin Eğilme ve Kesme Etkisi Altındaki Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Niğde, 84.
- [23] Yang, K., H., Chung, H., S., Lee, E., T., ve Eun, H., C., 2003, Shear characteristics of high-strength concrete deep beams without shear reinforcements, Engineering Structures, 25, 1343-1352.
- [24] Albegmrlı, H.M.A., 2017. Değişken kesitli betonarme kirişlerin deneysel araştırması ve stokastik sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmesi. Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Gaziantep, 225 s.
- [25] Yeşil, N., 2025. Betonarme kirişlerde etriyeye alternatif olarak kullanılması planlanan ı ve u şekilli donatıların kesme dayanımına katkısının deneysel olarak araştırılması. Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 93s.
- [26] Turan, A.F., 2022. Betonarme kirişlerde donatı oranının ve genişlik/yükseklik oranının kiriş davranışına etkileri. Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bursa, 74s.
- [27] Musluer, L., 2003. Betonarme kirişlerde kesme kırılmasının analizi. Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 77s.
- [28] Taşçı, E., 2023. Betonarme kolonlarda farklı bağlama şekilli çirozların eksenel yük kapasitesine etkisi. KTO Karatay Üniversitesi Lisansüstü eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 78s.
- [29] Belgin, Ç., M., 2004, Aşırı Donatılı Betonarme Kirişlerde Boyut Etkisi Deneyleri, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 275.
- [30] Türk Standartları Enstitüsü, 2000. TS 500, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Ankara, 15.

- [31] TBDY 2019. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Ankara.
- [32] Doğangün, A., 2019. Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı. Birsen Yayınevi Ankara, 843 s.
- [33] Ersoy, U., Özcebe, G., 2017. Betonarme, Evrim Yayınevi, Ankara, 569 s.
- [34] Alsudı M., 2021. Kesme Dayanımı Yetersiz Betonarme Kirişlerin Güçlendirilmesinde Optimum Lifli Polimer Miktarının Belirlenmesi. Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya. 87s.
- [35] Turan, F., A., 2022. Betonarme Kirişlerde Donatı Oranının ve Genişlik/Yükseklik Oranının Kiriş Davranışına Etkileri. Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bursa. 74s.
- [36] Öztürk, H., 2016. Betonarme Kısa Kirişlerde Kesme Dayanımının Çapraz Kesme Donatıları ile İyileştirilmesi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Bursa. 74s.
- [37] ACI 318-R19 (2019). Building Code Requirements for Structural Concrete. Farmington Hills, Mich.: American Concrete Institute, USA.
- [38] ASCE41-17 (2017). Seismic Evaluation and Retrofit of Existing American Society Civil Engineers, USA.

EKLER

EK 1. Deney Numunelerinin Taşıma Gücü Hesapları

Şekil 1.1.' de gösterilen moment ve kesme diyagramlarındaki ankastre mesnetli olarak tasarlanan numunelerin gerekli veriler kullanarak taşıma güçleri hesaplanmıştır. Hesaplamalar için gerekli veriler aşağıda verilmiştir.

$$a = 700 \text{ mm}$$

$$d = 570 \text{ mm}$$

$$L_{\text{net}} = 1900 \text{ mm}$$

$$V = P/2 \text{ (kN)}$$

$$M = 221.05 P \text{ (kN.mm)} = 0.221 P \text{ (kN.m)} \text{ Mesnet}$$

$$M = 257.89 P \text{ (kN.mm)} = 0.257 P \text{ (kN.m)} \text{ Orta}$$

Deney numunelerimizde basınç bölgesinde 2Ø14, çekme bölgesinde 3Ø14 ve Ø8/10 kesme donatısı olan etriye bulunmaktadır.

$$A_s = 462 \text{ mm}^2 \text{ (3Ø14)}$$

$$A_s' = 308 \text{ mm}^2 \text{ (2Ø14)}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$d = 570 \text{ mm}$$

$$b_w = 250 \text{ mm}$$

$$d' = 30 \text{ mm}$$

$$f_{ck} = 27.80 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yk} = 463 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctk} = 1.85 \text{ N/mm}^2$$

$$k_1 = 0.85$$

Eğilmeye göre hesap yapıldığında;

$$M_{cr} = 2 \cdot f_{ctk} \cdot \frac{b_w \cdot h^2}{6} = 2 \times 1.85 \times 10^3 \times \frac{0.25 \times 0.60^2}{6} = 55.5 \text{ kN.m} \quad (\text{Ek-1.1})$$

$$\text{Dengeli Donatı Oranı } \rho_b = 0.85 \times k_1 \cdot x \left(\frac{0.0035 \times E_s}{0.0035 \times E_s + f_{yk}} \right) \times \frac{f_{ck}}{f_{yk}} = 0.00261 \text{ mm}$$

$$\rho_{\text{çekme}} - \rho'_b = \left(\frac{462}{25 \times 570} \right) - \left(\frac{308}{25 \times 570} \right) = 0.001081 \text{ mm}$$

$$\rho_b \times 0.85 \geq \rho_{\text{çekme}} - \rho'_{\text{basınç}} \Rightarrow 0.00222185 \geq 0.001081$$

Basınç donatıları akmadığı için σ'_s değeri aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanır.

