

T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETRİYESİZ POLİPROPİLEN LİFLİ BETONARME KİRİŞLERİN KESME  
MUKAVEMETİ

MEHDİ ÖZTÜRK

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
YAPI PROGRAMI

DANIŞMAN  
PROF. DR. GÜRAY ARSLAN

İSTANBUL, 2016

T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ETRİYESİZ POLİPROPİLEN LİFLİ BETONARME KİRİŞLERİN KESME  
MUKAVEMETİ**

Mehdi ÖZTÜRK tarafından hazırlanan tez çalışması 15.11.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Prof. Dr. Güray ARSLAN  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Prof. Dr. Güray ARSLAN  
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Sema ALACALI  
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Almıla UZEL  
Yeditepe Üniversitesi



---



---



---



Bu çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü' nün 2016-05-01-YL02 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

## ÖNSÖZ

---

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca benden bilgi birikimlerini ve tecrübelerini asla esirgemeyerek bana her konuda yardımcı olup karakterli, dik duruşunu her daim takdire şayan bulduğum hayatım boyunca idol olarak kendime örnek alacağım çok kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Güray ARSLAN'a, deneyin yapılmasındaki katkılarından ötürü değerli hocam Sayın Dr. Rıza Secer Orkun KESKİN'e, tez çalışması süresince ve hayatım boyunca her zaman yanımda olup, her türlü konuda maddi manevi desteklerini hissettiğim ailem, babam Sayın Vehbi ÖZTÜRK, annem Sayın Fatma ÖZTÜRK ve kardeşim Sayın MERVE ÖZTÜRK 'e

Teşekkür ederim.

Aralık, 2016

MEHDİ ÖZTÜRK

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ .....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ .....	x
ÖZET .....	xi
ABSTRACT.....	xii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti .....	1
1.2 Tezin Amacı .....	6
1.3 Hipotez .....	6
BÖLÜM 2	
DENEY KİRİŞLERİ .....	7
2.1 Kirişlerin Geometrisi .....	7
2.2 Kirişlerde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri .....	7
2.3 Deney Kirişlerinin Üretimi.....	9
BÖLÜM 3	
DENEY SONUÇLARI VE TEMEL DEĞİŞKENLERİN ETKİSİ .....	11
3.1 Kiriş Deney Sonuçları .....	11
3.1.1 a/d Oranı 2.5 Olan Kirişler .....	11
3.1.1.1 B2.5R Kirişi.....	11
3.1.1.2 B2.5P1.0 Kirişi.....	13
3.1.1.3 B2.5P2.0 Kirişi.....	15
3.1.1.4 B2.5P3.0 Kirişi.....	16

3.1.2	a/d Oranı 3.5 Olan Kirişler .....	18
3.1.2.1	B3.5R Kirişi .....	18
3.1.2.2	B3.5P1.0 Kirişi.....	19
3.1.2.3	B3.5P2.0 Kirişi .....	21
3.1.2.4	B3.5P3.0 Kirişi .....	23
3.1.3	a/d Oranı 4.5 Olan Kirişler .....	24
3.1.3.1	B4.5P1.0 Kirişi.....	25
3.1.3.2	B4.5P2.0 Kirişi .....	26
3.1.3.3	B4.5P3.0 Kirişi .....	28
3.2	Kirişlerin Deneysel Yük-Yerdeğiştirme Eğrileri.....	30
3.3	Polipropilen Lif Oranı Etkisi.....	33
3.4	a/d Etkisi .....	34

## BÖLÜM 4

POLİPROPİLEN LİFLİ BETONARME KİRİŞLERİN KESME MUKAVEMETİ.....	35
---	----

## BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	38
---------------------------	----

KAYNAKLAR.....	40
----------------	----

ÖZGEÇMİŞ.....	42
---------------	----

## SİMGE LİSTESİ

---

$a$	Kiriş kesme açıklığı
$b_w$	Kiriş genişliği
$c$	Basınç bölgesinin yüksekliği
$d$	Kiriş etkili yüksekliği
$d_f$	Polipropilen lif aderans katsayısı
$D_f$	Polipropilen lif çapı
$F$	Polipropilen lif katsayısı
$f_c$	Sargılı betonda basınç dayanımı
$f_{ct}$	Betonun aksenal çekme dayanımı
$f_y$	Eğilme donatısının akma mukavemeti
$L_f$	Polipropilen lif uzunluğu
$P_{cr}$	Eğik çatlama yükü
$P_{co,Deney}$	Maksimum yük taşıma kapasitesi
$P_{u,Deney}$	Maksimum yük taşıma kapasitesinin %80'ine ulaştığındaki yük
$V_f$	Polipropilen hacimsel çelik lif yüzdesi
$v_{cr}$	Eğik çatlama mukavemeti
$v_{co,Deney}$	Maksimum kesme mukavemeti $F$ Polipropilen lif katsayısı
$v_{u,Deney}$	Maksimum kesme mukavemetinin %80'ine ulaştığındaki mukavemet
$\delta_{cr}$	Eğik çatlak oluştuğunda açıklık ortası yerdeğiştirme
$\delta_{co,Deney}$	Maksimum yük taşıma kapasitesinin %80'ine ulaştığındaki yerdeğiştirme
$\delta_{u,Deney}$	Güç tükenmesinin olduğundaki yerdeğiştirme
$\rho$	Çekme donatısı oranı

## KISALTMA LİSTESİ

---

ACI	American Concrete Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
PDT	Potentiometric Differential Transformer
TSE	Türk Standardları Enstitüsü

## ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	Polipropilen dalgalı (kıvrımlı) lifli .....	8
Şekil 2.2	Donatı hazırlanışı, kalıplara yerleştirilmesi, kirişlerin sökümü ve taşınması ..	9
Şekil 2.3	Kiriş kesitleri ve donatı yerleşim .....	10
Şekil 3.1	Deney öncesi ve sonrasında B2.5R kirişi.....	13
Şekil 3.2	Deney öncesi ve sonrasında B2.5P1.0 kirişi.....	14
Şekil 3.3	Deney öncesi ve sonrasında B2.5P2.0 kirişi.....	16
Şekil 3.4	Deney öncesi ve sonrasında B2.5P3.0 kirişi.....	17
Şekil 3.5	Deney öncesi ve sonrasında B3.5R kirişi.....	19
Şekil 3.6	Deney öncesi ve sonrasında B3.5P1.0 kirişi.....	21
Şekil 3.7	Deney öncesi ve sonrasında B3.5P2.0 kirişi.....	22
Şekil 3.8	Deney öncesi ve sonrasında B3.5P3.0 kirişi.....	24
Şekil 3.9	Deney öncesi ve sonrasında B4.5P1.0 kirişi.....	26
Şekil 3.10	Deney öncesi ve sonrasında B4.5P2.0 kirişi.....	28
Şekil 3.11	Deney öncesi ve sonrasında B4.5P3.0 kirişi.....	30
Şekil 3.12	Kirişlerin yük-yerdeğiştirme eğrileri .....	31
Şekil 3.13	Kirişlerde kesme mukavemetine $V_f$ (%) etkisi.....	33
Şekil 3.14	Kirişlerde kesme mukavemetine $a/d$ etkisi .....	34

## ÇİZELGE LİSTESİ

---

	Sayfa
Çizelge 1.1 Beton Karışımında Kullanılan Bazı Liflerin Mekanik Özellikleri.....	2
Çizelge 2.1 Betondaki yapı malzemelerinin karışım oranları.....	7
Çizelge 2.2 Deney kirişlerinin özellikleri.....	8
Çizelge 3.1 B2.5R Kirişi.....	12
Çizelge 3.2 B2.5P1.0 Kirişi.....	13
Çizelge 3.3 B2.5P2.0 Kirişi.....	15
Çizelge 3.4 B2.5P3.0 Kirişi.....	16
Çizelge 3.5 B3.5R Kirişi.....	18
Çizelge 3.6 B3.5P1.0 Kirişi.....	20
Çizelge 3.7 B3.5P2.0 Kirişi.....	21
Çizelge 3.8 B3.5P3.0 Kirişi.....	23
Çizelge 3.9 B4.5P1.0 Kirişi.....	25
Çizelge 3.10 B4.5P2.0 Kirişi.....	27
Çizelge 3.11 B4.5P3.0 Kirişi.....	28
Çizelge 3.12 Kritik yük ve yerdeğiştirme değerleri.....	33
Çizelge 3.13 Kritik mukavemet değerleri.....	33
Çizelge 4.1 Teorik ve deneysel kesme mukavemetleri.....	37

**ETRİYESİZ POLİPROPİLEN LİFLİ BETONARME KİRİŞLERİN KESME  
MUKAVEMETİ**

Mehdi ÖZTÜRK

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Güray ARSLAN

Yapılan çalışmada; farklı hacimsel oranlarda hazırlanan polipropilen lif katkısının, etriyesiz betonarme kirişlerde oluşacak olan kesme mukavemetlerine karşı etkisi araştırılmıştır. Kirişlerdeki temel değişkenler; kesme açıklığının kiriş etkili yüksekliğine oranı 2.5, 3.5 ve 4.5, hacimsel polipropilen lif oranı 1.0%, 2.0% ve 3.0% tür. Deneyler sonucunda; polipropilen lif oranındaki artış ile kesme mukavemeti ve süneklik gibi mekanik davranışların arttığı gözlenmiştir. Ayrıca; polipropilen lifli betonarme kirişlerin kesme mukavemeti tahmini için bağıntı önerilmiş, bağıntının tahmini ile deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucu önerilen bağıntının deneysel kesme mukavemetini oldukça iyi tahmin ettiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Polipropilen lif, betonarme, kiriş, kesme mukavemeti

**SHEAR STRENGTH OF POLYPROPYLENE FIBER REINFORCED CONCRETE  
BEAMS WITHOUT STIRRUPS**

Mehdi ÖZTÜRK

Department of Civil Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Güray ARSLAN

In this study, the effects of shear span-to-effective depth ratio and volume fraction of fibers on the shear strength of polypropylene fiber-reinforced concrete (PPFRC) beams without stirrups were investigated. Shear span-to-effective depth ratios of 2.5, 3.5 and 4.5 and volume fractions of fibers of 0.0%, 1.0%, 2.0% and 3.0% were considered as test variables. It was observed through the experiments that the shear strength and ductility increase with the volume fraction of fibers. Furthermore, an equation for predicting the shear strength of PPFRC beams without stirrups was proposed and the predictions were compared with the experimental results. A good agreement between the predictions and the experimental results was observed.

**Keywords:** Polypropylene fiber, reinforced concrete, beam, shear strength

#### 1.1 Literatür Özeti

Taşıyıcı eleman üretiminde betonun kullanımının başlamasıyla, betonun süneklik ve mekanik özelliklerini iyileştirmek için çimento harca çeşitli katkıları eklenerek oluşan kompozit malzemenin davranışından faydalanılmaya çalışılmaktadır. Buna ilk örnek, Mezopotamya'da yapı malzemesi olarak kullanılan kerpiç hazırlanırken içerisine saman vb bitki artıkları katılarak daha düktil bir malzeme üretilmesidir. Günümüzde, betonarme veya betonun davranışı ile ilgili yapılan araştırmalarda en çok kullanılan malzemelerin başında çelik lif geldiği görülmektedir. Yapı malzemesi olarak, çelik lif ile betonu karıştırıp betonun bazı mekanik özelliklerini belirlemek için günümüzde de birçok deneysel çalışmalar yapılmaktadır. Betonun gevrek davranışının azaltılmasına yönelik beton içine çelik lif yerine polipropilen lif katılması da pek çok araştırmanın konusu olmuştur. Çizelge 1.1'de beton karışımında kullanılan bazı liflerin mekanik özellikleri verilmiştir.

Betonun mekanik özelliklerini geliştirmek için polipropilen lif kullanılarak yapılan çalışmalarda genellikle küp ve/veya silindir elemanlarda araştırma yapılmış, kiriş veya betonarme elemanlarda ise oldukça sınırlı çalışma yapıldığı görülmüştür. Yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Yıldırım ve İkinci (2006) [1] tarafından yapılan çalışmada, polipropilen, cam ve çelik lifler kullanılarak üretilen betonda donma-çözünme etkisi araştırılmıştır. 15x15x15 cm'lik küp numunelerle farklı lif oranına sahip 12 beton numune üretilip deneye tabii

tutulmuştur. Betonlarda 30 donma-çözülme çevrimi sonunda numune yüzeylerinin düzgünlüğünü kaybettiği, yuvarlak çukurlar olduğu, betonun köşe kısımlarının daha fazla hasar olduğu ve betona yakından bakıldığında özellikle 20-25 çevrim arasında yer yer süngerimsi bir doku olduğu tespit edilmiştir. Soğuk hava depoları gibi alanlarda, soğuk iklim koşullarındaki bölgelerdeki yapılarda ya da soğuk havanın etki edebileceğinin düşünüldüğü lif takviyesi gerektiren tüm betonlarda polipropilen lif katkılı betonların kullanılmasının avantaj sağlayacağı, çelik liflerin durumu pek değiştirmedeği ifade edilmiştir.

Çizelge 1.1 Beton Karışımında Kullanılan Bazı Liflerin Mekanik Özellikleri

<i>Lif Tipi</i>	<i>Çekme Dayanımı (MPa)</i>	<i>Young Modülü (10<sup>3</sup> MPa)</i>	<i>En Yüksek Uzama(%)</i>	<i>Özgül Ağırlık (gr/cm<sup>3</sup>)</i>
Akrilik	207-414	2,07	25-45	1,1
Asbest	552-966	82,8-138	0-0,6	3,2
Pamuk	414-690	4,83	3-10	1,50
Cam	1035-3795	6,90	1,5-3,5	2,50
Naylon	759-828	4,14	16-20	1,10
Polyester	725-862	8,28	11-13	1,40
Polietilen	0-690	0,14-0,414	0-10	0,95
<b>Polipropilen</b>	<b>552-690</b>	<b>3,45</b>	<b>0-25</b>	<b>0,90</b>
Rayon (Suni İpek)	414-621	6,90	10-25	1,50
Taş Yünü	483-759	69-117,3	0-0,6	2,70
Çelik	276-2760	200,10	0,5-35	7,80

Beton karışımında silis dumanı ve polipropilen lif kullanılmasının permeabiliteye etkisinin incelendiği Toutanji vd. (1998) [2] tarafından yapılan çalışmada, silis dumanıyla polipropilenin beton içerisinde daha verimli dağılım gösterdiğini görülmüş, rötre çatlaklarının polipropilenli numunelerde azaldığı buna bağlı olarak darbe dayanımının arttığı ve permabilitenin önemli ölçüde azaldığı görülmüştür.

