

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ÇELİK LİFLİ BETONARME KİRİŞLERİN KESME MUKAVEMETİ

MUSTAFA İRFAN BİRİNCİOĞLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YAPI PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. GÜRAY ARSLAN**

İSTANBUL, 2016

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇELİK LİFLİ BETONARME KİRİŞLERİN KESME MUKAVEMETİ

Mustafa İrfan BİRİNCİOĞLU tarafından hazırlanan tez çalışması 25/04/2016 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. Almila UZEL
Yeditepe Üniversitesi

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca bana yardımcı olan, bilgi ve tecrübesini benimle paylaşan değerli hocam Prof. Dr. Sn. Güray ARSLAN'a ve deney çalışmalarımda bana yardımcı olan Dr. Sn. Rıza Secer Orkun KESKİN'e,

Hayatımın her anında yanımda olan, her türlü konuda maddi ve manevi desteklerini hissettiğim ailem, babam Selahattin BİRİNCİOĞLU'na ve annem Saima BİRİNCİOĞLU'na teşekkür ederim.

Nisan, 2016

Mustafa İrfan BİRİNCİOĞLU

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT.....	xi
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	5
1.3 Hipotez	5
BÖLÜM 2	
DENEY KİRİŞLERİ VE KİRİŞLERİN ÖZELLİKLERİ	6
2.1 Kirişlerin Geometrisi ve Malzeme Özellikleri	6
2.2 Kirişlerde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri	6
2.3 Deney Düzeneği ve Kirişlerinin Üretimi	7
BÖLÜM 3	
DENEY SONUÇLARI VE TEMEL DEĞİŞKENLERİN KİRİŞ DAVRANIŞINA ETKİLERİ	10
3.1 Kiriş Deney Sonuçları	10
3.1.1 A2.5S20 Kirişleri Deney Sonuçları.....	10
3.1.1.1 A2.5S20R Kirişi Deney Sonuçlar	10
3.1.1.2 A2.5S20F1.0 Kirişi Deney Sonuçları.....	13
3.1.1.3 A2.5S20F2.0 Kirişi Deney Sonuçları.....	16
3.1.2 A2.5S30 Kirişleri Deney Sonuçları.....	20
3.1.2.1 A2.5S30R Kirişi Deney Sonuçları.....	20

3.1.2.2	A2.5S30F1.0 Kiriş Deney Sonuçları.....	23	
3.1.2.3	A2.5S30F2.0 Kiriş Deney Sonuçları.....	27	
3.2	Kirişlerin Deneysel Yük-Yerdeğiştirme Eğrileri.....	31	
3.2.1	Çelik Lif Oranı Etkisi	33	
3.2.2	Enine Donatı Oranının Etkisi	34	
BÖLÜM 4			
ÇELİK LİFLİ BETONARME KİRİŞLERİN KESME MUKAVEMETİ			36
4.1	Literatürde Önerilen Kesme Mukavemeti Bağlıları.....	36	
4.2	Kesme Mukavemeti Bağlılarının Değerlendirilmesi	41	
BÖLÜM 5			
SONUÇ VE ÖNERİLER			43
KAYNAKLAR.....			45
ÖZGEÇMİŞ.....			48

SİMGE LİSTESİ

a	Kiriş kesme açıklığı
b_w	Kiriş kesit genişliği
d	Kiriş etkili yüksekliği
d_a	Maksimum agrega çapı
d_f	Çelik lif aderans katsayısı
D_f	Çelik lif çapı
ε	Birim deformasyon
F	Çelik lif katsayısı
f_c	Beton basınç dayanımı
f_{sp}	Çelik lifli betonun silindir yarma dayanımı
f_{ct}	Betonun çekme mukavemeti
f_{cuf}	Çelik lifli betonun küp mukavemeti
f_{Ftu}	Maksimum çatlak genişliğine karşılık gelen eğilme-çekme mukavemeti
f_{yw}	Kesme donatısının akma dayanımı
k	Boyut etki katsayısı
l_b	Kiriş etki endeksi
L_f	Çelik lif uzunluğu
P_{cr}	Diyagonal çatlama yükü
P_u	Göçme yükü
s	Etriye aralığı
V_b	Çelik liflerin çekme mukavemeti
V_f	Hacimsel çelik lif yüzdesi
V_{cr}	Diyagonal çatlama kesme kuvveti
V_u	Göçme kesme kuvveti
v_u	Göçme kesme mukavemeti
v_{uc}	Betonun karşıladığı kesme mukavemeti
z	Moment kolu
δ_u	Göçmede açıklık ortası yer değiştirme
δ_{cr}	Diyagonal çatlak oluştuğunda açıklık ortası yer değiştirme
ρ	Çekme donatısı oranı
ρ_w	Kesme donatısı oranı

KISALTMA LİSTESİ

ACI	American Concrete Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
CSA	Canadian Standards Association
LVDT	Linear Variable Differential Transformer
SFRC	Steel Fiber Reinforced Concrete
TSE	Türk Standardları Enstitüsü

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Çelik lif şekilleri (TS 10513 1992).....	4
Şekil 2.1 A2.5S20R kiriş kesiti ve donatı yerleşimi.....	8
Şekil 3.1 Yükleme başlamadan önce A2.5R kirişi.....	12
Şekil 3.2 Eğik çatlama kapasitesine (mm) ulaştığında A2.5S20R kirişi.....	12
Şekil 3.3 Maksimum yük taşıma kapasitesine (kN) ulaştığında A2.5S20R kiriş i	13
Şekil 3.4 Maksimum yük kapasitesinin % 80'ine ulaştığında A2.5S20R kiriş i	13
Şekil 3.5 Yükleme başlamadan önce A2.5S20F1.0 kiriş i	15
Şekil 3.6 Eğik çatlama kapasitesine (1.5mm) ulaştığında A2.5S20F1.0 kiriş i.....	15
Şekil 3.7 Maksimum yük taşıma kapasitesine (148.13 kN) ulaştığında A2.5S20F1.0 kiriş i	16
Şekil 3.8 Maksimum yük kapasitesinin % 80'ine ulaştığında A2.5S20F1.0 kiriş i	16
Şekil 3.9 Yükleme başlamadan önce A2.5S20F2.0 kiriş i	18
Şekil 3.10 Eğik çatlama kapasitesine (1.8mm) ulaştığında A2.5S20F1.0 kiriş i.....	19
Şekil 3.11 Maksimum yük taşıma kapasitesine (177.48kN) ulaştığında A2.5S20F1.0 kiriş i	19
Şekil 3.12 Maksimum yük kapasitesinin % 80'ine ulaştığında A2.5S20F2.0 kiriş i	20
Şekil 3.13 Yükleme başlamadan önce A2.5S30R kiriş i	22
Şekil 3.14 Eğik çatlama kapasitesine (2.4mm) ulaştığında A2.5S30R kiriş i	22
Şekil 3.15 Maksimum yük taşıma kapasitesine (63.64kN) ulaştığında A2.5S30R kiriş i ..	23
Şekil 3.16 Maksimum yük kapasitesinin % 80'ine ulaştığında A2.5S30R kiriş i	23
Şekil 3.17 Yükleme başlamadan önce A2.5S30F1.0 kiriş i	26
Şekil 3.18 Eğik çatlama kapasitesine (3.2mm) ulaştığında A2.5S30F1.0 kiriş i.....	26
Şekil 3.19 Maksimum yük taşıma kapasitesine (116.45kN) ulaştığında A2.5S30F1.0 kiriş i	27
Şekil 3.20 Maksimum yük kapasitesinin % 80'ine ulaştığında A2.5S30F1.0 kiriş i	27
Şekil 3.21 Yükleme başlamadan önce A2.5S30F2.0 kiriş i	30
Şekil 3.22 Eğik çatlama kapasitesine (2.8mm) ulaştığında A2.5S30F1.0 kiriş i.....	30
Şekil 3.23 Maksimum yük taşıma kapasitesine (163.70kN) ulaştığında A2.5S20F1.0 kiriş i	31
Şekil 3.24 Maksimum yük kapasitesinin % 80'ine ulaştığında A2.5S30F2.0 kiriş i	31
Şekil 3.25 Kirişlerin yük-yerdeğiştirme eğrileri	32
Şekil 3.26 Çelik lif oranı kesme mukavemeti değişimi.....	34
Şekil 3.27 Kirişlerin yük-yerdeğiştirme eğrilerine enine donatı etkisi	35

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Üretilen betonda kullanılan malzemelerin karışım oranları.....	7
Çizelge 2.2 Kirişlerin özellikleri.....	7
Çizelge 3.1 A2.5S20R kirişi deney sonuçları.....	11
Çizelge 3.2 A2.5S20F1.0 kirişi deney sonuçları.....	14
Çizelge 3.3 A2.5S20F2.0 kirişi deney sonuçları.....	17
Çizelge 3.4 A2.5S30R kirişi deney sonuçları.....	21
Çizelge 3.5 A2.5S30F1.0 kirişi deney sonuçları.....	24
Çizelge 3.6 A2.5S30F2.0 kirişi deney sonuçları.....	28
Çizelge 3.7 Uygulanan yük ve yerdeğiştirme sonuçları.....	32
Çizelge 3.8 Kesme mukavemetleri ve mukavemetlerin karşılaştırılması.....	33
Çizelge 4.1 Deneysel/ Önerilen yaklaşımların istatistiksel sonuçları.....	41
Çizelge 4.2 Deneysel/ Önerilen yaklaşımların istatistiksel sonuçları.....	42

ÇELİK LİFLİ BETONARME KİRİŞLERİN KESME MUKAVEMETİ

Mustafa İrfan BİRİNCİOĞLU

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Güray ARSLAN

Bu çalışmada; kesme açıklığının kiriş etkili yüksekliğine oranı 2.5 olan çelik lifli ve lifsiz etriyeli betonarme kirişlerin kesme mukavemetleri deneysel olarak incelenmiştir. İncelenen parametreler; etriye aralığı ve hacimsel çelik lif oranıdır. Sınırlı sayıdaki kiriş kesme mukavemetleri karşılaştırıldığında; enine donatı aralığı arttıkça, çelik lif oranı artışının kesme dayanımına katkısında daha fazla artış gözlenmiştir. Çatlama kesme dayanımında çelik lif oranı artışının kesme dayanımına katkısında belirgin bir değişim gözlenmemiştir.

Ayrıca; deneysel çalışmalardan bulunan kesme mukavemetleri kesme mukavemeti tahminlerini veren bağıntılarla karşılaştırılmıştır. İlk olarak; bu çalışmadaki kirişlerin deneysel kesme mukavemetlerinin kesme mukavemetleri tahminlerine oranları karşılaştırılmış, bağıntıların tahminleri değerlendirilmiştir. Daha sonra ise, literatürde ulaşılabilen deneysel sonuçlardan bulunan deneysel kesme mukavemetlerinin kesme mukavemetleri tahminlerine oranları karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çelik lif, Betonarme, Kiriş, Kesme mukavemeti, Etriye

SHEAR STRENGTH OF STEEL FIBER REINFORCED CONCRETE BEAMS

Mustafa İrfan BİRİNCİOĞLU

Department of Civil Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Güray ARSLAN

In this study, the shear strength of steel fiber reinforced concrete and reinforced concrete beams with stirrups having a shear span-to-effective depth ratio of 2.5 was investigated experimentally. The spacing of stirrups and the volume fraction of steel fibers were considered as test variables. It was observed that the enhancement in the shear strength due to the increase in the volume fraction of steel fibers gets more pronounced as the spacing of stirrups increases. No significant improvement in the cracking shear strength with the increase in the volume fraction of steel fibers was observed.

Furthermore, experimental results were compared with the predictions obtained from various equations. The predictions of equations were assessed by comparing the ratios of experimental results obtained in this study to the predictions obtained from the considered equations. Second, a further assessment was performed by comparing the ratios of experimental results available in the literature to the corresponding predictions.

Keywords: Steel fiber, Reinforced concrete, Beam, Shear strength, Stirrup

1.1 Literatür Özeti

Betonun süneklik ve dayanım özelliklerini artırmak amacıyla yapılan işlemlerden biri beton harcın içerisine bazı katkıları ekleyerek beton malzemenin kompozit davranışından faydalanılmaya çalışılmaktadır. Bu katılardan birinin de çelik lif olduğu kabul görmüştür. Yapı malzemelerinden çelik lifin beton ile birlikte kullanıldığında, betonun bazı mekanik özellikleri belirlemek amacıyla günümüzde çeşitli deneysel çalışmalar yapılmaktadır.

Betona çelik lif katılarak betonun sünekliğinin, dış yüklere karşı dayanımının, eğilme mukavemetinin ve diğer mekanik özelliklerinin artırılması amaçlanmıştır. Çelik lifli betonun daha yüksek enerji yutma kapasitesine sahip olduğu, kırılma anında daha sünek davranış gösteren ve çatlama kesme ile kesme mukavemeti daha yüksek bir malzeme ortaya çıkmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı da çelik lifli betonların çalışma ve kullanımı alanında artış görülmektedir. Ancak, beton malzemenin davranışının matematiksel modellenmesi günümüzde de yeteri kadar doğru olarak yapılamamaktadır. Bu sebeple bu malzemenin davranışını daha doğru bir şekilde saptayabilmek amacıyla çeşitli deneysel ve teorik çalışmalar yapılmıştır. Bu tezde, yapı mühendisliğinde kabul görmüş bu çalışmalardan bir kısmı özetlenmiştir.

Arslan (1997) tarafından yapılan araştırma ile, yapılan yaklaşık ekonomik analizde erken yaştaki dayanımı artırabilmek için prefabrik betonarme yapı elemanlarında liflerin kullanılması ısıtma ve priz hızlandırıcı kullanılmasına göre daha avantajlı olduğunu; çelik liflerin, çatlak genişliklerini, çatlak sayısını ve giriş deplasmanını önemli

ölçüde azalttığını; çelik liflerle, erken yaştaki betonarme kirişte yük tekrar kaldırıldığında çatlak genişliklerinin kapanma oranının arttığını belirlemiştir(Kozak, 2013) [1].

Şener vd.(1999) tarafından yapılan çelik lif katkılı betonarme kirişler ile ilgili çalışmada, 40mmx80mmx400mm ve 40mmx160mmx800mm boyutlarında çentikli kirişlerde boyut etkisi araştırılmış, çelik lif kullanımının göçme gevrekliğini azalttığı ifade edilmiştir [2].

Dupont vd. (2002) tarafından yapılan çalışmada, çelik lif katkısının betonarme kirişlerde çatlak oluşumlarına etkisi araştırılmıştır. Araştırma sonucu, çatlak oluşumuna sağladığı katkı açısından uygun çelik lif dozajının 30 - 40 kg/m³ arasında olması önerilmiştir [3].

Corley (2002) tarafından yapılan çalışmada; patlama yükleri altında çelik lifli betonun davranışı değerlendirilmiş, değerlendirme sonucu stratejik öneme sahip yapılarda çelik lifli betona sahip yapıda hasarların azalacağı ve ekonomik olabileceği rapor olarak sunulmuştur [4].

Yardımcı (2007) tarafından yapılan çalışmada, betonda yeterli dozajda çelik liflerin varlığı malzemenin hem dayanımını hem de enerji yutma kapasitesini geliştirdiği ifade edilmiştir. Lif oranı ve lif narinliğinin çelik lifli betonun eğilme dayanımı, kırılma enerjisi ve tokluğu (sünekliği) üzerinde önemli bir etkisi vardır. Lif miktarı ve narinliğindeki artışla eğilme dayanımı, kırılma enerjisi ve tokluk belirgin artış gösterir. Literatürde çelik lifli betonun sünekliğinin yalın betonun sünekliğinin yaklaşık 50 katı olduğu belirtilmektedir [5].

Şimşek (2004) tarafından yapılan çalışmada, geleneksel şekilde boyutlandırılmış, kolon - kiriş birleşim yerinde bazı çatlaklar meydana gelirken, çelik lifli birleşim yerinde ise çatlamanın oluşmadığı ortaya konmuştur. Çelik lifli birleşim yeri daha fazla moment taşıma kapasitesi sağlamıştır. Çelik lifli beton kullanılması ile birleşim bölgesinde dayanım, süneklik ve enerji tüketiminde ciddi artışların olduğu görülmüştür[6].