Kontrol:

$$\rho - \rho' = 0.001081 \geq 0.85xk_1x \frac{f_{ck}}{f_{yk}} \left(\frac{0.0035xE_s}{0.0035xE_s - f_{yk}} \right) x \frac{d_1}{d} = 0.00674mm$$

Uygun olmadığı için

$$(0.85xf_{ck}xb_wxk_1)xc^2 + (600xA_{s'} - A_sxf_{yk})xc - (A_{s'}x600xd') = 0 \quad (\text{Ek-1.2})$$

Yukarıdaki denklem ile tarafsız eksen derinliği olan “c” hesaplanır.

$$A_1 = 0.85xf_{ck}xb_wxk_1 = 5.021,375$$

$$A_2 = A_{s'}x0.0035xE_s - A_sxf_{yk} = 1.694,00$$

$$A_3 = A_{s'}x0.0035xE_sxd' = 6.468.000$$

$$C_{1,2} = \frac{-A_2 \pm \sqrt{A_2^2 - 4A_1 \times A_3}}{2A_1} = 35.72mm$$

Basınç bloğu derinliği,

$$a = cxk_1 = 35.72x0.85 = 30.362mm$$

Basınç Bloğu Donatı gerilmesi

$$\sigma_s = 0.0035xE_sx \left(\frac{c - d'}{c} \right) = 112.094 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}$$

Numunelerin taşıma gücü momenti için ise;

$$M_r = (A_sxf_{yk} - A'_{s'}x\sigma'_{s'})x \left(d - \frac{a}{2} \right) + A'_{s'}x\sigma'_{s'}x(d - d')$$

$$M_r = 118.167kN.m$$

Bulunan bu değer başlangıçta verilen $M = 0.257 P$ denkleminde yerine yazılarak P değeri hesaplanmış olur.

$$118.167 = 0.257 P$$

$$P = 458.21kN$$

Kesmeye göre hesap yapıldığında;

$$A_{sw} = 2x50 = 100mm^2$$

$$V_w = A_{sw}xf_{yw}x \frac{d}{s}$$

$$V_w = 100x504x \frac{570}{100} x 10^{-3} = 287.28 kN$$

$$V_{cr} = 0.65xf_{ctk}xb_wxd$$

$$V_{cr} = 0.65x1.85x250x570x10^{-3} = 171.356 kN$$

$$V_c = 0.8xV_{cr}$$

$$V_c = 0.8x171.356 = 137.09 kN$$

$$V_r = V_c + V_w$$

$$V_r = 137.09 + 287.28 = 424.37kN$$

Bulunan bu değer başlangıçta verilen $V = P/2$ denkleminde yerine yazılarak P değeri hesaplanmış olur.

$$424.37 = P/2$$

$$P = 848.74 \text{ kN}$$

Deney numuneleri için eğilmeye ve kesmeye göre iki farklı P kuvveti değeri bulunmuştur. Bu değerlerden küçük olan kiriş numunesinin taşıyabileceği yük miktarını belirtmektedir. İki değer kıyaslandığı zaman $848.74 > 458.21$ büyük olduğu için numunelerin hasar sınırlarını eğilmeden kaynaklı değil; kirişlerin kesme kontrolü tahkiklerinde gerekli dayanımı sağlamadığından kesme kırılmasına mekanizmanın oluştuğu görülmüştür. Bulunan bu değerler dikkate alındığında numunelerin M/V kapasitesi 0.54 civarındadır.



Rıdvan YAKUT

Yükseklisans Tezim

 Rıdvan Yakut
 nny inşaat
 Nuh Naci Yazgan Üniversitesi

Belge Ayrıntıları

Gönderi Kimliği

trn:oid:::1:3450500140

Gönderi Tarihi

24 Ara 2025 15:24 GMT+3

İndirme Tarihi

24 Ara 2025 15:28 GMT+3

Dosya Adı

Rıdvan_Yakut_Tez_24.11.25.docx

Dosya Boyutu

10.4 MB

100 Sayfa

15.226 Sözcük

105.005 Karakter

18% Genel Benzerlik

Her veri tabanı için çakışan kaynaklar da dâhil tüm eşleşmelerin kombine toplamı.