Song vd. (2005) [3] tarafından yapılan çalışmada, 15 cm çaplı 53 cm yükseklikli hazırlanan silindir numunelere, 0.6 kg/cm<sup>3</sup> polipropilen ve naylon katılmasının betonun mekanik özelliklere etkisi araştırılmıştır. Deney sonucu, naylonun polipropilene göre

basınç dayanımını ve yarmada çekme dayanımını daha fazla arttırdığı görülmüştür. Bunun sebebi olarak, polipropilene göre naylonun betonun içerisinde daha iyi dağılan ve aderans sağlayan bir yapı malzemesi olduğu ifade edilmiştir.

Açıkgenç vd. (2012) [4] tarafından yapılan çalışmada, beton basınç dayanımları için 150x150x150 mm standart küp numuneler, eğilme-çekme dayanımları için 100x100x500 mm kiriş numuneler ve durabilite deneyleri için 100x100x100 mm küp numuneler üretilerek farklı karışım oranlarına sahip polipropilen lifli betonların dayanım ve durabilite özellikleri incelenmiştir. Ayrıca, polipropilen lifin, betonun aşınma dayanımı ve kılcal su emme özelliklerini de olumlu etkilediği tespit edilmiştir.

Polipropilen lifli betonun yangına karşı davranışının incelendiği Pothisiri vd. (2016) [5] tarafından yapılan deneysel çalışmada, 265 cm yüksekliğinde 342 cm derinliği ve 12 cm kalınlığında oluşturdukları prefabrik duvarın içine polipropilen lif katılmış, ISO 834-1 standardına göre 180 dakika sıcaklığa maruz bırakılan duvardaki pullanma etkileri gözlemlenmiştir. Deney sonucunda ise numunede polipropilen kullanımının pullanmaya karşı dayanıklılık sağladığı görülmüştür.

Tezel (2010) [6] tarafından yapılan çalışmada, çelik ve polipropilen lif katkısının kendinden yerleşen betonlarda işlenebilirliğe ve mekanik davranışa etkileri araştırılmıştır. Yapılan deneysel araştırma sonucu, optimum lif katkısı olması gerektiğini aksi takdirde fazla miktar lif katkısının segregasyona yol açacağını ifade edilmiştir. Ayrıca lif katkısının işlenebilirliği azalttığı, elastisite modülünün değişmesine önemli etkisi olmadığı, ancak basınç dayanımını arttırdığı gözlenmiştir.

Furlan ve Hanai (1997) [7] tarafından yapılan deneysel çalışmada, farklı hacimsel polipropilen ve çelik lif oranına sahip betonarme kirişlerin kesme mukavemeti ve eğilmede çekme dayanımı araştırılmıştır. Polipropilen ve çelik lif katkısının kesme mukavemetini arttırdığı ve önemli ölçüde süneklik artışı sağladığı görülmüştür.

Al-lami (2015) [8] tarafından yapılan çalışmada, polipropilen ve çelik lifler katılarak üretilen betonarme kirişlerde liflerin kirişin davranışına ve mekanik özelliklere etkisi araştırılmıştır. Deney sonucunda, lif katkısının kirişlerin kesme mukavemeti kapasitesini arttırdığı, %1 oranında polipropilen katkısının mikro çatlaklar arasında köprü

oluşturarak çatlamaya sebebiyet veren eğilmede çekme dayanımını artırdığı gözlenmiştir.

Polipropilen ve çelik lif katkısının eğilmede çekme davranışına etkilerini gözlemlendiği Sahoo vd. (2015) [9] tarafından yapılan çalışmada, monotonik yük altındaki betonarme kirişlerin davranışına lif katkısının etkisi araştırılmıştır. %1 oranında çelik ve polipropilen lif kullanımının çatlak gelişimini önlediği ve eğilme mukavemetini arttırdığını gözlenmiştir.

Erbaş [10] tarafından yapılan polipropilen lifli betonun dayanıklılık özelliklerinin araştırıldığı çalışmada, lifli betonda kılcal su emme ve geçirimsizliğinin azaldığı, yangın direncinin arttığı, basınç dayanımının arttığı, rötre büzölmelerinin azaldığı ve çatlak gelişimini sınırlandırdığı vurgulanmıştır. Akkaş vd. [11] tarafından yapılan çalışmada; polipropilen lif katkılı betonda ezilme ve çatlama sonrası dağılmalar olmadığı görülmüştür.

Kendinden yerleşen betonda polipropilen lif kullanımının işlenebilirliğe etkisinin araştırıldığı çalışmada [Sertbaş [12]], betonda polipropilen lif kullanımının kendinden yerleşen betonun işlenebilirliğine olumsuz etkilediği görülmüştür.

Çelik lifli ve polipropilen lifli betonların mekanik özelliklerinin karşılaştırıldığı çalışmada [İpek vd. 13], çelik liflerin polipropilen liflere göre betonun mekanik özelliklerine daha fazla katkı yaptığı, ancak korozyon riskinin yüksek olduğu yerlerde polipropilen liflerin kullanımının daha uygun olacağı ifade edilmiştir.

Kabay vd. [14] tarafından yapılan çalışmada, beyaz çimento harcına polipropilen lif katarak işlenebilirlik, su emme, basınç ve eğilme dayanımları, rötre gibi mekanik özelliklerine etkisini gözlemlenmiştir. Deney sonuçlarına göre %1'den daha fazla oranda polipropilen lif kullanılmasının işlenebilirliği düşürdüğü, optimum orandaki polipropilen lif katkısının basınç ve eğilmede çekme dayanımının arttırdığı ifade edilmiştir.

Manolis vd. [15] tarafından polipropilen lif katkısının beton plakların dinamik özelliklerine etkilerinin araştırıldığı çalışmada, polipropilen lif katkısının darbe

dayanımını geliştirdiği, buna paralel olarak basınç dayanımını arttırdığı, ancak kullanılan polipropilen katkısının eğilme dayanımlarını olumsuz etkilediği görülmüştür.

Alhozaimy vd. [16] tarafından yapılan çalışmada, polipropilen lif katkılı betonların mekanik özellikleri ve polipropilenin puzolanik maddelerle kullanımının etkileri incelenmiştir. Söz konusu çalışmada, polipropilen lif katkısının silika dumanıyla kullanıldığında, daha verimli sonuçlar elde edildiği vurgulanmıştır. Genelde puzolan madde kullanılmasının betonda darbe dayanımını azalttığı gözlenmiş, polipropilen liflerle birlikte kullanılan puzolanların darbe dayanımını önemli ölçüde arttırdığını ifade edilmiştir.

Sukontasukkul [17] tarafından yapılan çalışmada, elik ve polipropilen lif katkısının eğilme etkisi altındaki kirişlerin tokluğuna (sünekliğe) etkileri ASTM C1018 and JSCE SF-4 yöntemleri kullanılarak deneylerle araştırmıştır. JSCE ye göre yapılan deneylerde yeterli karakteristik değerler elde edilememiştir. ASTM ye göre yapılan deneylerde ise, her iki lif katkısının da tokluğu arttırdığı ancak polipropilen life oranla elik lif katkısının tokluğa daha fazla katkısı olduğu not edilmiştir.

Silika dumanıyla üretilen betona polipropilen lif katılarak betonun mekanik özelliklere ve darbe dayanımına etkilerinin incelendiği çalışmada [Nili ve Afroughsabet [18]], 12 mm uzunluğunda polipropilen lifi %0.2, %0.3 ve %0.5 oranlarında, silika dumanını da %8 oranında olacak şekilde betona katılmıştır. Deney sonuçlarına göre, polipropilen lifin silika dumanlı betonlarda daha iyi dağılım gösterdiği gözlenmiş, betonun çekme ve eğilme davranışlarına özellikle de darbe dayanımına oldukça olumlu katkı verdiği görülmüştür.

Hsie ve Song [19] polipropilen hibrit lifli betonların mekanik özelliklerini araştırdıkları çalışmada, lif katkısının çatlak gelişimini önlediğini, özellikle rötre büzülmesini etkili bir şekilde önlediği ifade edilmiştir.

Patel ve Patel [20] tarafından yapılan çalışmada, polipropilen lif katkılı betonarme yüksek kirişlerde deneysel kesme mukavemetleri tahmin edilmiş ve elik lifli betonarme kirişler için üretilen deneysel kesme mukavemeti bağıntılarının tahminleri ile karşılaştırılmıştır. ACI 318-14 (2014) [21] , Schlaich vd. (1987) [22] ve Nielsen vd.

(1978) [23] olmak üzere teoride üretilen bağıntıların tahminleri deneysel sonuçlarla karşılaştırılmış ve karşılaştırma sonucu ACI 318-14 tahmininin deney sonuçlarını daha iyi tahmin ettiği görülmüştür.

## **1.2 Tezin Amacı**

Yapılan çalışmada; kesme açıklığının kiriş etkili yüksekliğine oranı 2.5, 3.5 ve 4.5 olan polipropilen lif katkılı betonarme kirişlerin mekaniksel davranışları araştırılmıştır. Deney sonucunda kiriş kesme mukavemetine polipropilen lifin ne derece fayda sağladığının belirlenmesi ve deneysel sonuçlarla ,lif katkılı betonarme kirişler için literatürde önerilen kesme mukavemeti bağıntılarının karşılaştırılması hedeflenmiştir.

## **1.3 Hipotez**

Polipropilen lif katkılı betonun çekme dayanımı ve sünekliği lif katkısız normal dayanımlı betona göre daha fazla olacağı düşünülmektedir. Lif katkısız normal dayanımlı betonlarda, her hangi bir çatlak yayılımı için gerekli enerji az olduğundan polipropilen liflerin betona katılması, betonun bu mekanik özelliğini artırır. Sonuç olarak, çatlak ilerleyişi kontrol altına alınmakta ve lifli betonarme kirişlerin kesme mukavemeti artmaktadır. Son yıllarda, betonarme elemanlarda enine donatı yerine lif katılarak kesme kuvvetinin karşılanıp karşılanmayacağı sorusuna cevap aranmaktadır. Bu çalışmada, polipropilen lif katkısı oranı ve kesme açıklığının kiriş yüksekliğine oranının kesme mukavemetine etkileri deneysel olarak değişken alınarak, enine donatı yerine kullanılabilecek polipropilen lif oranı tahmini incelenmiştir.

## BÖLÜM 2

### DENEY KİRİŞLERİ

#### 2.1 Kirişlerin Geometrisi

Bu çalışmada; açıklık ortasında tekil yük etkisine maruz etriyesiz betonarme kirişlerde, yerdeğiştirme kontrollü olarak yük uygulanarak hacimsel polipropilen lif oranı ve a/d oranı değişiminin kiriş davranışına etkileri incelenerek, kirişlerin çatlama, göçme ve kesme mukavemetleri araştırılmıştır. Deneyleerde, yük kiriş açıklığının orta noktasında tekil olarak uygulanmıştır. Kirişlerin enkesit genişliği ( $b_w$ ) 150mm, yüksekliği (h) 240mm alınmıştır. Üretilen kirişlerde; çekme donatısı 2 $\Phi$ 16 seçilmiştir.

#### 2.2 Kirişlerde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

Kirişler üretilirken betonda kullanılan malzemelerin karışım oranları Çizelge 2.1'de gösterilmiştir. Akışkanlaştırıcılardan ASTM C 494, Type A seçilmiştir.

Çizelge 2.1 Betondaki yapı malzemelerinin karışım oranları

Malzeme	Karışım oranları ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
0–1 mm doğal kum	350
1–3 mm kırma kum	530
5–12 mm kırma taş	1010
Çimento CEMI 42.5R	300
Su	164
Akışkanlaştırıcı katkı miktarı	3

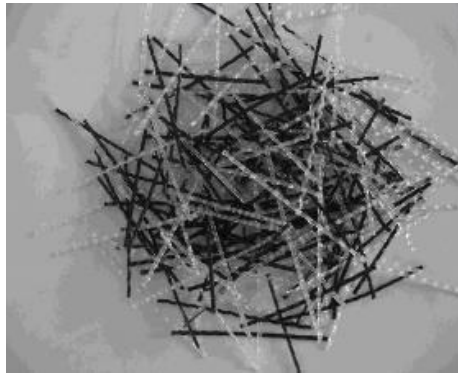
28 gün yaşta kiriş ile aynı ortamda bekletilen 15cm x 15cm küp numunelerde her bir karışımı temsil eden numuneler için betonun ortalama tek eksenli basınç

mukavemetleri bulunmuştur. Küp numune dayanımından ortalama silindir basınç dayanımını hesaplanmıştır. Kirişlerin özellikleri Çizelge 2.2’de verilmiştir. Çizelge 2.2’de,  $f_c$  betonun silindir basınç dayanımını,  $V_f$  hacimsel polipropilen lif oranını,  $\rho$  çekme donatısı oranını,  $a/d$  kesme açıklığının kiriş etkili yüksekliğine oranını ve  $l$  kirişin uzunluğunu göstermektedir. Referans kirişleri B2.5R, B3.5R ve B4.5R ile anılmaktadır ve bu kirişlerde polipropilen lif katkısı yoktur. Ancak, B4.5R kirişi deney hazırlama esnasında hasar gördüğünden, söz konusu kirişte inceleme yapılamamıştır.