Topçu (2006) ve Bayasi vd. (1991) tarafından yapılan çalışmalarda, çelik liflerin beton karıştırıldığında hangi ölçüde kullanılabileceği, lifin geometrik şekline ve lif ile beton matris arasındaki kenetlenme dağılımına bağlı olduğu ifade edilmiştir. Bu nedenle birçok değişik geometrik şekillerde çelik lif üretilmektedir. Yapılan araştırmalara göre

beton üzerindeki; eğilme dayanımında, basınç gerilmeleri altında ve enerji yutma kapasitelerinde en büyük iyileştirmeyi düz ve ucu hafif kıvrımlı tel liflerin sağladığı saptanmıştır [7,8].

Kozak (2010) tarafından yapılan çalışmaya göre, çelik lifli betonun düktilitesi normal betona göre oldukça yüksektir. Bu yüzden çarpma etkisine, titreşimli yük etkisine ve dinamik yük etkisine karşı normal betona göre daha dayanıklıdır. Çelik lif içeren betonlar normal betonlara oranla sağladıkları belirgin avantajlarından dolayı oldukça geniş kullanım alanına sahiptirler [9].

Amin vd. (2015) tarafından yapılan bir çalışmaya göre, betonarme kirişe yeterli miktarda çelik lif eklendiğinde, çelik lifin kesme donatısı olarak kullanılması gereken donatının bir miktarı yerine kullanılabileceği ifade edilmiştir. Yüksek dozda lif içeren kirişlerde çatlakların daha dağınık ve gözle görünür incelikte olduğu gözlenmiştir [10].

Tahenni vd. (2015) tarafından yapılan çalışmaya göre, yüksek dayanımlı betona çelik lifin eklenmesinin betonun basınç dayanımına bir etkisi olmadığı ve malzemenin gerilme - şekil değiştirme eğrisinin artan kısmını değiştirmediği, aksine, bu eğrinin azalan bölümünü değiştirdiği, betonarme malzemeye sünek bir davranış kazandırdığı ifade edilmiştir. Ayrıca, çelik lifler verilmiş bir şekilde çatlak kalınlığı artışı azaltır ve artık gerilmeleri çatlakın ötesinde tutar. Bu anlamda diyagonal çatlaklar çelik lifler tarafından etkili bir biçimde dikilmiş olur [11].

Gholamhoseini vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada farklı oranlarda çelik lif içeren beton plakalar, lif içermeyen plakalarla karşılaştırıldığında, çelik lif içeren levhaların kayma yükünün, çelik lifsiz levhalara göre yaklaşık % 5 - % 10 gibi lif oranına göre değişen oranlarda daha yüksek olduğu saptanmıştır [12].

Padmarajaiah vd. (2001) tarafından yapılan çalışmaya göre, yüksek dayanımlı beton kirişe oluk (trough) şeklinde çelik lif eklenmesi, betonun çatlama ve maksimum dayanımını arttırır. Yük - Yer Değiştirme diyagramında, eğrinin yükselen kısmı çok az değişmesine rağmen, alçalan kısımda, malzemenin tokluğunun ve sünekliğin artmasıyla daha fazla dikleşme görülmüştür [13].

Noghabai (2000) tarafından yapılan araştırmaya göre, belirli miktarda ve verimlilikteki çelik liflerin göçme mekanizmalarında etkili olduğu, çelik liflerin kirişlerin çekme

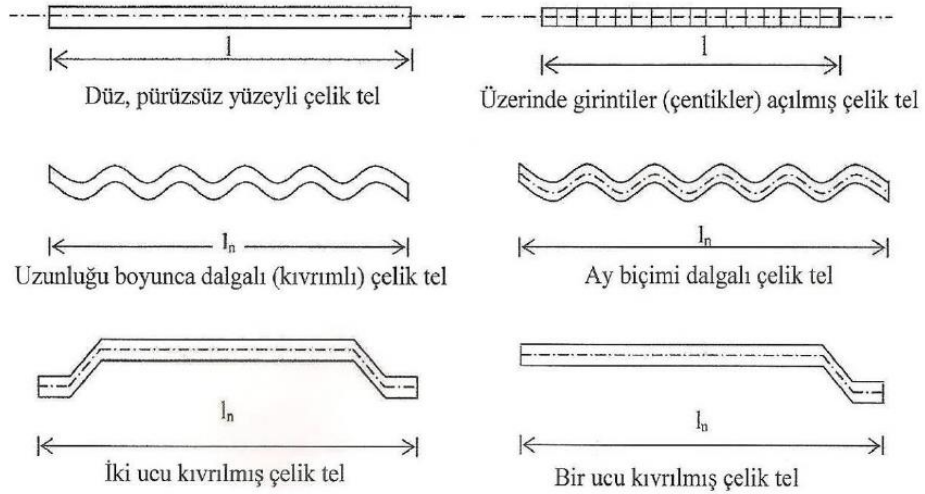
dayanımını arttırdığı gözlenmiş, çelik liflerin çatlak genişliğine ve kırışlerin rijitliklerine de sınırlamalar getirdiği belirtilmiştir [14].

Ding vd. (2010) tarafından yapılan araştırmaya göre, çelik lif ve etriye kombinasyonunun malzemenin mekanik davranışında pozitif etkilere sahip olduğu ve bu pozitif etkilerden biri olarak da elemanın kesme kapasitesini arttırdığı ifade edilmiştir [15].

Cucchiara vd. (2002) tarafından yapılan çalışmada, betonarme kırışlere çelik lif eklendiğinde, çatlak genişliğinin azalacağı belirtilmiştir. Ayrıca, kırışlerde çelik lif ve etriye kullanıldığında, etriyenin kesitin şekil değiştirme özelliğini artırdığı, etriyeli kırışlerin harcına çelik lif katılmasının kırış kesme dayanımına olumlu katkısı olacağı ve çelik lifin tıpkı etriye gibi kesme donatısı olarak çalışabileceği belirtilmiştir [16].

Yoo vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada, çelik lif katkısının betonun basınç dayanımını ve elastisite modülünü çok az etkilemesine karşın, kesitin sünekliliğini belirgin miktarda arttırdığı ifade edilmiştir [17].

TS 10513'e göre beton takviyesinde kullanılan çelik lifler şekillerine göre üç grupta toplanmıştır. Çelik liflerin tanımlamaları Şekil 1.1'de verilmiştir [18].



Şekil 1.1 Çelik lif şekilleri (TS 10513 1992)

Çelik lif katkılı betonlarda liflerin agrega ile birlikte çalışmasıyla malzemede bir toklaşma mekanizması meydana gelir. Malzeme dışarıdan bir yüke maruz kaldığında çatlaklar oluşmaya başlar ve bu çatlaklar genişledikçe çelik lifler, çatlaklar üzerindeki

gerilmelerin bir kısmını, köprüleme özelliği ile sönmümlendirir. Ayrıca kancalı uçlu liflerde kancanın plastik deformasyonu ile de bir miktar daha enerji absorbe edilir. Böylece çelik lif katkısıyla, beton malzemenin basınç dayanımından çok sünekliliği artmış olur.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada; kesme açıklığının kiriş etkili yüksekliğine oranı 2.5 olan betonarme kirişlerde çelik lif katkısının ve etriye aralığının betonarme kirişlerin davranışına etkisi araştırılmıştır. Deney sonucunda kirişlerin aldığı hasarlara göre, çelik lif ve etriye aralığı katkısının sağladığı etkilerin belirlenmesi ve çelik lifli betonarme kirişler için önerilen kesme mukavemeti bağıntılarının deneysel sonuçlarla karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Betonarme kiriş elemanda çelik lif katkısının kesme mukavemetine olan etkilerini incelemek için, üretilen kirişlerin özellikleri Çizelge 2.2'de verilmiştir. Tüm deney kirişlerinin kesitleri 150 mm x 230 mm'dir. Deneysel çalışmada kancalı uçlu (Hooked-end) çelik lif kullanılmış olup marka modeli Dramix RP-305 tir.

Bu çalışmada; C25 beton sınıfı kullanılarak farklı etriye aralıklarına ve farklı hacimsel çelik lif oranlarına sahip betonarme kirişlerde tek yönlü artan yükleme deneyleri yapılmıştır. Deney sonucunda kiriş hasar seviyelerine göre, çelik lif katkısının sağladığı etkiler belirlenerek, çelik lifin etriyeli kirişlerde kesme mukavemetine katkısının değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Çelik lifli ve etriyeli betonun, çekme dayanımı ve sünekliliği normal dayanımlı betona göre daha fazladır. Normal dayanımlı betonlarda, herhangi bir çatlak yayılması için gerekli yük düşük olduğundan çelik liflerin betona katılması, betonun bu yöndeki dezavantajlarını azaltır. Böylece, çatlak gelişimi kontrol altına alınmakta betonarme kirişin sünekliliği ve kesme mukavemeti artmaktadır. Bu çalışmada, kesme mukavemetine, sünekliliğe ve çatlama uzunluğuna çelik lif oranı ve etriye aralığının etkileri deneysel olarak araştırılarak istenen sünekliliğe ve kesme dayanımına ulaşmak için kullanılacak çelik lif oranı ve etriye aralığı saptanmaya çalışılmıştır.

DENEY DÜZENEĞİ VE KİRİŞLERİN ÖZELLİKLERİ

2.1 Kirişlerin Geometrisi ve Malzeme Özellikleri

Bu çalışmada; tek yönlü artan yüke yerdeğiştirme kontrollü olarak maruz bırakılmış, yükleme hızı 0.25 mm/dakika yük etkilerine maruz enine donatılı referans kirişi ve çelik lifli enine donatılı betonarme kirişte hacimsel çelik lif oranına bağlı olarak kirişlerin çatlama ve göçme kesme mukavemetleri araştırılmıştır. Deneyleerde, kirişler açıklık ortasında tekil yüklüdür. Enine donatılı betonarme kirişlerde kesme açıklığının kiriş etkili yüksekliğine oranı (a/d) 2.5, enine donatı aralığı 20cm ve 30cm alınmıştır. Tasarımı yapılan kirişlerde; çekme ve basınç donatısı olarak 2Φ16 kullanılmıştır. Kullanılan çekme donatısı oranı ($\rho=0.0134$), TS500(2000)'de tanımlanan minimum donatı oranı ile dengeli donatı oranı arasındadır.

2.2 Kirişlerde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

Üretilen kirişlerde kullanılan betonda malzemelerin karışım oranları Çizelge 2.1'de verilmiştir. Akışkanlaştırıcı olarak ASTM C 494, Type A kullanılmış (kıvam sınıfı: S3 (100-150mm)) ve Abrams konisiyle yapılan beton kıvam kontrolünde çökme miktarı 12–13 cm ölçülmüştür.

Çizelge 2.1 Üretilen betonda kullanılan malzemelerin karışım oranları

Kullanılan malzeme	Miktar
0–5 mm Kırma kum	1180 kg/m ³
5–12 mm Kırma taş	721 kg/m ³
Uçucu kül (%40'ı bağlayıcı)	80 kg/m ³
Çimento CEMI 42.5R	240 kg/m ³
Su	155 kg/m ³
Su / Bağlayıcı	0.55
Akışkanlaştırıcı katkı miktarı	3.20 kg/m ³

Kirişlerin küp dayanımlarından ortalama standart silindir basınç dayanımına geçilmiştir. Kirişlerin özellikleri Çizelge 2.2' de verilmiştir. Çizelgede, V_f hacimsel çelik lif oranını, l ise kiriş uzunluğunu tanımlamaktadır. Referans kirişler A2.5S20R ve A2.5S30R ile anılmaktadır ve söz konusu kirişlerde çelik lif kullanılmamıştır. Deneysel çalışmadaki kancalı uçlu (Hooked-end) çelik lif olup uzunluğu (L_f) 30 mm, çapı (D_f) 0.55mm ve L_f/D_f oranı 54.5' dir. Kirişlerde kullanılan enine donatının ortalama akma dayanımı 575 MPa bulunmuştur.

Çizelge 2.2 Kirişlerin özellikleri

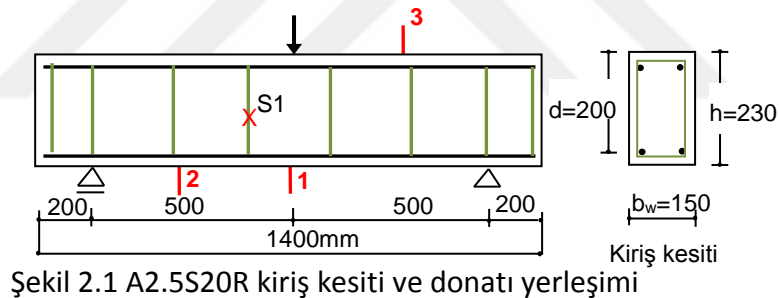
Kirişler	f_c (MPa)	V_f (%)	a/d	l (mm)
A2.5S20R	36.38	0.0	2.5	1400
A2.5S20F1.0	39.39	1.0		
A2.5S20F2.0	39.98	2.0		
A2.5S30R	36.38	0.0		
A2.5S30F1.0	39.39	1.0		
A2.5S30F2.0	39.98	2.0		

2.3 Deney Düzeneği ve Kirişlerinin Üretimi

Bu çalışma kapsamında yapılan deneylerde betonarme kirişlerin, biri hareketli biri sabit olmak üzere iki mesnet üzerine konularak yerdeğiştirme kontrollü tekil yük etkisi altında kesme mukavemetleri tespit edilmiştir. Üretilen kirişlerin açıklığı, yükleme durumu ve mesnet koşulları aynıdır. Değişken parametreler; enine donatı oranı ve

hacimsel çelik lif oranıdır. A2.5S20R kirişi boyutları Şekil 2.1’de örnek olarak verilmiştir. Nominal değerler olarak, mesnetler arası kiriş açıklığı (L_n) 1000mm, kirişlerin uzunluğu (L) 1400mm, kesit yüksekliği (h) 230mm, kesit genişliği (b_w) 150mm, kesit etkili yüksekliği (d) 200mm, kesme açıklığı (a) 500mm ve kiriş kesme açıklığının etkili derinliğine oranı (a/d) 2.5 alınmıştır. Mesnetler arası mesafe her bir kiriş için 1000 mm, kirişlerin mesnetler dışındaki uzunluğu 200 mm’dir.

Açıklık ortasında düşey yerdeğiştirmelerin (sehimlerin) LVDT yardımıyla ölçüldüğü nokta “1” ve kiriş mesnedinden 250 mm uzaklıkta yer değiştirmenin ölçüldüğü nokta “2” ve “3” ile tanımlanmıştır. Beton yerleşimi sırasında şekil değiştirme ölçerlerin zarar görmemesi için koruyucu boru ile dış darbelerden zarar görmesi önlenmiş ve şekil değiştirme ölçerlerin suyla teması engellenmesi için gerekli tedbirler alınmıştır. Kiriş kesiti, sınır şartları, yükleme durumu, donatı üzerindeki şekil değiştirme ölçer (S1), açıklık ortası yer değiştirme ölçer (1), açıklığın $\frac{1}{4}$ ’ünde bulunan yerdeğiştirme ölçerlerin (2 ve 3) kirişler üzerinde yerleşimi Şekil 2.1’de görülmektedir.



Şekil 2.1 A2.5S20R kiriş kesiti ve donatı yerleşimi

Donatı çubuklarında şekil değiştirme ölçerlerin bağlanacağı bölge, su zımparası ile zımparalanıp aseton ile lokal olarak temizlenmiştir. Asetonun kuruması sonrası yapıştırıcı sürülmüş ve şekil değiştirme ölçerleri, donatı ile aralarında hava kabarcığı kalmayacak biçimde üzerine bastırılarak çubuklara yapıştırılmıştır. Beton dökümü sırasında boyuna donatının sağlaması gereken örtü beton kalınlığı plastik tırnaklar kullanılarak sağlanmıştır.