Ön Sıradaki Kaynaklar

- 17%  İnternet kaynakları
- 5%  Yayınlar
- 7%  Gönderilen çalışmalar (Öğrenci Makaleleri)

Bütünlük Bayrakları

İnceleme için 1 Bütünlük Bayrağı



Değiştirilen Karakterler

36 sayfada 152 şüpheli karakter

Harfler başka bir alfabeden benzer karakterlerle değiştirilir.

Sistemimizin algoritmaları bir belgede, onu normal bir gönderiden ayırabilecek her türlü tutarsızlığı derinlemesine inceler. Tuhaf bir şey fark edersek incelemeniz için bayrak ekleriz.

Bir Bayrak mutlaka bir sorun olduğunu göstermez. Ancak daha fazla inceleme için dikkatinizi vermenizi öneririz.

Ön Sıradaki Kaynaklar

- 17% İnternet kaynakları
- 5% Yayınlar
- 7% Gönderilen çalışmalar (Öğrenci Makaleleri)

Ön Sıradaki Kaynaklar

Gönderi içinde en yüksek eşleşme sayısına sahip kaynaklar. Çakışan kaynaklar görüntülenmeyecektir.

1	İnternet	acikbilim.yok.gov.tr	11%
2	Öğrenci makaleleri	The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK)	1%
3	Öğrenci makaleleri	Erciyes Üniversitesi	1%
4	Öğrenci makaleleri	Karadeniz Teknik University	<1%
5	İnternet	dergipark.org.tr	<1%
6	İnternet	gcris.ktun.edu.tr	<1%
7	İnternet	acikerisim.karatay.edu.tr:8080	<1%
8	İnternet	hdl.handle.net	<1%
9	İnternet	fau.digital.flvc.org	<1%
10	İnternet	pdffox.com	<1%
11	İnternet	www.nny.edu.tr	<1%

12	Öğrenci makaleleri	Aksaray Aniversitesi	<1%
13	İnternet	moam.info	<1%
14	İnternet	www.firatakademi.com	<1%
15	İnternet	ebs.aydin.edu.tr	<1%
16	Öğrenci makaleleri	Cankaya University	<1%
17	İnternet	books.akademisyen.net	<1%
18	İnternet	mmoteskon.org	<1%
19	İnternet	fis.cld.bz	<1%
20	Öğrenci makaleleri	Osmaniye Korkut Ata University (deneme)	<1%
21	İnternet	archive.gazettes.africa	<1%
22	İnternet	kupdf.net	<1%
23	İnternet	lib.buet.ac.bd:8080	<1%
24	İnternet	www.yumpu.com	<1%
25	İnternet	avesis.erciyes.edu.tr	<1%

26	İnternet	pt.scribd.com	<1%
27	İnternet	abis-files.erciyes.edu.tr	<1%
28	İnternet	adudspace.adu.edu.tr:8080	<1%
29	İnternet	sbe.nny.edu.tr	<1%
30	Yayın	Aygen, Aytaç. "Ultra yüksek performanslı beton İçeren kirişlerin kesme davranışı...	<1%
31	İnternet	acikerisim.iku.edu.tr	<1%
32	İnternet	www.researchgate.net	<1%
33	Öğrenci makaleleri	Central Queensland University	<1%
34	Yayın	Elmas, Özlem. "Ortaöğretim Öğrencilerinin Rutin Olmayan Matematik Problemi Ç...	<1%
35	Yayın	Giorgio T. Proestos, Evan C. Bentz, Michael P. Collins. "Maximum Shear Capacity o...	<1%
36	Yayın	Halis, Bülent. "İkinci Kez Güçlendirilmiş Betonarme Kolonların DeneySEL Olarak In...	<1%
37	İnternet	acikerisim.nevsehir.edu.tr	<1%
38	İnternet	acikerisim.nigde.edu.tr	<1%
39	İnternet	docplayer.biz.tr	<1%

40

İnternet

pesquisa.teste.bvsalud.org

<1%

41

Yayın

Uyanik, Can. "İlkokul 4. Sınıf öğrencilerinin Bilinçli Tüketici Durumlarının İncele...

<1%

42

Yayın

Akan, Çetin. "Lif katkı betonarme kirişlerin deneysel ve sayısal incelenmesi", İzm...

<1%