Çizelge 2.2 Deney kirişlerinin özellikleri

Kiriş	$f_c$ (MPa)	$V_f$ (%)	$\rho$ (%)	$a/d$	$l$ (mm)
B2.5R	26.50	0.0	1.28	2.5	1400
B2.5P1.0	27.00	1.0	1.28	2.5	1400
B2.5P2.0	13.85	2.0	1.28	2.5	1400
B2.5P3.0	18.45	3.0	1.28	2.5	1400
B3.5R	26.50	0.0	1.28	3.5	2200
B3.5P1.0	27.00	1.0	1.28	3.5	2200
B3.5P2.0	13.85	2.0	1.28	3.5	2200
B3.5P3.0	18.45	3.0	1.28	3.5	2200
B4.5P1.0	27.00	1.0	1.28	4.5	2200
B4.5P2.0	13.85	2.0	1.28	4.5	2200
B4.5P3.0	18.45	3.0	1.28	4.5	2200

Deneyisel çalışmada uzunluk boyunca dalgalı (tall-crimped) polipropilen lif (Şekil 2.1) kullanılmış olup, lifin uzunluğu ( $L_f$ ) 39 mm, kesit boyutları yaklaşık 0.50 mm ve 0.93mm’dir. Üretici firma katalogunda, polipropilen lifin çekme dayanımı yaklaşık 470 MPa ve elastisite modülünün 3.6 GPa olduğu bilgisi verilmektedir.



Şekil: 2.1 Polipropilen dalgalı (kırımlı) lifli

### 2.3 Deney Kirişlerinin Üretimi

Deneyisel çalışmada kullanılan polipropilen lifler piyasada 6 kg lık paketler halinde satılmaktadır. Kiriş kalıpları gerekli ölçülere getirildikten sonra 1400 mm ve 2200 mm'lik kiriş kalıplarına donatıların montajı yapılmıştır. Paspayı olarak 3 cm'lik plastik tırnaklar kullanılmıştır (Şekil 2.2).



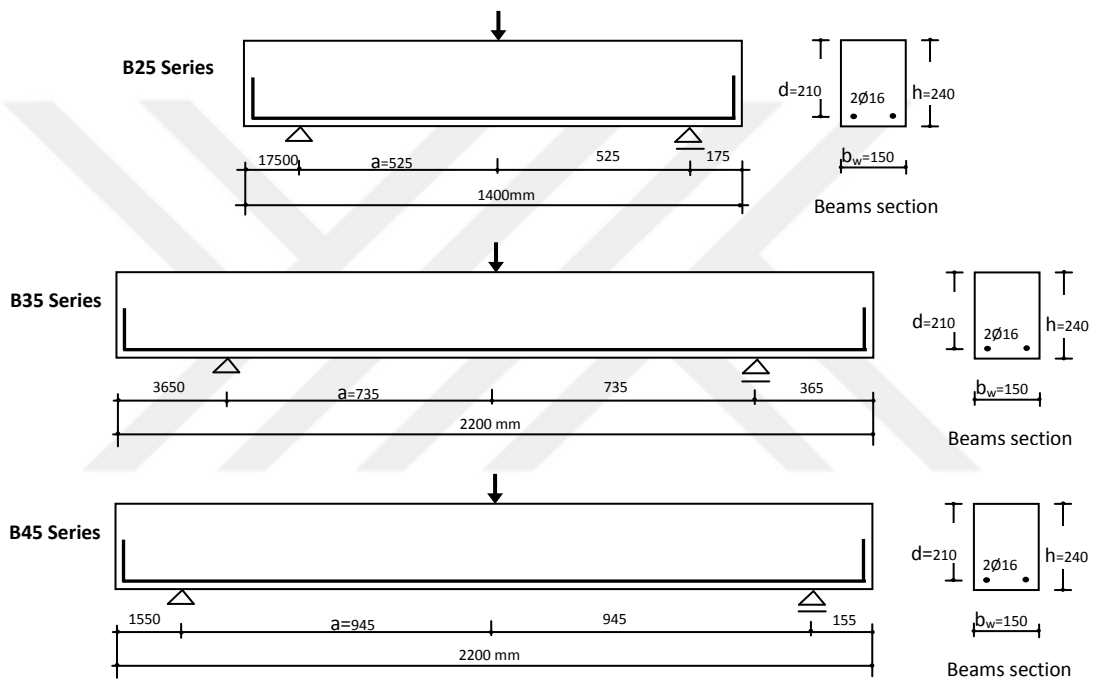
Şekil 2.2 Donatı hazırlanışı, kalıplara yerleştirilmesi ve söküm işlemi, kirişlerin laboratuara taşınması

Hacimsel olarak %1, %2 ve %3 oranlarında polipropilen lif katkısının beton içinde homojen olarak dağılması için 3 farklı mikserde kiriş hacminin %1, %2 ve %3'ü oranında polipropilenler katılarak 10 dakika karıştırılmıştır. Daha sonra lif katkılı beton kalıplara boşaltılarak betonun kalıba yerleştirilmesi işlemi yapılmış ve mala ile kirişlerin üst yüzeyleri düzeltilmiştir. Polipropilen lif katkılı betonun kalıplara yerleştirilme işlemi sırasında ağırlıktan dolayı esneyen kalıplara işkence adı verilen aletler takılarak betonarme kiriş ölçülerinin istenen geometrik özelliklerde olması sağlanmıştır.

Beton döküm işlemi tamamlandıktan sonra prizini almaya bırakılan 12 adet kiriş numunesi 48 saat sonra kirişlerin kalıplarının söküm işlemi yapıldı (Şekil 2.2). Daha sonra betonarme kiriş numunelerine su ile kür uygulandı.

Deneyisel çalışmada kullanılan kirişlerin kesiti, sınır şartları, yükleme durumu ile yerdeğiştirme ölçerlerin kirişler üzerinde yerleşimi Şekil 2.3'de verilmiştir. Yük hücresi üzerindeki düşey yerdeğiştirmelerin (sehimlerin) PDT (potentiometric displacement transducer) yardımıyla ölçüldüğü nokta "1", açıklık ortasında kiriş

yerdeşistirmelerinin ölçüldüğü nokta "2" ile tanımlanmıştır.  $a/d=2.5$  olan kirişlerde; "3" ve "4" noktaları kiriş açıklık ortasından sağ ve sol tarafından 10 cm, "5" ve "6" noktaları kiriş açıklık ortasından sağ ve sol tarafından 30 cm'dir.  $a/d=3.5$  olan kirişlerde; "2" ve "3" noktaları kiriş açıklık ortasından sol ve sağ tarafından 15 cm, "4" ve "5" noktaları kiriş açıklık ortasından sağ ve sol tarafından 30 cm'dir.  $a/d=4.5$  olan kirişlerde; "2" ve "3" noktaları kiriş açıklık ortasından sol ve sağ tarafından 20 cm, "4" ve "5" noktaları kiriş açıklık ortasından sağ ve sol tarafından 40 cm'dir.



Şekil 2.3 Kiriş kesitleri ve donatı yerleşim

### DENEY SONUÇLARI VE TEMEL DEĞİŞKENLERİN ETKİSİ

#### 3.1 Kiriş Deney Sonuçları

Kiriş kesme açıklığının kiriş etkili yüksekliğine oranı ( $a/d$ ) 2.5, 3.5 ve 4.5 olan etriyesiz betonarme kirişlerin yük arttıkça gözlenen çatlak oluşumları ve kirişin kırılma durumuna ne şekilde geldiği, yani kırılmanın biçimi bu Bölüm’de açıklanmıştır.

Bu çalışma kapsamında kirişler biri sabit diğeri hareketli olan iki mesnet üzerine koyularak açıklık ortasında etki eden tekil yük etkisinde yerdeğiştirme kontrollü olarak test edilmiştir. Yükleme hızı  $30 \mu\text{m/s}$ ’dir. Bütün kirişlerin mesnet koşulları, açıklığı, yükleme hızı aynıdır.  $a/d$  ve hacimsel polipropilen lif oranına göre kirişlerin gösterdiği davranışlar farklılıkları temel alınarak karşılaştırmalar yapılmıştır.

#### 3.1.1. $a/d$ Oranı 2.5 Olan Kirişler

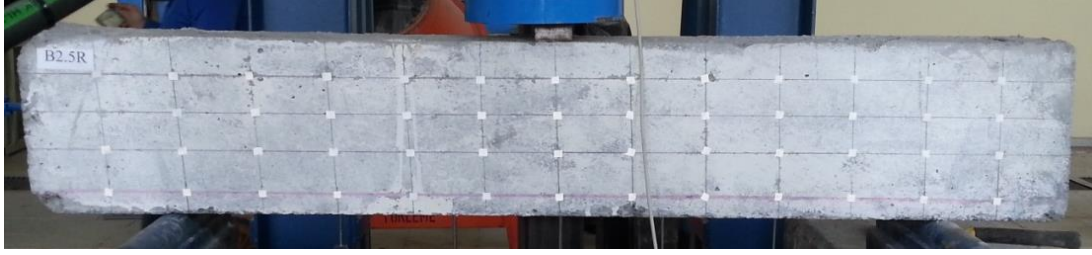
##### 3.1.1.1. B2.5R Kirişi

Açıklık ortasında tekil yük etkisine maruz B2.5R kirişinde, yerdeğiştirme kontrollü yükleme yapılarak kiriş arka yüzünde gözlenen gelişmelerden dikkate değer bazıları Çizelge 3.1’de özetlenmiştir.

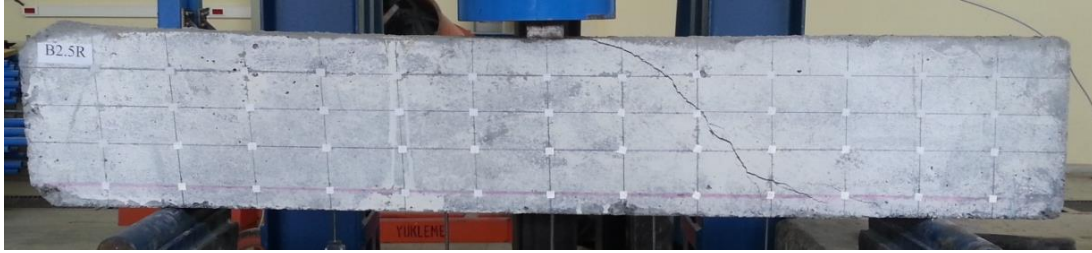
Çizelge 3.1 B2.5R Kirişi

Uygulanan yük; Yerdeğiştirme (kN; mm)	Gözlenen Gelişme
2.49; 0.04	Yük uygulama noktası ile mesnet arasında 1 numaralı eğilme çatlakları işaretlendi.
5.88; 0.12	Kiriş ortasında 2 numaralı eğilme çatlakları oluşumu kaydedildi.
9.78; 0.20	Kirişin kesme açıklığında yük uygulama noktası ile mesnet arasında 3 numaralı eğilme çatlakları oluşumu işaretlendi.
14.87; 0.30	2 numaralı çatlakta 4 numaralı çatlak oluşumu kaydedildi
16.96; 0.35	Kirişin orta noktasına yakın 5 numaralı eğilme çatlakları oluşumu kaydedildi.
17.62; 0.38	Kirişin diğer kesme açıklığında mesnede yakın 6 numaralı eğilme çatlakları, 3 numaralı eğilme çatlaklarında ise 7 numaralı çatlak oluşumu işaretlendi.
20.28; 0.45	Kesme açıklığında 8 numaralı eğilme çatlakları işaretlendi.
25.55; 0.61	6 numaralı çatlakta 9 numaralı eğilme çatlakları ilerlemesi işaretlendi.
31.26; 0.77	Kirişin kesme açıklığında yük uygulama noktası ile mesnet arasında 10 numaralı eğilme çatlakları oluşumu işaretlendi.
39.88; 1.06	10 numaralı çatlakta <b>kiriş yüksekliğinin yarısını geçen yüke doğru yön alan</b> 11 numaralı kesme çatlakları gözlemlendi.
65.85; 2.25	11 numaralı kesme çatlaklarında <b>yüke doğru devam eden</b> 12 numaralı çatlak oluşumu kaydedildi.
63.35; 2.43	12 numaralı çatlakta yük uygulama noktasına doğru ilerleyen 13 numaralı çatlak oluşumu.11 numaralı çatlakta mesnede doğru donatı boyunca ilerleyen 14 ve 15 numaralı çatlak oluşumları işaretlendi
57.54; 2.61	11, 12, 13, 14 ve 15 numaralı çatlaklarda <b>genişleme gözlenerek</b> kesme kırılması ile güç tükenmesi oluştu

Çizelge 3.1 ve Şekil 3.1 incelendiğinde, uygulanan yükün düşük değerlerinde ilk olarak eğilme çatlakları gözlenmiş, daha sonra yük artışı ile kesme açıklığındaki eğilme çatlaklarının yük uygulama noktasına doğru ilerlemesi sonucu kirişte güç tükenmesinin kesme kırılması şeklinde oluştuğu görülmüştür.



a) Yükleme başlamadan önce B2.5R kirişi



b) Güç tükenmesine ulaştığında B2.5R kirişi

Şekil 3.1 Deney öncesi ve sonrasında B2.5R kirişi

### 3.1.1.2. B2.5P1.0 Kirişi

Açıklık ortasında tekil yük etkisine maruz B2.5P1.0 kirişinde, yerdeğiştirme kontrollü yükleme yapılarak kiriş arka yüzünde gözlenen gelişmelerden dikkate değer bazıları Çizelge 3.2’de özetlenmiştir.

Çizelge 3.2 B2.5P1.0 Kirişi

Uygulanan yük; Yerdeğiştirme (kN; mm)	Gözlenen Gelişme
7.31; 0.15	Kiriş ortasında 1 ve 2 numaralı eğilme çatlakları gözlemlendi.
7.99; 0.16	1 numaralı çatlakta <b>kiriş yüksekliğinin yarısına doğru devam eden 3</b> numaralı eğilme çatlak oluşumu işaretlendi.
10.84; 0.22	2 numaralı çatlakta <b>kiriş yüksekliğinin yarısına doğru ilerleyen 4</b> numaralı eğilme çatlak oluşumu kaydedildi.
12.90; 0.28	Yük uygulama noktası ile mesnet arasında 5 numaralı eğilme çatlak oluşumu işaretlendi.
16.93; 0.38	Kiriş kesme açıklığında 6 numaralı eğilme çatlak oluşumu işaretlendi.
26.10; 0.57	Kirişin kesme açıklığında 7 numaralı eğilme çatlak oluşumu işaretlendi..
30.07; 0.69	Kiriş açıklık ortasında 8 numaralı eğilme çatlak oluşumu kaydedildi.