A2.5S20R, A2.5S20F1.0, A2.5S20F2.0, A2.5S30R, A2.5S30F1.0 ve A2.5S30F2.0 kirişlerinin davranışları ayrıntılı olarak aşağıdaki alt başlıklarda incelenmiştir. Söz konusu alt başlıklarda, kirişlerin yükleme düzeylerindeki gelişmeler tablo yardımıyla özetlenmiştir. Önemli çatlak oluşumlarının gözlemlendiği açıklık ortası yerdeğiştirme ve

yük düzeylerinde kiriş ön ve arka yüzünün fotoğrafları, kesme mukavemetleri şekillerle ayrıntılı olarak incelenerek değerlendirilmiştir.



DENEY SONUÇLARI VE TEMEL DEĞİŞKENLERİN KİRİŞ DAVRANIŞINA ETKİLERİ

3.1 Kiriş Deney Sonuçları

Kesme açıklığının kiriş etkili yüksekliğine oranı 2.5 olan enine donatılı çelik lifli ve çelik lifsiz betonarme kirişlerde belirgin çatlak oluşumlarının görüldüğü andaki açıklık ortası yer değiştirme ve kirişin mekanizma durumuna ne şekilde geldiği ayrıntılı olarak bu Bölüm'de açıklanmaya çalışılmıştır.

a/d oranı 2.5 olan kirişlerde, önce etriye aralığı 20cm olan kirişlerde çelik lif oranı artışı ile kesme dayanımı ve çatlak oluşumlarındaki değişim incelenmiş, daha sonra etriye aralığı 30cm olan kirişlerde çelik lif oranı artışı ile kesme dayanımı ve çatlak oluşumlarındaki değişim değerlendirilmiştir.

3.1.1 A2.5S20 Kirişleri Deney Sonuçları

3.1.1.1 A2.5S20R Kirişi Deney Sonuçları

Çizelge 3.1'de A2.5S20R kirişi deneyinde önemli görülen gelişmeler özetlenmiştir. Referans kiriş olarak düşünülen çelik lifsiz kiriş, tek yönlü artan yüke yer değiştirme kontrollü olarak maruz bırakılmış, yükleme hızı 0.25 mm/dakika verilmiştir. Kiriş davranışı bakımından önemli görülen noktalardaki deney sonuçları Çizelge 3.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 3.1 A2.5S20R kirişi deney sonuçları

Uygulanan yerdeğiştirme; yük (mm;kN)	Gözlenen gelişme
0.8; 37.5	Kiriş ön yüzünde 1 ve 2 numaralı eğilme çatlakları oluşumları gözlemlendi.
1.0; 43.5	Kiriş arka yüzü 3 ve 4 numaralı eğilme çatlakları oluşumları gözlemlendi.
1.2; 49.2	Kiriş ön yüzünde kiriş yüksekliğinin yarısı geçen yüke doğru ilerleyen 5 numaralı kesme çatlakları oluşumu, ve 2 numaralı eğilme çatlaklarında 6 numaralı eğilme çatlakları oluşumu kaydedildi. Kiriş arka yüzü 7 numaralı eğilme çatlakları oluşumları gözlemlendi.
1.3; 52.5	Kiriş arka yüzünde kiriş yüksekliğinin yarısı geçen yüke doğru ilerleyen 8 numaralı kesme çatlakları oluşumu, ve 3 numaralı eğilme çatlaklarında 9 numaralı ilerleme kaydedildi.
1.6; 61.6	Kiriş ön yüzünde eğilme çatlakları 13 ve 14, kesme çatlakları 15, arka yüzünde 12, 16 ve 17 numaralı kesme çatlakları oluşumları işaretlendi.
2.6; 84.8	Kiriş ön yüzünde eğilme çatlakları 20 ve kesme çatlakları 22, kiriş arka yüzünde kesme çatlakları 18, 19, 21 ve 23 işaretlendi.
3.4; 98.3	Kiriş ön yüzünde kesme çatlakları 25 ve 27, eğilme çatlakları 26, kiriş arka yüzünde 24 ve 28 numaralı kesme çatlakları kaydedildi.
3.7; 103.8	Maksimum yük taşıma kapasitesinde , kiriş ön yüzünde 29 numaralı kesme çatlakları işaretlendi.
3.95; 102.8	Kiriş ön yüzünde kesme çatlakları 30 ve 32, kiriş arka yüzünde kesme çatlakları 31 ve 33 numaralı olarak kaydedildi.
5.3; 109.1	Kiriş ön yüzünde 35, kiriş arka yüzünde yüke uygulama noktasına ulaşan 34 numaralı kesme çatlakları oluşumları işaretlendi.
6.4; 112.55	Kiriş maksimum yük taşıma kapasitesine ulaştı.
6.9; 109.6	Kiriş ön yüzünde 14 numaralı eğilme çatlaklarında 39 numaralı eğilme çatlakları ilerlemesi görüldü. Kiriş arka yüzünde 36, 37, 38 numaralı çatlak oluşumları kaydedildi.
7.1; 109.9	Kiriş ön yüzünde kesme çatlakları oluşumları 40, 42, 43 numaralar ve kiriş arka yüzünde 41 numaralı kesme çatlakları işaretlendi.
8.8; 100.0	Kiriş ön yüzünde 44, 45 ve 46 numaralı kesme çatlakları, 47 numaralı eğilme çatlakları ve kiriş arka yüzünde 48 ve 49 numaralı kesme çatlakları işaretlendi.
10.8; 90.7	Kiriş maksimum yük taşıma kapasitesinin % 80'ine ulaştı; kiriş ön yüzünde 5 ve 35 numaralı kesme çatlaklarının genişlemesi ve kiriş arka yüzünde 12, 18 ve 34 numaralı kesme çatlaklarının genişlemesi sonucu kesme kırılması ile güç tükenmesi oluştu.

Şekil 3.1–4 incelendiğinde, kirişe uygulanan yük düzeyinin artışı ile eğilme çatlaklarının mesnetten yük uygulama noktasına doğru ilerleyen eğik çatlak oluşumlarının gözlemlendiği

ve çatlak genişliklerinin artarak kirişin maksimum yük taşıma kapasitesine ulaştığı söylenebilir.

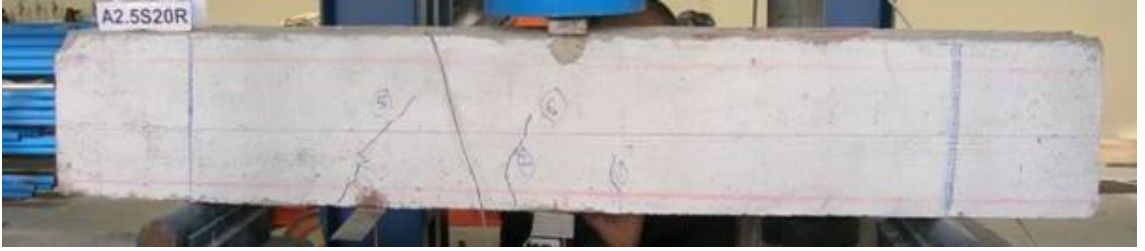


A2.5S20R kirişi ön yüzü

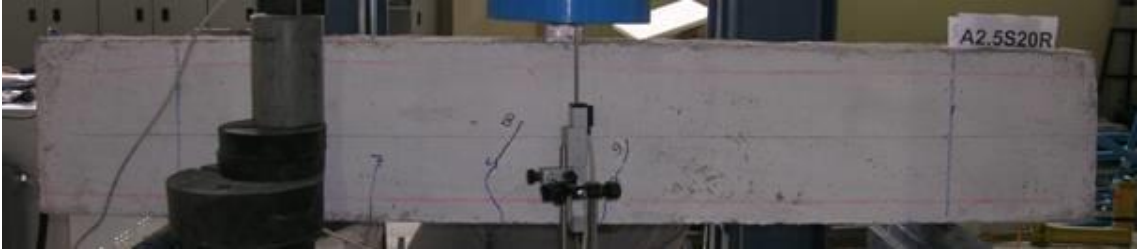


A2.5S20R kirişi arka yüzü

Şekil 3.1 Yükleme başlamadan önce A2.5S20R kirişi

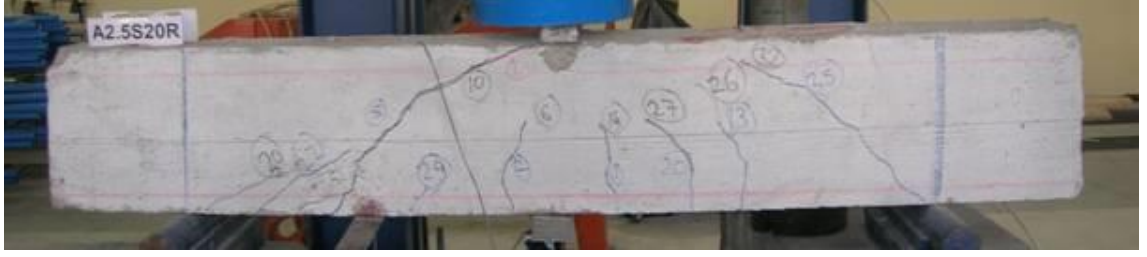


A2.5S20R kirişi ön yüzü



A2.5S20R kirişi arka yüzü

Şekil 3.2 Eğik çatlama kapasitesine (mm) ulaştığında A2.5S20R kirişi



A2.5S20R kirişi ön yüzü



A2.5S20R kirişi arka yüzü

Şekil 3.3 Maksimum yük taşıma kapasitesine (kN) ulaştığında A2.5S20R kirişi



A2.5S20R kirişi ön yüzü



A2.5S20R kirişi arka yüzü

Şekil 3.4 Maksimum yük kapasitesinin % 80'ine ulaştığında A2.5S20R kirişi

3.1.1.2 A2.5S20F1.0 Kirişi Deneş Sonuçları

Çizelge 3.2'de A2.5S20F1.0 kirişi deneyinde önemli görülen gelişmeler özetlenmiştir. Kiriş tek yönlü artan yüke yer değiştirme kontrollü olarak maruz bırakılmış, yükleme hızı 0.25 mm/dakika verilmiştir.

Çizelge 3.2A2.5S20F1.0 kirişi deney sonuçları

Uygulanan yerdeğiştirme; yük (mm; kN)	Gözlenen gelişme
0.7; 33.03	Kiriş ön yüzünde 1, 2 ve 3 numaralı eğilme çatlakları, kiriş arka yüzünde ise 4 ve 5 numaralı eğilme çatlakları işaretlendi.
1.1; 47.47	Kiriş arka yüzünde 6 numaralı eğilme çatlakları, kiriş ön yüzünde 2 numaralı çatlakta 7 numaralı eğilme çatlakları ilerlemesi kaydedildi.
1.4; 59.00	Kiriş arka yüzünde 8 numaralı eğilme çatlakları, kiriş ön yüzünde kiriş yüksekliğinin yarısına ulaşan 1 numaralı çatlaktaki 9 numaralı eğilme çatlakları ilerlemesi, ve 10 numaralı çatlak oluşumu işaretlendi.
1.5; 60.70	Kiriş ön yüzünde kiriş yüksekliğinin yarısını geçen kesme çatlakları 11 ve 12 numara, kiriş arka yüzünde kiriş yüksekliğinin yarısını geçen kesme çatlakları 13 ve eğilme çatlakları 14 numara ile işaretlendi.
2.1; 83.75	Kiriş ön yüzünde 3 numaralı çatlakta 23 numaralı eğilme çatlakları, 24 numaralı aderans sıyrılması oluşumu, 25 numaralı kesme çatlakları oluşumu, kiriş arka yüzünde 21 numaralı eğilme çatlakları, 20 ve 22 numaralı kesme çatlakları oluşumları işaretlendi.
2.4; 93.90	Kiriş arka yüzünde 26 ve 32 numaralı kesme çatlakları, 27 numaralı eğilme çatlakları, kiriş ön yüzünde 28, 29, 30 ve 31 numaralı çatlak oluşumları işaretlendi.
2.9; 108.15	Kiriş arka yüzünde 33 numaralı kesme çatlakları oluşumu, kiriş ön yüzünde 34 ve 35 numaralı kesme çatlakları işaretlendi.
4.8; 148.13	Maksimum yük taşıma kapasitesinde, kiriş arka yüzünde 36 numaralı kesme çatlakları, 26 numaralı çatlakta 37 numaralı kesme çatlakları oluşumu, 32 numaralı çatlakta 38 numaralı kesme çatlakları oluşumu, 22 numaralı çatlakta 39 numaralı kesme çatlakları oluşumu, kiriş ön yüzünde 40 ve 41 numaralı eğilme çatlakları oluşumları, 35 numaralı çatlakta 42 numaralı kesme çatlakları ilerlemesi kaydedildi.
6.2; 145.00	Kiriş ön yüzünde eğilme çatlakları oluşumu 46, kiriş arka yüzünde eğilme çatlakları oluşumu 43 ve 44, 37 numaralı çatlakta yüke doğru uzanan çatlak oluşumu ise 45 numara işaretlendi.
6.8; 146.35	Kiriş ön yüzünde 16 numaralı eğilme çatlaklarında 47 numaralı çatlak oluşumu ve 48 numaralı eğilme çatlakları oluşumu işaretlendi.
7.7; 145.89	Kiriş arka yüzünde 38 numaralı çatlakta 49 numaralı kesme çatlakları kaydedildi.
14.9; 118.70	Kiriş maksimum yük taşıma kapasitesinin % 80'ine ulaştı; kiriş ön yüzünde 24, 11, 25 ve 28 numaralı kesme çatlaklarının genişlemesi ve kiriş arka yüzünde 33, 26, 37 ve 45 numaralı kesme çatlaklarının genişlemesi sonucu kesme kırılması ile güç tükenmesi oluştu.

Şekil 3.5–8 incelendiğinde, kirişe uygulanan yük düzeyinin artışı ile eğilme çatlaklarının mesnetten yük uygulama noktasına doğru ilerleyen eğik çatlak oluşumlarının gözlemlendiği ve çatlak genişliklerinin artarak kirişin maksimum yük taşıma kapasitesine ulaştığı söylenebilir.



A2.5S20F1.0 kirişi ön yüzü

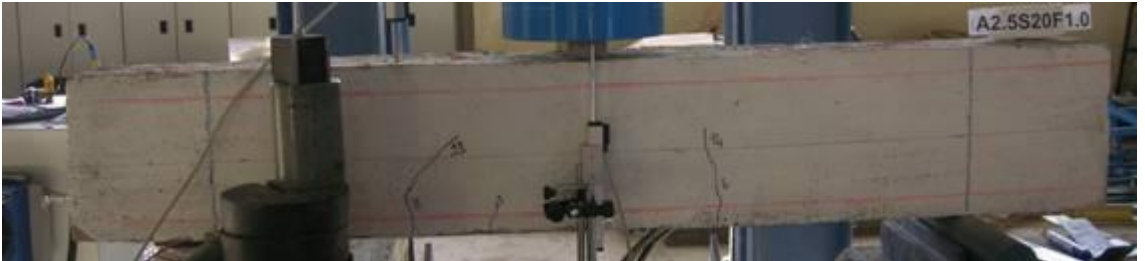


A2.5S20F1.0 kirişi arka yüzü

Şekil 3.5 Yükleme başlamadan önce A2.5S20F1.0 kirişi



A2.5S20F1.0 kirişi ön yüzü



A2.5S20F1.0 kirişi arka yüzü

Şekil 3.6 Eğik çatlama kapasitesine (1.5mm) ulaştığında A2.5S20F1.0 kirişi



A2.5S20F1.0 kirişi ön yüzü



A2.5S20F1.0 kirişi arka yüzü

Şekil 3.7 Maksimum yük taşıma kapasitesine (148.13kN) ulaştığında A2.5S20F1.0 kirişi



A2.5S20F1.0 kirişi ön yüzü



A2.5S20F1.0 kirişi arka yüzü

Şekil 3.8 Maksimum yük kapasitesinin % 80'ine ulaştığında A2.5S20F1.0 kirişi

3.1.1.3 A2.5S20F2.0 Kirişi Deney Sonuçları

Çizelge 3.3'de A2.5S20F2.0 kirişi deneyinde önemli görülen gelişmeler özetlenmiştir. Kiriş tek yönlü artan yüke yerdeğiştirme kontrollü olarak maruz bırakılmış, yükleme hızı 0.25 mm/dakika verilmiştir.

Çizelge 3.3 A2.5S20F2.0 kirişi deney sonuçları

Uygulanan yerdeğiştirme; yük (mm; kN)	Gözlenen gelişme
0.7; 39.57	Kiriş ön yüzünde 1 numaralı eğilme çatlakları işaretlendi.
0.9; 46.38	Kiriş arka yüzünde 2 ve 4 numaralı eğilme çatlakları, kiriş ön yüzünde ise 3 numaralı eğilme çatlakları işaretlendi.
1.3; 64.72	Kiriş ön yüzünde kesit yüksekliğinin yarısını geçen 5 ve 6 numaralı eğilme çatlakları işaretlendi.
1.6; 75.74	Kiriş ön yüzünde 7 numaralı eğilme çatlakları ve 3 numaralı çatlak oluşumu işaretlendi.
1.8; 83.85	Kiriş ön yüzünde 9 ve 11 numaralı eğilme çatlakları, 12 numaralı çatlak oluşumu ve kiriş yüksekliğinin yarısını geçen 10 numaralı kesme çatlakları, kiriş arka yüzünde kesme çatlakları 13 numara ile işaretlendi.
2.3; 99.56	Kiriş arka yüzünde kesme çatlakları 14, eğilme çatlakları 15, kesme çatlakları 18 ve 19 numara, kiriş ön yüzünde kesme çatlakları 16 ve 17 numara ile işaretlendi.
2.5; 109.01	Kiriş arka yüzünde 20 ve 23 numaralı eğilme çatlakları, 24 numaralı kesme çatlakları, kiriş ön yüzünde 21 ve 22 numaralı kesme çatlakları kaydedildi.
2.8; 114.28	Kiriş ön yüzünde 25, 26 ve 28 numaralı kesme çatlakları, 27 numaralı eğilme çatlakları oluşumu ve arka yüzünde 29, 30 ve 31 numaralı kesme çatlakları işaretlendi.
3.2; 126.29	Kiriş ön yüzünde 35 numaralı eğilme ve 36 numaralı kesme çatlakları, kiriş arka yüzünde 19 numaralı kesme çatlaklarında 32 numaralı kesme çatlakları ilerlemesi ve 33 numaralı kesme çatlakları oluşumu kaydedildi.
3.6; 138.27	Kiriş arka yüzünde 37 numaralı çatlak oluşumu işaretlendi.
4.0; 149.40	Kiriş arka yüzünde 31 numaralı kesme çatlaklarında 38 numaralı kesme çatlakları ilerlemesi kaydedildi.
4.5; 160.74	Kiriş ön yüzünde 34 numaralı kesme çatlaklarında 39 ve 40 numaralı kesme çatlaklarında 44 numaralı kesme çatlakları ilerlemesi kaydedildi. Kiriş arka yüzünde 45 ve 46 numaralı kesme çatlakları oluşumları işaretlendi.
5.7; 161.38	Kiriş ön yüzünde 47, 48 ve 49 numaralı kesme çatlakları ve kiriş arka yüzünde 50, 51 ve 52 numaralı kesme çatlakları işaretlendi.
8.8; 162.50	Kiriş arka yüzünde 53 ve 54 numaralı kesme çatlakları işaretlendi.
9.7; 162.83	Kiriş arka yüzünde 55 numaralı kesme çatlakları, 38 numaralı çatlaklarda 56 numaralı kesme çatlakları ilerlemesi, 57, 58, 59 numaralı eğilme çatlakları oluşumları, 60 numaralı kesme çatlakları ilerlemesi kaydedildi.
10.4; 162.70	Kiriş arka yüzünde 61 numaralı kesme çatlakları oluşumu işaretlendi.
11.0; 162.22	Kiriş ön yüzünde 62 numaralı kesme çatlakları oluşumu işaretlendi.
13.1; 164.32	Kiriş arka yüzünde 63 numaralı kesme çatlakları oluşumu işaretlendi.
13.9; 164.44	Kiriş arka yüzünde 64 numaralı eğilme çatlakları ve 65 numaralı kesme çatlakları oluşumu işaretlendi.

Çizelge 3.3 A2.5S20F2.0 kirişi deney sonuçları (devamı)

16.4; 165.59	Kiriş arka yüzünde 66 numaralı kesme çatlak ve 63 numaralı çatlakta 67 numaralı kesme çatlak ilerlemesi işaretlendi.
18.7; 166.42	Kiriş arka yüzünde 68 numaralı kesme çatlak oluşumu işaretlendi.
24.7; 177.48	Maksimum yük taşıma kapasitesinde , kiriş ön yüzünde 70 ve kiriş arka yüzünde 69 numaralı çatlak oluşumları gözlemlendi.
37.3; 174.08	Kiriş arka yüzünde yüke doğru uzanan çatlak oluşumu ise 71 numara işaretlendi.
51.8; 172.25	35 nolu çatlak genişliğinin 12 mm, 12 numaralı çatlak genişliğinin ise 10 mm olduğu görüldü.
75.8; 141.92	Kiriş maksimum yük taşıma kapasitesinin % 80'ine ulaştı; kiriş ön yüzünde 12, 5, 43, 6 numaralı çatlaklar, 35, 11, 27 numaralı çatlaklar, 3, 10, 44 numaralı çatlaklar genişleyerek, kiriş arka yüzünde 12, 15, 52 numaralı çatlakların genişlemesi sonucu eğilme kırılması ile güç tükenmesi oluştu.

Şekil 3.9–12 incelendiğinde, kirişe uygulanan yük düzeyinin artışı ile eğilme çatlaklarının mesnetten yük uygulama noktasına doğru ilerleyen eğik çatlak oluşumlarının gözlemlendiği ve çatlak genişliklerinin artarak kirişin maksimum yük taşıma kapasitesine ulaştığı söylenebilir.

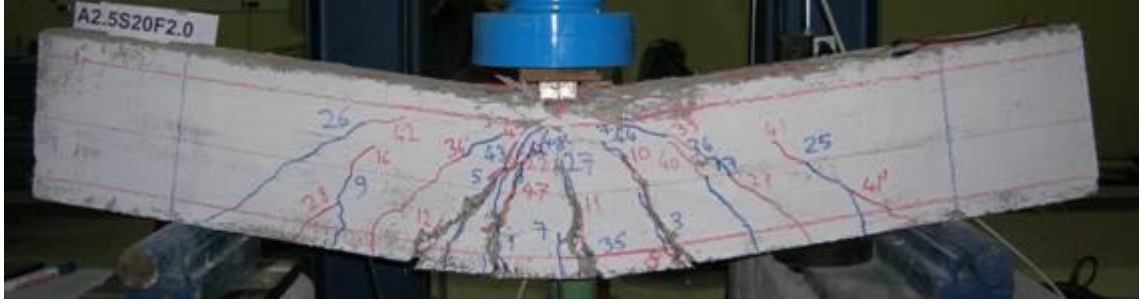


A2.5S20F2.0 kirişi ön yüzü

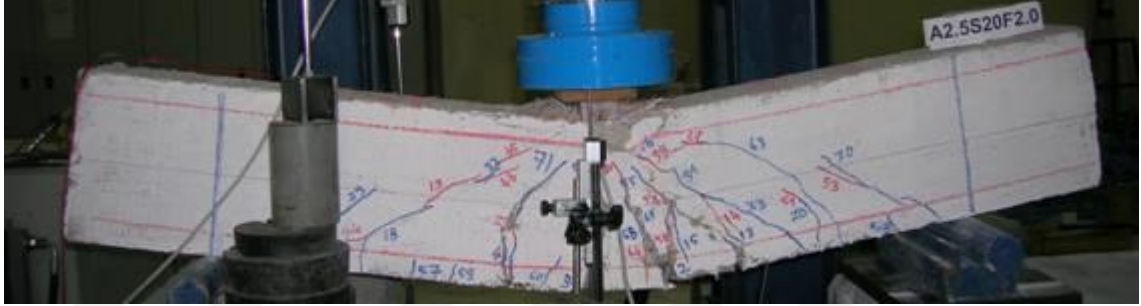


A2.5S20F2.0 kirişi arka yüzü

Şekil 3.9 Yükleme başlamadan önce A2.5S20F20 kirişi



A2.5S20F2.0 kirişi ön yüzü



A2.5S20F2.0 kirişi arka yüzü

Şekil 3.12 Maksimum yük kapasitesinin % 80'ine ulaştığında A2.5S20F2.0 kirişi

3.1.2 A2.5S30 Kirişleri Deney Sonuçları

3.1.2.1 A2.5S30R Kirişi Deney Sonuçları

Çizelge 3.4'de A2.5S30R kirişi deneyinde önemli görülen gelişmeler özetlenmiştir. Kiriş tek yönlü artan yüke yerdeğiştirme kontrollü olarak maruz bırakılmış, yükleme hızı 0.25 mm/dakika verilmiştir.

Çizelge 3.4 A2.5S30R kirişi deney sonuçları

Uygulanan yerdeğiştirme; yük (mm; kN)	Gözlenen gelişme
0.9; 24.64	Kiriş arka yüzünde 1 numaralı eğilme çatlakları oluşumları gözlemlendi.
1.1; 28.60	Kiriş ön yüzünde 2 numaralı eğilme çatlakları oluşumu işaretlendi.
1.5; 36.58	Kiriş ön yüzünde 4, kiriş arka yüzünde 3 numaralı eğilme çatlakları oluşumları kaydedildi.
1.7; 40.05	Kiriş arka yüzünde 5 numaralı eğilme çatlakları oluşumu ve 1 numaralı çatlakta 6 numaralı eğilme çatlakları oluşumu işaretlendi.
2.1; 45.78	Kiriş arka yüzünde 7 numaralı eğilme çatlakları oluşumu ve kiriş ön yüzünde 2 numaralı çatlakta 8 numaralı eğilme çatlakları oluşumu ve 4 numaralı çatlakta 9 numaralı eğilme çatlakları oluşumu işaretlendi.
2.4; 49.96	Kiriş yüksekliğinin yarısı geçen yüke doğru ilerleyen kiriş ön yüzünde 12 ve arka yüzünde 10 numaralı kesme çatlakları oluşumları işaretlendi. Ayrıca, kiriş ön yüzünde 11 numaralı eğilme çatlakları ve 13 numaralı kesme çatlakları işaretlendi.
3.0; 54.69	Kiriş arka yüzünde 14 numaralı kesme çatlakları oluşumu işaretlendi.
4.0; 63.64	Maksimum yük taşıma kapasitesinde, kiriş ön yüzünde 12 numaralı kısımda yüke doğru uzanan 15 numaralı kesme çatlakları ilerlemesi, 11 numaralı çatlakta 17 numaralı eğilme çatlakları ilerlemesi, 13 numaralı çatlakta 18 numaralı donatı boyunca uzanan çatlak ilerlemesi işaretlendi. Kiriş arka yüzünde 10 numaralı çatlak dallanarak donatı boyunca uzanan çatlak oluşumu 16 numara olarak işaretlendi.
7.7; 58.95	Kiriş ön yüzünde 9 numaralı eğilme çatlaklarında 19 numaralı eğilme çatlakları ilerlemesi ve kiriş arka yüzünde 20 numaralı kesme çatlakları oluşumu işaretlendi.
6.1; 57.85	Kiriş arka yüzünde 3 numaralı çatlakta 21 numaralı eğilme çatlakları oluşumu işaretlendi.
7.1; 57.09	Kiriş ön yüzünde 12 numaralı çatlakta yüke doğru uzanan 22 numaralı kesme çatlakları ilerlemesi kaydedildi.
7.8; 56.60	Kiriş arka yüzünde 23 numaralı kesme çatlakları oluşumu işaretlendi.
8.8; 56.27	Kiriş arka yüzünde 24 numaralı kesme çatlakları oluşumu işaretlendi.
9.2; 56.94	Kiriş arka yüzünde 10 numaralı çatlakta yüke doğru dallanarak uzanan 25 numaralı kesme çatlakları ilerlemesi kaydedildi.
10.4; 53.98	Kiriş ön yüzünde 26 numaralı ve kiriş arka yüzünde 27 numaralı kesme çatlakları oluşumu işaretlendi.
11.2; 50.91	Kiriş maksimum yük taşıma kapasitesinin % 80'ine ulaştı; kiriş ön yüzünde 13, 12, ve 22 numaralı kesme çatlaklarının genişlemesi ve kiriş arka yüzünde 20, 16 ve 10 numaralı kesme çatlaklarının genişlemesi sonucu kesme kırılması ile güç tükenmesi oluştu.

Şekil 3.13–16 incelendiğinde, kirişe uygulanan yük düzeyinin artışı ile eğilme çatlaklarının mesnetten yük uygulama noktasına doğru ilerleyen eğik çatlak

oluşumlarının gözlemlendiği ve çatlak genişliklerinin artarak kirişin maksimum yük taşıma kapasitesine ulaştığı söylenebilir.



A2.5S30R kirişi ön yüzü



A2.5S30R kirişi arka yüzü

Şekil 3.13 Yükleme başlamadan önce A2.5S30R kirişi



A2.5S30R kirişi ön yüzü

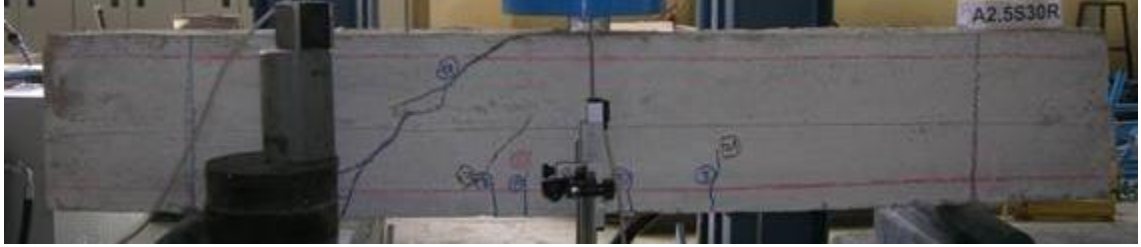


A2.5S30R kirişi arka yüzü

Şekil 3.14 Eğik çatlama kapasitesine (2.4mm) ulaştığında A2.5S30R kirişi



A2.5S30R kirişi ön yüzü



A2.5S30R kirişi arka yüzü

Şekil 3.15 Maksimum yük taşıma kapasitesine (63.64kN) ulaştığında A2.5S30R kirişi



A2.5S30R kirişi ön yüzü



A2.5S30R kirişi arka yüzü

Şekil 3.16 Maksimum yük kapasitesinin % 80'ine ulaştığında A2.5S30R kirişi

3.1.2.2 A2.5S30F1.0 Kirişi Deney Sonuçları

Çizelge 3.5'de A2.5S30F1.0 kirişi deneyinde önemli görülen gelişmeler özetlenmiştir. Kiriş tek yönlü artan yüke yerdeğiştirme kontrollü olarak maruz bırakılmış, yükleme hızı 0.25 mm/dakika verilmiştir.