Çizelge 3.2 B2.5P1.0 Kirişi (devamı)

34.36; 0.83	3 numaralı çatlakta <b>kiriş yüksekliğinin yarısını geçen 9 numaralı eğilme çatlağı</b> oluşumu kaydedildi..
45.08; 1.21	Kiriş kesme açıklığında 10 numaralı eğilme çatlağı oluşumu gözlemlendi.
48.99; 1.37	Kiriş kesme açıklığında 11 numaralı eğilme çatlağı oluşumu gözlemlendi.
56.42; 1.59	7 numaralı çatlakta <b>kiriş yüksekliğinin yarısını geçen yüke doğru yönelen</b> ; 12 numaralı kesme çatlağı oluşumu işaretlendi.
78.37; 2.36	Yük uygulama noktası ile mesnet arasında oluşan ve kiriş yüksekliğinin yarısını geçen <b>13</b> numaralı kesme çatlağı işaretlendi
84.42; 2.56	4 numaralı çatlakta 14 numaralı eğilme çatlağı oluşumu işaretlendi.
77.94; 2.68	5 numaralı çatlakta; 15 numaralı kesme çatlağı oluşumu işaretlendi
84.93; 2.90	Kiriş kesme açıklığında 16 numaralı kesme çatlağı oluşumu gözlemlendi
94.02; 3.48	13 numaralı kesme çatlağında <b>yüke doğru yönelen</b> ; 17 numaralı kesme çatlağı oluşumu işaretlendi
93.84; 3.86	Kiriş kesme açıklığında 13 numaralı çatlakta mesnede doğru yönelen 18 numaralı kesme çatlağı oluşumu gözlemlendi
87.31; 4.32	Kiriş kesme açıklığında 19 numaralı eğilme çatlağı işaretlendi.
77.22; 5.72	12 numaralı çatlakta <b>yüke doğru yönelen</b> ; 20 numaralı kesme çatlağı oluşumu işaretlendi 13, 17 ve 18 numaralı çatlaklarda <b>genişleme gözlenerek</b> kesme kırılması ile güç tükenmesi oluştu.



a) Yükleme başlamadan önce B2.5P1.0 kirişi



b) Güç tükenmesine ulaştığında B2.5P1.0 kirişi

Şekil 3.2 Deney öncesi ve sonrasında B2.5P1.0 kirişi

Çizelge 3.2 ve Şekil 3.2 incelendiğinde, uygulanan yükün düşük değerlerinde ilk olarak eğilme çatlakları gözlenmiş, daha sonra yük artışı ile kesme açıklığındaki eğilme çatlağının yük uygulama noktasına doğru ilerlemesi sonucu kirişte güç tükenmesinin kesme kırılması şeklinde oluştuğu görülmüştür.

### 3.1.1.3. B2.5P2.0 Kirişi

Açıklık ortasında tekil yük etkisine maruz B2.5P2.0 kirişinde, yerdeğiştirme kontrollü yükleme yapılarak kiriş arka yüzünde gözlenen gelişmelerden dikkate değer bazıları Çizelge 3.3’de özetlenmiştir.

Çizelge 3.3 B2.5P2.0 Kirişi

Uygulanan yük; Yerdeğiştirme (kN; mm)	Gözlenen gelişme
10.00; 0.19	Kesme açıklığında 1 numaralı kesme çatlağı işaretlendi.
12.00; 0.26	Kiriş açıklık ortasında 2 numaralı eğilme çatlağı işaretlendi.
24.10; 0.60	Kesme açıklığında 3 numaralı kesme çatlağı işaretlendi.
37.20; 0.98	Kesme açıklığında 4 numaralı kesme çatlağı işaretlendi.
46.80; 1.26	1 numaralı çatlakta <b>kiriş yüksekliğinin yarısını geçen yüke doğru yönelen 5</b> numaralı kesme çatlağı oluşumu kaydedildi.
74.21; 2.28	3 numaralı çatlakta <b>yük uygulama noktasına doğru yönelen 6</b> numaralı kesme çatlağı oluşumu kaydedildi.
82.67; 2.65	4 numaralı çatlakta <b>yüke doğru yönelen 7</b> numaralı kesme çatlağı oluşumu kaydedildi.
82.00; 2.87	7 numaralı çatlakta yük uygulama noktasına doğru ilerleyen 8 numaralı kesme çatlağı işaretlendi.
79.70; 4.47	Kesme açıklığında 9 numaralı kesme çatlağı işaretlendi.
75.60; 5.78	5 numaralı çatlakta <b>yüke doğru ilerleyen 10</b> numaralı kesme çatlağı oluşumu kaydedildi
72.70; 6.35	4, 7 ve 8 numaralı çatlaklarda <b>genişleme gözlenerek</b> kesme kırılması ile güç tükenmesi oluştu

Çizelge 3.3 ve Şekil 3.3 incelendiğinde, uygulanan yükün düşük değerlerinde ilk olarak eğilme çatlakları gözlenmiş, daha sonra yük artışı ile kesme açıklığındaki eğilme çatlağının yük uygulama noktasına doğru ilerlemesi sonucu kirişte güç tükenmesinin kesme kırılması şeklinde oluştuğu görülmüştür.



a) Yükleme başlamadan önce B2.5P2.0 kirişi



b) Güç tükenmesine ulaştığında B2.5P2.0 kirişi

Şekil 3.3 Deney öncesi ve sonrasında B2.5P2.0 kirişi

#### 3.1.1.4. B2.5P3.0 Kirişi

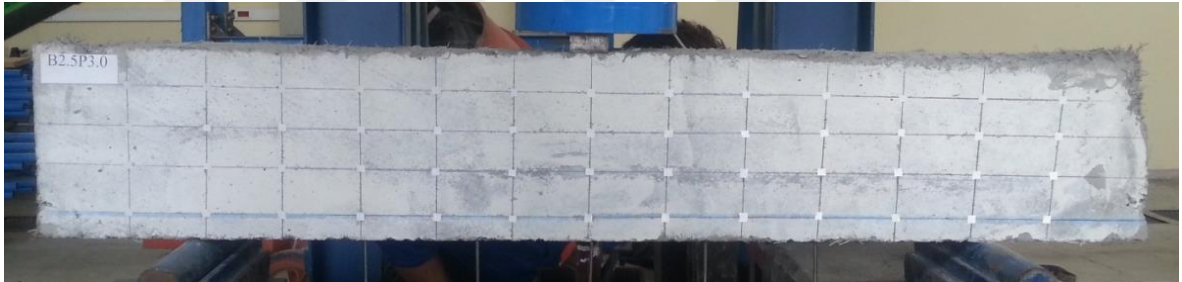
Açıklık ortasında tekil yük etkisine maruz B2.5P3.0 kirişinde, yerdeğiştirme kontrollü yükleme yapılarak kiriş arka yüzünde gözlenen gelişmelerden dikkate değer bazıları Çizelge 3.4’de özetlenmiştir.

Çizelge 3.4 B2.5P3.0 Kirişi

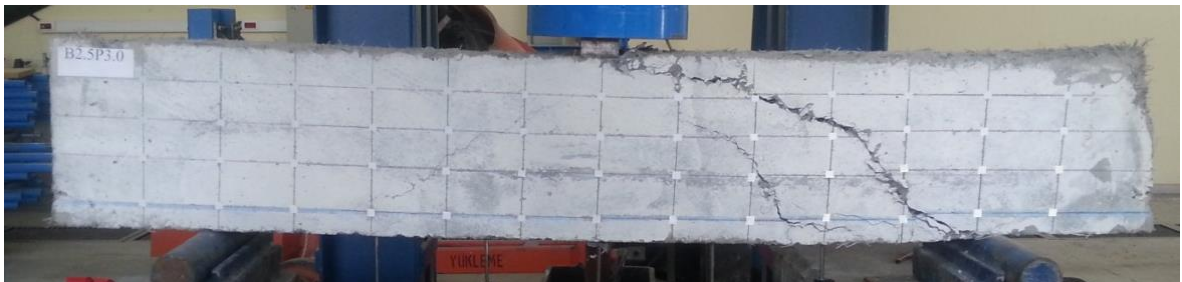
Uygulanan yük; Yerdeğiştirme (kN; mm)	Gözlenen gelişme
10.62; 0.36	Kiriş kesme açıklığında 1 numaralı kesme çatlak oluşumu gözlemlendi.
11.54; 0.37	Kiriş kesme açıklığında 2 numaralı kesme çatlak oluşumu gözlemlendi.
17.15; 0.52	Kiriş kesme açıklığında 3 numaralı kesme çatlak oluşumu gözlemlendi.
21.17; 0.63	Kirişin kesme açıklığında, yük uygulama noktası ile mesnet arasında 4 numaralı kesme çatlak oluşumu işaretlendi.
25.37; 0.75	Kirişin orta noktasına yakın 5 numaralı eğilme çatlak oluşumu kaydedildi.
28.71; 0.85	Kirişin kesme açıklığında 6 numaralı çatlak oluşumu işaretlendi.
35.53; 1.03	Kirişin orta noktasına yakın 7 numaralı kesme çatlak oluşumu kaydedildi.
42.95; 1.25	Kirişin orta noktasına yakın 8 numaralı eğilme çatlak oluşumu kaydedildi.

Çizelge 3.4 B2.5P3.0 Kirişi (devamı)

52.90; 1.55	3 numaralı çatlakta kiriş yüksekliğinin yarısına yaklaşan 9 numaralı kesme çatlağı işaretlendi.
57.64; 1.69	7 numaralı çatlakta kiriş yüksekliğinin yarısını geçen 10 numaralı kesme çatlağı işaretlendi.
62.70; 1.85	2 numaralı çatlakta <b>kiriş yüksekliğinin yarısını geçen ve yük uygulama noktasına doğru ilerleyen</b> 11 numaralı kesme çatlağı işaretlendi.
98.09; 3.57	4 numaralı çatlakta <b>kiriş yüksekliğinin yarısını geçen ve yüke doğru ilerleyen</b> 12 numaralı kesme çatlağı işaretlendi.
110.86; 5.03	9 numaralı çatlakta yüke doğru ilerleyen 13 numaralı kesme çatlak oluşumu gözlemlendi.
109.42; 5.56	11 numaralı çatlakta yük uygulama noktasına kadar ulaşan 14 numaralı kesme çatlak oluşumu gözlemlendi
108.75; 6.00	2 numaralı çatlakta kirişin mesnet noktasına uzanan 15 numaralı kesme çatlağı oluşumu kaydedildi.
95.23; 7.45	Kirişin mesnet noktasına yakın 16 numaralı kesme çatlağı oluşumu. 14 numaralı çatlakta 17 numaralı çatlak oluşumu kaydedildi.
88.99; 8.31	2, 11, 14 ve 17 numaralı çatlakların <b>genişlemesi ile</b> güç tükenmesi oluştu.



a) Yükleme başlamadan önce B2.5P3.0 kirişi



b) Güç tükenmesine ulaştığında B2.5P3.0 kirişi

Şekil 3.4 Deney öncesi ve sonrasında B2.5P3.0 kirişi

Çizelge 3.4 ve Şekil 3.4 incelendiğinde, uygulanan yükün düşük değerlerinde ilk olarak eğilme çatlakları gözlemlenmiş, daha sonra yük artışı ile kesme açıklığındaki eğilme

çatlağının yük uygulama noktasına doğru ilerlemesi sonucu kirişte güç tükenmesinin kesme kırılması şeklinde oluştuğu görülmüştür.

### 3.1.2. a/d Oranı 3.5 Olan Kirişler

#### 3.1.2.1. B3.5R Kirişi

Açıklık ortasında tekil yük etkisine maruz B3.5R kirişinde, yerdeğiştirme kontrollü yükleme yapılarak kiriş arka yüzünde gözlenen gelişmelerden dikkate değer bazıları Çizelge 3.5’de özetlenmiştir.

Çizelge 3.5 B3.5R Kirişi

Uygulanan yük; Yerdeğiştirme (kN; mm)	Gözlenen gelişme
0.10; 2.92	Kirişin ortalarında 1 numaralı eğilme çatlağı oluştuğu görüldü.
0.13; 4.04	Kirişin ortalarında 2 numaralı eğilme çatlağı oluştuğu kaydedildi.
0.15; 4.59	Yük uygulama noktası ile mesnet arasında 3 numaralı eğilme çatlağı işaretlendi.
0.20; 6.08	Kirişin diğer kesme açıklığında, yük uygulama noktası ile mesnet arasında 4 numaralı eğilme çatlağı oluşumu işaretlendi.
0.60; 15.54	Kirişin mesnet noktasına yakın 5 numaralı eğilme çatlağı oluşumu kaydedildi.
2.25; 39.48	Kirişin diğer kesme açıklığında mesnede yakın 6 numaralı çatlak oluşumu işaretlendi.
2.35; 41.05	3 numaralı çatlakta <b>kiriş yüksekliğinin yarısını geçen yüke doğru yönelen 7</b> numaralı kesme çatlağı oluşumu kaydedildi.
2.40; 41.65	5 numaralı çatlakta kiriş yüksekliğinin yarısını geçen ve yüke doğru yönelen 8 numaralı kesme çatlağı işaretlendi.
2.44; 42.28	2 numaralı çatlakta <b>kiriş yüksekliğinin yarısını geçen 9</b> numaralı eğilme çatlağı işaretlendi.
2.49; 42.96	1 numaralı çatlakta 10 numaralı eğilme çatlağı işaretlendi.
2.53; 43.59	4 numaralı çatlakta 11 numaralı eğilme çatlak oluşumu kaydedildi.
2.62; 44.96	8 numaralı çatlakta yüke doğru uzanan; 12 numaralı kesme çatlağı oluşumu işaretlendi.
3.76; 59.98	8 numaralı çatlakta mesnede doğru yönelen 13 numaralı çatlak gözlemlendi.
4.82; 72.05	Yük ile mesnet arasında 14 ve 15 numaralı yeni çatlak oluşumları gözlemlendi. 8, 12 ve 13 numaralı çatlakların genişliği arttı, kirişte kesme kırılması ile güç tükenmesi oluştu.