Çizelge 3.5 A2.5S30F1.0 kirişi deney sonuçları

Uygulanan yerdeğiştirme; yük (mm; kN)	Gözlenen gelişme
0.4; 24.75	Kiriş ön yüzünde 2 numaralı eğilme çatlakları, kiriş arka yüzünde ise 1 ve 3 numaralı eğilme çatlakları işaretlendi.
1.2; 42.40	Kiriş ön yüzünde 4 ve 5 numaralı eğilme çatlakları, kiriş arka yüzünde 6 numaralı kesme çatlakları, 3 numaralı eğilme çatlaklarında 7 numaralı eğilme çatlakları ilerlemesi, 1 numaralı eğilme çatlaklarında 8 numaralı ilerleme kaydedildi.
2.1; 64.65	Kiriş ön yüzünde 5 numaralı çatlakta yüke doğru uzanan 9 numaralı çatlak oluşumu, 2 numaralı çatlakta 10 numaralı ilerleme ve 11 numaralı kesme çatlakları oluşumu kaydedildi.
2.7; 76.72	Kiriş ön yüzünde 4 numaralı çatlakta 13 numaralı ilerleme, 11 numaralı çatlakta 14 numaralı kesme çatlakları oluşumu, 9 numaralı çatlakta 15 numaralı kesme çatlakları oluşumu ve kiriş arka yüzünde 16 numaralı kesme çatlakları oluşumu kaydedildi.
3.2; 88.58	Kiriş arka yüzünde kiriş yüksekliğinin yarısını geçen yüke doğru ilerleyen 12 numaralı kesme çatlaklarında 17 numaralı kesme çatlakları oluşumu, 16 numaralı çatlakta yüke doğru uzanan 19 numaralı kesme çatlakları oluşumu, 18 numaralı eğilme çatlakları oluşumu ve kiriş ön yüzünde 20 numaralı eğilme çatlak ve kiriş yüksekliğinin yarısını geçen yüke doğru ilerleyen 21 numaralı kesme çatlakları oluşumları işaretlendi.
3.4; 89.85	Kiriş ön yüzünde 13 numaralı eğilme çatlaklarında 22 numaralı eğilme çatlakları oluşumu, 21 numaralı kesme çatlaklarında 23 numaralı kesme çatlakları oluşumu, 14 numaralı kesme çatlaklarında 24 numaralı kesme çatlakları oluşumu kaydedildi. Kiriş arka yüzünde 8 numaralı kesme çatlaklarında çatlakta 25 numaralı kesme çatlakları oluşumu, 17 numaralı kesme çatlaklarında 26 numaralı kesme çatlakları oluşumu, 19 numaralı kesme çatlaklarında 27 numaralı kesme çatlakları oluşumu, 7 numaralı eğilme çatlaklarında 28 numaralı çatlak oluşumu, 29 numaralı çatlak oluşumu işaretlendi.
4.2; 107.70	Kiriş ön yüzünde 20 numaralı eğilme çatlaklarında yüke doğru ilerleyen 31 numaralı kesme çatlakları oluşumu, 23 numaralı kesme çatlaklarında yüke doğru ilerleyen 34 numaralı kesme çatlakları oluşumu ve kiriş arka yüzünde 35 numaralı eğilme çatlakları oluşumu, 26 numaralı kesme çatlaklarında 36 numaralı kesme çatlakları oluşumu, 25 numaralı kesme çatlaklarında, 37 numaralı kesme çatlakları oluşumu ve 29 numaralı çatlakta 38 numaralı kesme çatlakları oluşumu kaydedildi.

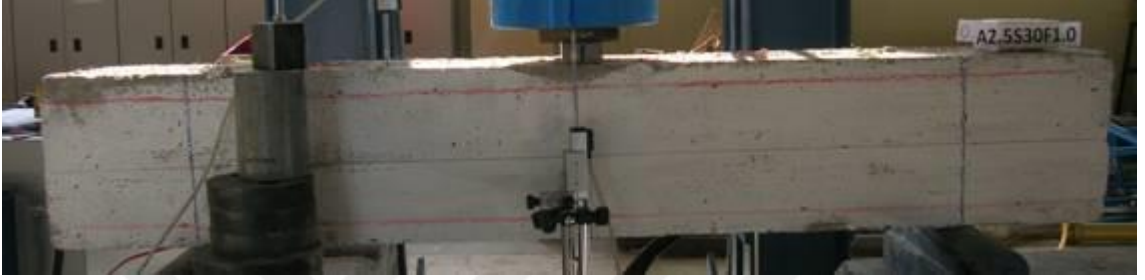
Çizelge 3.5 A2.5S30F1.0 kirişi deney sonuçları (devamı)

4.9; 116.45	Maksimum yük taşıma kapasitesinde , kiriş ön yüzünde 10 numaralı eğilme çatlığında 41 numaralı ilerleme, 33 numaralı kesme çatlığında 42 numaralı kesme çatlğı oluşumu, 43 numaralı kesme çatlğı oluşumu, 24 numaralı kesme çatlğında yüke doğru ilerleyen 44 numaralı kesme çatlğı oluşumu ve kiriş arka yüzünde 39 ve 46 numaralı kesme çatlğı oluşumları, 40 numaralı çatlak oluşumu, 35 numaralı eğilme çatlğında yüke doğru ilerleyen 47 numaralı çatlak oluşumları gözlemlendi.
5.0; 116.19	Kiriş ön yüzünde 15 numaralı kesme çatlğında 48 numaralı kesme çatlğı oluşumu, 14 numaralı kesme çatlğında yüke doğru uzanan 49 numaralı kesme çatlğı oluşumu, 50 numaralı kesme çatlğı oluşumu ve kiriş arka yüzünde 36 numaralı kesme çatlğında yüke doğru ilerleyen 51 numaralı kesme çatlğı oluşumu ve paspayında 52 numaralı çatlak oluşumu işaretlendi.
5.02; 114.89	Kiriş ön yüzünde 34 numaralı kesme çatlğında yüke doğru ilerleyen 54 numaralı kesme çatlğı oluşumu, 41 numaralı çatlakta 49 numaralı çatlakta 55 numaralı ilerleme ve kiriş arka yüzünde 53 ve 56 numaralı kesme çatlakları işaretlendi.
5.4; 111.01	Kiriş ön yüzünde 57 numaralı kesme çatlğı oluşumu, 49 numaralı kesme çatlğında yüke doğru ilerleyen 58 numaralı kesme çatlğı oluşumu ve kiriş arka yüzünde 51 numaralı kesme çatlğında yüke doğru ilerleyen 59 numaralı kesme çatlğı oluşumu gözlemlendi.
6.4; 100.00	Kiriş ön yüzünde 61 numaralı kesme çatlğı oluşumu ve kiriş arka yüzünde 38 numaralı kesme çatlğında yüke doğru ilerleyen 60 numaralı kesme çatlğı oluşumu kaydedildi.
6.8; 93.18	Kiriş maksimum yük taşıma kapasitesinin % 80'ine ulaştı; kiriş ön yüzünde 11, 14 ve 58 numaralı kesme çatlaklarının genişlemesi ve kiriş arka yüzünde 6, 40, 12, 17, 26, 36, 51 ve 59 numaralı kesme çatlğının genişlemesi sonucu kesme kırılması ile güç tükenmesi oluştu.

Şekil 3.17–20 incelendiğinde, kirişe uygulanan yük düzeyinin artışı ile eğilme çatlaklarının mesnetten yük uygulama noktasına doğru ilerleyen eğik çatlak oluşumlarının gözlemlendiği ve çatlak genişliklerinin artarak kirişin maksimum yük taşıma kapasitesine ulaştığı söylenebilir.

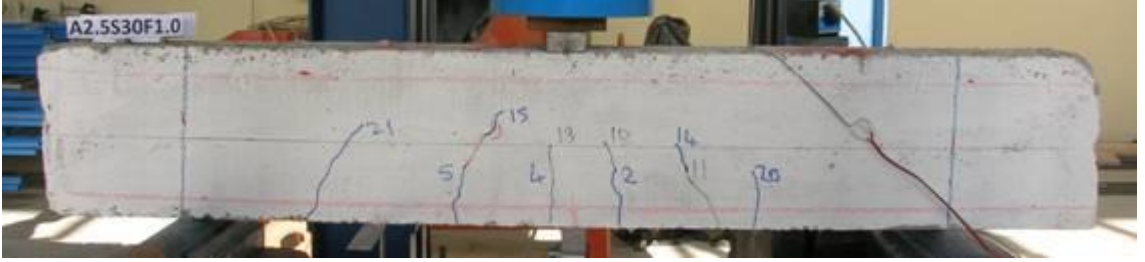


A2.5S30F1.0 kirişi ön yüzü

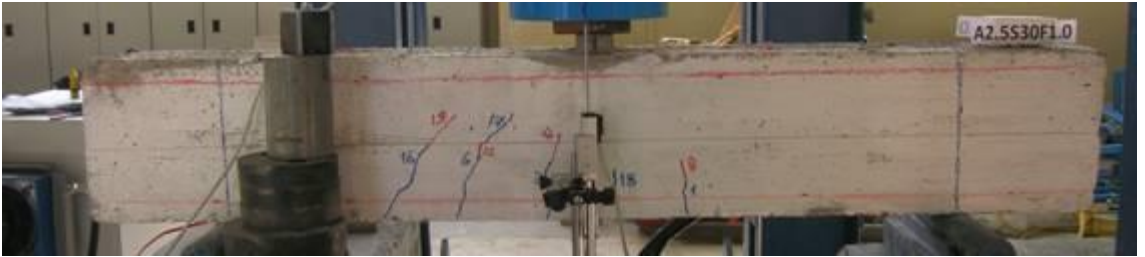


A2.5S30F1.0 kirişi arka yüzü

Şekil 3.17 Yükleme başlamadan önce A2.5S30F1.0 kirişi

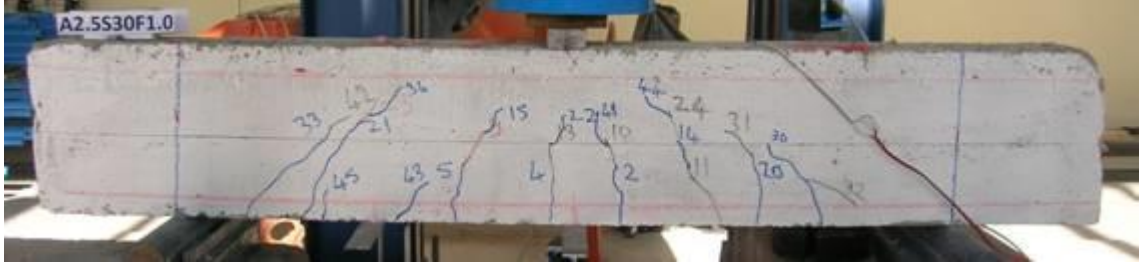


A2.5S30F1.0 kirişi ön yüzü

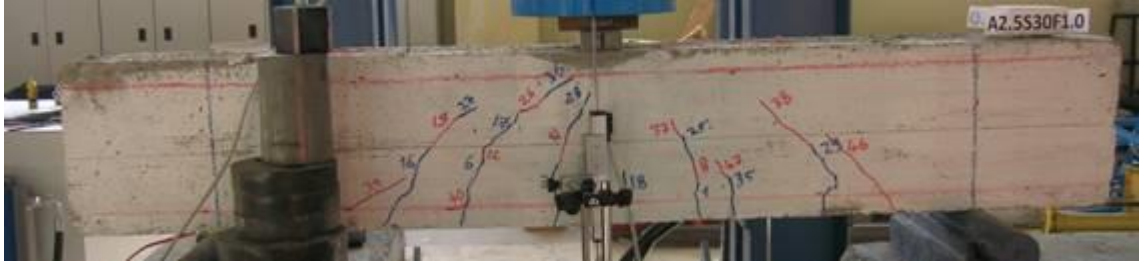


A2.5S30F1.0 kirişi arka yüzü

Şekil 3.18 Eğik çatlama kapasitesine (3.2mm) ulaştığında A2.5S30F1.0 kirişi

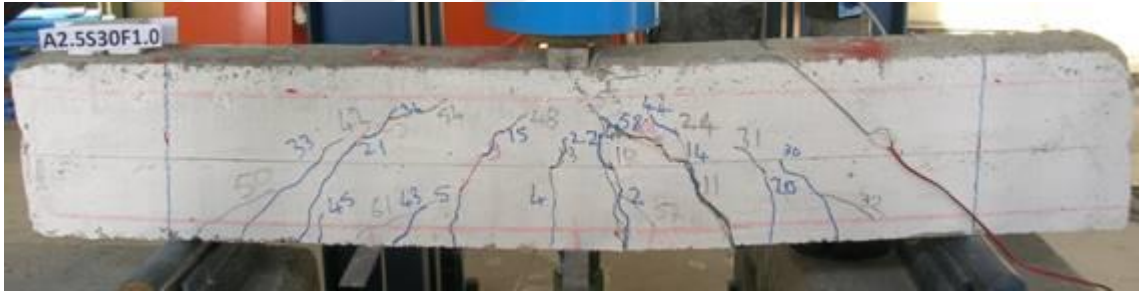


A2.5S30F1.0 kirişi ön yüzü



A2.5S30F1.0 kirişi arka yüzü

Şekil 3.19 Maksimum yük taşıma kapasitesine (116.45kN) ulaştığında A2.5S30F1.0 kirişi



A2.5S30F1.0 kirişi ön yüzü



A2.5S30F1.0 kirişi arka yüzü

Şekil 3.20 Maksimum yük kapasitesinin % 80'ine ulaştığında A2.5S30F1.0 kirişi

3.1.2.3 A2.5S30F2.0 Kirişi Deney Sonuçları

Çizelge 3.6'de A2.5S30F2.0 kirişi deneyinde önemli görülen gelişmeler özetlenmiştir. Kiriş tek yönlü artan yüke yerdeğiştirme kontrollü olarak maruz bırakılmış, yükleme hızı 0.25 mm/dakika verilmiştir.

Çizelge 3.6 A2.5S30F2.0 kirişi deney sonuçları

Uygulanan yerdeğiştirme; yük (mm; kN)	Gözlenen gelişme
1.0; 38.88	Kiriş ön yüzünde 1 numaralı eğilme çatlakları işaretlendi.
1.6; 58.07	Kiriş ön yüzünde 2 numaralı eğilme çatlakları oluşumu gözlemlendi.
1.8; 65.05	Kiriş ön yüzünde 4 numaralı, kiriş arka yüzünde ise 3 numaralı eğilme çatlakları işaretlendi.
2.0; 71.45	Kiriş ön yüzünde 6 numaralı eğilme çatlakları oluşumu ve kiriş arka yüzünde 5 ve 7 numaralı eğilme çatlakları ile 3 numaralı eğilme çatlaklarında 8 numaralı eğilme çatlakları ilerlemesi işaretlendi.
2.5; 85.85	Kiriş ön yüzünde 6 numaralı eğilme çatlaklarında 9 numaralı çatlak oluşumu ve kiriş arka yüzünde 10 numaralı ve 11 numaralı kesme çatlakları ile 12, 13 ve 14 numaralı eğilme çatlakları kaydedildi.
2.8; 93.11	Kiriş ön yüzünde 19, 20 ve 22 numaralı kesme çatlakları, 6 numaralı eğilme çatlaklarında 9 numaralı çatlak oluşumu ve kiriş yüksekliğinin yarısı geçen yüke doğru ilerleyen 21 numaralı kesme çatlakları oluşumu gözlemlendi. Kiriş arka yüzünde 7 numaralı çatlakta 15 numaralı gelişme, 5 numaralı çatlakta 16 numaralı eğilme çatlakları, 11 numaralı kesme çatlaklarında 17 numaralı kesme çatlakları oluşumu ve 13 numaralı kesme çatlaklarında 18 numaralı kesme çatlakları işaretlendi.
3.6; 117.17	Kiriş ön yüzünde 23 numaralı kesme çatlakları, 24 numaralı eğilme çatlakları ve 4 numaralı eğilme çatlaklarında yüke doğru ilerleyen 25 numaralı kesme çatlakları oluşumları gözlemlendi. Kiriş arka yüzünde 26 numaralı kesme çatlakları oluşumu, 17 numaralı kesme çatlaklarında 27 numaralı kesme çatlakları oluşumu ve 18 numaralı kesme çatlaklarında 28 numaralı kesme çatlakları oluşumu kaydedildi.
3.9; 122.79	Kiriş ön yüzünde 31 numaralı eğilme çatlakları, 23 numaralı kesme çatlaklarında yüke doğru ilerleyen 29 ve 22 numaralı kesme çatlaklarında yüke doğru ilerleyen 30 numaralı kesme çatlakları işaretlendi.
4.1; 129.55	Kiriş ön yüzünde 24 numaralı eğilme çatlaklarında 32 numaralı eğilme çatlakları ile yüke doğru ilerleyen 33 ve 34 numaralı kesme çatlakları işaretlendi.
4.6; 138.45	Kiriş ön yüzünde 38 numaralı kesme çatlakları, yüke doğru ilerleyen 29 numaralı çatlakta 35 numaralı kesme çatlakları, 21 numaralı çatlakta 36 numaralı kesme çatlakları, 25 numaralı çatlakta 37 numaralı kesme çatlakları, 33 numaralı çatlakta 39 numaralı kesme çatlakları işaretlendi. Kiriş arka yüzünde 40 numaralı çatlak oluşumu, 28 numaralı kesme çatlaklarında 41 numaralı kesme çatlakları oluşumu, 42, 43 ve 44 numaralı kesme çatlakları işaretlendi.
5.4; 162.66	Kiriş ön yüzünde yüke doğru ilerleyen 47 numaralı çatlak oluşumu, kiriş arka yüzünde 45 numaralı çatlak oluşumu, 26 numaralı kesme çatlaklarında 46 numaralı kesme çatlakları oluşumu işaretlendi.