Çizelge 3.5 ve Şekil 3.5 incelendiğinde, uygulanan yükün düşük değerlerinde ilk olarak eğilme çatlakları gözlenmiş, daha sonra yük artışı ile kesme açıklığındaki eğilme çatlağının yük uygulama noktasına doğru ilerlemesi sonucu kirişte güç tükenmesinin kesme kırılması şeklinde olduğu görülmüştür.



a) Yükleme başlamadan önce B3.5R kirişi



b) Güç tükenmesine ulaştığında B3.5R kirişi

Şekil 3.5 Deney öncesi ve sonrasında B3.5R kirişi

### 3.1.2.2. B3.5P1.0 Kirişi

Açıklık ortasında tekil yük etkisine maruz B3.5P1.0 kirişinde, yerdeğiştirme kontrollü yükleme yapılarak kiriş arka yüzünde gözlenen gelişmelerden dikkate değer bazıları Çizelge 3.6'de özetlenmiştir.

Çizelge 3.6 B3.5P1.0 Kirişi

Uygulanan yük; Yerdeğiştirme (kN; mm)	Gözlenen gelişme
0.12; 4.04	Kiriş açıklık ortasında 1 numaralı eğilme çatlak oluşumu gözlemlendi.
0.25; 7.64	Kiriş ortasında 2 numaralı eğilme çatlak oluşumu kaydedildi.
0.27; 8.27	Yük uygulama noktası ile mesnet arasında 3 numaralı eğilme çatlak işaretlendi.
0.41; 11.78	Yük uygulama noktası ile mesnet arasında 4 numaralı eğilme çatlak işaretlendi.
0.45; 13.23	Kirişin diğer kesme açıklığında mesnede yakın 5 numaralı eğilme çatlak oluşumu işaretlendi.
0.64; 18.16	Kirişin kesme açıklığında mesnede yakın 6 numaralı çatlak oluşumu işaretlendi.
0.88; 23.45	1 numaralı çatlakta kiriş yüksekliğinin yarısına kadar gelen yüke doğru yönelen 7 numaralı eğilme çatlak oluşumu kaydedildi.
1.07; 27.32	2 numaralı çatlakta kiriş yüksekliğinin yarısını ulaşan ve yüke doğru yönelen 8 numaralı eğilme çatlak işaretlendi.
1.40; 33.39	3 numaralı çatlakta kiriş yüksekliğinin yarısına doğru ilerleyen 9 numaralı eğilme çatlak işaretlendi.
1.71; 38.89	Kirişin diğer kesme açıklığında mesnede yakın 10 numaralı eğilme çatlak oluşumu işaretlendi.
1.92; 42.58	9 numaralı çatlakta <b>kiriş yüksekliğinin yarısını geçen ve yüke doğru yönelen</b> 11 numaralı çatlak oluşumu işaretlendi.
2.11; 45.72	Mesnetten başlayarak yüke doğru uzanan; 12 numaralı kesme çatlak oluştuğu gözlemlendi.
2.37; 50.50	12 numaralı çatlakta yüke doğru yön alan 13 numaralı kesme çatlak işaretlendi.
5.15; 93.50	13 numaralı çatlakta yüke doğru devam eden 14 numaralı kesme çatlak oluştuğu kaydedildi.
5.38; 93.49	Kiriş orta noktasında 15 numaralı eğilme çatlak oluştuğu görüldü.
5.91; 81.85	Yük uygulama noktası ile mesnet arasında 16 numaralı eğilme çatlak işaretlendi.
6.70; 86.33	Yük uygulama noktası ile mesnet arasında yüke doğru yönelen 17 numaralı eğilme çatlak işaretlendi
7.36; 75.71	12, 13 ve 14 numaralı çatlaklarda <b>yüke doğru yönelen</b> 18 numaralı kesme çatlak ilerlemesi ve diğer çatlaklarda genişleme gözlenerek güç tükenmesi oluştu.

Çizelge 3.6 ve Şekil 3.6 incelendiğinde, uygulanan yükün düşük değerlerinde ilk olarak eğilme çatlakları gözlemlenmiş, daha sonra yük artışı ile kesme açıklığındaki eğilme

çatlağının yük uygulama noktasına doğru ilerlemesi sonucu kirişte güç tükenmesinin kesme kırılması şeklinde oluştuğu görülmüştür.



a) Yükleme başlamadan önce B3.5P1.0 kirişi



b) Güç tükenmesine ulaştığında B3.5P1.0 kirişi

Şekil 3.6 Deney öncesi ve sonrasında B3.5P1.0 kirişi

### 3.1.2.3. B3.5P2.0 Kirişi

Açıklık ortasında tekil yük etkisine maruz B3.5P2.0 kirişinde, yerdeğiştirme kontrollü yükleme yapılarak kiriş arka yüzünde gözlenen gelişmelerden dikkate değer bazıları Çizelge 3.7'de özetlenmiştir.

Çizelge 3.7 B3.5P2.0 Kirişi

Uygulanan yük; Yerdeğiştirme (kN; mm)	Gözlenen gelişme
10.88; 0.27	Kiriş ortasında 1 numaralı eğilme çatlağı oluşumu gözlemlendi.
15.94; 0.47	Kiriş ortasında 2 numaralı eğilme çatlağı oluşumu kaydedildi.
24.06; 0.85	Mesnetten başlayan ve yüke doğru ilerleyen 3 numaralı kesme çatlağı işaretlendi.
30.84; 1.21	Kiriş ortasında 4 numaralı eğilme çatlağı oluşumu kaydedildi.

Çizelge 3.7 B3.5P2.0 Kirişi (devamı)

37.72; 1.59	5 numaralı kesme çatlakları oluşumu kaydedildi.
42.47; 1.86	3 numaralı çatlakta <b>kiriş yüksekliğinin yarısını geçen ve yüke doğru yönelen</b> 6 numaralı kesme çatlakları işaretlendi.
49.33; 2.27	5 numaralı çatlakta kiriş yüksekliğinin yarısını geçen ve yüke doğru yönelen 7 numaralı kesme çatlakları işaretlendi.
57.39; 2.78	6 numaralı çatlakta kiriş yüksekliğinin yarısını geçen ve yüke doğru yönelen 8 numaralı kesme çatlakları işaretlendi.
63.5; 3.21	7 numaralı çatlakta yüke doğru ilerleyen 9 numaralı kesme çatlakları işaretlendi.
72.89; 4.00	4 numaralı çatlakta kiriş yüksekliğinin yarısını geçen 10 numaralı çatlak oluşumu işaretlendi.
70.09; 4.17	9 numaralı çatlakta yüke doğru ilerleyen 11 numaralı çatlak oluşumu kaydedildi.
84.86; 7.15	Kiriş ortasında 12 numaralı eğilme çatlakları oluşumu kaydedildi.
67.26; 8.10	3, 6 ve 8 numaralı çatlaklarda <b>genişleme gözlenerek</b> kesme kırılması ile güç tükenmesi oluştu.



a) Yükleme başlamadan önce B3.5P2.0 kirişi



b) Güç tükenmesine ulaştığında B3.5P2.0 kirişi

Şekil 3.7 Deney öncesi ve sonrasında B3.5P2.0 kirişi

Çizelge 3.7 ve Şekil 3.7 incelendiğinde, uygulanan yükün düşük değerlerinde ilk olarak eğilme çatlakları gözlenmiş, daha sonra yük artışı ile kesme açıklığındaki eğilme

çatlağının yük uygulama noktasına doğru ilerlemesi sonucu kirişte güç tükenmesinin kesme kırılması şeklinde oluştuğu görülmüştür.

#### 3.1.2.4. B3.5P3.0 Kirişi

Açıklık ortasında tekil yük etkisine maruz B3.5P3.0 kirişinde, yerdeğiştirme kontrollü yükleme yapılarak kiriş arka yüzünde gözlenen gelişmelerden dikkate değer bazıları Çizelge 3.8’de özetlenmiştir.

Çizelge 3.8 B3.5P3.0 Kirişi

Uygulanan yük; Yerdeğiştirme (kN; mm)	Gözlenen gelişme
12.81; 0.66	Kesme açıklığında 1 numaralı eğilme çatlakları işaretlendi.
21.55; 1.15	Kiriş ortasında 2 numaralı eğilme çatlakları oluşumu kaydedildi.
35.06; 1.93	Kesme açıklığında 3 numaralı kesme çatlakları işaretlendi.
44.80; 2.52	1 numaralı çatlakta kiriş yüksekliğinin yarısına ulaşan 4 numaralı eğilme çatlakları oluşumu işaretlendi.
54.64; 3.16	3 numaralı çatlakta <b>kiriş yüksekliğinin yarısını geçen yüke doğru yönelen 5</b> numaralı kesme çatlakları oluşumu kaydedildi.
56.09; 3.26	Kirişin kesme açıklığında mesnede yakın 6 numaralı kesme çatlakları oluşumu işaretlendi.
56.76; 3.30	5 numaralı çatlakta kiriş yüksekliğinin yarısını geçen yüke doğru yönelen 7 numaralı kesme çatlakları oluşumu kaydedildi.
59.79; 3.50	Kirişin diğer kesme açıklığında mesnede yakın 8 numaralı kesme çatlakları oluşumu işaretlendi.
67.63; 4.04	6 numaralı çatlakta kiriş yüksekliğinin yarısını geçen ve yüke yönelen 9 numaralı kesme çatlakları işaretlendi.
76.69; 4.82	Kiriş ortasına yakın bölgede 10 numaralı eğilme çatlakları işaretlendi.
82.54; 5.78	Kirişin kesme açıklığında mesnede yakın 11 numaralı kesme çatlakları oluşumu işaretlendi.
91.52; 7.16	8 numaralı çatlakta yüke doğru uzanan; 12 numaralı kesme çatlakları oluşumu işaretlendi.
95.60; 7.92	Kiriş orta bölgesinde 13 numaralı eğilme çatlakları oluşumu gözlemlendi
97.17; 8.63	Yük uygulama noktası ile mesnet arasında 14 numaralı eğilme çatlakları işaretlendi
101.42; 10.91	12 numaralı çatlakta <b>yüke doğru ilerleyen 15</b> numaralı çatlak oluşumu kaydedildi.
99.40; 12.28	10 numaralı çatlakta <b>kiriş yüksekliğinin yarısını geçen 16</b> numaralı çatlak işaretlendi.
80.99; 13.88	5, 6, 9 ve 11 numaralı çatlaklarda <b>genişleme gözlenerek</b> kesme kırılması ile güç tükenmesi oluştu.

Çizelge 3.8 ve Şekil 3.8 incelendiğinde, , uygulanan yükün düşük değerlerinde ilk olarak eğilme çatlakları gözlenmiş, daha sonra yük artışı ile kesme açıklığındaki eğilme çatlağının yük uygulama noktasına doğru ilerlemesi sonucu kirişte güç tükenmesinin kesme kırılması şeklinde olduğu görülmüştür.



a) Yükleme başlamadan önce B3.5P3.0 kirişi



b) Güç tükenmesine ulaştığında B3.5P3.0 kirişi

Şekil 3.8 Deney öncesi ve sonrasında B3.5P3.0 kirişi

### 3.1.3. a/d Oranı 4.5 Olan Kirişler

B4.5R kirişi, kirişin deneye hazırlanması esnasında hasar gördüğünden, söz konusu kirişte inceleme yapılamamıştır. Bu nedenle; a/d oranı 4.5 olan kirişlerde, çizelgeler, deney öncesi ve sonrası kiriş görünümleri B4.5P1.0, B4.5P2.0 ve B4.5P3.0 kirişleri için aşağıda verilmiştir.

### 3.1.3.1. B4.5P1.0 Kirişi

Açıklık ortasında tekil yük etkisine maruz B4.5P1.0 kirişinde, yerdeğiştirme kontrollü yükleme yapılarak kiriş arka yüzünde gözlenen gelişmelerden dikkate değer bazıları Çizelge 3.9'de özetlenmiştir.

Çizelge 3.9 B4.5P1.0 Kirişi

Uygulanan yük; Yerdeğiştirme (kN; mm)	Gözlenen gelişme
10.11; 0.75	1 numaralı eğilme çatlak oluşumu gözlemlendi.
11.13; 0.88	Kiriş ortasında 2 numaralı eğilme çatlak oluşumu kaydedildi.
15.71 ; 1.47	Kiriş kesme açıklığında 3 numaralı eğilme çatlak işaretlendi.
17.43; 1.68	4 numaralı eğilme çatlak oluşumu kaydedildi.
20.60; 2.12	5 numaralı eğilme çatlak oluşumu işaretlendi kaydedildi.
23.92; 2.56	6 numaralı eğilme çatlak oluşumu işaretlendi kaydedildi
24.95; 2.72	7 numaralı eğilme çatlak oluşumu işaretlendi kaydedildi.
26.64; 2.96	Kirişin mesnet noktasına yakın 8 ve 9 numaralı eğilme çatlak oluşumu kaydedildi.
28.24; 3.19	Kiriş açıklık bölgesinde 10 numaralı eğilme çatlak işaretlendi.
32.06; 3.73	Kiriş açıklık ortasında 11 numaralı eğilme çatlak işaretlendi.
35.72; 4.29	Kiriş mesnedine yakın bölgede 12 ve 13 numaralı eğilme çatlak oluşumu gözlemlendi.
37.83; 4.60	14 numaralı eğilme çatlak oluşumu kaydedildi.
39.35; 4.85	5 numaralı çatlakta <b>kiriş yüksekliğinin yarısını geçen</b> ; 15 numaralı eğilme çatlak oluşumu işaretlendi.
46.19; 5.98	2 numaralı çatlakta <b>kiriş yüksekliğinin yarısını geçen ve yük uygulama noktasına doğru uzanan</b> 16 numaralı kesme çatlak oluşumu işaretlendi
61.46; 10.30	2 numaralı çatlakta 17 numaralı eğilme çatlak ve 6 numaralı çatlakta; 18 numaralı eğilme çatlak oluştuğu görüldü.
61.70; 12.96	1 numaralı çatlakta yüke uygulama noktasına doğru ilerleyen; 19 numaralı eğilme çatlak oluştuğu kaydedildi.
60.65; 20.99	12 numaralı çatlakta; 20 numaralı çatlak oluştuğu görüldü.
60.62; 25.42	21 ve 22 numaralı eğilme çatlakları oluştuğu gözlemlendi.
60.40; 31.33	2 ve 16 numaralı çatlaklar arasında 23 numaralı çatlak ilerlemesi. 19 numaralı çatlakta 24 numaralı çatlak oluşumu işaretlendi
59.65; 36.40	Mesnede yakın 25 ve 26 numaralı çatlak oluşumları işaretlendi.
50.13; 42.74	Kirişin kesme açıklığında mesnede yakın 26 numaralı kesme çatlak oluşumu işaretlendi. 2 ve 16 numaralı çatlaklarda <b>genişleme gözlenerek</b> , çatlakların yüke doğru ilerlemesi ve genişlemesi sonucu eğilme kırılması ile güç tükenmesi oluştu

Çizelge 3.9 ve Şekil 3.9 incelendiğinde, uygulanan yükün düşük değerlerinde ilk olarak eğilme çatlakları belirlenmiş, daha sonra yük artışı ile kesme açıklığındaki eğilme çatlağının yük uygulama noktasına doğru ilerlemesi sonucu kirişte güç tükenmesi oluşumu gözlenmiştir.



a) Yükleme başlamadan önce B4.5P1.0 kirişi



b) Güç tükenmesine ulaştığında B4.5P1.0 kirişi

Şekil 3.9 Deney öncesi ve sonrasında B4.5P1.0 kirişi

### 3.1.3.2. B4.5P2.0 Kirişi

Açıklık ortasında tekil yük etkisine maruz B4.5P2.0 kirişinde, yerdeğiştirme kontrollü yükleme yapılarak kiriş arka yüzünde gözlenen gelişmelerden dikkate değer bazıları Çizelge 3.10'de özetlenmiştir.

Çizelge 3.10 B4.5P2.0 Kirişi

Uygulanan yük; Yerdeğiştirme (kN; mm)	Gözlenen gelişme
5.99; 0.34	Kiriş kesme açıklığı orta bölgesinde 1, 2 ve 3 numaralı eğilme çatlakları oluşumu gözlemlendi.
9.04; 0.64	4 numaralı eğilme çatlakları işaretlendi
10.11; 0.75	Kiriş kesme açıklığında orta bölgede 5 numaralı eğilme çatlakları işaretlendi.
11.13; 0.88	1 numaralı çatlakta <b>kiriş yüksekliğinin yarısını geçen yüke doğru yönelen 6 numaralı</b> eğilme çatlakları oluşumu kaydedildi..
12.21; 1.01	Kirişin kesme açıklığı ortasında noktasına kiriş yüksekliğinin yarısına ulaşan 7 numaralı eğilme çatlakları oluşumu kaydedildi.
13.99; 1.24	Kirişin diğer kesme açıklığında kiriş yüksekliğinin yarısına ulaşan 8 numaralı eğilme çatlakları oluşumu kaydedildi
16.76; 1.61	Kiriş yüksekliğinin yarısına ulaşan 9 numaralı eğilme çatlakları oluşumu kaydedildi.
19.99; 2.05	Kiriş yüksekliğinin yarısına ulaşan 10 numaralı eğilme çatlakları oluşumu kaydedildi.
27.10; 3.03	Kiriş yüksekliğinin yarısına ulaşan 12 numaralı eğilme çatlakları oluşumu kaydedildi.
29.95; 3.43	Kiriş yüksekliğinin yarısına ulaşan 13 ve 14 numaralı eğilme çatlakları oluşumu kaydedildi.
31.54; 3.66	Kiriş yüksekliğinin yarısına ulaşan 15.16 ve 17 numaralı eğilme çatlakları oluşumu kaydedildi.
35.58; 4.13	<b>Kiriş yüksekliğinin yarısına ulaşan 18 numaralı kesme çatlakları</b> oluşumu kaydedildi.
39.35; 4.85	Kirişin mesnet bölgesine yakın kesme açıklığında kiriş yüksekliğinin yarısına ulaşan 19 numaralı kesme çatlakları oluşumu kaydedildi.
52.16; 6.78	Kirişin orta bölgesine yakın kesme açıklığında kiriş yüksekliğinin yarısına ulaşan 20 numaralı kesme çatlakları oluştuğu görüldü.
52.65; 36.40	Kiriş yüksekliğinin yarısını geçen 21 ve 22 numaralı eğilme çatlakları oluştuğu görüldü.
50.13; 42.74	10 numaralı çatlakta kiriş yüksekliğinin yarısını geçen yüke doğru yön alan 23 numaralı kesme çatlakları oluştuğu kaydedildi. Kirişte <b>eğilme kırılması ile güç tükenmesi</b> oluşumu gözlenmiştir.

Çizelge 3.10 ve Şekil 3.10 incelendiğinde, uygulanan yükün düşük değerlerinde ilk olarak eğilme çatlakları belirlenmiş, daha sonra yük artışı ile kesme açıklığındaki eğilme çatlaklarının yük uygulama noktasına doğru ilerlemesi sonucu kirişte güç tükenmesi oluşumu gözlenmiştir.



a) Yükleme başlamadan önce B4.5P2.0 kirişi



b) Güç tükenmesine ulaştığında B4.5P2.0 kirişi

Şekil 3.10 Deney öncesi ve sonrasında B4.5P2.0 kirişi

### 3.1.3.3. B4.5P3.0 Kirişi

Açıklık ortasında tekil yük etkisine maruz B4.5P3.0 kirişinde, yerdeğiştirme kontrollü yükleme yapılarak kiriş arka yüzünde gözlenen gelişmelerden dikkate değer bazıları Çizelge 3.11’de özetlenmiştir.

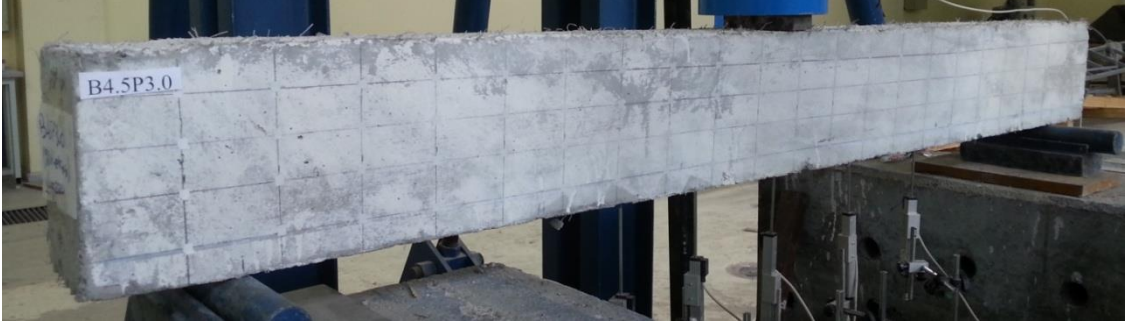
Çizelge 3.11 B4.5P3.0 Kirişi

Uygulanan yük; Yerdeğiştirme (kN; mm)	Gözlenen gelişme
19.89; 2.13	1 ve 2 numaralı eğilme çatlakları işaretlendi.
26.83; 4.04	Kiriş yüksekliğinin yarısına gelen 3 ve 4 numaralı eğilme çatlağı oluşumu kaydedildi.
29.81; 3.43	Kiriş yüksekliğinin yarısına gelen 5, 6, 7 ve 8 numaralı eğilme çatlağı oluştuğu görüldü.
37.37; 4.50	Kiriş yüksekliğinin yarısına gelen 9 ve 10 numaralı eğilme çatlağı oluşumu kaydedildi.
38.88; 4.73	1 numaralı çatlakta 11 numaralı kesme çatlağı kaydedildi.
42.47; 5.26	Kiriş yüksekliğinin yarısına kadar gelen 12 numaralı eğilme çatlağı oluştuğu kaydedildi.

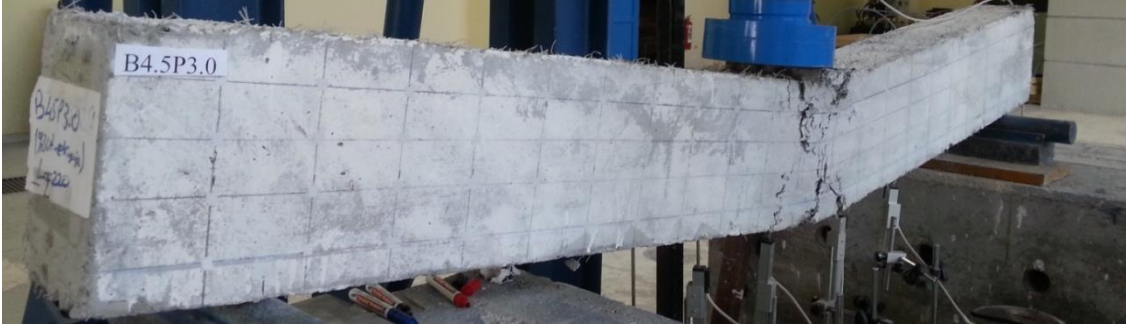
Çizelge 3.11 B4.5P3.0 Kirişi (devamı)

45.36; 5.70	13 numaralı eğilme çatlak oluşumu kaydedildi
48.83; 6.24	1 numaralı çatlakta 10 numaralı eğilme çatlak işaretlendi.
50.11; 6.46	4 numaralı çatlakta 11 numaralı eğilme çatlak oluşumu kaydedildi.
51.49; 6.67	8 numaralı çatlakta yüke doğru uzanan; 12 numaralı kesme çatlak oluşumu işaretlendi.
53.54; 7.01	Kiriş kesme açıklığında Kiriş yüksekliğinin yarısına gelen 14 numaralı eğilme çatlak oluşumu kaydedildi.
54.24; 7.14	11 numaralı çatlakta <b>kiriş yüksekliğinin yarısını geçen ve yük uygulama noktasına doğru uzanan 15</b> numaralı kesme çatlak oluşumu kaydedildi.
55.49; 7.35	16 numaralı eğilme çatlak işaretlendi.
56.79; 7.56	17 ve 18 numaralı eğilme çatlakları oluşumu gözlemlendi.
58.72; 7.88	6 numaralı çatlakta <b>kiriş yüksekliğinin yarısını geçen</b> ; 19 numaralı eğilme çatlak oluşumu işaretlendi.
60.60; 8.24	9 numaralı çatlakta kiriş yüksekliğinin yarısını geçen; 20 numaralı eğilme çatlak oluşumu işaretlendi.
63.05; 8.69	4 numaralı çatlakta kiriş yüksekliğinin yarısını geçen; 21 numaralı eğilme çatlak oluşumu işaretlendi.
64.17; 8.92	10 numaralı çatlakta kiriş yüksekliğinin yarısını geçen; 22 numaralı eğilme çatlak oluşumu işaretlendi.
68.11; 10.31	Kiriş mesnet bölgesinden başlayıp kiriş yüksekliğinin yarısını geçen 23 numaralı eğilme çatlak oluşumu işaretlendi.
67.61; 11.57	Kiriş yüksekliğinin yarısını geçen 24 ve 25 numaralı eğilme çatlak oluşumu işaretlendi
68.62; 19.04	Kiriş yüksekliğinin yarısını geçen 26 numaralı kesme çatlak oluşumu işaretlendi.
68.92; 21.91	18 numaralı çatlakta kiriş yüksekliğinin yarısını geçen; 27 ve 28 numaralı eğilme çatlak oluşumu işaretlendi.
68.79; 26.24	2 numaralı çatlakta kiriş yüksekliğinin yarısını geçen; 29 numaralı kesme çatlak oluşumu işaretlendi.
68.84; 32.18	26 numaralı çatlakta kiriş yüksekliğinin yarısını geçen ve yük uygulama noktasına doğru uzanan; 30 numaralı kesme çatlak oluşumu işaretlendi.
68.80; 39.80	5 numaralı çatlakta Kiriş kesme açıklığında orta bölgede oluşan; 31 ve 32 numaralı eğilme çatlak oluşumu işaretlendi.
67.35; 46.32	33 ve 34 numaralı eğilme çatlak oluşumu işaretlendi.
65.09; 61.90	35 numaralı eğilme çatlak oluşumu işaretlendi.
64.42; 67.14	36 numaralı eğilme çatlak oluşumu işaretlendi.
55.88; 77.68	31 numaralı çatlakta <b>kiriş yüksekliğinin yarısını geçen</b> ; 37 ve 38 numaralı eğilme çatlak oluşumu işaretlendi. <b>Kirişte eğilme kırılması ile güç tükenmesi</b> oluştu.