Çizelge 3.6 A2.5S30F2.0 kirişi deney sonuçları (devamı)

25.2; 163.70	Maksimum yük taşıma kapasitesinde; kiriş ön yüzünde yüke doğru ilerleyen 38 numaralı kesme çatlığında 50 numaralı kesme çatlğı oluşumu ve kiriş arka yüzünde 7 numaralı eğilme çatlğında 48 numaralı eğilme çatlğı ilerlemesi, 41 numaralı kesme çatlğında 49 numaralı kesme çatlğı oluşumu, 45 numaralı kesme çatlğında 51 numaralı kesme çatlğı oluşumu işaretlendi.
8.8; 152.13	Kiriş arka yüzünde 52 ve 53 numaralı kesme çatlakları, 12 numaralı eğilme çatlğında yüke doğru ilerleyen 54 numaralı kesme çatlğı oluşumu işaretlendi.
9.3; 152.37	Kiriş ön yüzünde 55 ve 56 numaralı çatlak oluşumları, 9 numaralı eğilme çatlğında yüke doğru ilerleyen 57 numaralı kesme çatlğı oluşumu gözlemlendi.
9.8; 153.35	Kiriş arka yüzünde 59 numaralı kesme çatlğı, 27 numaralı kesme çatlğında yüke doğru ilerleyen 58 numaralı kesme çatlğı oluşumları işaretlendi.
11.8; 153.17	Kiriş arka yüzünde 60 ve 61 numaralı çatlak oluşumları işaretlendi.
18.5; 153.97	Kiriş arka yüzünde 62 numaralı çatlak oluşumu işaretlendi.
26.5; 162.35	Kiriş arka yüzünde 63 ve 64 numaralı çatlaklar, 48 numaralı kesme çatlğında 65 numaralı kesme çatlğı ilerlemesi işaretlendi.
28.5; 161.73	Kiriş ön yüzünde 66 numaralı çatlak oluşumu ve 67 numaralı kesme çatlğı ilerlemesi işaretlendi.
32.3; 162.43	Kiriş ön yüzünde 24 numaralı eğilme çatlğında 69 numaralı eğilme çatlğı kaydedildi. Kiriş arka yüzünde 58 numaralı kesme çatlğında 68 numaralı kesme çatlğı ilerlemesi işaretlendi.
41.8; 162.91	Kiriş ön yüzünde 70 numaralı kesme çatlğı oluşumu işaretlendi.
83.3; 156.15	Kiriş ön yüzünde 29 numaralı kesme çatlğında 71 numaralı çatlak gelişimi kaydedildi.
94.9; 133.03	Kiriş maksimum yük taşıma kapasitesinin % 80'ine ulaştı; kiriş ön yüzünde 21 ve 67 numaralı çatlaklar genişleyerek, kiriş arka yüzünde 11, 17, 27, 58 ile 16, 44, 63, 68 numaralı çatlakların genişlemesi sonucu eğilme kırılması ile güç tükenmesi oluştu.

Şekil 3.21–22 incelendiğinde, kirişe uygulanan yük düzeyinin artışı ile eğilme çatlaklarının mesnetten yük uygulama noktasına doğru ilerleyen eğik çatlak oluşumlarının gözlemlendiği ve çatlak genişliklerinin artarak kirişin maksimum yük taşıma kapasitesine ulaştığı söylenebilir.



A2.5S30F2.0 kirişi ön yüzü



A2.5S30F2.0 kirişi arka yüzü

Şekil 3.21 Yükleme başlamadan önce A2.5S30F2.0 kirişi



A2.5S30F2.0 kirişi ön yüzü



A2.5S30F2.0 kirişi arka yüzü

Şekil 3.22 Eğik çatlama kapasitesine (2.8mm) ulaştığında A2.5S30F1.0 kirişi

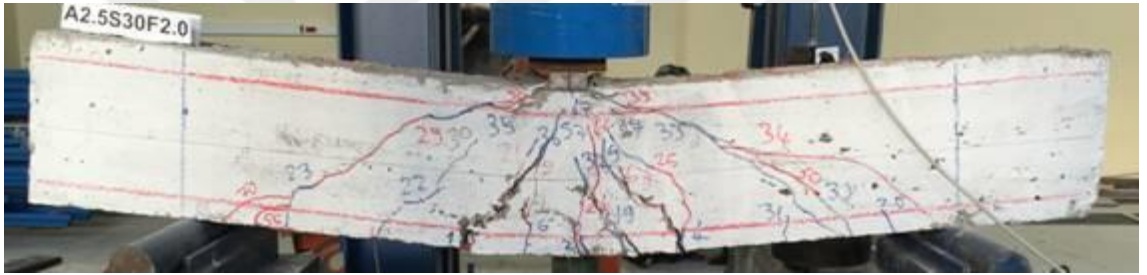


A2.5S30F2.0 kirişi ön yüzü

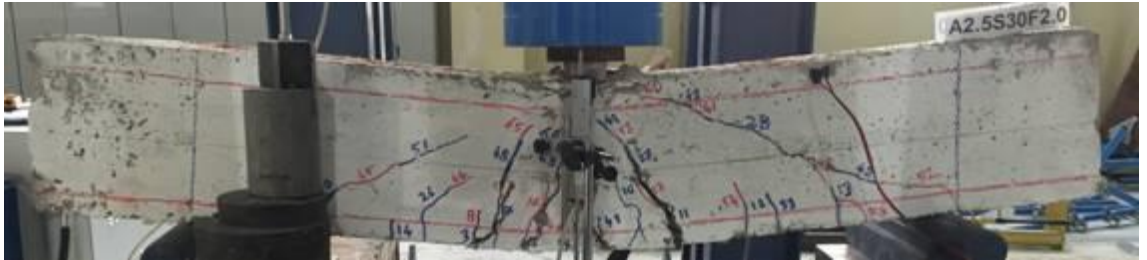


A2.5S30F2.0 kirişi arka yüzü

Şekil 3.23 Maksimum yük taşıma kapasitesine (163.70kN) ulaştığında A2.5S20F1.0 kirişi



A2.5S30F2.0 kirişi ön yüzü

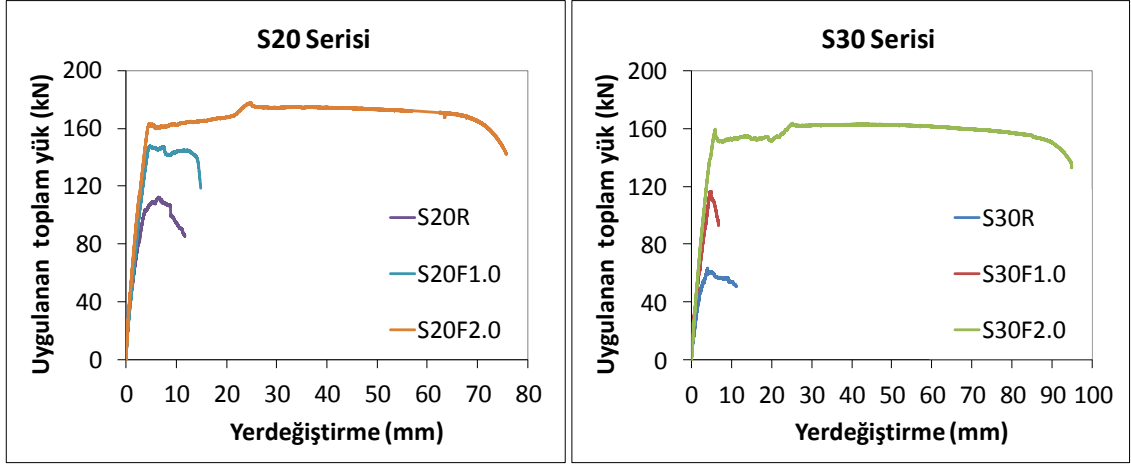


A2.5S30F2.0 kirişi arka yüzü

Şekil 3.24 Maksimum yük kapasitesinin % 80'ine ulaştığında A2.5S30F2.0 kirişi

3.2 Kirişlerin Deneysel Yük-Yerdeğiştirme Eğrileri

A2.5S20R, A2.5S20F1.0, A2.5S30R ve A2.5S30F1.0 kirişlerinde eğik çatlakların genişlemesi ile kesme kırılması biçiminde, A2.5S20F2.0 ve A2.5S30F2.0 kirişlerinde ise eğilme kırılması şeklinde güç tükenmesi görülmüştür. Tüm kirişlerin yük-yer değiştirme eğrileri Şekil 3.25'te verilmiştir.



Şekil 3.25 Kirişlerin yük-yer değiştirme eğrileri

Betonarme kirişlerde asal çekme gerilmeleri betonun çekme mukavemetini aştığında eğik çekme kırılmasının başladığı varsayılır ve diyagonal çatlaklar kiriş kesiti boyunca yayılır. Her bir kiriş için deneysel olarak bulunan diyagonal çatlama yükü (P_{cr}), diyagonal çatlak oluştuğunda açıklık ortası yer değiştirme (δ_{cr}), maksimum yük taşıma kapasitesine eriştiğindeki yük (P_{max}) ve yer değiştirme (δ_{max}), maksimum yük taşıma kapasitesinin % 80'ine eriştiğinde ($P_u \approx 0.80P_{max}$) kirişte güç tükenmesi oluştuğu kabul edilmiş ve yük (P_u) ve yer değiştirme (δ_u) değerleri Çizelge 3.7'de verilmiştir.

Çizelge 3.7 Uygulanan yük ve yer değiştirme sonuçları

Kirişler	Eğik çatlama*		Max. Yük**		Göçme**	
	P_{cr} (kN)	δ_{cr} (mm)	P_{max} (kN)	δ (mm)	P_u (kN)	δ_u (mm)
S20R	49.295	1.2	112.551	6.4	85.385	11.6
S20F1.0	60.67	1.5	148.129	4.8	118.589	14.9
S20F2.0	83.846	1.8	177.484	24.7	141.937	75.8
S30R	49.959	2.4	63.64	4.0	50.916	11.2
S30F1.0	88.584	3.2	116.448	4.8	93.177	6.8
S30F2.0	93.113	2.8	163.699	25.2	133.033	94.9

*Eğik çatlama oluştuğunda; **Kiriş maksimum yük taşıma kapasitesine eriştiğinde; *** $P_u \approx 0.80P_{max}$.

Çizelge 3.7'deki diyagonal çatlama mukavemeti, maksimum kesme mukavemeti ve göçme kesme mukavemeti, kirişlerin çatlama, maksimum ve göçme kesme kuvvetlerinin kesit genişliği (b_w) ve kesit etkili yüksekliğine (d) bölünmesi ile bulunmuştur. Çizelge 3.8'de yapılan karşılaştırmadan kiriş eğik çatlama dayanımı

maksimum kesme mukavemetinin yaklaşık % 41 ile % 79'u arasında değiştiği görülmektedir.

Kiriş eğik çatlama dayanımına ulaştığı andaki yer değiştirmenin maksimum kesme kapasitesine ulaştığı andaki yer değiştirmeye oranı yaklaşık % 7 ile % 67 arasında değiştiği görülmektedir. Aynı enine donatı oranına sahip kirişte; çelik lif oranı artışı ile kiriş eğik çatlama dayanımına ulaştığı andaki yer değiştirmenin maksimum kesme kapasitesine ulaştığı andaki yer değiştirmeye oranı düşmektedir.

Çizelge 3.8 Kesme mukavemetleri ve mukavemetlerin karşılaştırılması

Kirişler	vcr (MPa)	vmax. (MPa)	vu (MPa)	vcr/vmax.	δ_{cr}/δ	δ/δ_u
S20R	0.82	1.88	1.42	0.44	0.19	0.55
S20F1.0	1.01	2.47	1.98	0.41	0.31	0.32
S20F2.0	1.40	2.96	2.37	0.47	0.07	0.33
S30R	0.83	1.06	0.85	0.79	0.60	0.36
S30F1.0	1.48	1.94	1.55	0.76	0.67	0.71
S30F2.0	1.55	2.73	2.22	0.57	0.11	0.27

Kiriş maksimum kesme kapasitesine ulaştığı andaki yer değiştirmenin göçme anındaki yer değiştirmeye oranı yaklaşık % 27 ile % 71 arasında değiştiği görülmektedir. Aynı enine donatı oranına sahip kirişte; çelik lif oranı artışı ile kiriş maksimum kesme kapasitesine ulaştığı andaki yer değiştirmenin göçme anındaki yer değiştirmeye oranındaki değişim ile ilgili herhangi bir sonuç çıkarılamamıştır.

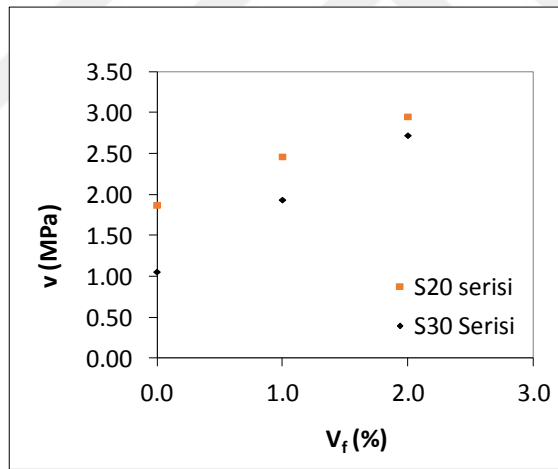
3.2.1 Çelik Lif Oranı Etkisi

Çelik lif oranı % 1 ve etriye aralığı 20 cm olan A2.5S20F1.0 kirişinin yük taşıma kapasitesi A2.5S20R referans kirişine göre yaklaşık % 32 oranında artmıştır. Söz konusu A2.5S20F1.0 kirişinin yer değiştirme kapasitesi ise referans kirişe göre yaklaşık % 28 oranında artmıştır. Aynı şekilde, A2.5S20R referans kirişine göre, çelik lif oranı % 2 olan A2.5S20F2.0 kirişinin yük taşıma kapasitesi yaklaşık % 58 oranında artmıştır. Bu kirişin yer değiştirme kapasitesinin ise, yaklaşık 5.5 kat arttığı görülmüştür. S20 serisinde, çelik lif oranı % 1 olan kirişle çelik lif oranı % 2 olan kiriş karşılaştırıldığında, A2.5S20F1.0 kirişine göre, çelik lif oranı % 2 olan A2.5S20F2.0 kirişinin yük taşıma kapasitesi yaklaşık

% 20 oranında artmıştır. A2.5S20F2.0 kirişinin A2.5S20F1.0 kirişine göre yer değiştirme kapasitesinin yaklaşık 4 kat arttığı görülmüştür.

Çelik lif oranı % 1 ve etriye aralığı 30 cm olan A2.5S30F1.0 kirişinin yük taşıma kapasitesi A2.5S30R referans kirişine göre yaklaşık % 83 oranında artmıştır. Bu kirişin yer değiştirme kapasitesi ise yaklaşık % 39 oranında azalmıştır. A2.5S30R referans kirişine göre, çelik lif oranı % 2 olan A2.5S30F2.0 kirişinin yük taşıma kapasitesi yaklaşık % 157 oranında arttığı görülmüştür. Bu kirişin yer değiştirme kapasitesi ise, yaklaşık 7.5 kat artmıştır. Çelik lif oranı % 1 olan kirişler çelik lif oranı % 2 olan kiriş karşılaştırıldığında ise, A2.5S30F1.0 kirişine göre, çelik lif oranı % 2 olan A2.5S30F2.0 kirişinin yük taşıma kapasitesinin yaklaşık % 41 oranında arttığı görülmüştür. Bu kirişin yer değiştirme kapasitesinin ise, yaklaşık 13 kat arttığı gözlenmiştir.

Şekil 3.26'da çelik lif oranına bağlı olarak kesme mukavemeti değişimi görülmektedir. S20 ve S30 serileri karşılaştırıldığında, enine donatı oranı az olan kirişlerde çelik lif oranı artışının kesme mukavemeti artışına daha fazla katkı yaptığı görülmüştür.