Çizelge 3.11 ve Şekil 3.11 incelendiğinde, uygulanan yükün düşük değerlerinde ilk olarak eğilme çatlakları belirlenmiş, daha sonra yük artışı ile kesme açıklığındaki eğilme çatlağının yük uygulama noktasına doğru ilerlemesi sonucu kirişte güç tükenmesi oluşumu gözlenmiştir.



a) Yükleme başlamadan önce B4.5P3.0 kirişi

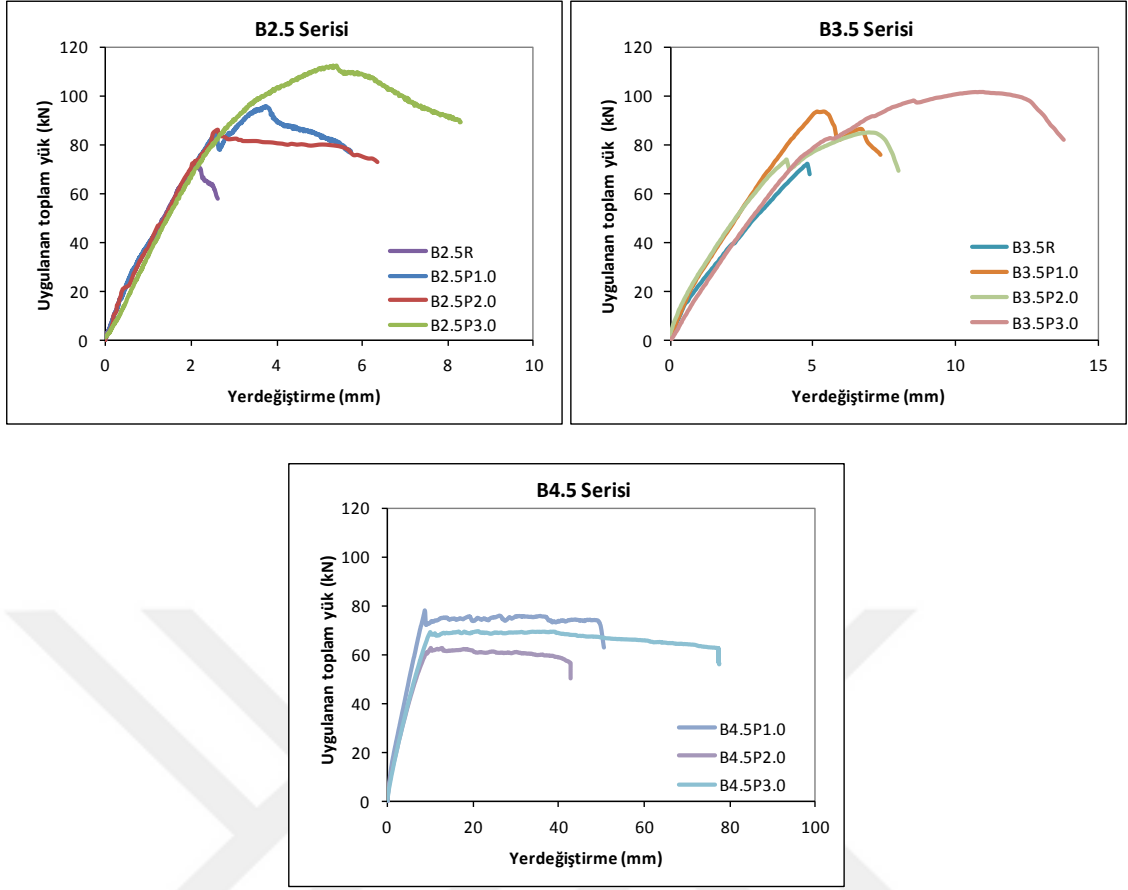


b) Güç tükenmesine ulaştığında B4.5P3.0 kirişi

Şekil 3.11 Deney öncesi ve sonrasında B4.5P3.0 kirişi

### 3.2 Kirişlerin Deneysel Yük-Yerdeğiştirme Eğrileri

B2.5 serisi ve B3.5 serisi kirişlerde eğik çatlakların gelişiminin ilerlemesi ile kirişlerde kesme kırılması ile güç tükenmesi olduğu, B4.5 serisi kirişlerde ise, eğilme kırılması ile güç tükenmesi olduğu gözlemlenmiştir. Bütün kirişlerin yük-yerdeğiştirme eğrisi Şekil 3.12'de gösterilmiştir.



Şekil 3.12 Kirişlerin yük-yerdeğiştirme eğrileri

Betonarme yapı elemanlarında asal çekme gerilmesi betonun çekme mukavemetini aştığında eğik çekme çatlaklarının oluştuğu görülür, eğik çatlak oluşumu ile kesme kırılmasının başladığı öngörülür ve eğik çatlaklar kiriş kesitince yayılır. Kirişler için deneysel olarak bulduğumuz eğik çatlama yükü ( $P_{cr}$ ), eğik çatlak oluştuğu zaman açıklık ortasındaki yerdeğiştirme ( $\delta_{cr}$ ), kirişlerin maksimum yük taşıma kapasitesindeki yükü ( $P_{co,Deney}$ ) ve yerdeğiştirmesi ( $\delta_{co,Deney}$ ), maksimum yük taşıma kapasitesinin %80'ine ulaştığındaki yükü ise göçme yükü ( $P_{u,Deney} \approx 0.80P_{co,Deney}$ ) olarak alınmıştır. Kirişlerde güç tükenmesinin olduğu yük ( $P_{u,Deney}$ ) ve yerdeğiştirme ( $\delta_{u,Deney}$ ) değerleri Çizelge 3.12'de verilmiştir.

Çizelge 3.12 Kritik yük ve yerdeğiştirme değerleri

Kirişler	Eğik çatlama*		Max. Y¼k**		G¼çme***	
	$P_{cr}$ (kN)	$\delta_{cr}$ (mm)	$P_{co,Deney}$ (kN)	$\delta_{co,Deney}$ (mm)	$P_{u,Deney}$ (kN)	$\delta_{u,Deney}$ (mm)
B2.5R	39.88	1.06	70.91	2.16	56.73	2.61
B3.5R	41.05	2.35	72.05	4.82	57.64	4.89
B2.5P1.0	56.42	1.59	95.83	3.76	76.67	5.75
B2.5P2.0	46.80	1.26	85.90	2.62	68.70	6.35
B2.5P3.0	62.70	1.85	112.12	5.40	89.69	8.31
B3.5P1.0	42.58	1.92	93.50	5.15	74.80	7.43
B3.5P2.0	42.47	1.86	84.99	6.98	67.99	8.10
B3.5P3.0	54.64	3.16	101.43	10.84	81.14	13.82
B4.5P1.0 <sup>&amp;</sup>	46.19	5.98	78.24	8.74	62.60	50.59
B4.5P2.0 <sup>&amp;</sup>	35.58	4.13	62.57	10.12	50.06	42.74
B4.5P3.0 <sup>&amp;</sup>	54.24	7.14	69.45	21.29	55.56	77.68

\*Eğik çatlama oluştuğunda; \*\*Kiriş maksimum y¼k taşıma kapasitesine eriştiğinde; \*\*\*  $P_{u,Deney} \approx 0.80P_{co,Deney}$ ; & Eğilme kırılması

Çizelge 3.12'deki diyagonal çatlama y¼k¼, maksimum y¼k taşıma kapasitesi ve g¼ç t¼kenmesinin olduğu y¼k, kirişlerin çatlama, maksimum ve g¼çme kesme kuvvetlerinin kesit genişliği ( $b_w$ ) ve kesit etkili y¼kseklilięine ( $d$ ) b¼l¼nmesi ile bulunmuştur. Çizelge 3.13'de yapılan karşılaştırmadan, kesme kırılması oluşan kirişlerde, kiriş eğik çatlama y¼k¼ maksimum y¼k taşıma kapasitesinin yaklaşık %46 ile %59'u arasında değiştiği g¼r¼lmektedir.

Kesme kırılması oluşan kirişlerde, kiriş eğik çatlama dayanımına ulaştığı andaki yerdeğiştirmenin maksimum kesme kapasitesine ulaştığı andaki yerdeğiştirmeye oranı yaklaşık %27 ile %50 arasında değiştiği g¼r¼lmektedir. Polipropilen lif oranı artışı ile kiriş eğik çatlama dayanımına ulaştığı andaki yerdeğiştirmenin kiriş maksimum kesme kapasitesine ulaştığı anındaki yerdeğiştirmeye oranının değişimi ile ilgili herhangi bir sonuç ¼ıkarılamamıřtır.

Kiriş maksimum kesme kapasitesine ulaştığı andaki yerdeğiştirmenin g¼çme anındaki yerdeğiştirmeye oranı yaklaşık %41 ile %99 arasında değiştiği g¼r¼lmektedir. Polipropilen lif oranı artışı ile kiriş maksimum kesme kapasitesine ulaştığı andaki yerdeğiştirmenin g¼çme anındaki yerdeğiştirmeye oranındaki değişim ile ilgili herhangi bir sonuç ¼ıkarılamamıřtır

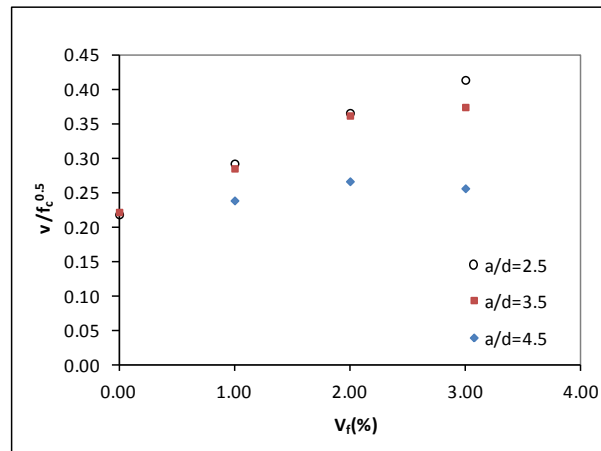
Çizelge 3.13 Kritik mukavemet değerleri

Kirişler	Eğik çatlama*	Max. Yük**	Göçme**
	$v_{cr}$ (MPa)	$v_{co,Deney}$ (MPa)	$v_{u,Deney}$ (MPa)
B2.5R	0.63	1.13	0.90
B3.5R	0.65	1.14	0.91
B2.5P1.0	0.90	1.52	1.22
B2.5P2.0	0.74	1.36	1.09
B2.5P3.0	1.00	1.78	1.42
B3.5P1.0	0.68	1.48	1.19
B3.5P2.0	0.67	1.35	1.08
B3.5P3.0	0.87	1.61	1.29
B4.5P1.0 <sup>&amp;</sup>	0.73	1.24	0.99
B4.5P2.0 <sup>&amp;</sup>	0.56	0.99	0.79
B4.5P3.0 <sup>&amp;</sup>	0.86	1.10	0.88

& Eğilme kırılması

### 3.3 Polipropilen Lif Oranı Etkisi

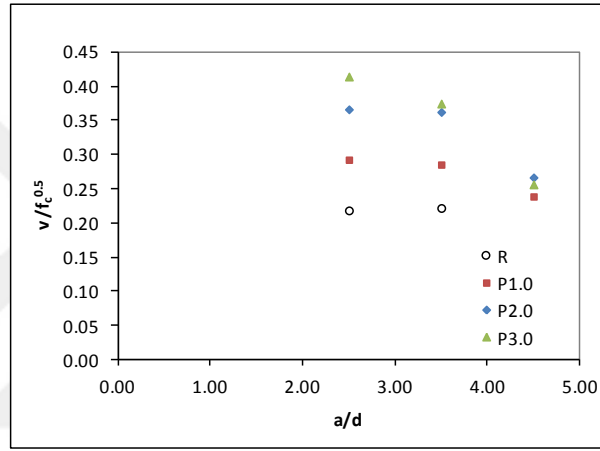
Şekil 3.13’de hacimsel polipropilen lif oranının ( $V_f$ ),  $v/\sqrt{f_c}$  ‘deki değişime etkisi verilmiştir. a/d oranı 2.5 ve 3.5 olan kirişlerde lif oranı artışı ile  $v/\sqrt{f_c}$  değerinin arttığı görülmektedir. a/d oranı 4.5 olan kirişlerde ise,  $V_f$ ’in %0’dan %1.0 değerine artışında  $v/\sqrt{f_c}$ ’de artma olduğu, ancak  $V_f$ ’in %1’den %2.0 ve %3.0 değerlerine artışında  $v/\sqrt{f_c}$ ’de değişim olmadığı görülmüştür. Bunun nedeni, B4.5P2.0 ve B4.5P3.0 kirişlerinde güç tükenmesinin eğilme- kesme kırılması biçiminde gerçekleşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 3.13 Kirişlerde kesme mukavemetine  $V_f$  (%) etkisi

### 3.4 a/d Etkisi

Şekil 3.14'de a/d'nin  $v/\sqrt{f_c}$  'deki değişime etkisi verilmiştir. Hacimsel polipropilen lif oranının %1.0 olduğu kirişlerde, a/d artışı ile  $v/\sqrt{f_c}$  de sınırlı azalma olduğu, hacimsel polipropilen lif oranının %2.0 ve 3.0 olduğu kirişlerde ise, a/d artışı ile  $v/\sqrt{f_c}$  de belirgin bir azalma görülmektedir. Bir başka ifade ile, a/d oranı arttıkça hacimsel polipropilen lif oranı artışının  $v/\sqrt{f_c}$  'deki katkısı azalmaktadır. Çünkü a/d oranı arttıkça kirişlerde beklenen güç tükenmesinin kesme kırılmasından eğilme kırılmasına geçmesidir.



Şekil 3.14 Kirişlerde kesme mukavemetine a/d etkisi

### POLİPROPİLEN LİFLİ BETONARME KİRİŞLERİN KESME MUKAVEMETİ

Yapılan literatür araştırmasında, polipropilen lifli betonarme kirişlerde kesme mukavemeti ve eğik çatlama dayanımı tahmini için herhangi bir bağıntıya rastlanmamıştır. Arslan (2014) [24] tarafından yapılan çalışmada, çelik lifli betonarme kirişler için önerilen kesme mukavemeti bağıntısının karşılaştırılan diğer bağıntılara göre en düşük varyasyon katsayısını verdiği görülmüştür. Bu nedenle, bu çalışmada Arslan (2014) tarafından çelik lifli kirişlerin kesme mukavemeti tahmini için önerilen bağıntı, polipropilen lifli betonarme kirişlerin kesme mukavemetinin tahmin edilmesi amacıyla geliştirilmiştir. Arslan (2014) tarafından yapılan çalışmada, mekaniğin temel prensipleri olan denge denklemleri ve uygunluk koşulları kullanılarak ve kirişlerin narinlik etkisi dikkate alınarak, çelik lifli betonarme kirişlerin kesme mukavemeti tahmini için yeni bir bağıntı önerilmiştir. Önerilen bağıntı literatürde mevcut 170 kirişin deney sonuçları ile karşılaştırılmış ve önerilen bağıntının tahmininin deney sonuçları ile oldukça uyumlu olduğu görülmüştür.

Etriyeli ve çelik lifli betonarme kirişlerin tahmini kesme mukavemeti için (4.1) bağıntısı kullanılmaktadır.

$$v_u = v_c + v_s \quad (4.1)$$

Bağıntıda  $v_u$  kirişin göçme kesme mukavemetini,  $v_s$  etriye tarafından karşılanan kesme mukavemetini,  $v_c$  çelik lif ve beton kesit tarafından karşılanan kesme mukavemetini ifade etmektedir. Bu çalışmada, etriyesiz polipropilen lifli betonarme

kirişlerin kesme mukavemeti, bir başka ifade ile polipropilen lif ve beton kesit tarafından karşılanan kesme mukavemeti ( $v_c$ ) incelenmiştir.