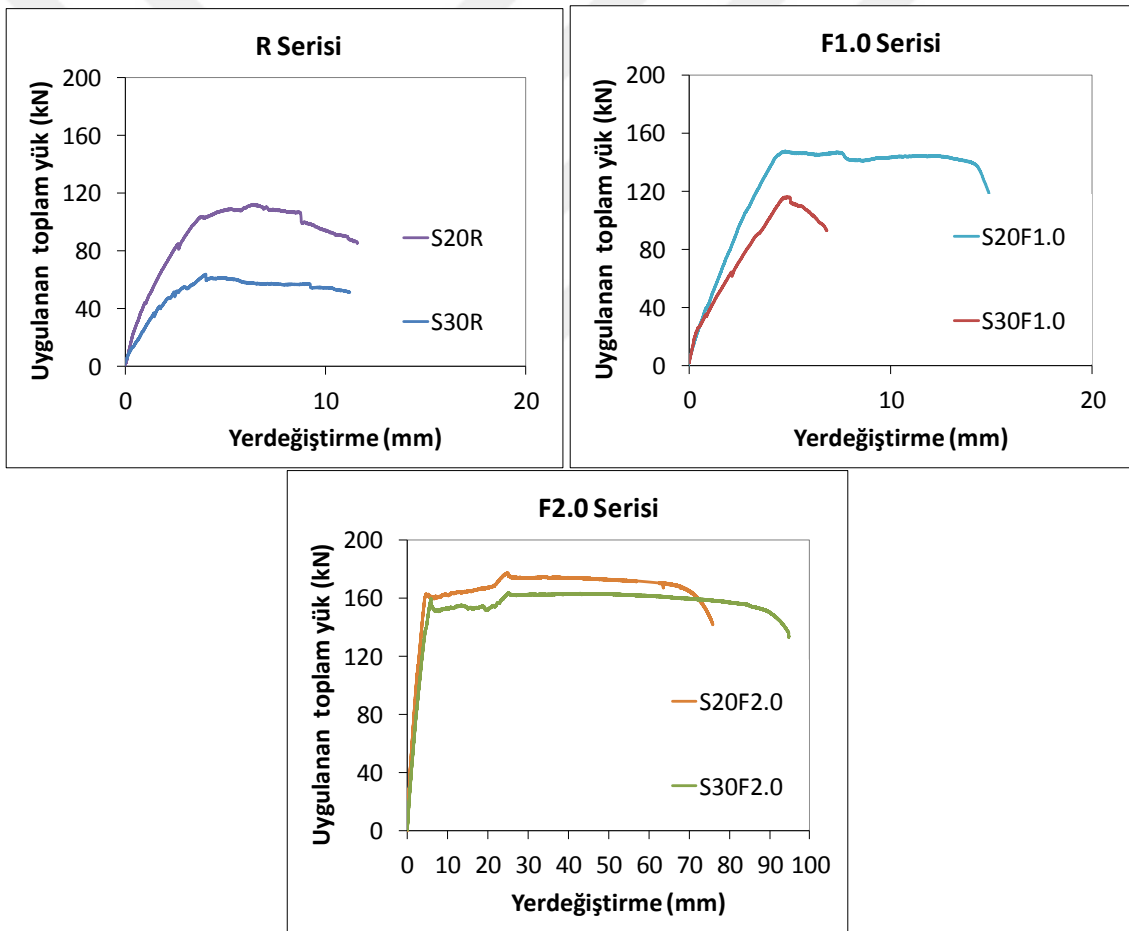
Şekil 3.26 Çelik lif oranı kesme mukavemeti değişimi

3.2.2 Enine Donatı Oranının Etkisi

Çelik lif içermeyen ve etriye aralığı 30 cm olan A2.5S30R referans kirişinin, yine çelik lif içermeyen etriye aralığı 20 cm olan A2.5S20R referans kirişine göre yük taşıma kapasitesi yaklaşık % 77 oranında daha azdır. Bu kirişin (A2.5S30R) yer değiştirme kapasitesinin ise, A2.5S20R kirişine göre yaklaşık % 4 oranında daha az olduğu görülmüştür (Şekil 3.27).

Çelik lif oranı % 1 olan kirişlerde, etriye aralığı 30 cm olan A2.5S30F1.0 kirişine göre etriye aralığı 20 cm olan A2.5S20F1.0 kirişinin yük taşıma kapasitesi yaklaşık % 27 oranında artmıştır. A2.5S20F1.0 kirişinin yer değiştirme kapasitesi ise A2.5S30F1.0 kirişine göre yaklaşık % 119 oranında artmıştır (Şekil 3.27).

Çelik lif oranı % 2 olan kirişlerde, etriye aralığı 30 cm olan A2.5S30F2.0 kirişine göre, etriye aralığı 20 cm olan A2.5S20F2.0 kirişinin yük taşıma kapasitesi yaklaşık % 8 oranında artmıştır. A2.5S20F2.0 kirişinin yer değiştirme kapasitesi ise yaklaşık % 20 oranında azalmıştır (Şekil 3.27). Söz konusu azalma düşük bir değer olduğundan, bu azalmanın betonun yerleştirilmesi ile ilgili hatalardan kaynaklanabileceği düşünülmektedir.



Şekil 3.27 Kirişlerin yük-yer değiştirme eğrilerine enine donatı etkisi

ÇELİK LİFLİ BETONARME KİRİŞLERİN KESME MUKAVEMETİ

Çelik lifli ve etriyeli betonarme kirişlerin kesme mukavemeti ve eğik çatlama mukavemeti tahmini için literatürde çok sayıda bağıntı önerilmiştir. Bu çalışmada, literatürde önerilen bağıntıların kesme mukavemeti tahmini deneysel veriler ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

4.1 Literatürde Önerilen Kesme Mukavemeti Bağıntıları

Etriyeli ve çelik lifli betonarme kirişlerin kesme mukavemeti tahmini için (4.1) bağıntısı kullanılmaktadır [10].

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

Bağıntıda v_u kesitin karşıladığı göçme kesme mukavemeti, v_s etriye tarafından karşılanan kesme mukavemeti, v_R çelik lif ve beton kesit tarafından karşılanan kesme mukavemeti, v_{uc} beton tarafından karşılanan kesme mukavemeti ve v_{uf} çelik lif tarafından karşılanan kesme mukavemetidir. (4.1) bağıntısında verilen v_R , (4.2) ve (4.3) bağıntıları ile bulunmaktadır.

$$v_R = v_{uc} + v_{uf} \quad (4.2)$$

$$v_R = \frac{0.18k}{\gamma_c} [100\rho f_c (1 + 7.5 f_{Ftu}/f_{ct})]^{1/3} \quad (4.3)$$

Bağıntıda γ_c beton için malzeme katsayısı, ρ çekme donatı oranı, f_{Ftu} maksimum çatlak genişliğine karşılık gelen eğilme - çekme mukavemeti, f_{ct} çelik lifli betonun çekme

dayanımı, f_c betonun basınç dayanımı, b_w kiriş kesit genişliği, d kiriş etkili yüksekliği ve k boyut etki parametresidir.

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2 \quad (4.4)$$

$$v_{uc} = \frac{k_v z}{d} \sqrt{f_{cm}} \quad (4.5)$$

$$v_s = \rho_w f_{yw} \frac{z \cot \alpha}{d} \quad (4.6)$$

Bağıntıda ρ_w kesme donatı oranı, f_{yw} kesme donatısı akma dayanımı, z çekme ve basınç donatı merkezleri arasındaki iç kol boyu ve v_{uc} betonun karşıladığı kesme mukavemetidir.

Ding vd. (2010) tarafından önerilen kesme mukavemeti (4.7), (4.8) ve (4.9) bağıntılardan bulunabilir [15].

$$v_u = v_{uc} + v_s \quad (4.7)$$

$$l_b = \frac{0.97 \rho^{0.46} k f_c^{1/2}}{0.97 \rho^{0.46} k f_c^{1/2} + 0.2 \rho^{0.91} f_c^{0.38} f_y^{0.96} (a/d)^{-2.33}} \quad (4.8)$$

$$v_s = 1.75 l_b \rho_w f_{yw} \quad (4.9)$$

Bağıntılarda l_b kiriş etki endeksidir.

Literatürde kesme mukavemeti incelemelerinin genellikle etriyesiz çelik lifli betonarme kirişlerde yapıldığı görülmektedir. Etriyesiz çelik lifli betonarme kirişler için önerilen bağıntılardan yararlanmak amacıyla, kesme mukavemetine etriyelerin ($\rho_w f_{yw}$) katkısı ilave edilerek çelik lifli etriyeli kirişlerin kesme mukavemeti tahminleri yapılmıştır. Böylece, bu çalışmada verilen deneysel kirişlerin kesme mukavemeti tahmininin en iyi hangi bağıntı ile yapılabildiği değerlendirilmiştir.

Çelik lifli betonarme kirişlerin kesme mukavemeti için Sharma (1986) tarafından önerilen deneysel çalışmaların sonuçlarından (4.10) bağıntısı önerilmiştir. Söz konusu bağıntı ACI 544 (1986) tarafından kabul görmüştür [19,20].

$$v_u = kf_{ct} \left(\frac{d}{a} \right)^{0.25} + \rho_w f_{yw} \quad (4.10)$$

Bağıntıda yer alan f_{ct} betonun çekme mukavemeti, eğer f_{ct} doğrudan çekme deneyi ile bulunuyorsa $k = 1$, eğer f_{ct} dolaylı olarak çekme deneyi ile bulunuyorsa $k = 2/3$ ve eğer $f_{ct} = 0.79f_c^{0.5}$ ise betonun ezilme modülü $k = 4/9$ 'dur.

Narayanan vd. (1987) tarafından (4.11) bağıntısı önerilmiştir [21].

$$v_u = e \left(0.24f_{sp} + 80\rho \frac{d}{a} \right) + v_b + \rho_w f_{yw} \quad (4.11)$$

$a/d > 2.8$ için $e = 1.0$ ve $a/d \leq 2.8$ için $e = 2.8(d/a)$, f_{sp} çelik lifli betonun silindir yarma dayanımı $f_{sp} = f_{cuf} / (20 - F^{0.5}) + 0.7 + F^{0.5}$ bağıntısı ile hesaplanır. Çelik lifli betonun küp mukavemeti f_{cuf} , çelik lif katsayısı $F = (L_f / D_f) V_f d_f$ (d_f çelik lif aderans katsayısı dalgalı lif için 0.5, deforme edilmiş lif için 0.75), eğik çatlak boyunca çelik liflerin çekme mukavemeti $v_b = 0.41\tau F$ ve fiber karışımın aderans gerilmesi τ değeri 4.15 MPa alınması önerilmiştir.

$a/d \geq 2.5$ olan çelik lifli betonarme kirişler için, Ashour vd. (1992) tarafından kesme mukavemeti tahmini ACI 318'de de kabul görmüş olan (4.12) bağıntısı ile verilmiştir. Ashour vd. (1992) tarafından kesme mukavemeti tahmini için önerilen diğer bağıntı Zsutty (1971) [22] tarafından önerilen bağıntının geliştirilmesi ile elde edilmiş ve aşağıda (4.13) bağıntısı ile verilmiştir [23].

$$v_u = (0.7\sqrt{f_c} + 7F) \frac{d}{a} + 17.2\rho \frac{d}{a} + \rho_w f_{yw} \quad (4.12)$$

$$v_u = (2.11\sqrt[3]{f_c} + 7F) \left(\rho \frac{d}{a} \right)^{1/3} + \rho_w f_{yw} \quad (4.13)$$

Swamy vd. (1993) tarafından çubuk model temel alınarak (4.14) bağıntısı önerilmiştir [24].

$$v_u = 0.37\tau V_f \frac{L_f}{D_f} + 0.167\sqrt{f_c} + \rho_w f_{yw} \quad (4.14)$$

Bağıntıda τ değerinin Narayanan vd. (1987) [21] tarafından önerildiği gibi 4.15 MPa alınması önerilmektedir.

Çelik lifli betonarme kirişler için Khuntia vd. (1999) tarafından aşağıdaki bağıntı önerilmiştir [25].

$$v_u = (0.167 + 0.25F)\sqrt{f_c} + \rho_w f_{yw} \quad (4.15)$$

Kwak vd. (2002) tarafından yapılan çalışmada, Zsutty (1971) [22] tarafından önerilen bağıntı geliştirilerek (4.16) ve (4.17) bağıntıları ile sunulmuştur [26].

$$v_u = 2.1ef_{sp}^{0.7} \left(\rho \frac{d}{a} \right)^{0.22} + 0.8v_b^{0.97} + \rho_w f_{yw} \quad (4.16)$$

Bağıntıda $a/d > 3.5$ için $e = 1.0$, ve $a/d \leq 3.5$ için $e = 3.5(d/a)$ 'dir.

$$v_u = 3.7ef_{sp}^{2/3} \left(\rho \frac{d}{a} \right)^{1/3} + 0.8v_b + \rho_w f_{yw} \quad (4.17)$$

Bağıntıda $a/d > 3.4$ için $e = 1.0$, ve $a/d \leq 3.4$ için $e = 3.4(d/a)$ 'dir.

RILEM (2003)'e göre çelik lifli kirişlerin göçme kesme mukavemeti (4.18) bağıntısında verilmiştir [27].

$$v_{Rd,3} = 0.12k(100\rho f_c)^{1/3} + 0.7k_f k_1 \tau_{fd} + \rho_w f_{yw} \quad (4.18)$$

Bağıntıda $k = (1 + (200/d)^{0.5}) \leq 2$ (d mm boyutundadır), $\rho \leq 0.02$, k_f değeri dikdörtgen kesitler için 1, $k_1 = (1600 - d)/1000 \geq 1$, $\tau_{fd} = 0.12f_{eq,3}$ ve $f_{eq,3}$ beton karakteristik basınç mukavemetidir.

Yakoub (2011) tarafından yapılan çalışmada, Bazant vd. (1984) [28] ve CSA A23.3-04'te (2004) [29] önerilen kesme mukavemeti bağıntıları geliştirilerek $a/d \geq 2.5$ için (4.19) ve (4.20) bağıntıları önerilmiştir [30].

$$v_u = 0.83\xi^3 \sqrt{\rho} \left[\sqrt{f_c} + 249.28 \sqrt{\frac{\rho}{\left(\frac{a}{d}\right)^5}} \right] + 0.162F\sqrt{f_c} + \rho_w f_{yw} \quad (4.19)$$

$$v_u = \beta \sqrt{f_c} (1 + 0.70F) + \rho_w f_{yw} \quad (4.20)$$

Bağıntıda agrega boyut etkisi katsayısı $\xi = 1/(1 + d/(25d_a))^{0.5}$, $\beta = [0.4/(1 + 1500\varepsilon_x)] [1300/(1000 + s_{xe})]$ (s_{xe} mm boyutundadır), kiriş açıklık ortasında boyuna donatıdaki birim deformasyon $\varepsilon_x = (M/d_v + V)/(2E_s A_s)$, M ve V kiriş kesitinde göçme anındaki moment ve kesme kuvvetidir. Eğilme donatısı için moment kolu d_v yaklaşık olarak $0.9d$ veya $0.72h$ (h kiriş yüksekliğini tanımlamaktadır) değerlerinden hangisi büyükse o değer alınması önerilmiştir. $s_{xe} = 35s_x/(16 + d_a) \geq 0.85s_x$, bağıntıda s_{xe} değeri, maksimum agrega boyutu d_a ve s_x çatlak arası uzunluğa bağlı olarak tanımlanmıştır.

Gandomi vd. (2011) tarafından (4.21) bağıntısı önerilmiştir [31].

$$v_u = 2 \frac{d}{a} (\rho f_c + v_b) + 2 \frac{d}{a} \frac{\rho}{(288\rho - 11)^4} + 2 + \rho_w f_{yw} \quad (4.21)$$

Dinh vd. (2011) tarafından önerilen (4.22) bağıntısı beton bölgesinin karşıladığı kesme mukavemetinin düşey bileşeni ve çelik lifler ile sağlanan eğik çekme mukavemetinin düşey bileşeninin toplamı ile ifade edilmiştir [32].

$$v_u = 0.13 \rho f_y + 1.2 \left(\frac{V_f}{0.0075} \right)^{1/4} \left(1 - \frac{c}{d} \right) + \rho_w f_{yw} \quad (4.22)$$

(4.22) bağıntısında, eğilme donatısının akma mukavemeti f_y , basınç bölgesinin yüksekliği c (yaklaşık olarak $0.1h$ alınabilir).