ACI318/14 [21]' e göre kesme mukavemetine betonun katkısı basitleştirilerek (4.2) bağıntısı ile verilmiştir.

$$v_c = 0.17\sqrt{f_c} \quad (4.2)$$

(4.2) bağıntısında  $f_c$  betonun silindir basınç dayanımı ifade etmektedir.

Etriyersiz çelik lifli betonarme kirişlerin kesme mukavemeti tahmini için Arslan (2014) tarafından önerilen bağıntı (4.3)'de verilmiştir.

$$v_u = \left( 0.2f_c^{2/3} \left( \frac{c}{d} \right) + \sqrt{\rho(1+4F)f_c} \right) \left( \frac{3}{a/d} \right)^{1/3} \quad (4.3)$$

Bağıntıda çelik liflerin ve eğilme donatısının kaldıraç etkisi ile kirişin narinlik oranı dikkate alınmıştır. Bağıntıda;  $c$  tarafsız eksen yüksekliğini,  $d$  kiriş etkili yüksekliğini,  $\rho$  çekme donatısı oranını,  $F = (L_f / D_f) V_f d_f$  alınmış,  $L_f / D_f$  çelik lif uzunluğunun çapına oranını,  $V_f$  hacimsel çelik lif oranını ifade etmektedir. Narayanan ve Darwish (1987) [25] tarafından çelik lif aderans katsayısı ( $d_f$ ) dalgalı lif için 0.5, deforme edilmiş lif (kırımlı) için 0.75 önerilmiştir.  $c/d$  değeri ise,  $(c/d)^2 + 600(\rho/f_c)(c/d) - 600(\rho/f_c) = 0$  denklemi çözümünden bulunmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan dikdörtgen kesitli kırımlı polipropilen liflerin kesit boyutları 0.50 mm, 0.93 mm ve lif uzunluğu 39 mm'dir. Polipropilen lifli kesit alanını veren dairesel kesitin eşdeğer çapı 0.77 mm olduğundan bağıntı tahmininde  $D_f$  değeri 0.77 mm alınmıştır. Dolayısı ile  $L_f / D_f = 39 / 0.77 = 50.65$  bulunmuştur. Kırımlı polipropilen lif için  $d_f$  değeri 0.75 mm alınmıştır.

Çizelge 4.1'de ACI318 ve Arslan (2014) tarafından önerilen bağıntılara göre hesaplanan kesme mukavemetleri tahminleri, deney sonuçları ile ( $v_{co,Deney}$ ) karşılaştırılarak istatistiksel değerlendirme yapılmıştır.

Çizelge 4.1 Teorik ve deneysel kesme mukavemetleri

Kirişler	$v_{co,Deney}$ (MPa)	$v_{c,ACI}$ (MPa)	$v_{u,Arslan}$ (MPa)	$v_{co,Deney} /$ $v_{c,ACI}$	$v_{co,Deney} /$ $v_{u,Arslan}$
	(1)	(2)	(3)	(1)/(2)	(1)/(3)
B2.5R	1.13	0.88	1.398	1.284	0.808
B3.5R	1.14	0.88	1.250	1.295	0.912
B2.5P1.0	1.52	0.88	1.775	1.727*	0.856*
B2.5P2.0	1.36	0.63	1.533	2.159*	0.887*
B2.5P3.0	1.78	0.73	1.915	2.438*	0.930*
B3.5P1.0	1.48	0.88	1.587	1.682*	0.933*
B3.5P2.0	1.35	0.63	1.371	2.143*	0.985*
B3.5P3.0	1.61	0.73	1.712	2.205*	0.940*
B4.5P1.0	1.24	0.88	1.459	1.409	0.850
B4.5P2.0	0.99	0.63	1.260	1.571	0.786
B4.5P3.0	1.10	0.73	1.574	1.507	0.699
Ortalama değer				2,059	0,922
Standart sapma				0.295	0.045
Varyasyon katsayısı				0.143	0.048
*İstatistiksel değerlendirmeye katılan kirişler					

Bu sonuçlara göre varyasyon katsayılarından en küçük değeri veren bağıntının en doğru tahmini verdiği düşünüldüğünde, Arslan (2014) tarafından önerilen bağıntının polipropilen lifli betonarme kirişler için kullanılması durumunda en doğru tahmini yapıldığı görülmüştür. Ancak, deneysel kesme mukavemetinin önerilen bağıntı ile bulunan kesme mukavemeti tahminine oranının ortalama değerlerinin düşük olduğu bulunduğundan, önerilen bağıntı tahmininin azaltılması gerektiği ifade edilebilir.

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Açıklık ortasında tekil yük etkisine maruz etriyesiz betonarme kirişlerde, yerdeğiştirme kontrollü olarak yük uygulanarak hacimsel polipropilen lif oranı ve a/d oranı değişiminin kiriş davranışına etkileri incelenerek değerlendirilmiştir.

a/d oranı 2.5 ve 3.5 olan kirişlerde, uygulanan yükün düşük değerlerinde ilk olarak eğilme çatlakları gözlenmiş, daha sonra yük artışı ile kesme açıklığındaki eğilme çatlağının yük uygulama noktasına doğru ilerlemesi sonucu kirişte güç tükenmesinin kesme kırılması şeklinde olduğu görülmüştür. a/d oranı 4.5 olan polipropilen lifli betonarme kirişlerde güç tükenmesinin kesme-eğilme şeklinde olduğu gözlenmiştir.

DeneySEL çalışmalarından aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

- a/d oranı 2.5 ve 3.5 olan betonarme kirişlerde, polipropilen lif eklenmesine rağmen kirişlerde güç tükenmesinin kesme kırılması ile olduğu gözlenmiştir.
- Kesme kırılması oluşan kirişlerde, kiriş eğik çatlama yükünün, maksimum yük taşıma kapasitesinin, yaklaşık %46 ile %59'u arasında değiştiği görülmektedir. Kiriş eğik çatlama dayanımına ulaştığı andaki yerdeğiştirmenin maksimum kesme kapasitesine ulaştığı andaki yerdeğiştirmeye oranı yaklaşık %27 ile %50 arasında değiştiği görülmektedir. Polipropilen lif oranı artışı ile kiriş eğik çatlama dayanımına ulaştığı andaki yerdeğiştirmenin kiriş maksimum kesme kapasitesine ulaştığı göçme anındaki yerdeğiştirmeye oranının değişimi ile ilgili herhangi bir sonuç çıkarılamamıştır.
- Kiriş maksimum kesme kapasitesine ulaştığı andaki yerdeğiştirmenin göçme anındaki yerdeğiştirmeye oranının yaklaşık %41 ile %99 arasında değiştiği

görülmektedir. Polipropilen lif oranı artışı ile kiriş maksimum kesme kapasitesine ulaştığı andaki yerdeğiştirmenin göçme anındaki yerdeğiştirmeye oranındaki değişim ile ilgili herhangi bir sonuç çıkarılamamıştır

- a/d oranı 2.5 ve 3.5 olan kirişlerde lif oranı artışı ile  $v/\sqrt{f_c}$  değerinin arttığı görülmektedir. a/d oranı 4.5 olan kirişlerde ise, kesme kırılması gerçekleşen kirişlerde  $V_f$  değeri artışında  $v/\sqrt{f_c} / \sqrt{f_c}$ 'de artma olduğu, eğilme-kesme kırılması gerçekleşen kirişlerde ise  $V_f$  değeri artışının  $v/\sqrt{f_c}$ 'de belirgin değişim göstermediği anlaşılmaktadır.
- a/d oranı arttıkça hacimsel polipropilen lif oranı artışının  $v/\sqrt{f_c}$ 'deki katkısı azalmaktadır. Bunun nedeni, a/d oranının artması ile kirişlerde beklenen güç tükenmesinin kesme kırılmasından eğilme kırılmasına geçmesidir.
- Etriyesiz çelik lifli betonarme kirişlerin kesme mukavemeti tahmini için Arslan (2014) tarafından önerilen bağıntı polipropilen lifli betonarme kirişlerin kesme mukavemeti tahmini için kullanılmış, önerilen bağıntının deneysel kesme mukavemetlerini oldukça iyi tahmin ettiği görülmüştür. Ancak, deneysel kesme mukavemetinin bağıntı ile bulunan kesme mukavemeti tahminine oranın ortalama değerlerinin düşük olduğu bulunduğundan, önerilen kıvrımlı lifler için aderans katsayısının  $d_f$  azaltılması gerektiği ifade edilebilir.

## KAYNAKLAR

---

- [1] Yıldırım. S.. ve Ekinci. C.. (2006). "Çelik. Cam ve Polipropilen Lifli Betonlarda Donma- Çözünme Etkisi". Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi.18(3) :359-366.
- [2] Toutanji. H.. McNeil. S. ve Bayasi. Z.. (1998). "Chloride Permeability and Impact Resistance of Polypropylene Fiber Reinforced Silica Fume Concrete".Cement and Concrete Research. 28(7): 961-968.
- [3] Song. P.S.. Hwank. S. ve Sheu. B.C.. (2005). "Strenght Properties of Nylon and Polypropylene Fiber Reinforced Concrete". Cement and Concrete Research 35(8):1546-1550.
- [4] Açıkgenç. M.. Arzusu. U. ve Alyamaç. K.. (2012). "Farklı Karışım Oranlarına Sahip Polipropilen Lifli Betonların Dayanım ve Durabilite Özellikleri" SDU International technologic Science. 4(3): 41-54.
- [5] Pothisiri. T.. Chou. S. ve Sektheera. C..(2016). "Effect of Polypropylene Fibers and Wire Mesh on Fire Performance of Concrete Walls". ACI Sturctural Journal. 113(2) : 393-403.
- [6] Tezel. O.. (2010). "Farklı Tiplerdeki Çelik ve Polipropilen liflerin Kendinden Yerleşen Betonlarda İşlenebilirliğe ve Mekanik Davranışa Etkisi". Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [7] Furlan. S. ve Hanai. J.. (1997). "Shear Behavior of Fiber Reinforced Concrete Beams ". Cement and Concrete Composites .19(4) :359-366.
- [8] Al-lami. K.. (2015). "Experimental Investigation of Fiber Reinforced Concrete Beams" Master of Science Degree. Portland State University.
- [9] Sahoo. D.R.. Solanki. A. ve Kumar. A. (2015). "Influence of Steel and Polypropylene Fibers on Flexural Behavior of RC Beams" Journal of Meterials in Civil Engineering . 27(8)
- [10] Erbaş M., (2003)"Polipropilen Lifler ve Betonun Durabilitesine Etkisi" 5. Ulusal Beton Kongresi ,TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul ss. 593-602

- [11] Akkaş A., Alpaslan L., Arabacı S. Ve Başyığıt C., (2012) "Polipropilen Lif Katkılı Yarı Hafif Betonların Basınç Dayanımı Özellikleri " SDU International technologic Science. 2(1) : 9-14.
- [12] Sertbaş B., (2006) "Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Polipropilen Lif Kullanımının İşlenebilirliğe Etkisi ", Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [13] İpek M., Canbay M. Ve Yılmaz K., (2015) "Çelik ve Polipropilen Liflerin Yalın ve Kombinasyonlu Olarak Kullanılmasının Sifconun Mekanik ve Fiziksel Özelliklerine Etkisi " SAU Fen Bilimleri Dergisi 19(1) : 41-52.
- [14] Kabay N., Oktay D.ve Uçarkoşar B. (2014) "Properties of Cement Mortars Reinforced with Polypropylene Fibers" Sigma Journal of Engineering and Natural Science" 32 : 164-175
- [15] Manolis D., Gareis P., Tsonos A. ve Neal J. (1997) "Dynamic Properties of Polypropylene Fibers- Reinforced Concrete Slabs " Cement and Concrete Composites 19 : 341-349.
- [16] Alhozaimy A., Soroushiad P. Ve Mirza F. "Mechanical Properties of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete and The Effects of Pozzolanic Materials " Cement and Concrete Composites 18 (1996) : 85-92.
- [17] Sukontasukkul P. (2004) "Toughness Evaluation of Steel and Polypropylene Fibre Reinforced Concrete Beams Under Bending " Thammasat Int. J. Sc. Tech. 9 (3)
- [18] Nili M. And Afroughsabet V. (2010),"The Effects of Silica Fume and Polypropylene Fibers on The Impact Resistance and Mechanical Properties of Concrete" Construction and Building Materials , 24 : 927- 933.
- [19] Hsie M., Tu C. and Song P., (2008) "Mechanical Properties of Polypropylene Hybrid Fiber-Reinforced Concrete " Materials Science and Engineering A , 494: 153- 157.
- [20] Patel V., Pandaya I. and Patel S. ,"Prediction of Shear Strength of PPFRC Moderate Deep Beams Using Strut and Tie Models " , International Journal of Engineering Research and Applications " , 1(2): 149-152.
- [21] ACI Committee-318.: Building code requirements for structural concrete (ACI 318R-14) and commentary, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2014.
- [22] Schlaich J.,Schaefer K. And Jennewein M.,(1987) " Toward a Consistent Design of Structural Concrete ", PCI Journal 32 (3) : 15- 74.
- [23] Nielsen P.and Braestrup M.,(1978) " Shear Strength of Prestressed Concrete Beams Without Web Reinforcement " Magazine of Concrete Research 30(104) : 119-128.
- [24] Arslan G., (2014) "Shear Strength of Steel Fiber Reinforced Concrete (SFRC) Slender Beams", KSCE Journal of Civil Engineering, 18(2), 587-594.

- [25] Narayanan R. and Darwish I. Y. S. (1987), "Use of steel fibers as shear reinforcement", ACI Structural Journal, 84(3): 216- 227.



## ÖZGEÇMİŞ

---

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Mehdi Öztürk  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 28.03.1989 Bakırköy  
**Yabancı Dili** :İngilizce  
**E-posta** : mehdioztrk@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	İnşaatMühendisliği	Sakarya Üniversitesi	2012
Lise	Fen Bilimleri	Yedikule AnadoluLisesi	2007

## **YAYINLARI**

### **Bildiri :**

1. ÖZTÜRK M. ,& ARSLAN G.(2016, Ekim) “Influence of polypropylene fibers on the shear strenght of RC Beams without stirrups”, International Congress on Advanced Earthquake Resistant Structures, (Samsun, Turkey)