Arslan (2014) tarafından önerilen bağıntıda çelik liflerin ve eğilme donatısının kaldıraç etkisi ve kirişin narinlik oranı dikkate alınarak (4.23) bağıntısı önerilmiştir [33].

$$v_u = \left(0.2 f_c^{2/3} \left(\frac{c}{d} \right) + \sqrt{\rho(1 + 4F) f_c} \right) \left(\frac{3}{a/d} \right)^{1/3} + \rho_w f_{yw} \quad (4.23)$$

Burada c/d değeri ikinci derece $(c/d)^2 + 600(\rho/f_c)(c/d) - 600(\rho/f_c) = 0$ denklemi çözümünden bulunur.

4.2 Kesme Mukavemeti Bağıntılarının Değerlendirilmesi

Yapılan deneylerden elde edilen A2.5S20F1.0, A2.5S20F2.0, A2.5S30F1.0 ve A2.5S30F2.0 kırımlarının kesme mukavemeti sonuçlarının literatürde önerilen bazı bağıntılarla karşılaştırılması sonuçları Çizelge 4.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 4.1 Deneysel/ Önerilen yaklaşımların istatistiksel sonuçları

Bağıntı	Ortalama Değer	Standart Sapma	Varyasyon Katsayısı
Sharma (1986)	0.752	0.118	0.158
Narayanan vd. (1987)	0.550	0.023	0.042
Ashour vd. (1992), Denk. (12)	0.439	0.021	0.047
Ashour vd. (1992), Denk. (13)	0.651	0.040	0.062
Swamy vd. (1993)	0.644	0.028	0.044
Khuntia vd. (1999)	0.638	0.026	0.041
Kwak vd. (2002), Denk (16)	0.483	0.033	0.068
Kwak vd. (2002), Denk (17)	0.506	0.032	0.063
RILEM (2003)	0.818	0.131	0.160
Yakoub (2011)	0.918	0.138	0.151
Gandomi vd. (2011)	0.488	0.038	0.078
Dinh vd. (2011)	0.676	0.085	0.125
Arslan (2014)	0.616	0.061	0.098

Bu sonuçlara göre varyasyon katsayılarının en küçük değer verdiği bağıntılarının en doğru tahmini verdiği düşünüldüğünde, Khuntai vd. (1999), Narayanan vd. (1987) ve Swamy vd. (1993) tarafından önerilen bağıntılar ile en doğru tahminin yapıldığı görülmüştür. Ancak, deneysel kesme mukavemetinin önerilen bağıntı ile bulunan kesme mukavemeti tahminine oranının ortalama değerlerinin oldukça düşük olduğu, bir başka ifade ile önerilen yaklaşımlardan bulunan kesme mukavemetlerinin oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Bu nedenle, söz konusu bağıntılarla bulunan kesme mukavemetlerinin azaltılması gerektiği ifade edilebilir.

Bu çalışma kapsamında kullanılan bağıntılarının, doğruluğunu ve sonuçlara yakınlığını karşılaştırılabilmek için, literatürde ulaşılabilen deneysel sonuçlar (Amin vd. 2016; Ding vd. 2011) karşılaştırılarak Çizelge 4.2'de özetlenmiştir.

Bu sonuçlara göre varyasyon katsayılarının 0.23 ile 0.38 arasında değiştiği, deneysel kesme mukavemetinin önerilen bağıntılar ile bulunan kesme mukavemeti tahminine oranının ortalama değerlerinin ise 0.82 ile 1.84 arasında değiştiği görülmüştür. Dinh vd. (2011) tarafından önerilen bağıntı için bulunan varyasyon katsayısının 0.23 ile en düşük

değer verdiği, ortalama değer ise 0.96 olduğu görüldüğünden, sınırlı sayıdaki kiriş için yapılan karşılaştırmada en doğru tahminin Dinh vd. (2011) tarafından yapıldığı görülmüştür.

Çizelge 4.2 Deneysel/ Önerilen yaklaşımların istatistiksel sonuçları

Bağıntı	Ortalama Değer	Standart Sapma	Varyasyon Katsayısı
Sharma (1986)	1.322	0.425	0.322
Narayanan vd. (1987)	1.124	0.285	0.254
Ashour vd. (1992), Denk. (12)	0.995	0.312	0.314
Ashour vd. (1992), Denk. (13)	1.210	0.310	0.256
Swamy vd. (1993)	1.433	0.403	0.281
Khuntia vd. (1999)	1.430	0.401	0.280
Kwak vd. (2002), Denk (16)	0.924	0.283	0.306
Kwak vd. (2002), Denk (17)	0.959	0.281	0.293
RILEM (2003)	1.331	0.385	0.289
Yakoub (2011)	1.831	0.691	0.377
Gandomi vd. (2011)	0.815	0.240	0.295
Dinh vd. (2011)	0.959	0.220	0.230
Arslan (2014)	0.961	0.243	0.253

SONUÇ VE ÖNERİLER

Tek yönlü artan yük etkilerine maruz etriyeli referans kirişler ile çelik lifli etriyeli betonarme kirişlerde hacimsel çelik lif oranı değişiminin kiriş davranışına etkileri incelenerek değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucu kirişlerde gözlenen çatlaklar her yükleme aşamasında işaretlenmiştir.

Yüklemenin ilk aşamalarında eğilme çatlaklarının tüm kirişlerin orta açıklık çevresinde dik yönde kılcal çatlaklar şeklinde olduğu görülmüştür. Yük artışı ile yeni eğilme çatlakları orta açıklık çevresinden uzakta oluşmuştur ve önceki çatlaklar genişlemeye başlamıştır. Yük daha fazla arttığında bu eğilme çatlaklarının yük uygulama noktasına doğru diyagonal olarak yayıldığı görülmüştür.

Deneysel çalışmaların sonucuna dayanarak aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

- Kirişlere çelik lif eklenmesi kesme kuvvetinde, etriye aralığı 20 cm olan kirişlerde, % 1 çelik lif için % 32, % 2 çelik lif için % 58 artışa ve etriye aralığı 30 cm olan kirişlerde, % 1 çelik lif için % 83, % 2 çelik lif için % 157 artışa neden olduğu görülmüştür.
- Kirişlere çelik lif eklenmesi yer değiştirme kapasitesinde, etriye aralığı 20 cm olan (S20) seride, A2.5S20R kirişine göre A2.5S20F1.0 kirişinde % 28, A2.5S20F2.0 kirişinde ise 5.5 kat artış sağladığı gözlenmiştir. Çelik lifli kirişlerin referans kirişlerine göre daha sünek oldukları ve çelik lif oranı arttıkça sünekliğin de arttığı görülmüştür.
- Kirişlerde etriye aralığının kesme dayanımına etkisi olarak, hacimsel çelik lif oranı % 0 olan A2.5S20R kirişinin kesme mukavemetinin A2.5S30R kirişinin kesme mukavemetinden % 77 daha büyük olduğu, hacimsel çelik lif oranı % 1

olan A2.5S20F1.0 kirişinin kesme mukavemetinin A2.5S30F1.0 kirişinin kesme mukavemetinden % 27 daha büyük olduğu ve hacimsel çelik lif oranı % 2 olan A2.5S20F2.0 kirişinin kesme mukavemetinin A2.5S30F2.0 kirişinin kesme mukavemetinden % 8 daha büyük olduğu gözlenmiştir.

- Kirişlerde etriye aralığının yer değiştirmeye etkisi olarak, referans (R) kirişlerde A2.5S20R kirişinin yer değiştirme kapasitesinin A2.5S30R kirişinin yer değiştirme kapasitesinden % 4 daha fazla, çelik lif oranı % 1 olan (F1.0) seride, A2.5S20F1.0 kirişinin yer değiştirme kapasitesinin A2.5S30F1.0 kirişinin yer değiştirme kapasitesinden % 119 daha fazla ve çelik lif oranı % 2 olan (F2.0) seride, A2.5S20F2.0 kirişinin yer değiştirme kapasitesinin A2.5S30F2.0 kirişinin yer değiştirme kapasitesinden % 20 daha az olduğu gözlenmiştir. Bu azalma çok düşük olduğundan, azalışın betonun yerleştirilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Yani etriye aralığının azaltılmasının kirişlerde sünekliği arttırdığı sonucuna varılmıştır.
- Betonarme kirişlerde kesme mukavemetinin ve sünekliğin artırılması için etriye aralığının düşürülmesi ve beton malzemeye çelik lif eklenmesi önerilmektedir.
- Enine donatı aralığı arttıkça, çelik lif oranı artışının kesme dayanımına katkısında daha fazla artış gözlenmiştir. Çatlama kesme dayanımında çelik lif oranı artışının kesme dayanımına katkısında belirgin bir değişim gözlenmemiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Kozak, M., (2013). "Çelik Lifli Betonlar ve Kullanım Alanlarının Araştırılması", SDU Teknik Bilimler Dergisi, 3(5):26-35.
- [2] Şener, S., Çağatay, B., Begimgil, M. ve Ogün, F., (1999). "Çelik Lifli Çentikli Kirişlerde Boyut Etkisi", Çelik Tel Donatılı Beton Sempozyumu, Sabancı Center, İstanbul.
- [3] Dupont, D. ve Vandewalle, L., (2002). "Bending Capacity of Steel Fiber Reinforced Concrete (SFRC) Beams", International Congress on Challenges of Concrete Construction, Dundee, 81-90.
- [4] Corley, W. G., (2002). "Applicability of Seismic Design in Mitigating Progressive Collapse", Construction Technology Laboratories Report, Inc., Skokie, Illinois Nist workshop.
- [5] Yardımcı, M. Y., (2007). "Çelik Lifli Kendiliğinden Yerleşen Betonların Reolojik, Mekanik, Kırılma Parametrelerinin Araştırılması ve Optimum Tasarımı", Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [6] Şimşek, O., (2004). "Beton ve Beton Teknolojisi", Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- [7] Topçu, İ. B., (2006). Beton Teknolojisi, Uğur Ofset A.Ş., Eskişehir.
- [8] Bayasi, Z. ve Soroushian, P., (1991). "Fiber Type Effects on the Performance of Steel Fiber Reinforced Concrete", ACI Materials Journal, 88:129-134.
- [9] Kozak, M., (2010). "Beton Travers Üretiminde Agrega Türü (Bazalt-Kalker) ve Çelik Lifin Kullanılabilirliğinin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- [10] Amin, A. ve Foster, S. J., (2016). "Shear Strength of Steel Fibre Reinforced Concrete Beams with Stirrups", Engineering Structures, 111:323-332.
- [11] Tahenni, T., Chemrouk, M. ve Lecompte, T., (2015). "Effect of Steel Fibers on the Shear Behavior of High Strength Concrete Beams", Construction and Building Materials, 105:14-28.
- [12] Gholamhoseini, A., Khanlou, A., MacRae, G., Scott, A., Hicks, S. ve Leon, R., (2016). "An Experimental Study on Strength and Serviceability of Reinforced and Steel Fibre Reinforced Concrete (SFRC) Continuous Composite Slabs", Engineering Structures, 114:171-180.

- [13] Padmarajaiah, S. K. ve Ramaswamy, A., (2002). "A Finite Element Assessment of Flexural Strength of Prestressed Concrete Beams with Fiber Reinforcement", *Cement&Concrete Composites*, 24:229-241.
- [14] Noghabai, K., (2000). "Beams of Fibrous Concrete in Shear and Bending : Experiment and Model", *J. Struct. Eng.*, 126(2):243-251.
- [15] Ding, Y., You, Z. ve Jalali, S., (2011). "The Composite Effect of Steel Fibres and Stirrups on the Shear Behaviour of Beams Using Self-Consolidating Concrete", *Engineering Structures*, 33:107-117.
- [16] Cucchiara, C., Mendola, L. L. ve Papia, M., (2004). "Effectiveness of Stirrups and Steel Fibres as Shear", *Cement&Concrete Composites*, 26:777-786.
- [17] Yoo, D. Y., Yoon, Y. S. ve Banthia, N., (2015). "Flexural Response of Steel - Fiber – Reinforced Concrete Beams: Effects of Strength , Fiber Content, and Strain -Rate", *Cement&Concrete Composites*, 64:84-92.
- [18] TS 10513, (1992). Çelik Teller – Beton Takviyesinde Kullanılan, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [19] Sharma, A. K., (1986). "Influence of Steel Fibers on the Shear Resistance of Light Weight Concrete-Beams", *ACI J. Proc.*, 83(4):624-628.
- [20] ACI Committee 544, (1986). State of the art report on fiber reinforced concrete (AC1 544.1R-86), *ACI Manual of Concrete Practice*, Detroit.
- [21] Narayanan, R. ve Darwish, I. Y. S., (1987). "Use of Steel Fibers as Shear Reinforcement", *ACI Struct. J.*, 84(3):216-227.
- [22] Zsutty, T., (1971). "Shear Strength Prediction for Separate Categories of Simple Beam Tests", *ACI J. Proc.*, 68(2):138-143.
- [23] Ashour, S. A., Hasanain, G. S. ve Wafa F. F., (1992). "Shear Behavior of High-Strength Fiber Reinforced Concrete Beams", *ACI Struct. J.*, 89(2):176-184.
- [24] Swamy, R. N., Jones, R. ve Chiam, A. T. P., (1993). "Influence of Steel Fibers on the Shear Resistance of Light Weight Concrete-Beams", *ACI Struct. J.*, 90(1):103-114.
- [25] Khuntia, M., Stojadinovic, B. ve Goel, S. C., (1999). "Shear Strength of Normal and High-Strength Fiber Reinforced Concrete Beams without Stirrups", *ACI Struct. J.*, 96(2):282-289.
- [26] Kwak, Y. K., Eberhard, M. O., Kim, W. S. ve Kim, J., (2002). "Shear Strength of Steel Fiber-Reinforced Concrete Beams without Stirrups", *ACI Struct. J.*, 99(4):530-538.
- [27] RILEM TC 162-TDF, (2003). " σ - ϵ Design Method", *Mat. Struct.*, 36(8):560-567.
- [28] Bazant, Z. P. ve Kim, J. K., (1984). "Size Effect in Shear Failure of Longitudinally Reinforced Beams", *ACI J. Proc.*, 81(5):456-468.
- [29] Canadian Standard Association, (2004). *CSA A23.3-04 Design For Concrete Structures*, Toronto, ON, Canada.

- [30] Yakoub, H. E., (2011). "Shear Stress Prediction: Steel Fiber-Reinforced Concrete Beams without Stirrups", *ACI Struct. J.*, 108(3):304-314.
- [31] Gandomi, A. H., Alavi, A. H. ve Yun, G. J., (2011). "Nonlinear Modeling of Shear Strength of SFRC Beams Using Linear Genetic Programming", *Struct. Eng. Mech.*, 38(1):1-25.
- [32] Dinh, H. H., Parra-Montesinos, G. J. ve Wight, J. K., (2011). "Shear Strength Model for Steel Fiber Reinforced Concrete Beams without Stirrup Reinforcement", *ASCE J. Struct. Eng.*, 137(10):1039-1051.
- [33] Arslan, G., (2014). "Shear Strength of Steel Fiber Reinforced Concrete (SFRC) Slender Beams", *KSCE Journal of Civil Engineering*, 18(2):587-594.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mustafa İrfan BİRİNCİOĞLU

Doğum Tarihi ve Yeri : 02.12.1987, Kırıkhan

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : mibirincioglu@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Yapı Anabilim Dalı	Yıldız Teknik Üniversitesi	-
Lisans	İnşaat Mühendisliği	İstanbul Üniversitesi	2011
Lise	Fen Bilimleri	Naim Atakaş Anadolu Lisesi	2006

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2014 – Devam Ediyor	Yıldız Teknik Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

YAYINLARI

Bildiri

1. Birincioglu, M. İ., Ulusoy, S. ve Arslan, G., (2015). "Influence of Steel Fibers on the Shear Strength of RC Beams without Stirrups", International Conference on Civil and Environmental Engineering ICOCEE–Cappadocia 2015, Nevşehir, Türkiye.

